



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

DETERMINACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS
DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS
HIDRO-TOPOGRÁFICAS.

NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

DETERMINACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS
DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS
HIDRO-TOPOGRÁFICAS.

NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR
POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR
PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.,
2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN
PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y
CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.

ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ
CÓDIGO: 505785

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.
Director trabajo de Grado



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN
PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y
CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.

ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ
CÓDIGO: 505785

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.
Director trabajo de Grado

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. octubre de 2019



AGRADECIMIENTOS.

“Un verdadero agradecimiento a todas aquellas variables externas que nunca he podido comprender ni controlar, Gracias por una vida entrópica que al paso del tiempo va alcanzando y disfrutando sus niveles de diversidad”

- **José Martin Estrada García.**

Este trabajo ha sido parte de un proceso de un año, se convirtió como una carrera ciclística, con días buenos, malos, altas y bajas, con un trabajo arduo y lleno de dificultades. La gratitud puede ser expresada por varias formas, y esta es un método para demostrar que no olvidamos a aquellas personas que en este tiempo se convirtieron en mi equipo de trabajo. Su tiempo, recursos y apoyo fueron valiosos para el feliz término de la investigación.

Quiero dar primeramente las gracias a Dios, por darme fortaleza, salud y sabiduría para afrontar este primer reto en mi carrera, en especial en aquellos momentos en que la indecisión fue un factor para desistir.

Agradezco a mi familia, mis padres por enseñarme a ser la persona que hoy soy, a inculcarme ese amor, dedicación y esfuerzo por realizar las cosas, y ser mi correctivo en mis días de rebeldía al estudio, mis abuelos por consentirme cuando la noche se volvía mi aliada en la investigación, a ellos por entender mi ausencia cuando estoy en el mundo del estudio, a mi querida hermana por elegirme ser su ejemplo a seguir y por último, a mi compañía nocturna, Lía, que nunca me abandonó y espero por mí cada día.

Quiero expresar mi agradecimiento especial y sincero a mi tutor Wilfredo Marimón, por aceptarme con este gran reto bajo su dirección, por darme la oportunidad de conocer el mundo investigativo y ser para mí modelo a seguir durante este año, sus consejos, su capacidad para evaluar y formular propuestas ha sido un aporte invaluable para la realización del trabajo, aquellos comentarios, sugerencias y correcciones permitieron el perfeccionamiento tanto de la investigación como para mi vida académica. Gracias por fundar el semillero de “Nanotecnología y calidad de agua”, allí conocí personas y viví invaluable. Gracias por ser el precursor de mi vida laboral. Siempre será y ha sido el mejor asesor “sensei”.

A mi alma máter, la Universidad Católica de Colombia, que en su programa de becas académicas, financió gran parte de mis estudios de pregrado, a sus docentes por cada conocimiento brindado, y en especial, a David y William, por su infinita paciencia, aporte y participación activa los días de laboratorio, su amplio saber



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN
PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y
CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.

ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ
CÓDIGO: 505785

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.
Director trabajo de Grado

permitió el complemento en las temática investigativas, de igual manera, a Carlos, de la Universidad Javeriana, en su apoyo en cada muestreo y a Janneth Pardo, por todo el conocimiento en los sistemas de información geográfica que llevo a la creación del SINCAP. A la CAR, por la información recolectada.

Solo queda dar las gracias a mi *equipo tesis*, a Harol Moreno, por ser una luz en mi vida, por enseñarme que la vida es un constante aprendizaje y con sus pruebas parciales es donde "tú decides que hacer, porqué hacer y para quien hacer", pero al final el objetivo con nuestras decisiones es encontrar el sentido de vida, la armonía en nuestra forma de vivir, gracias por esos consejos, correcciones y sinónimos. Y a Julián Romero, mi confidente, todo el ánimo que diste en mí, hizo que logrará muchas cosas, y una de ellas es este trabajo, gracias por la compañía y los momentos que a pesar de tener temas investigativos diferentes nos ayudamos mutuamente.

A mis compañeras del semillero, Angélica y Julieth, por alegrar cada momento en el laboratorio, les deseo éxitos en sus trabajos investigativos. A Feiners, por ser un increíble y creativo compañero de trabajo de SIG, resolvimos muchos problemas metodológicos juntos, a Nataly, que me ayudo con aquellas traducciones del inglés que en ocasiones me generaron dificultades y que además de Katherine, Diana y Alex Mendoza, lograron hacerme ver el mundo con otros ojos y sabiduría, por siempre escucharme, entenderme y darme los mejores consejos de esta vida, gracias por apoyarme y darme ánimos siempre.

El universo tiene un principio, pero no un final. Y este es un hermoso comienzo a una vida llena de variables.



RESUMEN

En este trabajo de investigación se desarrolla un modelo para cuantificar globalmente la capacidad de asimilación de contaminantes en ríos de alta montaña desde un índice, el cual permita la comparación directa entre valores obtenidos para delimitar el estado que presenta el recurso hídrico en función de los objetivos de calidad planteados por las autoridades ambientales, a partir de la correlación de parámetros de calidad de agua y sus características hidro-topográficas. Para la formulación del índice, se realiza una recopilación de estudios de modelaciones de calidad y campañas de monitoreo de diez (10) parámetros clave que influyen directamente en la auto-depuración: el oxígeno disuelto, DBO, DQO, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fosforo disuelto, solidos suspendidos totales y la temperatura, cuya información es organizada mediante un modelo de datos denominado el SINCAP (sistema de información de la capacidad autodepurativa en ríos), el cual es la base para representar los mapas de autodepuración.

Luego, se procede a plantear el índice, partiendo del estudio (Wei et al. 2009), donde se definen los elementos representativos de la ecuación mostrada por el autor, encabezados por las constantes de reacción de los parámetros fisicoquímicos, la velocidad de flujo, la discretización de los tramos de análisis y la concentración de objetivo, con el fin de integrar sistemáticamente estas variables hasta el punto de definir un conjunto de preposiciones que conllevan a la formulación del fenómeno que se requiere describir, basándose bajo la metodología del ICA (Índice de calidad de agua).

Por último, se establece un método de validación a través de dos casos de estudio que difieren completamente en sus características, el primero el cual se realiza a partir de fuentes primarias de información, el Río Tunjuelo, de carácter plano y longitud de tramo corta y el Río Sumapaz, de información secundaria dada por la evaluación regional del agua de la CAR, de alta montaña y longitud de tramo extensa. Los resultados obtenidos muestran la importancia de los parámetros hidro-topográficos en la capacidad de asimilación de un río, debido a que actúan directamente en las funciones de reacción, donde el Río Sumapaz que presenta una mayor pendiente favoreciendo los procesos de aireación y sedimentación por su régimen torrencial, teniendo así la mayor reducción en los parámetros de sólidos sedimentables y oxígeno disuelto, en donde los tramos tributarios de la cuenca alta presentan los valores elevados del Índice Global de Autodepuración (IGAP), mientras que el Río Tunjuelo, cuya topografía, es plana presenta valores inferiores que representan una baja capacidad de asimilación.



ABSTRACT

The purpose of this research is to develop a model to quantify globally the capacity of assimilation of pollutants in high mountain rivers from an index. This research will allow the direct comparison between values, in order to delimit the condition that the water resource presents according to the quality objectives set by the environmental authorities; this based on the correlation of water quality parameters and their hydro-topographic characteristics.

For the formulation of the index, a compilation of quality modeling studies and monitoring campaigns of ten (10) key parameters that directly influence self-purification is carried out: dissolved oxygen, BOD, COD, nitrates, nitrites, ammoniacal nitrogen, dissolved phosphorus, total suspended solids and temperature, whose information is organized using a data model called the SINCAP (Information System of Self-purification Capacity in rivers), which is the basis for representing the maps of self-purification.

Then, the index will be presented, starting from the study (Wei et al. 2009), where the representative elements of the equation shown by the author will be seen. The elements are headed by the reaction constants of the physicochemical parameters, the flow rate, the discretization of the analysis sections and the concentration of objective, in order to integrate these variables systematically for defining a set of prepositions that lead to the formulation of the phenomenon that needs to be described, depending on the methodology of the ICA (Index of water quality).

Finally, it establishes a validation method through two case studies that differ completely in their characteristics. The first one is carried out from primary sources of information: the Tunjuelo River, of a flat nature and short section length and Sumapaz River; secondary information given by the CAR regional water assessment, high mountain and long stretch length.

The results specified the importance of hydro-topographic parameters in the assimilation capacity of a river. This importance is because they act directly in the reaction functions, where the Sumapaz River has a greater slope that favors the aeration and sedimentation processes by its regime torrential; consequently having the greatest reduction in the parameters of sedimentable solids and dissolved oxygen, where the tributary sections of the upper basin presents the high values of the IGAP, while the Tunjuelo River, whose topography, is flat presenting lower values representing a low assimilation capacity.



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
4. ANTECEDENTES.....	24
5. OBJETIVOS.....	29
5.1. Objetivo general:	29
5.2. Objetivos específicos:.....	29
6. MARCO CONCEPTUAL.....	30
6.1. Calidad de agua.	30
6.2. Autodepuración	33
6.2.1. Zonas de Autodepuración	35
6.3. Morfología de la Cuenca.....	36
7. MARCO TEÓRICO	41
7.1. Modelaciones de Calidad de Agua	41
7.1.1. Importancia del oxígeno disuelto en el proceso autodepurativo.....	43
8. MARCO LEGAL.....	46
9. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	48
9.1. Alcances	48
9.2. Limitaciones.....	48
10. METODOLOGÍA	49
10.1. Revisión de los ejercicios de modelación de calidad de aguas en ríos de montaña	49
10.2. Formulación de un índice global de autodepuración	49
10.3. Aplicación del modelo planteado	50
11. RESULTADOS.....	53
11.1. Recolección y proceso de información:	53
11.2. Planteamiento del índice.	61



11.2.1.	Selección de parámetros	62
11.2.2.	Constantes de reacción.	63
11.2.3.	Formulación del índice como combinación de parámetros.	67
11.2.4.	Asignación de pesos.....	70
11.2.5.	Escala general de calidad	72
11.3.	Análisis de caso de estudio	73
11.3.1.	Caso Río Tunjuelo	73
11.3.1.1.	Caracterización de la cuenca en estudio	74
11.3.1.2.	Caracterización e inspección de campo en el tramo de estudio.	76
11.3.1.3.	Análisis de Laboratorio.....	82
	• Alcalinidad y Acidez.	83
	• Sólidos Totales.....	87
	• Nitrógeno NTK.....	89
	• Fosforo Total	90
	• DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).....	92
11.3.1.4.	Diagnóstico de la calidad de agua e implementación del IGAP.	98
11.3.2.	Caso Río Sumapaz.....	107
11.3.2.1.	Caracterización de la cuenca en estudio.	107
11.3.2.2.	Caracterización de los puntos de análisis.	109
11.3.2.3.	Diagnóstico de calidad de agua e implementación de IGAP....	114
11.3.2.4.	Formulación de mapas de auto-depuración.....	120
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
13.	BIBLIOGRAFÍA	128
14.	FIRMAS.....	135
15.	ANEXOS	136
15.1.	Anexo 1. Definición de modelos de los parámetros fisicoquímicos.	136
15.1.1.	Temperatura.....	136



15.1.2.	Oxígeno disuelto	136
15.1.3.	DBO y DQO	137
15.1.4.	Nitrógeno total, nitritos y nitratos:	137
15.1.5.	Fosforo disuelto.....	138
15.1.6.	Alcalinidad y pH.....	138
15.1.7.	Solidos suspendidos totales, sedimentables, disueltos totales.	139
15.2.	Anexo 2. Base de datos inicial de modelaciones de calidad de agua.	140
15.3.	Anexo 3. Análisis fisicoquímico de aguas. Informe de Ensayo.....	145
15.4.	Anexo 4. Resultados del cálculo del IGAP. Río Tunjuelo.	146
15.5.	Anexo 5. Resultados del cálculo del IGAP. Río Sumapaz.....	152
15.6.	Anexo 6. Mapa de Autodepuración. Río Sumapaz.....	156
15.7.	Anexo 7. Formatos de Laboratorio.	157



TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Cargas contaminantes al sistema hídrico (t/año 2012)	19
Figura 2. Participación vertimiento de carga contaminante, sectores Industria, doméstico y café.	21
Figura 3. Ruta de los contaminantes potenciales relacionados con el ambiente acuático	30
Figura 4. El impacto de la actividad antropogénica (anthropopressure) en el agua de la superficie del ecosistema en el perfil.	35
Figura 5. La cuenca como sistema hidrológico	37
Figura 6. Mapa conceptual del proyecto.	40
Figura 7. Curva de depresión del oxígeno.	45
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso metodológico	52
Figura 9. Entidades del modelo de datos.	56
Figura 10. Tablas creadas en Access.	58
Figura 11. Definición de los atributos en Access.	58
Figura 12. Modelo Entidad-Relación en Access.	59
Figura 13. Sistema de coordenadas en ArcGIS para el SINCAP	60
Figura 14. Geodatabase SINCAP en ArcGIS	61
Figura 15. Descripción de un río como un conjunto encadenado de depósitos.	67
Figura 16. Descripción de un río como un conjunto de elementos, o depósitos, en serie.	69
Figura 17. Ubicación de la cuenca del Río Tunjuelito.	74
Figura 18. Localización de los interceptores troncales sanitarios de la cuenca del río Tunjuelo.	75
Figura 19. Representación gráfica de la delimitación espacial en el tramo objeto del estudio.	76
Figura 20. Puntos de Monitoreo seleccionados. Río Tunjuelo.	77
Figura 21. Esquematación del sistema. Río Tunjuelo.	78
Figura 22. Recolección de muestras.	78
Figura 23. Recolección de muestras.	79
Figura 24. Medición de los parámetros de campo.	80
Figura 25. Rotulo para la identificación de las muestras usado para el monitoreo.	82
Figura 26. Preservación de muestras.	82
Figura 27. Laboratorio Universidad Pontificia Javeriana	83
Figura 28. Toma de muestras para el procedimiento de Alcalinidad.	84
Figura 29. Proceso de Titulación de la muestras.	84
Figura 30. Muestra con dosis deseada.	84
Figura 31. Secado de las muestras para el ensayo.	88
Figura 32. Digestor Kjeldahl.	89
Figura 33. Destilación del proceso Kjeldahl.	90
Figura 34. Muestras para la medición de Fosforo.	91
Figura 35. Filtración de la muestras.	91
Figura 36. Cromatógrafo Iónico.	92
Figura 37. Botellas Winkler.	93
Figura 38. Hojas de cálculo determinadas para el IGAP.	99
Figura 39. Longitud del tramo en estudio.	100
Figura 40. Medición del caudal con Molinete.	101



Figura 41. Perfil longitudinal del río. _____	102
Figura 42. Visualización de la celda _____	103
Figura 43. Lista desplegable con el tipo de partícula. _____	103
Figura 44. Lista desplegable de los ríos disponibles para objetivos de calidad. _____	104
Figura 45. Lista desplegables de las clases disponibles para objetivos de calidad _____	104
Figura 46. Limite cuenca Río Sumapaz. _____	108
Figura 47. Puntos de Monitoreo seleccionados. Río Sumapaz. SINCAP _____	111
Figura 48. Esquematación del sistema. Río Sumapaz _____	112
Figura 49. Estado de la Quebrada Sabaneta _____	115
Figura 50. Río Sumapaz, a la altura de Melgar. Cuenca Baja _____	116
Figura 51. Contaminación en el Río Cuja. _____	117
Figura 52. Tabla de atributos de la entidad TRAMO_IGAP combinada con los resultados _____	121
Figura 53. Tabla de atributos de la entidad CALIDAD_DE_AGUA combinada con los resultados. _____	122
Figura 54. Definición de los rangos por simbología en ArcGIS. _____	123
Figura 55. Convenciones del mapa. _____	123
Figura 56. Visualización previa del mapa de autodepuración en el SINCAP _____	124
Figura 57. Mapa de Autodepuración. Río Sumapaz. _____	156
Figura 58. Formato de solicitud de laboratorio-a. _____	157
Figura 59. Formato de solicitud de laboratorio-b. _____	158
Figura 60. Formato de solicitud de laboratorio-c. _____	159
Figura 61. Formato de solicitud de laboratorio-d. _____	160
Figura 62. . Formato de solicitud de laboratorio-e. _____	161




LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Antecedentes. _____	27
Tabla 2. Parámetros de calidad de agua de un río. _____	31
Tabla 3. Zonas de Autodepuración. _____	36
Tabla 4. Parámetros de calidad de agua a utilizar en el estudio. _____	51
Tabla 5. Modelaciones Investigadas. _____	55
Tabla 6. Atributos del modelo de datos. _____	57
Tabla 7. Capas a reportar en ArcGis. _____	60
Tabla 8. Constantes globales definidas para los parámetros críticos del IGAP. _____	64
Tabla 9. Velocidad de sedimentación de partículas. _____	65
Tabla 10. Constantes de reacción de los parámetros. _____	66
Tabla 11. Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables. _____	71
Tabla 12. Variables y ponderaciones para el caso de 6 variables. Fuente: (IDEAM 2017) _____	71
Tabla 13. Variables y ponderaciones para el caso de las 10 variables del IGAP. _____	72
Tabla 14. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA. _____	72
Tabla 15. Calificación de la capacidad autodepurativa según los valores del IGAP. Fuente propia. _____	73
Tabla 16. Coordenadas de los puntos de Muestreo. Río Tunjuelo. _____	77
Tabla 17. Resultados de Campo. Monitoreo del 7 de junio. _____	79
Tabla 18. Resultados de Campo. Monitoreo del 27 de agosto. _____	80
Tabla 19. Técnicas generalmente adecuadas para la preservación de muestras análisis fisicoquímico y químico. _____	81
Tabla 20. Cantidad de Titulante usado para cada muestra. Monitoreo 7 de junio. _____	85
Tabla 21. Cantidad de Titulante usado para cada muestra. Monitoreo 27 de agosto. _____	85
Tabla 22. Resultados de Alcalinidad. Muestreo 7 de junio. Fuente Propia. _____	86
Tabla 23. Resultados de Alcalinidad. Muestreo 27 de agosto. _____	87
Tabla 24. Resultados de Sólidos Totales. Muestreo 24 de agosto. _____	88
Tabla 25. Resultados Nitrógeno Total NTK. Monitoreo 27 de agosto. _____	90
Tabla 26. Resultados de Fosforo Total. Monitoreo 27 de agosto. _____	92
Tabla 27. Resultados de medición de Oxígeno Disuelto inicial. Muestreo 7 de junio. _____	94
Tabla 28. Resultados de medición de Oxígeno Disuelto inicial. Muestreo 27 de agosto. _____	94
Tabla 29. Resultados de medición de Oxígeno Disuelto final. Muestreo 7 de junio. _____	95
Tabla 30. Resultados de medición de Oxígeno Disuelto inicial. Muestreo 27 de agosto. _____	95
Tabla 31. Resultados de DBO. Muestreo 7 de junio. _____	96
Tabla 32. Resultados de DBO. Muestreo 27 de agosto. Fuente propia. _____	96
Tabla 33. Caracterización del agua. Río Tunjuelo. _____	97
Tabla 34. Objetivos de calidad. Clase IV. Río Bogotá. _____	98
Tabla 35. Ficha de la caracterización hidráulica de los Tramos. _____	101
Tabla 36. Tipo de Datos. Hoja de cálculo CONTS. _____	103
Tabla 37. Resultados del cálculo del IGAP. Río Tunjuelo. Usando la herramienta en Excel. _____	105
Tabla 38. Coordenadas e información hidro-topográfica de la red de Monitoreo. Río Sumapaz. _____	110
Tabla 39. Caracterización del agua. Río Tunjuelo. _____	113
Tabla 40. Objetivos de calidad. Clase IV. Río Bogotá. _____	114



Tabla 41. Resultados del cálculo del IGAP. Río Sumapaz. Usando la herramienta en Excel.	118
Tabla 42. Resultados del cálculo del IGAP. Río Sumapaz. Usando la herramienta en Excel. (Continuación)	119
Tabla 43. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua.	140
Tabla 44. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua. (Continuación)	141
Tabla 45. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua. (Continuación)	142
Tabla 46. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua. (Continuación)	143
Tabla 47. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua. (Continuación)	144
Tabla 48. Hoja de Cálculo. Objetivos de calidad.	146
Tabla 49. Hoja de Cálculo. Objetivos de calidad. (Continuación)	147
Tabla 50. Hoja de Cálculo. Objetivos de calidad. (Continuación)	148
Tabla 51. Hoja de Cálculo. Objetivos de calidad. (Continuación)	149
Tabla 52. Hoja de Cálculo. DATA. RIO TUNJUELO.	150
Tabla 53. Hoja de Cálculo. CONST. Río Tunjuelo.	151
Tabla 54. Hoja de Cálculo. DATA. Río Sumapaz.	152
Tabla 55. Hoja de Cálculo. DATA. Río Sumapaz. (Continuación)	153
Tabla 56. Hoja de Cálculo. CONST. Río Sumapaz.	154
Tabla 57. Hoja de Cálculo. CONST. Río Sumapaz. (Continuación) Fuente propia.	155

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--


1. INTRODUCCIÓN

La naturaleza y su capacidad de asimilar los factores externos que la afectan, ha sido uno de los puntos de estudio en las diversas ramas de las ciencias exactas. Entender como el contaminante se comporta dentro de un sistema permite evaluar las causas, los efectos y posibles soluciones para evitar consecuencias que alteren al medio ambiente y la sociedad. Actualmente, en recursos hídricos se determinan a través de modelaciones de calidad de agua cuya función “es caracterizar las transformaciones que ocurren en los cuerpos de agua (...) con el fin de establecer la planeación, diseño e implementación de programas de control de la contaminación” (Murillo Urrutia, Guevara Hurtado y Diez Díaz 2018).

En Colombia, debido a sus características topográficas, se presentan una gran cantidad de ríos de alta montaña, los cuales se convierten en fuente de recursos para el beneficio de la población, como el agua y la energía, ya sea con fines de abastecimiento, producción agrícola, industria, entre otras. No obstante, este recurso hídrico se ve afectado por factores humanos como el vertimiento de sus aguas residuales que degradan las cuencas hidrográficas y que más adelante pueden afectar en el servicio ecosistémicos que se brinda a una población (MINAMBIENTE, 2002).

Sin embargo, estos ríos cuya topografía es montañosa, se caracterizan por captar dichas cargas contaminantes en su recorrido natural mediante su alta capacidad de aireación, la cual ha estado comprobada por la evolución del contenido de oxígeno en una corriente, en donde la pendiente y la velocidad genera una alta turbulencia que favorece el fenómeno de re-aireación, además es importante la presencia de diversas profundidades que permiten una mayor sedimentación de las partículas y la penetración de luz solar que facilita la degradación de la polución de materia orgánica (Camacho et al. 2016). Pero debido al aumento de la población, se ha incrementado la cantidad de sustancias que se vierten en un río de alta montaña superando la capacidad autodepurativa de la corriente por lo que no es lo suficiente para alcanzar un objetivo de calidad apto para un uso específico.


Desde el ámbito de la ingeniería civil, enfocado en el área hídrica y por estar ligada al uso que se realiza a este recurso para la sociedad, como el abastecimiento de agua potable, el cual debe brindar seguridad ante los posibles efectos por la influencia de contaminantes en los cuerpos de agua, es por ello que se ha preguntado sobre cuanta capacidad de carga contaminante puede absorber un río, sin afectar el servicio aguas abajo. A pesar de ello existen pocas investigaciones

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><u>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</u></p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	--

básicas que “permitan proponer metodologías para caracterizar hidráulicamente y evaluar la capacidad de autodepuración de un río” (Camacho. L, 2007)

Es por ello que en el presente trabajo tiene como propósito la determinación de un índice global de autodepuración de los ríos de alta montaña, teniendo en cuenta estudios relevantes acerca de la asimilación de contaminantes en diversos cuerpos de agua, con el objeto de establecer una metodología de formulación que permita incorporar la información morfológica, topográfica e hidráulica de la cuenca necesaria para describir el fenómeno, además de los parámetros de calidad de agua, cargas contaminantes vertidas y usos aguas abajo de la fuente, con el fin de optar una nueva alternativa para los futuros estudios a bajo costo para el control y regulación de los vertimientos de agua residual.

Este índice es aplicado en dos casos de estudio con características hidro-topográficas diferentes para definir la relación que existe entre este factor y los procesos autodepurativos de la fuente, además de que permite establecer los alcances y limitaciones que conlleva el modelo matemático.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia debido a su posición geográfica en la tierra, su relieve, diversidad en climas por sus pisos térmicos, se caracteriza por poseer una alta riqueza hídrica, minerales y biodiversidad, gracias a esto presenta un gran uso de este recurso hídrico que va desde abastecimiento para consumo humano, generación de energía y receptor de vertimientos de agua residual. (Viceministerio de Ambiente 2010)

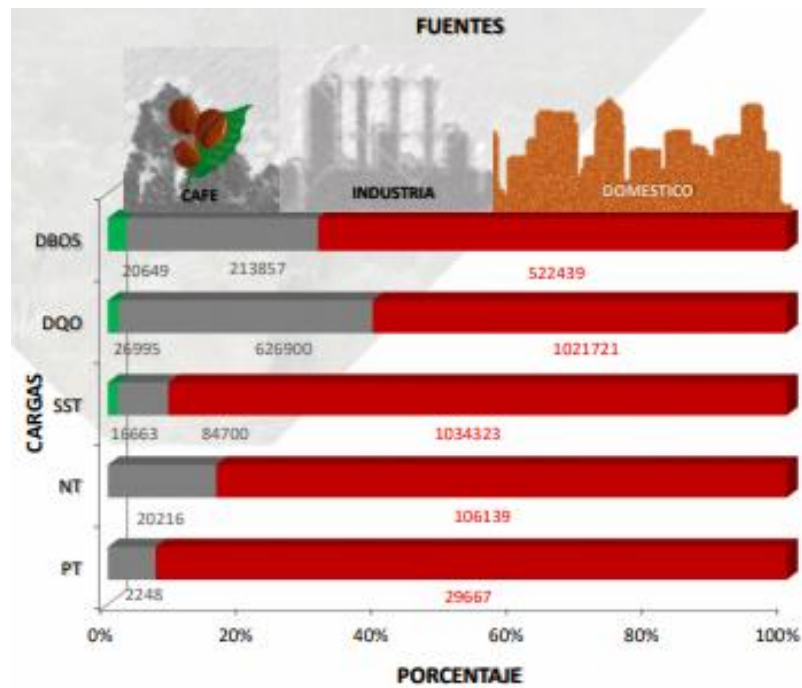
Gran parte del relieve del país es de carácter montañoso, principalmente en la región central, donde se encuentran los efluentes con mayor demanda de uso, que a diferencia de los ríos de planicie, los de montaña poseen una “alta capacidad de aireación por la turbulencia de los rápidos y caídas” (Camacho et al. 2016) favoreciendo notablemente en la degradación de los contaminantes.

Según un estudio del (IDEAM 2018) las concentraciones de cargas contaminantes en el país se esquematizan en la Figura 1 analizada desde el punto de parámetros de calidad de agua, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales (SST), nitratos totales (NT) y fósforo total (PT). En ella se observa que la principal fuente de contaminación está dada por el sector doméstico en proporción al sector de industria y el agrícola del café.

Actualmente, por la inadecuada recolección, disposición y tratamiento del agua, se tiene que un “95% de las aguas residuales domésticas e industriales se vierten a los ríos sin ningún tipo de tratamiento. Cerca del 65% de estos vertimientos se realizan en ríos o quebradas de montaña” (Camacho et al. 2016), la mayor parte de estos puntos se generan una alta contaminación en los cuerpos de agua, dada por patógenos, cargas orgánicas e inorgánicas, entre otros, teniendo como consecuencia una afectación al medio ambiente, así como su uso en diversas actividades aguas abajo, en las cuales muchas veces no cumplen con las condiciones de calidad de agua mínima.



Figura 1. Cargas contaminantes al sistema hídrico (t/año 2012)




Fuente: (IDEAM 2015)

Los ríos y quebradas hacen parte de una red de drenaje que actúa como un colector y transporte de la precipitación, denominado cuenca, en la cual ofrece un servicio eco-sistémico a un sector dependiendo la gestión del agua que se realice, este procedimiento utiliza la información de la cantidad y calidad del agua en la corriente que se necesite el servicio, para ello se acude al monitoreo hidrológico que realiza el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología Estudios Ambientales de Colombia) y apoyada por las autoridades ambientales regionales como la CAR, que a través de diversas metodologías indagaron sobre el comportamiento de los factores hidrológicos de un efluente (SIAC 2018).

Sin embargo, los resultados del monitoreo tienden a estar incompletos o no cuentan con la información suficiente para tomar una decisión con respecto a la gestión del agua, por lo cual se recurre a métodos utilizados como la interpolación que no presentan una relación adecuada y tienen una alta incertidumbre para completar los valores obtenidos (Lozano et al. 2007).

Sin contar que no existen redes de monitoreo de calidad de agua, si no que estos se realizan por métodos de levantamiento en campo relacionados con modelaciones de calidad de agua, que tienden a demandar tiempo, personal, altos

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

costos, además de las “limitaciones por las condiciones geomorfológicas e hidrología que varía con rapidez” (Peña et al. 2017).

Aunque son limitados los estudios que exponen una metodología acerca de este potencial, algunos solo miden una variable o no tienen en cuenta las propiedades morfométricas, en donde las investigaciones básicas para cuantifican la capacidad de asimilación a través de parámetros hidrodinámicos, modelaciones y predicciones.

Todos estos problemas generan una deficiencia en la gestión y una ausencia de control de vertimientos, acarreado un incremento en la contaminación en las corrientes de agua, ya que en el país los recursos son escasos para realizar una ardua inversión en el saneamiento de todos los medios que han sido afectados.

Es por ello que se decide formular una estimación para responder a la siguiente pregunta: ***¿Es posible determinar un índice de potencial de auto-depuración para ríos de montaña que combine todos los parámetros de calidad de importancia y los usos potenciales del agua?***



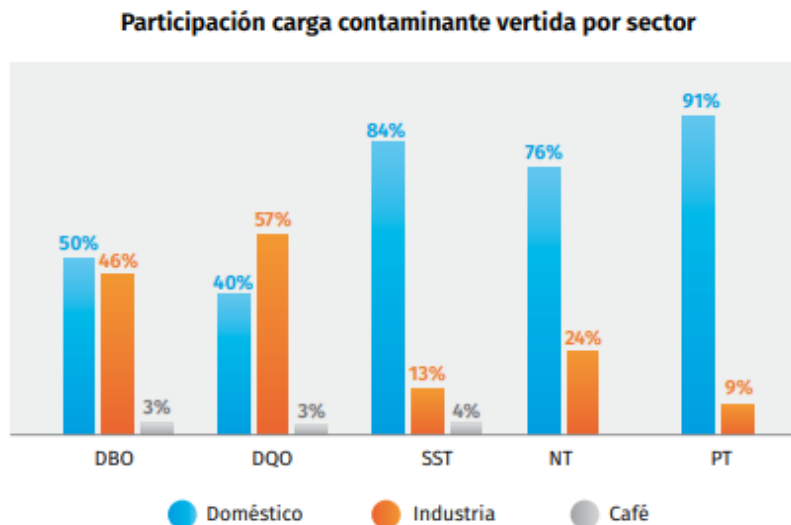
3. JUSTIFICACIÓN

Los ríos de montaña presentan una alta capacidad auto-depuradora dependiendo sus condiciones morfológicas. No siempre dichos ríos tienen la habilidad de eliminar en su totalidad todos los componentes que generan polución debido a las altas concentraciones, sin embargo, un análisis adecuado dado por la información que arroja el potencial de purificación permite una mejor control de las cantidades de contaminantes. (Rueda Valdivia 2005)


Una planificación adecuada de los recursos naturales está orientada a un uso sustentable, sin generar impactos ambientales negativos que puedan afectar a las necesidades de una población o el ciclo de vida en un ecosistema, es por ello que las entidades ambientales regulan y controlan al manejo que se realiza a cualquier medio que utiliza los bienes o servicios que ofrece la naturaleza.

En el Estudio Nacional del Agua (ENA) del 2018, realizado por el Ministerio de Ambiente y el IDEAM establecen un aumento considerable en las cargas domésticas en los términos de materia orgánica aproximadamente del 16% en relación a los años anteriores, en los cuales se destaca una cifra alrededor de 564.709 toneladas generadas por año, como se observa en la Figura 2, el sector que a comparación con la industria manufacturera y la del café presenta mayor participación por carga en los vertimientos en las fuentes hídricas. (IDEAM 2018)

Figura 2. Participación vertimiento de carga contaminante, sectores Industria, doméstico y café.



Fuente: (IDEAM 2018)

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><u>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</u></p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	--

Una de las principales problemáticas relacionadas con el incremento de la contaminación del agua, está asociado con el vertimiento incontrolado de aguas residuales a los ríos o quebradas, principalmente domésticas, lo cual ha generado que entidades como las corporaciones autónomas regionales, en Cundinamarca, la CAR, en su jurisprudencia otorguen permisos sobre la descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua o suelo, esto con el fin de tener un dominio sobre esos puntos. (Lozano et al. 2007)


Para ello se debe realizar diversas actividades que van desde el diagnóstico del sistemas e infraestructuras de los puntos de vertimientos, la caracterización de las descargas (en términos de calidad del agua residual), las proyecciones de la carga contaminante por cada tramo, identificación de usos existentes del recurso, hasta las acciones principales que tienen las instituciones para cubrir incrementos de cargas contaminantes (CAR 2018)

Por esta razón se optan por diferentes metodologías convencionales para determinar la calidad el agua, que toman tiempo, una gran cantidad de personas y un alto costo, que trae como consecuencia una demora en los procesos de permisos y un incremento de los vertimientos ilegales, generado así un mayor impacto en el medio ambiente.


Actualmente, existen limitadas metodologías en base de modelos matemáticos las cuales están tratadas en el capítulo de antecedentes del presente documento, que solo se encuentran encaminados al análisis de un parámetro de calidad de agua, el cual solo establece una parte del componente completo que es la autodepuración, omitiendo los otros factores que afectan directamente en la capacidad o asimilación tiene los ríos ante estas descargas.

Es por ello que tener un modelo completo, en el cual se involucren todas las variables tanto físicas, como químicas y biológicas que causan una contaminación, permite a corporaciones o entidades determinar cuáles son los puntos de mayor impacto, los posibles diseños óptimos de tratamiento, una mayor eficacia en los procesos permisivos (reducción de tiempo y costos), las posibles estrategias para controlar y mitigar la contaminación.

Por esta razón, hallar un modelo que permita determinar el potencial de auto-depuración de una fuente de montaña a partir de variables hidro-topográficas de tal forma que sirva como una herramienta para la gestión del recurso hídrico.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><u>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</u></p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	--

En el marco de un proyecto que se tiene financiado por la universidad denominado *“Desarrollo de una metodología para la evaluación del potencial de autodepuración de corrientes superficiales a nivel de cuenca”* que pretende el desarrollo de una metodología a partir de variables morfométricas y la modelación de los parámetros fisicoquímicos de los contaminantes. Para esto, primero es necesario realizar un índice que combine variables de calidad de importancia para determinar sus respectivas correlaciones, a partir del estudio de modelaciones de calidad de agua existentes.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR. Director trabajo de Grado</p>
---	--	---


4. ANTECEDENTES

Gran parte de los artículos en relación al comportamiento de la calidad de agua de los ríos, se enfocan generalmente en aplicar un porcentaje de cambio entre un punto y otro, en donde se caracterizan por el análisis de un sistema a través de herramientas de modelación de la calidad de agua como Qual2K, por lo que no son muchos los estudios realizados sobre un modelo de autodepuración, estas metodologías son aplicadas en diversos ríos que presenten una problemática de contaminación. A continuación se nombran los estudios más relevantes en relación a la modelación de proceso auto-depurativo:

En primer lugar, miembros de *Spanish Water Pollution Control Association* de la universidad de Murcia en España, acercan el concepto en las corrientes de agua, en la cual establecen diferentes variables que intervienen en él, determinando los procesos físicos, químicos y biológicos, de modo que se encuentran estrechamente relacionados entre sí. Además de realizar un análisis del recorrido y el posible comportamiento de la corriente desde el punto de vertido hasta donde la contaminación ha desaparecido, esto a través de una investigación de la presencia de microorganismos que permiten la degradación de las sustancias vertidas.

El estudio se encuentra basado sobre un análisis directo del oxígeno disuelto. Realizando “una evaluación cuantitativa del contenido de oxígeno en un curso del agua (...) es sinónimo de una descripción completa de la evaluación de su proceso auto-depurador” (Molero Fernandez, Saez Mercader y Soler Andres 2011) implicando un balance de aporte y disminución por los procesos biológicos compuestos por la re-aireación, fotosíntesis, biodegradación y respiración, estableciendo diversos factores que afectan esta propiedad como la presencia de sales, detergentes e hidrocarburos, materiales tóxicos, el pH entre otros. Teniendo como resultado una evolución del contenido de oxígeno en la corriente de manera gráfica que relaciona características morfométricas y el caudal de cuerpo de agua, siendo este el primer acercamiento a un modelo de estas características.

En base a la teoría conceptual, algunos textos globales analizan el comportamiento de variables como la demanda química y biológica de oxígeno, en relación a la recuperación y al nivel de oxígeno disuelto y degradación de la carga biológica, a través del modelo de calidad de agua de Streeter-Phelps, expuesto en el artículo *Determinación de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Fonce en San Gil con base en el balance de oxígeno disuelto* (Silva et al. 2015), a partir de un trabajo de campo para obtener el índice de contaminación (ICO) en relación a la

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

carga contaminante y la masa de oxígeno disuelto, sin aplicar modelo teórico, debido a que no parten de un déficit de oxígeno.

Otros estudios como el de (González et al. 2014), realizan correlaciones con 22 parámetros físicos, químicos y biológicos del agua para determinar que propiedades variaban con respecto a la capacidad de autodepuración basándose en el anterior modelo de calidad de agua expuesto, obteniéndose una estrecha relación con la disminución del índice bentónico.


Este análisis de variables se establece por diversos métodos, ya sea con el trabajo de campo o estableciendo escenarios, como en el artículo “*Predictive scenarios for surface water quality simulation - A watershed case study*” (Antunes et al. 2018) en donde de una manera práctica exponen como los contaminantes cambian a medida que varían los parámetros hidrológicos a través del planteamiento de diversos escenarios en software especializados en calidad de agua como el QUAL2k.

Otros autores correspondientes a (Nadal, Cossavella y Larrosa 2014) y (Riaño Neira et al. 2019) analizan la determinación del potencial de autodepuración a través de la tasa de aireación y la hidrodinámica, para posteriores modelaciones de calidad de agua, utilizando trazadores que por sus componentes permite la volatilización dentro de la corriente de agua por la adsorción de oxígeno, relacionando sistemáticamente factores físico bióticos como la geomorfología, la hidrología, la hidráulica e hidrología.

Por otra parte, pocos analizan el comportamiento de parámetros físicos como los sedimentos, (Suikova, Bryanskaya y Borovkov 2012), en su artículo “*Properties of Fine Technogenic Sediments and Their Effect on Channel Process and Self-Purification of River Water*” comprueban de manera profunda el comportamiento de estas partículas cuando estas ingresan al río, y como por medio de un proceso de floculación y consolidación ayudan a la absorción de contaminantes.

De igual manera, (Stehfest 1975) autor del texto *Mathematical Modelling of self-purification of rivers*, investigan de forma más detallada y global de la modelación de las variables que intervienen en el procesos de autodepuración de manera más biológica en base de la presencia de microorganismos y encimas.

Uno de los estudios más completos de manera global, se encuentra estudiado por (Wei et al. 2009) en base a un estado sobre el comportamiento de los procesos de autodepuración y calidad del agua cuando un rio es represado, teniendo un arduo estudio durante 20 años de toma de muestras *in situ*. En este estudio se muestra el efecto negativo en la capacidad de auto-purificación de agua en ciertas partes de la

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><u>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</u></p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	--

presa, este análisis se desarrolló por una relación entre “el volumen de flujo, la velocidad de flujo, la concentración de contaminante, el contaminante tasa de descomposición” (Wei et al. 2009) estableciendo una ecuación entre estas variables. Sin embargo solo se estudian contaminantes orgánicos, debido a que las correlaciones entre los regímenes de flujo y la temperatura con los contaminantes inorgánicos no son notables.

En Colombia, (Camacho et al. 2016), instauran una metodología de investigación para cuantificar la autodepuración estipulando una “visión integral” de diversas variables de la cuenca que incorpora al río, realizando caracterización hidráulica, morfológica y de calidad de agua por medio de trabajos de campo y análisis de laboratorio para obtener constantes que sean utilizadas para posteriormente realizar un modelo de calidad de agua con su respectiva calibración para determinar dicha cuantificación.

Estos estudios son complementados por otros autores, (Rivera Gutiérrez 2015), que estiman diversas tasas de asimilación, dadas por el déficit de oxígeno disuelto generado, aplicando la metodología aplicada por (Camacho et al. 2016).

La mayoría de los antecedentes, concluyen con el posible desarrollo de futuro trabajos de investigación encaminados para formular de manera más completa y exigente del comportamiento natural de los ríos ante una carga contaminante.




Tabla 1. Matriz de Antecedentes.

ANTECEDENTES		
Autores	Año	Investigación
Stehfest	1975	Investigan de forma más detallada y global de la modelación de las variables que intervienen en el procesos de autodepuración de manera más biológica en base de la presencia de microorganismos y encimas.
Fernández Molero, Sáez Mercader y Soler Andrés	1990	Establecen diferentes variables que intervienen en la de auto-depuración, determinando los procesos físicos, químicos y biológicos, de modo que se encuentran estrechamente relacionados entre sí. Además de realizar un análisis del recorrido y el posible comportamiento de la corriente desde el punto de vertido hasta donde la contaminación ha desaparecido, esto a través de una investigación de la presencia de microorganismos que permiten la degradación de las sustancias vertidas. El estudio se encuentra basado sobre un análisis directo del oxígeno disuelto, a través procesos biológicos de re-aireación, fotosíntesis, biodegradación y respiración, estableciendo diversos factores como la presencia de sales, detergentes e hidrocarburos, materiales tóxicos, el pH entre otros.
Camacho et al.	2007	Instauran una metodología de investigación para cuantificar la autodepuración estipulando una “visión integral” de diversas variables de la cuenca que incorpora al río, realizando caracterización hidráulica, morfológica y de calidad de agua por medio de trabajos de campo y análisis de laboratorio para obtener constantes que sean utilizadas para posteriormente realizar un modelo de calidad de agua con su respectiva calibración para determinar dicha cuantificación.
Rivera Gutiérrez	2015	
Wei et al.	2009	En este estudio se muestra el efecto negativo en la capacidad de auto-purificación de agua en ciertas partes de la presa, este análisis se desarrolló por una relación entre “el volumen de flujo, la velocidad de flujo, la concentración de contaminante, el contaminante tasa de descomposición” (Wei et al. 2009) estableciendo una ecuación entre estas variables. Sin embargo solo se estudian contaminantes orgánicos, debido a que las correlaciones entre los regímenes de flujo y la temperatura con los contaminantes inorgánicos no son notables.

Fuente propia.

Tabla 1. Matriz de Antecedentes. (Continuación)

Suikova, Bryanskaya y Borovkov	2012	Comprueban de manera profunda el comportamiento de los sedimentos cuando estas ingresan al río, y como por medio de un proceso de floculación y consolidación ayudan a la absorción de contaminantes.
Nadal, Cossavella y Larrosa	2014	Analizan la determinación del potencial de autodepuración a través de la tasa de aireación y la hidrodinámica, para posteriores modelaciones de calidad de agua, utilizando trazadores que por sus componentes permite la volatilización dentro de la corriente de agua por la adsorción de oxígeno, relacionando sistemáticamente factores físico bióticos como la geomorfología, la hidrología, la hidráulica e hidrología.
Riaño Neira et al.	2019	Realizan correlaciones con 22 parámetros físicos, químicos y biológicos del agua para determinar que propiedades variaban con respecto a la capacidad de autodepuración basándose en el modelo de Streeter-Phelps calidad de agua expuesta, obteniéndose una estrecha relación con la disminución del índice bentónico.
Gonzales et al.	2014	Investigan el comportamiento de variables como la demanda química y biológica de oxígeno, en caminada a la recuperación y al nivel de oxígeno disuelto y degradación de la carga biológica, a través del modelo de calidad de agua de Streeter-Phelp, a partir de un trabajo de campo para obtener el índice de contaminación (ICO) en relación a la carga contaminante y la masa de oxígeno disuelto, sin aplicar modelo teórico, debido a que no parten de un déficit de oxígeno.
Silva et al.	2015	Establece por diversos métodos, ya sea con el trabajo de campo o estableciendo escenarios, de una manera práctica donde exponen como los contaminantes cambian a medida que varían los parámetros hidrológicos a través del planteamiento de diversos escenarios en software especializados en calidad de agua como el QUAL2k.
Antunes et al.	2018	

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><u>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</u></p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	--

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general:

- Determinar un índice global de autodepuración para ríos de montaña a partir de calidad y los usos del agua.

5.2. Objetivos específicos:

- Analizar modelos de calidad de agua calibrados y validados en ríos de montaña
- Cuantificar la capacidad de auto-purificación individual en relación a los parámetros críticos seleccionados.
- Implementar el IGAP (Índice global de autodepuración) en un cuerpo de agua determinado.
- Clasificar a partir del IGAP, la capacidad auto-depuradora de un río.



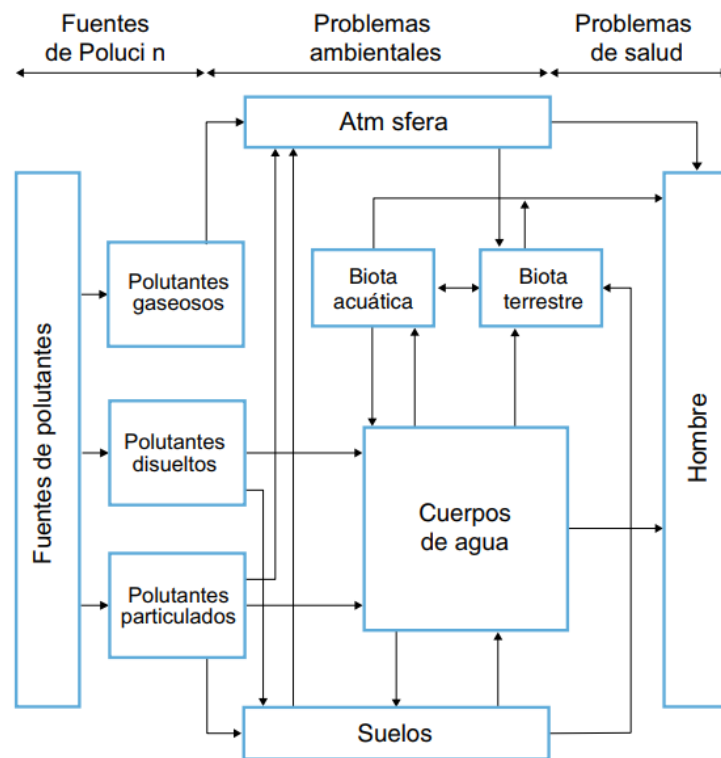
6. MARCO CONCEPTUAL

6.1. Calidad de agua.

Los recursos hídricos se han convertido en una fuente importante para la supervivencia y la salud humana, con el incremento de la población, las actividades antropogénicas, la inadecuada recolección, disposición, el tratamiento del agua, y los procesos naturales como la erosión, permiten el incremento de los niveles de carga contaminante que se vierten a un cuerpo de agua (Tian et al. 2019).

Se denomina contaminante, a aquella sustancia o energía que es introducida al medio ambiente por diversos medios, que puede alterar de manera negativa, un ecosistema o un ser vivo (Encinas Malagón 2011).

Figura 3. Ruta de los contaminantes potenciales relacionados con el ambiente acuático



Fuente: (García et al. [sin fecha])

El contaminante, ya sean gaseoso, disuelto o particulado, presenta diversos recorridos, por medio de la atmósfera, los cuerpos de agua y los suelos, hasta que finalmente al hombre, en la Figura 3, se expone que los principales contaminantes de los recursos hídricos están dados por los disueltos y los particulados.

Estos contaminantes están clasificados según su fuente, ya sea directa e indirecta.

Las fuentes directas son aquellos vertimientos que se hace de manera inmediata en el agua, como los influentes residuales de las fábricas, de alcantarillados, entre otros. Por otro lado, las fuentes indirectas se transportan por el suelo, las aguas subterráneas o derivados de los contaminantes de la atmosfera, como los herbicidas usados para un cultivo (Liu y Shuangyin 2019).

En general, para tener un control sobre las condiciones de la fuente se debe realizar un estudio de calidad del agua, el cual consiste en la cuantificación de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que presenta el cuerpo de agua, a partir de mediciones e interpretaciones, con el fin de determinar, controlar y ofrecer soluciones rápidas ante las principales fuentes de contaminación que puedan generar una afectación a la sociedad (Simeonov et al. 2003).

Tabla 2. Parámetros de calidad de agua de un río.

Parámetros de calidad de agua de un río	
Físicos	<ul style="list-style-type: none"> • Olor y sabor • Temperatura • Sólidos suspendidos y disueltos totales • Turbiedad y Color
Químicos	<ul style="list-style-type: none"> • pH • DBO, DQO y COT • Conductividad eléctrica • Alcalinidad y acidez • Dureza • Oxígeno disuelto • Aniones y cationes • Nitrógeno total • Fosforo total • Metales pesados
Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Microorganismos • Coliformes

Fuente propia.

Los parámetros principales para un río se encuentran expuestos en la Tabla 2, donde los físicos incluyen todos aquellos que “afectan directamente a las condiciones estéticas del agua” (Sierra 2011), en los indicadores principales se encuentran la *turbiedad*, la cual indica la cantidad de partículas suspendidas en el agua, que genera una reducción de la intensidad de luz que pasa a través de ella,



está se encuentra relacionada con el movimiento de la fuente y el color de la misma, por ejemplo cuando la corriente de agua presenta un mayor movimiento, tienen dispersiones más gruesas obteniéndose un aumento en la turbidez y variación en el color (Sawyer y McCarty 1978). *El olor y el sabor* están relacionados con la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas.


Por otra parte, *los sólidos totales suspendidos*, son aquellas partículas que son transportadas por la corriente de agua que no se sedimentan, este parámetro está influenciado con la turbidez, *los sólidos totales disueltos* son consecuencia de la disolución de los materiales que llegan a la fuente, debido a procesos de variabilidad hidrodinámica, solubilidad mineral y las características del material disuelto. Cuando estos compuestos son de origen inorgánico pueden influir en la *conductividad*, siendo este también un indicador para dicha variable.

La temperatura es una variable que puede afectar las características físicas, químicas y biológicas del agua, debido a que tiene una influencia en las velocidades de reacción, la vida acuática, la solubilidad y la disponibilidad de oxígeno. Los estudios han demostrado que un aumento de esta variable genera un aumento en la demanda biológica de oxígeno y los sólidos en suspensión (Caissie, El-Jabi y Satish 2001)(Webb Y Nobilis 2007).

Los parámetros químicos, que afectan la composición del agua, varían de acuerdo a la geología, el clima, las actividades antropogénicas cercanas, entre otros; el *pH*, indica la concentración de iones de hidrogeno presentes en un elemento, dado por un valor adimensional que muestra el carácter ácido o básico del agua, “las aguas naturales generalmente tienen valores de pH en el rango de 4-9, la mayoría son ligeramente básicas” (Liu y Shuangyin 2019).

Otro parámetro químico es el *contenido de oxígeno*, un propiedad vital de cualquier cuerpo de agua, “debido a su influencia en los organismos que viven dentro de él” (Liu y Shuangyin 2019), siendo una característica fundamental para el análisis de calidad de agua porque además permite identificar las variaciones de solubilidad del oxígeno causadas por la temperatura del agua y la salinidad además de la morfología del río y el consumo de oxígeno por microorganismos. (Sierra 2011).

De lo anterior, se desprenden dos propiedades como la *DBO*, la demanda biológica de oxígeno y la *DQO*, la demanda química de oxígeno, relacionadas con el consumo directo de oxígeno sea por medio bioquímico o químico respectivamente para la eliminación de materia orgánica. Este parámetro esta complementado con el *COT*,

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR. Director trabajo de Grado</p>
---	--	---

carbono orgánico total, en la medición de la cantidad de carbono que se encuentra en una sustancia.

El análisis de *nitrógeno* y *fosforo*, permiten analizar la cantidad de nutrientes que fomenten el crecimiento de microorganismos, sin embargo una gran cantidad de estas sustancias presenta eutrofización, un proceso ecológico, en el que un cuerpo de agua presenta un incremento de plantas acuáticas trayendo consecuencias como el aumento de la turbidez y disminución de del oxígeno considerablemente (Bhagowati y Ahamad 2019).

Es estudio es complementado con el análisis de *metales pesados* que influyen en los componentes tóxicos y el *análisis microbiológico*, se convierte en unos aspectos de calidad más importantes al momento de la influencia en la enfermedades transmitidas por virus, bacterias y protozoos que producen tifoidea, fiebre paratifoidea, disentería, cólera ,parasitismo intestinal, gastroenteritis, entre otros (Lopez Cualla 2003).

6.2. Autodepuración


La autodepuración conlleva una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tiene una fuente hídrica, que permiten la asimilación de cargas contaminantes que son vertidas.

Estos factores deben estar relacionados de forma sistemática por características naturales como la geomorfología, la hidrología, la hidráulica y el ecosistema (Riaño Neira et al. 2019; Wilk, Orlinska-Wozniak y Gebala 2018) y características antropogénicas como el tipo de vertido realizado (Merlo y Abril 2014).

Los procesos físicos más característicos son la *sedimentación*, que permite que los compuestos de alto peso molecular tengan un proceso coagulación y floculación, y gracias a la acción de la gravedad puedan sedimentarse (Merlo y Abril 2014; Suikova, Bryanskaya y Borovkov 2012).

La *radiación solar* afecta directamente en la temperatura del agua que genera procesos de *evaporación* de compuestos disueltos; y a la vida bacteriana dentro del cauce, especialmente si se ve afectada por rayos ultravioleta (Beiras 2018).

Los procesos químicos están presentes en la *oxidación* de elementos dispersos como los sulfitos, nitritos y sales que consumen oxígeno disuelto. Los compuestos ácidos y básicos *neutralizan* sustancias dependiendo su pH

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR. Director trabajo de Grado</p>
---	--	---

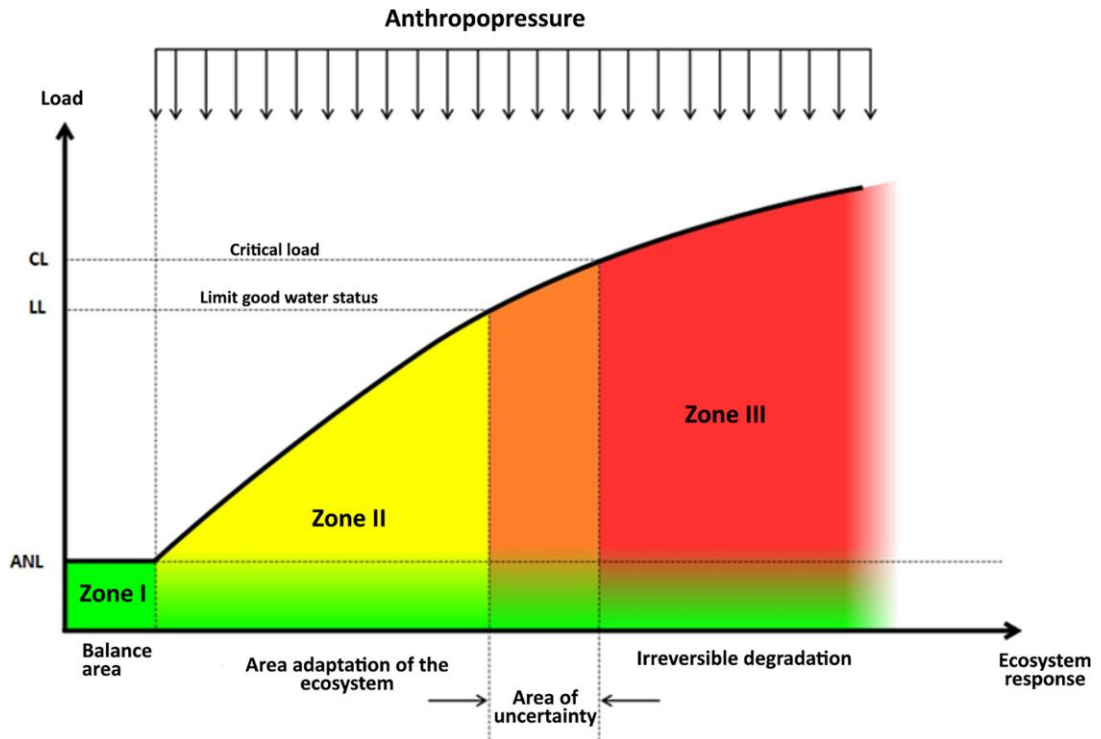
En relación con, los procesos biológicos están basados en la *degradación en la materia orgánica*, a cargo de los microorganismos que se encuentran en el medio, dependiendo la temperatura, la profundidad de la corriente y la concentración de oxígeno disuelto, ya sea por medio aerobio (altas concentraciones de oxígeno) o anaerobio (baja o nula concentración de oxígeno), los cuales por su metabolismo consumen los compuestos orgánicos, los sintetizan y generan nuevos subproductos que liberan oxígeno y eliminan concentraciones de carbono, nitrógeno y azufre (Molero Fernandez, Saez Mercader y Soler Andres 2011)(Merlo y Abril 2014).

Además de la absorción de nutrientes que se realiza por la flora cerca a las orillas del arroyo, permite el consumo de los mismos. (Merlo y Abril 2014), de igual manera algunos estudios han determinado que la presencia de vegetación ayuda a una disminución de metales pesados, sin embargo no es considerable para alcanzar un estándar de calidad (Cukrov et al. 2008).

Por otra parte, los efluentes presentan una capacidad autodepuración dependiendo sus condiciones topográficas, el cual puede ser aprovechado para determinar cuál es el comportamiento de la calidad el agua a lo largo de curso del río, y si esta fuente puede absorber gran parte de los contaminantes que son vertidos (Camacho. L, 2007). Sin embargo, las fuentes hídricas poseen una capacidad límite de carga contaminante que se encuentra en función de la actividad antropogénica que genera vertimientos, después de este punto, existirá una degradación irreversible del ecosistema.

De acuerdo con la Figura 4, se observa tres zonas, la zona I corresponde a un balance entre la carga contaminante y el ecosistema donde no se presentan cambios significativos en el medio ambiente, el siguiente sector corresponde al área entre la zona de balance y el punto límite de asimilación con características de agua aceptables, donde la respuesta del ambiente puede adaptar las poluciones vertidas, seguida por una área de incertidumbre debido a que las condiciones de la corriente y el contaminante hasta la carga critica, y por último, la zona de degradación irreversible.

Figura 4. El impacto de la actividad antropogénica (anthropopressure) en el agua de la superficie del ecosistema en el perfil.



Fuente: (Wilk, Orłinska-Woźniak y Gebala 2018)

6.2.1. Zonas de Autodepuración

Las *zonas de autodepuración* comprenden el recorrido en el cual un elemento vertido se degrada hasta el punto que desaparece su concentración, estas zonas “dependerán principalmente de los caudales de la corriente, la concentración del contaminante o elemento vertido, el contenido de oxígeno y la cantidad de materia orgánica presente”. (Molero Fernandez, Saez Mercader y Soler Andres 2011), estas zonas están establecidas por la presencia de especies de microorganismos como indica la siguiente tabla:

Tabla 3. Zonas de Autodepuración.

Zona	Principales Características
Polisaprobia - Degradación	<ul style="list-style-type: none"> • Es el punto de vertido de las aguas residuales • Zona de degradación y descomposición activa. • Presencia de signos visibles de contaminación. • Baja o nula concentración de oxígeno disuelto. (Por debajo del 45% de la saturación) • Presenta turbidez y sólidos en suspensión. • Numero de bacterias (1-10 millones/litro) • Presencia de sustancias orgánicas como Hidratos de carbono o Aminoácidos • Presencia de sustancias por degradación de proteínas y reducción de sulfatos (CO₂ y SH₂) • Depósitos de lodos (Fe₂S)
α-Mesosaprobia – Descomposición	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación de la materia orgánica • Aumento gradual del oxígeno disuelto • Numero de bacterias (10⁵ – 10⁶/ litro) • Presencia de peces. • Variación en el oxígeno disuelto durante el día, debido a la influencia de la luz solar sobre los organismos. • Depósitos de lodos (Debido a la degradación aerobia)
β-Mesosaprobia – Recuperación	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de mineralización • Numero de bacterias (10⁴ – 10⁵/ litro) • Presencia de carbonatos y nitratos • Elevada concentración de Oxígeno Disuelto • Presencia de micro-algas y micro-flora
Oligosaprobia – Agua limpia	<ul style="list-style-type: none"> • La contaminación ha desaparecido • Recuperación de calidad óptima de agua • Completa mineralización (a través de las actividades metabólicas) • Numero de bacterias (10² – 10³/ litro) • El oxígeno disuelto se aproxima a la saturación. • Presencia de especies vegetales y animales.

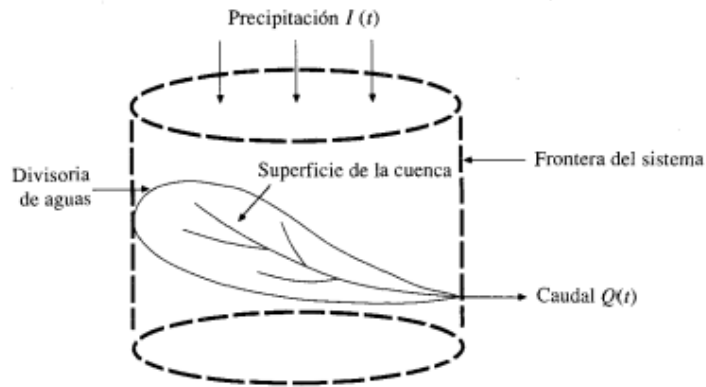
Modificado de: (Molero Fernandez, Saez Mercader y Soler Andres 2011)

6.3. Morfología de la Cuenca

Con el fin de identificar las características físicas y el comportamiento del flujo de una corriente, se debe realizar un análisis morfométrico de la cuenca debido a que este funciona como medio de recolección de agua e influye directamente en las redes de drenaje, determinando la capacidad que tiene de drenar cada una de las partículas que llegan a la cuenca siguiendo el patrón del ciclo hidrológico. (Toussaint Jimenez et al. 2018)



Figura 5. La cuenca como sistema hidrológico



Fuente: (Chow 1994)

La cuenca actúa como un sistema hidrológico, donde se tienen unas entradas y unas salidas definidas en un área específica establecida por la superficie y el parteaguas de la cuenca, en la Figura 5, se identifica que la principal entrada de agua es por medio de la precipitación y la variable de salida en forma de caudal en función del tiempo.

Dependiendo las características de la forma de la cuenca y los eventos climatológicos, se pueden estimar el volumen de agua que circula por los cauces que componen la red de drenaje de la cuenca en un tiempo determinado.

Temez (1991) define el caudal como:

$$Q = \frac{CIA}{360} * k \quad (1)$$

Dónde, Q, es el caudal (m^3/s), C, el coeficiente de escorrentía, I la intensidad de lluvia (mm/h), A, el área de la cuenca (km^2) y K el coeficiente de uniformidad.

Estudiando cada una de las variables que influyen en la determinación del caudal, se encuentra el *coeficiente de escorrentía*, que está en función de uso del suelo y la pendiente media de la cuenca, la cual está establecida por la relación entre la elevación y longitud de la corriente de agua a analizar, siendo además un indicativo de erosión en el suelo producto de la escorrentía superficial. (Toussaint Jimenez et al. 2018)

Por otra parte, la *intensidad* de lluvia se define como el volumen de agua caído por unidad de tiempo y superficie, esta es calculada a partir de la precipitación y un intervalo de tiempo de referencia:

$$I = \frac{\text{Precipitación mensual}}{\text{Días del mes} * 24 \text{ horas}} \quad (2)$$

Continuando con el *área de la cuenca*, se establece por medio de la superficie encerrada por el parteaguas, en la fórmula de Temez (1991) se encuentra limitada hasta una cuenca de 3000 km².

Por último, se debe realizar una corrección dada por el coeficiente de uniformidad:

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14} \quad (3)$$

Donde, T_c es el Tiempo de concentración. (h)

El *tiempo de concentración*, es una variable que surge cuando sobre una superficie es afectada por la precipitación, el intervalo de tiempo que tarda el recorrido del agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de desagüe o de interés. (Vélez y Botero 2011)

De igual manera de diversos parámetros de la cuenca dependiendo la formulación del parámetro, uno de ellos es la *longitud del cauce principal* correspondiente desde el punto de interés de hasta alguna corriente tributaria que aporte al análisis.

Múltiples autores han planteado diversas ecuaciones empíricas en función de características morfométricas y unidades, entre ellas están:

- *Temez (1978):*

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S_0^{0.25}} \right)^{0.75} \quad (4)$$

Dónde: L es la longitud del cauce (km) y S₀ es la diferencia de cotas sobre L (m/m).

- *Johnstone y Cross (1949):*

$$T_c = 5 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.5} \quad (5)$$

Dónde: L es la longitud del cauce (millas), S es la pendiente del canal (ft/millas).

- *Kirpich (1990):*

$$T_c = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (6)$$

Dónde: L es la longitud del cauce en m, S es la pendiente del canal en (m/m).



- *Giandioti (1990):*

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{LS_0}} \quad (7)$$

Dónde: A , área de la cuenca (km^2), L , longitud del cauce (km) y S , diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente (m/m)

- *Bransby-William:*

$$T_c = \frac{FL}{A^{0.1}S_0^{0.3}} \quad (8)$$

Dónde: F , es 58.5 si el área está en km^2 , A , área de la cuenca en (km^2), L , longitud del cauce (km) y S_0 , pendiente del canal (m/km)

- *Soil Conservation Service (S.C.S):*

$$T_c = 0.947 \left(\frac{Lc^3}{H} \right)^{0.385} \quad (9)$$

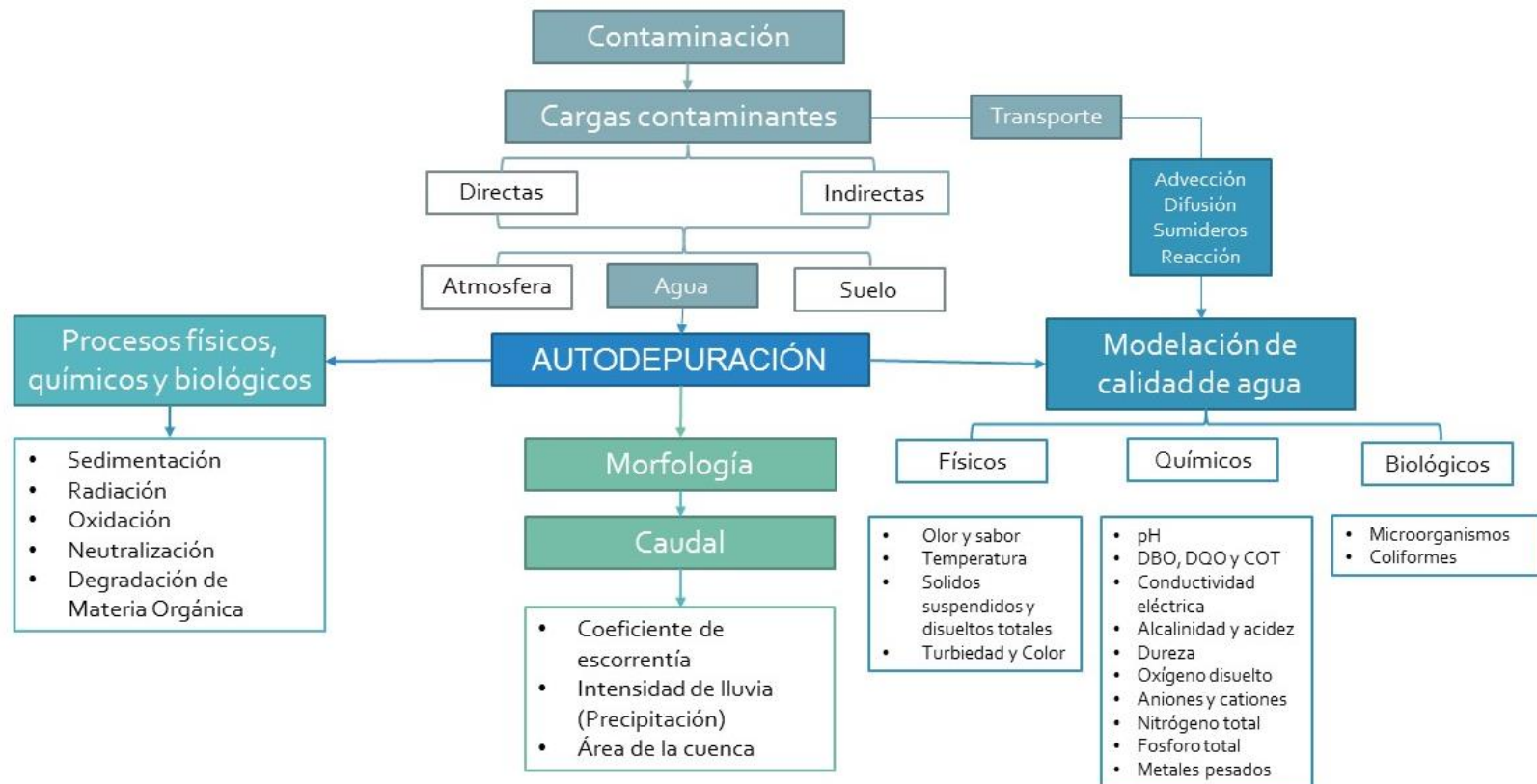
Dónde: L_c , longitud del cauce (km), H , diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente (ft).

Sin embargo, existen otros parámetros que influyen directamente con el análisis del drenaje de una cuenca, por ejemplo *el factor de forma de Horton*, que relaciona el área y la longitud de la cuenca; y *coeficiente de compacidad* realizan un estimativo para indicar cuanta capacidad tiene la zona para contener la precipitación.

En efecto, el caudal es importante al momento de analizar los procesos de autodepuración, debido que al obtener una gran cantidad de volumen de agua, se tiene una mayor velocidad de flujo, por ende existe una reducción en los tiempos de reacción, alterando de manera negativa el proceso de biodegradación, de igual manera si el volumen de agua disminuye, aumentara el tiempo de residencia en el tramo del río teniendo como consecuencia una afectación en las capacidad de dilución y la concentración de los contaminantes aumentara. (Cox y Whitehead 2009)



Figura 6. Mapa conceptual del proyecto.



Fuente propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Modelaciones de Calidad de Agua

Gracias al incremento de enfermedades causadas por los patógenos transmitidos por el agua, los ingenieros civiles se convierten en los principales desarrolladores del diseño urbano de agua y los sistemas de agua residual, instalado plantas de tratamiento, redes de distribución y sistemas colectores, teniendo como objetivo adecuar de manera eficiente una calidad de agua ya sea para consumo humano o para condiciones ecológicas.

Las modelaciones surgen a partir de objetos a escala que representan un comportamiento de un objeto considerable, estos son una versión simplificada de la “formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema físico a estímulos externos” (Chapra. S, 1997) la cual está sujeta a pruebas que pueden ser manera experimental.

Para la realización de un modelo matemático se debe realizar un análisis para determinar las variables que se encuentran en función de otras variables, a partir de la observación general se plantea un modelo que represente generalmente los posibles parámetros que afectan:

$$c = f(W; \text{físicos, químicos, biológicos}) \quad (10)$$

La modelaciones de calidad de agua, son usadas principalmente para obtener la cantidad de contaminantes que presenta una fuente, para establecer su comportamiento se debe analizar desde un punto de balance de masa, en donde permite identificar en función del tiempo lo que sucede en un sistema determinado, el cual se tiene un punto de entrada y otro de salida, de tal forma se cumpla la ley de conservación de la masa:

$$\text{Entrada} = \text{salida} \quad (11)$$

En el estudio del agua, se tiene una acumulación y una generación o consumo de alguna variable específica por lo que la ecuación 11, puede reescribirse como:

$$\text{Entrada} = \text{salida} + \text{acumulación} \pm \sum \text{consumo o generación} \quad (12)$$

Reorganizando:

$$\text{acumulación} = \text{entrada} - \text{salida} \pm \sum \text{consumo o generación} \quad (13)$$



Para realizar matemáticamente como se determina el transporte de los contaminantes en un medio, se debe tener en cuenta los fenómenos que afectan la concentración de los mismos.

La *advección* describe el cambio de la concentración debido al transponerte realizado por la fuerza de caudal que corre por la corriente, sin afectar la composición química. Este tiene como componentes la masa que entra y la que sale por lo tanto aplicando la fórmula 13 se tiene:

$$\text{acumulación} = \text{entrada} - \text{salida} \quad (14)$$

Donde la acumulación está dada por la variación de la concentración con respecto al tiempo, los puntos de entrada y salida estarán bajo la acción del perfil de velocidad (v), realizando el análisis en una sola dirección se tiene:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v \frac{\partial C}{\partial x} \quad (15)$$

Por otro lado, se encuentra la *difusión*, que a diferencia de la advección el movimiento de los contaminantes rigen un el fenómeno difusivo, es decir, al azar, por ende estará determinado por las propiedades fisicoquímicas del compuesto a través de un coeficiente de difusión (D):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (16)$$


Este coeficiente de difusión está establecido por:

$$D_{AB} = 7.4 \times 10^{-8} \left[(\varphi \mu_B)^{0.5} \frac{T}{\eta_B v_A^{0.6}} \right] \quad (17)$$

Dónde: D_{AB} , es el coeficiente de una sustancia A, dentro de un solvente B, φ , es un parámetro asociado al solvente, en este caso esta expresado con el sub-índice B, en este caso se refiera al agua con valor de 2.6, η_B la viscosidad del solvente, μ_B el peso molecular del solvente, T, la temperatura en Kelvin y v_A es el volumen molar de la sustancia A.

Sin embargo, (Chapra 1997), expone que el coeficiente de proporcionalidad de transporte se encuentra función de la ambientes morfológicas, dependiendo el tipo de “canal” y la condiciones de flujo que se esté analizando:

$$D = 0.058 \frac{Q}{SB}; \quad \text{Froude} = \frac{U}{\sqrt{gH}} < 0.5 \quad (18)$$

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <hr/> <p>DIRECTOR: Ph.D. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR. Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

$$D = 0.011 \frac{U^2 B^2}{HU^*} \quad Froude > 0.5 \quad (19)$$

De modo que: Q, es el caudal promedio, U, la velocidad, B, el ancho del canal, H, la profundidad promedio, S, la pendiente y g la gravedad. Además se aplica el término de velocidad corte definida por la siguiente formula:

$$U^* = \sqrt{gHS} \quad (20)$$

En base a los anteriores modelos se aplica un caso donde tanto la velocidad y el fenómeno difuso hacen parte del modelo, descrito en la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v \frac{\partial C}{\partial x} - D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (21)$$

Además de la difusión y a la convección, se tiene la presencia de puntos en los cuales puede dar un aporte o un consumo de concentraciones de contaminantes, estos se denominan *sumideros*.

Hay que mencionar, además de cambios por el transporte, la variación por reacción, sea química, física o biológica en la cual a diferencia de la advección y la convección existe una reacción química.

De acuerdo a las afectaciones mencionadas anteriormente, se define a través del balance de masa la ecuación de transporte de compuestos no conservativos (Deen [sin fecha]), en una sola dirección:


$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v \frac{\partial C}{\partial x} - D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + S - r \quad (22)$$

Dónde: S son los sumideros, y r las reacciones causadas por los parámetros de calidad.

Para comprender mejor la influencia de los parámetros de calidad de agua mencionados anteriormente, los modelos matemáticos realiza una interconexión de al manera se explique los procesos de una manera más de acuerdo a la situación actual y con la precisión adecuado. Esto se ve reflejado en la parte de las reacciones en la ecuación de transporte, en las propiedades químicas, físicas y biológicas para el análisis de fuentes de agua natural. (Ver Anexo 1)

7.1.1. Importancia del oxígeno disuelto en el proceso autodepurativo.

El oxígeno se convierte en un elemento clave para el proceso de autodepuración, la literatura evidencia que “una evaluación cuantitativa del contenido de oxígeno en

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

un curso de agua es sinónimo de una descripción completa de la evaluación de su proceso de autodepuración” (Molero Fernandez, Saez Mercader y Soler Andres 2011), este establece por medio de un balance en el cual implica un aporte dado por actividades de *re-aireación*, la cual se define por la incorporación de oxígeno de la atmosfera a la corriente del río (Salles, Bredeweg y Araújo 2006) y la fotosíntesis; y disminución por la respiración y la biodegradación, el análisis se realiza a través de las velocidades de consumo y de producción en donde un exceso en el consumo trae consigo una disminución en la vida de los organismos.

Esta propiedad se ve afectado por múltiples factores, debido a que este presenta una alta sensibilidad gracias a la baja solubilidad en el agua, por ejemplo la temperatura y las sales, influyen en dicha solubilidad.

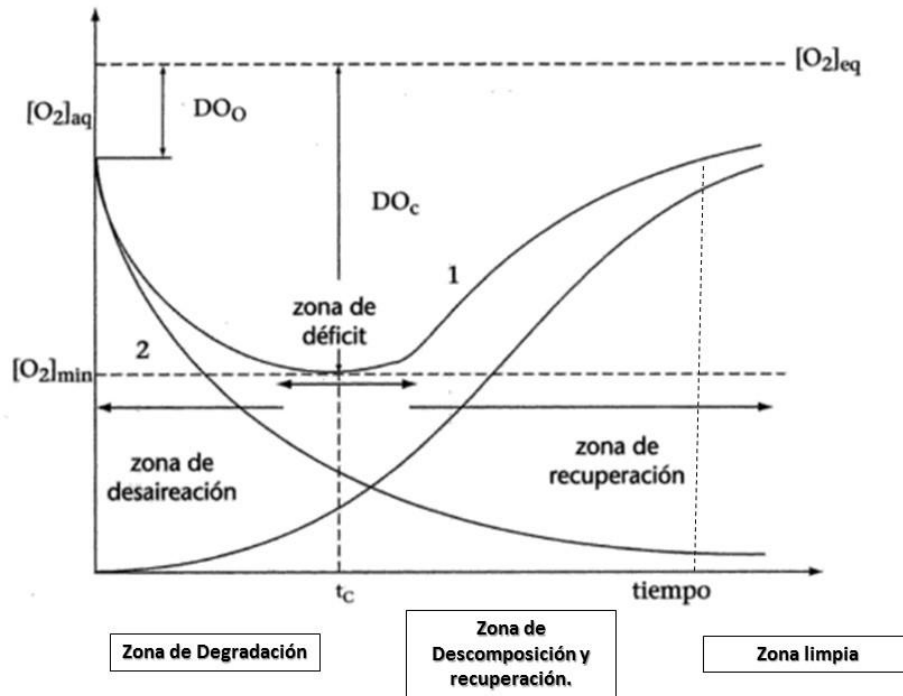
La presencia de detergentes e hidrocarburos impiden la absorción del oxígeno en el líquido impidiendo la entrada de luz y la función clorofílica. Además la existencia de concentraciones de materiales tóxicos ocasiona muerte de especies, la disminución de la fotosíntesis y afectaciones en el pH del agua.

Para evaluar el contenido de oxígeno en una corriente se realizan curvas de dispersión de oxígeno las cuales estas afectadas por las acciones de los factores mencionados anteriormente, esta variación actúa dependiendo la carga contaminante que se esté analizando, para la construcción de esos gráficos se debe tener en cuenta las características morfométricas de la cuenca, el caudal y la temperatura.


Además de tener resultados del comportamiento del oxígeno a través de tiempo o la distancia, también se pueden determinar las zonas de autodepuración mencionadas anteriormente como indica la Figura 6, en donde DO, significa la demanda de oxígeno, y el sub-índice *c*, la condición crítica.



Figura 7. Curva de depresión del oxígeno.



Modificado de: (Domènech y Peral 2006)

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

8. MARCO LEGAL

Hablar de la legislación colombiana y el derecho del recurso hídrico, con su respectiva evolución histórica y la adopción de los nuevos reglamentos que van desde las disposiciones sobre conservación y protección de las aguas, hasta otorgamientos de concesiones, clasificación de aguas y procedimientos de potabilización y suministro de agua para consumo humano, entre otros.

Los primeros documentos en ser expedidos por el Ministerio en relación del manejo del agua, fueron en 1996, exponiendo la estrategia nacional del agua, en donde “el ministerio definió las bases y los objetivos para manejar la oferta nacional del agua y atender los requerimientos sociales y económicos del desarrollo en términos de cantidad, calidad y distribución espacial y temporal”. (Toro [sin fecha])


Sin embargo, pero con la llegada del nuevo orden constitucional de 1991, comenzó un cambio en la gestión ambiental pública, por lo cual se expidió la Ley 99 de 1993 que incluyó la creación del Ministerio del Medio Ambiente.(Congreso de Colombia 1993)

Es así como el plan nacional de desarrollo (PND) a partir de la Ley 1151 de 2007 incorporó como una de sus líneas de acción la denominada Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), estableciendo una Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, con el objetivo de orientar la planificación, administración, seguimiento y monitoreo del recurso hídrico a nivel nación, resultado del trabajo coordinado entre el Ministerio de ambiente, el DNP y el IDEAM, así como de la participación de otros actores relevantes. (Viceministerio de Ambiente 2010)

En este orden de ideas, la evolución de la legislación colombiana sobre el manejo de los recursos hídricos es muy dispersa y ha seguido, por una parte, la misma trayectoria de las corrientes de pensamiento que en la materia se han manifestado en el mundo, y por otra, ha respondido en parte a los enfoques de solución de necesidades que en el país se han presentado con relación a la misma.


Sin embargo, existe una ineficacia parcial de las normas para prevenir la destrucción y contaminación de las aguas y por ende del medio ambiente. De tal forma la expedición de las normas ambientales no ha implicado necesariamente que estas se hayan cumplido íntegramente, ni que hayan cumplido los efectos que se han perseguido con su formulación.

En lo concerniente, cabe señalar que el Ministerio del Medio Ambiente “estableció la norma de vertimientos, la Resolución 0631 de 2015 reglamenta el artículo 28 del

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><u>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</u></p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	--

Decreto 3930 de 2010 y actualiza el Decreto 1594 de 1984 (vigente desde hace 30 años)” (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2015), en la cual esta permite el control de las sustancias contaminantes, a partir de la medición de la concentración de las sustancias descargadas a los cuerpos de agua a causa de la actividad antropogénica del país.

Es por ello que las autoridades, deben realizar un seguimiento y control por medio de los permisos de vertimientos con el fin de disminuir y mitigar el impacto ambiental que se está generando por las actividades industriales, comerciales o de servicios.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

9. ALCANCES Y LIMITACIONES

9.1. Alcances

Se desarrollará la formulación de un índice global que permita la estimación del potencial de autodepuración a partir de la importancia de la correlación entre características hidro-topográficas de ríos de montaña con sus parámetros de calidad de agua, con base a estudios previos de modelaciones matemáticas de dicho fenómeno, con el fin de establecer una herramienta que ayude a la visualización gráfica y global de los tramos en estudio, de tal forma sirva como instrumento para la gestión integral del recurso hídrico cumpliendo las fases de recolección y proceso de datos, la formulación del modelo, con su respectiva expresión matemática y un análisis de validez para su comprobación. .


La validación y aplicación del estudio se realizó a partir de información contenida, a través de campañas de medición apoyadas por el semillero de investigación aprobado por la universidad de “*Desarrollo de una metodología para la evaluación del potencial de autodepuración de corrientes superficiales a nivel de cuenca*”, en el Rio Tunjuelo de carácter plano, en un tramo comprendido en el sector de Bosa; y modelaciones de calidad de agua en la fase revisión de literatura aportadas por la corporación autónoma regional de Cundinamarca CAR, en sus boletines de calidad hídrica mensuales y la evaluación regional del agua, para la cuenca del Rio Sumapaz con sus principales afluentes, cuya topografía varía en cada uno de sus tramos.

9.2. Limitaciones

La principal limitación metodológica se encuentra vista por los estudios previos a la investigación debido a la falta de datos o de confiabilidad en los muestreos, adicionalmente, múltiples investigaciones difieren en diversos parámetros por lo que se opta en hacer una recopilación de la mayor información posible, teniendo en cuenta las bases de datos nacionales de corporaciones, internacionales y literatura.

Por otra parte, se pueden tener efectos longitudinales expresados en el tiempo, debido a que la modelación de cualquier fenómeno conlleva una serie de procesos para la validación, de igual manera en no encontrar una relación tangible entre el IGAP y los parámetros hidro-topográficos.

Se limitará a la aplicación de variables físicas y químicas, y no se incluirán variables biológicas en el proceso.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

10. METODOLOGÍA

A continuación, se mencionará la metodología utilizada para la propuesta de la modelación a través de trabajo en campo y oficina aplicado en tres fases de estudio, el cual será complementado mediante un diagrama de flujo para el seguimiento de las diferentes actividades planteadas:

10.1. Revisión de los ejercicios de modelación de calidad de aguas en ríos de montaña

- *Revisión de modelados de calidad de agua calibrados y validados en ríos de montaña principalmente en Colombia:* El primer paso consistió en la búsqueda de artículos científicos y documentos oficiales en las entidades ambientales de los ejercicios de modelación de calidad de agua en los ríos de montaña principalmente de la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca), con el fin de delimitar un área en estudio específica, teniendo en cuenta los parámetros críticos e hidro-topográficos principales.
- *Filtrado de los estudios encontrados:* Luego se seleccionó los estudios de modelación con la información más relevante y completa, además se aplicará la rigurosidad en la discretización en el espacio, medición de los parámetros de interés y disponibilidad de información hidro-topográfica de los estudios, a partir de la realización de una base de datos mediante Access y ArcGIS, teniendo en cuenta un modelo de entidad-relación para la creación del SINCAP, sistema de información de la capacidad autodepurativa .

10.2. Formulación de un índice global de autodepuración

- *Planteamiento del índice global de autodepuración:* De acuerdo con los estudios previos acerca del potencial de asimilación de los ríos, se seleccionó la investigación realizada por (Wei et al. 2009) que establece una formulación empírica del índice, siendo el punto de partida para el desarrollo matemático del índice, el cual es modificado a partir de la influencia de los parámetros como la constante de reacción, la velocidad de flujo y la longitud del tramo, además teniendo en cuenta el cálculo del porcentaje de recuperación o disminución de los parámetros fisicoquímicos seleccionados (oxígeno disuelto, pH, DQO, COT, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, conductividad, sólidos disueltos) en función del objetivo de calidad que se desea alcanzar en la fuente. Este procedimiento se calculó con el valor del parámetro al inicio y al final de los tramos de los ríos estudiados.

Es decir, el índice global se planteó como una función en relación con las siguientes variables:

$$IGAP = f(C_{io}, C_{is}, x_i, k_i, Q, v, L, etc) \quad (23)$$

Donde IGAP es el índice global de autodepuración, C_{io} es la concentración encontrada de cada parámetro i en el tramo estudiado, C_{is} es la concentración máxima permisible del parámetro i dependiendo el objetivo de calidad del río, x_i peso de importancia de cada parámetro, k_i tasas de reacción de primer orden de cada parámetro, v es la velocidad promedio en el tramo, L es la longitud del tramo, Q es el caudal.

Con las capacidades de auto-purificación encontradas para cada indicador de calidad en el punto anterior se integrarán en un solo índice, considerando un peso de importancia de cada parámetro físico-químico con base al índice de calidad de agua (ICA). Además, teniendo en cuenta los usos del agua, se planteó una escala para la calificar como mal, regular, bueno o excelente el potencial de autodepuración global de los ríos.

10.3. Aplicación del modelo planteado

- *Aplicación del índice establecido a un caso de estudio:* Una vez formulada la ecuación, se define la fase de validación del modelo, aplicando dos análisis de información a partir de datos de ejercicios de monitoreos de una cuenca en específico, en este caso de la cuenca del río Sumapaz de la jurisdicción de la CAR y otra con datos campo del Río Tunjuelito en la altura del barrio de Bosa, dónde se realizó mediciones de calidad de agua teniendo en cuenta los métodos estándar para la recolección, preservación y análisis de muestras en aguas como lo indica la Tabla 4, así como la determinación de las características hidro-topográficas de la fuente.



Tabla 4. Parámetros de calidad de agua a utilizar en el estudio.

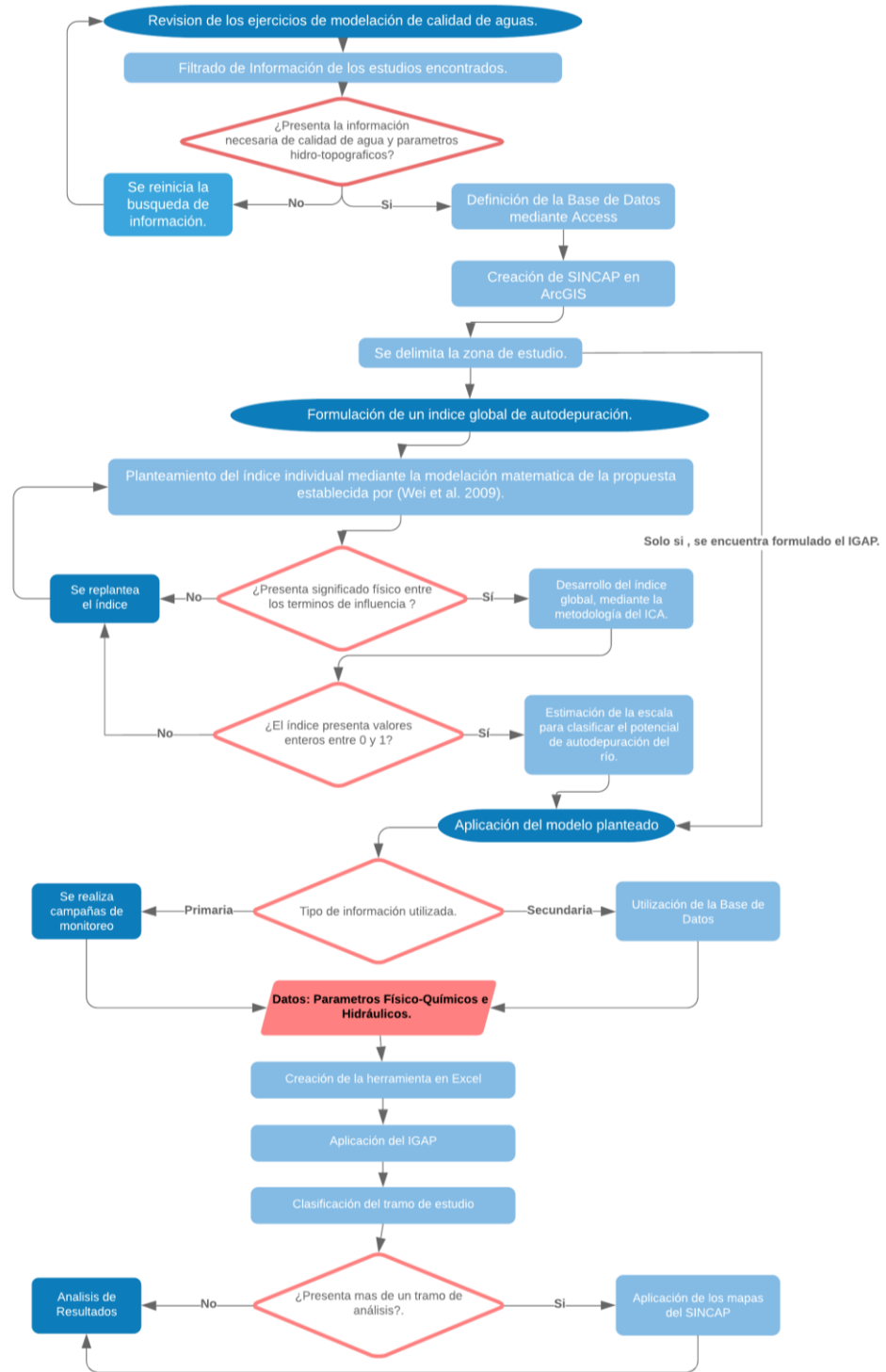
Parámetro	Unidad	Técnica analítica	Método Estándar
Temperatura	°C	Termometrico	SM 2550 B
pH	Unidades	Electrometrico	SM 4500H+ B
Conductividad	uS/cm	Electrometrico	SM 2510 B
DBO-5	mg/L O2	Prueba de 5 dias	SM 5210 B, SM 4500 O-G
DQO	mg/L O2	Reflujo abierto	SM 5220 C
Oxigeno disuelto	mg/L O2	Modificacion azida/ electrodo de membrana	ISO 17289: 2014
Acidez	mg/L CaCO3	Titulacion potenciometrica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad	mg/L CaCO3	Titulacion potenciometrica	SM 2320 B
Cloruros	mg/L Cl	Nitrato de mercurio	NMX-AA-073-SCFI-2001
Nitratos	mg N/L NO3	Acido cromotropico	SM 4500 NO3 - B
Nitritos	mg/L NO2	Colorimetrico	SM 4500 NO2 - B
Nitrogeno Amoniacal	mg NH3/L	Nesslerizacion	SM 4500 NH3 -B,F
Fosforo total	mg P/L	Acido ascorbico	SM 4500 P-E
Fosforo orto	mg P/L	Acido ascorbico	SM 4500 P E
Solidos Suspendidos totales	mg/L	Secado a 103-105°C	SM 2540 D
Solidos totales	mg/L	Secado a 103-105°C	SM 2540 G
COT	mg de C/L	Oxidación con persulfato/radiación UV	SM 5310 C
Coliformes totales	NMP/100ml	Sustrato definido	SM 9223 B

Fuente propia.

- *Clasificación del río del caso de estudio:* Con la caracterización de los ríos seleccionados, se calculó el índice global de autodepuración para cada tramo discretizado, en donde se situó en la clasificación desarrollada, dependiendo la cantidad de tramos evaluados se aplicó el modelo de mapa del SINCAP y para plantear las acciones de mejora para la calidad del agua en caso de ser necesarias.



Figura 8. Diagrama de flujo del proceso metodológico



Fuente Propia.

11.RESULTADOS

Para la formulación de un modelo matemático, se debe realizar en diversas fases como lo indica (Bugeda Sanchíz 1975), en donde inicialmente se define el problema a resolver, en este caso la modelación de la capacidad auto-depurativa de los ríos de alta montaña, seguida de una recolección y proceso de datos empíricos que establezcan una hipótesis que determine cómo se comporta la realidad y su conexión con el sistema que se plantea para la solución de la problemática.

Luego, se realiza la formulación del modelo, con su respectiva selección de variables relevantes y la expresión matemática que relaciona estos componentes, siendo completada a partir de la especificación de los parámetros necesarios para cumplir los requisitos que presenta la ecuación y la formulación dada por un programa que más adelante establezca un análisis de validez para su comprobación.


Estos pasos son desarrollados a partir de la metodología planteada:

11.1. Recolección y proceso de información:

Determinar la calidad del agua se convierte en un proceso sumamente necesario para describir el estado de los recursos hídricos, es por ello que actualmente se utilizan diversas herramientas que permiten identificar el comportamiento de los contaminantes dentro de una fuente, la información contenida y recolectada en diversas bases de datos atribuye a la tarea investigativa para la formulación de modelos.

El primer paso consistió en una recolección de información de datos secundarios, es decir de investigaciones e informes de ejercicios de modelación de calidad de agua y/o de campañas de monitoreo teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos. Para el estudio se enfocó en los siguientes indicadores: pH, conductividad, oxígeno disuelto, DBO, DQO, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fosforo disuelto, los sólidos suspendidos totales y la temperatura, estos factores fueron seleccionados a partir de los antecedentes previamente consultados que exponen una correlación entre el parámetro y la capacidad auto-depurativa de los ríos.

Adicionalmente, estos datos deben involucrar ciertos elementos, además de los indicadores de calidad (parámetros), entre ellos están las condiciones naturales o referencia del agua, es decir que presente una descripción cualitativa del cuerpo de agua a analizar con información de las principales usos, oferta y demanda hídrica,

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

topografía del sector y ubicación geoespacial, de igual manera debe incorporar los criterios de control establecidos en el monitoreo o recolección de muestras así como su “representatividad del espacio-temporal y la metodología”(Sánchez Ramos 2016) para evitar que la información recolectada no presente alta incertidumbre al momento de modelar la capacidad del río, y por último que presente un acercamiento a los objetivos de calidad en relación con las actividades previstas en la fuente.

Es por ello, que se recurre en primera instancia a artículos científicos de investigaciones realizadas en Colombia, de fuentes de agua con diversas problemáticas, en la cuales se llegó a trece (13) estudios donde los datos recolectados eran los más completos en relación a los criterios de búsqueda planteados anteriormente, sin embargo parte de los estudios se enfocaban en un parámetro en específico, lo que realizar un análisis global con esta información conllevaría a no describir correctamente la capacidad autodepurativa de la fuente.

La Tabla 5, exponen los artículos investigados con sus respectivos parámetros, información y la cantidad de puntos que presenta en el tramo, esta informe se encuentra en el anexo 2.

De acuerdo a esto, se opta por investigar en documentos oficiales de las entidades ambientales, llegando principalmente a la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca), la cual presenta un sistema de monitoreo de calidad de agua en los ríos de su jurisdicción cuyos datos son publicados mediante diversos métodos como los boletines informativos mensuales.

Anualmente la corporación realiza un proceso dinámico de los datos recolectados en donde se procesa, analiza y elaboran indicadores de estado con el fin de cubrir aspectos relativos en función al uso del agua, como su oferta, disponibilidad espacio-temporal, demanda amenazas dentro de la fuente y la calidad del recurso (Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 2013), estos resultados son publicados mediante la Evaluación Regional del Agua (ERA) con el propósito de permitir a los usuarios o autoridades ambientales tomar decisiones al momento de otorgar cualquier permiso para la utilización del cauce, además de fomentar el control, evaluación y seguimiento ambiental del recurso.

De modo que se decide utilizar los datos que provee este documento, que en particular presenta una información completa de cada uno de los parámetros de búsqueda establecidos en el proyecto.



Tabla 5. Modelaciones Investigadas.

MODELACIONES DE CALIDAD INVESTIGADAS					
N°	RIO	Cantidad de Puntos	Características Hidrotopográficas	Características Físico-químicas	TITULO DEL DOCUMENTO
1	Quebrada Fucha	18	Longitud, Caudal, Pendiente.	Temperatura, Oxígeno Disuelto, DBO, DQO, Fósforo disuelto, Alcalinidad, pH, Sólidos Totales, Conductividad	Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo
2	Río Botello	27	Caudal	Oxígeno Disuelto, DQO, Fósforo disuelto, Nitratos, pH.	Modelación hidrodinámica y determinación de la calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia
3	Quebrada La Cristalina	10	Longitud, Caudal, Velocidad, Profundidad.	Temperatura, Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad	CALIDAD DEL AGUA DE LAS QUEBRADAS LA CRISTALINA Y LA RISARALDA, SAN LUIS, ANTIOQUIA
4	Quebrada La Risaralda				
5	Quebrada La Popala	8	Longitud	Temperatura, Oxígeno Disuelto, Nitratos, Nitritos, Fósforo disuelto, Alcalinidad, pH, Sólidos Totales, Sólidos Suspendedos Totales, Conductividad	Quebrada La Popala: un análisis de calidad del agua desde algunas variables físico-químicas, microbiológicas y los macroinvertebrados acuáticos
6	Río Jordan	30	Longitud, Caudal.	Temperatura, Oxígeno Disuelto, DBO, Nitratos, Fósforo disuelto, pH, Conductividad	MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES Y LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA DEL RÍO JORDÁN, JAMUNDÍ (VALLE DEL CAUCA)
7	Río Subachoque	64	Longitud, Caudal, Profundidad, Ancho, Pendiente	Temperatura, pH, Sólidos Suspendedos Totales y Conductividad.	ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE Y DECAIMIENTO DE ORGANISMOS PATOGENOS EN RÍOS DE MONTAÑA COLOMBIANOS RIO TEUSACÁ, RIO SUBACHOQUE
8	Río Teusacá				
9	Río Negro	25	Ninguna	Temperatura, Saturación de Oxígeno, DBO, Nitratos, Fósforo Disuelto, pH, Sólidos Totales.	EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO NEGRO Y SUS PRINCIPALES TRIBUTARIOS EMPLEANDO COMO INDICADORES LOS ÍNDICES ICA, EL BMWP/COL Y EL ASPT
10	Río Azul	6	Longitud, Caudal, Velocidad, Profundidad, Pendiente	Temperatura, Oxígeno Disuelto, DBO, DQO, pH, Sólidos Totales, Sólidos Suspendedos Totales	MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RIO AZUL, MUNICIPIO DE PIJAO DEPARTAMENTO DEL QUINDIO
11	Río Frio	16	Longitud, Caudal	Temperatura, Oxígeno Disuelto, Nitratos, Nitrogeno Total, Nitritos, Alcalinidad, pH, Sólidos Suspendedos Totales, Conductividad	MODELACIÓN DEL ASIMILADO DE LA CARGA ORGÁNICA EN EL TRAMO DE RIO FRIO (PTAR RIO FRIO - LA AFLUENCIA CON RIO ORO), MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA QUAL2Kw (EPA), EN ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB
12	Río Guacaica	22	Longitud, Caudal, Velocidad, Ancho, Pendiente	Temperatura, Oxígeno Disuelto, Nitratos, Nitrogeno Total, Nitritos, Fósforo disuelto, Alcalinidad, pH, Sólidos Suspendedos Totales, Conductividad, Sólidos Totales	APLICACIÓN DEL QUAL2Kw EN LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GUACAICA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA
13	Quebrada Olivares				

Fuente propia.



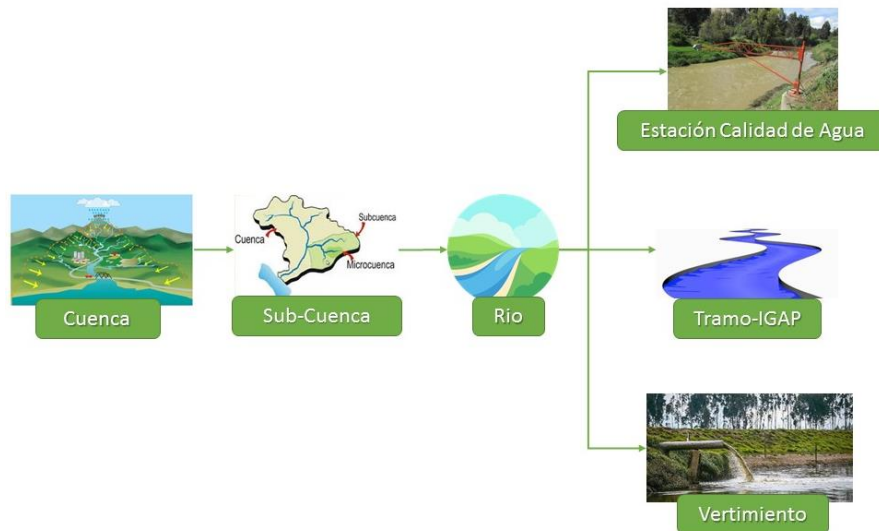
En búsqueda de tener los datos recolectados de una manera óptima y almacenar los datos únicamente necesarios, se procede a la construcción de un modelo de datos, con el fin de tener una descripción y relación entre ellos que permita formular una suposición del comportamiento que tienen estos valores en función del problema a resolver.

Este se realiza mediante un modelo relacional de datos, en el cual se materializa la información a través de tablas que representan una *entidad* y cada entidad estará definida por una serie de características representadas en las columnas nombradas como *atributos*.

La mayor parte de los datos abiertos de instituciones oficiales presentan su previo desarrollo del modelo, en el cual ya establecen cada una de las entidades necesarias para organizar los registros que llegan a sus bases de datos, por lo que se basó en el Sistema de Información del Recurso Hídrico, SIRH, para definir el modelo utilizado para la formulación del índice global de autodepuración.

Para ello, se fijó cada una de las entidades relevantes del proyecto, con el fin de crear el SINCAP, el sistema de información de la capacidad autodepurativa:

Figura 9. Entidades del modelo de datos.



Fuente propia.

En primer lugar se tendrá la “cuenca” y la “sub-cuenca”, que vendrá siendo el componente general en el recurso hídrico, la cual contendrá información básica como atributo, seguida por la entidad del río, que especificará de manera más puntual las características que este presenta, en especial las hidro-topográficas y el



objetivo de calidad planteado, a partir de ella se tendrán en cuenta como entidades la “estación de calidad de agua” que proveerá el componente de parámetros fisicoquímicos, “tramo IGAP” el cual será el resultado final calculado para un tramo en específico y “vertimientos” como ente complementario para analizar la posible influencia en el cauce.

A cada una de las anteriores entidades se estableció los atributos necesarios:

Tabla 6. Atributos del modelo de datos.

CUENCA	SUB CUENCA	RIO	VERTIMIENTO	CALIDAD	TRAMO IGAP
ID_Cuenca	ID_SubCuenca	ID_Rio	ID_Vertimiento	ID_PuntoCalidad	ID_TramoIGAP
Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre
Extension (m2)	Extension (m2)	Descripcion	Tipo de Vertimiento	Caudal (m3/s)	IGAP
	ID_Cuenca	Tipo	Frecuencia	Conductividad (µs/cm)	Clasificación IGAP
		Oferta Hidrica	Permiso de Vertimiento	Oxigeno Disuelto (mg O2/L)	Caudal (m3/s)
		Demanda Hidrica	Caudal (m3/s)	DBO (mgO2/L)	ID_Rio
		Clase	Conductividad (µs/cm)	DQO (mgO2/L)	
		Caudal (m3/s)	Oxigeno Disuelto (mg O2/L)	NO3 (mg/L)	
		Ancho (m2)	DBO (mgO2/L)	NO2 (mg/L)	
		Profundidad (m)	DQO (mgO2/L)	NH4 (mg/L)	
		Pendiente	NO3 (mg/L)	SST (mg/L)	
	ID_SubCuenca		NO2 (mg/L)	Fosforo Disuelto (mg/L)	
			NH4 (mg/L)	Temperatura (°C)	
			SST (mg/L)	ID_Rio	
			Fosforo Disuelto (mg/L)		
			Temperatura (°C)		
			ID_Rio		

Fuente Propia

Para la primera y la segunda entidad, se consideró necesario únicamente el nombre y la extensión (área) que contienen, mientras que la siguiente “río”, tendrá información hidro-topográfica de la zona adicionalmente la oferta y demanda que tiene este cauce para poder determinar sus posibles usos y establecer la clase en la cual se rige su objetivo de calidad.

Las entidades de “calidad” y “vertimiento” presentaran los parámetros fisicoquímicos además de complementar la información del tipo, frecuencia y permiso de vertimiento, por último, el “tramo IGAP”, definirá el resultado del cálculo para cada zona especificada.

Para establecer la relación entre cada una de las entidades se define la clave principal, en la cual es el identificador de cada objeto y la llave foránea, que permite relacionar las dos entidades siendo una principal en otra entidades y que puede ser repetida en otra, estableciendo la restricción por cardinalidad dada en el modelo entidad-relación.

Este modelo es realizado mediante Access, en donde se fija y ordena cada uno de los atributos para la base de datos del IGAP, para ello, se define cada una de las tablas en función de su entidad:

Figura 10. Tablas creadas en Access.



Fuente propia.

A cada entidad, en vista diseño, se le agregará todos los atributos establecidos anteriormente, en el cual se tendrá en cuenta la fijación de las llaves principales y foráneas presentes, además del tipo de dato, es decir su dominio, para identificar como ser ingresado el registro en cada campo en la tabla.

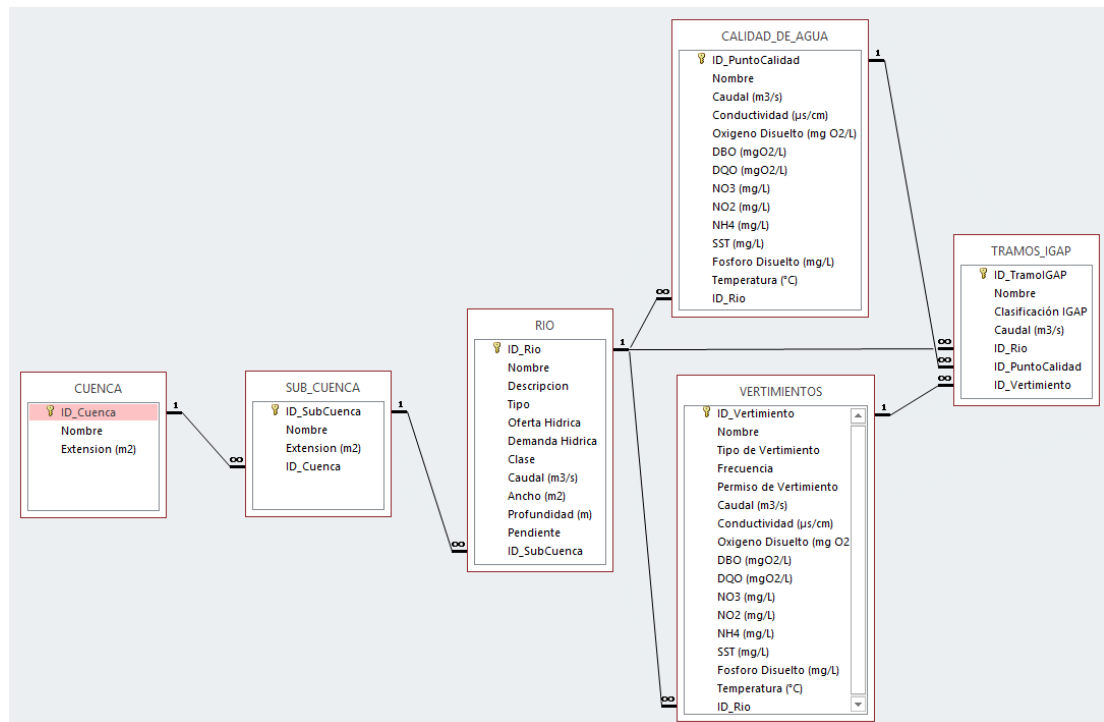
Figura 11. Definición de los atributos en Access.

CALIDAD_DE_AGUA	
Nombre del campo	Tipo de datos
ID_PuntoCalidad	Autonumeración
Nombre	Texto corto
Caudal (m3/s)	Número
Conductividad (µs/cm)	Número
Oxígeno Disuelto (mg O2/L)	Número
DBO (mgO2/L)	Número
DQO (mgO2/L)	Número
NO3 (mg/L)	Número
NO2 (mg/L)	Número
NH4 (mg/L)	Número
SST (mg/L)	Número
Fosforo Disuelto (mg/L)	Número
Temperatura (°C)	Número
ID_Rio	Número

Fuente propia.

Repitiendo el mismo procedimiento a cada una de las tablas, se realiza la respectiva relación entre cada una de ellas, determinando la unión por medio de las llaves foráneas y principales, en donde se tiene:

Figura 12. Modelo Entidad-Relación en Access.



Fuente propia.

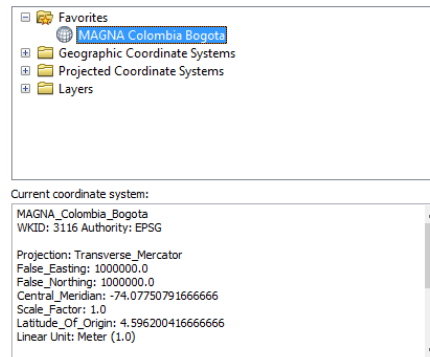
Al observar el anterior gráfico, se analiza una relación de cardinalidad de uno (1) a varios, esto se debe a que en una cuenca, pueden existir múltiples sub-cuencas, y en ella pueden haber varios ríos y así sucesivamente, con lo cual la información se relaciona hasta llegar al punto de establecer los tramos del IGAP, y poder realizar un estudio en su componente más general.

Definida la base de datos del SINCAP, se procede a la unificación de los elementos representativos con un componente geográfico, esto puede realizarse por medio de tres tipos básicos: puntos, líneas y áreas, que varían “dependiendo del grado de especificidad que se requiera y de la funcionalidad que tendría la información” (Ministerio de Transporte 2018), en este caso, contemplará elementos tipo polilínea y punto, debido a que se requiere identificar estaciones y los tramos donde está calculado el IGAP, para ello se realizará mediante el programa ArcGIS.

El primer paso consistió en definir el sistema de referencia espacial, el cual refiere a la representación de las ubicaciones reales sobre un sistema de coordenadas, de acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en la resolución 068 de 2005 establece que el sistema utilizado para el país de Colombia sea el MAGNA-

SIRGAS. Debido a la localización de los datos en el departamento de Cundinamarca, se define como MAGNA Colombia Bogotá.

Figura 13. Sistema de coordenadas en ArcGIS para el SINCAP



Fuente Propia.

Luego se procede a conectar la base de datos de Access al sistema de ESRI, compilando la información en el formato Shapefile (SHP), seleccionando las capas a reportar según su elemento representativo. A continuación se relacionan los elementos con su respectivo nombre y archivo asociado:

Tabla 7. Capas a reportar en ArcGis.

Elemento	Nombre de los archivos SHP	Tipo de geometría
CUENCA	Cuenca	Polígono
SUB CUENCA	Sub_Cuenca	Polígono
RIO	Río	Polilínea
VERTIMIENTO	Vertimiento	Punto
CALIDAD DE AGUA	Calidad_de_Agua	Punto
TRAMO IGAP	Tramo_IGAP	Polilínea

Fuente propia.

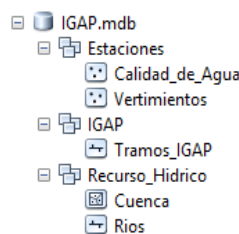
Los registro de la capa *CUENCA*, *SUB CUENCA* y *RIO* deben ser cargados mediante la información recolectada de las corporaciones autónomas, la cual permita identificar correctamente la distribución de establecida por las autoridades ambientales.

En la capa *VERTIMIENTO* y *CALIDAD DE AGUA*, se almacenará los puntos de referencia de los principales sitios de control de los parámetros de calidad de agua, varios de estos puntos son previamente definidos por las corporaciones e instituciones ambientales como el IDEAM y documentos oficiales como el POMCA.

La capa TRAMO IGAP, deberá unir los puntos de calidad de agua, digitalizados en el sentido del flujo del agua, de tal forma pueda identificar y calcular correctamente si existió una disminución de los parámetros, de igual manera trazar los tramos permitirá observar la influencia con sitios donde se realizan vertimientos.

Una vez delimitada cada una de las capas, se introduce la base de datos, que en ArcGis será la denominada como *geodatabase*, clasificada en 3 *datasets*, es decir en tres grandes aspectos o tipos, *estaciones*, *IGAP* y *recurso hídrico*, que contendrán *feature classes*, que serán las capas estructuradas en la Tabla 7.

Figura 14. Geodatabase SINCAP en ArcGIS



Fuente Propia.

La incorporación de datos se realizará en la sección de análisis de caso de estudio del presente documento.


11.2. Planteamiento del índice.

Definir un índice permite valorar globalmente un fenómeno, además de posibilitar una comparación directa entre los valores obtenidos y la definición del estado en el cual se puede encontrar dicho elemento en estudio, por ello mediante el IGAP se desea es la representación del grado de autodepuración de un río, el cual proporcione un análisis de varios parámetros enfocados en alcanzar una reducción o un objetivo de calidad.

Como se indicó en los antecedentes, son limitados los estudios que proponen una metodología para efectuar la capacidad auto-depurativa de un río, sin embargo (Wei et al. 2009), establece un acercamiento a un modelo matemático, el cual está dado por:

$$W = Q(C_s - C_o) + K C_s \left(\frac{L}{U} \right) Q \quad (24)$$

Dónde: W es la capacidad de auto-purificación del agua de un segmento de río, mientras que Q es el caudal del segmento analizado, Cs es la guía de calidad del agua o el objetivo de calidad, Co es la concentración del contaminante de entrada,

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR. Director trabajo de Grado</p>
---	--	---

L es la longitud del segmento del río, U es la velocidad del flujo y K es la velocidad de descomposición de los contaminantes.

Este modelo permite definir la interpretación y predicción de la respuesta de un río cuando en él, ingresa una carga contaminante. El primer componente establece la cantidad de masa que debe ser removida, la diferencia entre las concentraciones delimita el exceso del parámetro en análisis que genera la polución y el caudal el flujo que presenta el cauce.

El segundo término, presenta la constante de reacción, por ende este corresponde a la capacidad de remoción de ese parámetro en función de la longitud del tramo, es decir, a mayor longitud, mayor remoción del parámetro de tal forma cumpla con el objetivo de calidad.

Uno de los inconvenientes de la formula se debe a que expone un potencial por cada elemento, por lo tanto existirá un sin número de valores dependiendo el estudio que se desee realizar, perdiendo la valoración global para el fenómeno.

De igual manera al efectuar el respectivo análisis dimensional se obtiene que el potencial calculado es definido como una tasa de carga másica, es decir la variación de la masa con respecto al tiempo, en este caso en un tramo definido, sin embargo, no converge a un valor global para su respectiva comparación.

De manera que, la formula anteriormente presentada será el punto de partida para la modelación matemática del índice global de autodepuración.

11.2.1. Selección de parámetros

Partiendo de la ecuación de (Wei et al. 2009), se establece los parámetros relevantes para la formulación del IGAP, es este caso:

$$IGAP = f(\Delta C, L, Q, U, K, C_s) \quad (25)$$

El elemento representativo para las características hidro-topográficas, estará encabezado por el caudal, la velocidad y la longitud del tramo, dado que estas dependen de la hidrodinámica del flujo, es decir, con las ecuaciones de advección y difusión del contaminante. El componente físico-químico se encuentra en función del modelo de reacción y las concentraciones presentes, por último el objetivo de calidad mediante la concentración objetivo ya sea para la preservación del medio ambiente, los objetivos proyectados en las corporaciones y los usos que presenta la fuente.



El factor físico-químico contendrá los parámetros de calidad de agua críticos o de interés para el análisis, en donde, como variables no conservativas se tendrá en cuenta:

- Oxígeno Disuelto (OD)
- Demanda Química de Oxígeno, (DQO)
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)
- Fósforo orgánico (P)
- Nitrógeno Amoniacal (NH₄)
- Nitrógeno Nitrato (NO₃)
- Nitrógeno Nitrito (NO₂)
- pH

Estudios demuestran que uno de los componentes no conservativos de mayor relevancia en cualquier modelación es el oxígeno disuelto, el cual es de suma importancia para la degradación de contaminantes en una fuente, se sabe que esta concentración varía en función de tiempo y del espacio, además de depender de una serie de parámetros y componentes que la fuente puede tener, es por ello que debe analizarse la reacción que tiene este característica dentro del sistema, es aquí donde aparece el termino K, que se define como la constante de reacción.

11.2.2. Constantes de reacción.

Para cada uno de los parámetros analizados presentan un modelo de reacción que varía según los términos que intervienen, esta formulación se encuentra en el Anexo 1, del presente documento. Al examinar el primer modelo en función de oxígeno disuelto, se puede observar que existen 6 términos con sus respectivas constantes que influyen directamente en la producción y reducción de este parámetro:

$$r_{OD} = D_A + k_a(C_s - OD) - k_{DBO}DBO\theta_{DBO}^{(T-20)}\varphi - \alpha_{NH_3}k_{NH_3}NH_3\theta_{NH_3}^{(T-20)}\varphi - \alpha_{NO_2}k_{NO_2}NO_2\theta_{NO_2}^{(T-20)}\varphi - \frac{k_{SOD}}{h_1} \quad (26)$$

El primero de ellos representa la demanda de oxígeno por el crecimiento de la biomasa o de las algas, luego vendrá el término de re-aireación, y los términos de oxidación (DBO), amonio y nitrito, y finalmente la demanda de oxígeno en los sedimentos, cada uno de ellos presenta una constante de reacción dependiendo la característica que se esté tratando, es por ello que se decide formular una constante global (R) considerando el análisis de producción o consumo de la serie de términos que intervienen en el modelo.



Por ejemplo, para el oxígeno disuelto, la producción se realizó mediante la re-aireación y el crecimiento de la biomasa, mientras el consumo se dará en la oxidación, sedimentación, el amonio y el nitrito.

Las constantes de producción aportarán al sistema y al mismo tiempo el consumo eliminará la capacidad de reacción del parámetro. Para el proyecto no se tuvo en cuenta los términos biológicos debido a la complejidad de cálculo, asimismo se omitió las correcciones por temperatura y las constantes de conversión puesto que no varían considerablemente en la modelación. Continuando, con el ejemplo del oxígeno disuelto se tendrán:

$$R_{OD} = |k_a - k_{DBO} - k_{NH3} - k_{NO2}| \quad (27)$$

En términos generales, la constante global para cualquier parámetro estará dada por:

$$R_{parámetro} = \left| \sum_{n=1}^{n=i} \pm k_i \right| \quad (28)$$

Donde, i, es la cantidad de constantes presentes en el modelo de reacción del parámetro en estudio.

A continuación se define la formulación de las constantes para los parámetros no conservativos seleccionados para la modelación:

Tabla 8. Constantes globales definidas para los parámetros críticos del IGAP.

Parámetro	Constante Global
Oxígeno Disuelto	$R_{OD} = k_a - k_{DBO} - k_{NH3} - k_{NO2} $
Demanda Química de Oxígeno, (DQO)	$R_{DQO} = -k_{DQO} $
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	$R_{DBO} = -k_{DBO} - k_{sed-DBO} $
Fósforo Orgánico (P)	$R_{Porg} = -k_{Porg} - k_{sed-Porg} $
Nitrógeno Amoniacal (NH4)	$R_{DQD} = k_{NT} - k_{NH3} + k_{SNT} $
Nitrógeno Nitrate (NO3)	$R_{NO3} = k_{NO2} - k_{NO3} $
Nitrógeno Nitrito (NO2)	$R_{DQD} = k_{NH3} - k_{NO2} $
pH	$R_{DQD} = K_8$

Fuente propia



De acuerdo con la tabla anterior, los valores para las constantes se encuentran tabulados en rangos específicos, a excepción de la constante de re-aireación que es calculada mediante fórmula de O'Connor y Dobbins (1958), en relación a las características hidro-topográficas y de turbulencia del tramo en condiciones de velocidades bajas y un coeficiente de difusión definido:

$$k_a = 3.93 \left(\frac{U^{0,5}}{H^{1.5}} \right) \quad (29)$$

Por otra parte, la constante de sedimentación de la DBO, tuvo en cuenta tanto el tipo de partícula, como su respectiva velocidad, y la distancia que debe recorrer la partícula que en este caso esta vista desde la profundidad del cauce:

$$k_{sed-DBO} = \frac{V_s}{h} \quad (30)$$

La velocidad de sedimentación para diferentes partículas dada por (Perez 2005):

Tabla 9. Velocidad de sedimentación de partículas.

Clasificación	Vs (mm/s)
Grava (10mm)	1000
Grava (1mm)	100
Arena gruesa (0,1mm)	8
Arena fina (0,01mm)	0.154
Bacterias (0,001mm)	0.00154
Coloides (0,001mm)	0.0000154
Coloides (0,0001mm)	0.000000154
Arena gruesa (0,5mm)	220
Arena media (0,25mm)	60
Arena fina (0,12mm)	10
Arena fina (0,062mm)	3
Suelo grueso (0,031mm)	1
Suelo medio (0,016mm)	0.2
Suelo fino (0,0078mm)	0.05
Arcilla (0,0039mm)	0.01
Arcilla fina (0,0020mm)	0.004

Modificado por Autor.

Tabla 10. Constantes de reacción de los parámetros.

Símbolo	Descripción	Unidades	Rango
k_{DBO}	Constante de degradación de DBO	1/día	0.02 - 0.5
k_{NH3}	Constante de reacción la transformación de amonio a nitrito.	1/s	1×10^{-6} - 1.2×10^{-5}
k_{NO2}	Constante de reacción la transformación de nitrito a nitrato	1/s	2×10^{-6} - 2.4×10^{-5}
k_a	Coeficiente de re-aireación	1/s	4×10^{-6} - $2 \times 10^{-5**}$
k_{DQO}	Constante de degradación de DQO	1/s	1×10^{-6} - 3×10^{-6}
k_{NT}	Transformación de nitrógeno orgánico a amonio	1/día	0.05 - 0.5
k_{SNT}	tasa de sedimentación de nitrógeno orgánico	1/día	0.1 - 0.3
k_{NO3}	Constante de reacción la transformación de desnitrificación	1/s	1×10^{-7} - 2×10^{-6}
k_{P-org}	Transformación de fosforo orgánico	1/s	5×10^{-8} - 2.5×10^{-6}
k_{P-sed}	Tasa de sedimentación de Fosforo	1/s	1×10^{-7} - 2.5×10^{-6}
k_B	Constante global del pH	1/d	0.127

**Rango para constante de re-aireación, sin embargo los cálculos se realiza por medio de la fórmula de O'Connor y Dobbins.

Fuente: (Chapra 1997; Baird y Cann 2005; Chapra, Pelletier y Tao 2008).

Por otra parte, los componentes conservativos que se tuvieron en cuenta:

- Sedimentos (SST)
- Sólidos Disueltos medidas por la Conductividad (CTD)

De igual manera, estos componentes presentan una constante, para los sólidos sedimentables en función de su velocidad de sedimentación como se propone en la constante $k_{sed-DBO}$, mientras que los sólidos disueltos medidos a partir de la conductividad, autores como (Ouboter et al. 1997) definen la constante con un valor de $1,92d^{-1}$.



11.2.3. Formulación del índice como combinación de parámetros.

Para la formulación del IGAP se debe tener en cuenta que entre los elementos de la ecuación se debe tener un concordancia y adecuación de tal modo que el modelo permita integrar los datos sistemáticamente que poseen un conjunto de preposiciones que generan un significado del fenómeno que se desea describir.

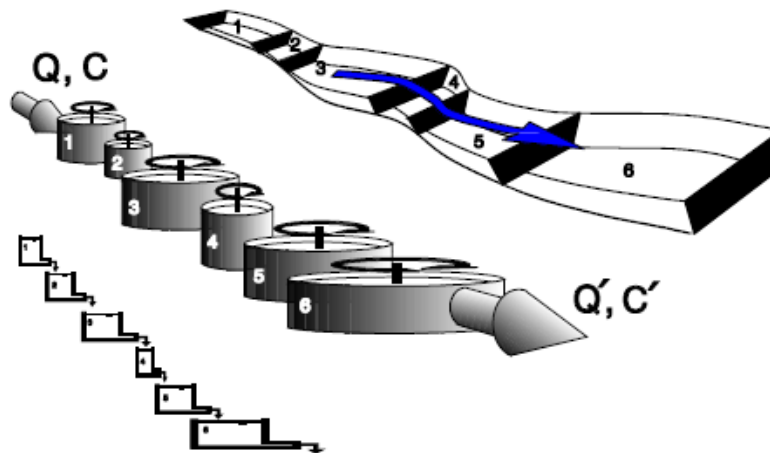
Inicialmente se propone la existencia de una concentración inicial y final, es decir un ΔC (diferencial de concentración) que define la reducción del parámetro en análisis en un tramo de río, el cual debe ser removido en relación concentración de objetivo y la longitud del tramo seleccionado, estudios han analizado que el comportamiento de un río se realiza longitudinalmente, por lo que para el modelo los efectos transversales no serán tomados en cuenta:

$$IGAP = \frac{\Delta C}{C_s L} = \frac{C_i - C_f}{C_s L} \quad (31)$$

La longitud del tramo actúa el termino L, hace que cada punto sea diferente al otro, siendo este un factor esencial para la determinación del IGAP, por ejemplo, si se calcula a una distancia menor, se tendrá menor autodepuración, mientras que a mayor distancia se dará más tiempo para que la propiedades del rio permitan una mayor degradación del contaminante.

Cada tramo puede discretearse al tamaño que se requiera realizar el estudio, considerándose como reactores de mezcla en una planta de tratamiento. (Súarez 2008)

Figura 15. Descripción de un río como un conjunto encadenado de depósitos.



Fuente: (Súarez 2008)



Sin embargo bajo estas condiciones y realizando el respectivo análisis dimensional se tiene en unidades del inverso de la longitud, por lo que se opta en aplicar variables de flujo para poder definir longitudinalmente el río y de área a través de su sección transversal:

$$[IGAP] = \frac{[\Delta C]}{[C_s]} [L] = \frac{\frac{M}{L^3}}{\left(\frac{M}{L^3}\right)} (L) = L$$

Aplicando:

$$[IGAP] = L \left(\frac{[A]}{[Q]} \right) = \frac{1}{L} \left(\frac{L^2}{\frac{L^3}{T}} \right) = T$$

Para involucrar la capacidad de remoción del parámetro se incorpora el valor de la constante global de reacción "R" cuyas unidades son de 1/T.

$$[IGAP] = T([R]) = T \left(\frac{1}{T} \right) = \text{Adimensional}$$

Por lo tanto el IGAP quedará formulado de la siguiente manera:

$$IGAP = \frac{C_i - C_f}{C_s} \left(\frac{ALR}{Q} \right) \quad (32)$$

Sabiendo que:

$$U = \frac{Q}{A} \quad (33)$$

Se reescribe:

$$IGAP = \frac{C_i - C_f}{C_s} \left(\frac{LR}{U} \right) \quad (34)$$

La primera parte de la ecuación simboliza la reducción del contaminante en relación al objetivo de calidad deseado, no obstante, el tramo ya presenta una concentración por lo que debe aplicarse un diferencial para identificar cual es la cantidad de concentración de exceso supera al inicio del tramo al objetivo planteado de modo que "deben adaptarse a las exigencias de calidad del medio natural" (Sánchez Ramos 2016):

$$IGAP = \frac{C_i - C_f}{C_i - C_s} \left(\frac{LR}{U} \right) \quad (35)$$



Debido a que durante el tramo analizado pueden existir vertimientos que en vez de disminuir la concentración hacen que el ΔC adquiera un valor negativo y por ende el valor de IGAP, estos segmentos serán evaluados como positivos recurriendo a la utilización de la función de valor absoluto entre estos términos:

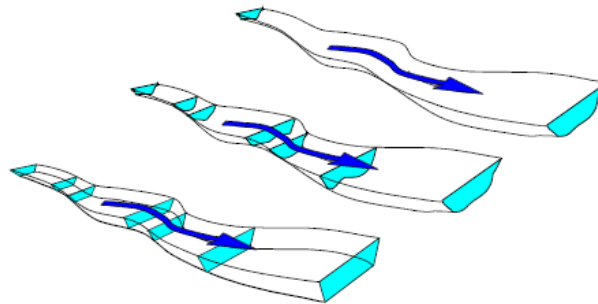
$$IGAP = \left| \frac{C_i - C_f}{C_i - C_s} \right| \left(\frac{LR}{U} \right) \quad (36)$$

El primer factor asegura un valor entre 0-1, debido que actúa como un porcentaje de reducción.

El segundo término de la fórmula específica en la parte superior la capacidad de reacción en función de la longitud, es decir, si este dato es alto, tendrá un mayor tiempo de retención en el cual el parámetro podrá reaccionar, mientras que la velocidad actúa como el elemento hidro-topográfico.

Para el modelo se propone un análisis unidimensional, el cual el tramo de río se considera como un canal donde el flujo es bien mezclado, cuando la velocidad de flujo es alta existirá una reducción en los tiempos de reacción, debido a que presentará mayor turbulencia favoreciendo la reacción química y la re-aireación.

Figura 16. Descripción de un río como un conjunto de elementos, o depósitos, en serie.



Fuente: (Súarez 2008)

Analizando el sentido físico de la ecuación, se remite al balance de la ecuación de transporte de compuestos no conservativos de la fórmula 22, en donde aplicando las respectivas restricciones tomadas para la formulación del IGAP, como:

- No existe variación de caudal.
- Se considera como un canal sin variación de área transversal.
- No hay fuentes o sumideros.
- Se considera que sus características no varían con el tiempo.

Por lo que quedaría el término reactivo como:



$$0 = -v \frac{\partial C}{\partial x} - k(C) \quad (37)$$

Que tendría las mismas variables planteadas en el IGAP, donde el ∂x , será la discretización del tramo y el ∂C la variación de la concentración de un punto a otro.

De igual manera, el IGAP presenta su término dispersivo, el cual los cambios se realizan por el transporte, donde prevalece la variable de la longitud, y la variación por reacción con la presencia de la constante.

11.2.4. Asignación de pesos

De acuerdo a la fórmula 36, se tiene un cálculo que consistió en la construcción del valor del IGAP para un solo parámetro, por lo que se opta para la valoración global realizar una sumatoria aritmética ponderada de cada uno de los valores individuales para obtener un índice global:

$$IGAP = \sum_{i=1}^n x_i \left| \frac{C_i - C_f}{C_i - C_s} \right| \left(\frac{LR_i}{U} \right) \quad (38)$$

Donde, n , es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador, de acuerdo con los parámetros críticos seleccionados, este será igual a 10 y x_i es el peso relativo de cada parámetro.

Los pesos son indicadores para dar a un atributo un valor de importancia dependiendo el fenómeno que se esté estudiando, la asignación de este dato se realiza por diversos métodos de ponderación teniendo en cuenta la escala a la cual se efectuará el estudio, uno de ellas es a partir de las evaluaciones hechas posteriormente, es decir, estudios que apliquen un peso a las variables puestas en la formulación del IGAP.

Para ello se aplica la metodología impuesta por el Índice de Calidad de agua (ICA), el cual incorpora parámetros físico-químicos para identificar y evaluar la calidad de agua de una manera global en una fuente hídrica, las variables adoptadas por este índice son (IDEAM 2017):

- Oxígeno disuelto
- DQO
- Conductividad eléctrica
- Sólidos suspendidos Totales.
- pH



En el cual, “un panel de expertos determinó la importancia estadística de la categorización de cada variable”(Universidad de Pamplona 2007), donde se obtuvo los siguientes resultados para los anteriores 5 variables:

Tabla 11. Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables.

Variable	Unidad de Medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	0.2
Solidos suspendidos totales, SST	mg/L	0.2
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	0.2
Conductividad eléctrica, C.E.	µS/cm	0.2
pH	Unidades de pH	0.2

Fuente: (IDEAM 2017)

Sin embargo, el ICA, puede ser calculado con la relación de nutrientes presentes en el agua:

Tabla 12. Variables y ponderaciones para el caso de 6 variables. Fuente: (IDEAM 2017)

Variable	Unidad de Medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	0.17
Solidos suspendidos totales, SST	mg/L	0.17
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	0.17
NT/PT	-	0.17
Conductividad eléctrica, C.E.	µS/cm	0.17
pH	Unidades de pH	0.17

Fuente: (IDEAM 2017)

Con base a las ponderaciones establecidas por el ICA y la importancia de los parámetros en el efecto de la autodepuración, se definen los siguientes pesos:

Tabla 13. Variables y ponderaciones para el caso de las 10 variables del IGAP.

Ponderaciones IGAP	
pH	0.075
Conductividad	0.075
OD	0.2
DBO	0.15
DQO	0.15
NO₃	0.033
NO₂	0.033
NH₄	0.033
SST	0.15
Fosforo Orgánico	0.1

Fuente Propia

La anterior selección se basó inicialmente una equiponderancia como ocurre en la Tabla 11, el valor del oxígeno disuelto se mantuvo, siendo este el de mayor importancia, mientras los demás datos tuvieron modificaciones. Para la parte de nutrientes se dividió en dos, por lo que el fosforo adquiere un valor de 0.1, mientras que para el nitrógeno se fracciono en partes iguales el valor de 0,1 para el nitrato, nitrito y el amonio, los demás valores disminuyeron a 0.15, el pH y la conductividad a 0.075, los parámetros con menor importancia.

11.2.5. Escala general de calidad

Para generar una interpretación del valor obtenido en el índice, se deben definir las categorías con las cuales se califica la capacidad auto-depurativa de la fuente.

El índice ICA, se obtienen valores entre 0 – 1:

Tabla 14. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0.00-0.25	Muy mala	Rojo
0.26-0.50	Mala	Naranja
0.51-0.70	Regular	Amarillo
0.71-0.90	Media	Verde
0.91-1.00	Alta	Azul

Fuente (IDEAM 2017)

Tomando como base la anterior clasificación, en donde la partición se realiza equitativamente se establece un rango cada 0.2 de la siguiente manera:

Tabla 15. Calificación de la capacidad autodepurativa según los valores del IGAP. Fuente propia.

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la capacidad autodepurativa	Señal de alerta
0.00-0.20	Muy mala	Rojo
0.21-0.40	Mala	Naranja
0.41-0.60	Regular	Amarillo
0.61-0.80	Media	Verde
0.81-1.00*	Alta	Azul

*En caso que se obtenga un valor mayor a 1, debido a la relación L/U, se asume como 1.

Fuente propia.

11.3. Análisis de caso de estudio

El fenómeno que se quiere describir mediante el IGAP, debe pasar por la etapa de verificación, que permita establecer su comprobación o rechazo mediante la prueba en donde a partir de un conjunto de hechos delimitados cumplen con el comportamiento descrito en la fórmula.

Para ello, se opta por analizar dos casos de estudio, que varían en la obtención de información, el primero de ellos se basa en los datos recolectados en fuentes primarias, es decir aquellos que surgen del contacto directo, en este caso, se trabajará el caso del Río Tunjuelo, que hace parte de la investigación realizada por proyecto que se tiene financiado en la universidad denominado “Desarrollo de una metodología para la evaluación del potencial de autodepuración de corrientes superficiales a nivel de cuenca” a través del uso de la herramienta en Excel anexa al SINCAP; y en fuentes secundarias, el caso de la cuenca del Río Sumapaz, a partir de la recolección de datos de modelaciones dadas por la Evaluación Regional del Agua (ERA) y la aplicación del SINCAP.

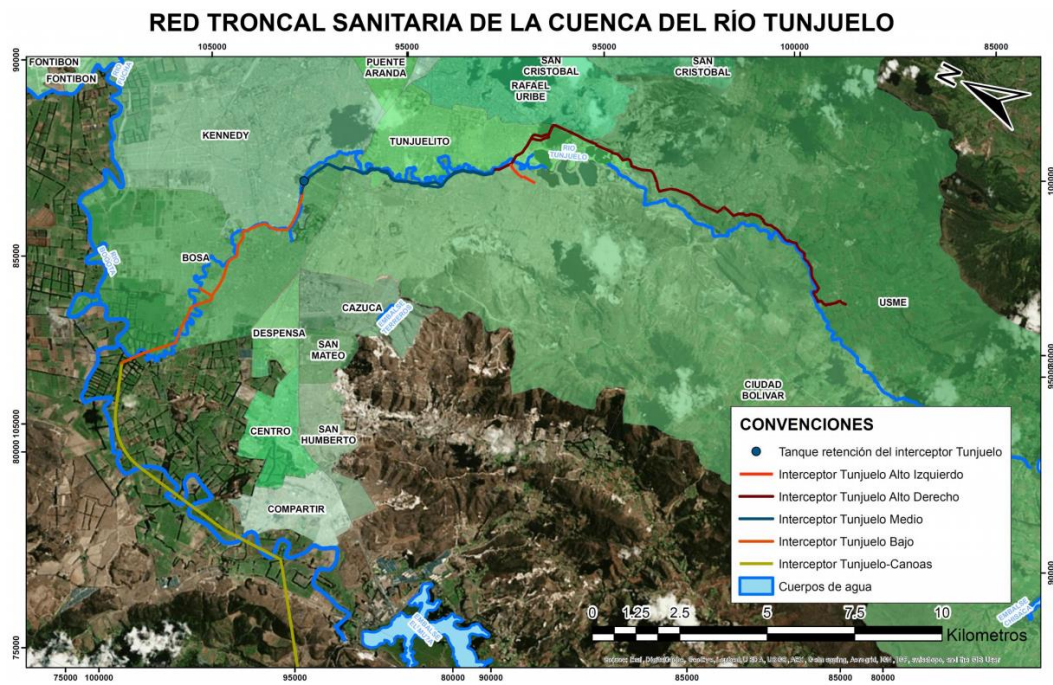
11.3.1. Caso Río Tunjuelo

El caso del río Tunjuelo surge con base a la tesis realizada en la Universidad Católica “DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE CÁLCULO DE UN ICA Y MODELACIÓN DE UN TRAMO DEL RIO TUNJUELO EN EL SECTOR DE BOSA LIBERTADOR” por (Reyes Ojeda y Ruiz Bravo 2017), en el cual desarrollan una investigación de un vertimiento de aguas negras en unos puntos específicos, a través del monitoreo de los contaminantes y un levantamiento batimétrico con el fin de realizar una simulación hidráulica y de calidad con diversos programas, entre ellos QUAL2K, permitiendo identificar el comportamiento de los parámetros críticos.



Debido a la zona y su cercanía al Río Bogotá, cuenta actualmente con una red hidrográfica amplia, donde el sistema pluvial lo componen 13 cauces y la presencia de la presa la Regadera y la presa seca Cantarrana, mientras el resto del aporte hídrico se alimenta por el vertimiento de aguas residuales de la población de la zona urbana, donde se destaca la descarga a causa de los interceptores del sistema sanitario de la ciudad, no obstante, debido a la explotación de este recurso y la conurbación han hecho que exista una pérdida en la calidad de agua.

Figura 18. Localización de los interceptores troncales sanitarios de la cuenca del río Tunjuelo.



Fuente: (Castaño Ossa 2015)

La contaminación del Río Tunjuelo se realiza principalmente por las aguas residuales domésticas que aportan la mayor contaminación orgánica, siendo esta el 54% de la carga que se genera diariamente en la cuenca, además de la presencia de sustancias químicas como detergentes, aceites y grasas. (Castaño Ossa 2015)

Otra fuente de contaminación son las aguas industriales, en especial por curtiembres en la parte de Usme, donde se tiene una alta concentración de metales como el Cromo; la industria de recubrimientos metálicos con valores de zinc, descarga de lixiviados por la infiltración, finalmente, la extracción y el triturado para agregados con presencia de manganeso.



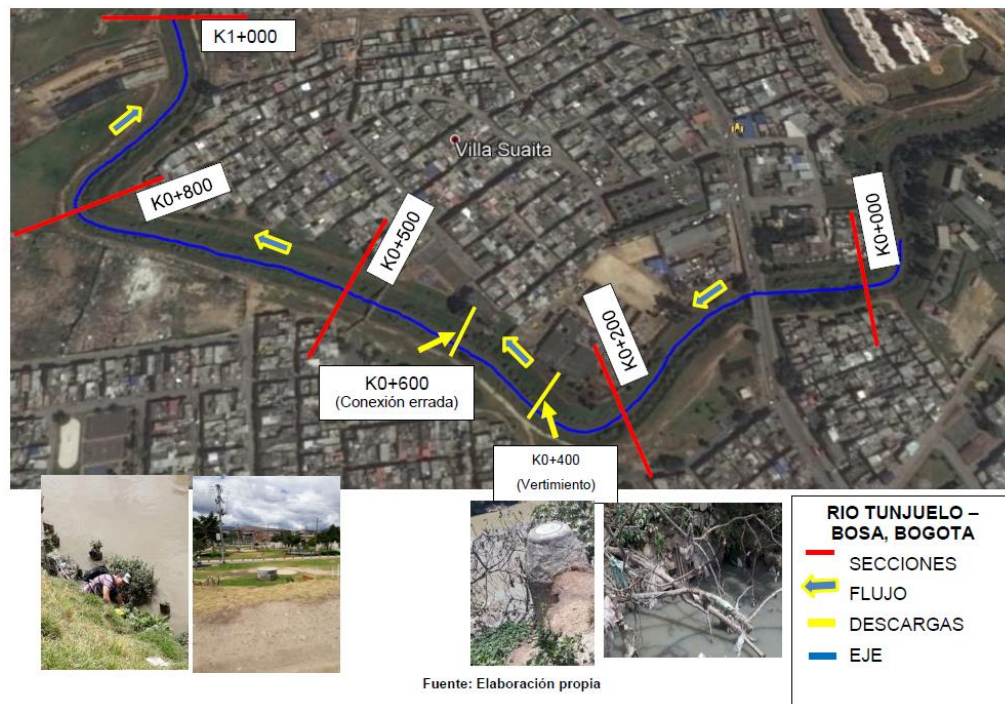
11.3.1.2. Caracterización e inspección de campo en el tramo de estudio.

El sitio de estudio seleccionado para el trabajo de campo se encuentra en la localidad de Bosa en el barrio Argelia, en la cuenca baja del Río Tunjuelo donde según (Secretaría Distrital de Ambiente 2009) presentan la mayor parte de los vertimientos, con un numero de treinta y seis (36) descargas desde el punto de medición de la Autopista Sur hasta su desembocadura, alcanzando un volumen aproximado 5000m³ al mes, además de ello en este sector el cauce presente un alto caudal para el análisis donde se destacan sus bajas pendientes, que tendrán como consecuencia una baja capacidad de arrastre de sedimentos, generando una mayor afectación a los procesos autodepurativos del río.

Igualmente, por su ubicación dentro de la zona urbana ha ocasionado problemáticas ambientales como la presencia de vectores en el sector y fuertes olores provocando enfermedades en las personas que habitan en el sitio.

De acuerdo a la investigación realizada por (Reyes Ojeda y Ruiz Bravo 2017), definieron los puntos de estudio de la siguiente manera:

Figura 19. Representación gráfica de la delimitación espacial en el tramo objeto del estudio.

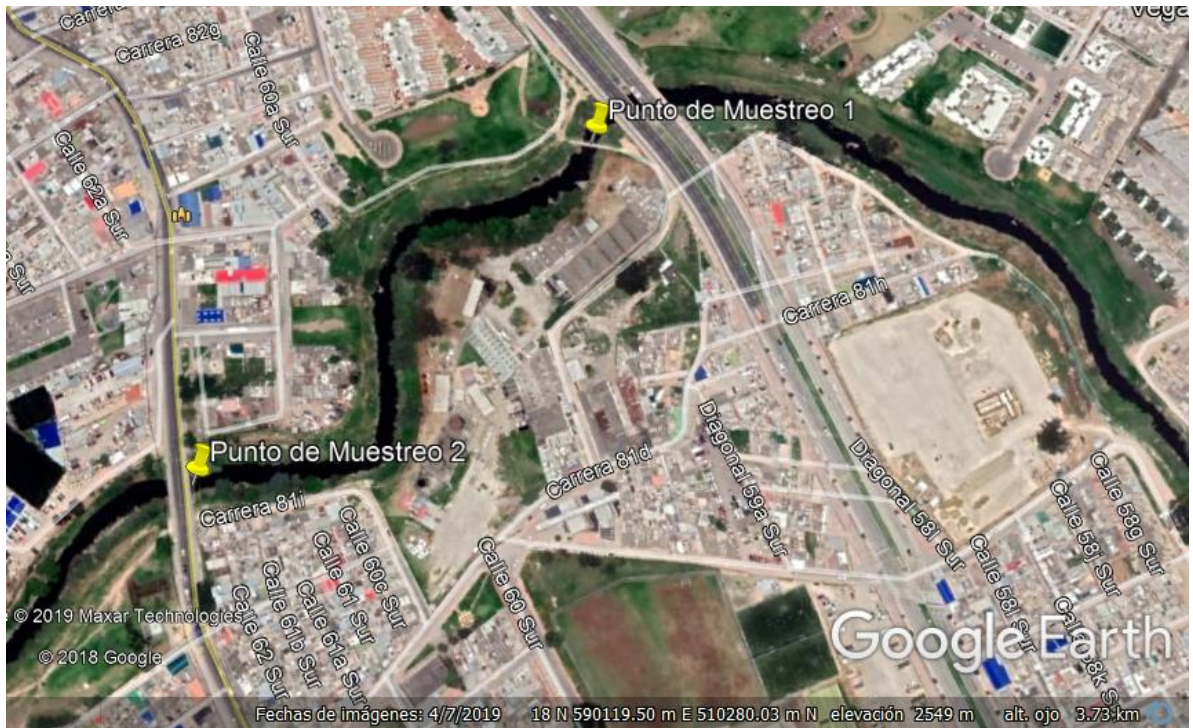


Fuente: (Reyes Ojeda y Ruiz Bravo 2017)



Con el fin de establecer una relación entre los resultados de los estudios realizados con esta investigación y la obtenida con los autores, se seleccionó los siguientes puntos críticos, donde se tiene la presencia de un vertimiento justo antes del punto de muestreo 1, el cual podrá observarse su comportamiento durante este tramo hasta el punto de muestreo 2:

Figura 20. Puntos de Monitoreo seleccionados. Río Tunjuelo.



Fuente Google Earth.

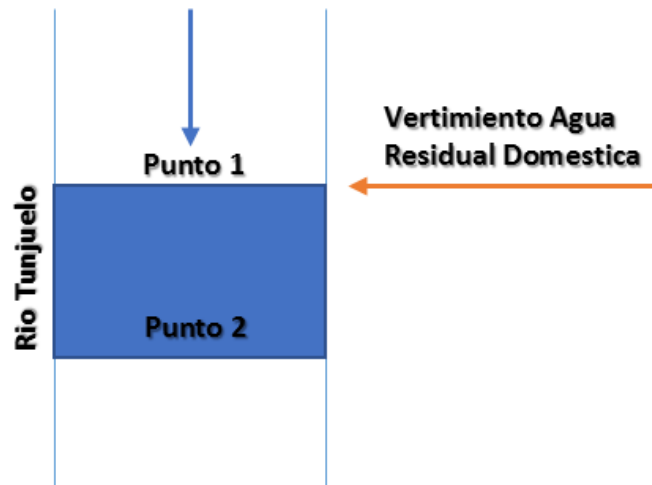
Cuyas coordenadas son:

Tabla 16. Coordenadas de los puntos de Muestreo. Río Tunjuelo.

Nombre	Coordenadas	
	Norte	Este
Punto de Muestreo 1	510227.00	590429.00
Punto de Muestreo 2	510017.00	590176.00

Fuente propia.

Figura 21. Esquematación del sistema. Río Tunjuelo.



Fuente Propia.

Una vez identificados los puntos de estudio, se decidió realizar dos campañas de monitoreo, una el día 7 de Junio y 27 el Agosto del 2019, entre las 9:00 y 11:00 horas cada treinta (30) minutos, en donde por medio de un mecanismo y ayuda de los puentes que se encuentran en ese punto, se recolectaron las muestras en la parte central del ancho superficial del río en los puntos críticos.

Figura 22. Recolección de muestras.



Fuente propia.



Figura 23. Recolección de muestras.



Fuente propia.

El primer paso en cada muestreo consistió en registrar en campo los siguientes parámetros fisicoquímicos:

- Oxígeno disuelto (OD)
- Temperatura del Agua
- pH
- Conductividad

Los cuales se midieron mediante un Oxímetro y un Phímetro, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 17. Resultados de Campo. Monitoreo del 7 de junio.

Datos de Campo. Día 1.					
Muestra*	Hora	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (μμ/cm²)	O₂ (mgO₂/L)
P1-M1	9:30	8.4	16	315	0.8
P1-M2	10:00	10.47	16.5	270	1
P1-M3	10:30	10.7	17.8	283	1.3
P1-M4	11:00	10.8	17.9	280	1.3
P1-M5	11:30	10.5	17.9	321	1.5
P2-M1	9:40	7.04	15.8	0.27	0
P2-M2	10:10	7.16	17.3	0.29	0
P2-M3	10:40	7.49	16.4	0.32	0
P2-M4	11:10	7.4	15.5	0.32	0
P2-M5	11:40	6.5	7.45	0.32	0

*P=Punto de muestreo, M=Numero de la muestra

Fuente propia.



Tabla 18. Resultados de Campo. Monitoreo del 27 de agosto.

Datos de Campo. Día 2.					
Muestra*	Hora	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (mμ/cm²)	O₂ (mgO₂/L)
P1-M1	9:10	6.85	15.6	295	2
P1-M2	9:40	7.91	16	490	1.5
P1-M3	10:10	7.69	15.9	460	2
P1-M4	10:40	7.92	17	540	1.9
P1-M5	11:10	7.6	19	565	1.3
P1-M6	11:40	8.33	17.2	583	0.9
P2-M1	9:40	7.04	15.8	0.27	0
P2-M2	10:10	7.16	17.3	0.29	0
P2-M3	10:40	7.49	16.4	0.32	0
P2-M4	11:10	7.4	15.5	0.32	0
P2-M5	11:40	6.5	7.45	0.32	0

*P=Punto de muestreo, M=Numero de la muestra

Fuente propia.

Los datos de punto dos (2) de oxígeno disuelto no se tomaron en cuenta debido a que el oxímetro presentó un error al momento de su medición.

Figura 24. Medición de los parámetros de campo.



Fuente propia.

Luego de esto, se efectúa la recolección de las muestras de agua para el análisis de laboratorio, que fueron envasadas en botellas de ámbar previamente lavadas con ácido nítrico del 10% y purgadas con agua del río, además que se tuvieron en cuenta las respectivas sustancias para su preservación para evitar alteraciones o



datos errados en los resultados de laboratorio debido a que “estas pueden ser susceptibles a cualquier cambio como resultado de reacciones físicas, químicas o biológicas que pueden ocurrir entre el tiempo del muestreo y el análisis” (ICONTEC 2004).

La norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-3, establece las técnicas adecuadas para la preservación de muestras, para el estudio se utilizaron:

Tabla 19. Técnicas generalmente adecuadas para la preservación de muestras análisis fisicoquímico y químico.

Parámetro a estudiar	Tipo de recipiente*	Volumen típico (mL) y técnica de llenado**	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado antes del análisis después de preservación
Acidez y alcalinidad	P o V	500 Llenar completamente el recipiente para extraer el aire***	Enfriar entre 1°C y 5°C	24 h
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	P o V	1000 Llenar completamente el recipiente para extraer el aire	Enfriar entre 1°C y 5°C	24h
Fosforo Total (P)	V o VB o P	250	Acidificar a pH entre 1 y 2 con H ₂ SO ₄ ****	1 mes
Nitrógeno Kjeldahl	P o VB	250	Acidificar a pH entre 1 y 2 con H ₂ SO ₄ ****	1 mes
Solidos Totales	P o V	100	Enfriar entre 1°C y 5°C	24h

*P=Plástico, V=Vidrio, VB=Vidrio de borosilicato.

**El tiempo es indicativo para un ensayo individual.

*** El llenado de las botellas se realizó completamente para evitar la interacción con el aire que puede quedar dentro de ellas

****H₂SO₄ para el estudio tendrá una concentración del 98%.

Fuente (ICONTEC 2004)

Para cada punto y hora, se tomaron cinco (5) muestras, de acuerdo a las especificaciones de la Tabla 19, las cuales fueron refrigeradas en neveras y hielo, cada botella estuvo debidamente marcadas mediante el siguiente formato:

Figura 25. Rotulo para la identificación de las muestras usado para el monitoreo.

Semillero de Autodepuración	CÓDIGO DE LA MUESTRA	
	NUMERO DE LA MUESTRA	
TOMADA POR		
TIPO DE MUESTRA		
ZONA	Cuenca Baja del Rio Tunjuelo - Sector (Cantarrana-la Fiscalá)	
COORDENADAS	N560209 E510098	
OBSERVACIONES		

Fuente propia.

Figura 26. Preservación de muestras.



Fuente propia.

11.3.1.3. Análisis de Laboratorio

Para los ensayos, estos fueron realizados en la Universidad Pontificia Javeriana de Bogotá debido al convenio que tiene el semillero del proyecto y los laboratorios de aguas y química de la Universidad Católica, el formato del registro de consumo de tiempo de laboratorio se encuentra en el Anexo 7, de presente documento, el cual define diversas actividades realizadas en el semillero de investigación.



En el desarrollo del proyecto se analizaron los siguientes parámetros:

Figura 27. Laboratorio Universidad Pontificia Javeriana



Fuente propia.

- **Alcalinidad y Acidez.**

La alcalinidad es una propiedad que tiene el agua y está relacionada con la capacidad que tiene para neutralizar ácidos, generalmente en aguas naturales están dadas por sales de compuestos débiles principalmente bicarbonatos e hidróxidos generados en la materia del suelo, en aguas contaminadas están relacionadas con ácidos débiles, sulfuros e incluso el amoníaco.

Las aguas alcalinas tienen una alta capacidad de amortiguamiento contra los ácidos.

Para determinar la acidez y alcalinidad, se basó en el método estándar SM 2320 B, en el cual se tomaron tres (3) muestras de 100 mL en un vaso de precipitado, en donde se suministró una dosis de anaranjado de metilo (aproximadamente de 2-4 gotas), hasta que la muestra cambie de color. Luego mediante buretas las cuales contienen ácido sulfúrico a una concentración de 0.02N, se realizó el proceso de titulación hasta el punto en el cual la solución cambiará de color.



Figura 28. Toma de muestras para el procedimiento de Alcalinidad.



Fuente Propia.

Figura 29. Proceso de Titulación de la muestras.



Fuente propia.

Figura 30. Muestra con dosis deseada.



Fuente propia.



Determinada la dosis donde la muestra cambia, se registran los valores de la cantidad de titulante requerido para que ocurra este fenómeno.

Tabla 20. Cantidad de Titulante usado para cada muestra. Monitoreo 7 de junio.

ALCALINIDAD (Día 1)			
Tramo	mL de Ácido Sulfúrico (Titulante)		
	1	2	3
P1-M1	8.3	10	4.5
P1-M2	8.3	8.2	4.2
P1-M3	8.2	14	5.1
P1-M4	9.9	10.9	5.6
P1-M5	10.7	10.4	5.7
P2-M1	Sin Resultado		5.8
P2-M2	9.7	7.8	4.9
P2-M3	10.2	9.2	6.7
P2-M4	11	9.2	5.9
P2-M5	10.5	9.5	6.4

Fuente propia

Tabla 21. Cantidad de Titulante usado para cada muestra. Monitoreo 27 de agosto.

ALCALINIDAD (Día 2)		
Tramo	mL de Ácido Sulfúrico (Titulante)	
	1	2
P1-M1	14.6	13.7
P1-M2	14.3	11.3
P1-M3	15.3	15.4
P1-M4	15.2	15.7
P1-M5	17.3	17.6
P1-M6	19.7	18.6
P2-M1	16.7	17.8
P2-M2	15.2	15.7
P2-M3	15	14.9
P2-M4	9.5	9.3
P2-M5	19.4	20.2
P2-M6	20.3	20.6

Fuente propia

La muestra P2-M1, se encontraron muestras de ácido presentes por lo que se preserva y sus datos no son tomados.

Para calcular la alcalinidad de las muestras se aplica la siguiente formula:



$$\text{Alcalinidad} = \frac{(N_{\text{Titulador}}) (V_{\text{Titulador}})(50000)}{(V_{\text{Muestra}})} \quad (39)$$

Dónde: $N_{\text{Titulador}}$, es la concentración normal del titulador, en este caso 0.02N para el ácido sulfúrico, el $V_{\text{Titulador}}$, corresponde al volumen del titulador en mililitros (mL) requerido para hacer la conversión de color, V_{Muestra} , es el volumen en mililitros (mL) de la muestra usada para el ensayo, y la constante de la fórmula es aplicada para la conversión a unidades de alcalinidad de miligramos de carbonato de calcio sobre litro (mg CaCO₃/L)

Aplicando en la primera muestra del punto uno (1) del monitoreo del día 7 de agosto:

$$\text{Alcalinidad} = \frac{(0.02N) (8.3mL)(50000)}{(100mL)} = 83 \frac{mgCaCO_3}{L}$$

Repitiendo el cálculo para cada uno de los puntos y muestras:

Tabla 22. Resultados de Alcalinidad. Muestreo 7 de junio. Fuente Propia.

ALCALINIDAD (Día 1)				
Tramo	Alcalinidad por Muestra (mg CaCO₃/L)			Alcalinidad Promedio (mg CaCO₃/L)
	1	2	3	
P1-M1	83	100	45	76
P1-M2	83	82	42	69
P1-M3	82	140	51	91
P1-M4	99	109	56	88
P1-M5	107	104	57	89.3
P2-M1	Sin Resultado		58	58
P2-M2	97	78	49	74.7
P2-M3	102	92	67	87
P2-M4	110	92	59	87
P2-M5	105	95	64	88

Fuente propia



Tabla 23. Resultados de Alcalinidad. Muestreo 27 de agosto.

Tramo	ALCALINIDAD (Día 2)		Alcalinidad Promedio (mg CaCO ₃ /L)
	Alcalinidad por Muestra (mg CaCO ₃ /L)		
	1	2	
P1-M1	146	137	141.5
P1-M2	143	113	128
P1-M3	153	154	153.5
P1-M4	152	157	154.5
P1-M5	173	176	174.5
P1-M6	197	186	191.5
P2-M1	167	178	172.5
P2-M2	152	157	154.5
P2-M3	150	149	149.5
P2-M4	95	93	94
P2-M5	194	202	198
P2-M6	203	206	204.5

Fuente Propia

- **Sólidos Totales**

Uno de las principales fuentes de contaminación en aguas receptoras, está dada en los vertimientos de agua doméstica, que en su estudio de presentan una incertidumbre con respecto a la interpretación de los resultados obtenidos de sólidos torales, por lo tanto su cálculo es relevante,(Sawyer y McCarty 1978) en aguas residuales industriales, se tiene una mayor importancia en el análisis de lodos frescos y digeridos.

El procedimiento aplicado para la determinación de los sólidos totales se realizó mediante la metodología estándar SM 2540 G, en la cual por medio de una capsula de porcelana previamente secada cuyo peso es conocido, en ella se vierte aproximadamente de 50mL de muestra, y se procedió a calentarlas a una temperatura alrededor de los 103°C hasta el punto en que se evapore el agua contenida, luego de esto son llevadas al desecador el cual permite que las capsulas se enfríen sin que ganen humedad, gracias a las partículas de reactivo de sílica en la parte inferior del instrumento. Por último, se pesó nuevamente la capsula.



Figura 31. Secado de las muestras para el ensayo.



Fuente Propia.

Para determinar la concentración de solidos totales se efectúa:

$$ST = \frac{(A - B) * 1000}{V} \quad (40)$$

Donde, ST, será la concentración Solidos Totales en (mg/l), A, el peso final de la cápsula con el residuo seco, en gramos (g), B, el peso inicial de la cápsula tarada en gramos (g) y V, corresponderá al volumen de muestra desecada, en litros.

De acuerdo a lo anterior, se obtuvieron los siguientes resultados, únicamente para el monitoreo del 27 de agosto:

Tabla 24. Resultados de Solidos Totales. Muestreo 24 de agosto.

Tramo	ST (mg /L)
P1-M1	400.0
P1-M2	436.0
P1-M3	272.0
P1-M4	262.0
P1-M5	254.0
P1-M6	446.0
P2-M1	244.0
P2-M2	256.0
P2-M3	238.0
P2-M4	21.0
P2-M5	290.0
P2-M6	333.0

Fuente propia.



- **Nitrógeno NTK**

El nitrógeno se encuentra en los cauces en forma de un compuesto en el cual varía dependiendo el estado de oxidación como nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato el cual es generado por la presencia y acción de los organismos vivos (Sawyer y McCarty 1978), en algunas ocasiones en altas concentraciones es causante de la reducción del oxígeno disuelto en el aguas y el fenómeno de eutrofización, sin embargo, si se presenta baja concentración también conlleva a problemas por la deficiencia de nutrientes.

La medición del nitrógeno total se realizó mediante el método Kjeldahl, para ello se utilizó un digestor Kjeldahl donde se incorporaron cada una de las muestras las cuales fueron previamente preservadas con ácido, al cual se le agregaron los respectivos reactivos principalmente por el ácido sulfúrico que actúa como oxidante de la materia orgánica en el proceso, luego se procede a llevarla al digestor a una temperatura por encima de los 330 °C.

Figura 32. Digestor Kjeldahl.



Fuente propia.

Una vez alcanzada la digestión, se efectuó la respectiva destilación para separar los componentes resultantes del anterior proceso, en especial el contenido de nitrógeno en una base de ácido bórico para su posterior titulación nuevamente con ácido sulfúrico hasta alcanzar los valores de pH normales para el ácido, y determinar el valor del nitrógeno total.



Figura 33. Destilación del proceso Kjeldahl.



Fuente Propia.

Los resultados obtenidos para el nitrógeno, en el segundo monitoreo son los siguientes:

Tabla 25. Resultados Nitrógeno Total NTK. Monitoreo 27 de agosto.

Tramo	NTK (mg /L)
P1-M1	31.22
P1-M2	33.93
P1-M3	43.43
P1-M4	55.65
P1-M5	80.08
P1-M6	105.86
P2-M1	85.51
P2-M2	92.29
P2-M3	93.65
P2-M4	111.29
P2-M5	127.58
P2-M6	128.94

Fuente propia.

- **Fosforo Total**

El fosforo al igual que nitrógeno actúa como un nutriente para el crecimiento de diversos organismos en el agua, en especial de las algas, de igual forma se encuentra en múltiples formas, ya sea en orgánico e inorgánico, adicionalmente la presencia de este parámetro en altas concentraciones puntualmente en las aguas residuales domésticas, se encuentra dada por los desechos humanos y los detergentes con alto contenido de poli-fosfatos.



La concentración de fósforo se determina por medio de cromatografía iónica, en la cual se tomaron muestras de 100mL, previamente filtradas para eliminar las impurezas que puedan afectar los resultados:

Figura 34. Muestras para la medición de Fósforo.



Fuente propia.

Figura 35. Filtración de la muestras.



Fuente propia.

Una vez preparadas las muestras, se ingresan en el equipo el cual mediante la separación iónica, identificará las especies de fósforo incorporadas en el agua.



Figura 36. Cromatógrafo Iónico.



Fuente propia.

Cuyos resultados fueron:

Tabla 26. Resultados de Fosforo Total. Monitoreo 27 de agosto.

Tramo	Fosforo Total (mg P-PO₄ /L)
P1-M1	1.802
P1-M2	2.086
P1-M3	1.844
P1-M4	1.574
P1-M5	2.006
P1-M6	0.887
P2-M1	3.152
P2-M2	1.788
P2-M3	1.488
P2-M4	1.380
P2-M5	2.997
P2-M6	3.040

Fuente Propia.

- **DBO (Demanda Biológica de Oxígeno)**

Como se había mencionado anteriormente, la DBO corresponde al consumo directo de oxígeno sea por medio bioquímico para la eliminación de materia orgánica, la medición de este parámetro permite identificar “el poder contaminante de los residuos domesticas e industriales, en términos de la cantidad de oxigeno que requiere si son descargados (...) en condiciones aeróbicas)” (Sawyer y McCarty 1978)



La medición del parámetro se realiza mediante el método estándar SM 5210B, es decir el método Winkler, siendo un procesos que considera la oxidación de la materia orgánica, en donde la disolución seleccionada para cada una de las muestras es de 10mL, 25mL y 50mL del agua residual, el volumen restante de la botella Winkler, se adicionó agua de dilución, la cual corresponde a una mezcla de diversas reactivos como el cloruro férrico, cloruro de calcio, sulfato de magnesio y un buffer de fosfatos previamente aireada.

Figura 37. Botellas Winkler.



Fuente Propia.

Una vez incorporadas todas las sustancias en la botella, se agrega bacterias tipo *e-coli*, que tendrán la función de consumir el oxígeno que se encuentra dentro de la muestra. Completado este procedimiento se procede a medir la cantidad de oxígeno disuelto inicial, mediante un oxímetro, después las botellas son llevadas a una incubadora a 20°C durante 5 días.

Los datos iniciales de oxígeno disuelto son:

Tabla 27. Resultados de medición de Oxígeno Disuelto inicial. Muestreo 7 de junio.

DBO (Primer Muestreo)			
Muestra	Oxígeno Disuelto (mgO₂/L)		
	1D*	2D*	3D*
P1-M1	6.8	6.48	7.02
P1-M2	6.74	6.36	6.9
P1-M3	6.8	6.42	6.94
P1-M4	6.81	6.43	6.98
P1-M5	6.74	6.36	6.92
P2-M1	6.78	6.35	6.92
P2-M2	6.74	6.44	6.97
P2-M3	6.83	6.44	6.97
P2-M4	6.8	6.38	6.89
P2-M5	6.76	6.4	6.94
Blanco 1	7		
Blanco 2	7.01		

*1D=Muestra de 25mL, 2D=Muestra de 50mL y 3D=Muestra de 10mL
Fuente propia.

Tabla 28. Resultados de medición de Oxígeno Disuelto inicial. Muestreo 27 de agosto.

DBO (Segundo Muestreo)		
Muestra	Oxígeno Disuelto (mgO₂/L)	
	1D*	2D*
P1-M1	6.58	6.16
P1-M2	6.55	6.08
P1-M3	6.63	6.29
P1-M4	6.59	6.15
P1-M5	6.63	6.16
P1-M6	6.63	6.16
P2-M1	6.67	6.19
P2-M2	6.64	6.18
P2-M3	6.55	6.10
P2-M4	6.60	6.16
P2-M5	6.62	6.20
P2-M6	6.63	6.20
Blanco 1	7	
Blanco 2	7.01	

*1D=Muestra de 25mL, 2D=Muestra de 50mL y 3D=Muestra de 10mL
Fuente propia.

A los 5 días de incubación, se volvió a medir el valor de oxígeno:

Tabla 29. Resultados de medición de Oxígeno Disuelto final. Muestreo 7 de junio.

DBO (Primer Muestreo)			
Muestra	Oxígeno Disuelto (mgO₂/L)		
	1D*	2D*	3D*
P1-M1	0.17	6.48	-
P1-M2	0.19	6.36	-
P1-M3	0.17	6.42	-
P1-M4	0.14	6.43	-
P1-M5	0.16	6.36	-
P2-M1	0.15	6.35	-
P2-M2	0.19	6.44	-
P2-M3	6.83	6.44	-
P2-M4	6.8	6.38	-
P2-M5	6.76	6.4	-
Blanco 1	7		
Blanco 2	7.01		

Fuente propia.

Tabla 30. Resultados de medición de Oxígeno Disuelto inicial. Muestreo 27 de agosto.

DBO (Segundo Muestreo)		
Muestra	Oxígeno Disuelto (mgO₂/L)	
	1D*	2D*
P1-M1	0.17	0.36
P1-M2	0.19	0.25
P1-M3	0.17	0.20
P1-M4	0.14	0.19
P1-M5	0.16	0.14
P1-M6	0.15	0.16
P2-M1	0.19	0.15
P2-M2	0.16	0.14
P2-M3	0.13	0.18
P2-M4	0.13	0.15
P2-M5	0.17	0.15
P2-M6	0.17	0.15
Blanco 1	6.77	
Blanco 2	0.17	

Fuente propia

Para calcular el valor de la DBO, se aplica la siguiente formula:

$$DBO_5 \left(\frac{mgO_2}{L} \right) = \frac{OD_{Consumido} - OD_{ConsumoCEPA}}{V_m} * V$$



Donde, $OD_{Consumido}$ será la diferencia entre el Oxígeno disuelto inicial menos el final residual, el $OD_{Consumo\ CEPA}$, será el Oxígeno del agua de dilución inicial menos la final residual la cepa, V , será el volumen de la botella Winkler, cuyo valor es 293 mL y V_m , es el volumen de alícuota de la muestra que varía para este caso entre 25mL, 50mL y 10mL. Aplicando la formula, se tienen los siguientes resultados para DBO_5 :

Tabla 31. Resultados de DBO. Muestreo 7 de junio.

Muestra	DBO (Segundo Muestreo)			
	DBO (mgO ₂ /L)			
	1D*	2D*	3D*	Promedio
P1-M1	33.2	30.5	48.6	37.4
P1-M2	72.1	35.9	93.2	67.0
P1-M3	44.0	36.1	56.5	45.5
P1-M4	44.1	36.3	56.5	45.6
P1-M5	53.1	36.0	67.1	52.1
P2-M1	32.6	29.9	46.0	36.2
P2-M2	40.1	34.2	56.8	43.7
P2-M3	45.1	36.1	57.1	46.1
P2-M4	47.6	36.0	59.8	47.8
P2-M5	53.0	36.1	64.2	51.1

Fuente propia.

Tabla 32. Resultados de DBO. Muestreo 27 de agosto. Fuente propia.

Muestra	DBO (Segundo Muestreo)		
	DBO (mgO ₂ /L)		
	1D*	2D*	Promedio
P1-M1	75.1	34.0	54.6
P1-M2	74.5	34.2	54.4
P1-M3	75.7	35.7	55.7
P1-M4	75.6	34.9	55.3
P1-M5	75.8	35.3	55.6
P1-M6	75.9	35.2	55.6
P2-M1	75.9	35.4	55.7
P2-M2	75.9	35.4	55.7
P2-M3	75.2	34.7	55.0
P2-M4	75.8	35.2	55.5
P2-M5	75.6	35.5	55.5
P2-M6	75.7	35.5	55.6

Fuente propia.

Los resultados enviados por la Universidad Javeriana se encuentran en el Anexo 3. Finalmente la caracterización del agua será:



Tabla 33. Caracterización del agua. Río Tunjuelo.

PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA RIO TUNJUELO											
Monitoreo	Punto	Hora	FISICOQUÍMICOS								
			pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)	OD ($\text{mg O}_2/\text{L}$)	DBO (mgO_2/L)	AIK ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	ST (mg/L)	NTK (mg/L)	P (mg/L)	T ($^{\circ}\text{C}$)
7 de Junio	P1-M1	9:30	8.4	0.315	0.8	37.45	76	0	0	0	16
	P1-M2	10:00	10.47	0.27	1	67.04	69	0	0	0	16.5
	P1-M3	10:30	10.7	0.283	1.3	45.53	91	0	0	0	17.8
	P1-M4	11:00	10.8	0.28	1.3	45.65	88	0	0	0	17.9
	P1-M5	11:30	10.5	0.321	1.5	52.06	89	0	0	0	17.9
	P2-M1	9:40	7.04	0.27	0	36.16	58	0	0	0	15.8
	P2-M2	10:10	7.16	0.29	0	43.70	75	0	0	0	17.3
	P2-M3	10:40	7.49	0.32	0	46.12	87	0	0	0	16.4
	P2-M4	11:10	7.4	0.32	0	47.78	87	0	0	0	15.5
	P2-M5	11:40	7.5	0.32	0	51.08	88	0	0	0	17.4
24 de Agosto	P1-M1	9:10	6.85	0.295	2	54.56	141.5	400	31.22	1.802	15.6
	P1-M2	9:40	7.91	0.49	1.5	54.35	128	436	33.93	2.086	16
	P1-M3	10:10	7.69	0.46	2	55.70	153.5	272	43.43	1.844	15.9
	P1-M4	10:40	7.92	0.54	1.9	55.26	154.5	262	55.65	1.574	17
	P1-M5	11:10	7.6	0.565	1.3	55.55	174.5	254	80.08	2.006	19
	P1-M6	11:40	8.33	0.583	0.9	55.55	191.5	446	105.86	0.887	17.2
	P2-M1	9:10	8.02	0.6	0.8	55.67	172.5	244	85.51	3.152	18.3
	P2-M2	9:40	7.91	0.6	0.7	55.67	154.5	256	92.29	1.788	22.3
	P2-M3	10:10	7.93	0.57	0.5	54.97	149.5	238	93.65	1.488	21.8
	P2-M4	10:40	7.98	0.63	0.7	55.52	94	21	111.29	1.38	20.1
P2-M5	11:10	8.23	0.68	0.6	55.52	198	290	127.58	2.997	19.4	
P2-M6	11:40	8.28	0.73	0.8	55.58	204.5	333	128.94	3.04	19.8	

Fuente propia.



11.3.1.4. Diagnóstico de la calidad de agua e implementación del IGAP.

Determinar la calidad del agua se convierte en un proceso sumamente necesario para describir el estado de los recursos hídricos, como se ha establecido en la metodología existen diversos procedimientos que han evolucionado para obtener un mejor análisis, interpretación y control de las variables y/o concentraciones que se pueden detectar, permitiendo ampliar los estudios.

En la práctica se determinaron diversos parámetros de calidad de agua, teniendo el tipo de agua residual estudiada, en este caso la del Río Tunjuelo, que presenta una combinación de aguas domesticas e industriales, en donde es notorio el grado de contaminación que estas presentan, esta comparación se realiza mediante los objetivos de calidad que presenta la CAR para el Río Bogotá, en relación al acuerdo número 34 del 2006, en donde establece para la cuenca del Río Tunjuelo, en especial al sector comprendido desde el perímetro urbano de Bogotá hasta su desembocadura, como Clase IV, la cual corresponde a los valores de usos agrícola con restricciones y pecuario:

Tabla 34. Objetivos de calidad. Clase IV. Río Bogotá.

Parámetro	Expresado Como	Valor más restrictivo (Máximo que se puede tener)
DBO	mg/L	50
Nitritos	mg/L	10
Solidos Suspendidos	mg/L	40
pH	Unidades	4.5-9.0
OD	mg/L	>4

Fuente (CAR 2006)

Adicionalmente, se tendrán en cuenta, que los valores máximos permisibles para el fosforo de 0,1mg/L.

Al comparar los resultados de la Tabla 33, con el respectivo objetivo de calidad requerido para ese tramo, se observa que gran parte de los puntos no cumplen los parámetros críticos clave, la única variable que se mantiene dentro del rango es el pH, sin embargo fluctúa entre los valores de 8 a 10 unidades de pH, a ciertas horas.

Principalmente el aumento de la contaminación se realiza en horas en la cuales hay mayor demanda de uso de agua, además aguas arriba las industrias comienzan sus horas operativas, por lo que es notorio el incremento en las concentraciones de dichos contaminantes.

Para comprender el comportamiento entre los dos puntos estudiados, se aplica la metodología planteada para determinar su potencial de autodepuración, para ello se tendrán en cuenta los resultados de la caracterización, además de las propiedades hidro-topográficas entre estos puntos.

De esto surge la herramienta para el cálculo del IGAP, la cual, por medio de los datos de entrada, permita determinar de una manera eficiente y practica este índice, esto se realizó mediante Excel, donde se tendrán cuatro (4) hojas de cálculo, que corresponderán a los objetivos de calidad, los datos de entrada, las constantes de reacción y el valor final de Índice Global de Auto-depuración.

Figura 38. Hojas de cálculo determinadas para el IGAP.



Fuente propia.

La primera hoja de cálculo contendrá información de los objetivos de calidad para la fuente determinada, actualmente la herramienta cuenta con la base de datos de nueve (9) cuencas de la jurisdicción de la CAR, incluyendo la del Río Bogotá, cuya información determina la clase que se está manejando, una breve descripción de cada una de las clases, además de contar con información del decreto 3930 del ministerio de ambiente, estos contendrán los parámetros máximos permitidos para alcanzar dicho objetivo de calidad, en este caso las diez (10) variables que involucra el índice, esta parte de la hoja puede ser modificada para la utilización de otra fuente o cuenca, dependiendo de la zona de estudio que se está trabajando. La vista previa de la ventana se encuentra en el Anexo 4, del documento.

La hoja de cálculo con el nombre de *DATA*, corresponde a los datos que deben ingresarse para determinar el IGAP, contiene 23 columnas de información, la primera y tercera se denomina *Codigo_Tramo* y *Codigo_Estación*, la función de estos códigos es asignar un valor o distintivo único del segmento en estudio y en el punto de análisis, el cual permita al momento de entrelazar la información calculada con la base de datos de SINCAP, parte de las corporaciones maneja su propia codificación que es útil al relacionar información ya sea cualitativa o cuantitativa del



tramo o estación logrando así informes más completos y análisis con otras variables importantes a la hora de establecer alguna decisión.

Para este estudio, el código de las estaciones estará definido como la muestra, donde P, indica el punto y M, el número de muestra utilizada, ayudando a identificar las horas de estudio, mientras que el código del tramo será una auto-numeración de 1 a 6, respectivamente.

Las columnas *Tramo* y *Puntos/Nombre*, contendrá los nombres asignados para cada segmento y estación de monitoreo, seguidas por los datos puntuales del punto como las coordenadas geográficas y la longitud del tramo en estudio.

En este caso, la longitud del tramo de estudio es de 391m, la cual se determinó mediante Google Earth:

Figura 39. Longitud del tramo en estudio.



Fuente propia.

Luego sigue el primer grupo de características que son los componentes hidro-topográficos, que son el *caudal*, *profundidad*, *ancho* y *velocidad*, el valor de la velocidad es calculado directamente, la caracterización hidráulica del tramo fue realizada por los autores (Reyes Ojeda y Ruiz Bravo 2017), en donde especifican un ancho de río de 25 metros con una profundidad 1.54 desde la lámina de agua, y una medición de caudal realizada con molinete a una altura de 2/3 de la lámina, en cuatro puntos transversales obteniéndose un valor de 0.626 para el primer punto de análisis.



Figura 40. Medición del caudal con Molinete.



Fuente (Reyes Ojeda y Ruiz Bravo 2017)

Las características hidráulicas se encuentran registradas en la siguiente ficha:

Tabla 35. Ficha de la caracterización hidráulica de los Tramos.

COORDENADAS	
NORTE	510233
ESTE	590427
Temperatura Ambiente °C	16°C

Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Profundidad (m)	Ancho (m)
38.5	0.02	0.62	1.54	25

SECCIÓN AFORO

Modificado de (Reyes Ojeda y Ruiz Bravo 2017)



Estos datos son complementados con el perfil del río, en donde se observa que existe una pendiente promedio entre el 0.7% al 1.2%.

Figura 41. Perfil longitudinal del río.



Fuente propia.

El siguiente grupo de características son las físico-químicas del agua, las cuales contendrán la información de los diez (10) parámetros definidos para el cálculo del IGAP, estos datos están validados con los ensayos de laboratorio, que en el estudio se encuentran registrados en la Tabla 33.

La siguiente hoja de cálculo *CONST*, corresponde a las constantes de reacción de cada uno de los parámetros establecidos, el registro de cada uno de los datos, está dado por modelaciones de calidad de agua previamente realizadas, o por medio de la selección entre el rango de cada variable según la Tabla 10, sin embargo, la herramienta permite a través de los comentarios sobre las celdas el rango y el nombre de cada termino:

Figura 42. Visualización de la celda

CODIGO TRAMO	TRAMO	Ka (d-1)	DBO		Amonio		Nitrito
			KDBO (d-1)	K	K	K	
10102	ALTO SUMAPAZ - SAN JUAN	4.8	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	

Constante de degradación de DBO. Sin Tratamiento 0.35, en rango de (0.20-0.50)

Fuente propia.

Para las constantes de sedimentación que dependen del tipo de partícula, se dispone de una lista desplegable con la información de la Tabla 9, permitiendo una mejor interfaz en el cálculo.

Figura 43. Lista desplegable con el tipo de partícula.

KDBO	Sedimentación	
	Partícula	Vs (mm/s)
0.35	Arenilla (0,002mm)	.0100000
0.35	Arena fina (0,01mm)	.0100000
	Bacterias (0,001mm)	
0.35	Coloides (0,001mm)	.0100000
	Coloides (0,0001mm)	
0.35	Arena gruesa (0,5mm)	.0100000
	Arena media (0,25mm)	
	Arena fina (0,12mm)	
0.35	Arena fina (0,062mm)	.0100000

Fuente propia.

Esta hoja, maneja una serie de colores, que varían dependiendo el dato, a continuación, se muestra el método de ingreso para las constantes:

Tabla 36. Tipo de Datos. Hoja de cálculo CONTS.

TIPO DE DATO	COLOR
Dato a Ingresar	
Dato Convertido	
Constante R Calculada	

Fuente propia.

Para este estudio, los autores (Reyes Ojeda y Ruiz Bravo 2017), realizan una modelación de calidad de agua, mediante el programa QUAL2K, el cual se basa de un algoritmo programado en Excel que permite calcular la asimilación y el

comportamiento de los parámetros en un tramo de río en específico por medio de modelos donde se aplican algunas de las constantes utilizadas para la formulación del IGAP, de ellas se puede rescatar:

- Velocidad de sedimentación= 2m/d
- Constante DBO= 0.42/d

Las demás constantes, fueron asumidas dentro del rango definido por la literatura.

La última hoja de la herramienta, establece el cálculo del IGAP, donde se mostraran las opciones de objetivo de calidad en listas desplegadas, el cálculo individual de cada uno de los parámetros de IGAP, y el valor global del potencial de autodepuración, en donde por medio de formatos condicionales mostrará gráficamente la clasificación del tramo en estudio de acuerdo a lo definido en la Tabla 15.

Figura 44. Lista desplegable de los ríos disponibles para objetivos de calidad.

OBJETIVO DE CALIDAD	
RIO	CLASE
SUMAPAZ	CLASE I
RIO BLANCO NEGRO	CLASE I
UBATE-SUAREZ	CLASE I
MACHETÁ	CLASE I
GACHETÁ	CLASE I
RIO BOGOTÁ	CLASE I
MINERO	CLASE I

Fuente propia.

Figura 45. Lista desplegadas de las clases disponibles para objetivos de calidad

OBJETIVO DE CALIDAD	
RIO	CLASE
SUMAPAZ	CLASE I
SUMAPAZ	CLASE II
SUMAPAZ	CLASE III
SUMAPAZ	CLASE IV
SUMAPAZ	DECRETO 475/98
SUMAPAZ	CLASE I
SUMAPAZ	CLASE I

Fuente propia.


De acuerdo con lo anterior, se tienen los siguientes resultados finales del cálculo del IGAP, los datos de las constantes usadas y los datos ingresados se encuentran en el Anexo 4:



Tabla 37. Resultados del cálculo del IGAP. Río Tunjuelo. Usando la herramienta en Excel.

CODIGO TRAMO	TRAMO	IGAP												IGAP
		OBJETIVO DE CALIDAD		IGAP INDIVIDUAL										
		RIO	CLASE	pH	Conductividad	OD	DBO	DQO	NO3	NO2	NH4	SST	Fosforo	
Monitoreo 1	P1-M1 a P2-M1	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	0.003	0.006	0.000	-0.014	SIN RESULTADO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009
Monitoreo 1	P1-M2 a P2-M2	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	0.003	-0.003	0.000	0.187	SIN RESULTADO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.190
Monitoreo 1	P1-M3 a P2-M3	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	0.002	-0.005	0.000	0.018	SIN RESULTADO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
Monitoreo 1	P1-M4 a P2-M4	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	0.002	-0.004	0.000	0.067	SIN RESULTADO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069
Monitoreo 1	P1-M5 a P2-M5	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	0.002	0.000	0.000	0.065	SIN RESULTADO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067
Monitoreo 2	P1-M1 a P2-M1	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	0.021	-0.043	-0.066	-0.033	SIN RESULTADO	-0.001	0.000	0.000	0.000	-0.007	0.021
Monitoreo 2	P1-M2 a P2-M2	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	0.000	-0.009	-0.035	-0.041	SIN RESULTADO	-0.001	0.000	0.000	0.000	-0.005	0.000
Monitoreo 2	P1-M3 a P2-M3	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	-0.001	-0.010	-0.083	0.018	SIN RESULTADO	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.018
Monitoreo 2	P1-M4 a P2-M4	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	0.000	-0.007	-0.063	-0.007	SIN RESULTADO	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Monitoreo 2	P1-M5 a P2-M5	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	-0.003	-0.008	-0.029	0.001	SIN RESULTADO	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.005	0.001
Monitoreo 2	P1-M6 a P2-M6	RIO BOGOTÁ	CLASE IV	0.000	-0.010	-0.004	-0.001	SIN RESULTADO	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.026	0.000

Fuente propia.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>Ph.D. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	---


Al observar los resultados obtenidos para el tramo en análisis del Río Tunjuelo, se tiene que en todos los parámetros estudiados presentan una mala capacidad de autodepuración, los datos individuales muestran valores negativos que representan físicamente un aumento en la concentración, ya sea por factores externos como la presencia de otros vertimientos, infiltraciones no identificadas dentro del tramo o reacciones entre los componentes que aumenten la carga contaminante en el río. Los parámetros con mayor afectación están dados por el fósforo, que tiene un aumento considerable entre puntos, y el oxígeno disuelto, cuyas concentraciones son relativamente bajas, presentando condiciones de anoxia que no favorables a la eliminación de los contaminantes y no alcanzan un valor óptimo para el objetivo de calidad.

Los que presentan un valor positivo dentro del cálculo no son lo suficiente para generar una asimilación significativa de los contaminantes, parte de ellos los encabeza la DBO y el pH, con valores que no superan el 0.2 del primero rango IGAP individual.

Una de las principales causas para que ocurra este tipo de resultado es por la baja pendiente que presenta el tramo, que no supera el 1,2% en el recorrido, lo cual tendrá como consecuencia una baja velocidad de flujo que conlleva a una disminución considerable en la re-oxigenación, esto se identifica en el cálculo de la constante de re-aireación cuyo valor ronda los 0.42/d generando una baja degradación.

En términos globales, el tramo medido a las 9:40AM del primer muestreo, presenta el valor más alto de la capacidad auto-depurativa, debido a que obtiene una mayor asimilación de la DBO y el pH, a comparación con las demás horas, sin embargo, para el segundo muestreo en donde se miden más parámetros el IGAP baja considerablemente acercándose al término de 0, por lo que se concluye que es importante obtener la mayor cantidad de datos en campo y laboratorio para realizar un cálculo más completo y acertado. De igual manera, se puede identificar que al tener parámetros analizados como el nitrógeno y el fósforo, en algunos casos aporta de manera significativa en el resultado del IGAP debido a que se encuentran presentes en las descargas de tipo residual doméstico e industrial, esta variación se observa en los dos muestreos, aun sin tener un valor significativo, modifican en el resultado final.

Con respecto a las distancias, al ser un río que gran parte es tipo plano, necesitará una mayor distancia de análisis, que permita a las reacciones de cada parámetro

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR. Director trabajo de Grado</p>
---	--	---

tener más tiempo para responder la acción de los contaminantes, y poder evaluar nuevamente su capacidad autodepurativa.

El Río Tunjuelo al tener una baja asimilación de las cargas contaminantes que son vertidas, deber tomarse medidas externas para combatir con los niveles de polución, actualmente sobre el río no existe una planta de tratamiento o alguna obra que permita mitigar el daño ecológico que este presenta, sin embargo en proyecciones en especialmente en el tramo del Río Bogotá después de la desembocadura con el Río Tunjuelo se trabaja en la construcción de la PTAR Canoas, con el fin de tratar los contaminantes tanto los que ya viajan en el Río Bogotá y los de los demás afluentes que alimentan este colector.

11.3.2. Caso Río Sumapaz

El estudio del caso del Río Sumapaz, surge en el proceso de recolección de datos para la formulación del SINCAP, que por su ubicación, las características topográficas de alta montaña y la información recolectada permite establecer un análisis del comportamiento diferente a comparación del Río Tunjuelo, donde además se logra aplicar otra herramienta para la evaluación geoespacial de los tramos de estudio.

11.3.2.1. Caracterización de la cuenca en estudio.

La zona de estudio corresponde a la cuenca del Río Sumapaz, que hace parte de la hidrología del Río Magdalena, en el departamento de Cundinamarca y Tolima, cuya extensión alcanza los 2531.14km², su nacimiento se realiza en el páramo de Sumapaz, a una altura aproximada de 3820m.s.n.m y del Río San Juan uno de los cauces que componen la red hidrográfica de 4100m.n.m, hasta el punto de su desembocadura en el Río Magdalena a los 270m.s.n.m, logrando una longitud del cauce alrededor de 145.90km. (CAR 2015)

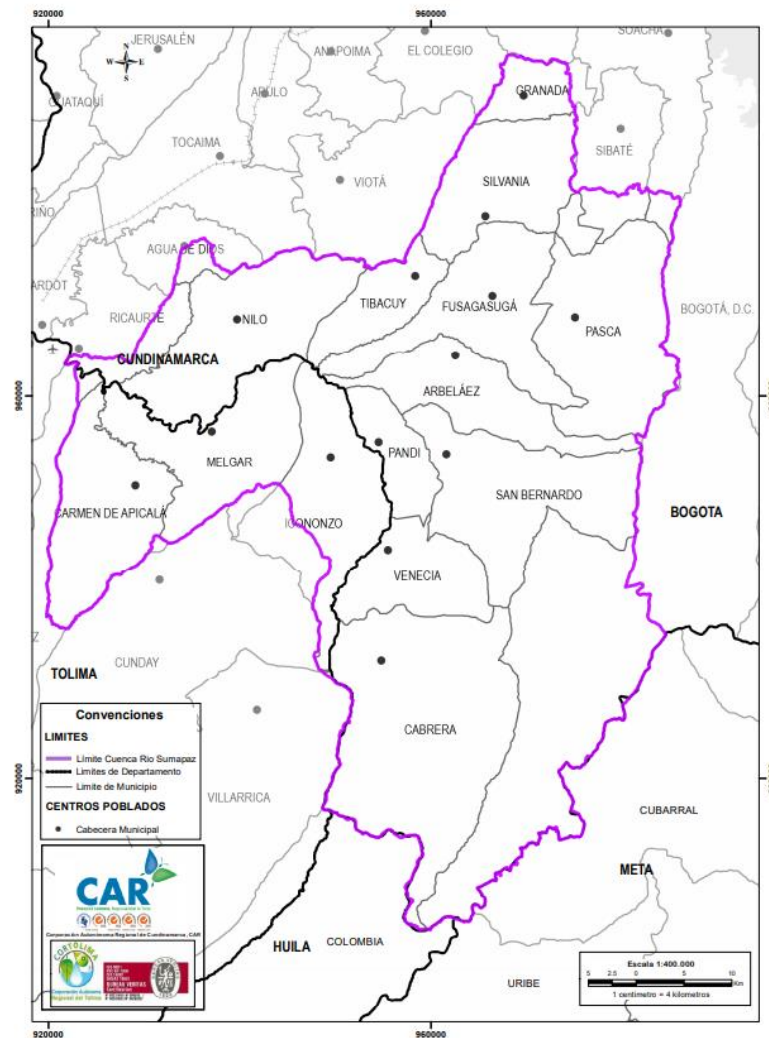
La cuenca se sitúa a una longitud 553320E y latitud 450457N en su punto medio, cuyos límites comprenden en el norte con la cuenca del Río Bogotá y la vertiente oriental del Río Magdalena. La temperatura de la cuenca ronda entre los 26°C como temperatura máxima y 5,8°C como mínima.

Esta zona se compone por diez (10) sub-cuencas: Alto Sumapaz, San Juan, Pilar, Quebrada Negra, Medio Sumapaz, Negro, Cuja, Panches, Bajo Sumapaz y Paguey, siendo estos su principal red hidrográfica, donde el máximo aporte hídrico dado por la precipitación se realiza bajo un comportamiento bimodal al año con valores de 1800 a 1900mm anuales que alcanzan un caudal máximo de 31.95m³/s.(CAR 2015)




Gracias a sus características hidrológicas y topográficas de la cuenca, presenta una mayor amortiguación a las crecientes, la cuales logran ser de tiempos cortos y principalmente de un cauce con régimen torrencial, aportado por las altas pendientes, cuyo promedio es de 3.5% teniendo en algunos sectores donde se presentan acumulación de sedimento, alcanzando una pendiente máxima el 7.2%, al inicio de la cuenca.

Figura 46. Limite cuenca Río Sumapaz.



Fuente: (CAR 2008a)

La demanda de este cauce está dada para servicios agrícolas, pecuarios y domésticos, por lo que a largo de su recorrido se encuentran más de 10 centros poblados municipales importantes, como Fusagasugá, uno de los municipios con

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

mayor población en Cundinamarca, el cual no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales lo que conlleva a que estas descargas vayan directo a los afluentes que componen la cuenca del río, de igual manera debido a su extensión presenta dificultad a la hora de tener control en dichos vertimientos, una problemática que se repite en los demás municipios.

11.3.2.2. Caracterización de los puntos de análisis.

La zona de estudio comprende las diez (10) sub-cuencas, las cuales involucran la información investigada de las bases de datos de las estaciones de calidad de agua de la CAR, cuya red de monitoreo está dado por diecisiete (17) puntos a lo largo del Río Sumapaz y sus recursos tributarios, sin embargo parte de la cuenca en estudio también hace parte de la corporación autónoma CORTOLIMA, pero para objetivos de la investigación no se tendrán en cuenta.

Adicionalmente, se incluirá aquellas estaciones que no están en la jurisdicción de la CAR, y se encuentran reportados en los planes de manejo de la cuenca POMCA, siendo datos generalizados para la comparación entre efluentes alcanzando una totalidad de treinta y seis (36) puntos de interés dentro de toda la cuenca, como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, cuya visualización se realiza mediante el SINCAP, registrando la información básica como las coordenadas para establecer el empalme entre los datos obtenidos por la CAR y los POMCA.

Asimismo, se identifica las variables hidro-topográficas presentes en los cauces, por medio de análisis de batimetría en puntos específicos, como el estudio de (Molina Contreras 2018), donde se determina la velocidad máxima entre los tramos analizados, y por último, los datos de estaciones limnimétricas proporcionados en el POMCA.

De acuerdo a lo anterior se limitan las coordenadas y características hidro-topográficas para cada una de las estaciones:



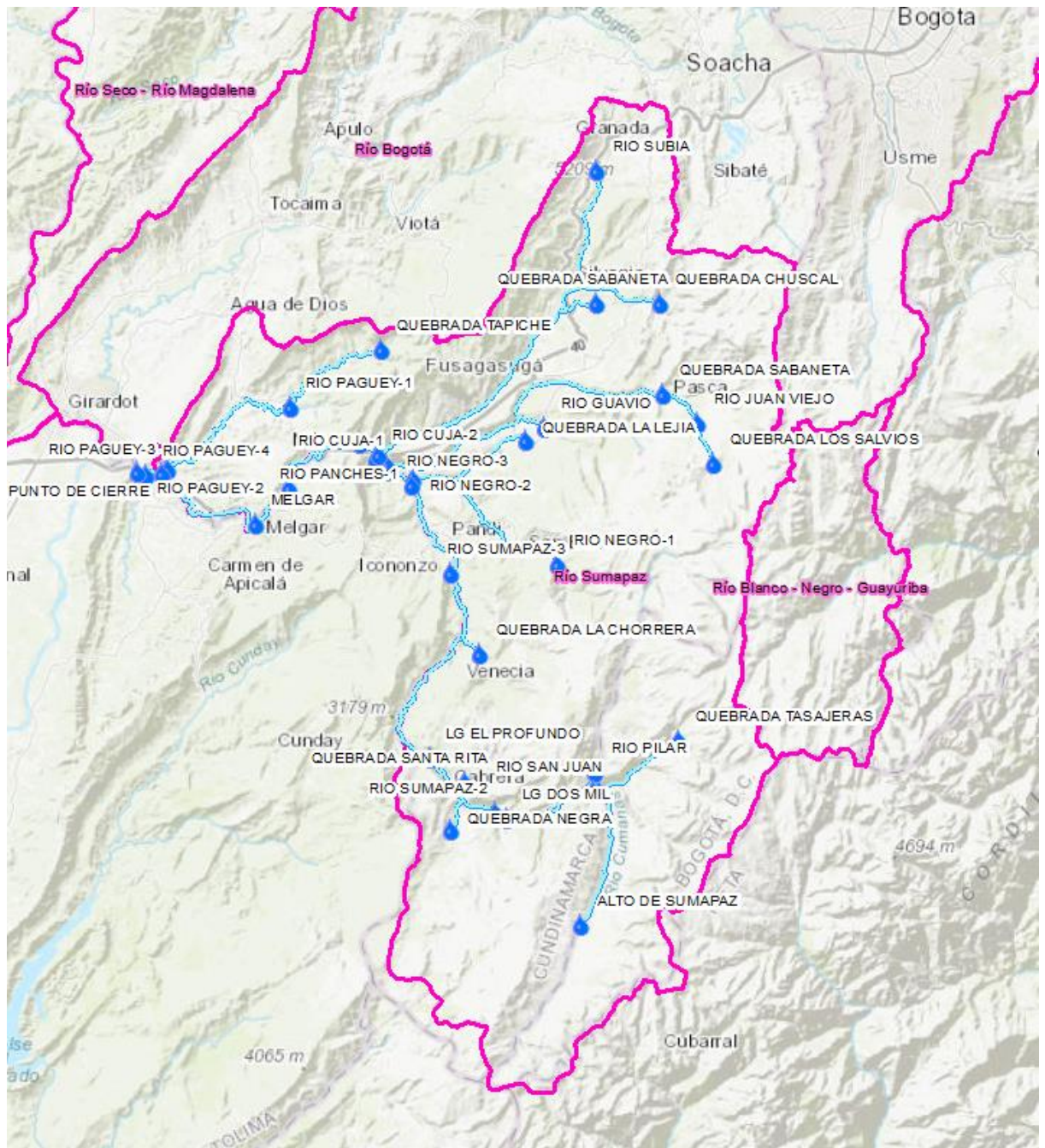
Tabla 38. Coordenadas e información hidro-topográfica de la red de Monitoreo. Río Sumapaz.

CÓDIGO ESTACIÓN	PUNTOS NOMBRE	COORDENADAS		PARÁMETROS HIDRO-TOPOGRÁFICOS			
		NORTE	ESTE	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/d)	Y(m)	Ancho (m)
101	ALTO SUMAPAZ	919855	966499	5.506	21157.69	0.64	34.40
102	RIO SAN JUAN	932117	968258	4.674	16475.85	0.75	32.0
103	QUEBRADA TASAJERAS	936808	975552	0.114	14431.24	0.41	1.63
104	RIO SUMAPAZ-1	922735	953670	15.456	48917.98	0.81	33.00
105	RIO PILAR	933956	967785	1.315	33015.49	0.26	12.96
106	LD DOS MIL	929677	959783	12.02	38043.10	0.81	33.00
107	RIO SUMAPAZ-2	930198	958737	3.641	45165.48	0.31	22.00
108	QDA NEGRA	928573	954589	0.809	20094.36	0.26	13.10
109	QDA SANTA RITA	932921	955875	0.9	37786.60	0.26	7.75
110	LG PROFUNDO	935323	952680	13.21	41809.43	0.81	33.00
111	QDA LA CHORRERA	944758	957248	0.007	1138.85	0.26	2.00
112	RIO SUMAPAZ-3	930198	958737	3.641	8928.37	1.38	25.00
113	RIO SUMAPAZ-4	960222	951063	2.127	3947.37	1.97	23.14
114	RIO NEGRO -2	960681	951073	1.281	1032.16	1.77	59.32
115	RIO NEGRO	952879	964327	0.475	11481.43	0.5	7.00
116	QDA LA LEJÍA	964364	961499	0.336	6093.38	0.5	9.33
117	RIO NEGRO-3	961557	949048	0.321	258.64	1.77	59.32
118	RIO CUJA-1	962012	948790	1.719	931.53	1.95	80.06
119	RIO GUAVIO	965517	963170	0.511	1331.54	1.53	21.22
120	QDA LOS SALVIOS	962221	978701	0.093	3274.98	0.77	3.12
121	RIO SAN JUAN	965939	977230	0.385	9138.89	1.1	3.24
122	QDA SABANETA	968524	974099	0.611	3795.20	1.5	9.08
123	RIO CUJA-2	962560	94775	1.719	4185.88	0.84	41.36
124	RIO PANCHES-2	964096	946249	3.34	6161.80	1.38	33.23
125	RIO SUBÍA	988995	968009	0.415	8472.25	0.56	7.40
126	QDA CHUSCAL	976864	973770	0.194	3102.59	0.77	6.87
127	QDA SABANETA	979830	967900	0.347	5833.90	0.68	7.40
128	RIO PANCHES	962955	947952	3.34	6507.87	1.97	22.04
129	LG LIMONAR MELGAR	959938	939785	8.78	15510.04	1.06	45.18
130	MELGAR	956712	936690	8.98	23683.15	0.86	37.30
131	RIO PAGUEY-4	961119	926732	13.46	37298.26	0.71	43.00
132	QDA TAPICHE	972663	948217	0.009	388.31	0.38	5.16
133	RIO PAGUEY-1	967400	939842	0.287	2717.73	0.6	14.89
134	RIO PAGUEY-2	961634	928616	5.05	26550.21	0.78	20.63
135	RIO PAGUEY-3	961342	928173	5.05	26550.21	0.78	20.63
136	PUNTO DE CIERRE	961345	925939	19.07	51878.64	0.71	43.80

Fuente propia.



Figura 47. Puntos de Monitoreo seleccionados. Río Sumapaz. SINCAP



Fuente propia.

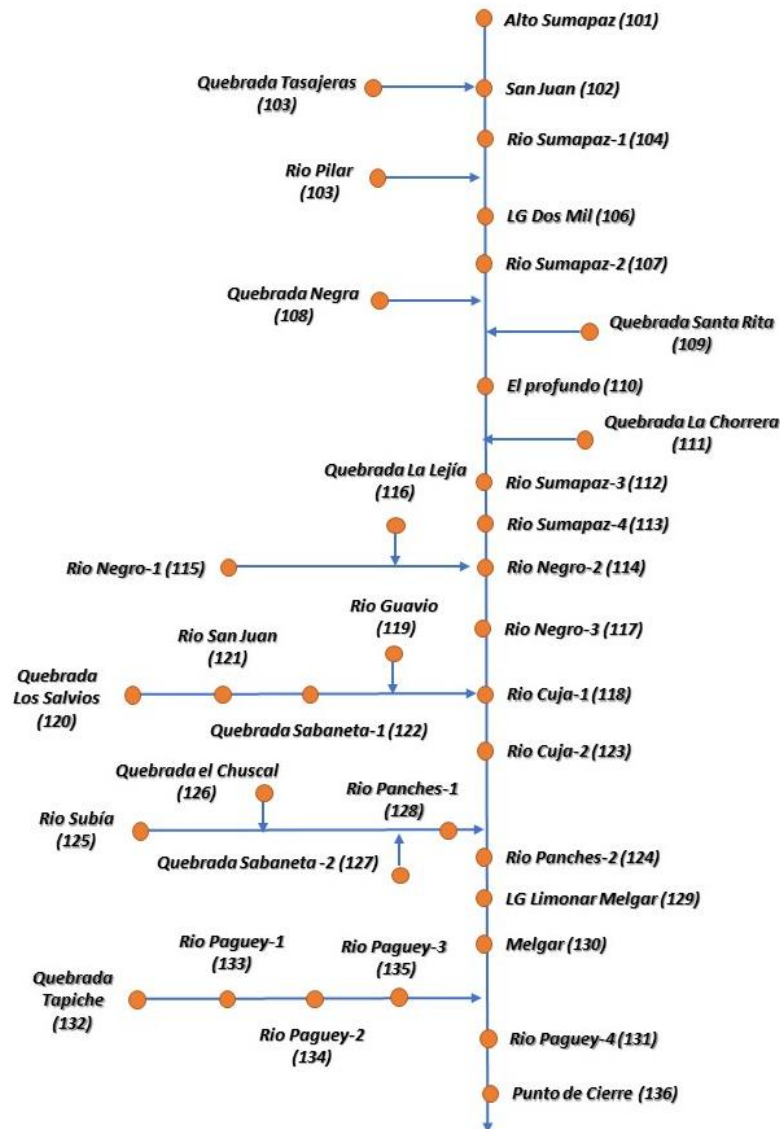
Según la Tabla 38, está presenta una codificación para cada una de las estaciones, esto se debe con el objeto de definir cada parámetro para la incorporación de la base de datos al SINCAP, el primer dígito es definido para la cuenca, en este caso



la del Sumapaz corresponde a uno (1) y el siguiente dígito al número de la estación de monitoreo.

La esquematización de la cuenca del río será:

Figura 48. Esquematización del sistema. Río Sumapaz



Fuente Propia.

Identificado cada uno de los puntos de la red de monitoreo se extrae la información de interés de los diez (10) parámetros, de la evaluación regional del agua y el POMCA de la cuenca:



Tabla 39. Caracterización del agua. Río Tunjuelo.

CÓDIGO ESTACIÓN	PUNTOS NOMBRE	PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA RIO TUNJUELO										
		pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)	OD (mgO_2/L)	DBO (mgO_2/L)	FÍSICO-QUÍMICOS						
						DQO (mgO_2/L)	NO_3 (mg/L)	NO_2 (mg/L)	NH_4 (mg/L)	SST (mg/L)	P (mg/L)	T ($^{\circ}\text{C}$)
101	ALTO SUMAPAZ	7.8	35	9.0	1.2	6.5	0.6	0.004	0.36	1.5	0	0
102	RIO SAN JUAN	7.9	45	10	0.5	7.4	0.6	0.006	0.38	5	0	0
103	QUEBRADA TASAJERAS	8.12	39	8	3	14.3	0.7	0.004	0.41	11	0	0
104	RIO SUMAPAZ-1	7.9	40	9	1	37.3	0.6	0.003	0.32	0	0	0
105	RIO PILAR	7.8	50	8	1.8	26.2	0.6	0.012	0.46	5.5	0	0
106	LD DOS MIL	7	26	8.3	2	18	0.49	0	0.7	13	0.066	14.3
107	RIO SUMAPAZ-2	7.4	7	0	2.8	10.6	1.1	0.003	0.54	9	0	0
108	QDA NEGRA	6.3	6.1	0	2.1	22.2	1.3	0.003	0.64	0	0	0
109	QDA SANTA RITA	4.6	16	6.6	2	53	0.44	0	0.7	10.5	0.06	15.3
110	LG PROFUNDO	6.4	18.2	8.3	2	55.3	0.35	0	0.7	16.5	0.067	18
111	QDA LA CHORRERA	7.2	6	4	2.8	18.6	1	0.01	0.54	7.5	0	0
112	RIO SUMAPAZ-3	7.4	7	0	2.8	10.9	1.1	0.003	0.54	9	0	0
113	RIO SUMAPAZ-5	7.6	55	4.5	1.7	19.7	1.2	0.004	0.51	7	0	0
114	RIO NEGRO -2	7.1	61.8	6.5	2	20.9	1.3	0.001	0.7	73	0.1	22.1
115	RIO NEGRO	7.3	40.5	3.9	0	44.7	1.2	0.004	0.23	7	0	0
116	QDA LA LEJÍA	7.2	72	2.7	6.3	42.6	1.4	0.052	1.19	1.4	0	0
117	RIO NEGRO-3	6.8	39.6	6.6	2	23.4	0.9	0	0.7	42.7	0.086	21.4
118	RIO CUJA-1	7.1	61.6	6.2	2	16.6	0.7	0	0.7	37.7	0.082	21.1
119	RIO GUAVIO	7.5	63	4.6	0.6	20	1.2	0.003	0.33	1	0	0
120	QDA LOS SALVIOS	7.4	36.1	5.7	1.1	28.5	2	0.003	0.57	9.5	0	0
121	RIO SAN JUAN	7.4	28.4	5.6	1.2	20.4	2.4	0.003	0.36	4	0.32	0
122	QDA SABANETA	7.6	54.7	5.2	1.5	17.5	2.6	0.005	0.47	6.5	0	0
122	QDA SABANETA	7.6	54.7	5.2	1.5	17.5	2.6	0.005	0.47	6.5	0	0
123	RIO CUJA-2	6.8	45.6	6.4	2.3	21.7	0.6	0	0.7	38.3	0.103	21.5
124	RIO PANCHES-2	7	53.3	6.4	2	23	1.2	0.03	0.7	50	0.154	22.4
125	RIO SUBÍA	7.5	150	5.6	2.1	28.9	1.5	0.068	0.7	2	0	0
126	QDA CHUSCAL	7.3	36.3	6.5	0.9	15.1	2.4	0.002	0.33	17	0	0
127	QDA SABANETA-2	7	1	0	77.8	191	1.9	0.002	7.45	56.1	0.88	0
128	RIO PANCHES	7.2	89.1	6.3	2.3	18.6	2.3	0.11	0.7	60	0.243	22.1
129	LG LIMONAR MELGAR	7.2	61	7.7	2	20.2	1	0.04	0.7	42	0.194	21.1
130	MELGAR	7.1	61.1	7.8	2	17.7	0.7	0.01	0.7	42.3	0.194	21.1
131	RIO PAGUEY-4	7.1	68.1	7.4	2	18.4	0.9	0.02	0.7	65	0.194	23.9
132	QDA TAPICHE	8	7.7	5	1	35.1	0.9	0.003	0.31	5	0	0
133	RIO PAGUEY-1	7.8	7.8	4	5	27.2	0.8	0.047	1.39	14	0	0
134	RIO PAGUEY-2	9.2	6.3	1.5	3.9	44.7	0.6	0.0012	0.38	52	0	0
135	RIO PAGUEY-3	7.6	108	7.3	2	12.9	0.8	0.01	0.7	51	0.269	22.4
136	PUNTO DE CIERRE	7.2	89.9	6.6	2	26.1	0.9	0.01	0.7	184	0.317	24.6

Fuente propia.



11.3.2.3. Diagnóstico de calidad de agua e implementación de IGAP.

Debido a que el caso de estudio se realizó dentro de la jurisdicción de la CAR, donde se establece como concentración de análisis la definida por los objetivos de calidad propuestos en la corporación, donde son metas propuestas para la reducción de vertimientos y carga contaminante a futuro, el Río Sumapaz establece las siguientes restricciones en los parámetros críticos:

Tabla 40. Objetivos de calidad. Clase IV. Río Bogotá.

TIPO	DESCRIPCIÓN	pH	OD (mg O ₂ /L)	DBO (mgO ₂ /L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	SST (mg/L)	P (mg/L)
CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario.	7	>4	7	10	1	0.1	10	0.1
CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	>4	10	10	1	0.1	10	0.1
CLASE III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de los lagos, lagunas, humedales y demás cuerpos lenticos de aguas ubicados dentro de la cuenca del río Sumapaz.	7	>4	20	1	0.5	0.3	20	0.1
CLASE IV	Corresponde a los valores de los usos agrícolas con restricciones y pecuario.	7	>4	20	10	1	0.1	20	0.1

Fuente (CAR 2008b)

La resolución 2833 del 2008, que delimitan los objetivos de calidad hasta el año 2020, establece la distribución de las clases de acuerdo a al uso de la fuente, como se mencionó anteriormente, se tienen diez (10) sub-cuencas, en donde, la perteneciente al Río Paguey, la zona baja y media de cuenca le corresponde Clase IV, el Río Panches y Cuja, en la parte de su nacimiento es asignado la Clase I,



mientras que los cauces tributarios pertenecen a la Clase II y donde su desembocadura alcanza la Clase IV, por último, los ríos Pilar, Quebrada Negra, San Juan y Alto Sumapaz, hace parte de la Clase I.

Al analizar los resultados de la caracterización se puede identificar que inicialmente que hay unos valores de cero (0) evaluados en los criterios de la temperatura y fosforo, esto se debe a que varios de los datos proporcionados por los POMCA, no realizan un estudio debido a la importancia en el cauce de análisis.

En relación a los resultados de la caracterización, comparados a los objetivos de calidad según su clase, se puede observar algunos casos en específico que presentan concentraciones mayores a las permisibles, en especial en la Quebrada Sabaneta, que muestra un aumento considerable del parámetro de la DBO, cuyo valor ronda los 77,8mgO₂/L, esto se debe que en este punto llegan los vertimientos de agua residual domestica principalmente por el municipio de Subía, Granada y Sylvania, este río pertenece a la cuenca del Río Panches, que además se observa un punto con una concentración de nitritos que sobrepasa el límite, que no es tan significativo pero puede afectar al uso o vida en el recurso hídrico.

Figura 49. Estado de la Quebrada Sabaneta



Fuente: (Fusagasugá Noticias 2017)

En todos los puntos estudiados, es importante mencionar las altas concentraciones de nitrógeno amoniacal, el cual alcanza valores máximos de 1.39m/L, principalmente en la parte baja de la cuenca, debido a la acumulación de todas las vertientes tributarias que ya presentan un grado de contaminación por este parámetro, generalmente la presencia de este compuesto es atribuido a las aguas residuales domésticas, en función a la materia fecal, a causa que en la mayoría de los asentamientos humanos no presentan un tratamiento convencional, y optan por otras alternativas para ser manejadas, como letrinas y pozos sépticos que en algunas ocasiones se infiltran y llegan al cauce.



En la parte inferior de la cuenca de la fuente principal, en el punto de la desembocadura con el Río Magdalena, se tiene un aumento considerativo de las concentraciones de los sólidos suspendidos totales, esto se debe a que en este punto del río, las pendientes disminuyen por lo que afecta en el transporte de sedimentos e incluso en la producción de nutrientes como el fosforo, cuyo valor es mayor en esta zona.

Figura 50. Río Sumapaz, a la altura de Melgar. Cuenca Baja



Fuente (TerraFluxus 2017)

Continuando con la metodología se aplica el cálculo del IGAP, en donde los datos ingresados en la segunda hoja de cálculo *DATA*, corresponden a la caracterización hidráulica y fisicoquímica del río, en donde se codificaron los tramos de acuerdo a la estación de análisis, donde el primer dígito indica la cuenca, los siguientes dos dígitos a la estación de calidad aguas arriba y los dos últimos la estación aguas abajo.

Para la longitud del tramo, se identificaron mediante el SINCAP, definiendo cuáles eran las estaciones se conectaban entre sí, y se trazó el curso entre puntos.

La siguiente hoja de cálculo *CONST*, se consideró el rango para selección de la constante de reacción para el parámetro, para este caso no se cuenta con estudios previos completos de modelaciones para la determinación de las constantes, por lo que la selección se realizó mediante el punto medio de los rangos, adicionalmente para el cálculo de la velocidad de sedimentación se definió como la partícula más crítica la arcilla, siendo esta una de las que tarda más tiempo en sedimentarse.

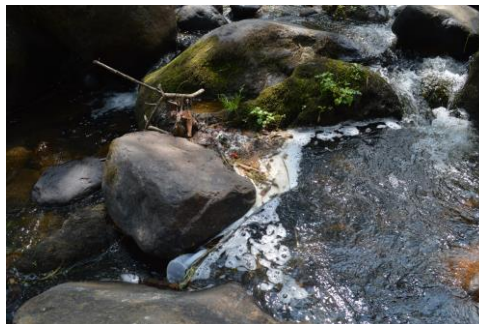
Por último, en la hoja final de cálculo, se definen las clases para cada uno de los tramos, donde se obtienen los resultados de la Tabla 41. Los valores utilizados para dicho cálculo se encuentran en el Anexo 5.



Al observar los resultados de la cuenca del Río Sumapaz, se puede concluir que gran parte de los parámetros calculados individualmente presentan valores en el rango más bajo de la clasificación del IGAP, esto quiere indicar que estos parámetros no presentan una disminución en relación a su concentración aguas arriba, esto se puede dar por la presencia de vertimientos a lo largo del tramo debido a que entre puntos de análisis existen longitudes que superan el kilómetro de distancia y la información no es suficiente para determinar cualitativa y cuantitativamente las descargas, a consecuencia que en gran parte de la Zona no se encuentra definido un plan de manejo, monitoreo y seguimiento de los vertimientos que permiten un control adecuado sobre las cargas contaminantes que llegan al cauce.

Estos procesos que generan un impacto negativo dentro de la cuenca por el uso, pueden ser alteración natural o antrópica, que principalmente por la cabeceras municipales de Fusagasugá, Silvania, Pasca, Subía y Arbeláez, las cuales presentan las mayores cargas contaminantes vertientes en el río a consecuencia de la falta de tratamientos, además del aumento de la materia orgánica producto de los lixiviados de los rellenos sanitarios, la otra parte de la contaminación se da por el desarrollo turístico, como en los sectores de Melgar y Chinauta, y los sectores industriales avícolas y porciúnculas.

Figura 51. Contaminación en el Río Cuja.



Fuente Propia.

Sin embargo, en algunos casos se puede observar que en variables como el Oxígeno Disuelto, los Sólidos Suspendidos, el Fósforo y la DBO, presentan valores positivos que aportan significativamente a los procesos autodepurativos del río, gracias a que estos parámetros se encuentran en función de la pendiente, donde en puntos de la cuenca alta y media del río alcanzan valores medios del 7.2%, los cuales favorece al transporte y depositación de los sedimentos, y adicionalmente a los procesos de re-aireación por el régimen torrencial que caracteriza a la zona.



Tabla 41. Resultados del cálculo del IGAP. Río Sumapaz. Usando la herramienta en Excel.

CODIGO TRAMO	TRAMO	IGAP													IGAP
		OBJETIVO DE CALIDAD		IGAP INDIVIDUAL											
		RIO	CLASE	pH	Conductividad	OD	DBO	DQO	NO3	NO2	NH4	SST	Fosforo		
10102	ALTO SUMAPAZ - SAN JUAN	SUMAPAZ	CLASE I	-0.001	-0.027	-0.074	-0.020	-0.002	0.000	0.000	-0.002	0.054	0.000	0.054	
10302	TASAJERAS - SAN JUAN	SUMAPAZ	CLASE I	0.001	-0.015	-0.431	-0.151	0.008	0.000	0.000	0.004	1.237	0.000	1.000	
10204	SAN JUAN - RIO SUMAPAZ1	SUMAPAZ	CLASE I	0.000	0.000	0.001	0.000	-0.002	0.000	0.000	0.000	-0.004	0.000	0.002	
10406	RIO SUMAPAZ1 - LG DOS MIL	SUMAPAZ	CLASE I	0.002	0.010	0.020	0.007	0.003	0.000	0.000	-0.009	0.041	0.004	0.083	
10506	RIO PILAR - LG DOS MIL	SUMAPAZ	CLASE I	0.003	0.023	-0.159	0.007	0.003	0.000	0.000	-0.021	0.267	0.007	0.302	
10607	LG DOS MIL - RIO SUMAPAZ2	SUMAPAZ	CLASE I	SIN RESULTADO	0.004	0.034	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	-0.002	0.046	
10710	RIO SUMAPAZ2 - LG PROFUNDO	SUMAPAZ	CLASE I	0.005	-0.047	2.389	-0.018	-0.022	0.000	0.000	-0.006	0.620	0.004	1.000	
10810	QDA NEGRA - LG PROFUNDO	SUMAPAZ	CLASE I	0.001	-0.125	4.103	-0.005	-0.017	0.000	0.000	-0.005	0.353	0.010	1.000	
10910	QDA SANTA RITA - LG PROFUNDO	SUMAPAZ	CLASE I	0.001	-0.003	-0.642	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.810	0.001	0.001	
11012	LG PROFUNDO - RIO SUMAPAZ3	SUMAPAZ	CLASE IV	0.009	0.050	0.631	0.019	0.011	0.000	0.000	0.004	0.102	-0.037	0.826	
11112	QDA LA CHORRERA - RIO SUMAPAZ3	SUMAPAZ	CLASE IV	-0.080	-0.201	SIN RESULTADO	0.000	0.088	0.000	-0.001	0.000	2.454	0.000	1.000	
11213	RIO SUMAPAZ3 - RIO SUMAPAZ4	SUMAPAZ	CLASE IV	-0.006	-1.158	0.356	-0.044	-0.024	0.000	0.000	0.001	-0.216	0.000	0.357	
11314	RIO SUMAPAZ4 - RIO NEGRO2	SUMAPAZ	CLASE IV	0.001	-0.002	-0.171	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.168	0.004	0.169	
11514	RIO NEGRO - RIO NEGRO2	SUMAPAZ	CLASE IV	0.011	-0.127	26.511	0.147	0.023	0.000	0.000	-0.284	9.390	0.055	1.000	
11614	QDA LA LEJIA - RIO NEGRO2	SUMAPAZ	CLASE IV	0.010	0.045	1.652	-4.116	0.000	0.000	-0.002	0.046	4.622	0.071	1.000	
11417	RIO NEGRO2 - RIO NEGRO3	SUMAPAZ	CLASE IV	0.066	0.120	-0.035	0.000	-0.007	0.000	0.000	0.000	0.080	SIN RESULTADO	0.266	
11718	RIO NEGRO3 - RIO CUJA	SUMAPAZ	CLASE IV	0.032	-0.178	0.134	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.024	-0.021	0.207	
12021	QDA LOS SALVIOS - RIO SAN JUAN	SUMAPAZ	CLASE II	0.000	0.042	0.016	0.005	0.010	0.000	0.000	0.017	-2.478	0.142	0.090	

Fuente propia.



 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.	ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado

Tabla 42. Resultados del cálculo del IGAP. Río Sumapaz. Usando la herramienta en Excel. (Continuación)

12122	RIO SAN JUAN - QDA SABANETA-1	SUMAPAZ	CLASE II	-0.002	-0.067	0.025	0.004	0.002	0.000	0.000	-0.003	0.024	0.024	0.055
12218	QDA SABANETA-1 - RIO CUJA	SUMAPAZ	CLASE II	0.065	-0.148	-2.293	0.102	0.011	-0.003	-0.001	-0.048	6.156	0.218	1.000
11918	RIO GUAVIO - RIO CUJA	SUMAPAZ	CLASE II	0.098	0.041	-12.743	0.383	0.056	-0.001	-0.001	-0.191	4.369	0.345	1.000
11823	RIO CUJA - RIO CUJA2	SUMAPAZ	CLASE IV	0.022	0.029	-0.027	0.006	-0.006	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.030	0.057
12528	RIO SUBIA - RIO PANCHES	SUMAPAZ	CLASE I	0.028	0.285	-0.566	0.056	0.044	0.001	0.004	0.000	8.004	0.386	1.000
12628	QDA CHUSCAL - RIO PANCHES	SUMAPAZ	CLASE IV	0.038	-2.539	0.205	0.605	-0.071	0.000	0.024	-0.530	-12.272	0.959	0.872
12629	QDA SABANETA2 - RIO PANCHES	SUMAPAZ	CLASE IV	SIN RESULTADO	-64.034	0.302	1.287	0.116	0.000	0.010	0.148	-0.080	0.134	1.000
12324	RIO CUJA2 - RIO PANCHES	SUMAPAZ	CLASE IV	0.005	-0.013	0.000	-0.007	-0.001	0.000	0.000	0.000	-0.033	-0.290	0.005
12824	RIO PANCHES - RIO PANCHES2	SUMAPAZ	CLASE IV	0.010	0.061	-0.016	-0.008	-0.006	0.000	-0.002	0.000	0.014	0.021	0.085
12429	RIO PANCHES2 - LG LIMONAR MELGAR	SUMAPAZ	CLASE IV	SIN RESULTADO	-0.034	-0.266	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.030	-0.040	0.036
12930	LG LIMONAR MELGAR - MELGAR	SUMAPAZ	CLASE IV	0.002	0.000	-0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
13031	MELGAR - RIO PAGUEY4	SUMAPAZ	CLASE IV	0.000	-0.012	0.015	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	-0.075	0.000	0.015
13233	QDA TAPICHE - RIO PAGUEY1	SUMAPAZ	CLASE IV	0.061	-0.060	7.256	8.233	0.183	-0.001	0.026	-10.583	19.209	0.000	1.000
13334	RIO PAGUEY1 - RIO PAGUEY2	SUMAPAZ	CLASE IV	-0.124	0.206	SIN RESULTADO	-1.079	-0.121	0.000	-0.006	0.218	-14.933	0.000	0.424
13435	RIO PAGUEY2 - RIO PAGUEY3	SUMAPAZ	CLASE IV	0.000	-0.060	0.023	-0.003	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.002	0.023
13531	RIO PAGUEY3 - RIO PAGUEY4	SUMAPAZ	CLASE IV	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.001	0.002
13136	RIO PAGUEY4 - PUNTO DE CIERRE	SUMAPAZ	CLASE IV	0.000	-0.001	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	-0.001	0.005

Fuente propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

En términos globales, la cuenca alta y media del Río Sumapaz presenta la mayor capacidad de autodepuración que la parte baja, su incidencia está estrechamente relacionada con la pendiente, velocidad y flujo del cauce en estos puntos, cuando el río llega al municipio de Melgar la pendiente media disminuye considerablemente por lo que la capacidad de reducción es limitada.

De igual manera es importante aclarar el uso que se le realiza a la fuente en cada parte de la cuenca, donde en la zona alta y media se destaca la actividad agrícola y ganadera, por lo que la afectación es leve debido a la poca presencia de la población, no obstante, las elevadas concentraciones de materia orgánica principalmente en los valores asociados al nitrógenos se dan en este punto dado el tipo de vertimiento, mientras que en la parte baja se destaca por el uso recreativo donde aumenta la presencia de las concentraciones humanas y así las cargas contaminantes.

Asimismo, existen algunas corrientes tributarias que no presentan una disminución de los contaminantes, esto debido a que pasan por los vertimientos de aguas negras de los municipios, como lo es el caso de del tramo *RIO SUMAPAZ1-LG DOS MIL*, cuyo cauce recorre parte del municipio de Cabrera.

Del cálculo del IGAP, 13 de los 35 tramos en estudio presenta una alta capacidad de purificación de los contaminantes siendo 37,14% de los datos de la cuenca, mientras 17, es decir 48,57% de los resultados presenta una mala capacidad de asimilación, a pesar de ello, esto no define un resultado absoluto de la condición de la cuenca puesto que la extensión en área de zona es grande y requiere más puntos de análisis con longitudes de tramo más cortas para identificar de manera precisa la capacidad de cauce.

Sin embargo, se deben tomar medidas externas para contrarrestar aquellos puntos que presentan un aumento considerable en las cargas de contaminación, principalmente en las cabeceras municipales y puntos de uso recreativo, para ello la aplicación de planes de manejo puede ser un recurso importante para el control de las descargas, incluso en algunos municipios como Fusagasugá han optado por la proyección de la construcción de PTAR sobre el Río Cuja y la incorporación de controles ambientales para las aguas industriales de tipo agrícola.

11.3.2.4. Formulación de mapas de auto-depuración

Con el fin de describir visualmente la capacidad autodepurativa de los ríos, mediante el uso de la base de datos del SINCAP, creada en ArcGIS, se deben exportar los



resultados obtenidos tanto del IGAP, como los datos de ingreso de parámetros físico-químicos e hidráulicos.

Además de datos en Shapefile, ArcGIS permite importar archivos que contengan información tabulada ya sea en programas como Excel, para este estudio se utilizan los datos que provee la hoja de cálculo *DATA* e *IGAP*, en donde las ventanas se deben guardar mediante un formato **.csv (comma-separated values)** que permite un traspaso de datos mucho más eficiente en relación al formato **.xls** que normalmente presenta los archivos tipo Excel.

Este tipo de formato, en la interfaz del programa no genera una visualización, por lo que se debe recurrir al análisis de las tablas, tanto para el componente cargado de datos o IGAP y a las entidades que se requieran apreciar en el mapa.

Cuando se realiza un comparativo entre tablas, se puede identificar que parte de ellas están clasificadas con códigos estándar que permiten a la información superponerse generando una base de datos más completa en una sola capa, es por ello la importancia de definir estos códigos tanto para el tramo en análisis como las estaciones de calidad ya que para la combinación entre las tablas de cálculo de IGAP y las base de datos del SINCAP deben tener el mismo contenido con respecto a los códigos de tal forma se obtenga de manera óptima y adecuada la superposición. Para realizar la combinación de la información contenida en el *Shapefile* y los datos de la tabla, se realiza mediante la opción *Join and relates*, utilizando como punto de unión los códigos.

Figura 52. Tabla de atributos de la entidad TRAMO_IGAP combinada con los resultados

OBJECTID*	SHAPE*	CODIGO	TRAMI	SHAPE_Length	TRAMO	RIO	CLASE	IGAP
86	Polyline	10102	14148.961038		ALTO SUMAPAZ - SAN JUAN	SUMAPAZ	CLASE I	0.053929
87	Polyline	10302	9893.639567		TASAJERAS - SAN JUAN	SUMAPAZ	CLASE I	1
104	Polyline	10506	10927.053484		RIO PILAR - LG DOS MIL	SUMAPAZ	CLASE I	0.301977
106	Polyline	10204	354.025525		SAN JUAN - RIO SUMAPAZ1	SUMAPAZ	CLASE I	0.001576
116	Polyline	10607	1278.311844		LG DOS MIL - RIO SUMAPAZ2	SUMAPAZ	CLASE I	0.04598
117	Polyline	10406	8905.241132		RIO SUMAPAZ1 - LG DOS MIL	SUMAPAZ	CLASE I	0.082611
123	Polyline	10710	9126.556591		RIO SUMAPAZ2 - LG PROFUNDO	SUMAPAZ	CLASE I	1
125	Polyline	10810	8811.80754		ODA NEGRA - LG PROFUNDO	SUMAPAZ	CLASE I	1
135	Polyline	10910	5227.6817		ODA SANTA RITA - LG PROFUNDO	SUMAPAZ	CLASE I	0.000988
136	Polyline	11012	23567.725339		LG PROFUNDO - RIO SUMAPAZ3	SUMAPAZ	CLASE IV	0.626037
137	Polyline	11112	8542.917253		ODA LA CHORRERA - RIO SUMAPAZ3	SUMAPAZ	CLASE IV	1
138	Polyline	11213	10472.647141		RIO SUMAPAZ3 - RIO SUMAPAZ4	SUMAPAZ	CLASE IV	0.357181
139	Polyline	11314	467.156833		RIO SUMAPAZ4 - RIO NEGRO2	SUMAPAZ	CLASE IV	0.169437
140	Polyline	11514	19308.627394		RIO NEGRO - RIO NEGRO2	SUMAPAZ	CLASE IV	1
141	Polyline	11614	13329.90105		ODA LA LEJIA - RIO NEGRO2	SUMAPAZ	CLASE IV	1
145	Polyline	11718	2395.197372		RIO NEGRO3 - RIO CUJA	SUMAPAZ	CLASE IV	0.206881
168	Polyline	12122	4563.39723		RIO SAN JUAN - ODA SABANETA-1	SUMAPAZ	CLASE II	0.055034
170	Polyline	12021	4477.016386		ODA LOS SALVADOS - RIO SAN JUAN	SUMAPAZ	CLASE II	0.990047
171	Polyline	12218	16658.256149		ODA SABANETA-1 - RIO CUJA	SUMAPAZ	CLASE II	1
174	Polyline	11918	17415.81617		RIO GUAJAVO - RIO CUJA	SUMAPAZ	CLASE II	1
175	Polyline	11823	1456.789594		RIO CUJA - RIO CUJAZ	SUMAPAZ	CLASE IV	0.057131
185	Polyline	12426	10143.746169		RIO PANCHES - LG LIMONAR MELGAR	SUMAPAZ	CLASE IV	0.035669
186	Polyline	13031	17150.17876		MELGAR - RIO PAGUEY4	SUMAPAZ	CLASE IV	0.015354
187	Polyline	13233	13512.062337		ODA TAPICHE - RIO PAGUEY1	SUMAPAZ	CLASE IV	1
189	Polyline	13334	20190.50644		RIO PAGUEY1 - RIO PAGUEY2	SUMAPAZ	CLASE IV	0.42378
190	Polyline	13335	690.296277	<Null>		<Null>	<Null>	<Null>
191	Polyline	13531	1920.817072		RIO PAGUEY3 - RIO PAGUEY4	SUMAPAZ	CLASE IV	0.002358
192	Polyline	13136	1538.017883		RIO PAGUEY4 - PUNTO DE CIERRE	SUMAPAZ	CLASE IV	0.004883
201	Polyline	12526	13122.914657		RIO SUBIA - RIO PANCHES	SUMAPAZ	CLASE I	1
202	Polyline	12728	29952.420542		ODA SABANETA2 - RIO PANCHES	SUMAPAZ	CLASE IV	1
205	Polyline	12628	12127.19624		ODA CHUSCAL - RIO PANCHES	SUMAPAZ	CLASE IV	0.871996
206	Polyline	12324	324.40637		RIO CUJAZ - RIO PANCHES	SUMAPAZ	CLASE IV	0.005324
208	Polyline	12930	4937.759498		LG LIMONAR MELGAR - MELGAR	SUMAPAZ	CLASE IV	0.00251
209	Polyline	12824	2366.664809		RIO PANCHES - RIO PANCHES2	SUMAPAZ	CLASE IV	0.085026
210	Polyline	11417	597.663881		RIO NEGRO2 - RIO NEGRO3	SUMAPAZ	CLASE IV	0.266315

Fuente propia.



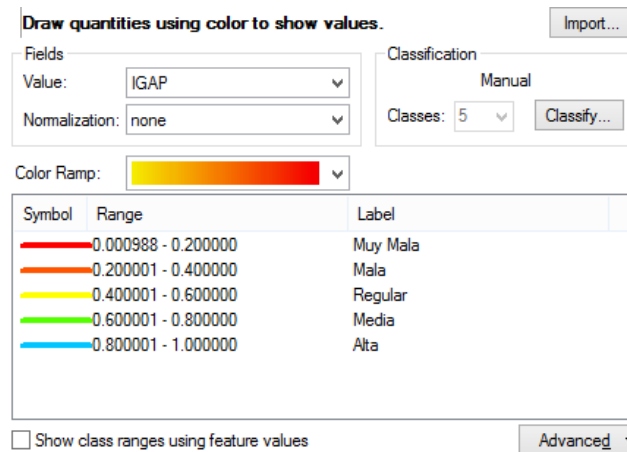
Figura 53. Tabla de atributos de la entidad CALIDAD_DE_AGUA combinada con los resultados.

OBJECTID*	SHAPE*	CODIGO	ESTAD	NOMBRE	pH	Conductividad (µs/cm)	Oxígeno Disuelto (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NH4 (mg/L)	SST (mg/L)	Fosforo Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)
32	Point	113		RIO SUMAPAZ-4	7.6	55	4.5	1.7	19.7	1.2	0.004	0.51	7	0	0
21	Point	112		RIO SUMAPAZ-3	7.4	7	0	2.8	10.9	1.1	0.003	0.54	9	0	0
14	Point	107		RIO SUMAPAZ-2	7.4	7	0	2.8	10.6	1.1	0.003	0.54	9	0	0
7	Point	104		RIO SUMAPAZ-1	7.9	40	9	1	37.3	0.6	0.003	0.32	0	0	0
53	Point	125		RIO SUBIA	7.5	150	5.6	2.1	28.9	1.5	0.068	0.7	2	0	0
2	Point	102		RIO SAN JUAN	7.9	45	10	0.5	7.4	0.6	0.006	0.38	5	0	0
42	Point	121		RIO JUAN VIEJO	7.4	28.4	5.6	1.2	20.4	2.4	0.003	0.36	4	0.32	0
5	Point	105		RIO PILAR	7.8	50	8	1.8	26.2	0.6	0.012	0.46	5.5	0	0
64	Point	124		RIO PANCHES-2	7	53.3	6.4	2	23	1.2	0.03	0.7	50	0.154	22.4
40	Point	128		RIO PANCHES-1	7.2	89.1	6.3	2.3	18.6	2.3	0.11	0.7	60	0.243	22.1
69	Point	135		RIO PAGUEY-4	7.6	108	7.3	2	12.9	0.8	0.01	0.7	51	0.269	22.4
60	Point	134		RIO PAGUEY-2	9.2	6.3	1.5	3.9	44.7	0.6	0.0012	0.38	52	0	0
67	Point	134		RIO PAGUEY-3	9.2	6.3	1.5	3.9	44.7	0.6	0.0012	0.38	52	0	0
59	Point	133		RIO PAGUEY-1	7.8	7.8	4	5	27.2	0.8	0.047	1.39	14	0	0
30	Point	114		RIO NEGRO-2	7.1	61.8	6.5	2	20.9	1.3	0.001	0.7	73	0.1	22.1
36	Point	117		RIO NEGRO-3	6.8	39.6	6.6	2	23.4	0.9	0	0.7	42.7	0.086	21.4
33	Point	115		RIO NEGRO-1	7.3	40.5	3.9	0	44.7	1.2	0.004	0.23	7	0	0
43	Point	119		RIO GUAVIO	7.5	63	4.6	0.6	20	1.2	0.003	0.33	1	0	0
39	Point	123		RIO CUJA-2	6.8	45.6	6.4	2.3	21.7	0.6	0	0.7	38.3	0.103	21.5
37	Point	118		RIO CUJA-1	7.1	61.6	6.2	2	16.6	0.7	0	0.7	37.7	0.082	21.1
3	Point	103		QUEBRADA TASAJERAS	8.12	39	8	3	14.3	0.7	0.004	0.41	11	0	0
61	Point	132		QUEBRADA TAPICHE	8	7.7	5	1	35.1	0.9	0.003	0.31	5	0	0
18	Point	109		QUEBRADA SANTA RITA	4.6	16	6.6	2	53	0.44	0	0.7	10.5	0.06	15.3
56	Point	127		QUEBRADA SABANETA-2	7	1	0	77.8	191	1.9	0.002	7.45	56.1	0.88	0
41	Point	122		QUEBRADA SABANETA-1	7.6	54.7	5.2	1.5	17.5	2.6	0.005	0.47	6.5	0	0
23	Point	108		QUEBRADA NEGRA	6.3	6.1	0	2.1	22.2	1.3	0.003	0.64	0	0	0
45	Point	120		QUEBRADA LOS SALVIO	7.4	36.1	5.7	1.1	28.5	2	0.003	0.57	9.5	0	0
44	Point	116		QUEBRADA LA LEIJA	7.2	72	2.7	6.3	42.6	1.4	0.052	1.19	1.4	0	0
13	Point	111		QUEBRADA LA CHORRER	7.2	6	4	2.8	18.6	1	0.01	0.54	7.5	0	0
55	Point	126		QUEBRADA CHUSCAL	7.3	36.3	6.5	0.9	15.1	2.4	0.002	0.33	17	0	0
71	Point	136		PUNTO DE CIERRE	7.2	89.9	6.6	2	26.1	0.9	0.01	0.7	184	0.317	24.6
66	Point	130		MELGAR	7.1	61.1	7.8	2	17.7	0.7	0.01	0.7	42.3	0.194	21.1
19	Point	110		LG EL PROFUNDO	6.4	18.2	8.3	2	55.3	0.35	0	0.7	16.5	0.067	18
65	Point	129		LG LIMONAR MELGAR	7.2	61	7.7	2	20.2	1	0.04	0.7	42	0.194	21.1
11	Point	106		LG DOS MIL	7	26	8.3	2	18	0.49	0	0.7	13	0.066	14.3
1	Point	101		ALTO DE SUMAPAZ	7.8	35	9	1.2	6.5	0.6	0.004	0.36	1.5	0	0

Fuente propia.

Entrelazados cada uno de los datos, por medio de la simbología de las capas se definen los rangos de autodepuración, con el fin de establecer gráficamente los tramos según su capacidad de asimilación de acuerdo con los resultados obtenido para cada zona.

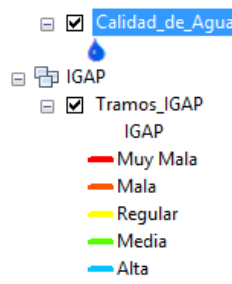
Figura 54. Definición de los rangos por simbología en ArcGIS.



Fuente propia.

Esto permitirá que tanto en la capa como en el mapa se visualicen por rango de color:

Figura 55. Convenciones del mapa.



Fuente propia.

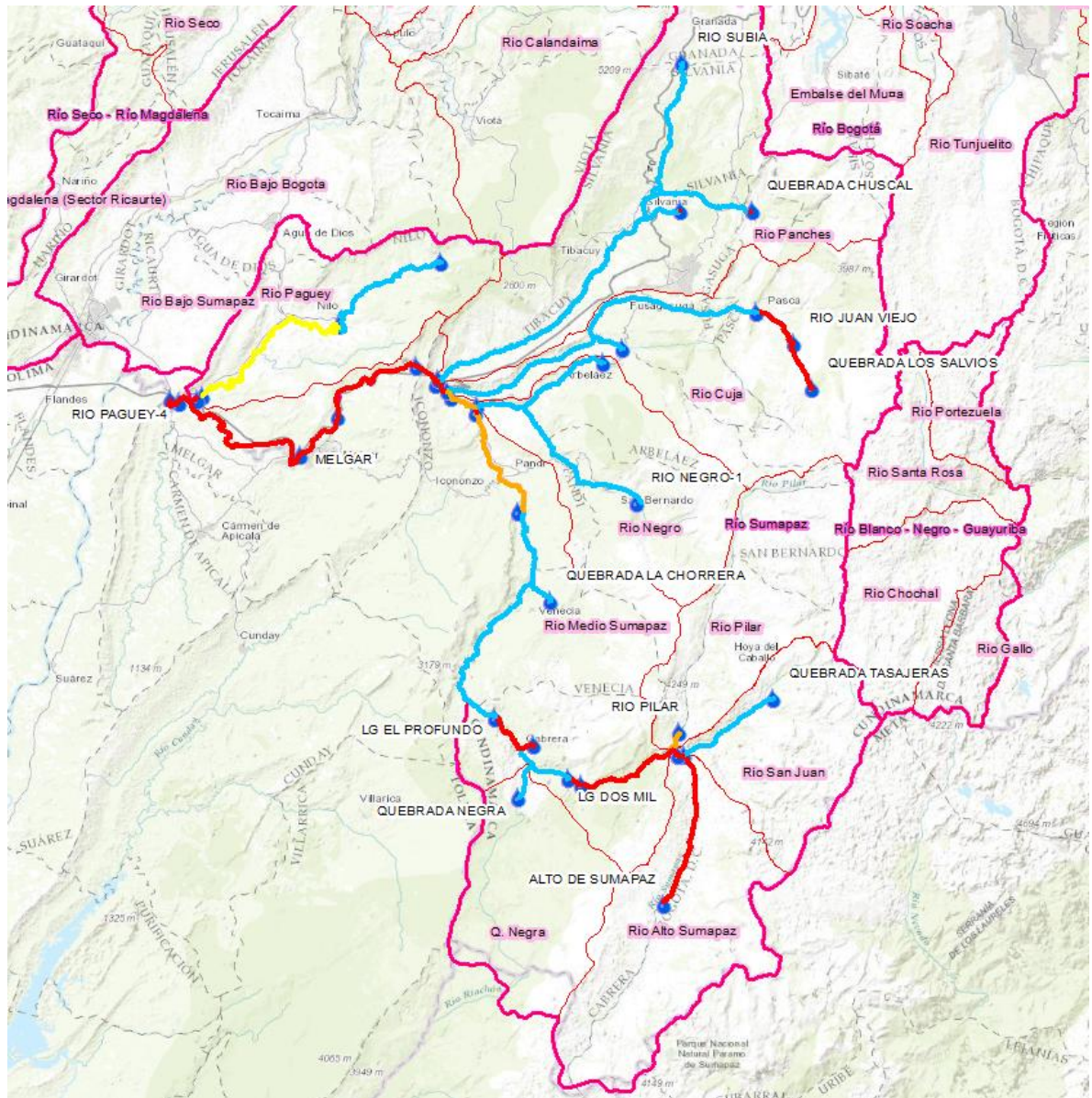
El mapa completo, con convenciones y coordenadas se encuentra en el Anexo 6, del documento.

Como parte adicional a los resultados, el mapa creado en ArcGIS del SINCAP, es subido a la página de Online del programa, en donde permite una mayor interfaz y análisis de los resultados obtenidos, el cual se ingresa mediante el siguiente link:


<https://arcg.is/1umKm4>



Figura 56. Visualización previa del mapa de autodepuración en el SINCAP



Fuente propia.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR. Director trabajo de Grado</p>
---	--	---

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del IGAP se obtuvo un valor único que definió una capacidad de un sistema de manera global que permite establecer una comparación directa con diversas fuentes, además realiza una ponderación entre los parámetros críticos de una fuente mediante la designación de pesos específicos dependiendo su grado de intervención en el proceso auto-depurativo de la fuente, este punto es definido por diversos análisis de resultados o comportamientos de monitoreo de calidad de agua en ríos de montaña. Sin embargo, es posible determinar un análisis individual de cada uno de los indicadores con la finalidad de realizar una comparación entre ellos y concluir que parámetro o contaminante afecta directamente en la capacidad depurativa del río, en los dos (2) casos de estudio se definió que la variable con un peso relevante en el aumento de esta propiedad fue el oxígeno disuelto y los sólidos sedimentables, lo cual apoya la teoría de los antecedentes previamente consultados.

Se identificó que las variables longitud y velocidad, como elementos hidro-topográficos, cumplen un factor importante a la hora de calcular un índice de autodepuración, debido a que actúan directamente en las funciones de reacción de cada uno de los parámetros en donde es clave el tiempo el cual tiene un tramo de un lado a otro efectuando la reducción. En lugares donde se presente una mayor velocidad de flujo, mayor será la asimilación de los contaminantes, como se analizó en el caso de estudio del Río Sumapaz. Además, implícitamente se tuvo en cuenta la utilidad del agua, reflejada en la concentración del objetivo de calidad establecido en resoluciones, que por medio de clases identifican el manejo a futuro requerido en la fuente, por ende fue posible determinar un índice para ríos de montaña y otras características, como el ejemplo del Río Tunjuelo donde se combinó todos los parámetros de calidad de importancia y los usos potenciales del agua.

Los resultados globales que expone el IGAP, logran ser otra alternativa para los diversos organismos de control ambiental, como la corporaciones autónomas, cuyo propósito se basa en la toma de decisiones al momento de otorgar cualquier permiso de vertido, además de la evaluación y seguimiento ambiental del recurso. Sabiendo que una fuente presenta una alta capacidad autodepurativa, puede escoger el nivel de exigencia sobre el control del tramo en estudio, lo que conlleva a una reducción en costos en relación al monitoreo de calidad de agua, debido a que la cantidad requerida para un segmento con estas condiciones es reducido a comparación de una fuente cuya asimilación de contaminantes es baja. Asimismo, también se ve aplicada esta metodología en la disminución en tiempo de procesos

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><u>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</u></p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	--


como los permisos de vertimiento, en donde descargas con valores no significativos en relación a la autodepuración del río no tendrán que optar por modelaciones de calidad de agua, que conlleven campañas de medición y validación para su aprobación.

Esto se observa en el análisis a nivel cuenca del Río Sumapaz, en donde es importante mencionar que gran parte de la zona alta del río, donde su elevada pendiente otorgada por la topografía montañosa y el poco uso de la fuente, se presentan valores óptimos de asimilación cuyos resultados alcanzan valores superiores 0.8, mientras que en la cuenca baja, debido a su disminución considerable de la inclinación ante su carácter plano, el aumento en las cargas contaminantes y las actividades antropogénicas de la zona se tiene un decaimiento de esta capacidad hasta valores del orden de 0.05, por lo que la CAR debe optar en alternativas de control, en especial, en este sitio para moderar el aumento considerable de la polución.

El fin de la herramienta de Excel, Access y de ArcGIS, es proveer al usuario o a la entidad que vaya aplicar el modelo matemático planteado tenga una mejor organización de los datos básicos que se deben tener en cuenta para el cálculo del índice global, desde valores de campañas de modelación hasta de informes o boletines mensuales de calidad. Realizar este tipo de ejercicios logrará que se registre a cada uno de los ríos correspondientes a una entidad encargada del manejo y control del recurso hídrico permitiendo evidenciar la capacidad y evolución en cuanto a la auto-depuración de un río.

Con el manejo de SINCAP, es posible generar empalmes con información ya establecida, como información geográfica, índices de calidad de agua, análisis de áreas de influencias, indicadores de riesgo, entre otros. Igualmente se convierte en una metodología gráfica y accesible gracias a las diversas formas de divulgación que presenta las aplicaciones como ArcGIS Online, logrando así una visualización de los índices de autodepuración más eficiente, también es recomendable en futuros estudios definir una conexión directa entre el Excel y el SINCAP que permita mayor facilidad en la incorporación de valores a la base de datos y en el cálculo del IGAP.

La comparación entre dos casos de estudio totalmente diferentes permite evaluar la formulación del índice global de autodepuración, en donde se puede observar que es importante tener la mayor cantidad de información de los parámetros, ya sea para un análisis por horas o tramos en un Río, de igual manera al establecer la discretización de las distancias de análisis se debe tener en cuenta la topografía de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><u>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</u></p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	---	--

la zona, en el caso del Río Tunjuelo al ser de carácter plano tomar mayor longitud, mientras que en el Río Sumapaz de alta montaña, una menor longitud de análisis.

La aplicación de una metodología adecuada en la modelación matemática permite la eficiencia en los resultados obtenidos, debido a que representara de un modo directo como se comporta la realidad y la conexión con el problema planteado a partir de las suposiciones de flujo permanente y la teoría de la modelación de calidad de agua. Por ello es importante que al momento de aplicar la formula tener una serie de datos previamente discretizado y con información relevante que permita describir de una forma óptima las condiciones que prevalecen en la fuente de agua debido a que esta puede llevar alguna variación temporal por el vertido ya sea por los ciclos de producción industrial y horas de mayor demanda.

Es por ello que la herramienta se puede ajustar dependiendo los principales parámetros físicos o químicos adicionales que se quieren tener en cuenta, e incluso se puede incorporar los parámetros biológicos que permiten identificar la calidad del ecosistema en el cual se encuentra.

Se debe aplicar de un modo más riguroso el análisis de validez, de tal forma las predicciones en las cuales se basa la formulación del IGAP, tengan una revisión en distintas fases con el objeto de buscar y resolver posibles errores algunos autores como: (Churchman West, Ackoff y Arnoff 1971) establecen que las razones por las cuales falla un modelos son: Inclusión de variables no pertinentes, no inclusión de variables pertinentes, relaciones inadecuadas entre variables y coeficientes mal determinados.

El análisis del IGAP simplifica la realidad suponiendo que el flujo es calculado unidimensionalmente, es decir la mezcla del contaminante se hace instantánea, lo cual no ocurre en la realidad, por lo que puede tener variaciones al ser calculado con multidimensionalmente.



13. BIBLIOGRAFÍA

- ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, 2013. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA (ERA). , no. 2.
- ANTUNES, I.M.H.R., ALBUQUERQUE, M.T.D., OLIVEIRA, S.F. y SÁNZ, G., 2018. Predictive scenarios for surface water quality simulation - A watershed case study. *Catena* [en línea], vol. 170, no. February, pp. 283-289. ISSN 03418162. DOI 10.1016/j.catena.2018.06.021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.021>.
- BAIRD, C. y CANN, M., 2005. *Environmental Chemistry* [en línea]. 3rd Editio. Nueva York: s.n. [Consulta: 13 octubre 2019]. ISBN 0716748770. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed083p217>.
- BEIRAS, R., 2018. Liquid Wastes. *Marine Pollution*, pp. 53-67. DOI 10.1016/b978-0-12-813736-9.00005-2.
- BHAGOWATI, B. y AHAMAD, K.U., 2019. A review on lake eutrophication dynamics and recent developments in lake modeling. *Ecohydrology & Hydrobiology* [en línea], vol. 19, no. 1, pp. 155-166. [Consulta: 23 marzo 2019]. ISSN 1642-3593. DOI 10.1016/J.ECOHYD.2018.03.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S164235931730143X>.
- BUGEDA SANCHÍZ, J., 1975. *Curso de sociología matemática*. S.l.: Instituto de Estudios Políticos. ISBN 8425905788.
- CAISSIE, D., EL-JABI, N. y SATISH, M.G., 2001. Modelling of maximum daily water temperatures in a small stream using air temperatures. *Journal of Hydrology* [en línea], vol. 251, no. 1-2, pp. 14-28. [Consulta: 23 marzo 2019]. ISSN 0022-1694. DOI 10.1016/S0022-1694(01)00427-9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169401004279>.
- CAMACHO, L.A., RODRÍGUEZ, E.A., GELVEZ, R., GONZÁLEZ, R., MEDINA, M. y TORRES, J., 2016. I CONGRESO INTERNACIONAL DEL AGUA Y EL AMBIENTE. [en línea]. S.l.: [Consulta: 21 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.ing.unal.edu.co/gireh/docs/prios.htm>.
- CAR, 2006. ACUERDO NÚMERO 43 DEL 17 DE OCTUBRE DE 2006 - OBJETIVOS DE CALIDAD, RIO BOGOTÁ. 2006. S.l.: s.n.
- CAR, 2008a. MAPA CUENCIA RIO SUMAPAZ. 2008. S.l.: s.n.
- CAR, 2008b. RESOLUCION No. 2833, OBJETIVOS DE CALIDAD, RIO SUMAPAZ. 2008. S.l.: s.n.
- CAR, 2015. DELIMITACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA SUMAPAZ Y



SUBCUENCA RÍO ALTO SUMAPAZ. . S.I.:

CAR, 2018. Plan de saneamiento y manejo de vertimientos | CAR. CAR [en línea]. [Consulta: 21 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/vercontenido/1169>.

CASTAÑO OSSA, J.M., 2015. Modelación de la calidad del agua del río Tunjuelo en dos escenarios de implementación del plan de saneamiento de Bogotá. . S.I.:

CHAPRA, S., PELLETIER, G. y TAO, H., 2008. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11) Documentation The Mystic River at Medford, MA. [en línea]. S.I.: [Consulta: 24 marzo 2019]. Disponible en: http://www.ecs.umass.edu/cee/reckhow/courses/577/Qual2/Q2KDocv2_11b8v211.pdf.

CHAPRA, S.C., 1997. *Surface water-quality modeling*. S.I.: McGraw-Hill. ISBN 0070113645.

CHOW, V. Te, 1994. *Hidrología aplicada*. S.I.: s.n.

CHURCHMAN WEST, C., ACKOFF, R.L. y ARNOFF, L.E., 1971. *Introducción a la investigación operativa* [en línea]. S.I.: Aguilar. [Consulta: 9 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.iberlibro.com/Introducción-investigación-operativa-CHURCHMAN-ACKOFF-ARNOFF-Aguilar-Madrid/694836828/bd>.

CONGRESO DE COLOMBIA, 1993. LEY 99 DE 1993. [en línea]. S.I.: [Consulta: 25 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>.

COX, B.A. y WHITEHEAD, P.G., 2009. Impacts of climate change scenarios on dissolved oxygen in the River Thames, UK. *Hydrology Research*, vol. 40, no. 2-3, pp. 138-152. ISSN 0029-1277. DOI 10.2166/nh.2009.096.

CUKROV, N., CMUK, P., MLAKAR, M. y OMANOVIĆ, D., 2008. Spatial distribution of trace metals in the Krka River, Croatia: An example of the self-purification. *Chemosphere*, vol. 72, no. 10, pp. 1559-1566. ISSN 00456535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2008.04.038.

DEEN, W.M. (William M., [sin fecha]. *Analysis of transport phenomena* [en línea]. S.I.: s.n. [Consulta: 24 marzo 2019]. ISBN 9780199740253. Disponible en: <https://global.oup.com/academic/product/analysis-of-transport-phenomena-9780199740253?lang=es&cc=dk>.

DOMÈNECH, X. y PERAL, J., 2006. *Química ambiental de sistemas terrestres*. S.I.: Reverté. ISBN 9788429179064.



- ENCINAS MALAGÓN, M.D., 2011. *MEDIO AMBIENTE Y CONTAMINACIÓN. PRINCIPIOS BÁSICOS* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 23 marzo 2019]. ISBN 9788461511457. Disponible en: [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio Ambiente y Contaminación. Principios básicos.pdf?sequence=6](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio_Ambiente_y_Contaminación_Principios_básicos.pdf?sequence=6).
- FUSAGASUGÁ NOTICIAS, 2017. NOTICIA: El olor de la quebrada Sabaneta es insoportable. [en línea]. [Consulta: 27 octubre 2019]. Disponible en: <http://fusagasuganoticias.com/word/medio-ambiente/el-olor-de-la-quebrada-es-insoportable/>.
- GARCÍA, F.D., SÁNCHEZ, M., MARÍN, R. y GUZMÁN, H., [sin fecha]. El agua. [en línea]. S.l.: [Consulta: 23 marzo 2019]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>.
- GONZÁLEZ, S.O., ALMEIDA, C.A., CALDERÓN, M., MALLEA, M.A. y GONZÁLEZ, P., 2014. Assessment of the water self-purification capacity on a river affected by organic pollution: application of chemometrics in spatial and temporal variations. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], vol. 21, no. 18, pp. 10583-10593. [Consulta: 21 marzo 2019]. ISSN 0944-1344. DOI 10.1007/s11356-014-3098-y. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24888622>.
- ICONTEC, 2004. NTC-ISO-5667-3: Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras. *Norma Técnica Colombiana* [en línea], pp. 57. Disponible en: <http://www.fggdggdshgd.gggsayh>.
- IDEAM, 2015. *Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables*. [en línea]. BOGOTÁ, D.C.: s.n. [Consulta: 23 marzo 2019]. ISBN 111831. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023641/IEARN2015.pdf>.
- IDEAM, 2017. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). [en línea]. S.l.: [Consulta: 17 octubre 2019]. Disponible en: www.ideam.gov.co.
- IDEAM, 2018. Evaluación Nacional del Agua 2018. *Cartilla ENA 2018*, pp. 56.
- LIU, D. y SHUANGYIN, L., 2019. Chapter 7 - Detection of River Water Quality. *Water Quality Monitoring and Management Basis, Technology and Case Studies* [en línea], pp. 211-220. [Consulta: 21 marzo 2019]. DOI 10.1016/B978-0-12-811330-1.00007-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811330-1.00007-7>.
- LOPEZ CUALLA, R.A., 2003. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. S.l.: s.n. ISBN 9788578110796.
- LOZANO, J., MINISTRO, R., FELIPE, L., CARDONA, H., MOLANO, L.R., RIVERA,



H.G., DE HIDROLOGÍA, S., SALAZAR HOLGUÍN, F., LOZANO, R., SUBDIRECTOR, P., AMBIENTALES, E., RANGEL, E. y SUBDIRECTOR DE METEOROLOGÍA, M., 2007. *PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL AGUA 2007* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 21 marzo 2019]. ISBN 978-958-8067-23-0. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021172/Protocoloparaelmonitoreoyseguimientodelagua.pdf>.

MERLO, C. y ABRIL, A., 2014. Multidisciplinary approach to assess the water self-depuration characteristics of suquia river (Córdoba, Argentina). *Revista Chilena de Historia Natural*, vol. 87, no. 1, pp. 1-13. ISSN 07176317. DOI 10.1186/s40693-014-0012-4.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2015. *RESOLUCIÓN 631 DE 2015* [en línea]. 2015. S.l.: s.n. [Consulta: 25 marzo 2019]. Disponible en: https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2018. *Metodología para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras — Versión 3* [en línea]. 2018. S.l.: s.n. [Consulta: 11 octubre 2019]. Resolución 0001321. Disponible en: <http://mintransporte.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=bd2921674c87477689fc037849bb77>.

MOLERO FERNANDEZ, J., SAEZ MERCADER, J. y SOLER ANDRES, A., 2011. *La autodepuración en las corrientes de agua* [en línea]. 2011. S.l.: s.n. [Consulta: 21 marzo 2019]. Disponible en: <http://redined.mecd.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/72890/00820073007882.pdf?sequence=1>.

MOLINA CONTRERAS, J.A., 2018. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL RÍO SUMAPAZ ENTRE LOS MUNICIPIOS DE CABRERA Y MELGAR POR MEDIO DE CORRELACIONES ESTADÍSTICAS. , no. September, pp. 160-164.


MURILLO URRUTIA, L.G., GUEVARA HURTADO, W. y DIEZ DÍAZ, J., 2018. GUÍA NACIONAL DE MODELACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO PARA AGUAS SUPERFICIALES CONTINENTALES. . S.I.:

NADAL, A., COSSAVELLA, A. y LARROSA, N., 2014. Determinación de la tasa de reaireación y modelación hidrodinámica de un tramo del río Tercero (Ctalamochita). *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 1, no. 1, pp. 49. ISSN 2362-2539.

OUBOTER, M.R.L., VAN ECK, B.T.M., VAN GILS, J.A.G., PIERRE SWEETS, J. y




- VILLARS, M.T., 1997. Water quality modelling of the western Scheldt estuary. *Hydrobiologia*, vol. 366, pp. 129-142. ISSN 00188158. DOI 10.1023/A:1003132512665.
- PEÑA, J.M., SARMIENTO, L.F., SUSA, M.S.R. y PORRAS, L.S., 2017. Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña / Revisión corta. *UGCiencia* [en línea], vol. 23, no. 0, pp. 55-70. [Consulta: 21 marzo 2019]. ISSN 2346-0814. Disponible en: <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/659/1174>.
- PEREZ, L., 2005. TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN. [en línea]. [Consulta: 13 octubre 2019]. Disponible en: http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf.
- REYES OJEDA, C.F. y RUIZ BRAVO, L.E., 2017. *DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE CÁLCULO DE UN ICA Y MODELACIÓN DE UN TRAMO DEL RIO TUNJUELO EN EL SECTOR DE BOSA LIBERTADOR*. S.I.: Universidad Católica de Colombia.
- RIAÑO NEIRA, M.F., VIGOYA RODRÍGUEZ, L.Y., MANCIPE MUÑOZ, N.A. y SANABRIA BUITRAGO, M., 2019. Formulación ecohidráulica para evaluar la capacidad de autodepuración de ríos de montaña. *Producción + Limpia*, vol. 13, no. 2, pp. 103-118. ISSN 19090455. DOI 10.22507/pml.v13n2a11.
- RIVERA GUTIÉRREZ, J.V., 2015. Evaluation of the kinetics of oxidation and removal of organic matter in the self-purification of a mountain river. *Dyna*, vol. 82, no. 191, pp. 183-193. ISSN 0012-7353. DOI 10.15446/dyna.v82n191.44557.
- RUEDA VALDIVIA, J.F., 2005. Autodepuración y Vertidos en cursos fluviales Ingeniería Sanitaria. . S.I.:
- SÁNCHEZ RAMOS, D., 2016. Calidad del agua y su control. [en línea], [Consulta: 8 octubre 2019]. Disponible en: http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11_Calidad-agua-y-control_v2015_resumen.pdf.
- SAWYER, C.N. y MCCARTY, P.L., 1978. *Chemistry for Environmental Engineering*. S.I.: s.n. ISBN 9780070549784.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, 2009. Diagnóstico POMCA Tunjuelito - Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá. [en línea]. [Consulta: 17 octubre 2019]. Disponible en: <http://orarbo.gov.co/es/el-observatorio-y-los-municipios/diagnostico-pomca-tunjuelito>.
- SIAC, 2018. Monitoreo - IDEAM. *SIAC: Sistema de Información ambiental de Colombia* [en línea]. [Consulta: 21 marzo 2019]. Disponible en:

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

<http://www.siac.gov.co/monitoreo>.

- SIERRA, C., 2011. *Calidad del agua, Evaluación y diagnóstico*. S.l.: s.n. ISBN 9789588692067.
- SILVA, D., CAMILO, C., PINTO, P. y ANTONIO, R., 2015. Determinación de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Fonce en San Gil con base en el balance de oxígeno disuelto Gil based on dissolved oxygen balance. *Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería Revista Matices Tecnológico*, pp. 30-35.
- SIMEONOV, V., STRATIS, J.A., SAMARA, C., ZACHARIADIS, G., VOUTSA, D., ANTHEMIDIS, A., SOFONIOU, M. y KOUIMTZIS, T., 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Research* [en línea], vol. 37, no. 17, pp. 4119-4124. [Consulta: 21 marzo 2019]. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/S0043-1354(03)00398-1. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0043135403003981>.
- STEHFEST, H., 1975. Mathematical Modeling of the Self-Purification of Rivers. [en línea], no. April. Disponible en: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/379/>.
- SÚAREZ, J., 2008. CALIDAD DE AGUAS EN RÍOS AUTODEPURACIÓN. *Universidade da Coruña*, pp. 1-28.
- SUIKOVA, N. V., BRYANSKAYA, Y. V. y BOROVKOV, V.S., 2012. Properties of fine technogenic sediments and their effect on channel process and self-purification of river water. *Water Resources*, vol. 39, no. 2, pp. 200-207. ISSN 0097-8078. DOI 10.1134/s0097807812020078.
- TERRAFLUXUS, 2017. Río Sumapaz. [en línea]. [Consulta: 27 octubre 2019]. Disponible en: <http://www.terrafluxus.net/tags/landscapes/content/rio-sumapaz/>.
- TIAN, Y., JIANG, Y., LIU, Q., DONG, M., XU, D., LIU, Y. y XU, X., 2019. Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 667, pp. 142-151. [Consulta: 21 marzo 2019]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.02.356. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.356>.
- TORO, C.G., [sin fecha]. Evolución del derecho de aguas en Colombia: más legislación que eficacia. [en línea]. S.l.: [Consulta: 25 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documen->.
- TOUSSAINT JIMENEZ, N., RODRÍGUEZ LEÓN, A.L., ROCHA GÓMEZ, D.L., RINCÓN RESTREPO, C.D., MORENO RIAÑO, A.J. y BOHÓRQUEZ ROZO, D.S., 2018. Diagnostico de la subcuenca del rio Cuja, afluente rio Corrales. . S.l.:

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, 2007. Capítulo III ÍNDICES DE CALIDAD (ICAs) Y DE CONTAMINACIÓN (ICOs) DEL AGUA DE IMPORTANCIA MUNDIAL. . S.l.:


VÉLEZ UPEGUÍ, J.J. y BOTERO GUTIÉRREZ, A., 2011. ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES. *DYNA* [en línea], vol. 78, no. 165, pp. 58-71. [Consulta: 23 marzo 2019]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640>.

VICEMINISTERIO DE AMBIENTE, 2010. *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 25 marzo 2019]. ISBN 9789588491356. Disponible en: https://www.catorce6.com/images/legal/Política_nacional_para_la_gestion_integral_del_Recurso_hidrico.pdf.

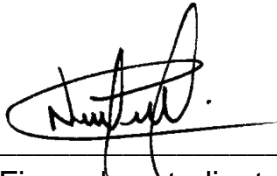
WEBB, B.W. y NOBILIS, F., 2007. Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors. *Hydrological Sciences Journal* [en línea], vol. 52, no. 1, pp. 74-85. [Consulta: 23 marzo 2019]. ISSN 0262-6667. DOI 10.1623/hysj.52.1.74. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1623/hysj.52.1.74>.

WEI, G.L., YANG, Z.F., CUI, B.S., LI, B., CHEN, H., BAI, J.H. y DONG, S.K., 2009. Impact of dam construction on water quality and water self-purification capacity of the Lancang River, China. *Water Resources Management*, vol. 23, no. 9, pp. 1763-1780. ISSN 09204741. DOI 10.1007/s11269-008-9351-8.

WILK, P., ORLINSKA-WOZNIAK, P. y GEBALA, J., 2018. The river absorption capacity determination as a tool to evaluate state of surface water. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 22, no. 2, pp. 1033-1050. ISSN 16077938. DOI 10.5194/hess-22-1033-2018.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.</p>	<p>ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ CÓDIGO: 505785</p> <hr/> <p>DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.</u> Director trabajo de Grado</p>
---	--	--

14. FIRMAS



Firma de estudiante
Nathalie Toussaint Jimenez
Código: 506316

Firma director del trabajo de Grado
Wilfredo Marimón Bolívar.

Fecha de presentación: 1 de octubre de 2019.

15. ANEXOS

15.1. Anexo 1. Definición de modelos de los parámetros fisicoquímicos.

15.1.1. Temperatura

En donde la modelación se realiza a través de las propiedades térmicas del agua, aplicando la conservación de la energía en una sola dirección:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{k}{\rho C_p} \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right] + \frac{H_v}{\rho C_p} \quad (1)$$

Siendo: k , la conductividad térmica del agua, C_p es la capacidad calorífica del agua y H_v representa una entrada de energía.

15.1.2. Oxígeno disuelto

Siendo una de las características más importantes en la calidad el agua, incluye todas las variables en la cuales existen procesos de producción y consumo, estableciendo una relación en la ecuación equilibrada de oxígeno:

$$r_{OD} = D_A + k_a(C_s - OD) - k_{DBO} DBO \theta_{DBO}^{(T-20)} \varphi - \alpha_{NH_3} k_{NH_3} NH_3 \theta_{NH_3}^{(T-20)} \varphi - \alpha_{NO_2} k_{NO_2} NO_2 \theta_{NO_2}^{(T-20)} \varphi - \frac{k_{SOD}}{h_1} \quad (2)$$

Dónde: D_A , es la variación de oxígeno disuelto debido a la actividad de las algas, definido por:

$$D_A = \varepsilon_P A \mu - \varepsilon_T A \pi \quad (3)$$

De la fórmula 22, se tiene, ε_P es la cantidad de oxígeno liberado por la concentración de algas, μ , el aumento de la concentración de algas, ε_T es cantidad de oxígeno consumida por las algas, π , es la tasa de respiración y A es concentración de algas.

Los coeficientes k , están dados por la DBO, la saturación media de oxígeno disuelto, la saturación media para oxidar DQO y las reacciones de transformación del amonio y el nitrito, la tasa de aireación k_a puede escribirse como en función de la velocidad y la profundidad:

$$k_a = 5.32 \frac{U^{0.67}}{h_1^{1.85}} \quad (4)$$

Además en la fórmula 2, también se encuentran explícitas las concentraciones del de oxígeno disuelto, amonio, nitrito y demanda biológica de oxígeno, y los



coeficientes α para las reacciones de conversión del amonio y el nitrito; los coeficientes θ para las correcciones por temperatura.

Por último, se encuentra, C_s definida como la saturación de oxígeno a la temperatura del sistema obtenida por:

$$C_s = \exp \left[c_0 + \frac{c_1}{T} + \frac{c_2}{T^2} + \frac{c_3}{T^3} + \frac{c_4}{T^4} \right] \quad (5)$$

Y el coeficiente φ , establecido por:

$$\varphi = \frac{OD}{k_s + OD} \quad (6)$$

15.1.3. DBO y DQO

Estas se encuentran expresadas por:

$$r_{DBO} = -k_{DBO} DBO \theta_{DBO}^{(T-20)} \varphi - k_{sed-DBO} DBO \theta_{DBO}^{(T-20)} \quad (7)$$

$$r_{DQO} = -k_{DQO} DQO \theta_{DQO}^{(T-20)} \varphi \quad (8)$$

Cuyas variables fueron definidas anteriormente.

15.1.4. Nitrógeno total, nitritos y nitratos:

Para la reacción general:

$$r_{NT} = \alpha_A \gamma A - k_{NT} NT - k_{SNT} NT \quad (9)$$

De modo que: α_a , es la biomasa de las algas, γ , es la tasa de respiración, los coeficiente k_{NT} y k_{SNT} , están referidos a la tasa de transformación de nitrógeno a amonio y la tasa de sedimentación respectivamente.

Para los nitritos:

$$r_{NO_2} = k_{NH_3} NH_3 \theta_{NO_2}^{(T-20)} - k_{NO_2} NO_2 \theta_{nit}^{(T-20)} \quad (10)$$

Para los nitratos:

$$r_{NO_3} = k_{NO_2} NO_2 \theta_{nit}^{(T-20)} \varphi - k_{NO_3} NO_3 \theta_{NO_3}^{(T-20)} - (1 - F) \alpha_A \mu A \quad (11)$$

Dónde: k_{NO_3} es la constante de velocidad para la des-nitrificación y F es la fracción de nitrógeno en las algas.



15.1.5. Fosforo disuelto

A diferencia del nitrógeno, el fosforo se modela en diferentes estados, principalmente el orgánico:

$$r_{P-org} = \vartheta\gamma A - k_{P-org}P_{org} - k_{P-sed}P_{org} \quad (12)$$

Y el disuelto:

$$r_{P-Dsto} = k_{P-org}P_{org} + \frac{k_{S-P_{Dsto}}}{h} - \vartheta\mu A \quad (13)$$

Que en este caso, ϑ , es la fracción de fosforo en las algas, k_{P-ORG} y k_{P-SED} , están referidos a la tasa de transformación de fosforo orgánico y la tasa de sedimentación respectivamente.

15.1.6. Alcalinidad y pH

Generalmente en aguas naturales están dadas por sales de compuestos débiles principalmente bicarbonatos e hidróxidos (Sawyer y McCarty 1978), es por ello que se debe realizar un análisis exhaustivo sobre las principal composición de iones que permitan la alcalinidad, de acuerdo a lo anterior se define como la concentración de:

$$Alcalinidad = [HCO_3^-] + [H_2CO_3^*] + [CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+] \quad (14)$$

Donde la tasa de reacción para cada uno de los compuestos es:

$$r_{H_2CO_3^*} = W_{atm} + W_{r/p} + k_3[H_2CO_3^*] + k_4[H^+][HCO_3^-] \quad (15)$$

$$r_{HCO_3^-} = k_3[H_2CO_3^*] + k_4[H^+][HCO_3^-] - k_5[HCO_3^-] + k_6[H^+][CO_3^{2-}] \quad (16)$$

$$r_{CO_3^{2-}} = k_5[HCO_3^-] - k_6[H^+][CO_3^{2-}] \quad (17)$$

Las constantes de reacción k_3 , k_4 , k_5 y k_6 deben cumplir la siguiente relación:

$$\frac{k_3}{k_4} = 4.5 \times 10^{-7} \quad (18)$$

$$\frac{k_5}{k_6} = 4.7 \times 10^{-11} \quad (19)$$

Además se debe calcular:

$$W_{atm} = v_v A_s ([H_2CO_3^*]_s - [H_2CO_3^*]) \quad (20)$$

$$W_{r/p} = 0.5a_{co}A_s \quad (21)$$



Aplicando, α_{CO_2} , el factor de conversión estequiométrico y el área de interface A_s .

Las concentraciones de $[H_2CO_3]$ y $[H^+]$ por medio de:

$$[H_2CO_3^*]_s = \exp \left[\left(\frac{2385.73}{T} + 0.0152642T - 14.0184 \right) \right] P_{CO_2} \quad (22)$$

$$pH = -\log[H^+] \quad (23)$$

15.1.7. Sólidos suspendidos totales, sedimentables, disueltos totales.

Para los sólidos suspendidos totales y sedimentables se tiene en cuenta las variables en función de la concentración y la sedimentación, por lo tanto las ecuaciones respectivas son:

$$r_{TSS} = -\frac{W_s \cdot TSS}{h_1} + \frac{R_s}{h_1} + \frac{R_p}{h_1} \quad (24)$$

$$r_{TSS} = -\frac{W_s \cdot SS}{h_1} + \frac{R_s}{h_1} + \frac{R_p}{h_1} \quad (25)$$

Dónde: W_s es la velocidad de sedimentación y R_s la tasa de suspensión, R_p es la tasa de producción.

Por otra parte los sólidos disueltos totales se calculan por medio del balance de masa, debido a que se pueden presentar cargas adicionales:

$$\frac{\partial TDS}{\partial t} + u \frac{\partial TDS}{\partial x} = D \left[\frac{\partial^2 TDS}{\partial x^2} \right] + W + P \quad (26)$$

Esta información puede ser complementada por el cálculo de la conductividad a través del producto con la constante de correlación:

$$Conductividad = k_{cond} \cdot TDS \quad (27)$$

15.2. Anexo 2. Base de datos inicial de modelaciones de calidad de agua.

Tabla 43. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua.

ARTICULO	RIO	PARAMETROS																		
		HIDRO-TOPOGRAFICOS					FISICO-QUIMICOS													
		Tipo de Relieve/INFO	Punto	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Temperatura (°C)	OD (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NTK (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	P (mg/L)	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	TDS (mg/L)
1	Quebrada Fucha	Recorre una zona montañosa	feb-01	0.33	-	-	-	12.7	77.33 %Sat	4.00 ppm	43.00 ppm	-	-	-	0.10 ppm	30.24 ppm	7.16	35.00 ppm	-	49.80 µS/cm
			feb-02		-	-	-	13.1	70.89 %Sat	7.00 ppm	40.00 ppm	-	-	-	0.16 ppm	35.28 ppm	7.28	242.00 ppm	-	93.30 µS/cm
			feb-03		-	-	-	14	81.15 %Sat	6.00 ppm	41.00 ppm	-	-	-	0.14 ppm	20.16 ppm	7.23	250.00 ppm	-	110.40 µS/cm
			mar-01	0.37	-	-	-	12	71.39 %Sat	34.00 ppm	59.00 ppm	-	-	-	0.15 ppm	31.25 ppm	7.31	208.00 ppm	-	68.50 µS/cm
			mar-02		-	-	-	14.7	78.95 %Sat	6.00 ppm	40.00 ppm	-	-	-	0.10 ppm	28.12 ppm	7.24	130.00 ppm	-	71.50 µS/cm
			mar-03		-	-	-	14.2	79.33 %Sat	4.00 ppm	42.00 ppm	-	-	-	0.10 ppm	31.25 ppm	7.55	196.00 ppm	-	66.70 µS/cm
			may-01	0.22	-	-	-	11.6	71.00 %Sat	2.00 ppm	48.00 ppm	-	-	-	0.16 ppm	17.50 ppm	6.44	104.00 ppm	-	54.20 µS/cm
			may-02		-	-	-	12.9	70.80 %Sat	3.00 ppm	39.00 ppm	-	-	-	0.18 ppm	20.00 ppm	6.59	160.00 ppm	-	34.40 µS/cm
			may-03		-	-	-	14.6	61.55 %Sat	5.00 ppm	44.00 ppm	-	-	-	0.20 ppm	22.50 ppm	6.62	316.00 ppm	-	44.80 µS/cm
			jun-01	0.63	-	-	-	11.9	72.30 %Sat	<2	42.00 ppm	-	-	-	0.09 ppm	7.50 ppm	6.72	114.00 ppm	-	61.20 µS/cm
			jun-02		-	-	-	12	78.43 %Sat	4.00 ppm	43.00 ppm	-	-	-	0.07 ppm	12.50 ppm	6.85	328.00 ppm	-	44.30 µS/cm
			jun-03		-	-	-	12.5	75.57 %Sat	5.00 ppm	45.00 ppm	-	-	-	0.08 ppm	1.25 ppm	7.05	340.00 ppm	-	70.70 µS/cm
			ago-01	0.38	-	-	-	10.8	98.60 %Sat	2.01 ppm	42.00 ppm	-	-	-	0.10 ppm	12.50 ppm	6.6	40.00 ppm	-	27.80 µS/cm
			ago-02		-	-	-	12	97.40 %Sat	2.84 ppm	44.00 ppm	-	-	-	0.10 ppm	15.00 ppm	7.53	64.00 ppm	-	62.50 µS/cm
			ago-03		-	-	-	12	98.10 %Sat	2.49 ppm	43.00 ppm	-	-	-	0.10 ppm	15.00 ppm	7.8	122.00 ppm	-	44.50 µS/cm
sep-01	0.63	-	-	-	11.2	98.60 %Sat	<2	44.00 ppm	-	-	-	0.08 ppm	10.00 ppm	6.75	38.00 ppm	-	28.00 µS/cm			
sep-02		-	-	-	12.9	84.56 %Sat	5.00 ppm	42.00 ppm	-	-	-	0.07 ppm	17.50 ppm	6.8	88.00 ppm	-	58.00 µS/cm			
sep-03		-	-	-	13.2	94.83 %Sat	6.00 ppm	41.00 ppm	-	-	-	0.07 ppm	15.00 ppm	7.75	90.00 ppm	-	84.20 µS/cm			
2	Rio Botello	Se caracteriza por presentar meandros a lo largo de su recorrido, característico de los cauces que se encuentran en zonas de baja pendiente, lo cual influyó, en la investigación a la hora de definir las zonas de inundación, debido a que las zonas meándricas generan disminución de la velocidad y represamientos de la corriente en temporadas bajas.	E1.1	1.6	-	-	-	-	3.1	-	57	-	5.5	-	0.02	-	6.62	-	-	-
			E1.2		-	-	-	-	3	-	40	-	4.9	-	0.02	-	6.58	-	-	-
			E1.3		-	-	-	-	-	-	35	-	3.7	-	0.08	-	6.79	-	-	-
			E1.4		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			E1.5		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			E1.6		-	-	-	-	2	-	40	-	7.7	-	0.07	-	6.46	-	-	-
			E1.7		-	-	-	-	2.6	-	48	-	55.5	-	0.03	-	6.6	-	-	-
			E1.8		-	-	-	-	1.7	-	38	-	4.4	-	0.02	-	6.53	-	-	-
			E1.9		-	-	-	-	2	-	42	-	3.1	-	0.05	-	6.47	-	-	-
			E2.1		-	-	-	-	0.7	-	42	-	6.2	-	0.15	-	6.31	-	-	-
			E2.2		-	-	-	-	2.9	-	20	-	2.4	-	0.04	-	7.04	-	-	-
			E2.3		-	-	-	-	1	-	40	-	2.3	-	0.62	-	7.24	-	-	-
			E2.4		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			E2.5		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			E2.6		-	-	-	-	1.2	-	46	-	2.4	-	0.31	-	6.97	-	-	-
			E2.7		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			E2.8		-	-	-	-	0.4	-	58	-	3.8	-	0.18	-	6.83	-	-	-
			E2.9		-	-	-	-	0.3	-	82	-	3.8	-	0.65	-	6.64	-	-	-
			E3.1		-	-	-	-	3.2	-	18	-	7.7	-	0.04	-	6.37	-	-	-
E3.2	-	-	-	-	3.4	-	32	-	6.7	-	0.02	-	6.3	-	-	-				
E3.3	-	-	-	-	3	-	23	-	7.5	-	0.1	-	6.73	-	-	-				
E3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
E3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
E3.6	-	-	-	-	2.2	-	25	-	10.3	-	0.4	-	6.61	-	-	-				
E3.7	-	-	-	-	2.9	-	32	-	6.9	-	0.06	-	6.66	-	-	-				
E3.8	-	-	-	-	2.3	-	30	-	4.8	-	0.03	-	6.55	-	-	-				
E3.9	-	-	-	-	2	-	37	-	2.8	-	0.09	-	6.55	-	-	-				

Fuente propia.

Tabla 44. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua. (Continuación)

ARTICULO	RIO	PARAMETROS																				
		HIDRO-TOPOGRAFICOS						FISICO-QUIMICOS														
		Tipo de Relieve/INFO	Punto	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Temperatura (°C)	OD (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NTK (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	P (mg/L)	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	TDS (mg/L)		
3	Quebrada La Cristalina	Las dos quebradas presentaron pendientes medias a altas (entre 50-80%). Esta característica hace que estas aguas sean rápidas y que las quebradas tengan un cauce lavado sin mucha acumulación de material finamente particulado.	E1	0.42	0.31	-	1.36	19.5	5.71	-	-	-	-	-	-	-	7.3	-	-	19.1		
			E2	0.042	0.06	-	0.77	20.5	5.4	-	-	-	-	-	-	-	-	7.07	-	-	20.26	
			E3	0.63	0.46	-	1.38	21.8	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.27	-	-	20.9
			E4	0.75	0.6	-	1.25	22.4	5.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.09	-	-	24.9
			E5	0.93	0.44	-	2.14	21.7	4.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	-	-	22.1
			E6	0.94	0.44	-	2.15	21.7	4.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	-	-	22.1
4	Quebrada La Risaralda	La forma de su recorrido es circular con una buena densidad de drenaje y un tiempo de retención corto, lo que puede generar problemas en periodos de lluvias intensas.	E7	0.42	0.5	-	0.78	21	5.45	-	-	-	-	-	-	-	6.96	-	-	13.1		
			E8	0.36	0.4	-	0.9	21	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	6.83	-	-	13.9	
			E9	0.35	0.34	-	1.02	21.1	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	7.03	-	-	21.4	
			E10	0.43	0.43	-	0.8	21.1	9.78	-	-	-	-	-	-	-	-	6.9	-	-	23.2	
5	Quebrada La Popala	La forma de su recorrido es circular con una buena densidad de drenaje y un tiempo de retención corto, lo que puede generar problemas en periodos de lluvias intensas.	1-E1	-	-	-	-	24.9	6	-	-	-	0.017	0.75	1.7	-	7.7	314	10	304		
			1-E2	-	-	-	-	24.8	7.2	-	-	-	0.01	0.55	1	-	8.2	396	48	348		
			1-E3	-	-	-	-	20.4	7.3	-	-	-	<0.005	0.5	1.9	-	8.2	380	86	294		
			1-E4	-	-	-	-	28	6.3	-	-	-	0.015	0.2	-	-	7.9	454	180	274		
			2-E1	-	-	-	-	25.3	6.7	-	-	-	0.02	0.75	1.27	115	4.5	344	42	302		
			2-E2	-	-	-	-	24.8	7.2	-	-	-	0.011	0.4	1.23	114.2	8	306	54	252		
			2-E3	-	-	-	-	24.9	4.6	-	-	-	0.01	0.6	0.68	106	7.9	316	62	254		
			2-E4	-	-	-	-	29.9	3.9	-	-	-	0.04	0.25	2.85	107.7	7.4	336	22	314		
6	Rio Jordan	El río Jordán desde su nacimiento a unos 3900 msnm hasta su desembocadura a los 1024 msnm en un trayecto de 11.7 km vierte sus aguas al río Jamundí, Sus principales tributarios son el río Vélez, quebrada La Clavellina, Quebrada Faldiqueras y Quebrada La Piedra, esta subcuenca posee una buena oferta hídrica debido a que nace en el Parque Natural Farallones De Cali con un caudal concedido de 383.1 lps	E1-1	-	-	-	-	23.1	7.4	0.65	-	-	12.68	-	0.04	-	7.5	-	-	21.7		
			E1-2	-	-	-	-	22.1	7.38	0.99	-	-	12.85	-	0.02	-	7.22	-	-	19.84		
			E1-3	-	-	-	-	23.1	7.48	0.38	-	-	18.19	-	0.01	-	7.5	-	-	21.02		
			E1-4	-	-	-	-	24.8	7.2	1.33	-	-	17.18	-	0.14	-	7.62	-	-	21.3		
			E1-5	-	-	-	-	19.1	7.54	1.69	-	-	0	-	0.19	-	7.1	-	-	17.03		
			E1-6	-	-	-	-	22.6	7.97	0.76	-	-	1.4	-	0.21	-	7.1	-	-	16.59		
			E1-7	-	-	-	-	20.8	8.02	0.51	-	-	1.4	-	0.1	-	7.14	-	-	16.27		
			E1-8	-	-	-	-	20.9	8.17	0.83	-	-	1.4	-	0.17	-	6.45	-	-	20.14		
			E1-9	-	-	-	-	21.5	7.62	0.45	-	-	1.1	-	0.22	-	6.85	-	-	19.06		
			E1-10	-	-	-	-	20.9	7.85	1.00	-	-	1.2	-	0.04	-	7.28	-	-	17.96		
			E2-1	-	-	-	-	23.9	7.4	1.36	-	-	12.13	-	0.04	-	7	-	-	28.8		
			E2-2	-	-	-	-	23.7	7.24	0.88	-	-	14.09	-	0.02	-	7.02	-	-	28.7		
			E2-3	-	-	-	-	24.5	7.25	0.89	-	-	21.5	-	0.01	-	6.25	-	-	30.4		
			E2-4	-	-	-	-	25.8	7.49	1.38	-	-	17.06	-	0.2	-	6.94	-	-	32.9		
			E2-5	-	-	-	-	22.4	7.56	1.34	-	-	1.3	-	0.19	-	6.72	-	-	25.2		
			E2-6	-	-	-	-	21.5	9.38	1.71	-	-	1.3	-	0.18	-	24.4	-	-	24.4		
			E2-7	-	-	-	-	20.9	8.11	1.07	-	-	1.3	-	0.06	-	7.1	-	-	25		
			E2-8	-	-	-	-	22	8.1	0.83	-	-	1.4	-	0.13	-	7.32	-	-	30.7		
			E2-9	-	-	-	-	23.2	7.92	0.69	-	-	1.2	-	0.17	-	7.03	-	-	29		
			E2-10	-	-	-	-	22.5	7.59	0.74	-	-	1.3	-	0.04	-	6.82	-	-	28.9		
E3-1	-	-	-	-	22	7.54	1.36	-	-	16.18	-	0.04	-	6.88	-	-	30.1					
E3-2	-	-	-	-	25.4	7.09	1.65	-	-	14.79	-	0.02	-	6.87	-	-	29.4					
E3-3	-	-	-	-	23.3	7.37	0.75	-	-	19.86	-	0	-	7.21	-	-	31.3					
E3-4	-	-	-	-	25.2	7.43	2.56	-	-	18.54	-	0.12	-	7.16	-	-	33.9					
E3-5	-	-	-	-	22.2	7.62	1.14	-	-	0.9	-	0.18	-	6.55	-	-	27.9					
E3-6	-	-	-	-	21.8	9.6	2.37	-	-	1.2	-	0.04	-	5.98	-	-	25.3					
E3-7	-	-	-	-	20.9	7.97	0.65	-	-	0.9	-	0.05	-	6.87	-	-	26.2					
E3-8	-	-	-	-	23.1	7.87	1	-	-	1.2	-	0.07	-	7.83	-	-	31.8					
E3-9	-	-	-	-	22.9	7.86	0.86	-	-	1.3	-	0.06	-	7.08	-	-	30.1					
E3-10	-	-	-	-	23.3	7.51	1.64	-	-	1.1	-	0	-	6.47	-	-	29.4					

Fuente propia.



Tabla 45. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua. (Continuación).

ARTICULO	RIO	PARAMETROS																				
		HIDRO-TOPOGRAFICOS					FISICO-QUIMICOS															
		Tipo de Relieve/INFO	Punto	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Temperatura (°C)	OD (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NTK (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	P (mg/L)	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	TDS (mg/L)		
7	Rio Subachoque	Se escogieron estos sitios por representar las características y comportamientos típicos de los ríos de montaña colombianos que son contaminados por el vertimiento de las aguas residuales de los municipios aledaños.	S1-1	0.628	-	0.439	3.32	11.5	-	-	-	-	-	-	-	-	6.4	-	41	52.80 µS/cm		
			S1-2	0.182	-	0.246	3.3	13.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.6	-	11	53.50 µS/cm	
			S1-3	0.278	-	0.226	3	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.3	-	36	61.20 µS/cm	
			S1-4	0.234	-	0.217	3.1	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	51	55.60 µS/cm	
			S2-1	0.861	-	0.333	4.5	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.2	-	39	68.50 µS/cm	
			S2-2	0.299	-	0.193	5.3	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.6	-	9	74.70 µS/cm	
			S2-3	0.45	-	0.232	5.45	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.4	-	29	158.40 µS/cm	
			S2-4	0.221	-	0.303	5	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.7	-	10	75.40 µS/cm	
			S3-1	0.862	-	0.301	4.5	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5	-	17	64.90 µS/cm	
			S3-2	0.276	-	0.291	3.7	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.6	-	12	78.70 µS/cm	
			S3-3	0.335	-	0.245	4	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.4	-	20	82.50 µS/cm	
			S3-4	0.238	-	0.274	3.8	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	9	71.10 µS/cm	
			S4-1	0.904	-	0.316	4.8	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.4	-	22	66.50 µS/cm	
			S4-2	0.267	-	0.276	4.6	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.6	-	9	77.10 µS/cm	
			S4-3	0.335	-	0.303	4.3	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.4	-	32	91.80 µS/cm	
			S4-4	0.238	-	0.152	4	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	17	69.00 µS/cm	
			S5-1	1.086	-	0.64	4.6	13.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.3	-	34	65.00 µS/cm	
			S5-2	0.373	-	0.142	4.1	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.6	-	7	75.40 µS/cm	
			S5-3	0.672	-	0.173	4.2	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.54	-	28	82.60 µS/cm	
			S5-4	0.249	-	0.15	3.6	13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	17	69.80 µS/cm	
S6-1	0.897	-	0.392	7.25	11.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.3	-	61	65.20 µS/cm				
S6-2	0.306	-	0.227	6.5	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.6	-	18	75.20 µS/cm				
S6-3	0.58	-	0.259	7	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.4	-	59	128.00 µS/cm				
8	Rio Teusacá	Se escogieron estos sitios por representar las características y comportamientos típicos de los ríos de montaña colombianos que son contaminados por el vertimiento de las aguas residuales de los municipios aledaños.	T1-1	0.255	-	-	-	13.4	-	-	-	-	-	-	-	-	8.3	-	-	189.00 µS/cm		
			T1-2	0.214	-	-	-	-	13.8	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	-	-	289.00 µS/cm	
			T1-3	0.233	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	-	-	219.00 µS/cm	
			T2-1	0.255	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	7.1	-	-	186.40 µS/cm	
			T2-2	0.214	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	7.2	-	-	184.90 µS/cm	
			T2-3	0.233	-	-	-	-	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	189.70 µS/cm	
			T3-1	0.029	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	7.2	-	-	603.00 µS/cm	
			T3-2	0.029	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			T3-3	0.029	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	7.7	-	-	639.00 µS/cm	
			T4-1	0.055	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	7.8	-	-	873.00 µS/cm	
			T4-2	0.112	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5	-	-	237.00 µS/cm	
			T4-3	1.074	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	8.4	-	-	50.30 µS/cm	
			T5-1	0.31	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	7.2	-	-	198.50 µS/cm	
			T5-2	0.326	-	-	-	-	12.9	-	-	-	-	-	-	-	-	7.1	-	-	214.00 µS/cm	
			T5-3	1.336	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9	-	-	99.70 µS/cm	
			T5-4	0.274	-	-	-	-	11.5	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	185.40 µS/cm	
			T5-5	2.021	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	-	82.60 µS/cm	
			T6-1	0.31	-	-	-	-	17.5	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	-	-	201.00 µS/cm	
			T6-2	0.254	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9	-	-	309.00 µS/cm	
			T6-3	1.336	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	7.2	-	-	128.20 µS/cm	
T6-4	0.235	-	-	-	-	11.5	-	-	-	-	-	-	-	-	7.7	-	-	189.10 µS/cm				
T6-5	2.137	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	-	-	71.90 µS/cm				
T7-1	0.278	-	-	-	-	12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	8.4	-	-	218.00 µS/cm				
T7-2	0.254	-	-	-	-	11.1	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5	-	-	324.00 µS/cm				
T7-3	1.148	-	-	-	-	13.8	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	-	-	88.90 µS/cm				
T7-4	0.254	-	-	-	-	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	7.8	-	-	189.40 µS/cm				
T7-5	1.845	-	-	-	-	15.4	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5	-	-	76.90 µS/cm				

Fuente propia.

Tabla 46. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua. (Continuación)

ARTICULO	RIO	PARAMETROS																			
		HIDRO-TOPOGRAFICOS						FISICO-QUIMICOS													
		Tipo de Relieve/INFO	Punto	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Temperatura (°C)	OD (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NTK (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	P (mg/L)	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	TDS (mg/L)	
9	Rio Negro	El Altiplano del oriente Antioqueño se caracteriza por altitudes entre 1900 y 2800 m, con precipitaciones que oscilan de los 1700 a los 2000 mm, con dos períodos de lluvia comprendidos entre los meses de abril-junio y septiembre-noviembre	E1-1	-	-	-	-	14.5	52.00 %	37.2	-	-	0.218	-	0.031	-	7.15	98	-	-	
			E1-2	-	-	-	-	-	16	79.00 %	1.8	-	-	0.264	-	0.182	-	6.72	51	-	-
			E1-3	-	-	-	-	-	19.9	90.40 %	3.32	-	-	0.4	-	0.105	-	6.7	79.4	-	-
			E1-4	-	-	-	-	-	17.8	98.70 %	2.08	-	-	0.282	-	0.294	-	7.29	86	-	-
			E1-5	-	-	-	-	-	17	80.00 %	2.7	-	-	0.291	-	0.153	-	6.9	78.6	-	-
			E2-1	-	-	-	-	-	19.5	20.00 %	15.5	-	-	0.19	-	0.498	-	6.87	125	-	-
			E2-2	-	-	-	-	-	16.5	60.00 %	5.4	-	-	0.24	-	0.179	-	6.63	115	-	-
			E2-3	-	-	-	-	-	21.6	81.00 %	3.03	-	-	0.435	-	0.146	-	6.9	81	-	-
			E2-4	-	-	-	-	-	19.8	82.10 %	7.48	-	-	0.4203	-	2.07	-	7.29	129	-	-
			E2-5	-	-	-	-	-	19.3	60.80 %	7.8	-	-	0.318	-	0.723	-	6.9	112.5	-	-
			E3-1	-	-	-	-	-	20.5	21.00 %	17	-	-	0.164	-	0.316	-	7.6	168	-	-
			E3-2	-	-	-	-	-	16.5	48.00 %	9.2	-	-	0.549	-	0.09	-	6.7	217	-	-
			E3-3	-	-	-	-	-	21.2	43.50 %	11.19	-	-	0.807	-	0.298	-	6.84	258	-	-
			E3-4	-	-	-	-	-	22	25.80 %	10.35	-	-	0.955	-	2.18	-	6.1	529	-	-
			E3-5	-	-	-	-	-	20	34.60 %	11.9	-	-	0.618	-	0.721	-	6.8	293	-	-
			E4-1	-	-	-	-	-	20.9	17.50 %	10	-	-	0.243	-	0.251	-	7.7	148	-	-
			E4-2	-	-	-	-	-	19	51.20 %	8	-	-	0.535	-	0.246	-	6.67	238	-	-
			E4-3	-	-	-	-	-	20.7	48.30 %	7.12	-	-	0.608	-	0.228	-	6.99	214	-	-
			E4-4	-	-	-	-	-	19.8	34.70 %	9.92	-	-	0.78	-	1.76	-	7.09	349	-	-
			E4-5	-	-	-	-	-	20.1	37.90 %	8.8	-	-	0.51	-	0.621	-	7.1	237..2	-	-
E5-1	-	-	-	-	-	19.3	97.00 %	18	-	-	0.435	-	0.201	-	7.39	172	-	-			
E5-2	-	-	-	-	-	18.5	80.00 %	8.7	-	-	0.583	-	0.157	-	7.37	124	-	-			
E5-3	-	-	-	-	-	20.4	91.70 %	3.85	-	-	0.547	-	0.198	-	7.58	114	-	-			
E5-4	-	-	-	-	-	19.6	82.30 %	15.77	-	-	0.858	-	2.1	-	7.14	300	-	-			
E5-5	-	-	-	-	-	19.4	87.80 %	11.6	-	-	0.606	-	0.664	-	7.4	177.5	-	-			
10	Rio Azul	Recorre una zona montañosa	A1	0.777	-	-	-	16.8	8.64	0.53	3.02	-	-	-	-	8.32	220	4.1	-		
			A2	0.722	0.758	0.257	3.7	16.8	8.64	0.53	3.02	-	-	-	-	8.32	220	4.1	-		
			V1	0.269	1.613	0.185	0.9	17.2	8.16	0.7	5.1	-	-	-	-	8.39	247	5.8	-		
			A3	1.078	1.006	0.249	4.3	18.3	8.72	0.89	6.42	-	-	-	-	8.42	208	5.4	-		
			V2	0.226	0.805	0.216	1.3	18.7	8.86	0.31	2.45	-	-	-	-	8.43	170	1.9	-		
			A4	1.304	-	-	-	18.6	8.24	1.51	6.8	-	-	-	-	8.46	238	6.4	-		
11	Rio Frío	La microcuenca Río Frío es atravesada por numerosas vías tanto en el sector urbano como rural. La altitud de la microcuenca Río Frío varía entre 800 y 3.050 msnm, presenta precipitaciones entre 1.000 y 2.000 mm.	C1-1	0.1172	-	-	-	25.9	5.9	349	740	66.4	0.15	0.002	-	261	7.3	-	293	923.00 µS/cm	
			C1-2	0.46	-	-	-	26.2	2.45	113	246	81.8	0.1	0.005	-	397	7.31	-	58	1018.00 µS/cm	
			C1-3	0.01034	-	-	-	25.3	6.8	436	906	81.7	0.1	0.02	-	438	8.02	-	328	1009.00 µS/cm	
			C1-4	0.0007	-	-	-	28.4	7.2	52.8	168	111	0.1	0.002	-	225	7.4	-	27	1104.00 µS/cm	
			C1-5	0.00015	-	-	-	28.1	6.2	111	225	82.5	0.1	0.15	-	208.6	7.6	-	47	937.00 µS/cm	
			C1-6	0.00033	-	-	-	27.4	7.4	31.3	65	16	0.1	0.005	-	198.9	7.2	-	50	689.00 µS/cm	
			C1-7	0.00031	-	-	-	28.7	7.3	8.25	17	15.1	0.1	0.005	-	214.2	7.4	-	13.2	583.00 µS/cm	
			C1-8	0.00083	-	-	-	28.5	6.6	22	53	40.3	0.15	0.1	-	221.875	7.1	-	35.2	704.00 µS/cm	
			C2-1	0.1283	-	-	-	24.7	5.3	390	740	73.3	0.1	0.002	-	280.7	7.2	-	372	630.00 µS/cm	
			C2-2	0.514	-	-	-	26	3.6	110	281	75.6	0.1	0.005	-	366	7.36	-	94	685.00 µS/cm	
			C2-3	0.0132	-	-	-	25.1	7	378	835	59.8	0.15	0.005	-	280.2	7.67	-	320	975.00 µS/cm	
			C2-4	0.00103	-	-	-	27.1	6.6	40	144	121	0.15	0.011	-	452.8	8.23	-	42	1324.00 µS/cm	
			C2-5	0.00077	-	-	-	27.8	6.8	42	141	99.4	2.67	2.36	-	224.3	8.12	-	96	891.00 µS/cm	
			C2-6	0.00033	-	-	-	7.4	7	31.3	65	16	0.1	0.005	-	199	7.2	-	50	689.00 µS/cm	
			C2-7	0.00031	-	-	-	28.7	7.2	8.25	14	15.1	0.1	0.005	-	214	7.4	-	13.2	583.00 µS/cm	
			C2-8	0.00083	-	-	-	28.5	6.7	22	53	40.3	0.15	0.1	-	447	7.1	-	35.2	704.00 µS/cm	

Fuente propia

Tabla 47. Bases de datos de modelaciones de calidad de agua. (Continuación)

ARTICULO	RIO	PARAMETROS																		
		HIDRO-TOPOGRAFICOS					FISICO-QUIMICOS													
		Tipo de Relieve/INFO	Punto	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Temperatura (°C)	OD (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NTK (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	P (mg/L)	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	TDS (mg/L)
12	Rio Guacaica	La parte alta de la subcuenca del río Guacaica se ubica a una altura máxima de 3882 m.s.n.m. en la zona denominada "Cuchilla del Burro", mientras que su parte más baja se encuentra a una altura de 872 m.s.n.m en la zona plana del municipio de Manizales (Vereda Colombia)	C1-1	0.043	0.42	-	1.8	7	6.9	0.97	12.45	0.1	0.4	7.3	0.05	10.29	7.16	44	16	27.70 µS/cm
			C1-2	0.049	0.68	-	1.8	7.1	7.1	1.89	11.07	2.53	1.37	4.1	0.06	27.54	7.11	48	10	68.10 µS/cm
			C1-3	1.401	0.63	-	5.15	12	7.3	1.08	11.93	0.12	1.17	4	0.08	19.66	7.34	156	24	63.70 µS/cm
			C1-5	5.553	0.92	-	18	15.3	7.92	2.36	9.89	0.81	0.72	11.6	0.22	39.19	7.54	125	54	99.30 µS/cm
			C1-6	6.099	1.05	-	23	18.2	7.71	5.32	17.48	1.06	0.71	117.9	0.22	54.15	7.6	153	51.5	149.20 µS/cm
			C1-7	6.611	0.74	-	30.6	19.5	7.6	5.5	17.32	1.17	0.04	134.4	0.2	53.69	7.15	222	88	168.90 µS/cm
			C1-8	-	-	-	-	25.8	7.5	6.92	17.39	0.95	1.11	251.3	0.44	57.48	7.22	272	137.5	168.60 µS/cm
			C2-1	0.03	0.21	-	2.602	7.5	6.8	0.88	10.84	0.06	1.15	1.69	0.1	14.17	6.39	44	8	30.50 µS/cm
			C2-2	0.08	0.82	-	5	8.5	6.81	1.27	8.4	0.5	0.83	1.56	0.06	23.98	6.39	46	2	54.20 µS/cm
			C2-3	0.039	0.3	-	8.4	13.6	7.42	1.01	13.7	0.97	0.99	2.48	0.07	33.79	7.67	104	5	75.50 µS/cm
			C2-4	0.88	0.31	-	18	17.8	7.95	1.01	9.99	-	0.62	1.89	0.23	40.33	7.64	78	12	95.80 µS/cm
			C2-5	2.45	0.38	-	23	15.5	8.09	0.29	11.69	2.96	0.1	7.59	0.15	39.24	7.57	142	18	110.90 µS/cm
			C2-6	4.27	0.73	-	30.6	19	7.73	15.56	27.64	4.75	1.14	100.32	0.58	56.68	7.64	168	29	154.90 µS/cm
			C2-7	6.65	0.86	-	-	20	7.8	15.61	28.44	2.33	1.31	113.39	0.54	69.76	7.67	180	66	162.40 µS/cm
C2-8	-	-	-	-	23.1	7.7	12.83	21.45	0.99	2.33	92.38	0.83	59.95	7.73	226	60	170.80 µS/cm			
13	Quebrada Olivares		C1-1	0.4	-	-	-	15.5	8.02	0.28	8.26	1.91	0.57	1.04	0.24	36	6.74	90	28	78.10 µS/cm
			C1-2	0.84	-	-	-	16.4	7.15	6.39	22.95	0.53	0.64	27.93	0.38	32.63	7.45	228	120	87.90 µS/cm
			C1-3	1.09	-	-	-	18	5.7	71.51	126.88	6.92	1.27	7.36	1.63	57.38	7.1	266	126	195.10 µS/cm
			C1-4	-	-	-	-	20	5.95	48.16	94.27	7.55	1.27	20.52	1.97	103.5	7.77	198	68	326.00 µS/cm
			C2-1	-	-	-	-	17.6	7.67	6.08	10.65	0.27	0.44	4.36	0.08	38.15	6.88	40	4	80.20 µS/cm
			C2-2	-	-	-	-	17.8	6.78	14.51	32.74	0.22	0.63	13.38	0.31	34.88	7.18	134	42	91.40 µS/cm
C2-3	-	-	-	-	18.6	4.56	68.65	173.94	10.33	1.75	7.16	1.75	58.86	7.49	858	112	200.00 µS/cm			

Fuente propia



15.3. Anexo 3. Análisis fisicoquímico de aguas. Informe de Ensayo.

CÓDIGO ORDEN: 039-19 y 039(1)-19	CLIENTE: Universidad Católica de Colombia
PROYECTO: Desarrollo de un metodología para la evaluación de autodepuración de corrientes superficiales a nivel cuenca	TELÉFONO: 3277300/3245

1. CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA

Muestra preservada para ensayos de aniones y sólidos totales

Temperatura (°C)	4°C
Volumen de muestra (L)	1000
Tipo de preservación	Refrigerado
Tipo de recipiente	Plástico

Muestras preservadas para ensayos de fósforo total y NTK

Temperatura (°C)	4°C
Volumen de muestra (L)	500
Tipo de preservación	H2SO4
Tipo de recipiente	Vidrio ámbar

CAMPAÑA UNO

Código de muestras	Referencia	Fecha de muestreo	Fecha de recepción	Fecha de análisis	Fósforo total mgP-PO ₄ /L
Punto 1-1	039-1	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	1.158
Punto 1-2	039-2	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	1.274
Punto 1-3	039-3	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	0.989
Punto 1-4	039-4	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	1.238
Punto 1-5	039-5	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	1.424
Punto 2-1	039-6	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	1.141
Punto 2-2	039-7	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	1.168
Punto 2-3	039-8	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	1.194
Punto 2-4	039-9	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	1.407
Punto 2-5	039-10	08/07/2019	09/07/2019	2019-07-17	1.465
Límite detectable					0,007 mg/L

CAMPAÑA DOS

Código de muestras	Referencia	Fecha de muestreo	Fecha de recepción	Fecha de análisis	Fósforo total mgP-PO ₄ /L	Fecha de análisis	NTK mgN-NH ₄ /L	Fecha de análisis	Sólidos totales mgST/L
Punto 1-1	039-1-1	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	1.802	2019-09-04	31.22	2019-09-04	400.0
Punto 1-2	039-1-2	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	2.086	2019-09-04	33.93	2019-09-04	436.0
Punto 1-3	039-1-3	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	1.844	2019-09-04	43.43	2019-09-04	272.0
Punto 1-4	039-1-4	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	1.574	2019-09-04	55.65	2019-09-04	262.0
Punto 1-5	039-1-5	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	2.006	2019-09-04	80.08	2019-09-04	254.0
Punto 1-6	039-1-6	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	0.887	2019-09-04	105.86	2019-09-04	446.0
Punto 2-1	039-2-1	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	3.152	2019-09-04	85.51	2019-09-04	244.0
Punto 2-2	039-2-2	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	1.788	2019-09-04	92.29	2019-09-04	256.0
Punto 2-3	039-2-3	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	1.488	2019-09-04	93.65	2019-09-04	238.0
Punto 2-4	039-2-4	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	1.380	2019-09-04	111.29	2019-09-04	21.0
Punto 2-5	039-2-5	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	2.997	2019-09-04	127.58	2019-09-04	290.0
Punto 2-6	039-2-6	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	3.040	2019-09-04	128.94	2019-09-04	333.0
F1	039-F1	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	0.562	2019-09-04	4.07	2019-09-04	1062.0
V1	039-V1	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	0.853	2019-09-04	44.79	2019-09-04	9400.0
V2	039-V2	27/08/2019	28/08/2019			2019-09-04	1.36	2019-09-04	61.0
Límite detectable					0,007 mg/L		0,1 mg/L		2,5 mg/L

15.4. Anexo 4. Resultados del cálculo del IGAP. Río Tunjuelo.

Tabla 48. Hoja de Cálculo. Objetivos de calidad.

OBJETIVOS DE CALIDAD CAR												
RIO	TIPO	DESCRIPCION	pH	Conductividad (µs/cm)	Oxigeno Disuelto (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NH4 (mg/L)	SST (mg/L)	Fosforo (mg/L)
SUMAPAZ	CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agricola y uso pecuario.	7	0	4	7	0	10	1	0.1	10	0.1
SUMAPAZ	CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agricola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	0	4	10	0	10	1	0.1	10	0.1
SUMAPAZ	CLASE III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de los lagos, lagunas, humedales y demas cuerpos lenticos de aguas ubicados dentro de la cuenca del rio Sumapaz.	7	0	4	20	0	1	0.5	0.3	20	0.1
SUMAPAZ	CLASE IV	Corresponde a los valores de los usos agricolas con restricciones y pecuario.	7	0	4	20	0	10	1	0.1	20	0.1
SUMAPAZ	DECRETO 475/98	Criterios de calidad para agua segura.	7	1500	4	20	0	10	1	1	20	0.1
RIO BLANCO	CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agricola y uso pecuario.	7	0	4	5	0	10	1	0.1	50	0.1
RIO BLANCO	CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agricola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	0	4	6	0	10	1	0.1	50	0.1
RIO BLANCO	CLASE IV	Corresponde a los valores de los usos agricolas con restricciones y pecuario.	7	0	4	6	0	10	0	0.1	60	0.1
RIO BLANCO	DECRETO 475/99	Criterios de calidad para agua segura.	7	1500	4	20	0	10	1	1	20	0.1

Fuente Propia.

Tabla 49. Hoja de Cálculo. Objetivos de calidad. (Continuación)

OBJETIVOS DE CALIDAD CAR												
RIO	TIPO	DESCRIPCION	pH	Conductividad (µs/cm)	Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	DBO (mgO ₂ /L)	DQO (mgO ₂ /L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	SST (mg/L)	Fosforo (mg/L)
NEGRO	CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario.	7	0	4	7	0	10	1	0.1	1500	0.1
NEGRO	CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	0	4	20	0	10	1	0.1	2000	0.1
NEGRO	CLASE III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de los lagos, lagunas, humedales y demas cuerpos lenticos de aguas ubicados dentro de la cuenca del rio.	7	0	4	20	0	1	0.5	0.3	20	0.1
NEGRO	CLASE IV	Corresponde a los valores de los usos agrícolas con restricciones y pecuario.	7	0	4	50	0	10	1	0.1	2000	0.1
NEGRO	DECRETO 475/98	Criterios de calidad para agua segura.	7	1500	4	20	0	10	1	1	20	0.1
UBATE-SUAREZ	CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario.	7	0	4	7	0	10	1	0.1	10	0.1
UBATE-SUAREZ	CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	0	4	10	0	10	1	0.1	20	0.1
UBATE-SUAREZ	CLASE III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de los lagos, lagunas, humedales y demas cuerpos lenticos de aguas ubicados dentro de la cuenca del rio.	7	0	4	20	0	1	0.5	0.3	20	0.1
UBATE-SUAREZ	CLASE IV	Corresponde a los valores de los usos agrícolas con restricciones y pecuario.	7	0	0	50	0	10	1	0.1	30	0.1
UBATE-SUAREZ	DECRETO 475/98	Criterios de calidad para agua segura.	7	1500	4	20	0	10	1	1	20	0.1

Fuente Propia.

Tabla 50. Hoja de Cálculo. Objetivos de calidad. (Continuación)

OBJETIVOS DE CALIDAD CAR												
RIO	TIPO	DESCRIPCION	pH	Conductividad (µs/cm)	Oxigeno Disuelto (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NH4 (mg/L)	SST (mg/L)	Fosforo (mg/L)
MACHETÁ	CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario.	7	0	4	7	0	10	1	0.1	10	0.1
MACHETÁ	CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	0	4	10	0	10	1	0.1	10	0.1
MACHETÁ	DECRETO 475/98	Criterios de calidad para agua segura.	7	1500	4	20	0	10	1	1	20	0.1
GACHETÁ	CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario.	7	0	4	5	0	10	1	0.1	50	0.1
GACHETÁ	CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	0	4	5	0	10	1	0.1	85	0.1
GACHETÁ	DECRETO 475/98	Criterios de calidad para agua segura.	7	1500	4	20	0	10	1	1	20	0.1
RIO BOGOTÁ	CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario.	7	0	4	7	0	10	10	0.1	10	0.1
RIO BOGOTÁ	CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	0	4	7	0	10	10	0.1	10	0.1
RIO BOGOTÁ	CLASE III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de los lagos, lagunas, humedales y demas cuerpos lenticos de aguas ubicados dentro de la cuenca del rio.	7	0	4	20	0	1	0.5	0.3	20	0.1
RIO BOGOTÁ	CLASE IV	Corresponde a los valores de los usos agrícolas con restricciones y pecuario.	7	0	4	50	0	10	1	0.1	20	0.1
RIO BOGOTÁ	DECRETO 475/98	Criterios de calidad para agua segura.	7	1500	4	20	0	10	1	1	20	0.1

Fuente Propia

Tabla 51. Hoja de Cálculo. Objetivos de calidad. (Continuación)

OBJETIVOS DE CALIDAD CAR												
RIO	TIPO	DESCRIPCION	pH	Conductividad (µs/cm)	Oxigeno Disuelto (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NH4 (mg/L)	SST (mg/L)	Fosforo (mg/L)
MINERO	CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agricola y uso pecuario.	7	0	4	7	0	10	1	0.1	1500	0.1
MINERO	CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agricola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	0	4	10	0	10	1	0.1	1500	0.1
MINERO	CLASE III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de los lagos, lagunas, humedales y demas cuerpos lenticos de aguas ubicados dentro de la cuenca del rio.	7	0	4	20	0	1	0.5	0.3	20	0.1
MINERO	CLASE IV	Corresponde a los valores de los usos agricolas con restricciones y pecuario.	7	0	4	20	0	10	1	0.1	1500	0.1
MINERO	DECRETO 475/98	Criterios de calidad para agua segura.	7	1500	4	20	0	10	1	1	20	0.1
VERTIENTE ORIENTAL	CLASE I	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agricola y uso pecuario.	7	0	5	6	40	10	1	0.1	1000	0.1
VERTIENTE ORIENTAL	CLASE II	Corresponde a los valores de los usos del agua para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, uso agricola con restricciones, y uso pecuario e industrial.	7	0	4	10	40	10	1	0.1	2000	0.1
VERTIENTE ORIENTAL	CLASE III	Corresponde a los valores asignados a la calidad de los lagos, lagunas, humedales y demas cuerpos lenticos de aguas ubicados dentro de la cuenca del rio.	7	0	5	30	40	10	1	0.1	2000	0.5
VERTIENTE ORIENTAL	DECRETO 475/98	Criterios de calidad para agua segura.	7	1500	4	20	0	10	1	1	20	0.1

Fuente Propia



Tabla 52. Hoja de Cálculo. DATA. RIO TUNJUELO.

DATOS INICIALES																						
CODIGO TRAMO	TRAMO	CODIGO ESTACION	PUNTOS		COORDENADAS		LONGITUD	HIDROTOPOGRAFICOS				FISICO-QUIMICOS										
			NOMBRE	NORTE	ESTE	Caudal (m3/s)		Velocidad (m/d)	Profundidad (m)	Ancho (m)	pH	Conductividad (µs/cm)	Oxigeno Disuelto (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NH4 (mg/L)	SST (mg/L)	Fosforo Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	
Monitoreo 1	P1-M1 a P2-M1	P1-M1	P1-M1	510227	590429	392	0.62	1362.39	1.54	25	8.4	0.315	0.8	37.45	0	0	0	0	0	0	16	
		P2-M1	P2-M1	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.04	0.27	0.8	36.16	0	0	0	0	0	0	15.8	
Monitoreo 1	P1-M2 a P2-M2	P1-M2	P1-M2	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	10.47	0.27	1	67.04	0	0	0	0	0	0	16.5	
		P2-M2	P2-M2	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.16	0.29	1	43.7	0	0	0	0	0	0	17.3	
Monitoreo 1	P1-M3 a P2-M3	P1-M3	P1-M2	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	10.7	0.283	1.3	45.53	0	0	0	0	0	0	17.8	
		P2-M3	P2-M3	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.49	0.32	1.3	46.12	0	0	0	0	0	0	16.4	
Monitoreo 1	P1-M4 a P2-M4	P1-M4	P1-M4	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	10.8	0.28	1.3	45.65	0	0	0	0	0	0	17.9	
		P2-M4	P2-M4	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.4	0.31	1.3	47.78	0	0	0	0	0	0	15.5	
Monitoreo 1	P1-M5 a P2-M5	P1-M5	P1-M5	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	10.5	0.321	1.5	52.06	0	0	0	0	0	0	17.9	
		P2-M5	P2-M5	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.5	0.32	1.5	51.08	0	0	0	0	0	0	17.4	
Monitoreo 2	P1-M1 a P2-M1	P1-M1	P1-M1	510227	590429	392	0.62	1362.39	1.54	25	6.85	0.295	2	54.56	0	31.22	0	0	0	0	1.802	15.6
		P2-M1	P2-M1	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	8.02	0.6	0.8	55.67	0	85.51	0	0	0	0	3.152	18.3
Monitoreo 2	P1-M2 a P2-M2	P1-M2	P1-M2	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.91	0.49	1.5	54.35	0	33.93	0	0	0	0	2.086	16
		P2-M2	P2-M2	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.91	0.6	0.7	55.67	0	85.51	0	0	0	0	3.152	18.3
Monitoreo 2	P1-M3 a P2-M3	P1-M3	P1-M2	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.69	0.46	2	55.7	0	43.43	0	0	0	0	1.844	15.9
		P2-M3	P2-M3	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.93	0.57	0.5	54.97	0	96.65	0	0	0	0	1.488	21.8
Monitoreo 2	P1-M4 a P2-M4	P1-M4	P1-M4	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.92	0.54	1.9	55.26	0	55.62	0	0	0	0	1.574	17
		P2-M4	P2-M4	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.98	0.63	0.7	55.52	0	111.29	0	0	0	0	1.38	20.1
Monitoreo 2	P1-M5 a P2-M5	P1-M5	P1-M5	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	7.6	0.565	1.3	55.55	0	80.08	0	0	0	0	2.006	19
		P2-M5	P2-M5	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	8.23	0.68	0.6	55.52	0	127.58	0	0	0	0	2.997	19.4
Monitoreo 2	P1-M6 a P2-M6	P1-M6	P1-M6	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	8.33	0.583	0.9	55.55	0	105.86	0	0	0	0	0.887	17.2
		P2-M6	P2-M6	510017	590176	392	0.62	1362.39	1.54	25	8.28	0.73	0.8	55.58	0	128.94	0	0	0	0	3.04	19.8

Fuente Propia



Tabla 53. Hoja de Cálculo. CONST. Río Tunjuelo.

CODIGO TRAMO	TRAMO	CONSTANTES DE REACCIÓN																															
		OXIGENO DISUELTO							DBO				DQO			AMONIO			NITRITOS			NITRATOS			FOSFORO ORGÁNICO					PH			CONDUCTIVIDAD
		Ka (d-1)	DBO (d-1)	KNH3 (s-1)	KNH3 (d-1)	KNO2 (s-1)	KNO2 (d-1)	ROD	KDBO (d-1)	Sedimentación			KDQO (s-1)	KDQO (d-1)	RDQO	KNorg (d-1)	KS-NH3 (d-1)	RNH3	RNO2	KNO3 (s-1)	KNO3 (d-1)	RNO3	KPorg (s-1)	KPorg (d-1)	KP-SED (s-1)	KP-SED (d-1)	RPorg	K8 (s-1)	K8 (d-1)	RPH	RCTD		
Monitoreo 1	P1-M1 a P2-M1	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 1	P1-M2 a P2-M2	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 1	P1-M3 a P2-M3	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 1	P1-M4 a P2-M4	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 1	P1-M5 a P2-M5	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 2	P1-M1 a P2-M1	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 2	P1-M2 a P2-M2	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 2	P1-M3 a P2-M3	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 2	P1-M4 a P2-M4	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 2	P1-M5 a P2-M5	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	
Monitoreo 2	P1-M6 a P2-M6	0.2	0.42	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.92	0.42	Suelo fino (0,0078mm)	0.0500000	2.7468	3.17	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7468	2.472	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920	

Fuente propia.

15.5. Anexo 5. Resultados del cálculo del IGAP. Río Sumapaz.

Tabla 54. Hoja de Cálculo. DATA. Río Sumapaz.

CODIGO TRAMO	TRAMO	CODIGO ESTACION	DATOS INICIALES																		
			PUNTOS		COORDENADAS		LONGITUD	HIDROTOPOGRAFICOS				FISICO-QUIMICOS									
			NOMBRE	NORTE	ESTE	Caudal (m3/s)		Velocidad (m/d)	Profundidad (m)	Ancho (m)	pH	Conductividad (µs/cm)	Oxigeno Disuelto (mg O2/L)	DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NH4 (mg/L)	SST (mg/L)	Fosforo Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)
10102	ALTO SUMAPAZ - SAN JUAN	101	ALTO SUMAPAZ	919855	966499	13968.91	5.506	21157.69	0.64	34.4	7.8	35	9.0	1.2	6.5	0.6	0.004	0.36	1.5	0	0
		102	RIO SAN JUAN	932117	968258	13968.91	4.674	16475.85	0.75	32	7.9	45	10	0.5	7.4	0.6	0.006	0.38	5	0	0
10302	TASAJERAS - SAN JUAN	103	QUEBRADA TASAJERAS	936808	975552	9610.26	0.114	14431.24	0.41	1.63	8.12	39	8	3	14.3	0.7	0.004	0.41	11	0	0
		102	SAN JUAN	932117	968258	9610.26	4.674	16475.85	0.75	32	7.9	45	10	0.5	7.4	0.6	0.006	0.38	5	0	0
10204	SAN JUAN - RIO SUMAPAZ1	102	SAN JUAN	932117	968258	354.02	4.674	16475.85	0.75	32	7.9	45	10	0.5	7.4	0.6	0.006	0.38	5	0	0
		104	RIO SUMAPAZ-1	922735	953670	354.02	15.456	48917.98	0.81	33	7.9	40	9	1	37.3	0.6	0.003	0.32	0	0	0
10406	RIO SUMAPAZ1 - LG DOS MIL	104	RIO SUMAPAZ-1	922735	953670	9905.24	15.456	48917.98	0.81	33	7.9	40	9	1	37.3	0.6	0.003	0.32	0	0	0
		106	LD DOS MIL	929677	959783	9905.24	12.02	38043.10	0.81	33	7	26	8.3	2	18	0.49	0	0.7	13	0.066	14.3
10506	RIO PILAR - LG DOS MIL	105	RIO PILAR	933956	967785	10827.05	1.315	33015.49	0.26	12.96	7.8	50	8	1.8	26.2	0.6	0.012	0.46	5.5	0	0
		106	LD DOS MIL	929677	959783	10827.05	12.02	38043.10	0.81	33	7	26	8.3	2	18	0.49	0	0.7	13	0.066	14.3
10607	LG DOS MIL - RIO SUMAPAZ2	106	LD DOS MIL	929677	959783	1278.31	12.02	38043.10	0.81	33	7	26	8.3	2	18	0.49	0	0.7	13	0.066	14.3
		107	RIO SUMAPAZ-2	930198	958737	1278.31	3.641	45165.48	0.31	22	7.4	7	0	2.8	10.6	1.1	0.003	0.54	9	0	0
10710	RIO SUMAPAZ2 - LG PROFUNDO	107	RIO SUMAPAZ-2	930198	958737	9125.07	3.641	45165.48	0.31	22	7.4	7	0	2.8	10.6	1.1	0.003	0.54	9	0	0
		110	LG PROFUNDO	935323	952680	9125.07	13.21	41809.43	0.81	33	6.4	18.2	8.3	2	55.3	0.35	0	0.7	16.5	0.067	18
10810	QDA NEGRA - LG PROFUNDO	108	QDA NEGRA	928573	954589	8811.80	0.809	20094.36	0.26	13.1	6.3	6.1	0	2.1	22.2	1.3	0.003	0.64	0	0	0
		110	LG PROFUNDO	935323	952680	9125.07	13.21	41809.43	0.81	33	6.4	18.2	8.3	2	55.3	0.35	0	0.7	16.5	0.067	18
10910	QDA SANTA RITA - LG PROFUNDO	109	QDA SANTA RITA	932921	955875	5227.68	0.9	37786.60	0.26	7.75	4.6	16	6.6	2	53	0.44	0	0.7	10.5	0.06	15.3
		110	LG PROFUNDO	935323	952680	9125.07	13.21	41809.43	0.81	33	6.4	18.2	8.3	2	55.3	0.35	0	0.7	16.5	0.067	18
11012	LG PROFUNDO - RIO SUMAPAZ3	110	LG PROFUNDO	935323	952680	23567.72	13.21	41809.43	0.81	33	6.4	18.2	8.3	2	55.3	0.35	0	0.7	16.5	0.067	18
		112	RIO SUMAPAZ-3	930198	958737	23567.72	3.641	8928.37	1.38	25	7.4	7	0	2.8	10.9	1.1	0.003	0.54	9	0	0
11112	QDA LA CHORRERA - RIO SUMAPAZ3	111	QDA LA CHORRERA	944758	957248	9542.91	0.007	1138.85	0.26	2	7.2	6	4	2.8	18.6	1	0.01	0.54	7.5	0	0
		112	RIO SUMAPAZ-3	930198	958737	9542.91	3.641	8928.37	1.38	25	7.4	7	0	2.8	10.9	1.1	0.003	0.54	9	0	0
11213	RIO SUMAPAZ3 - RIO SUMAPAZ4	112	RIO SUMAPAZ-3	930198	958737	10472.62	3.641	8928.37	1.38	25	7.4	7	0	2.8	10.9	1.1	0.003	0.54	9	0	0
		113	RIO SUMAPAZ-4	960222	951063	10472.62	2.127	3947.37	1.97	23.14	7.6	55	4.5	1.7	19.7	1.2	0.004	0.51	7	0	0
11314	RIO SUMAPAZ4 - RIO NEGRO2	113	RIO SUMAPAZ-5	960222	951063	467.15	2.127	3947.37	1.97	23.14	7.6	55	4.5	1.7	19.7	1.2	0.004	0.51	7	0	0
		114	RIO NEGRO -2	960681	951073	467.15	1.281	1032.16	1.77	59.32	7.1	61.8	6.5	2	20.9	1.3	0.001	0.7	73	0.1	22.1
11514	RIO NEGRO - RIO NEGRO2	115	RIO NEGRO	952879	964327	19308.62	0.475	11481.43	0.5	7	7.3	40.5	3.9	0	44.7	1.2	0.004	0.23	7	0	0
		114	RIO NEGRO -2	960681	951073	19308.62	1.281	1032.16	1.77	59.32	7.1	61.8	6.5	2	20.9	1.3	0.001	0.7	73	0.1	22.1
11614	QDA LA LEJIA - RIO NEGRO2	116	QDA LA LEJIA	964364	961499	13329.9	0.336	6093.38	0.5	9.33	7.2	72	2.7	6.3	42.6	1.4	0.052	1.19	1.4	0	0
		114	RIO NEGRO -2	960681	951073	13329.9	1.281	1032.16	1.77	59.32	7.1	61.8	6.5	2	20.9	1.3	0.01	0.7	73	0.1	22.1
11417	RIO NEGRO2 - RIO NEGRO3	114	RIO NEGRO -2	960681	951073	2395.19	1.281	1032.16	1.77	59.32	7.1	61.8	6.5	2	20.9	1.3	0.01	0.7	73	0.1	22.1
		117	RIO NEGRO-3	961557	949048	2395.19	0.321	258.64	1.77	59.32	6.8	39.6	6.6	2	23.4	0.9	0	0.7	42.7	0.086	21.4
11718	RIO NEGRO3 - RIO CUJA	117	RIO NEGRO-3	961557	949048	575.56	0.321	258.64	1.77	59.32	6.8	39.6	6.6	2	23.4	0.9	0	0.7	42.7	0.086	21.4
		118	RIO CUJA-1	962012	948790	575.56	1.719	931.53	1.95	80.06	7.1	61.6	6.2	2	16.6	0.7	0	0.7	37.7	0.082	21.1

Fuente Propia

Tabla 55. Hoja de Cálculo. DATA. Río Sumapaz. (Continuación)

CODIGO TRAMO	TRAMO	CODIGO ESTACION	DATOS INICIALES																		
			PUNTOS		COORDENADAS			HIDROTOPOGRAFICOS				FISICO-QUIMICOS									
			NOMBRE	NORTE	ESTE	LONGITUD	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/d)	Profundidad (m)	Ancho (m)	pH	Conductividad (µs/cm)	Oxigeno Disuelto (mg O ₂ /L)	DBO (mgO ₂ /L)	DQO (mgO ₂ /L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	SST (mg/L)	Fosforo Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)
12021	QDA LOS SALVIOS - RIO SAN JUAN	120	QDA LOS SALVIOS	962221	978701	4477.01	0.093	3274.98	0.77	3.12	7.4	36.1	5.7	1.1	28.5	2	0.003	0.57	9.5	0	0
		121	RIO SAN JUAN	965939	977230	4477.01	0.385	9138.89	1.1	3.24	7.4	28.4	5.6	1.2	20.4	2.4	0.003	0.36	4	0.32	0
12122	RIO SAN JUAN - QDA SABANETA-1	121	RIO SAN JUAN	965939	977230	4563.39	0.385	9138.89	1.1	3.24	7.4	28.4	5.6	1.2	20.4	2.4	0.003	0.36	4	0.32	0
		122	QDA SABANETA	968524	974099	4563.39	0.611	3795.20	1.5	9.08	7.6	54.7	5.2	1.5	17.5	2.6	0.005	0.47	6.5	0	0
12218	QDA SABANETA-1 - RIO CUJA	122	QDA SABANETA	968524	974099	30980.95	0.611	3795.20	1.5	9.08	7.6	54.7	5.2	1.5	17.5	2.6	0.005	0.47	6.5	0	0
		118	RIO CUJA-1	962012	948790	30980.95	1.719	1861.66	1.95	40.06	7.1	61.6	6.2	2	16.6	0.7	0	0.7	37.7	0.082	21.1
11918	RIO GUAVIO - RIO CUJA	119	RIO GUAVIO	965517	963170	17200.94	0.511	1331.54	1.53	21.22	7.5	63	4.6	0.6	20	1.2	0.003	0.33	1	0	0
		118	RIO CUJA-1	962012	948790	17200.94	1.719	1861.66	1.95	40.06	7.1	61.6	6.2	2	16.6	0.7	0	0.7	37.7	0.082	21.1
11823	RIO CUJA - RIO CUJA2	118	RIO CUJA-2	962012	948790	1456.78	1.719	1861.66	1.95	40.06	7.1	61.6	6.2	2	16.6	0.7	0	0.7	37.7	0.082	21.1
		123	RIO CUJA-2	962560	94775	1456.78	1.719	4185.88	0.84	41.36	6.8	45.6	6.4	2.3	21.7	0.6	0	0.7	38.3	0.103	21.5
12528	RIO SUBIA - RIO PANCHES	125	RIO SUBIA	988995	968009	41276.84	0.415	8472.25	0.56	7.4	7.5	150	5.6	2.1	28.9	1.5	0.068	0.7	2	0	0
		128	RIO PANCHES	964096	946249	41276.84	3.34	6507.87	1.97	22.04	7.2	89.1	6.3	2.3	18.6	2.3	0.11	0.7	60	0.243	22.1
12628	QDA CHUSCAL - RIO PANCHES	126	QDA CHUSCAL	976864	973770	37610.24	0.194	3102.59	0.77	6.87	7.3	36.3	6.5	0.9	15.1	2.4	0.002	0.33	17	0	0
		128	RIO PANCHES	964096	946249	37610.24	3.34	6507.87	1.97	22.04	7.2	89.1	6.3	2.3	18.6	2.3	0.11	0.7	60	0.243	22.1
12629	QDA SABANETA2 - RIO PANCHES	127	QDA SABANETA-2	979830	967900	29446.34	0.347	5833.90	0.68	7.4	7	1	0	77.8	191	1.9	0.002	7.45	56.1	0.88	0
		128	RIO PANCHES	962955	947952	29446.34	3.34	6507.87	1.97	22.04	7.2	89.1	6.3	2.3	18.6	2.3	0.11	0.7	60	0.243	22.1
12324	RIO CUJA2 - RIO PANCHES	123	RIO CUJA-2	962560	94775	2193.37	1.719	4185.88	0.84	41.36	6.8	45.6	6.4	2.3	21.7	0.6	0	0.7	38.3	0.103	21.5
		124	RIO PANCHES-2	964096	946249	2193.37	3.34	6161.80	1.38	33.23	7	53.3	6.4	2	23	1.2	0.03	0.7	50	0.154	22.4
12824	RIO PANCHES - RIO PANCHES2	128	RIO PANCHES	964096	946249	6894.37	3.34	6507.87	1.97	22.04	7.2	89.1	6.3	2.3	18.6	2.3	0.11	0.7	60	0.243	22.1
		124	RIO PANCHES-2	964096	946249	6894.37	3.34	6161.80	1.38	33.23	7	53.3	6.4	2	23	1.2	0.03	0.7	50	0.154	22.4
12429	RIO PANCHES2 - LG LIMONAR MELGAR	124	RIO PANCHES-2	964096	946249	10143.38	3.34	6161.80	1.38	33.23	7	53.3	6.4	2	23	1.2	0.03	0.7	50	0.154	22.4
		129	LG LIMONAR MELGAR	959938	939785	10143.38	8.78	15510.04	1.06	45.18	7.2	61	7.7	2	20.2	1	0.04	0.7	42	0.194	21.1
12930	LG LIMONAR MELGAR - MELGAR	129	LG LIMONAR MELGAR	959938	939785	4927.38	8.78	15510.04	1.06	45.18	7.2	61	7.7	2	20.2	1	0.04	0.7	42	0.194	21.1
		130	MELGAR	956712	936690	4927.38	8.98	23683.15	0.86	37.3	7.1	61.1	7.8	2	17.7	0.7	0.01	0.7	42.3	0.194	21.1
13031	MELGAR - RIO PAGUEY4	130	MELGAR	956712	936690	17150.17	8.98	23683.15	0.86	37.3	7.1	61.1	7.8	2	17.7	0.7	0.01	0.7	42.3	0.194	21.1
		131	RIO PAGUEY-4	961119	926732	17150.17	13.46	37298.26	0.71	43	7.1	68.1	7.4	2	18.4	0.9	0.02	0.7	65	0.194	23.9
13233	QDA TAPICHE - RIO PAGUEY1	132	QDA TAPICHE	972663	948217	12409.07	0.009	388.31	0.38	5.16	8	7.7	5	1	35.1	0.9	0.003	0.31	5	0	0
		133	RIO PAGUEY-1	967400	939842	12409.07	0.287	2717.73	0.6	14.89	7.8	7.8	4	5	27.2	0.8	0.047	1.39	14	0	0
13334	RIO PAGUEY1 - RIO PAGUEY2	133	RIO PAGUEY-1	967400	939842	20198.5	0.287	2717.73	0.6	14.89	7.8	7.8	4	5	27.2	0.8	0.047	1.39	14	0	0
		134	RIO PAGUEY-2	961634	928616	20198.5	5.05	26550.21	0.78	20.63	9.2	6.3	1.5	3.9	44.7	0.6	0.0012	0.38	52	0	0
13435	RIO PAGUEY2 - RIO PAGUEY3	134	RIO PAGUEY-2	961634	928616	690.53	5.05	26550.21	0.78	20.63	9.2	6.3	1.5	3.9	44.7	0.6	0.0012	0.38	52	0	0
		135	RIO PAGUEY-3	961342	928173	690.53	5.05	26550.21	0.78	20.63	7.6	108	7.3	2	12.9	0.8	0.01	0.7	51	0.269	22.4
13531	RIO PAGUEY3 - RIO PAGUEY4	135	RIO PAGUEY-3	961342	928173	1020.81	5.05	26550.21	0.78	20.63	7.6	108	7.3	2	12.9	0.8	0.01	0.7	51	0.269	22.4
		131	RIO PAGUEY-4	961119	926732	1020.81	13.46	37298.26	0.71	43	7.1	68.1	7.4	2	18.4	0.9	0.02	0.7	65	0.194	23.9
13136	RIO PAGUEY4 - PUNTO DE CIERRE	131	RIO PAGUEY-4	961119	926732	1020.81	13.46	37298.26	0.71	43	7.1	68.1	7.4	2	18.4	0.9	0.02	0.7	65	0.194	23.9
		136	PUNTO DE CIERRE	961345	925939	1538.01	19.07	51878.64	0.71	43.8	7.2	89.9	6.6	2	26.1	0.9	0.01	0.7	184	0.317	24.6

Fuente Propia



Tabla 56. Hoja de Cálculo. CONST. Río Sumapaz.

CODIGO TRAMO	TRAMO	CONSTANTES DE REACCIÓN																																
		OXIGENO DISUELTO							DBO					DQO			AMONIO			NITRITOS			NITRATOS			FOSFORO ORGÁNICO					PH			CONDUCTIVIDAD
		Ka (d-1)	DBO (d-1)	KNH3 (s-1)	KNH3 (d-1)	KNO2 (s-1)	KNO2 (d-1)	Rod	KDBO (d-1)	Sedimentación			RdBO	KdQO (s-1)	KDQO (d-1)	RdQO	KNorg (d-1)	KS-NH3 (d-1)	RNH3	RNO2	KNO3 (s-1)	KNO3 (d-1)	RNO3	KPorg (s-1)	KPorg (d-1)	KP-SED (s-1)	KP-SED (d-1)	RPorg	K8 (s-1)	K8 (d-1)	RPH	RCTD		
10102	ALTO SUMAPAZ - SAN JUAN	4.8	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	2.80	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.3219	1.67	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.3219	1.047	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
10302	TASAJERAS - SAN JUAN	8.5	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	6.47	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	2.0634	2.41	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.0634	1.789	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
10204	SAN JUAN - RIO SUMAPAZ1	3.0	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	1.03	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.1280	1.48	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.1280	0.853	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
10406	RIO SUMAPAZ1 - LG DOS MIL	5.4	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	3.44	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.0444	1.39	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.0444	0.770	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
10506	RIO PILAR - LG DOS MIL	34.2	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	32.23	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	3.2538	3.60	0.000002	0.1692	0.169	0.275	3.2538	2.979	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
10607	LG DOS MIL - RIO SUMAPAZ2	4.6	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	2.60	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.0444	1.39	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.0444	0.770	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
10710	RIO SUMAPAZ2 - LG PROFUNDO	30.5	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	28.50	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	2.7290	3.08	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.7290	2.454	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
10810	QDA NEGRA - LG PROFUNDO	24.5	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	22.54	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	3.2538	3.60	0.000002	0.1692	0.169	0.275	3.2538	2.979	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
10910	QDA SANTA RITA - LG PROFUNDO	37.5	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	35.47	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	3.2538	3.60	0.000002	0.1692	0.169	0.275	3.2538	2.979	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11012	LG PROFUNDO - RIO SUMAPAZ3	4.9	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	2.90	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.0444	1.39	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.0444	0.770	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11112	QDA LA CHORRERA - RIO SUMAPAZ3	3.6	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	1.59	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	3.2538	3.60	0.000002	0.1692	0.169	0.275	3.2538	2.979	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11213	RIO SUMAPAZ3 - RIO SUMAPAZ4	0.6	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	1.35	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.6130	0.96	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.6130	0.338	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11314	RIO SUMAPAZ4 - RIO NEGRO2	0.2	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	1.81	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.4294	0.78	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.4294	0.155	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11514	RIO NEGRO - RIO NEGRO2	5.0	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	3.03	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.6920	2.04	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.6920	1.417	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11614	QDA LA LEJIA - RIO NEGRO2	3.3	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	1.29	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.6920	2.04	0.000000	0	0.000	0.275	1.6920	1.417	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11417	RIO NEGRO2 - RIO NEGRO3	0.1	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	1.90	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.4780	0.83	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.4780	0.203	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11718	RIO NEGRO3 - RIO CUJA	0.0	0.35	0.0000065	0.55	0.000013	1.10	1.96	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.4780	0.83	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.4780	0.203	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		

Fuente propia.

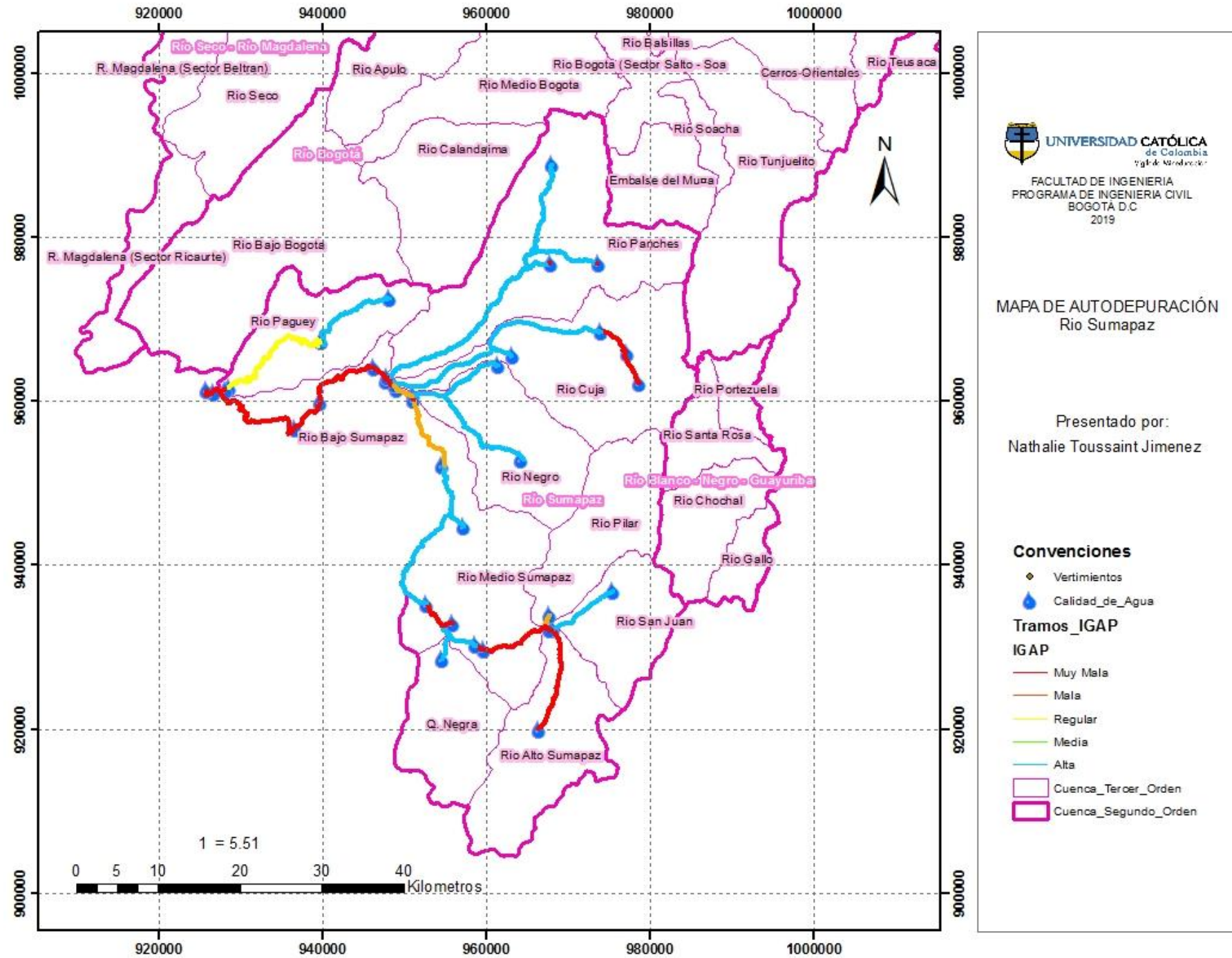


Tabla 57. Hoja de Cálculo. CONST. Río Sumapaz. (Continuación) Fuente propia.

CODIGO TRAMO	TRAMO	CONSTANTES DE REACCIÓN																																
		OXIGENO DISUELTO							DBO					DQO			AMONIO			NITRITOS			NITRATOS			FOSFORO ORGÁNICO					PH			CONDUCTIVIDAD
		Ka (d-1)	KDBO (d-1)	KNH3 (s-1)	KNH3 (d-1)	KNO2 (s-1)	KNO2 (d-1)	Rod	KDBO (d-1)	Sedimentación			RdBO	KDQO (s-1)	KDQO (d-1)	RdQO	KNorg (d-1)	KS-NH3 (d-1)	RNH3	RNO2	KNO3 (s-1)	KNO3 (d-1)	RNO3	KPorg (s-1)	KPorg (d-1)	KP-SED (s-1)	KP-SED (d-1)	RPorg	K8 (s-1)	K8 (d-1)	RPH	RCTD		
12021	QDA LOS SALVIOS - RIO SAN JUAN	1.0	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.02	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.0987	1.45	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.0987	0.824	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
12122	RIO SAN JUAN - QDA SABANETA-1	1.0	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.00	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.7691	1.12	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.7691	0.494	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
12218	QDA SABANETA-1 - RIO CUJA	0.3	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.69	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.5640	0.91	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.5640	0.289	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11918	RIO GUAUVIO - RIO CUJA	0.2	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.85	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.5529	0.90	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.5529	0.278	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
11823	RIO CUJA - RIO CUJA2	0.1	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.88	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.4338	0.78	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.4338	0.159	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
12528	RIO SUBIA - RIO PANCHES	3.3	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.33	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.5107	1.86	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.5107	1.236	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
12628	QDA CHUSCAL - RIO PANCHES	0.9	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.06	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.0987	1.45	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.0987	0.824	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
12629	QDA SABANETA2 - RIO PANCHES	1.8	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	0.19	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.2441	1.59	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.2441	0.969	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
12324	RIO CUJA2 - RIO PANCHES	1.0	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.02	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.0071	1.36	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.0071	0.732	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
12824	RIO PANCHES - RIO PANCHES2	0.3	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.73	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.4294	0.78	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.4294	0.155	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
12429	RIO PANCHES2 - LG LIMONAR MELGAR	0.5	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.49	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.6130	0.96	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.6130	0.338	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
12930	LG LIMONAR MELGAR - MELGAR	1.5	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	0.47	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.7981	1.15	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.7981	0.523	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
13031	MELGAR - RIO PAGUEY4	3.0	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.00	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	0.9837	1.33	0.000002	0.1692	0.169	0.275	0.9837	0.709	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
13233	QDA TAPICHE - RIO PAGUEY1	0.9	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.14	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	2.2263	2.58	0.000002	0.1692	0.169	0.275	2.2263	1.951	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
13334	RIO PAGUEY1 - RIO PAGUEY2	1.4	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	0.63	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.4100	1.76	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.4100	1.135	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
13435	RIO PAGUEY2 - RIO PAGUEY3	3.9	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.88	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.0846	1.43	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.0846	0.810	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
13531	RIO PAGUEY3 - RIO PAGUEY4	3.9	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	1.88	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.0846	1.43	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.0846	0.810	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		
13136	RIO PAGUEY4 - PUNTO DE CIERRE	5.8	0.35	0.000065	0.55	0.000013	1.10	3.79	0.35	Arcilla (0,0039mm)	0.0100000	1.1915	1.54	0.000002	0.1692	0.169	0.275	1.1915	0.917	0.550	0.00000055	0.0465	0.047	0.00000255	0.216	0.0000013	0.11	0.326	0.00000150	0.127	0.127	1.920		

15.6. Anexo 6. Mapa de Autodepuración. Río Sumapaz.

Figura 57. Mapa de Autodepuración. Río Sumapaz.



Fuente propia.



15.7. Anexo 7. Formatos de Laboratorio.

Figura 58. Formato de solicitud de laboratorio-a.

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F 053 LI 103 02				
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: <i>proyecto de grado: tratamiento de aguas.</i>								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS		E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO				
506203	Angélica Lineth Mateos Malagón		almateos03@ucatolica.edu.co	3209169057				
506112	Julieith Alejandra Torres Castro		jutorres12@ucatolica.edu.co	3115193239				
506095	Harol Sebastian Moreno Medina		hsmoreno45@ucatolica.edu.co	3138923864				
506316	Nathalie Toussaint Jimenez		ntoussaint16@ucatolica.edu.co	3006110705				
506220	Julian Camilo Romero Nieto		icromero1020@ucatolica.edu.co	3006738523				
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	07/10/19	7:00	9:00	08/10/19	8:00	10:00	D	Desinfección
2	07/10/19	14:00	16:00	09/10/19	09:00	11:00	D	Medición de parámetros
3								
4								
5								

(1) Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.

(2) A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES/EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
Beaker		2	X	
Hulemeyer		2	X	
Turbidímetro		2	X	
Multíparámetro		1	X	
Anticida	mg	50000	X	

OBSERVACIONES

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

[Handwritten signatures of students and staff]

Recuerda enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN
PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y
CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.

ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ
CÓDIGO: 505785

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.
Director trabajo de Grado

Figura 59. Formato de solicitud de laboratorio-b.

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F 053 LJ 103 02				
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: <i>Optimización de Potabilización mediante nanorxillas magnéticas, planta de tratamiento para lavado de joyas</i>								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS		E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO				
506045	Harol Sebastian Moreno Medina		hsmoreno45	3158977864				
506316	Nathalie Toussaint Jimenez		ntoussaint16	3006118705				
506220	Julian Camilo Romero Nieto		jicromero20	3006720527				
506503	Angelica Lineth Mateus Malagon		almateus03	3209169051				
506112	Julieith Alejandra Torres		jatorres12	315173234				
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽¹⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	1/10/2019	01:00pm	3:00pm	1/10/2019	3:00	5:00	D	Filtración
2	4/10/2019	11:00am	01:00pm	4/10/2019	1:00	3:00	D	Desinfección
3								
4								
5								

⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	
Beaker		2	X		
Helmeyer		2	X		
Turbidímetro		2	X		
Multiparamétrico		1	X		
Antracita	m9	50.000	X		

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

SOLICITANTE 1

SOLICITANTE 2

SOLICITANTE 3

SECRETARIO 1

SECRETARIO 2

SECRETARIO 3

SECRETARIO DE LABORATORIOS

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co

Fuente: Semillero de Investigación.



Figura 60. Formato de solicitud de laboratorio-c.

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F 053 LI 103 02				
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: Trabajo de grado: Prácticas de laboratorio de tratamiento de aguas.								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS		E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO				
506303	Angélica Lineth Mateo Malagón		almateo03@ucatolica.edu.co	3209169051				
506412	Julieth Alejandra Torres Castro		jatorres12@ucatolica.edu.co	3115193734				
506045	Harol Sebastian Moreno Medina		hsmoreno45@ucatolica.edu.co	313 892 7864				
506220	Julian Camilo Romero Nieto		jcromero20@ucatolica.edu.co	300 6738527				
506316	Nathalie Toussaint Jimenez		ntoussaint16@ucatolica.edu.co	300 6118703				
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	26/08/2019	15:00	17:00	28/08/2019	09:00	11:00	D	Coagulación - Flocculación - Sedimentación
2								
3								
4								
5								

(1) Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.

(2) A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES/EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
PHmetro	2			
Sulfato de aluminio		15g		
Beaker de 50 y 100 ml	2			
Vaso de precipitado 800ml	2			
Probeta 100 ml	2			
Pipeta 50 ml	2			

OBSERVACIONES
La practica a realizar es para la simulacion del proceso de coagulación, floculación y sedimentación.

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

SOLICITANTE 1

SOLICITANTE 2

SOLICITANTE 3

SOLICITANTE 4

SOLICITANTE 5

DOCENTE / TUTOR ENCARGADO

COORDINADOR DE LABORATORIOS

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co

Scanned with CamScanner

Fuente: Semillero de Investigación.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN
PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y
CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.

ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ
CÓDIGO: 505785

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.
Director trabajo de Grado

Figura 61. Formato de solicitud de laboratorio-d.

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia		FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F 053 LI 103 02		
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: PROYECTO DE GRADO: PRACTICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS			E-MAIL @ucatolica.edu.co		TELÉFONO		
506112	Julieth Alejandra Torres Castro			jatorres12@ucatolica.edu.co		3115193334		
506303	Angelica Lineth Mateus Halagón			almateus03@ucatolica.edu.co		3209169054		
506316	Nathalie Toussaint Jimenez			ntoussaint16@ucatolica.edu.co		3006189103		
506045	Havel Sebastian Moreno Medina			hsmoreno45@ucatolica.edu.co		3138923869		
506020	Julian Camilo Romero Nieto			jcromerozo@ucatolica.edu.co		3006738527		
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	FECHA (dd/mm/AA)	HORARIO IDEAL		HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
		HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	13/09/19	11:00	01:00	14/09/19	11:00	01:00	D	Fenton y test de jarvis
2	16/09/19	07:00	09:00	17/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
3	23/09/19	07:00	09:00	24/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
4								
5								

⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.

⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES/EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	
Beaker	4		x		Preservar muestras después de guardar los laboratorios.
Probeta	4		x		
multímetro	2		x		
espectrofotometro	2		x		
Sulato de aluminio 100g		8 gr.	x		

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte de personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente de horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS


 SOLICITANTE 1


 SOLICITANTE 2


 SOLICITANTE 3


 SOLICITANTE 4


 SOLICITANTE 5


 SOLICITANTE 6


 COORDINADOR DE LABORATORIO

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co

Scanned with CamScanner

Fuente: Semillero de Investigación.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE GLOBAL DE AUTODEPURACIÓN
PARA RÍOS DE MONTAÑA A PARTIR DE CALIDAD DE AGUA Y
CARACTERÍSTICAS HIDRO-TOPOGRÁFICAS.

ELABORÓ: NATHALIE TOUSSAINT JIMENEZ
CÓDIGO: 505785

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMÓN BOLÍVAR.
Director trabajo de Grado

Figura 62. . Formato de solicitud de laboratorio-e.

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia		FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F 053 LI 103 02		
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: Proyecto de grado : Práctica de tratamiento de aguas								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS			E-MAIL @ucatolica.edu.co		TELÉFONO		
506112	Julioth Alejandra Tones Castro			jatones12@ucatolica.edu.co		3115193334		
506303	Angélica Liorth Mateus Halagón			almateo003@ucatolica.edu.co		3209469051		
506316	Nathalie Toussaint Jimenez			ntoussaint16@ucatolica.edu.co		3006178703		
506045	Harold Sebastian Moreno Medina			hmoreno45@ucatolica.edu.co		3133927864		
506220	Julian Camilo Romero Pioto			cromero20@ucatolica.edu.co		3006738527		
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	17/09/19	07:00	09:00	18/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
2	23/09/19	07:00	09:00	24/09/19	07:00	09:00	D	Filtración y desinfección
3	26/09/19	11:00	01:00	27/09/19	11:00	01:00	D	tenon.
4								
5								

⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	
Beac key	4			X	Preservar muestra o
Probeta	4			X	
multimetrio	2			X	
Espectro fotometro	2			X	
		0			

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

SOLICITANTE 1:

SOLICITANTE 2:

SOLICITANTE 3:

SOLICITANTE 4:

SOLICITANTE 5:

DOCENTE / TUTOR ENCARGADO: _____

COORDINADOR DE LABORATORIOS: _____

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co

Fuente: Semillero de Investigación