DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

Artículos

Calidad del agua en ríos urbanos: caso del río Fucha, Bogotá, Colombia

Water quality in urban rivers: Fucha River case, Bogotá, Colombia

Luisa F. Uribe L.[1], ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8283-6722

Andrea Reyes[2], ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9959-0693

Leonardo Hernández[3], ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0276-3522

[1]Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá D.C., Colombia, luisa.uribe@unad.edu.co

[2]Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá D.C., Colombia, areyegar@unadvirtual.edu.co

[3]Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá D.C., Colombia, jlhernadezra@unadvirtual.edu.co

Autora para correspondencia: Luisa F. Uribe L., luisa.uribe@unad.edu.co

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

Resumen

Bogotá es la capital de Colombia y cuenta con cuatro ríos que la atraviesan de oriente a occidente: Tunjuelito, Fucha, Salitre y Torca, los cuales se han subdivido en cuatro tramos para su estudio, por lo que se planificó la metodología para conocer la calidad hídrica del tramo 3 del río Fucha con base en el Índice de Calidad General para Aguas Superficiales (ICACOSU), en relación con el cumplimiento de los objetivos de calidad hídrica establecidos en la Resolución 5731 de 2008 para los ríos de la ciudad. Para dar cumplimiento al objeto de investigación, se realizó una revisión bibliográfica de la zona de estudio; se determinaron seis puntos de medición hídrica de los parámetros: OD, SST, DQO, CE, pH, CT, DBO y Q, teniendo en cuenta representatividad y accesibilidad. Obtenidos los resultados del laboratorio se hicieron los cálculos y el análisis para establecer el ICACOSU de 5 y 7 variables, y comparar los resultados de los parámetros con los objetivos de calidad hídrica establecidos para el río Fucha. Se deduce que la calidad del río Fucha para el ICACOSU de siete variables es muy malo para los puntos de monitoreo 5 y 6, por la disminución en la concentración de OD (0.35 y 0.17 mg/l O_2, respectivamente) y el aumento de la concentración de DBO_5 en el punto de monitoreo 6 (112 mg/l O_2); sólo los puntos de monitoreo 2 y 3 cumplen con un valor superior al 50 % en el cumplimiento de los objetivos de calidad hídrica.

Palabras clave: ICACOSU, vertimientos, monitoreo, objetivos de calidad, carga contaminante, parámetro.

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

Abstract

Bogota is the capital city of Colombia, which has four bodies of water that cross it from east to west, the Fucha River being a neighbor of UNAD, for which reason the COBIDES research group, from UNAD, planned a set of methodological activities to know the water quality of section three of the Fucha River based on the General Quality Index for Surface Waters ICACOSU, concerning the fulfillment of Resolution 5731 of 2008, which specifies the water quality objectives for the city. To fulfill the objective of the research detailed bibliographic review of the study area was carried out, six (6) water measurement points were determined considered: representativeness, accessibility, and safety of the location. Once the results were obtained by the laboratory, the necessary calculations and analyzes were carried out to establish the ICACOSU of 5 and 7 variables and the results of the sampling were compared with the quality objectives established by Resolution 5731 of 2008; thus, it follows that the water quality of the Fucha River for the ICACOSU of seven variables is very bad. Due to the concentration of fecal coliforms, so it is not suitable to establish the biological balance of self-purification on its way to the Bogotá River mouth, about quality objectives, they are only met in two monitoring points with a compliance value of less than 85 %.

Keywords: ICACOSU, dumping, monitoring, quality objectives, pollutant load, parameter.

Recibido: 26/02/2021

Aceptado: 17/03/2022

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

Introducción

La gestión del recurso hídrico urbano cada vez toma más fuerza en las ciudades capitales y Bogotá D.C., Colombia, no es la excepción. Dado que los ríos urbanos son parte del equilibrio ambiental de la ciudad, facilitan gran parte del drenaje de las aguas residuales de la urbe; la protegen de posibles inundaciones, recibiendo escorrentías generadas por la lluvia y dando hábitat a diferentes especies nativas o migrantes; en muchos casos, el río es utilizado para satisfacer la demanda de consumo, y además es fuente de desarrollo social, pues en su ronda se gestan relaciones humanas de convivencia, y es fuente de desarrollo económico (CAR, 2011).

La ciudad de Bogotá D.C. cuenta con 7 181 469 habitantes (DANE, 2020) y se divide administrativamente en 20 localidades para ofrecer redes de servicios públicos; a su vez, se subdivide en 117 unidades de planeación zonal (UPZ), con el propósito definir y precisar el planeamiento del suelo urbano, respondiendo a la dinámica productiva de la ciudad. La urbe es atravesada de oriente a occidente por cuatro ríos urbanos (Tunjuelito, Fucha, Salitre y Torca), que alimentan la cuenca del río Bogotá, cuerpo de agua de interés nacional por su estado de degradación. A su vez, el río Bogotá vierte sus aguas al río Magdalena, uno de los más importantes del país, que lo atraviesa de sur a norte, siendo su cuenca

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

responsable de cerca del 80 % del PIB de Colombia (The Nature Conservancy, 2019).

El río Fucha, con una longitud de 17.30 km y un área total de drenaje de 17.536 ha, nace en la cordillera de los Andes, como consecuencia de la confluencia de las quebradas La Osa y Upata (SDA, 2015). El río se divide en cuatro tramos ubicados en las siguientes coordenadas: tramo uno (1), con posición inicial en 4° 33’ 31.29’’ N y 74° 03’ 42.97’’ O; tramo dos (2), con posición inicial en 4° 34’ 51.64’’ N y 74° 5’ 25.10’’ O; tramo tres (3), con posición inicial en 4° 36’ 22.24’’ N y 74° 7’ 8.68’’ O, y finalmente el tramo cuatro (4), con posición inicial en 4° 38’ 51.04’’ N y 74° 7’ 41.41’’ O, desembocando en el río Bogotá, en la posición final 4° 39' 44.7" N y 74° 09' 33.5" O (Pérez & Zamora, 2015) (Figura 1).

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

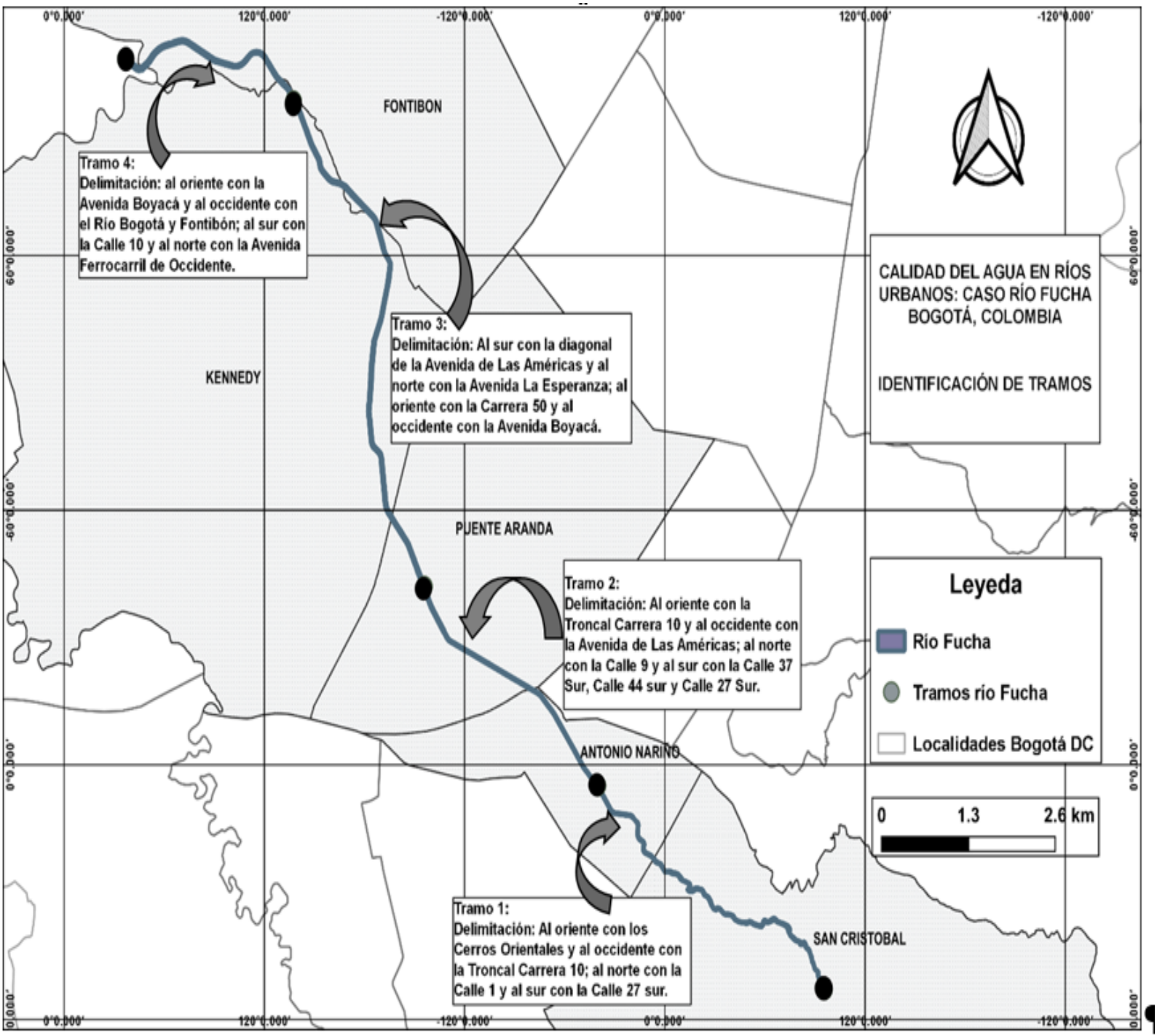

Figura 1. Mapa del río Fucha, Bogotá, D.C.

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La autoridad ambiental competente en la ciudad de Bogotá es la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), que desde el año 2006 plantea objetivos de calidad hídrica para el río Fucha para 4 y 8 años, y que fue actualizada por última vez en el año 2015 con la Resolución 3116. Igualmente, la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB), mediante el convenio 005 de 2006 entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y la SDA implementó puntos de monitoreo para todas las cuencas hidrográficas de la ciudad, correspondiéndole al río Fucha seis puntos distribuidos en los cuatro tramos.

Es claro que el uso de mediciones y cálculo de indicadores le permite a las autoridades ambientales la toma de decisiones, como lo confirman Romanelli y Massone (2016) al mencionar que los indicadores ambientales representan un instrumento de utilidad para organizar, sistematizar, cuantificar, simplificar y comunicar información relativa a aspectos ambientales, que resulta básica para la toma de decisiones en el marco de la gestión ambiental. Asimismo, Peña-Guzmán, Melgarejo-Moreno y Prats-Rico (2016) argumentan que conocer los componentes y el comportamiento del ciclo urbano del agua permite gestionar de manera adecuada los recursos ambientales y económicos de una ciudad.

Por su parte, el río Fucha cambia en su calidad hídrica en poco menos de 9 kilómetros al salir de la reserva natural El Delirio e ir atravesando la ciudad; a la altura del kilómetro 2 es canalizado; a la altura del kilómetro 3 está rodeado de zonas residenciales, y a la altura del kilómetro 7 se encuentra con la zona industrial de Puente Aranda, donde

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

recibe vertimientos con alta carga contaminante, y deja de ser un río para convertirse en un canal de aguas residuales hasta desembocar en el río Bogotá (Alcaldía Local de Puente Aranda, 2016).

El objetivo del estudio fue determinar la calidad del agua en el tramo tres (3) del río Fucha por medio del cálculo del ICACOSU con la finalidad de determinar el cumplimiento de los objetivos establecidos en la Resolución No. 5731 de 2008 por parte de la SDA en la ciudad de Bogotá D.C. (SDA, 2008a).

El cumplimiento de los objetivos de calidad planteados en la resolución No. 5731 de 2008 es todo un reto, que trae consigo el seguimiento continuo a las industrias que vierten sobre el río; la posible implementación de proyectos de tratamiento de aguas en el cauce, y la conciencia de la ciudadanía frente a esta problemática local con impacto regional (SDA, 2008a; SDA, 2008b).

En este sentido, en el año 2010, el país generó la política para la gestión integral del recurso hídrico, que fue diseñada para un periodo de 12 años (2010-2022) a través del desarrollo de seis objetivos específicos: oferta, demanda, calidad, riesgo, fortalecimiento institucional y gobernabilidad (Múnera, 2015). Entre los instrumentos técnicos para la Gestión Integral del Recurso Hídrico se tienen el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (MinAmbiente, 2014), que orienta y da el soporte técnico para abordar y aplicar otros instrumentos, tales como: la reglamentación y los permisos de vertimientos, los planes de saneamiento y manejo de vertimientos, concesiones de agua, la reglamentación del

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

uso de las aguas, y los programas de uso eficiente y ahorro del agua (MinAmbiente, 2014).

La calidad del agua a nivel mundial es una problemática que afrontan muchos gobiernos en el mundo, La UNESCO, en su informe mundial sobre el "Desarrollo de los recursos hídricos", afirma que la calidad hídrica es un indicador de salud en la población y los factores calidad del agua y saneamiento básico hacen parte de los derechos humanos reconocidos por las Naciones Unidas, por eso es deber de los mandatarios garantizar dichos derechos a la población, así como es un deber mantener y preservar el recurso hídrico en todo el orbe.

Materiales y métodos

El grupo de investigación determinó el índice de calidad general en corrientes superficial (ICACOSU) para cinco variables (oxígeno disuelto, OD; sólidos suspendidos totales, SST; demanda química de oxígeno, DQO; conductividad eléctrica, CE, y pH) y siete variables (OD, SST, DQO, CE, pH, coliformes totales, CT, y demanda biológica de oxígeno, DBO_5), y analizó el estado de cumplimiento de los objetivos de calidad respecto a la Resolución 5731 de 2008, para lo cual tuvo que revisar fuentes confiables en cuanto a la justificación de la problemática; determinó las variables a analizar con respecto a las condiciones actuales del río Fucha; realizó el reconocimiento del tramo 3 del río para evidenciar y ubicar los principales puntos de vertimientos; y llevó a cabo un muestreo con un

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

laboratorio acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en seis puntos estratégicos durante la temporada seca de septiembre de 2020, para calcular el índice y comparar los resultados para establecer su cumplimiento en relación con los objetivos de calidad hídrica.

La metodología empleada se dividió básicamente en tres fases: reconocimiento de la zona de estudio, recolección de muestras y cálculo del ICACOSU, como se describe en la Figura 2.

Figura 2. Metodología empleada.

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Fase 1. Reconocimiento de la zona de estudio

La zona de estudio es el tramo 3 del río Fucha, que se extiende desde la posición inicial en 4° 36’ 22.24’’ N y 74° 7’ 8.68’’ O, y cuenta con una longitud de 4.89 km; durante este recorrido atraviesa tres localidades y cinco UPZ (véase la Figura 3) (SDP, 2015). La primera localidad con la que tiene contacto el río es la 16, Puente Aranda, en la que el uso del suelo se distribuye así: residencial, 38.68 %; industrial, 12.70 %; dotacional, 8.96 %; comercio, 7.96 %; servicios, 21.64 %; otros, 10.06 % (SDP, 2012); se presenta invasión en la ronda del río y la zona de manejo y preservación ambiental (ZMPA) del río por parte de industrias y parqueaderos que generan vertimientos. Se presentan descargas por la interceptación con los canales Comuneros y San Francisco, que reúnen aguas lluvias y residuales (SDP, 2015).

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

No	Identificación del punto	Coordenadas		Margen	Impact
		Latitud	Longitud		
1	Cruce Carrera 51 –Río Fucha	4,6072	-74,1188	Sur	Alto
2	Cruce Transversal 52- Río Fucha	4,6095	-74,12029	Norte	Bajo
3	Transversal 52ª bis- Río Fucha	4,6107	-74,12046	Norte	Medio
4	Cruce Transversal 53- Río Fucha	4,6119	-74,12180	Sur	Alto
5	Cruce Transversal 53a- Río Fucha	4,6131	-74,12237	Norte	Bajo
6	Cruce Transversal 53g- Río Fucha	4,6134	-74,12307	Norte	Bajo
7	Cruce Transversal 55- Río Fucha	4,61543	-74,12413	Norte	Bajo
8	Cruce Transversal 55- Río Fucha	4,61521	-74,12406	Sur	Bajo
9	Cruce Transversal 57- Río Fucha	4,6159	-74,12361	Norte	Bajo
10	Cruce Transversal 57- Río Fucha	4,6170	-74,12402	Sur	Bajo
11	Cruce Transversal 64- Río Fucha	4,6198	-74,1247	Norte	Medio
12	Cruce Carreara 68- Río Fucha	4,6200	-74,1243	Norte	Alto
13	Después Cruce Carreara 68- Río F.	4,6204	-74,1249	Norte	Medio
14	Después Cruce Carreara 68- Río F.	4,6206	-74,1252	Sur	Medio
15	Cruce Calle 2 - Rio Fucha	4,6219	-74,1258	Sur	Bajo
16	300 metros agua arriba Cruce Avenida Calle 3 - Río Fucha	4,6242	-74,1264	Sur	Bajo
17	Cruce Avenida Calle 3 - Río Fucha	4,6242	-74,1261	Norte	Medio
18	Cruce Avenida Calle 3 - Río Fucha	4,6246	-74,1264	Sur	Bajo
19	100 metros Aguas Abajo Cruce Avenida Calle 3 - Río Fucha	4,6242	-74,1261	Norte	Alto
20	100 metros Aguas Abajo Cruce Avenida Calle 3 - Río Fucha	4,6266	-74,1268	Sur	Bajo
21	Avenida Calle 5ªbis - Río Fucha	4,6277	-74,1262	Sur	Bajo
22	**100 metros Aguas Abajo Cruce Avenida de las Américas - Río Fucha**	**4,6297**	**-74,1263**	**Norte**	**Alto**
23	Avenida Calle 9c - Río Fucha	4,6337	-74,1257	Norte	Bajo
24	Cruce Avenida Calle 11 - Rio Fucha	4,6363	-74,1250	Norte	Alto
25	**100 metros Aguas Abajo Cruce Avenida Calle 11 - Río Fucha**	**4,6372**	**-74,1247**	**Norte**	**Bajo**
26	300 metros Aguas Abajo Cruce Avenida Calle 11 - Río Fucha	4,6377	-74,1243	Norte	Medio
27	Cruce Avenida Carera 69 - Rio F.	4,6412	-74,1231	Norte	Alto
28	100 metros Aguas Arriba Cruce Avenida Carrera 71d - Río Fucha	4,6443	-74,1245	Norte	Alto
29	Cruce Avenida Carera 71f - Rio F.	4,6460	-74,1261	Sur	Bajo

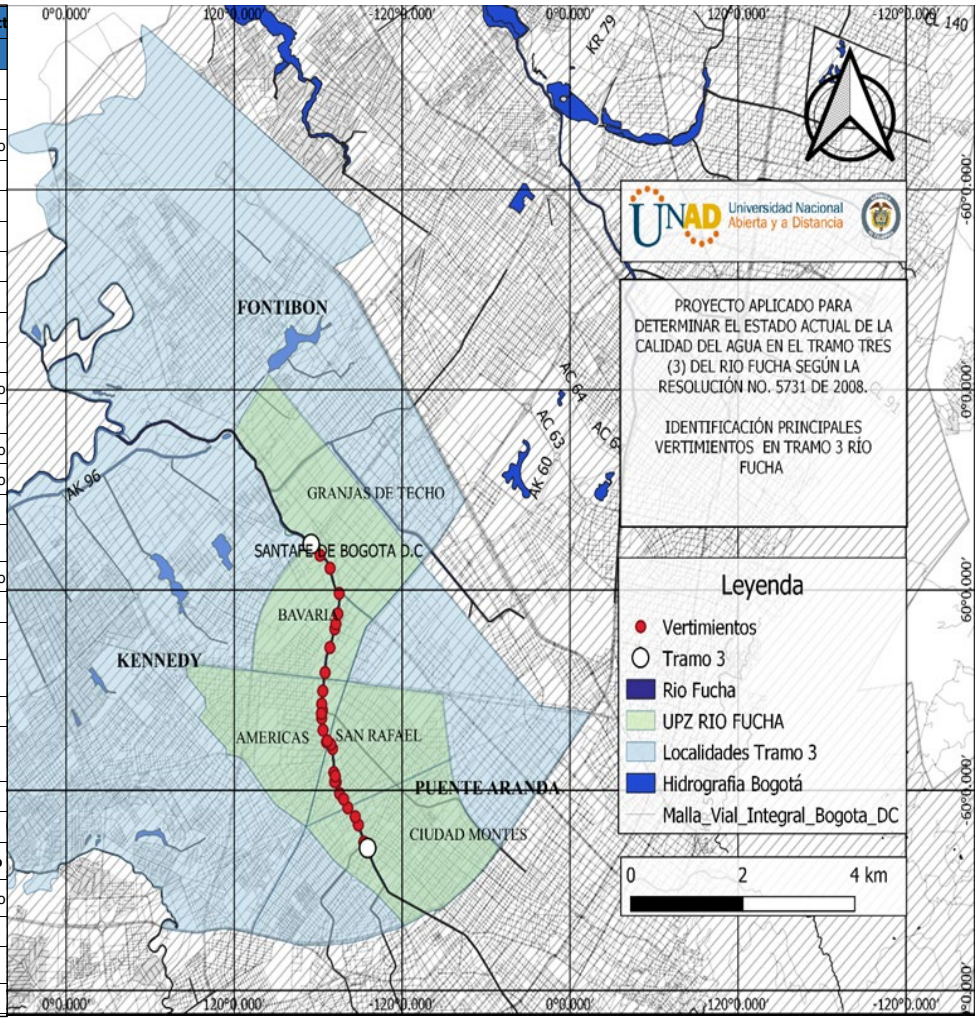

Figura 3. Mapa de puntos de vertimientos tramo 3, río Fucha (QGIS V. 3.0).

Las dos UPZ de la localidad 16 son las siguientes: 40, Ciudad Montes y 4, San Rafael. El territorio de la UPZ 40 no tiene áreas sin desarrollar en suelo urbano y cuenta con la mayor área protegida (27 ha) en razón a que se ubica el parque zonal Ciudad Montes, parte del canal río Fucha y parte de los canales Albina y Río Seco (Secretaría de Integración Social,

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

2016). A esta altura, el río recibe la descarga del canal Río Seco, cuenca que drena las aguas residuales domésticas e industriales de las localidades Rafael Uribe Uribe y Puente Aranda; aguas con presencia de malos olores por habitantes de calle y residuos orgánicos (Alcaldía Local de Puente Aranda, 2012).

La UPZ 43 —de acuerdo con lo definido en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT)— es un sector definido por el tratamiento de consolidación con densificación moderada, lo que representa predios susceptibles de densificarse respetando las características urbanísticas ya existentes (Secretaría de Integración Social, 2016). El POT definió actividades como área de actividad residencial con actividad económica en la vivienda; área de actividad industrial, y área de actividad de comercio y servicios zona de comercio aglomerado (Secretaría de Integración Social, 2016). La alcaldía local (Alcaldía Local de Puente Aranda, 2012) refiere que en la desembocadura del canal Comuneros en el río Fucha, las aguas tienen contenido de coliformes fecales y residuos sólidos por la presencia de habitantes de calle.

La localidad 8, Kennedy, es una de las más pobladas del Distrito Capital. Su uso del suelo es residencial, 40.49 %; industrial, 2.48 %; dotacional, 24.04 %; comercial, 8.69 %; de servicios, 16.53 %; y otros, 7.77 % (Alcaldía Local de Kennedy, 2016). Las principales actividades económicas se centran en la actividad comercial formal e informal; hay presencia de industria metalmecánica, de logística y algunas dedicadas a la industria de alimentos (SDA, 2017). Las UPZ que están en contacto con el río en la localidad 8 son la 44, Américas, y la 113, Bavaria.

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

La UPZ 44 goza de una localización estratégica por corredores troncales especializados de la malla vial arterial; el POT definió las áreas de actividad: zona residencial con ejes de comercio y servicios; zona con tratamiento de consolidación urbanística, actividad residencial con actividad económica en la vivienda; zona con tratamiento de consolidación con densificación moderada.

La UPZ 113 se divide en dos sectores: uno que se ubica al oriente del canal del río Fucha, en donde se concentran actividades industriales, empresariales, comerciales y de servicios, que tienen una mayor relación con la zona industrial de Puente Aranda; y la otra en la zona localizada al occidente del canal del río Fucha, que concentra un importante núcleo residencial, con algunos ejes comerciales, principalmente de incidencia local. Para la UPZ 113, el POT definió las siguientes áreas de actividad: área de actividad industrial zona industrial; área de actividad de comercio y servicios, zona de grandes superficies comerciales; área de actividad residencial, zona delimitada de comercio y servicios; área de actividad dotacional, zona de equipamientos colectivos; y área de actividad urbana integral, zona múltiple (SDP, 2016).

La localidad 9, Fontibón, se sitúa en el sector occidental de Bogotá D.C. y limita al sur con la localidad 8 a través del eje del río Fucha, y al occidente con el río Bogotá, y los municipios de Funza y Mosquera. Esta localidad tiene una extensión en suelo urbano con uso residencial, 26.42 %; industrial, 5.75 %; dotacional, 4.15 %; comercial, 10.28 %; de servicios, 17.73 %; y otros, 35.66 % (SDP, 2016). La UPZ 112, Granjas,

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

tiene acceso al río Fucha en su clasificación predominantemente industrial.

Se revisó el geoportal de información que maneja la EAAB y el Sistema de Información Geográfico Unificado Empresarial (SIGUE) sobre el río Fucha; se encontró que los vertimientos del tramo 3 provienen de la red de alcantarillado pluvial y sanitario de la ciudad, pues la canalización del río Fucha fue diseñada para recibir los vertimientos domésticos de los hogares de las UPZ involucradas, así como para conducir y recibir las aguas lluvias del sector.

Con la información secundaria y primaria recolectada se procedió a establecer los seis puntos de monitoreo (Figura 4), con una distancia no mayor entre ellos de 1 km; se evaluó también la accesibilidad al punto, coincidiendo en cruces de puentes viales para un descenso al río de forma rápida y segura; igualmente, propendiendo a la seguridad del equipo, ya que la zona sufre problemáticas de desigualdad social. Finalmente, el punto de muestreo 4 se realiza en el mismo punto que tienen establecidos la EAAB y SDA (Convenio 005/2006) para el seguimiento de la calidad del río en el tramo 3 (SDA, 2008a).

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

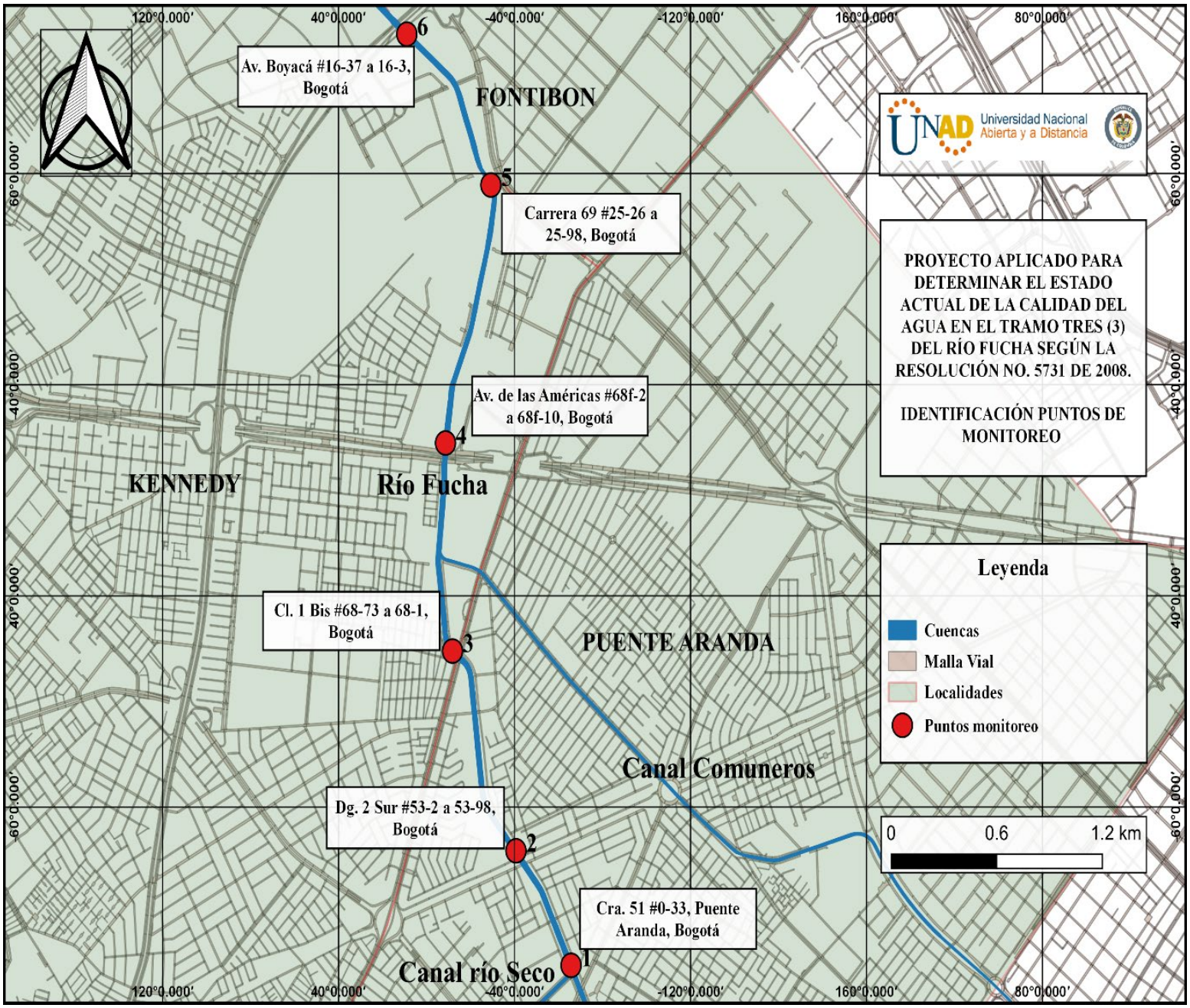

Figura 4. Puntos de muestreo del tramo 3 del río Fucha (QGIS V. 3.0).

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Fase 2. Recolección de muestras

El "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23d Edition 2017" es la guía técnica que define la metodología a utilizarse cuando se necesita evaluar la calidad de agua. En la Tabla 1 se describen las técnicas de ensayo utilizadas en el estudio. De acuerdo con las validaciones y/o confirmaciones hechas para cada uno de los parámetros en el laboratorio tanto *in situ* como *ex situ*, se garantiza la confiabilidad de los resultados a partir de los límites de cuantificación que se exponen en la Tabla 1.

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

Tabla 1. Métodos de ensayo para el análisis de muestras.

Ensayo	Método	Referencia	Medición	Unidades	Límite de cuantificación del método
Coliformes totales, CT	Sustrato enzimático-multicelda	SM 9223 B	*Ex situ*	NMP 71 000 ml	1.8
Demanda biológica de oxígeno, DBO_5	Incubación cinco días y electrodo de membrana	SM 5210 B, 4500 – OG	*Ex situ*	mg/l O_2	2
Demanda química de oxígeno, DQO	Reflujo abierto y titulación	NTC-ISO 5667-10	*Ex situ*	mg/l O_2	10
Conductividad eléctrica, CE	Electrometría	SM 2510 B	*In situ*	µS/cm a 25 °C	--
Oxígeno disuelto, OD	Electrodo de membrana	SM 4500 – O G	*In situ*	mg/l O_2	--
pH	Electrométrico	SM 4500 H+ B	*In situ*	Unidades de pH	--
Temperatura, T	Termométrico	SM 2550 B	*In situ*	°C	--
Sólidos suspendidos totales, SST	Gravimétrico-secado a 105 °C	SN 2540 D	*Ex situ*	mg/l	5

Fuente: Analquim Ltda. (proceso interno), 2020. Resolución de acreditación Nº. 0822 del 6 de agosto de 2019. IDEAM.

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Para dar confiabilidad a los métodos de ensayo se precisan las técnicas de preservación de las muestras, que tienen como finalidad retardar los cambios físicos, químicos y/o biológicos, como la hidrólisis de los compuestos, efectos de adsorción, acción biológica y volatilidad de los constituyentes, entre otros, que se puedan producir después de que la muestra es retirada del sitio de muestreo hasta su análisis en laboratorio, por lo que se aplicaron las preservaciones que se relacionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Preservación de muestras.

Parámetro	Recipiente	Volumen de recipiente (ml)	Número de recipientes	Tipo de muestra	Preservación
DBO_5 SST	Garrafa plástica	2000	6	Puntual	Refrigeración ≤ 6 ºC sin llegar al punto de congelación
Coliformes totales	Frasco estéril de vidrio transparente	230	6	Puntual	Refrigeración ≤ 6 ºC sin llegar al punto de congelación
DQO	Frasco ámbar de vidrio, boca angosta	500	6	Puntual	H_2SO_4

Fuente: Analquim Ltda. (proceso interno), 2020.

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las seis muestras puntuales se recolectaron el 20 de septiembre en temporada seca, en horas de la mañana, cumpliendo con los protocolos establecidos, lo que representa la composición precisa del agua para las condiciones dadas.

Fase 3. Cálculo ICACOSU. Objetivos calidad

El índice de calidad seleccionado para trabajar fue el ICACOSU, que se calcula a partir de datos de concentración de un conjunto de 5 o 7 variables consideradas desde un inicio, las que determinan en gran parte la calidad de aguas superficiales. El índice de calidad del ICACOSU fue formulado por el IDEAM. Reduce grandes volúmenes de datos de campo a un simple valor numérico de cero (0) a uno (1) y se clasifica según la calidad del agua en orden ascendente en una de las cinco categorías siguientes: muy malo, malo, medio, bueno y excelente, que se pueden representar gráficamente por un color (IDEAM, 2013). La fórmula del cálculo del índice está dada por:

Ecuación (1). Cálculo ICACOSU:

$$ICACOSU = (\sum_{i=l}^{n} W_I . I) \quad (1)$$

Donde:

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ICA: índice de calidad de agua superficial.

W_i: ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad.

I: valor calculado de la variable.

N: número de variables involucradas en el cálculo del índice, dependiendo de la medición (IDEAM, 2013).

Ecuación (2). Cálculo ICACOSU por variables:

$$\text{ICACOSU} = ICACOSU_{FA} * 0.8 + \text{ILCAG} * 0.2 \quad (2)$$

Donde:

$ICACOSU$: índice de calidad del agua para corrientes superficiales en general.

$ICACOSU_{FA}$: índice agregado de calidad fisicoquímica.

$ILCAG$: índice de capacidad ambiental.

Ecuación (3). Cálculo ICACOSU$_{FA}$, siete variables:

$$ICACOSU_{FA}: (Si_{OD} * 0.2) + (Si_C * 0.18) + (Si_{SST} * 0.15) + (Si_{DBO} * 0.15) + (Si_{DQO} * 0.12) + (Si_{COD} * 0.12) + (Si_{pH} * 0.08) \quad (3)$$

Ecuación 4. Cálculo ICACOSU$_{FA}$, cinco variables:

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

$$ICACOSU_{FA}: (Si_{OD} * 0.2) + (Si_{SST} * 0.2) + (Si_{DQO} * 0.2) + (Si_{COD} * 0.2) + (Si_{pH} * 0.2) \quad (4)$$

Donde:

Si_{OD} = subíndice de porcentaje de saturación de OD.

Si_{SST} = subíndice de SST.

Si_{DQO} = subíndice de DQO.

Si_{pH} = subíndice de pH.

Si_{C} = subíndice de CT.

Si_{DBO} = subíndice de DBO.

Si_{COD} = subíndice de CE.

El ILCAG es el índice lótico de capacidad ambiental general, esto corresponde al logaritmo del caudal medio *0.333.

En la Tabla 3 se resumen las variables involucradas en el cálculo del índice para 5 y 7 variables; la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellos, y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo (IDEAM, 2013).

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

Tabla 3. Ponderación ICACOSU para 5 y 7 variables.

Parámetros y ponderaciones			
Variable	**Unidad de medida**	**Ponderación**	
		Cinco variables	**Siete variables**
OD	% saturación	0.2	0.2
SST	Mg/l	0.2	0.15
DQO	mg/l	0.2	0.12
CE	µS/cm	0.2	0.12
pH	Unidades de pH	0.2	0.08
CT	NMP/1 000 ml	No aplica	0.18
DBO	mg/l	No aplica	0.15

Fuente: Centro de Investigaciones en Hidroinformática (2007).

Los valores obtenidos se resumen en la escala de 0 a 1, como indica la Tabla 4.

Tabla 4. Índice ICACOSU.

Categorías de clasificación final ICACOSU-IDEAM		
Categoría	**Rango**	**Escala de color**
Muy malo	0-0.25	
Malo	0.26-0.50	
Medio	0.51-0.70	
Bueno	0.71-0.90	
Excelente	0.91-1.0	

Fuente: IDEAM (2013).

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Por último, los valores medidos se compararon con la resolución 5731 de 2008, normativa que define los valores máximos que debía estar cumpliendo el río Fucha desde el año 2018 (SDA, 2008b) (Tabla 5).

Tabla 5. Objetivos de calidad hídrica.

Objetivos de calidad hídrica para 10 años		
Parámetro	**Unidad**	**Valor**
OD	mg/l	0.5
DBO_5	mg/l	60
DQO	mg/l	180
SST	mg/l	30
CT	NMP/100 ml	100 000
pH	Unidad	6.5-8.5

Fuente: Resolución 5731 de 2008 (SDA, 2008b).

Resultados

Los puntos de monitoreo establecidos se verificaron con la información de campo recolectada en los cuatro recorridos realizados, identificando los puntos de vertimiento generados por las industrias y zonas residenciales que tuvieran un impacto alto, medio o bajo, dependiendo del grado de

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

afectación al río al ingresar el vertimiento, y que además fueran repetitivos durante las visitas realizadas durante los años 2019 y 2020, con la finalidad de seleccionar el número de muestras a tomar y los puntos específicos para el desarrollo del monitoreo.

Igualmente se contrastó la información con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) realizado por la EAAB en 2006, en el que se especifican ocho puntos de vertimiento, coincidiendo la revisión realizada en campo con tres puntos allí descritos: puntos de vertimiento 22, 25 y 30 (Figura 4).

En el muestreo realizado se midieron nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los seis puntos de monitoreo establecidos, datos que se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados del monitoreo.

Punto	OD (mgO2/l)	SST (mg/l)	DBO_5 (mgO2/l)	DQO (mgO2/l)	Conductividad (µS/cm a 25 °C)	pH	Temperatura (°C)	Caudal (l/s)	Coliformes totales (NMP/100 ml)
1	3.31	32	72	140	176.6	7.6	13.5	1 888.21	150 000 000
2	2.29	25	42	76	209	7.6	14	1 380.93	496 000
3	1.53	28	54	100	269	7.6	14.6	2 002.82	181 900 000
4	0.63	50	78	164	350	7.8	17	1 702.21	9 060 000
5	0.35	52	59	108	400	7.8	19.5	2 158.76	66 700 000
6	0.17	69	112	136	547	8.2	21.1	2 022.36	95 900 000

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Luego, a partir de la metodología establecida, se calcula el índice de calidad del agua (ICA) para el cuerpo de agua superficial monitoreado. Para aguas destinadas a uso de consumo humano, se puede utilizar el índice de calidad ecológica (Cerón-Vivas, Gamarra, Villamizar, Restrepo, & Arenas, 2019). Para el cálculo del ICACOSU se obtuvieron cada uno de los subíndices de los cinco parámetros y se multiplicaron por 0.2; se evidencia que el valor de ICACOSU queda establecido como medio en los primeros dos puntos y malo para los últimos cuatro puntos.

De manera gráfica este cálculo se evidencia en la Figura 5, en donde se observa la caída del índice de 0.56 a 0.33, en particular por la disminución del OD de 3.31 a 0.17 mg/l, y el aumento de la CE de 176 a 547 µS/cm, entre los puntos de monitoreo 1 y 6.

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

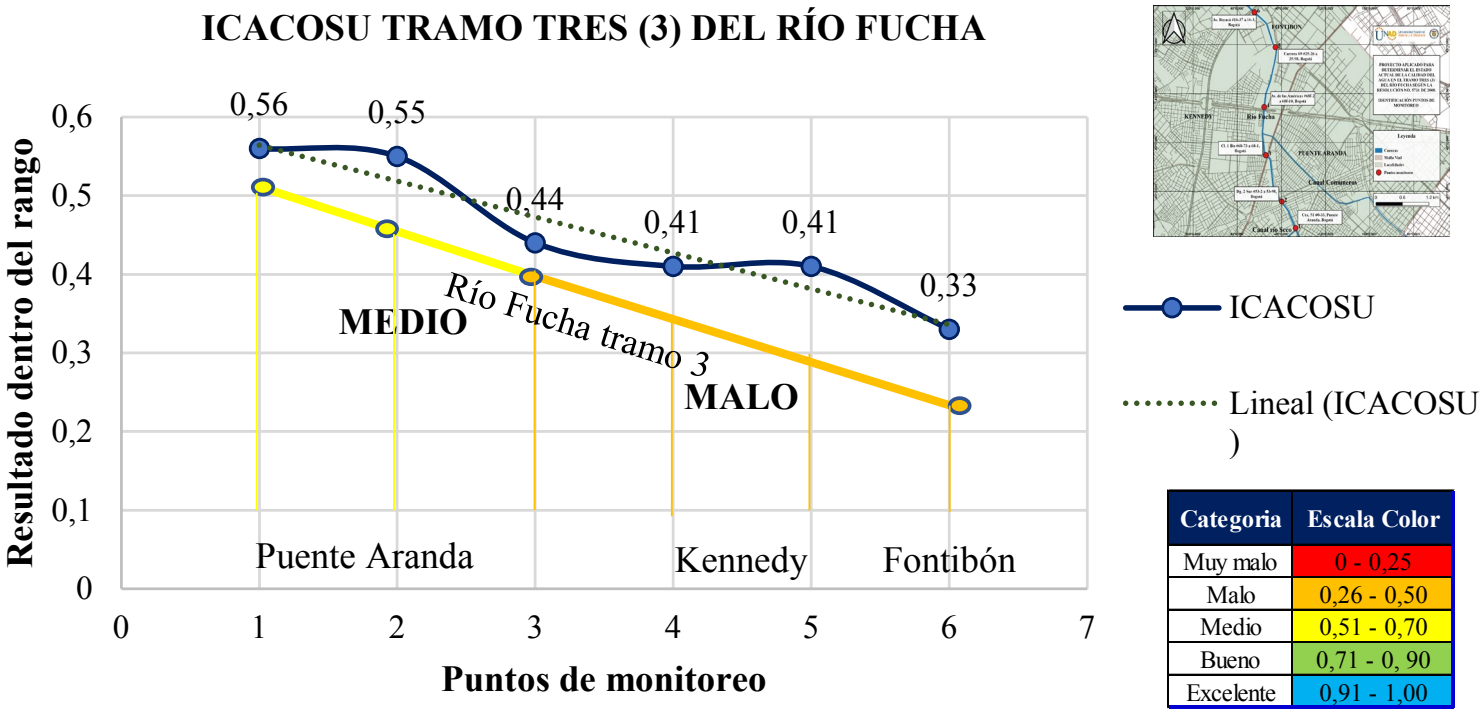

Figura 5. Resultado ICACOSU para cinco variables.

El índice ICACOSU para siete variables tiene la principal diferencia en cuanto al índice para cinco variables en que incorpora parámetros biológicos: DBO_5 y CT, y que la distribución de peso porcentual en cada uno de los parámetros es variable, quedando el 68 % de la ponderación en cuatro parámetros: OD, CT, SST y DBO_5. En la Figura 6 se plasma el comportamiento de las variables de manera gráfica.

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua

OPEN ACCESS

Check for updates

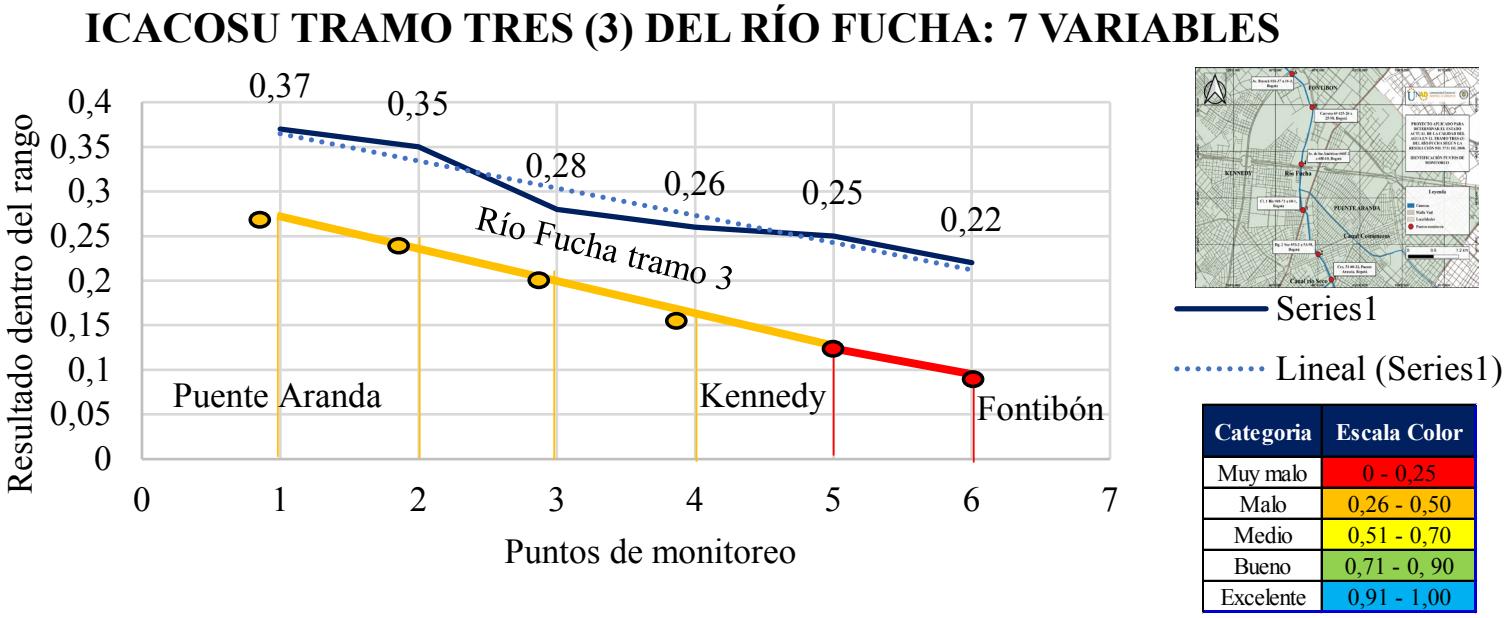

Figura 6. Resultado ICACOSU para siete variables.

Al realizar la valoración del índice, la calidad del río pasa de malo a muy malo, entendiendo que la variable DBO_5 aumenta de 72 a 112 mg/l en el trasegar del río, entre los puntos de monitoreo 1 y 6. Igualmente, la concentración de CT sube, alcanzando su valor máximo en el punto de monitoreo 3 con 1.82 x 10^{10} NMP/100 ml.

Al comparar las variables frente al cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos para el río Fucha en el tramo 3 que debían ser cumplidos para el año 2018, se evidencia que sólo dos puntos de monitoreo están por encima del 50 % de cumplimiento (puntos de monitoreo 2 y 3).

El valor de CT no se cumple en ninguno de los puntos de monitoreo; el valor de SST sólo se cumple en los puntos de monitoreo 2 y 3; el valor

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de DBO_5 se cumple además en el punto de monitoreo 5; los valores de pH y DQO cumplen con lo establecido en la norma en todos los puntos de monitoreo (Figura 7).

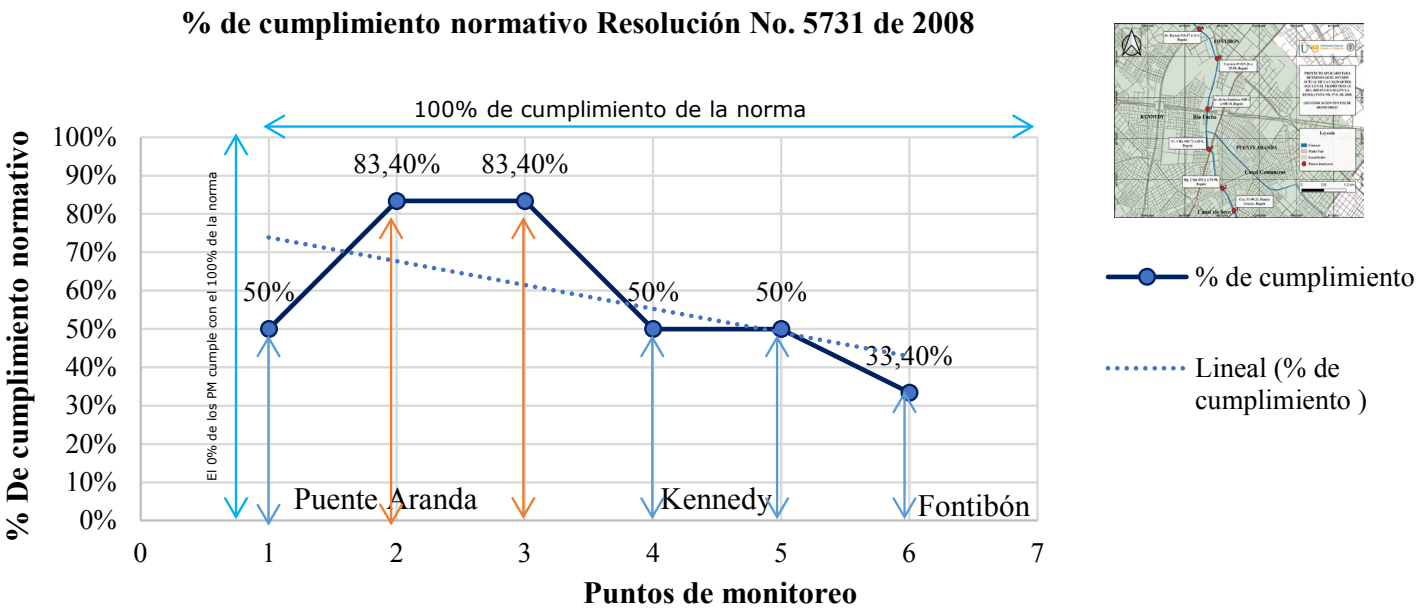

Figura 7. Resultado cumplimiento objetivos de calidad (Resolución 5731 de 2008) (SDA, 2008b).

Discusión

En relación con el ICACOSU de cinco variables para el punto de monitoreo con un valor de ICACOSU, se tiene: medio, se resalta la alta carga contaminante que ingresa del tramo 2, la desembocadura del canal río Seco, descarga compuesta en su mayor parte por vertimientos

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

domésticos e industriales de las localidades de Antonio Nariño y Rafael Uribe. Se resalta que la UPZ en la que se encuentra este punto es urbana, con amplias zonas verdes donde se respeta la ZMPA.

Punto de monitoreo 2, valoración ICACOSU: medio, los parámetros se mantienen constantes y tienden a disminuir algunas concentraciones (SST, DQO, DBO_5); en este punto no se observan grandes generadores de vertimientos. En esta parte de tramo se observa limpieza en la ronda del río, y los vertimientos se limitan a ser domésticos y drenajes de aguas lluvias. Es de resaltar que los indicadores de OD y DQO son muy bajos según la agencia estadounidense EPA (Agencia de Protección Ambiental), que en su informe "Parameters of water quality – Interpretation and standards" establece como concentración mínima el valor de 5 mg/l para OD, y un porcentaje de saturación mínimo del 70 % para que se pueda establecer algún tipo de balance natural o la posibilidad de que exista vida acuática en el tramo.

Punto de monitoreo 3, valoración de ICACOSU: malo, se presume que la carga contaminante aumenta en este punto dada la presencia de habitantes de calle con ocupación de recuperador primario, que clasifica los residuos a orillas del río y el material descartable lo arroja a éste, por lo que la concentración de SST aumenta en un 11 %; los vertimientos industriales inician su protagonismo con altos contenidos de materia inorgánica subiendo la CE (22 %) y los compuestos químicos sensibles a oxidarse (DQO se incrementa un 24 %).

Punto de monitoreo 4, valoración ICACOSU: malo, se debe tener en cuenta que es el único punto donde la SDA en convenio con el EAAB (SDA,

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

2008a) realiza monitoreos de calidad hídrica para el tramo 3 del río Fucha; en este punto son muy evidentes las descargas industriales con características fisicoquímicas, visuales y organolépticas, que reflejan la carga contaminante que se aporta al río; parámetros como DQO, SST y CE aumentan su concentración en 39, 44 y 23 %, respectivamente, lo cual demuestra que los vertimientos contienen gran cantidad de materia inorgánica; la presencia de OD desciende un 60 %, disminuyendo la posibilidad de que puedan existir mejoras en su cauce.

La red de monitoreo de calidad hídrica en este punto muestra entre 2016 y 2020 692 tomas de muestras en el seguimiento del río Fucha, en el que en promedio el OD presenta un valor de 2.6 mg/l, la DBO5 un valor de 148.8 mg/l, la DQO 357.1 mg/l, los SST 109 mg/l y los CT 4.58E109 NMP/100 ml; además reporta trazas de metales como zinc (0.31 mg/l), cianuro (0.27 mg/l), manganeso (0.09 mg/l), bario (0.08 mg/l), cobre (0.07 mg/l) y cromo total (0.06 mg/l), entre otros, de interés en salud pública, lo que evidencia el impacto de la zona industrial y sus descargas al río.

Puntos 5 y 6 de monitoreo, ICACOSU: malo, como efecto de las descargas presentes en los últimos metros del tramo 3; en el punto 6 se observa un incremento porcentual en su concentración en los parámetros CE (27 %), DQO (47 %) y SST (25 %), indicando que las características del agua del río se tornan como las de tipo industrial.

En 2016, Peña-Guzmán *et al*., con los valores reportados por la red de monitoreo de calidad del agua que maneja la SDA, calcularon el índice de calidad CCME-WQI (Canadian Council of Minister of the Environment-

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Water Quality Index), que presenta valores cuantitativitos entre 0 y 100 divididos en cinco rangos: excelente, bueno, regular, marginal y pobre; los valores obtenidos para el periodo 2007-2013 para los tramos 1, 2 y 3 del río Fucha fueron los siguientes: el tramo 1 pasó de excelente a bueno (100–88); el tramo 2 siempre estuvo clasificado como pobre (34–41), y el tramo 3 fue evaluado como marginal (45–51).

Así se evidencia el deterioro del río y cómo empeora de forma considerable después del punto 3, pues en este punto se incrementa el número de descargas industriales que se suma a las descargas domésticas, lo que dificulta la posibilidad de autodepuración a medida que el río se acerca a su desembocadura.

Para el análisis del ICACOSU con respecto a las siete variables se evidencia que la $DB0_5$ es uno de los parámetros que incide de modo directo con la afectación del índice de calidad hídrica. El parámetro CT presenta valores altos en los puntos 1 y 3, como efecto del vertimiento del canal río Seco, y la presencia de asentamientos y viviendas de personas habitantes de calle que realizan sus necesidades fisiológicas en el río. En el punto 6 se observa un crecimiento del 47 % de la concentración de la DBO_5 por recepción de vertimientos domésticos.

Como los parámetros del tipo de CT y DBO_5 son determinantes en el ICACOSU de siete variables, se logran disminuir los valores de la categoría de clasificación de malo a muy malo en los últimos dos puntos de monitoreo, que son muy importantes para medir de forma adecuada la calidad hídrica, ya que evidencian un resultado más real y acorde con el estado en que se encuentra el efluente.

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422, 14(5), 291-330. DOI: 10.24850/j-tyca-14-05-07

Si bien la SDA, en convenio con la Universidad de los Andes, realiza las modelaciones pertinentes (QUAL2K y balances de masa) para establecer los objetivos de calidad hídrica para el distrito en 4 y 8 años, los valores encontrados sobrepasan los valores establecidos normativamente, y tan sólo los puntos 2 y 3 cumplen con la mayor parte de los parámetros en los límites máximos, siendo CT un parámetro que no se cumple, como se mencionó, sobre todo por la existencia de ciudadanos habitantes de calle y el vertido de aguas servidas sin tratamiento de los hogares de las localidades circundantes al tramo 3 del río Fucha.

Es importante establecer objetivos de calidad para el río urbano contextualizados en las realidades de la zona de estudio, que evidencien las posibilidades existentes para disminuir las cargas contaminantes de los vertimientos tanto domésticos como industriales que llegan al río como lo plantea el PSMV; de lo contrario no será posible el cumplimiento de éstos. Es de resaltar que los límites máximos establecidos, por ejemplo, los valores de OD, no estimulan la recuperación, autodepuración y desarrollo ecológico de la cuenca, entendiendo que es un río y no un canal de desagüe de aguas residuales.

Tiburcio y Perevochtchikova (2020), en su trabajo de indicadores para calidad del agua en la Ciudad de México, manifiestan en cuanto a la calidad de agua en cuerpos superficiales, que los valores obtenidos se clasifican de muy contaminados a contaminados, según la Comisión Nacional del Agua (Conagua), situación promovida por el entubamiento de los ríos y la mezcla con aguas residuales. Así, la ciudad de Bogotá debe

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

trabajar en el sistema de manejo de aguas residuales de la ciudad para que esto no afecte la calidad del agua de los ríos urbanos.

La situación de calidad de agua no es diferente para fuentes de agua en zonas rurales con uso abastecimiento de agua, como lo mencionan Trujillo-Zapata, Cortés-Orozco, Vinasco-Guzmán, Ortega-Astudillo y Cruz-Ospina (2020), al concluir que a pesar del alto contraste entre la parte alta del río Guahicos (Colombia) muy próxima al área de reserva natural, con presencia de bosque ribereño y menor cantidad de vertimientos directos por aguas domésticas, y la parte la baja del río, con ausencia de bosque ribereño, rodeado del asentamiento poblacional y receptor de mayor cantidad de vertimientos directos e indirectos, la variación del ICA es casi inexistente. Los ríos se usan como canales de desagüe sin planes de saneamiento básicos concisos que eviten la degradación del recurso agua.

Conclusiones

Los ríos urbanos son receptores de aguas residuales de viviendas y de industrias, por lo que mantener la calidad del agua a medida de su transcurrir es un utópico si no se establecen las medidas de control estrictas para los entes vertientes, o se manejan de manera discriminada los canales para aguas residuales y los canales para agua lluvia. Es importante resaltar que la calidad del río tiende a mejorar si cuenta con una ZMPA que ayude a mantener la condición del río al cuerpo de agua, pues la canalización y el vertido de aguas residuales no permite que el río

© 2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

sea tratado como tal; las UPZ que tienen interacción con el río deben tender a abrir espacios de uso de suelo de conservación en la ronda del río.

El ICACOSU para cinco variables (OD, SST, DQO, CE y pH) determinó que para los puntos 1 y 2, la calidad hídrica se categorizó como **medio**; mientras que los puntos de monitoreo 3, 4, 5 y 6 reflejan una calidad hídrica **mala** debido a los vertimientos domésticos e industriales que se realizan al canal provenientes de la red de alcantarillado público de la ciudad, a lo que se suma la interceptación del canal Comuneros con descargas altas en materia orgánica, que deteriora aún más la calidad del río e impide que se pueda desarrollar vida acuática o que ésta sea empleada para algún tipo de actividad, como el uso agrícola y/o doméstico.

El ICACOSU para siete variables (OD, SST, DQO, CE, pH, DBO y CF), como resultado de análisis se obtuvo para los puntos de monitoreo 1, 2, 3 y 4 el índice de calidad hídrica **malo**; y para los puntos de muestreo 5 y 6, una calidad hídrica de **muy malo**; este comportamiento obedeció sobre todo a que el parámetro CF mostró valores muy altos por arriba de los máximos permisibles por la normativa colombiana (2 000 NMP/100 ml).

Para el cumplimiento de los objetivos de calidad hídrica establecidos en la Resolución 5731 de 2008 con respecto al tramo 3 del río Fucha para el año 2020, se evaluaron los parámetros OD, DBO_5, DQO, SST, CF y pH, de los cuales únicamente DQO y pH cumplen con los valores establecidos

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

en la norma en mención, siendo los valores de incumplimiento más alto los CF y SST (SDA, 2008b).

Los resultados obtenidos dan una radiografía del estado del río Fucha en el tramo 3 en relación con el cumplimiento de los objetivos de calidad para cumplir en el año 2020: solo 3 de 6 puntos cumplen con un valor superior al 83 %, además es desalentador que los valores que se proponen como objetivos de calidad no propenden por preservar al río como río sino como un canal de desagüe, como lo evidencian los valores ICACOSU de malo y muy malo en los puntos 5 y 6.

Referencias

Alcaldía Local de Kennedy. (2016). *Localidad número 8*. Recuperado de http://www.kennedy.gov.co/content/localidad-kennedy

Alcaldía Local de Puente Aranda. (2012). *Plan Ambiental Localidad Puente Aranda*. Recuperado de http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883174/PAL+Puente+Aranda+2013-2016.pdf

Alcaldía Local de Puente Aranda. (2016). *Plan Ambiental Local de Puente Aranda*. Recuperado de http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883174/PAL+Puente+Aranda+2013-2016.pdf

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2020). *La información del DANE en la toma de decisiones de las ciudades capitales*. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-desarrollo-territorial/110220-Info-Alcaldia-Bogota.pdf

CAR, Coporación Autónoma Regional de Cumdinamarca. (2011). *Guía metodológica para la delimitación de zonas en ronda de jurisdicción de la CAR*. Obtenido de https://www.car.gov.co/uploads/files/5ae22eb8f1daa.pdf

Centro de Investigaciones en Hidroinformática. (2007). *Informe final contrato 111/2007 IDEAM CIH UP*. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020735/Informe%20Final/INFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf

Cerón-Vivas, A., Gamarra, Y., Villamizar, M., Restrepo, R., & Arenas, R. (2019). Calidad de agua de la quebrada Mamarramos. Santuario de Flora y Fauna Iguaque, Colombia. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(6), 90-116. Recuperado de https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-04

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2013). *Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)*. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/11769/646961/3.02+HM+Indice+calidad+agua.pdf/64d91908-a788-4df8-9391-481d898c692c

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MinAmbiente. (2014). *Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico*. Bogotá, DC, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/GUIA_TECNICA_PORH.pdf.

Múnera, D. S. L. (2015). *Informe Objetivos de Calidad 2018-2019*. Recuperado de http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=c2f6ebca-3ac6-4bb8-b7eb-1f2f97753c0a&groupId=3564131

Peña-Guzmán, C. A., Melgarejo-Moreno, J., & Prats-Rico, D. (2016). El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 57-71. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000600057&lng=es&tlng=es

Pérez, D. F., & Zamora, D. A. (2015). *Descripción y contexto de las cuencas hídricas*. Bogotá, Colombia: Secretaría Distrital de Ambiente.

Romanelli, A., & Massone, H. E. (2016). Desarrollo de indicadores ambientales e índice de calidad de lagos someros pampeanos de Argentina con alta intervención antrópica. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 123-137. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000600123&lng=es&tlng=es

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

SDA, Secretaría Distrital de Ambiente. (2008a). *Calidad del sistema hídrico de Bogotá*. Recuperado de https://docplayer.es/22120905-Calidad-del-sistema-hidrico-de-bogota.html

SDA, Secretaría Distrital de Ambiente. (2008b). *Resolución 5731 de 2008*. Recuperado de http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%C3%93N%205731%20DE%202008.pdf

SDA, Secretaría Distrital de Ambiente. (2017). *Diseño de la estrategia de inversión integral y multisectorial para el río Fucha y su área de entorno urbano*. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/presentaciondoe_peiimrfucha_web_161117.pdf

SDA, Secretaría Distrital de Ambiente. (2015). *Descripción y contexto de las cuencas hídricas del distrito capital (torca, salitre, fucha y tunjuelo)*. Recuperado de http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=698885eb-239e-4c23-89ca-99d18bef5865&groupId=586236

SDP, Secretaría Distrital de Planeación. (2012). *UPZ N°44 Américas*. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/upz_no_44_americas.pdf

SDP, Secretaría Distrital de Planeación. (2015). *Tomo 1. Río Fucha*. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/tomo1_final.pdf

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

SDP, Secretaría Distrital de Planeación. (2016). *UPZ N° 113 Bavaria*. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/upz_no_113_bavaria.pdf

Secretaría de Integración Social. (2016). *Territorio Ciudad Montes*. Recuperado de https://old.integracionsocial.gov.co/anexos/documentos/1_entidad/gsi/16_puente_aranda_lectura_de_realidades_montes.pdf

The Nature Conservancy. (2019). Cuenca del río Magdalena en Colombia. Recuperado de https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/colombia/historias-en-colombia/cuenca-del-rio-magdalena-en-colombia/

Tiburcio, A. S., & Perevochtchikova, M. (2020). Propuesta de un marco de indicadores de agua urbana para la Ciudad de México, 2005-2018. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(6), 177-243. DOI: https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-06-05

Trujillo-Zapata, S. A., Cortés-Orozco, C. P., Vinasco-Guzmán, M. C., Ortega-Astudillo, J. D., & Cruz-Ospina, C. A. (2020). Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito-Huila: río Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad de agua. *Gestión y Ambiente*, 23(2), 182-192. Recuperado de https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.83600

Víctor, D. (2015). M*edidas de caudal por medio de flotadores. Oxapampa: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. Recuperado de https://www.academia.edu/15163378/MEDIDAS_DE_CAUDAL_POR_MEDIO_DE_FLOTADORES

2023, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)