

SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe Técnico No. 00886, 31 de mayo del 2020

ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA - WQI 2019-2020 RED DE CALIDAD HÍDRICA TRADICIONAL DE BOGOTÁ



Río Tunjuelo, estación de monitoreo TU-UAN (GRHS, 2019-2020)

2019-2020

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE
DIRECCIÓN DE CONTROL AMBIENTAL
SUBDIRECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO Y DEL SUELO
Grupo: Recurso Hídrico Superficial

Página 1 de 55



SECRETARÍA DE
AMBIENTE

INDICE DE CALIDAD HÍDRICA - WQI 2019-2020 RED DE CALIDAD HÍDRICA TRADICIONAL DE BOGOTÁ

ELABORÓ:

JORGE GARZÓN CASTRO
Grupo Recurso Hídrico Superficial

APOYÓ:

DAVID SANTIAGO PERDOMO PEÑA
Grupo Recurso Hídrico Superficial

REVISÓ:

DAVID FELIPE PÉREZ SERNA
Grupo Recurso Hídrico Superficial

APROBÓ:

DIANA ANDREA CABRERA TIBAQUIRÁ
Subdirectora del Recurso Hídrico y del Suelo.
Secretaría Distrital de Ambiente

Página 2 de 55

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas N° 54-38
PBX: 3778899 / Fax: 3778930
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá, D.C. Colombia



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

TABLA DE CONTENIDO

1.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	5
2.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	6
2.1.	MONITOREOS DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN LOS PUNTOS DE LA RCHB	6
2.2.	METODOLOGÍA PARA VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS	10
2.2.1.	FORMA DE IMPLEMENTAR EL BOX-PLOT EN LOS DATOS DE LA RCHB-T	13
2.3.	PROCESO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA – WQI	14
3.	<u>RESULTADOS</u>	18
3.1.	RÍO TORCA	21
3.2.	RÍO SALITRE	26
3.3.	RÍO FUCHA	33
3.4.	RÍO TUNJUELO	40
3.5.	EVOLUCIÓN DEL WQI EN EL PERIODO 2014 A 2019-2020	47
3.6.	EVOLUCION TEMPORAL DE LA LONGITUD DE LOS RÍOS CLASIFICADOS SEGÚN EL WQI	49
4.	<u>CONCLUSIONES</u>	52
5.	<u>REFERENCIAS</u>	54

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los cinco días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EAAB-ESP	Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá - Empresa de Servicios Públicos
EUA	Estados Unidos de América
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
GyA	Grasas y Aceites
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
L/s	Litros por segundo
N _T - N _{Total}	Nitrógeno Total (NT Kjeldahl + NO ₃ + NO ₂)
OC	Objetivos de Calidad
OD	Oxígeno Disuelto
OECD	<i>Organization for Economic Co-operation and Development</i> (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico)
OMS	Organización Mundial de la Salud
PEDH	Parque Ecológico Distrital de Humedal
pH	Potencial de Hidrógeno
PSMV	Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
P _T - P _{Total}	Fósforo Total
RCHB	Red de Calidad Hídrica de Bogotá
RCHB-T	Red de Calidad Hídrica de Bogotá Tradicional
RCHB-A	Red de Calidad Hídrica de Bogotá Ampliada
SAAM	Sustancias Activas al Azul de Metileno (Tensoactivos)
SST	Sólidos Suspendidos Totales
WQI	<i>Water Quality Index</i> (índice de calidad de agua)

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación de las fuentes de agua de la ciudad de Bogotá, que durante décadas han recibido las descargas de las aguas residuales provenientes de la industrialización y la urbanización desordenada, entre otros factores, afecta gravemente la calidad del recurso hídrico, compuesto, entre otros, por humedales (PEDH), quebradas, canales y, principalmente, los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo. La administración de Bogotá ha dado un paso fundamental para la recuperación de la calidad de los ríos, al construir una visión de ciudad entorno al recurso hídrico, por lo que la Secretaría Distrital de Ambiente como autoridad ambiental urbana ha adoptado el Índice de Calidad del Agua – WQI (por sus Iniciales en inglés Water Quality Index) como indicador de seguimiento para las corrientes urbanas.

Por lo anterior, en cumplimiento de las responsabilidades misionales y conforme a la meta “Generar 4 Informes anualizados de calidad hídrica superficial resultado de la operación, del proyecto 978”; la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo, dentro sus actividades realiza la operación del monitoreo de la Red de la Calidad Hídrica de Bogotá RCHB, que incluye la consecución de los datos de diferentes sistemas de recolección primaria que cumplan con la normatividad y los protocolos técnicos, definidos principalmente por el IDEAM; logrando así, el fin último de la autoridad ambiental, generar información y conocimiento sobre el estado de la calidad del recurso hídrico de la ciudad de Bogotá.

Con el fin de contar con los datos para determinar la calidad de los cuerpos de agua, la Secretaría Distrital de Ambiente, adelanta el control a los usuarios y a actividades que generan descargas de vertimientos sobre el sistema hídrico superficial y el sistema de alcantarillado de Bogotá y para tal efecto opera la RCHB, en su componente tradicional, como una herramienta que monitorea la calidad del agua en treinta (30) estaciones o puntos ubicadas en los diferentes tramos de los ríos principales, incluyendo dos (2) en el Río Bogotá (desde la parte alta a sus desembocaduras en el río Bogotá), realizando caracterizaciones de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

El conocimiento adquirido mediante la RCHB-T ha hecho posible que la ciudad avance en el ordenamiento del recurso y cuente con elementos de planificación enfocados en el mejoramiento, como son los OC y metas de reducción de cargas contaminantes. Además de la identificación de los sectores productivos y áreas de la ciudad que impactan de manera considerable los cuerpos hídricos.

En este marco, el presente informe técnico tiene por objeto evaluar los datos de la calidad del agua de los puntos de monitoreo de la RCHB-T para determinar el cumplimiento frente a los objetivos de calidad establecidos mediante en la Resolución 5731 de 2008, para el periodo comprendido para el segundo semestre de 2019 (2019-II) y primer semestre 2020 (2020-I).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se realiza una breve descripción de las generalidades de las jornadas de monitoreo de la calidad y cantidad del agua en los puntos que conforman la RCHB-T realizadas para el periodo 2019-II a 2020-I el proceso de validación de los datos (detección de datos atípicos) y la metodología para calcular el índice de calidad hídrica (WQI).

2.1. MONITOREOS DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN LOS PUNTOS DE LA RCHB

Cualificar y cuantificar la calidad de los principales ríos de la ciudad: Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo, ha permitido consolidar información de la calidad de estas fuentes superficiales, y con esto conformar una base de datos de determinantes de la calidad del agua que representa el estado físico, químico y biológico de estos ríos.

La RCHB-T se encuentra distribuida en un total de treinta (30) estaciones de monitoreo ubicadas en los principales ríos de la ciudad de Bogotá (Torca, Salitre, Fucha, Tunjuelo) y en el río Bogotá (Ver Imagen 1). Para cada uno de estos ríos se distribuyen las estaciones de monitoreo así: (ver tabla 1)

RÍO	NÚMERO DE PUNTOS
Fucha	8
Tunjuelo	10
Salitre	6
Torca	4
Río Bogotá (Cuenca Media)	2

Tabla 1. Distribución de los puntos de monitoreo

Durante la operación de la RCHB-T, se tomaron muestras compuestas de agua superficial durante ventanas temporales de dos horas en intervalos de treinta minutos con lo cual se toman cinco alícuotas de agua, durante jornadas entre las 06:00 y las 18:00 horas. Durante los monitoreos se realiza la toma de datos de campo *in situ* en las muestras individuales y en la muestra compuesta se realizan análisis de laboratorio de parámetros químicos y microbiológicos del agua (Tabla 2).

TIPO DE MONITOREO	DETERMINANTES DE LA CALIDAD DEL AGUA
Mediciones in situ	Variables de determinación de Caudal, pH, Temperatura, Conductividad y Oxígeno Disuelto.
Análisis de laboratorio	DBO ₅ , DQO, SST, Coliformes Fecales, Grasas y Aceites, P _{total} , N _{total} (Kjeldahl, Nitratos, Nitritos) y Surfactantes Activos al Azul de Metileno (SAAM).

Tabla 2. Clasificación de los determinantes de la calidad del agua medidos in-situ y en laboratorio

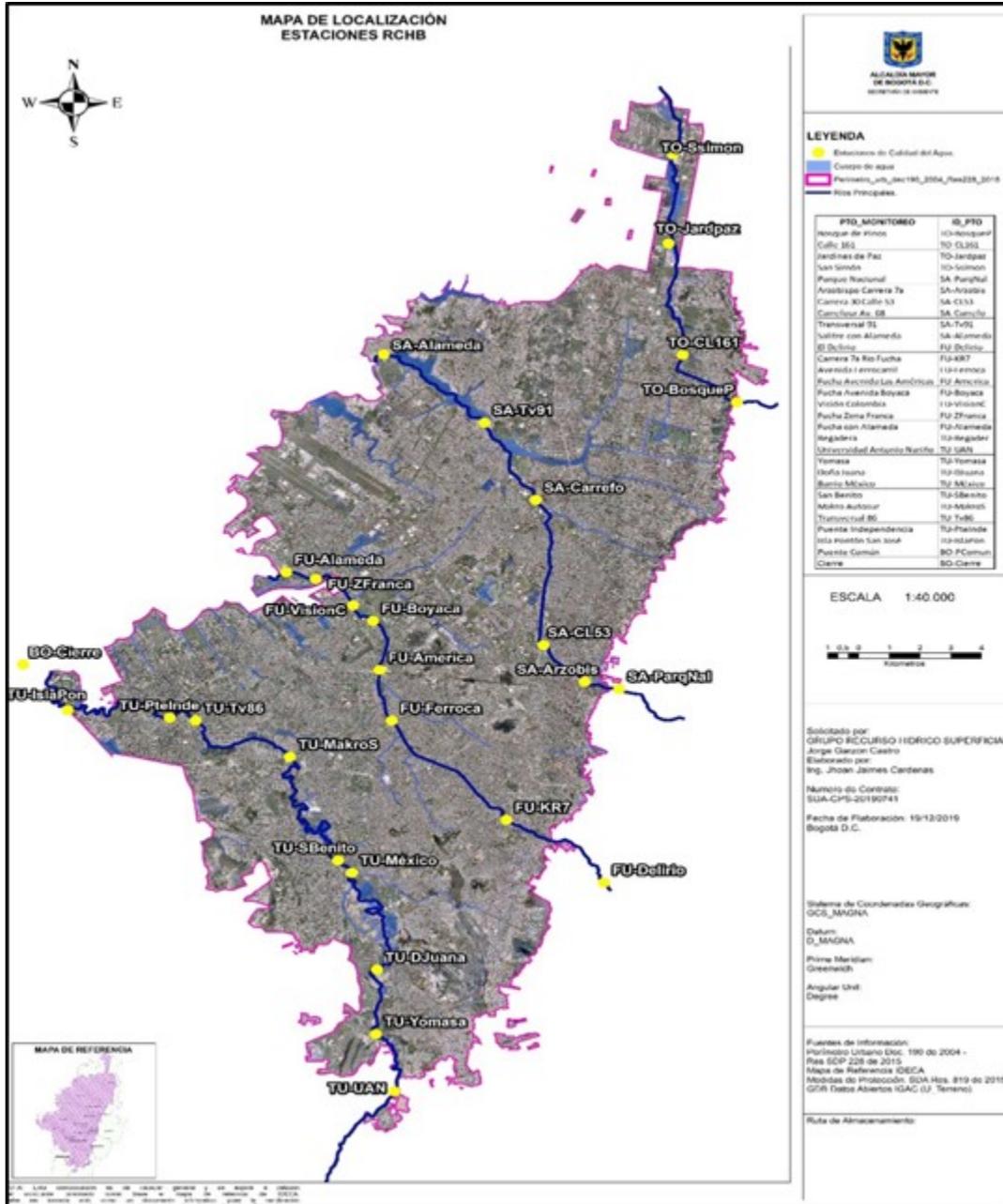


Imagen 1. Localización geográfica de puntos de monitoreo de la RCHB-T de Bogotá

La Operación de la RCHB-T permite la cuantificación y calificación de la calidad del agua de los principales ríos de la ciudad: Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo, para lo cual se han consolidado los resultados de las variables de los determinantes de la calidad del agua que representan el estado fisicoquímico y biológico de los ríos.

Para el periodo 2019-II a 2020-I, la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo continuó con el Programa de Operación de la RCHB-T mediante el Convenio Interadministrativo con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), CAR-SDA SDA-CD-20181468 de 2018 y el contrato de prestación de servicios con el laboratorio Instituto de Higiene Ambiental (IHA) No. SDA- SECOP II- 712018 de 2018, estos laboratorios adelantaron la toma de muestras, medición y análisis de laboratorio acorde a la acreditación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) con la que cada uno cuenta, de conformidad con la normatividad ambiental vigente.

En el periodo evaluado se consolidó la información recopilada en los monitoreos desarrollados durante el segundo semestre de 2019 y el primer semestre de 2020. A partir de esto, se monitoreó cada estación de la RCHB-T en las diferentes ventanas bi-horaria (monitoreo en espacios temporales de dos horas), por lo que para cada estación se realizó la cantidad de monitoreos que se presentan en la Tabla 3 y con base a esta información se desarrollaron los cálculos que se explican más adelante.

RÍO	PUNTO DE MONITOREO	IDENTIFICACIÓN PUNTO DE MONITOREO	TOTAL MONITOREOS
(TO) TORCA	Bosque de Pinos	TO-BosqueP	7
	Calle 161	TO-CL161	8
	Jardines de Paz	TO-Jardpaz	7
	San Simón	TO-Ssimon	8
(SA) SALITRE	Parque Nacional	SA-ParqNal	8
	Arzobispo Carrera 7a	SA-Arzobis	8
	Carrera 30 Calle 53	SA-CL53	8
	Carrefour Av. 68	SA-Carrefo	8
	Transversal 91	SA-Tv91	8
	Salitre con Alameda	SA-Alameda	9

RÍO	PUNTO DE MONITOREO	IDENTIFICACIÓN PUNTO DE MONITOREO	TOTAL MONITOREOS
(FU) FUCHA	El Delirio	FU-Delirio	8
	Carrera 7a Río Fucha	FU-KR7	8
	Avenida Ferrocarril	FU-Ferroca	6
	Fucha Avenida Las Américas	FU-America	6
	Fucha Avenida Boyacá	FU-Boyaca	6
	Visión Colombia	FU-VisionC	8
	Fucha Zona Franca	FU-ZFranca	8
	Fucha con Alameda	FU-Alameda	7
(TU) TUNJUELO	Regadera	TU-Regader	7
	Universidad Antonio Nariño	TU-UAN	8
	Yomasa	TU-Yomasa	8
	Doña Juana	TU-DJuana	8
	Barrio México	TU-México	8
	San Benito	TU-SBenito	8
	Makro Autosur	TU-MakroS	7
	Transversal 86	TU-Tv86	8
	Puente Independencia	TU-PteInde	8
	Isla Pontón San José	TU-IslaPon	7
BOGOTÁ	Puente Común	BO-PComun	1
	Cierre	BO-Cierre	1

Tabla 3. Cantidad de monitoreos realizados en cada punto de la RCHB-T durante el periodo 2019-II a 2020-I

2.2. METODOLOGÍA PARA VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS

La mayor parte de los conjuntos de datos del mundo real contienen valores atípicos (*outliers*) y los datos sobre la calidad del agua no son la excepción. Tales datos están caracterizados por presentar magnitudes inusualmente grandes o pequeñas, en comparación con los demás en el conjunto de datos (Seo, 2006). Los outliers pueden generar valores errados en análisis de datos tales como análisis de varianza y regresión, o pueden proporcionar información útil acerca de los datos cuando se fija una respuesta inusual de un estudio determinado, constituyéndose su detección en una parte fundamental del análisis de datos. La detección de valores denominados outliers es una tarea de minería de datos que permite detectar objetos desviados, eventos

extraños y/o excepcionales. Las causas de los *outliers* se pueden clasificar en dos: los derivados de errores en los datos y los derivados de la variabilidad inherente de los datos (Preetha y Radha, 2011). Luego, la detección de *outliers* es una parte importante del análisis de datos en los dos casos anteriores, aumentando la necesidad de métodos de análisis, para hacer uso de la información contenida de manera implícita en una base de datos (Fayyad et al., 1996).

El procedimiento para la detección de *outliers* consiste: (i) definir cuáles serían los posibles criterios para que un dato dentro de un conjunto de datos dado reciba el calificativo de outlier, y (ii) luego aplicar un método para identificar dichos valores. Los métodos para la detección de *outliers* se basan en estadísticas tales como la distancia entre valores, la desviación estándar y/o análisis basado en las distribuciones de densidad de los datos.

Por lo tanto, cuando se tiene un conjunto de datos con observaciones de una variable , donde \bar{x} es la media y s es la desviación estándar de la distribución de los datos, una observación se declara como *outlier* si se encuentra fuera del intervalo (Acuña y Rodríguez, 2004), donde el valor del coeficiente k es usualmente 2 ó 3. Estos valores se justifican en el hecho que al suponer una distribución normal se espera contar con un porcentaje del 95 % o 99 %, respectivamente de los datos en el intervalo centrado en la media, con una longitud aproximadamente igual a dos o tres veces la desviación estándar respectivamente. Por consiguiente, la variable x es considerada outlier si: (Acuña y Rodríguez, 2004).

El problema del método anterior es que asume la distribución normal de la información, esperando formas de campana y simetría razonable en los datos, que con frecuencia es algo que no ocurre. Además, la media y desviación estándar son muy sensibles a los valores atípicos de magnitudes significativas (Iglewicz y Hoaglin, 1993; Chen et al., 1996). En respuesta a esto, John Tukey en 1977 introdujo varios métodos para el análisis de datos, uno de ellos fue el Box-Plot.

Ésta es una conocida herramienta gráfica sencilla, que se utiliza con el propósito de mostrar información continua acerca de los datos univariados como la media y los *mild outliers* (outliers) (ver Figura 1). Este método es menos sensible a valores extremos de los datos que aquellos métodos que se basan en la media y la desviación estándar, ya que utiliza los cuartiles, los cuales son consistentes ante los valores extremos (Acuña y Rodríguez, 2004; Seo, 2006).

De esta forma, un Box-Plot, también conocido como diagrama de caja y bigotes, es un gráfico que está basado en cuartiles y mediante el cual se visualiza la distribución de un conjunto de datos. Está compuesto por un rectángulo (la «caja») y dos brazos (los «bigotes»).

Es un gráfico que suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los cuartiles Q1, Q2 o mediana y Q3, y sobre la existencia de valores atípicos y la simetría de la distribución. Primero es necesario encontrar la mediana para luego encontrar los 2 cuartiles restantes.

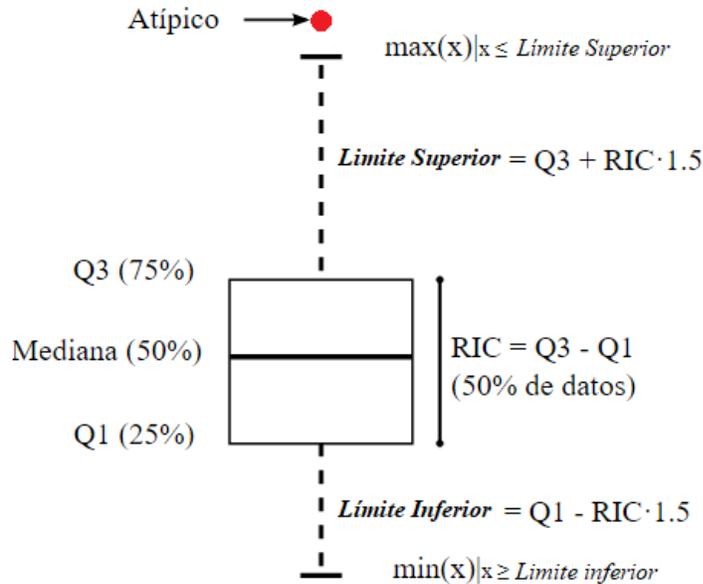


Figura 1. Box-Plot o diagrama de caja

Un dato x se declara outlier si se encuentra fuera del intervalo $(Q1 - 1.5 \cdot \text{RIC}, Q3 + 1.5 \cdot \text{RIC})$, donde $Q1$ es el primer cuartil, $Q3$ es el tercer cuartil y RIC recibe el nombre de Rango Intercuartílico (en inglés *Interquartil Range* ó *IQR*) calculado como $Q3 - Q1$ (Acuña y Rodríguez, 2004).

2.2.1. FORMA DE IMPLEMENTAR EL BOX-PLOT EN LOS DATOS DE LA RCHB-T

La detección de posibles *outliers* en los conjuntos de datos de calidad del agua de los puntos que conforman la RCHB, se realizó mediante el estadístico Box-Plot. El proceso de implementación varía levemente dependiendo si los datos son obtenidos en campo (*in situ*) o en laboratorio (ver **Error! Reference source not found.2**). A continuación, se explica procedimiento por cada conjunto de datos:

Para los datos recolectados in-situ

- Se agrupan las mediciones in situ de Oxígeno Disuelto y pH obtenidas en cada monitoreo bi-horario, realizado esto para cada determinante por separado. Por ejemplo, si se realizaron seis (6) monitoreos en el periodo evaluado se tendrá un conjunto de 30 datos por cada determinante in situ.
- Para los conjuntos de datos conformados en el paso anterior se aplica el boxplot para determinar la presencia de outliers.
- Luego, los datos detectados como outliers en el paso anterior son eliminados del conjunto de datos de monitoreo.
- Los datos restantes son desagregados en los monitoreos iniciales, y con base en estos se calcula la media de cada monitoreo y después se consolidan los promedios en un vector (L). Lo anterior aplica para Oxígeno Disuelto y pH.
- Se determina el promedio de los datos que no fueron eliminados, los cuales son denominados validados.
- Sobre el vector L se aplica nuevamente el estadístico Box-Plot para determinar y eliminar los monitoreos catalogados como outliers. Los datos restantes (validados finales) serán empleados en el cálculo del WQI.

Para los datos reportados por el laboratorio

- Para todas las muestras recolectadas en las campañas de monitoreo se realizan los ensayos estándar de laboratorio para cuantificar los determinantes de la calidad del agua antes descritos. Por lo tanto, la detección de *outliers* mediante Box-Plot, se realizará en el conjunto de datos de cada determinante de la calidad agua.
- Luego, los datos detectados como *outliers* en el paso anterior son eliminados del conjunto de datos del monitoreo y los datos restantes (Datos Validados) son empleados para calcular el WQI.

2.3. PROCESO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA – WQI

La información consolidada de las jornadas de monitoreo de la RCHB-T (datos *in situ* y de laboratorio) es empleada para la construcción de indicadores de calidad del agua, enmarcados dentro de los OC que son establecidos con el propósito de proteger el recurso hídrico. Teniendo en cuenta que la calidad del agua de los principales ríos de Bogotá está muy deteriorada, los OC de los próximos años están enfocados hacia la recuperación de estos (Resolución 5731 de 2008).

Por otro lado, para llevar a cabo la consolidación y análisis de datos se cuenta con una división de tramos determinados para cada río, realizada según el artículo 2 de la Resolución 5731 de 2008, como se describe en la Tabla 4. De conformidad con esta normatividad, no se involucran las corrientes de los afluentes que converjan a la corriente principal en el tramo descrito relacionado.

RÍO	TRAMO	LÍMITES	
		DESDE	HASTA
TORCA (TO)	1	Entrada perímetro urbano	Calle 183
	2	Calle 183	Desembocadura Canal Torca
SALITRE (SA)	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7 ^a
	2	Carrera 7 ^a	Carrera 30
	3	Carrera 30	Avenida 68
	4	Avenida 68	Desembocadura Río Juan Amarillo
FUCHA (FU)	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7 ^a
	2	Carrera 7 ^a	Desembocadura Canal Comuneros
	3	Desembocadura canal comuneros	Avenida Boyacá
	4	Avenida Boyacá	Desembocadura Río Fucha
TUNJUELO (TU)	1	Entrada perímetro urbano	Desembocadura Quebrada Yomasa
	2	Desembocadura Q. Yomasa	Avenida Boyacá
	3	Avenida Boyacá	Autopista Sur
	4	Autopista Sur	Desembocadura Río Tunjuelo

Tabla 4. División de los tramos de los ríos de Bogotá, (Resolución 5731 de 2008)

Con base en lo anteriormente descrito y un análisis de los escenarios de saneamiento evaluados en el ejercicio de modelación, se determinaron los valores de las concentraciones para los siguientes determinantes de calidad del agua: Oxígeno Disuelto (OD), pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Coliformes Fecales (CF), Grasas y Aceites (GyA), Sólidos Suspendido Totales (SST), Tensoactivos (SAAM), Nitritos (NO₂⁻), Nitratos (NO₃⁻), Kjeldahl, Nitrógeno Total (N_{TOTAL}) y Fósforo Total (P_{TOTAL}), los cuales fueron establecidos mediante la Resolución 5731 de 2008 a cuatro y diez años. En la Tabla 5 y Tabla 6 se presentan los OC a cuatro años para los tramos que conforman los principales ríos de la Ciudad.

DETERMINANTE DE CALIDAD	UNIDAD	CANAL TORCA (TO)	RÍO SALITRE (SA)
-------------------------	--------	------------------	------------------

		TO-T1	TO-T2	SA-T1	SA-T2	SA-T3	SA-T4
pH- Mínimo	Unidad	6.0	6.06.0	6.0	6.0	6.0	6.0
pH- Máximo	Unidad	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
OD	mg/L	3	0.5	7	2	0.5	0.5
DBO ₅	mg/L	15	150	5	80	150	150
DQO	mg/L	50	300	35	200	350	350
SST	mg/L	20	150	10	80	150	150
GyA	mg/L	20	30	10	20	30	30
SAAM	mg/L	1	4	1	3	3	3
P _{TOTAL}	mg/L	1	6	1	6	6	6
CF	NMP/100 ml	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06
N _{TOTAL}	mg/L	5	40	5	20	40	40

T1= Tramo I, T2= Tramo II, T3= Tramo III, T4= Tramo IV

Tabla 5. OC a cuatro años para los tramos del canal Torca y Salitre (Resolución 5731 de 2008)

DETERMINANTE DE CALIDAD	UNIDAD	RÍO FUCHA (FU)				RÍO TUNJUELO (TU)			
		FU-T1	FU-T2	FU-T3	FU-T4	SA-T1	SA-T2	SA-T3	SA-T4
pH- Mínimo	Unidad	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
pH- Máximo	Unidad	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
OD	mg/L	7	4	0.2	0.2	7	2	1	0.5
DBO ₅	mg/L	5	50	250	250	5	100	100	250
DQO	mg/L	35	150	400	400	35	200	200	500
SST	mg/L	10	30	150	200	10	120	150	300
GyA	mg/L	10	25	40	60	20	20	20	50
SAAM	mg/L	0.5	3	4	4	0.5	3	3	3
P _{TOTAL}	mg/L	0.1	3	8	8	0.2	3	5	6
CF	NMP/100 ml	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06
N _{TOTAL}	mg/L	3	20	40	40	3	20	20	50

T1= Tramo I, T2= Tramo II, T3= Tramo III, T4= Tramo IV

Tabla 6. OC a cuatro años para los tramos del río Fucha y río Tunjuelo (Resolución 5731 de 2008)

Por consiguiente, con el fin de evaluar la calidad del agua con respecto a estos objetivos, la Secretaría Distrital de Ambiente ha implementado un Índice de Calidad del Agua – WQI (por sus Iniciales en inglés *Water Quality Index*), el cual permite apreciar la calidad del agua por categorías [Excelente, Buena, Aceptable, Marginal, Pobre].

La metodología de origen canadiense consiste en determinar tres variables (F) a partir de los valores de las concentraciones y su cumplimiento con los OC, los cuales están definidos para cada uno de los tramos que conforman los ríos, y que son aplicados a cada uno de los puntos de monitoreo que se encuentren localizados a lo largo de los tramos.

$$WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right) \quad \text{Ec. 1.}$$

Las variables F1, F2 y F3, representan diferentes aproximaciones para determinar la calidad del agua; su explicación y cálculos se explican a continuación:

F1 [Alcance]: representa la cantidad de los determinantes de la calidad del agua que no cumplen los objetivos al menos una vez, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$F1 = \left(\frac{\text{número de parámetros que no cumplen}}{\text{número total de parámetros}} \right) * 100 \quad \text{Ec. 2.}$$

F2 [Frecuencia]: representa la cantidad de datos que no cumplen los OC; se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$F2 = \left(\frac{\text{número de datos que no cumplen}}{\text{número total de datos}} \right) * 100 \quad \text{Ec. 3.}$$

Cuando se está calculando el WQI de un tramo puede haber varios datos para un mismo determinante de calidad del agua, bien sea porque se están teniendo en cuenta varias campañas o porque un tramo tiene varios puntos de monitoreo.

F3 [Amplitud]: representa la cantidad por la cual los datos no cumplen los objetivos; este se calcula a partir de la excursión y la suma estandarizada de las excursiones [nse]. Cuando hay uno o varios datos que no cumplen los OC, se debe calcular la excursión de la siguiente manera:

$$\text{excursión}_i = \left(\frac{\text{valor del dato que no cumple}_i}{\text{valor del objetivo}_i} \right) - 1 \quad \text{Ec. 4.}$$

Cuando los valores deben estar por encima del OC, como en el caso del oxígeno disuelto o pH, la excursión se calcula como:

$$excursión_i = \left(\frac{\text{valor del objetivo}_i}{\text{valor del dato que no cumple}_i} \right) - 1 \quad \text{Ec. 5.}$$

Y en el caso de los coliformes fecales, la excursión se calcula como:

$$excursión_i = \left(\frac{\log_{10} \text{valor del dato que no cumple}_i}{\log_{10} \text{valor del objetivo}_i} \right) - 1 \quad \text{Ec. 6.}$$

Después de calcular la excursión de todos los datos que no cumplen, se calcula el nse utilizando la siguiente ecuación:

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \text{excursión}_i}{\text{número total de datos}} \quad \text{Ec. 7.}$$

Finalmente, F3 se estima de la siguiente manera:

$$F3 = \left(\frac{nse}{0.01 * nse + 0.01} \right) \quad \text{Ec. 8.}$$

Los resultados del WQI se clasifican según las categorías descritas en la Tabla 7. Categorización, clasificación y caracterización de los rangos del WQI

CATEGORÍA	VALOR WQI	DESCRIPCIÓN
Excelente	[95 <WQI<100]	Calidad del agua cumple los OC, la calidad está protegida sin que las condiciones deseables estén amenazadas
Buena	[80 <WQI< 94]	Calidad del agua cumple los objetivos, la calidad está protegida en un menor nivel, sin embargo, las condiciones deseables pueden estar amenazadas
Aceptable	[65<WQI<79]	Calidad del agua no cumple los objetivos y ocasionalmente las condiciones deseables están amenazadas
Marginal	[45 <WQI <64]	Calidad del agua no cumple los objetivos y frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas
Pobre	[0 <WQI <44]	Calidad del agua no cumple los objetivos, la mayoría de las veces la calidad está amenazada o afectada; por lo general apartada de las condiciones deseables

Tabla 7. Categorización, clasificación y caracterización de los rangos del WQI

Por lo tanto, el WQI permite determinar de una forma aproximada el avance anual en la calidad del recurso hídrico y con esto establecer las variaciones de calidad por tramos (espacial y temporal) y planificar y ejecutar acciones priorizadas que mitiguen fenómenos que impactan de forma negativa la calidad del recurso hídrico.

3. RESULTADOS

Teniendo en cuenta la implementación de los métodos y metodologías explicados en los numerales 2.2 y 2.3, se obtienen los resultados para cada uno de los tramos de los ríos que conforman la RCHB-T, que se presentan en la Imagen 2. A continuación se relacionan las generalidades para la obtención de los resultados específicos para cada tramo.

En las figuras 2, 4, 6 y 8 se presenta en el eje vertical la cantidad de datos que fueron catalogados como *outliers*, y la cantidad que fue monitoreada para cada punto de la RCHB-T durante el periodo analizado por cada determinante, esto últimos presentados en el eje horizontal.

Las tablas similares a la Tabla 8 presentan la cantidad y porcentaje de datos que no cumplieron con los objetivos calidad por cada uno de los determinantes evaluados (izquierda), mientras que a la derecha de la tabla se presentan las variables F1, F2, nse y F3 (ver numeral 2.3) empleadas en el cálculo del indicador WQI, y finalmente el valor de este indicador.

La figura 3, 5, 7 y 9, tipo radar, representan el porcentaje de cumplimiento respecto a los OC por determinante de calidad del agua y para cada tramo del río analizado. Por último, en las imágenes de 3 a 6 se presenta mediante mapas, el valor del indicador WQI por cada tramo que asociado a los ríos del Distrito Capital.

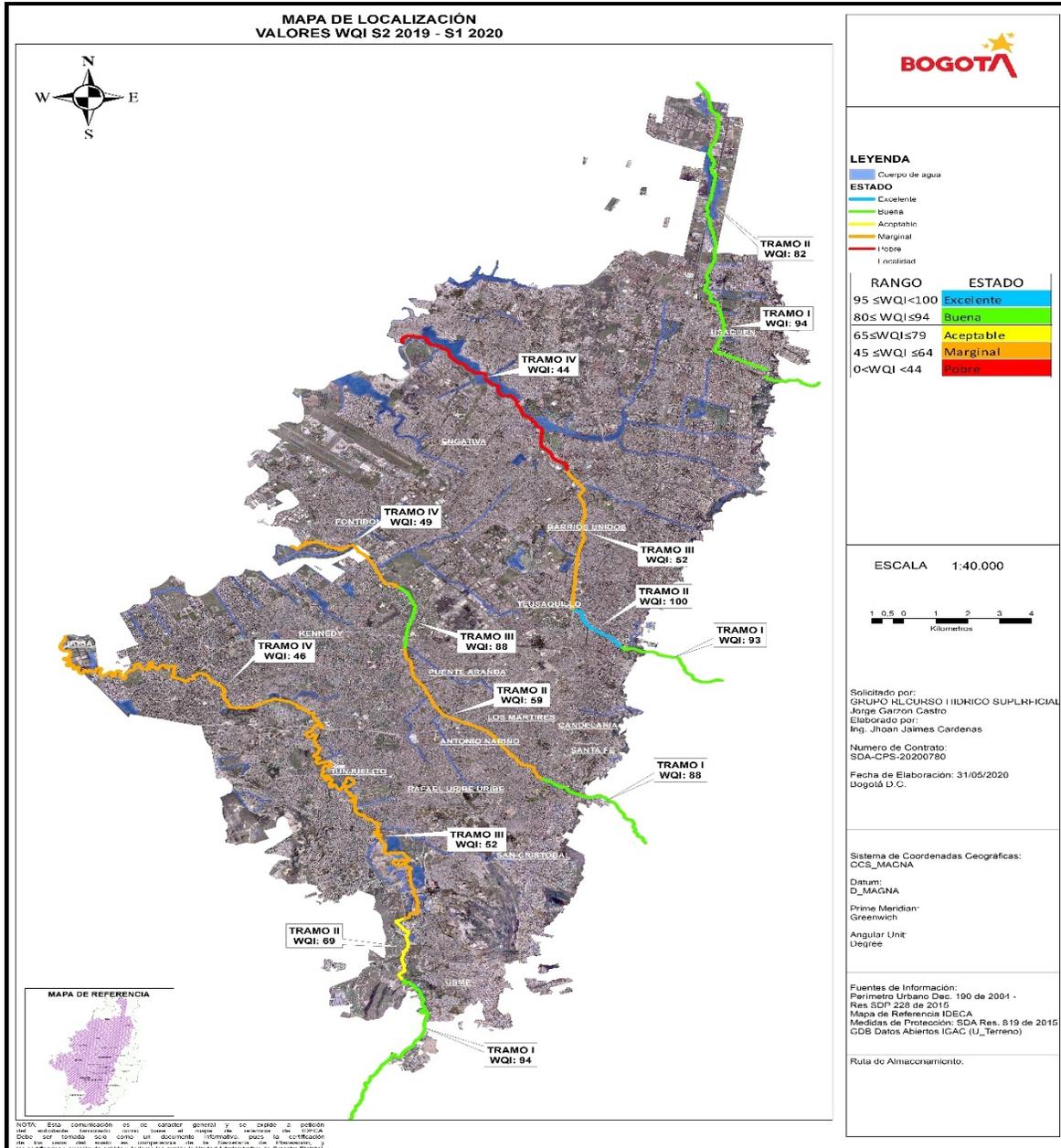


Imagen 2. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en los principales ríos de la ciudad para el periodo 2019-2020

3.1. RÍO TORCA

En el río Torca se realizaron siete monitoreos en las estaciones TO-BosqueP y TO-Jardpaz y ocho monitoreos en las estaciones TO-CL161 y TO-Ssimón, en total 4 estaciones sobre los cuales se realiza seguimiento a la calidad del agua: Bosque de Pinos, Calle 161, Jardines de Paz y San Simón. En la figura 2. Se muestra la cantidad de monitoreos ejecutados por punto y la cantidad de *outliers* (atípicos) que se obtuvieron después de aplicar la metodología de box-plot.

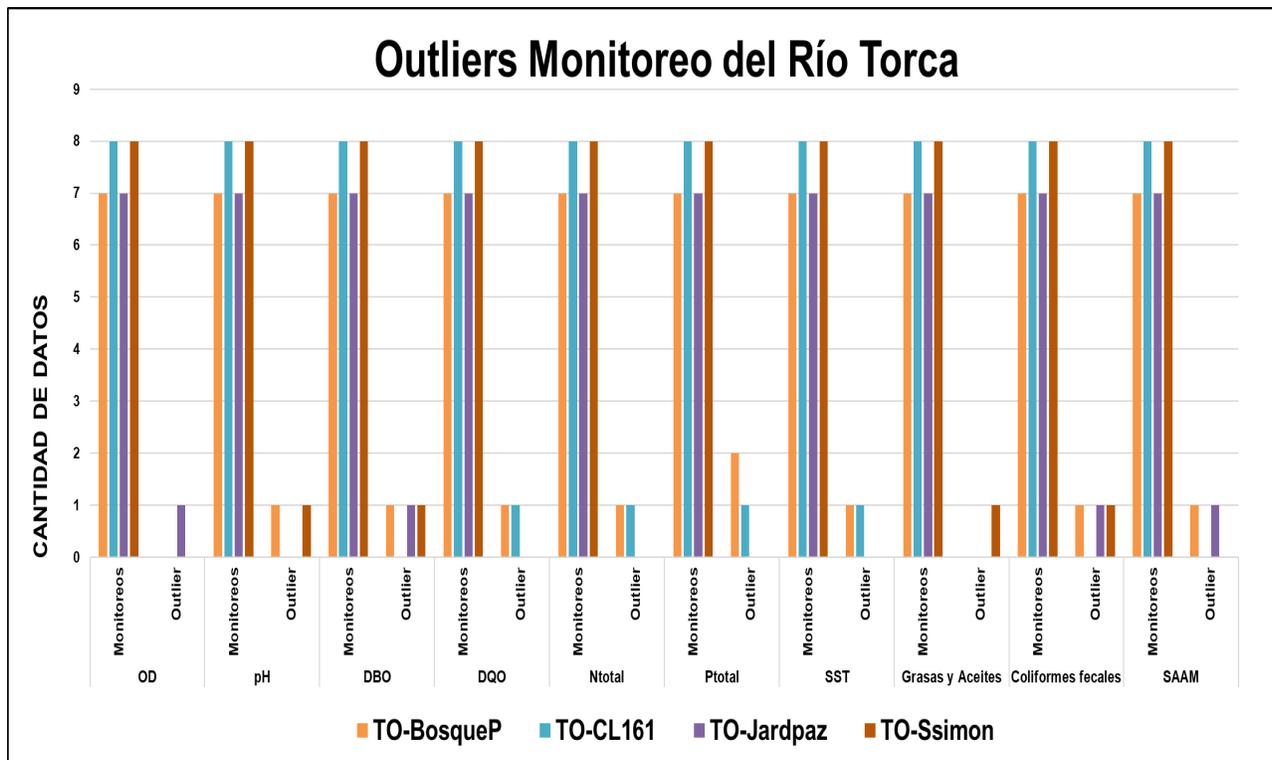


Figura 2. Cantidad de datos validados y datos outliers en los tramos de monitoreo del río Torca

A partir del análisis estadístico de la información, se determinaron 10 valores atípicos que corresponden al 14.3% del total de los datos validados, por lo que 60 datos fueron considerados para el cálculo del WQI en el tramo I. Para el tramo II del río Torca se determinaron 13 valores atípicos de un total de 230 datos lo que arrojó el 94.3% de los datos que se utilizan para el cálculo.

Con base en los datos validados, se determinó que la calidad del agua en el tramo I, para el periodo evaluado, fue **Buena**, teniendo en cuenta que para este tramo todos los determinantes alcanzaron los OC excepto N_{total} con dos datos como se puede observar en la (tabla 8).

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	VARIABLES	VALOR
OD	0	0	F1	10,0
DBO ₅	0	0	F2	3,3
DQO	0	0	nse	0,0
N_{Total}	2	33%	F3	2,1
P_{Total}	0	0	WQI	94
SST	0	0		
Grasas y Aceites	0	0		
Coliformes Fecales	0	0		
pH	0	0		
SAAM	0	0		

Tabla 8. Río Torca WQI-Tramo I

Para el caso del tramo II, el 5,5% del total de los datos superaron los valores de referencia para este tramo en el río Torca, siete (7) de los diez (10) determinantes cumplieron con la totalidad de sus datos respecto a los OC, lo cual incidió directamente en el valor de F1 y por tanto en el valor final, que lo establece un WQI de 82, que clasifica la calidad del agua del tramo en **Buena**.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
----------------------------	--------------------------------	---------------------------------

VARIABLES	VALOR
-----------	-------

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO	0	0%
DQO	0	0%
Ntotal	1	5%
Ptotal	0	0%
SST	0	0%
Grasas y Aceites	4	18%
Coliformes fecales	7	33%
pH	0	0%
SAAM	0	0%
Tabla 9. Río Torca WQI-Tramo II		

VARIABLES	VALOR
F1	30,0
F2	5,5
nse	0,0
F3	0,9
WQI	82

La tabla 9, permite evidenciar que el determinante con mayor impacto en la calidad hídrica del tramo II del río Torca, fue Coliforme Fecales, seguido de las Grasas y Aceites con porcentajes de incumplimiento del 33% y 18% respectivamente. Este resultado en la calidad del agua se asocia principalmente por las descargas de aguas residuales domésticas generadas por la problemática de conexiones erradas presentes en el área aferente al canal y en menor proporción a la inexistencia de un sistema de alcantarillado para la parte baja de la cuenca (desde Jardines de Paz hasta la desembocadura al río Bogotá).

En la Figura 3 se visualizan los resultados antes descritos y se evidencia la influencia que tienen los coliformes fecales, en la calidad del agua en el tramo II del río Torca. Además, se hace claro el comportamiento uniforme que presentaron los determinantes de la calidad del agua en el tramo I, durante el periodo evaluado.

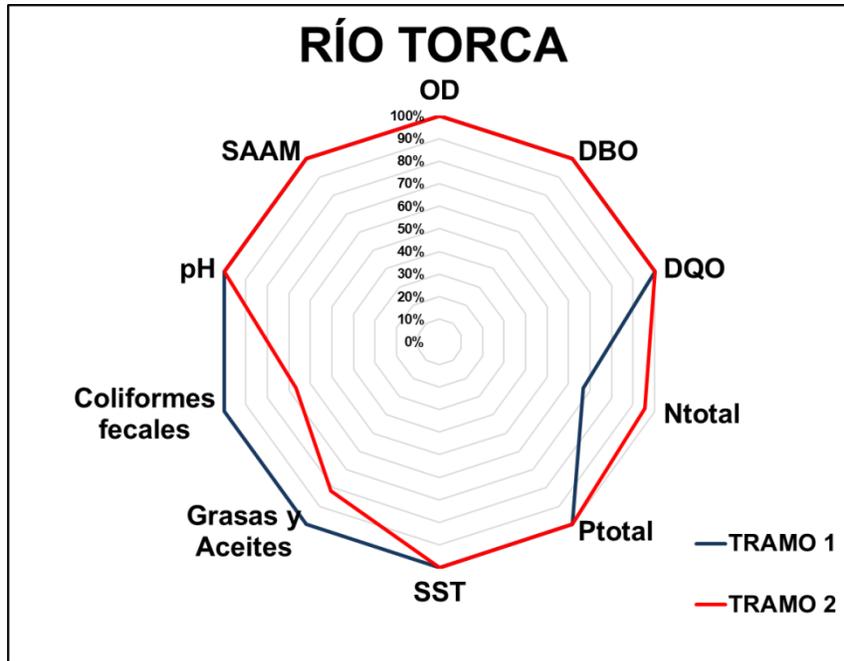


Figura 3. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del río Torca

Los valores para el índice WQI determinados para la calidad del agua y las categorías resultantes para cada tramo del río Torca se reflejan en la imagen 3.

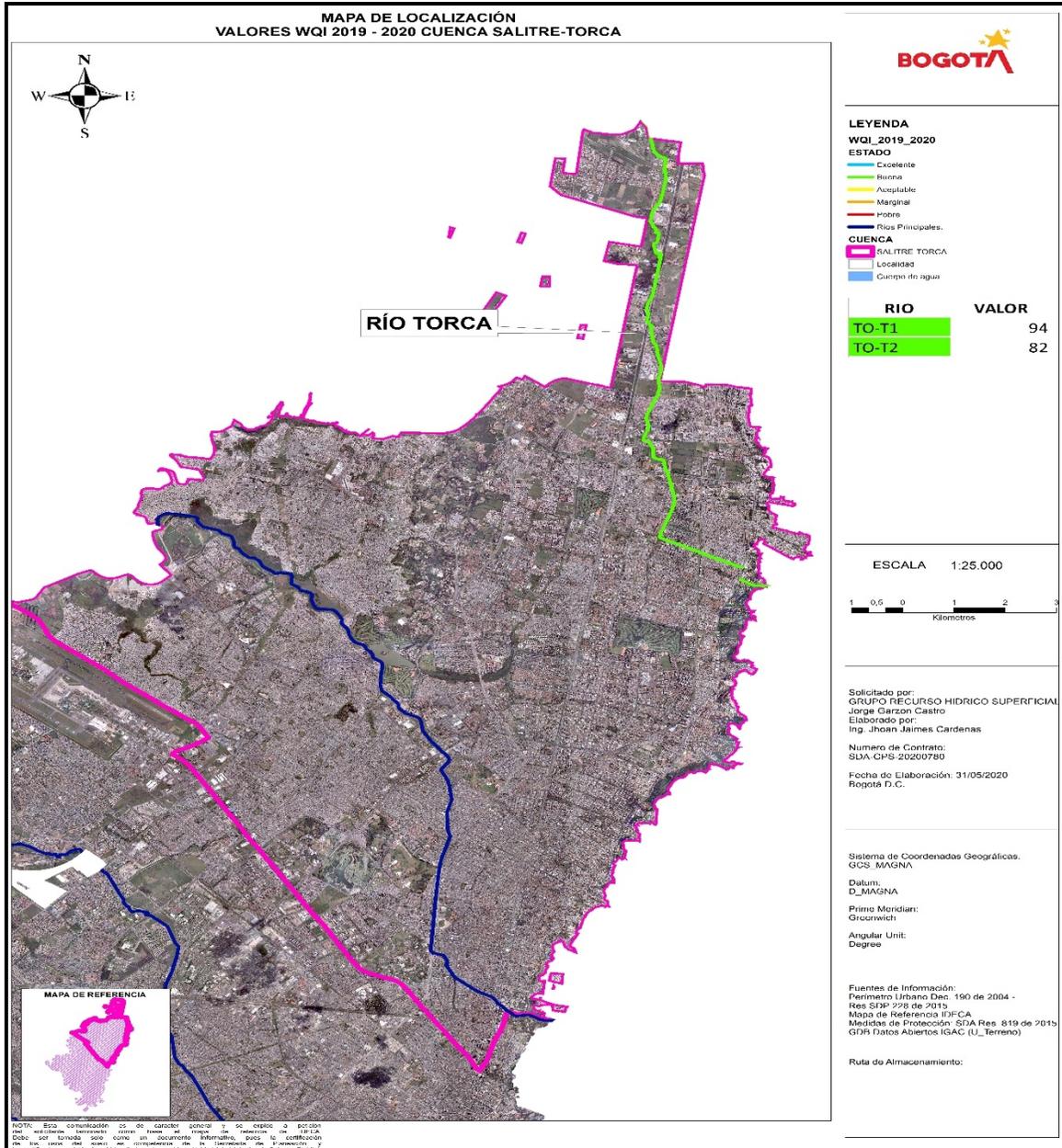


Imagen 3. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Torca 2019-2020.

3.2. RÍO SALITRE

Para las 6 estaciones de control de la calidad del agua en el río Salitre se ejecutaron 8 monitoreos para las estaciones SA-ParqNal, SA-Arzobispo, SA-CL53, SA-Carrefour, SA-Tv91 y 9 monitoreos para la estación SA-Alameda, a partir de los datos reportados se realizaron los análisis estadísticos y se determinaron 23 valores atípicos, que corresponden al 4.7% de los datos obtenidos, estos valores atípicos no fueron considerados para el cálculo del WQI. Para el tramo I del río Salitre, cuyo único punto de monitoreo es el Parque Nacional, se validó el 91.3% de los datos del total de 80 datos obtenidos y 7 datos atípicos. En el tramo II del río Salitre (puntos arzobispo y Calle 53) se obtuvo un total de 154 datos válidos y 6 datos atípicos, para el tramo III de este río (estaciones Calle 53 y Carrefour) el 97.5% de los datos fueron utilizados en el cálculo de indicador, para un total de 156 y 3 atípicos, y por último para el tramo IV (estaciones Carrefour, Tv 91 y Alameda) se validó el 96% de los 250 datos obtenidos, correspondiente a 240 datos válidos y 10 atípicos. (ver Figura 4).

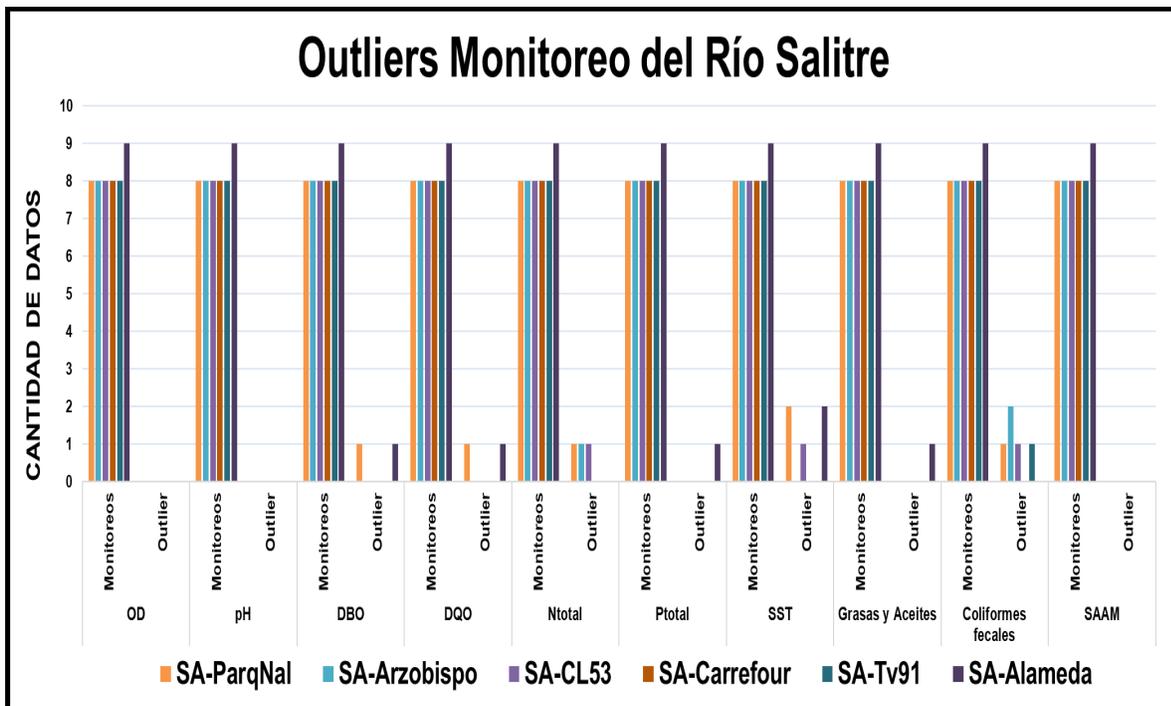


Figura 4. Cantidad de datos validados y datos outliers en los tramos de monitoreo del río Salitre

Del total de los 73 datos validados para el punto Parque Nacional (Tramo I del río Salitre), tres (3) valores obtenidos para el determinante N_{Total} , no cumplieron con el OC, lo que influyó para obtener como resultado un valor y clasificación del WQI de 93, **Buena** (ver Tabla 10).

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO ₅	0	0%
DQO	0	0%
N_{Total}	3	43%
P_{Total}	0	0%
SST	0	0%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes Fecales	0	0%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	10,0
F2	4,1
nse	0,004
F3	3,5
WQI	93

Tabla 10. Río Salitre WQI-Tramo I

Para los dos puntos de monitoreo (arzobispo y Calle 53) correspondientes al tramo II del río Salitre, del total de los 154 datos validados, ningún dato incumplió con el OC, lo cual determina un valor y clasificación del WQI de 100, **Excelente** (ver Tabla 11).

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO ₅	0	0%
DQO	0	0%
N_{Total}	0	0%
P_{Total}	0	0%
SST	0	0%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes Fecales	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	0,0
F2	0,0
nse	0,0
F3	0,0
WQI	100

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
-----------	-------

Tabla 11. Río Salitre WQI-Tramo II

Para el tramo III del río Salitre, 2 de los 10 determinantes (pH y PTotal) cumplen con la totalidad de los valores con relación a los OC, de tal manera que los restantes 8 determinantes incumplieron con mínimo 1 dato, para posteriormente aportar un total de 31 datos que incumplen con los OC, lo que corresponde al 19,9 % de los 156 datos validados. De acuerdo con el cálculo del WQI la calidad del agua en este tramo se categoriza como **Marginal**. (Imagen 4).

En comparación con los dos primeros tramos, en el tramo III se evidencia la afectación por contribución en descargas de aguas residuales derivadas de las estructuras de alivio del sistema de alcantarillado combinado localizadas en este tramo del río. El conjunto de determinantes que incumplen los OC (F1) y la frecuencia de incumplimiento de un OC, son las dos variables que más pesan en el valor del WQI obtenido para el tramo III. Las dos variables que más incidieron en la excursión fueron OD y Grasas y Aceites (Tabla 12).

Se deduce que la estación de monitoreo con el mayor aporte de incumplimiento de los OC es Carrefour con un 20% correspondientes a 31 datos del total datos validados para esta estación; mientras que la estación calle 53 los valores considerados no superan los objetivo para este tramo.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	5	31%
DBO ₅	4	25%
DQO	5	31%
N _{Total}	3	20%
P _{Total}	0	0%
SST	1	7%
Grasas y Aceites	5	31%
Coliformes Fecales	4	27%
pH	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	80,0
F2	19,9
nse	0,15
F3	13
WQI	52

DETERMINANTE DE LA	No. DATOS QUE NO	% DE DATOS QUE NO
SAAM	4	25%

VARIABLES	VALOR
-----------	-------

Tabla 12. Río Salitre WQI- Tramo III

Finalmente, para el tramo IV del río Salitre se utilizaron 240 datos, de los cuales el 33% superan los valores determinados como OC, lo que corresponde a 80 valores incumpliendo los OC. En este tramo se tiene que los determinantes de calidad que presentaron mayor frecuencia de incumplimiento fueron OD y SAAM, superando hasta en un 50% los valores OC, por otra parte, la DQO, N_{Total} y coliformes fecales obtuvieron incumplimiento por encima del 40% de sus valores. Los porcentajes asociados al número de datos que no cumplieron con los OC por cada determinante se presentan en la Tabla 13, a excepción del pH cuyos registros se encuentran dentro de los OC.

La valoración del WQI en el tramo IV mostró una calidad del agua de 44 y categoría de **Pobre**.

Es de resaltar que el punto de monitoreo Salitre Alameda es en aquel en el que se presenta un mayor incumplimiento de los OC que representa el 14.17 % del total de los datos validados para el tramo, mientras que las estaciones TV 91 y Carrefour presentan un incumplimiento de 6.25% y 12.92% respectivamente.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	14	56%
DBO₅	9	38%
DQO	10	42%
N_{Total}	11	44%
P_{Total}	2	8%
SST	2	9%
Grasas y Aceites	9	38%
Coliformes Fecales	10	42%
pH	0	0%
SAAM	13	52%

VARIABLES	VALOR
F1	90,0
F2	33,3
nse	0,16
F3	14,1
WQI	44

Tabla 13. Río Salitre WQI - Tramo IV

Se resalta el caso específico del pH con el 100% de los datos en las estaciones (Carrefour, Transversal 91 y Salitre Alameda) no superaron en ningún caso el valor de referencia para el tramo IV. En términos de frecuencia se establece que los determinantes que presentaron una mayor afectación fueron el OD y SAAM, con más del 50% incumpliendo los OC en 14 y 13 datos respectivamente de los 25 validados para este tramo.

La Figura 5 permite visualizar los resultados antes descritos y evidencia la similitud en comportamiento en los tramos III y IV del río Salitre, pero con una marcada diferencia en los coliformes fecales lo que hace que el tramo III presente una ligera mejora. Además, es claro el comportamiento relativamente uniforme que presentaron los determinantes de la calidad del agua en el tramo I, excepto para N_{Total} , durante el periodo evaluado, por otra parte, se revela la incidencia negativa de las descargas con alto contenido de Coliformes Fecales, DBO_5 y DQO y su influencia en la disminución de OD en el tramo IV.

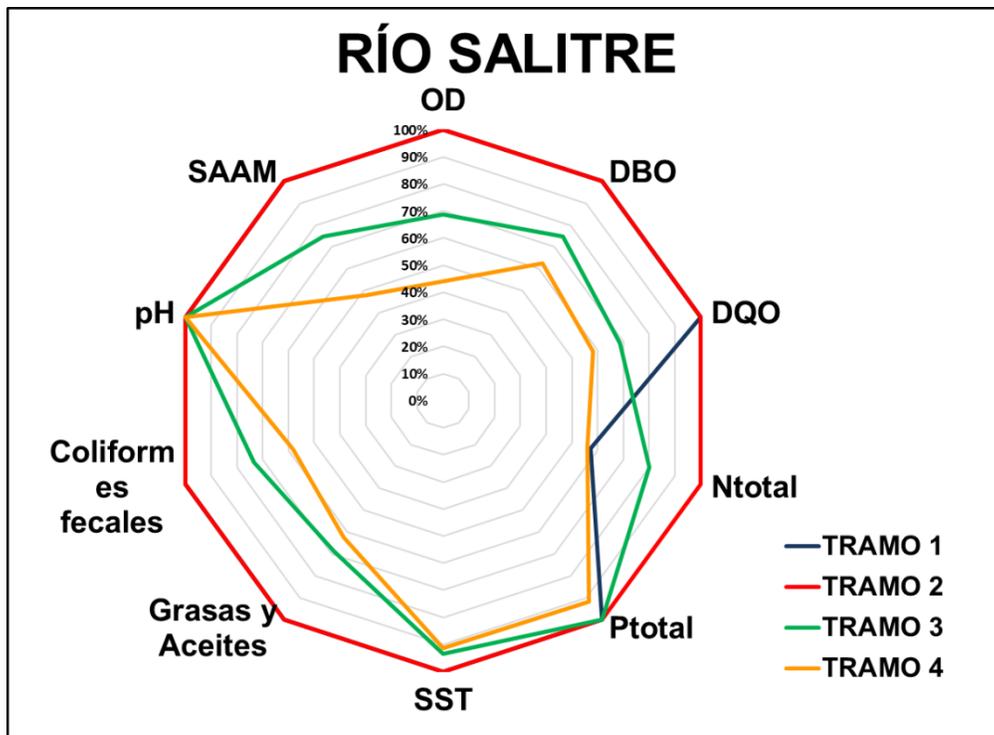


Figura 5. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del Río Salitre

A continuación, se presenta el mapa WQI para los tramos del río Salitre y sus respectivas categorías para lo cual se observa la calidad del agua durante el periodo 2019-I a 2020-II (Imagen 4).

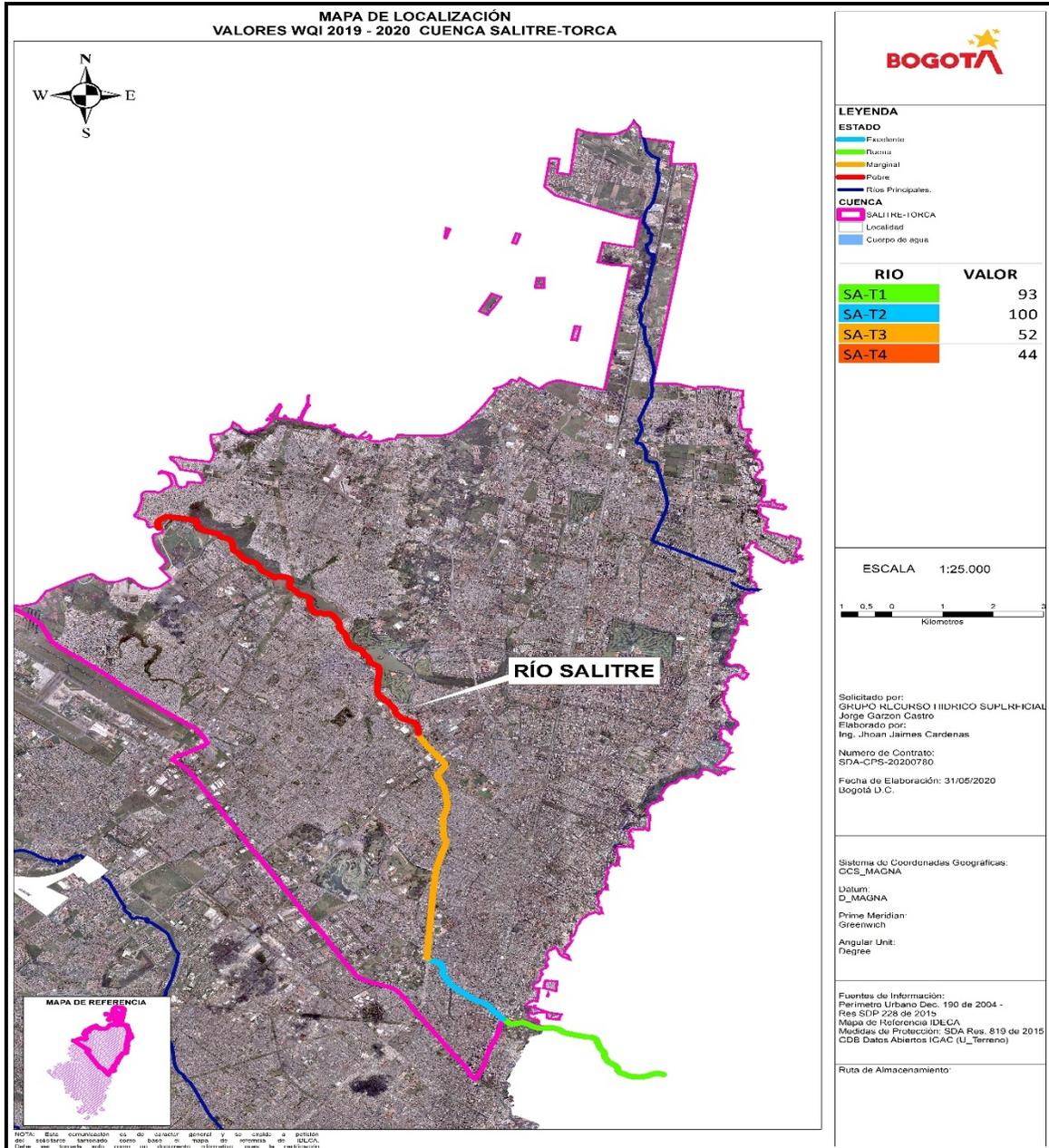


Imagen 4. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Salitre 2019-2020

3.3. RÍO FUCHA

En el Río Fucha existen ocho puntos de control y cada uno fue caracterizado de la siguiente manera: Las estaciones FU-Delirio, FU-KR7, FU-VisiónC, FU-ZFranca con 8 monitoreos. FU-Américas, FU-Boyacá, FU-Ferroca 6 monitoreos y FU-Alameda 7 monitoreos. A partir del análisis estadístico de la información, se determinaron 44 valores atípicos que corresponden al 7.7% del total de los valores disponibles. Estos valores atípicos no fueron considerados para el cálculo del WQI.

Todos los determinantes evaluados tuvieron *outliers*. No obstante, en la figura 6 se observa que la estación KR 7 y ZFranca fueron los puntos de monitoreo con mayor número de *outliers* 8 y 7 respectivamente. Por otra parte, los determinantes con mayor número de *outliers* fueron Grasas y Aceites, Coliformes Fecales para KR7, OD y Fósforo Total para ZFranca.

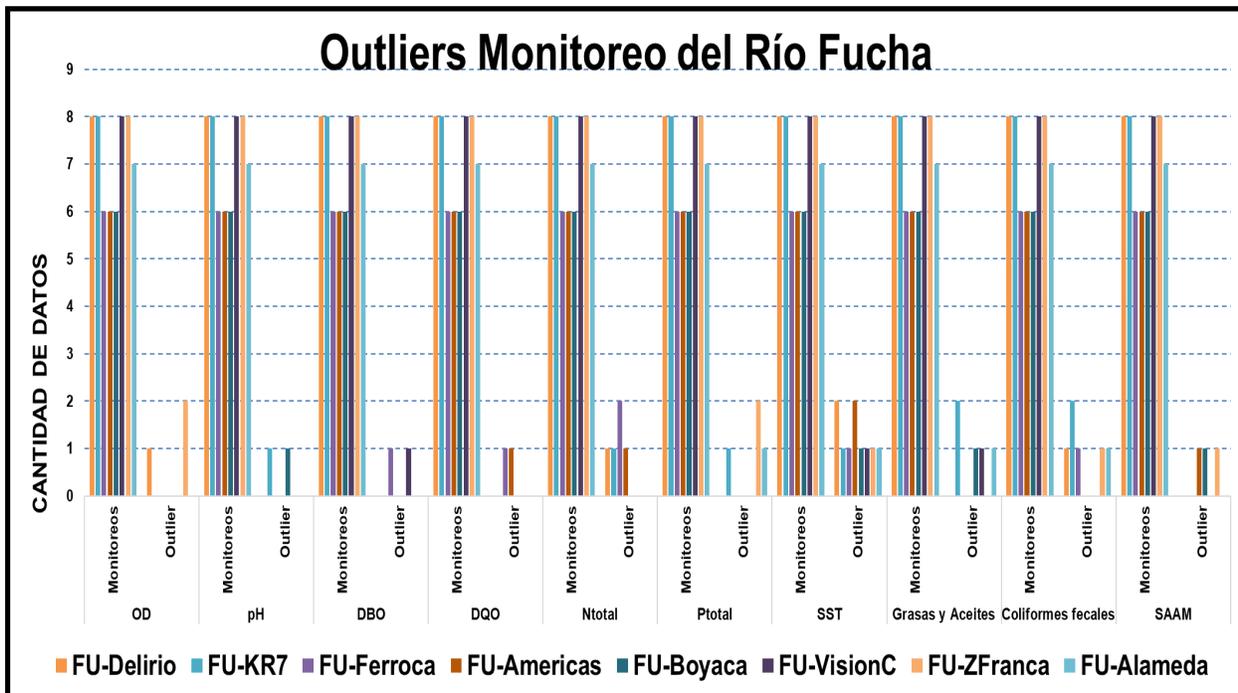


Figura 6. Cantidad de datos monitoreados y datos outliers en los puntos de monitoreo del río Fucha.

En el tramo I de este río se encuentra ubicado el punto de monitoreo (El Delirio) para el que se calculó el WQI con un total de 75 datos validados, de los cuales cinco (5) datos no cumplen con la concentración establecida como OC (Tabla 14), asociados con los determinantes de la calidad del agua N_{Total} y Coliformes Fecales. El porcentaje del número de datos que incumplieron el valor objetivo fue de 57% para N_{Total} y 14% para Coliformes Fecales. De esta manera el valor del WQI en este tramo es de 88, y la calidad categoriza como **Buena**.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO ₅	0	0%
DQO	0	0%
N_{Total}	4	57%
P_{Total}	0	0%
SST	0	0%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes Fecales	1	14%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	20,0
F2	6,7
nse	0,04
F3	4,2
WQI	88

Tabla 14. Río Fucha WQI - Tramo I

Los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Fucha son Carrera 7 y Avenida Ferrocarril. La cantidad de datos validados y empleados para el cálculo del WQI de estos puntos fue de 126, de los cuales 30 datos no cumplieron con el objetivo de calidad; lo que incidió en que la calidad de agua se calificara con un WQI de 59 y categorice como **Marginal** (Tabla 15).

Se destaca que seis (6) variables incumplieron con los OC de este tramo, donde las más críticas son DBO₅, N_{Total} y SST con un incumplimiento superior al 46% de los datos, seguido de la DQO con 38%. La afectación de la calidad de agua en este tramo se da principalmente por descargas de aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado combinado.

Se resalta que los parámetros P_{Total} , Grasa y Aceites, Coliformes Fecales y pH no presentaron incumplimiento respecto al valor objetivo.

La magnitud en general, de las concentraciones de los determinantes de la calidad que incumplieron los objetivos fueron significativas, tal como lo evidencia el factor de excursión y la variable F3.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	4	29%
DBO	6	46%
DQO	5	38%
Ntotal	6	46%
Ptotal	0	0%
SST	7	58%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes fecales	0	0%
pH	0	0%
SAAM	2	14%

VARIABLES	VALOR
F1	60,0
F2	23,8
nse	0,39
F3	28,1
WQI	59

Tabla 15. Río Fucha WQI - Tramo II

En el tramo III con los puntos de monitoreo (Av. Las Américas y Av. Boyacá) se presenta, para todos los determinantes de la calidad un menor porcentaje de incumplimiento (ver Tabla 16) en comparación con los resultados obtenidos en el tramo II. Para este tramo el 6,4% correspondiente a 7 datos de un conjunto de 110 validados no cumplieron con los OC, de tal manera que el 93.6% de los valores obtenidos, relacionados con los determinantes DBO₅, DQO, N_{Total}, P_{Total}, SST, GyA, pH, y SAAM, están dentro de los rangos establecidos como objetivo. Es importante resaltar que el determinante que más influyó en el resultado del WQI, en términos de frecuencia fue Coliformes Fecales (50%), seguido de OD con el 9%.

Es preciso indicar que los OC para el tramo III son más flexibles en comparación con el tramo II, por lo cual se obtiene un cambio en la categoría de calidad de agua, pero no existe una diferencia significativa en los datos reportados para las estaciones Av. Ferrocarril y Av. Las Américas. La clasificación del tramo se categoriza como **Buena** con un valor WQI de 88.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	1	9%
DBO ₅	0	0%
DQO	0	0%
N _{Total}	0	0%
P _{Total}	0	0%
SST	0	0%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes Fecales	6	50%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	20,0
F2	6,4
nse	0,01
F3	0,87
WQI	88

Tabla 16. Río Fucha WQI - Tramo III

Para el tramo IV de este río hay tres puntos de monitoreo (Visión Colombia, Fucha Zona Franca y Fucha con Alameda), el cálculo del WQI se realizó con 215 datos, de los cuales 76 (35%) de los datos no alcanzaron los OC, por lo tanto, el valor de WQI obtenido fue de 49. (Tabla 17) y la calidad de agua de este tramo es **Marginal**.

Todos los puntos de monitoreo de este tramo presentaron para sus conjuntos de datos porcentajes de incumplimiento en ocho de los diez determinantes de la calidad del agua evaluados. El pH y el OD fueron los únicos determinantes que no presentaron incumplimiento del OC. Los determinantes de la calidad críticos fueron DQO y Nitrógeno Total debido a que más del 70 % de las mediciones presentaron incumplimiento del valor objetivo.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO ₅	10	45%
DQO	19	83%
N _{Total}	16	70%
P _{Total}	4	20%
SST	7	35%
Grasas y Aceites	4	19%

VARIABLES	VALOR
F1	80,0
F2	35,3
nse	0,15
F3	13,2
WQI	49

Coliformes Fecales	9	43%
pH	0	0%
SAAM	7	32%

Tabla 17. Río Fucha WQI - Tramo IV

Analizando gráficamente los datos para el río Fucha, en la Figura 7 se puede observar que los determinantes N_{Total} , DQO y Coliformes Fecales son los parámetros que más incumplen con los OC. Por su parte, el pH cumple en todos los tramos.

Para el Tramo I, la mayoría de los determinantes cumplen con los OC, excepto para N_{Total} y Coliformes Fecales que reporta cumplimiento de los datos con los OC hasta un 43% y 86% respectivamente. En el tramo II seis de los diez determinantes de calidad incumplieron en al menos una vez el valor objetivo, categorizándose como **Marginal** y reduciendo su calidad significativamente con respecto al tramo I.

Para el caso del tramo III dos (2) de diez (10) determinantes (OD y Coliformes Fecales) incumplieron el valor objetivo; mientras que en el Tramo IV ocho de los determinantes de calidad superaron el valor del objetivo de calidad.

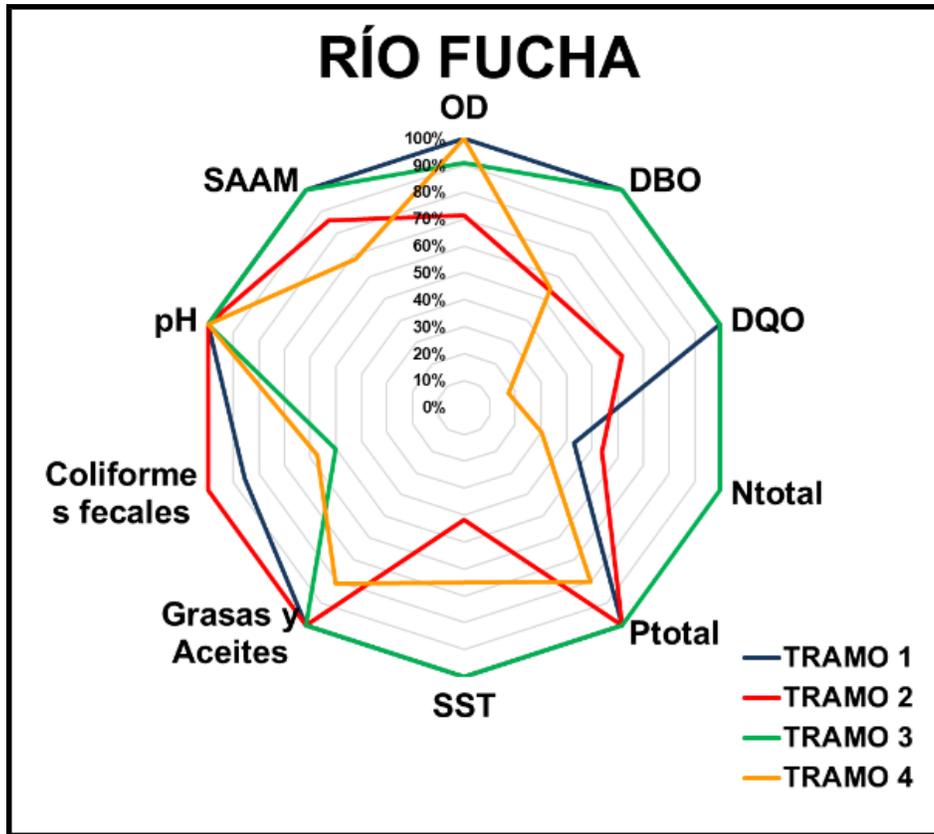


Figura 7. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del río Fucha

En la Imagen 5 se presentan los valores de WQI sobre el río Fucha obtenidos para el periodo 2019-2020. Allí se puede observar una diferencia significativa del valor del indicador al comparar el tramo II con respecto al tramo III. El Tramo IV por su parte presenta una calidad **Marginal**

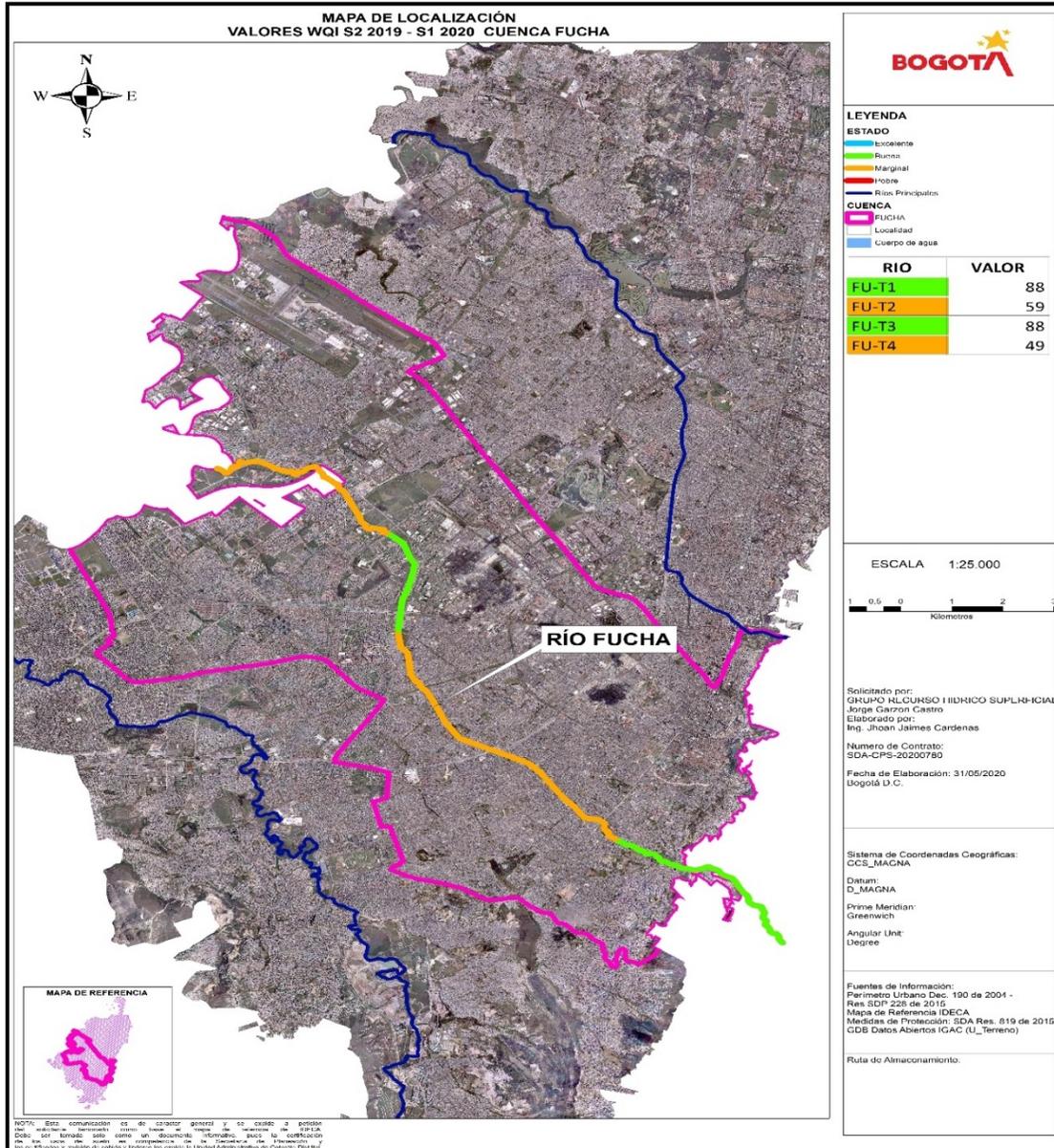


Imagen 5. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Fucha 2019-2020

3.4. RÍO TUNJUELO

En el río Tunjuelo, el índice de calidad, WQI, tiene una variación particular asociado con la regulación del caudal que se presenta en el primer tramo por la operación del embalse La Regadera, ejecutada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP.

El Río Tunjuelo cuenta con diez (10) estaciones de monitoreo o puntos que fueron caracterizados periódicamente conforme a lo señalado en la tabla 3. A partir del análisis estadístico de la información, se determinaron cincuenta y seis (61) valores atípicos que corresponden al 8,84% del número total de datos. Estos valores atípicos no fueron considerados para el cálculo del WQI.

En la figura 8 se observa que las estaciones Yomasa, Sbenito y México, fueron las estaciones de monitoreo con mayor número de valores atípicos con 13, 10 y 10 datos, respectivamente. Por último, el determinante con mayor número de *outliers* fue Coliformes Fecales (con 11 atípicos), cabe resaltar que la estación TU-Islapon no registró valores atípicos.

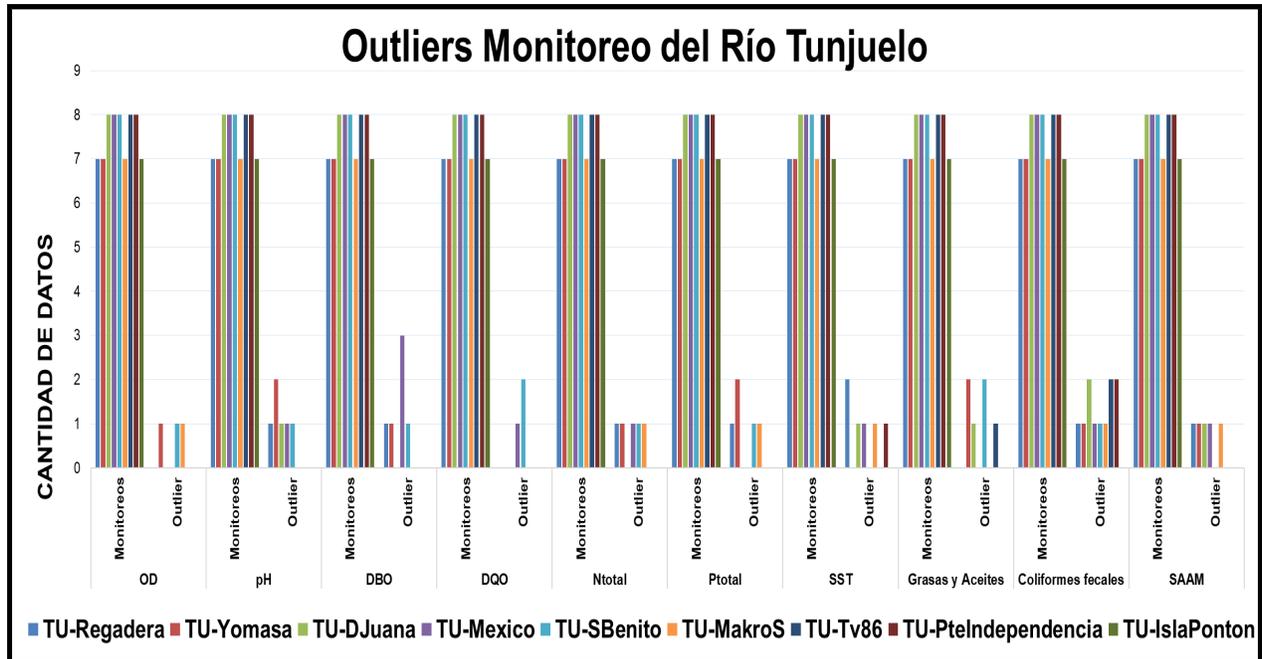


Figura 8. Cantidad de datos monitoreados y datos outliers en los puntos de monitoreo del río Tunjuelo

En el primer tramo del río Tunjuelo, se monitorearon dos puntos de estaciones (La Regadera y Universidad Antonio Nariño). Sin embargo, para el cálculo del WQI solo se considera el punto La Regadera que contó con un total de 61 datos validados de los cuales el 3.3% equivalente a dos (2) datos no alcanzaron el valor de referencia establecido como OC (ver Tabla 18) perteneciente a una variable (N_{Total}). El índice de calidad hídrica WQI obtuvo un valor de 94 categorizado con calidad **Buena**.

De acuerdo con los datos reportados para el periodo analizado, en el caso del N_{Total} la magnitud de la diferencia, por la cual se dio el incumplimiento, fue significativa, y en promedio superó la concentración objetivo (3 mg/L) en un 200% aproximadamente. Lo anterior se evidencia en el valor del factor de excursión y la variable F3. No obstante, la variable F1 tuvo mayor incidencia en el cálculo del WQI (Figura 9).

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO ₅	0	0%
DQO	0	0%
N _{Total}	2	33%
P _{Total}	0	0%
SST	0	0%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes Fecales	0	0%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	10,0
F2	3,3
nse	0,04
F3	3,6
WQI	94

Tabla 18. Río Tunjuelo WQI - Tramo I

En el Tramo II, los puntos de monitoreo corresponden a Yomasa y Doña Juana. Para el periodo analizado 2019-2020 el cálculo del WQI se realizó a partir de 141 datos validados, de los cuales 20 datos (14.18%) no alcanzaron el Objetivo. El índice de calidad hídrica WQI para este tramo obtuvo un valor de 69 y una categoría de **Regular**

Por otra parte, es importante aclarar que el incumplimiento de los OC se dio por los determinantes de Calidad DBO₅, DQO, N_{TOTAL}, SST y pH, es de resaltar que los 20 valores de incumplimiento se dieron en el conjunto de datos del punto de monitoreo Doña Juana. Por consiguiente, se puede establecer que el punto Doña Juana es un punto crítico de este tramo, la magnitud con la cual los valores superan los OC es alto, lo que se evidencia en el factor de excursión y el F3.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO ₅	4	27%
DQO	5	31%
N _{Total}	4	27%
P _{Total}	0	0%
SST	5	33%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes Fecales	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	50,0
F2	14,2
nse	0,16
F3	13,7
WQI	69

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
pH	2	17%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
-----------	-------

Tabla 19. Río Tunjuelo WQI - Tramo II

En el tramo III, se encuentran los puntos de monitoreo Doña Juana, Barrio México, San Benito y Makro Autopista Sur. Como resultado del proceso de detección de datos atípicos se determinaron como datos válidos un total de 277, de los cuales 47 datos no alcanzaron el valor objetivo, lo que corresponde al 17%. De igual manera, 8 de los 10 determinantes no cumplieron con los OC. Ver tabla 20.

Es así como el aporte de incumplimiento de cada una de las estaciones de control se da de la siguiente manera, para Doña Juana se establece el 7% con 20 datos, Barrio México el 1% con 4 datos, San Benito el 3% con 9 datos y Makro el 5% con 14 datos.

Por otra parte, para el caso de los determinantes OD, DQO y N_{Total} el incumplimiento es del 45%, 29% y 29%, respectivamente. La diferencia se encuentra marcada por los determinantes P_{Total} SAAM que no presentó incumplimiento a los OC en las 4 estaciones.

Por lo anterior, el indicador WQI para el periodo analizado en este tramo presenta un valor de 52, reportado en la categoría como **Marginal**.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	14	48%
DBO ₅	4	15%
DQO	9	32%
N_{Total}	9	32%
P_{Total}	0	0%
SST	5	18%
Grasas y Aceites	2	7%
Coliformes Fecales	2	8%
pH	2	8%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	80,0
F2	17,0
nse	0,1
F3	9,4
WQI	52

Tabla 20. Río Tunjuelo WQI - Tramo III

Por último, el tramo IV está conformado por cuatro puntos de monitoreo Makro Autopista Sur, Transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José. De los 287 valores para ser analizados el 20.9% que corresponde a 60 datos excedieron los OC (ver Tabla 21 y Figura 9). En este tramo, los Coliformes Fecales aumentaron considerablemente respecto a los tramos anteriores con un 36% de los datos por encima del OC, esto debido a las descargas de origen doméstico que se realizan en este tramo y a lo cual se identifican 65 puntos de vertimiento incluidos el Interceptor Tunjuelo Medio y las estaciones de bombeo Cartagenita, Xochimilco, Grancolobiano y La Isla.

Otros determinantes que influyeron en la clasificación del WQI fueron OD 41%, N_{Total} y SAAM 24% y DQO con el 27% de incumplimiento, ahora bien, el pH es el único parámetro que cumplió con el OC; los determinantes P_{Total} y SST son los que menor incumplimiento tienen con un porcentaje de 3 %. En definitiva, el tramo IV del río Tunjuelo, presenta un índice de calidad hídrica WQI con valor de 47 y con una categoría de **Marginal**.

DETERMINANTE DE LA CALIDAD	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	12	41%
DBO ₅	7	23%
DQO	8	27%
N_{Total}	7	24%
P_{Total}	3	10%
SST	3	11%
Grasas y Aceites	4	14%
Coliformes Fecales	9	36%
pH	0	0%
SAAM	7	24%

VARIABLES	VALOR
F1	90,0
F2	20,9
nse	0,1
F3	7,5
WQI	46

Tabla 21. Río Tunjuelo WQI - Tramo IV

En el análisis gráfico de la Figura 9, se puede evidenciar el cumplimiento de los OC para los datos obtenidos en cada determinante en los diferentes tramos.

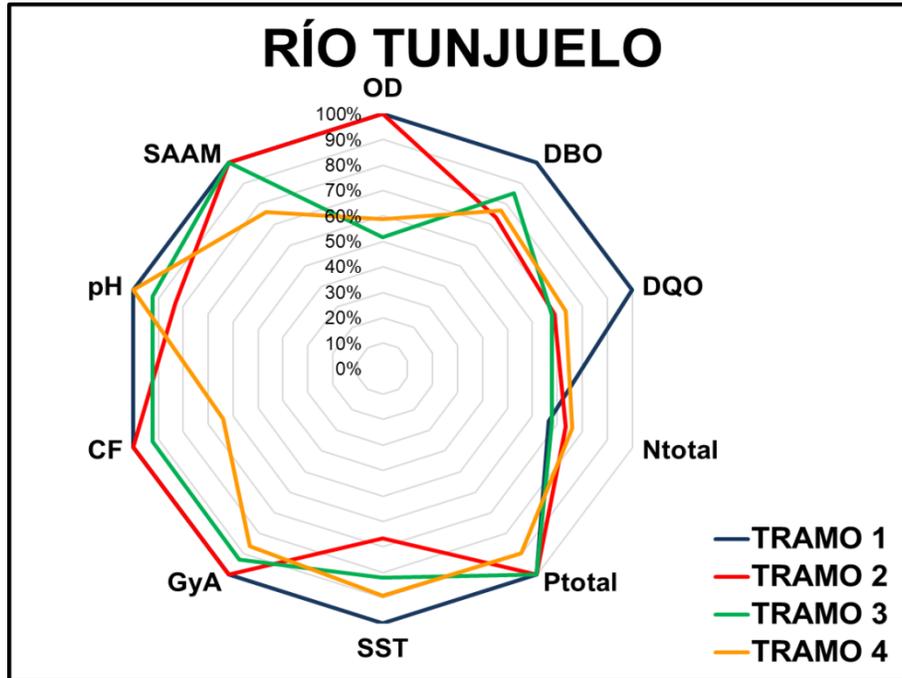


Figura 9. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del Río Tunjuelo

Se presenta la (Imagen 6) con los indicadores WQI para los tramos del río Tunjuelo y sus respectivas condiciones, se observa el cambio de la calidad del agua una vez va descendiendo desde la parte alta hasta su desembocadura presentada durante el periodo 2019-2020.

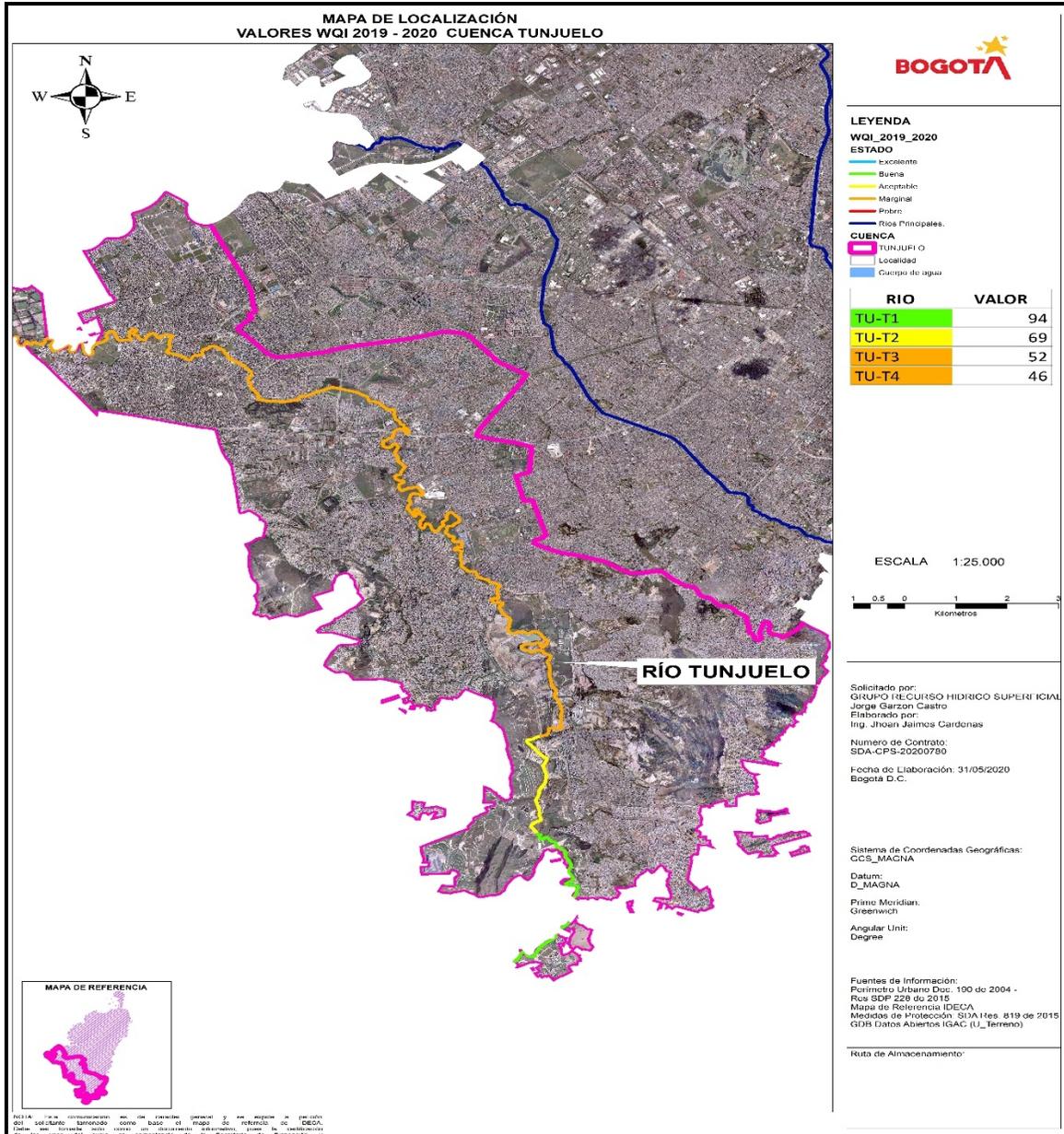


Imagen 6. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Tunjuelo 2019-2020

3.5. EVOLUCIÓN DEL WQI EN EL PERIODO 2014 A 2019-2020

A continuación, se realiza el análisis consolidado de resultados para los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo. En la tabla 22 se muestra los valores consolidados del indicador WQI evaluado para los periodos 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020, así como su clasificación para cada uno los tramos que conforman los ríos de la RCHB.

Río Torca

El tramo I del río Torca en el periodo comprendido 2019-2020 cambió su calidad WQI de 100 **Excelente** a 94 **Buena** respecto al periodo anterior. Por otra parte, la calidad del agua en el tramo II conservó su categoría como **Buena** en comparación con el periodo 2018-2019, sin embargo, presenta una mejora significativa con respecto a la establecida como línea base que está determinada como **Aceptable**.

Río Salitre

En el tramo I el valor del WQI aumentó, sin embargo, no se presentó cambios en su categoría ya que estos valores se encuentran dentro del rango de [80 - 94] que corresponde a una categoría **Buena**, esto debido al aumento en el cumplimiento de los OC. A su vez mantiene la clasificación en **Buena** que está definida como línea base desde 2014. El Tramo II aumentó su categoría respecto al periodo 2018-2019, estableciéndose como **Excelente**. Por otra parte, el Tramo III, conservó constante el indicador en la categoría de **Marginal**, pero se diferencia del periodo anterior 2018-2019 por un incremento de 7 puntos en el valor del indicador. Finalmente, el tramo IV presentó una desmejora de 1 punto, obteniendo un valor WQI de 44 y por ende cambiando su clasificación de **Marginal** en 2018-2019 a **Pobre** para el presente periodo.

Río Fucha

En el tramo I del río Fucha se mantuvo la condición WQI en **Buena**, se observa una disminución en el valor del WQI de 6 puntos con respecto al periodo 2018-2019, sin embargo, comparando con la línea base definida en el 2014 se mantiene la calidad como **Buena**. El tramo II se mantuvo en su categoría **Marginal** con respecto al periodo anterior, con un incremento de 3 puntos en su valor, se observa la mejoría con respecto a la línea base definida para el periodo 2014 pasando

de **Pobre a Marginal**. El tramo III tuvo un comportamiento de crecimiento con relación al periodo anterior, la magnitud del indicador se incrementó en 6 puntos, manteniendo su categoría como **Buena**, lo que a su vez refleja un aumento con lo determinado en el periodo establecido como línea base (2014-2015) en el que la categoría era **Pobre**. El Tramo IV presentó un cambio en su categoría respecto al periodo anterior 2018-2019, pasando de **Pobre a Marginal**. Cabe resaltar que si bien se refleja una tendiente mejora en los valores y clasificación del WQI, es necesario dar continuidad al seguimiento a las actividades de control asociadas con los puntos de vertimiento de aguas residuales que hacen parte del sistema de alcantarillado público de la ciudad.

Río Tunjuelo

Para el Tramo I, el índice de calidad hídrica WQI para el periodo 2019-2020 fue **Buena**, presentando la misma condición que el periodo anterior, sin embargo, se evidencia incremento de 9 unidades en el valor del indicador. Respecto al WQI reportado en el 2014-2015 se presenta una condición favorable teniendo en cuenta que la categoría del índice era **Aceptable**. Con relación al periodo 2018-2019, el valor obtenido de WQI para el Tramo II aumentó su categoría pasando de **Marginal a Aceptable**, dada por un incremento de 51 a 69 puntos. Adicionalmente, se mantiene la mejora con respecto al periodo 2014- 2015 donde se tenía una categoría **Pobre**.

En cuanto al tramo III se observa un incremento en la categoría con respecto al periodo 2018-2019 pasando de **Pobre a Marginal**, presentando un aumento de 10 puntos en el valor del WQI, y a su vez con el periodo base de 2014-2015. Finalmente, para el tramo IV, la clasificación WQI para el periodo 2019-2020 es **Marginal** manteniéndose igual respecto al periodo anterior, sin embargo, se evidencia una evolución en la categoría respecto a la línea base (2014-2015), donde se tenía una calidad **Pobre**.

	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2018-2020
	VALOR WQI					
Río Torca						
1	94	88	100	100	100	94
2	75	82	88	70	94	82
Río Salitre						

Excelente	95 ≤WQI<100
Buena	80≤ WQI≤94
Regular	65≤WQI≤79
Marginal	45 ≤WQI ≤64

Pobre 0 < WQI < 44

TRAMO	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2018-2020
	VALOR WQI					
1	83	100	87	94	88	93
2	88	100	94	82	94	100
3	45	47	53	45	45	52
4	37	37	52	41	45	44
Río Fucha						
1	94	82	88	82	94	88
2	29	36	48	27	56	59
3	44	59	76	68	82	88
4	32	44	43	38	44	49
Río Tunjuelo						
1	69	80	81	82	85	94
2	40	80	69	71	51	69
3	33	47	59	43	42	52
4	40	44	53	39	45	46

Tabla 22. Comparación WQI anual dinámico entre los periodos 2014-2015 (línea base), 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020.

3.6. EVOLUCION TEMPORAL DE LA LONGITUD DE LOS RÍOS CLASIFICADOS SEGÚN EL WQI

Es importante determinar la longitud de las zonas de los ríos que presentan condiciones iguales o superiores a un estado Aceptable ($\geq 65-79$) según la evolución del WQI en los ríos de la RCHB. Además, dentro de las metas del *Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para Bogotá D.C. 2016-2020 "Bogotá Mejor Para todos"* (Acuerdo No. 645 de fecha de publicación y vigencia 9 de junio de 2016), el concejo de la ciudad, en uso de sus atribuciones constitucionales y legales, estableció la meta "Mantener 20,12 km y adicionar 10,00 km de ríos en el área urbana del Distrito con calidad de agua aceptable o superior (WQI >65 de 20 a 30 Km).

En cumplimiento a la meta mencionada, se formuló el siguiente indicador "Número de km de ríos urbanos con índice de calidad hídrica WQI ≥ 80 " como se muestra en la Tabla 23 y la Figura 10, para el actual periodo el número de kilómetros de río con WQI mayor a 80 se mantuvo en

comparación con el periodo anterior 2018-2019, sin embargo, se observa un aumento de 11,30 kilómetros respecto a los reportados en el periodo 2014-2015.

RANGO		2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
		LONGITUD (km)					
95 ≤ WQI < 100	Excelente	0,00	3,62	5,96	5,96	5,96	2,31
80 ≤ WQI ≤ 94	Buena	11,55	20,60	14,16	7,05	16,90	20,55
TOTAL, km WQI ≥ 80		11,55	24,21	20,12	13,01	22,85	22,85

Tabla 233. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2019-2020 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI ≥ 80 (Buena)

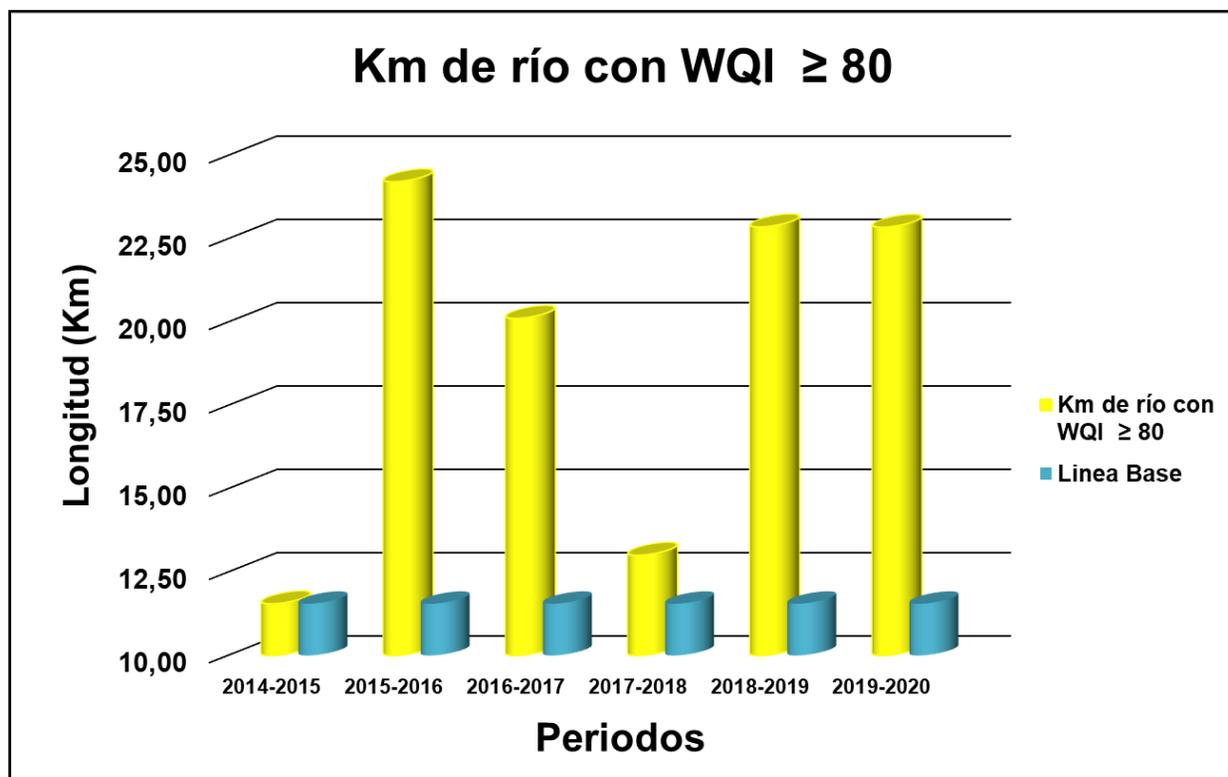


Figura 10. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2019-2020 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI \geq 80 unidades (Buena)

En cuanto al indicador “Kilómetros de río urbano con índice de calidad hídrica WQI $>$ 65 o superior”, se tiene que para el periodo 2019-2020 la longitud de kilómetros río con valores de WQI superiores o iguales a 65 unidades aumentó 4,10 km con la reportada en el periodo directamente anterior 2018-2019. No obstante, al comparar los km reportados en el periodo 2014-2015 se tiene un aumento de 6,84 km, teniendo a la fecha un total de km de río con WQI $>$ 65 de **26.95** (Ver Tabla 24 y Figura 11).

RANGO		2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
		LONGITUD (km)					
95 \leq WQI $<$ 100	Excelente	0	3,62	5,96	5,96	5,96	2,31
80 \leq WQI \leq 94	Buena	11,6	20,60	14,16	7,05	16,90	20,55
65 \leq WQI \leq 79	Aceptable	8,6	0	6,84	13,94	0,00	4,10
TOTAL, km WQI \geq 65		20,12	24,21	26,95	26,95	22,85	26,95

Tabla 244. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2019-2020 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI \geq 65

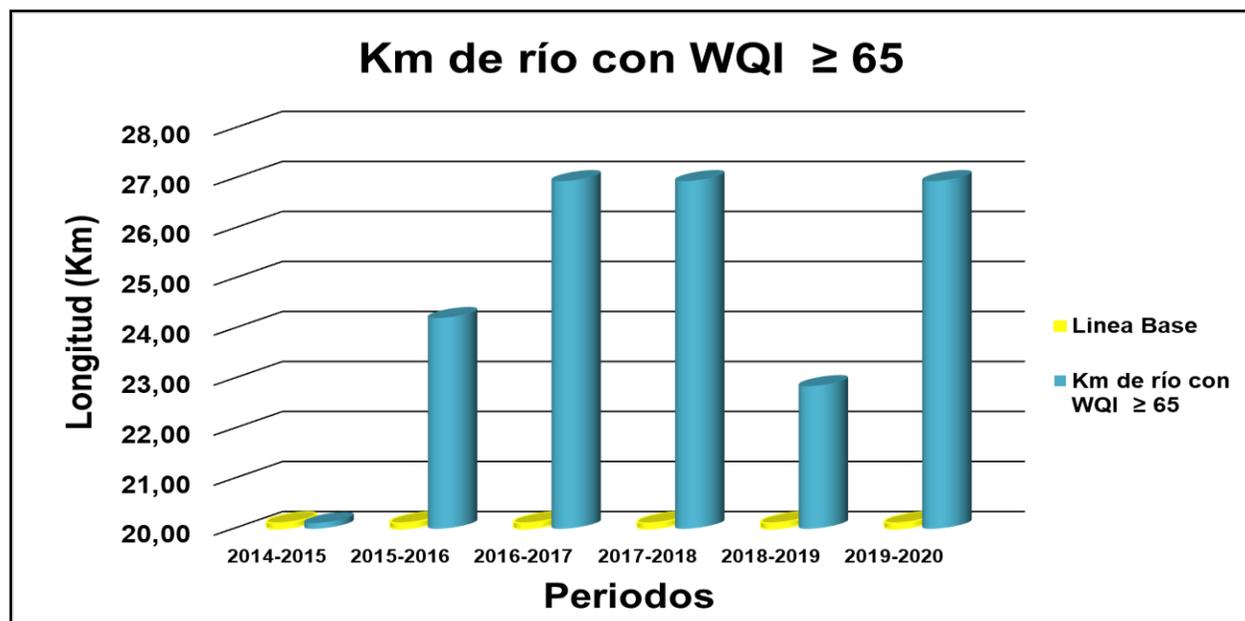


Figura 11. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2019-2020 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI \geq 65 unidades (Aceptable).

4. CONCLUSIONES

Para el río Torca, la calidad del agua en el tramo I, para el periodo evaluado fue **Buena** lo que muestra un avance en la calidad respecto a lo determinado durante el periodo 2014-2015 utilizado como línea base. En el caso del tramo II del río Torca, se conserva la categoría en **Buena** respecto al periodo 2018-2019. Sin embargo, se evidencia que el determinante con mayor impacto en la calidad hídrica del tramo II del río Torca, es Coliformes Fecales los cuales se asocian principalmente a las descargas de aguas residuales domésticas generadas por la problemática de conexiones erradas presentes en el área aferente al canal y en menor proporción a la inexistencia de un sistema de alcantarillado para la parte baja de la cuenca (desde Jardines de Paz hasta la desembocadura al río Bogotá). Es de resaltar que con respecto a la línea base (2014-2015) el tramo II del río Torca presenta una mejora en la categoría de la calidad del agua.

Con respecto al río Salitre, en el Tramo I se obtuvo un valor del índice de calidad hídrica de 93 categorizada como **Buena**, comparativamente igual a la del periodo 2018-2019. Por su parte, la categorización del WQI para el Tramo II fue **Excelente**, mejorando considerablemente su clasificación respecto al periodo anterior y al periodo establecido como línea base.

En cuanto al tramo III el porcentaje de datos que incumplen los OC, evidencia la afectación de las descargas de aguas residuales provenientes de las estructuras de alivio del sistema de alcantarillado combinado localizadas en este tramo del río. La cantidad de determinantes que incumplen los OC y la frecuencia de incumplimiento de estos son las dos variables que más pesan en el valor del WQI representado en una categoría **Marginal**, la cual no presentó una variación con relación a la del periodo 2018-2019 y a la establecida como línea base en el 2014-2015.

El tramo IV del río Salitre presentó un WQI de 44 y, por ende, una clasificación **Pobre**. Los determinantes de calidad que presentaron una mayor frecuencia de incumplimiento en los OC, fueron Oxígeno Disuelto y tensoactivos, con porcentajes superiores al 50%.

Respecto al río Fucha, la calidad del agua del primer tramo está en una categoría **Buena**, situación contraria a lo obtenido en el tramo II del río, en el cual persiste la problemática asociada con los vertimientos procedentes del sistema de alcantarillado combinado de la ciudad, las condiciones del agua cambian dramáticamente, lo que se refleja en el valor del WQI (59) y una categoría **Marginal**. En el tramo III se presenta, que el 93.6% de los valores obtenidos, relacionados con los determinantes DBO_5 , DQO, N_{Total} , P_{Total} , SST, GyA, pH, y SAAM, están dentro de los rangos establecidos como objetivo. Es importante resaltar que el determinante que más influyó en el resultado del WQI, en términos de frecuencia fue Coliformes Fecales (50%), seguido de OD con el 9%. La clasificación del tramo se registra como **Buena** con un valor de WQI de 88.

Ahora bien, para el Tramo IV del río Fucha el 35,3% del conjunto de datos analizados no alcanzaron los OC. En relación con el periodo 2018-2019, mejora su clasificación a **Marginal**. Sin embargo, la condición de calidad del tramo está determinada por las descargas de los interceptores asociados al sistema alcantarillado sanitario de la ciudad, lo cual repercute directamente en el valor obtenido de WQI (49).

En cuanto a la calidad del río Tunjuelo, para el tramo I permaneció igual, ya que mantuvo la clasificación en **Buena** con un valor WQI de 94. El determinante de la calidad que influyó en el incumplimiento de los objetivos de calidad en este tramo fue el N_{Total} . En su evolución temporal se evidencia el incremento en la calidad con relación a los años 2014-2015 (línea base).

Si bien para el Tramo II se presenta una mejora en su clasificación pasando de **Marginal** a **Aceptable**, con un valor de WQI de 69, el punto de Doña Juana sigue siendo crítico en este tramo, la frecuencia con la cual los datos reportados incumplen los objetivos y la magnitud con la cual superan tales valores es alta, principalmente los determinantes SST, DQO, DBO y N_{TOTAL} , son aquellos que presentan un mayor incumplimiento. No obstante, se denota el incremento progresivo de la calidad en relación con el periodo 2014-2015 que fue **Pobre**.

En el tramo III, para las cuatro estaciones 3 de los 10 determinantes evaluados (OD, DQO y N_{TOTAL}) incumplieron con más del 30% de los datos siendo el más crítico el OD con 14 datos equivalente al 48% de incumplimiento. En el caso de la estación Doña Juana, la relación del número de determinantes que incumplieron los objetivos fue 5/10, teniendo en cuenta los datos obtenidos se presenta un cambio con respecto al periodo 2018-2019, mejorando la categoría de calidad de agua a **Marginal** con un valor del WQI de 52.

En el último tramo del río Tunjuelo, la calidad del río se catalogó en **Marginal** conservando la calidad respecto a lo reportado para el periodo 2018-2019 y superando la condición determinada durante el periodo establecido como línea base 2014-2015.

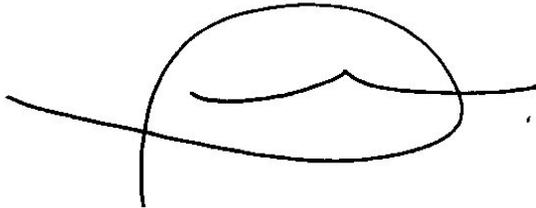
En términos generales los principales ríos de Bogotá presentan una evolución en la calidad del agua, que se hace evidente con el avance que se tiene respecto al periodo 2014-2015. Sin embargo, resulta fundamental para la ciudad y la región avanzar en la planificación, la generación de conocimiento, la gestión de la información, la gobernabilidad y la apropiación del recurso hídrico como eje estructural de la sociedad, para que exista una mejora significativa en las condiciones de calidad de los ríos urbanos.

5. REFERENCIAS

- Acuerdo No. 645 del 9 de junio de 2016. *Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para Bogotá D.C. 2016-2020 “Bogotá Mejor Para todos”*. Concejo de Bogotá.
- Calidad del sistema hídrico de Bogotá (CSHB), 2008. Primera Edición. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana: Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- Chen M. S., Han J., y Yu P.S. (1996). “Data mining: an overview from a database perspective”, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-ESP (EAAB-ESP), 2006. PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO (Documento Técnico Soporte). Agosto, Bogotá D.C., Colombia.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., y Smyth, P. (1996) “Knowledge discovery and data mining: Towards a unifying framework” in Discovery and Data Mining. Portland, OR, Proc. 2nd Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 82–88.
- Grupo de Recurso Hídrico Superficial (GRHS), 2017. Subdirección de Recurso Hídrico y del Suelo, Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá D.C., Colombia.
- Iglewicz B., and Hoaglin D. (1993). How to detect and handle outliers. ASQC Quality Press.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS, 2014. Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCAS. Bogotá, Colombia.

Observatorio Ambiental de Bogotá (OAB), 2017. Portal Web de la Secretaría Distrital de Ambiente [en línea]. Consulta 30 de noviembre de 2017. Disponible en <http://www.oab.ambientebogota.gov.co/>.

Seo, S. (2006) A review and comparison of methods for detecting *outliers* in univariate data sets.
Acuña, E. y Rodríguez, C. (2004). On Detection Of *Outliers* And Their Effect In Supervised Classification.



DIANA ANDREA CABRERA TIBAQUIRA
SUBDIRECCIÓN DE RECURSO HIDRICO Y DEL SUELO

Elaboró:

JORGE GARZON CASTRO	C.C: 79695975	T.P: N/A	CPS: FUNCIONARIO	FECHA EJECUCION:	31/05/2020
---------------------	---------------	----------	------------------	------------------	------------

Revisó:

DAVID FELIPE PEREZ SERNA	C.C: 80073805	T.P: N/A	CPS: CONTRATO 20200687 DE 2020	FECHA EJECUCION:	31/05/2020
--------------------------	---------------	----------	--------------------------------	------------------	------------

Aprobó:

Firmó:

DIANA ANDREA CABRERA TIBAQUIRA	C.C: 40612921	T.P: N/A	CPS: FUNCIONARIO	FECHA EJECUCION:	31/05/2020
--------------------------------	---------------	----------	------------------	------------------	------------