

## SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe Técnico No. 02431, 22 de diciembre del 2019

# ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA - WQI 2018-2019 RED DE CALIDAD HÍDRICA TRADICIONAL DE BOGOTÁ



Río Tunjuelo, estación de monitoreo TU-Regader (GRHS, 2018-2019)

**2018-2019**

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

Página 1 de 57



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

# ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA - WQI 2018-2019 RED DE CALIDAD HÍDRICA TRADICIONAL DE BOGOTÁ

**ELABORÓ:**

**JORGE GARZÓN CASTRO**  
Grupo Recurso Hídrico Superficial

**APOYÓ:**

**FERNANDO ARTURO ANGARITA DAZA**  
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 57

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

**BOGOTÁ  
MEJOR  
PARA TODOS**



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>9</b>
2.1. MONITOREOS DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN LOS PUNTOS DE LA RCHB	9
2.2. METODOLOGÍA PARA VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS	13
2.2.1. FORMA DE IMPLEMENTAR EL BOX-PLOT EN LOS DATOS DE LA RCHB-T	15
2.3. PROCESO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA – WQI	16
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>20</b>
3.1. RÍO TORCA	23
3.2. RÍO SALITRE	27
3.3. RÍO FUCHA	34
3.4. RÍO TUNJUELO	41
3.5. EVOLUCIÓN DEL WQI EN EL PERIODO 2014 A 2018-2019	48
3.6. EVOLUCION TEMPORAL DE LA LONGITUD DE LOS RÍOS CLASIFICADOS SEGÚN EL WQI	50
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>5. REFERENCIAS</b>	<b>56</b>



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
DBO <sub>5</sub>	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 <sub>T</sub> - N <sub>Total</sub>	Nitrógeno Total (NT Kjeldahl + NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> )
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 <sub>T</sub> - P <sub>Total</sub>	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)



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

## ÍNDICE IMÁGENES

Imagen 1. Localización geográfica de puntos de monitoreo de la RCHB-T de Bogotá.....	11
Imagen 2. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en los principales ríos de la ciudad para el periodo 2018-2019 .....	22
Imagen 3. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Torca 2018-2019. ....	26
Imagen 4. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Salitre 2018-2019 .....	33
Imagen 5. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Fucha 2018-2019 .....	40
Imagen 6. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Tunjuelo 2018-2019 .....	47



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Box-Plot o diagrama de caja .....	15
<b>Figura 2. Cantidad de datos validados y datos outliers en los tramos de monitoreo del río Torca.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del río Torca .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 4. Cantidad de datos validados y datos outliers en los tramos de monitoreo del río Salitre .....</b>	<b>27</b>
Figura 5. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del Río Salitre.....	32
<b>Figura 6. Cantidad de datos monitoreados y datos outliers en los puntos de monitoreo del río Fucha.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 7. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del río Fucha.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 8. Cantidad de datos monitoreados y datos outliers en los puntos de monitoreo del río Tunjuelo .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 9. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del Río Tunjuelo .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 10. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2018-2019 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI <math>\geq</math> 80 unidades (Buena) .....</b>	<b>51</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de los puntos de monitoreo	10
Tabla 2. Clasificación de los determinantes de la calidad del agua medidos in-situ y en laboratorio	10
Tabla 3. Cantidad de monitoreos realizados en cada punto de la RCHB-T durante el periodo 2018-2019	13
Tabla 4. División de los tramos de los ríos de Bogotá, (Resolución 5731 de 2018)	17
Tabla 5. OC a cuatro años para los tramos del canal Torca y Salitre (Resolución 5731 de 2018)	18
Tabla 6. OC a cuatro años para los tramos del río Fucha y río Tunjuelo (Resolución 5731 de 2008)	18
Tabla 7. Categorización, clasificación y caracterización de los rangos del WQI	20
Tabla 8. Río Torca WQI-Tramo I	24
Tabla 9. Río Torca WQI-Tramo II	24
Tabla 10. Río Salitre WQI-Tramo I	28
Tabla 11. Río Salitre WQI-Tramo II	29
Tabla 12. Río Salitre WQI- Tramo III	30
Tabla 13. Río Salitre WQI - Tramo IV	31
Tabla 14. Río Fucha WQI - Tramo I	35
Tabla 15. Río Fucha WQI - Tramo II	36
Tabla 16. Río Fucha WQI - Tramo III	37
Tabla 17. Río Fucha WQI - Tramo IV	38
Tabla 18. Río Tunjuelo WQI - Tramo I	42
Tabla 19. Río Tunjuelo WQI - Tramo II	43
Tabla 20. Río Tunjuelo WQI - Tramo III	44
Tabla 21. Río Tunjuelo WQI - Tramo IV	45
Tabla 22. Comparación WQI anual dinámico entre los periodos 2014-2015 (línea base), 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2018-2019	50
Tabla 23. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2018-2019 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI $\geq$ 80 (Buena)	51
Tabla 24. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2018-2019 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI $\geq$ 65	52

# 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 expuesto anteriormente y conforme a la meta Plan de Desarrollo Distrital “Bogotá Mejor para Todos” 2016-2020 - Acuerdo 645 de 2016, se planteó la meta “*Generar información y conocimiento sobre el estado de los recursos Hídrico, Aire Ruido y calidad a los ciudadanos del D. C.*”, cuyo cumplimiento está bajo la responsabilidad de la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA y de manera particular en la Dirección de Control Ambiental – DCA.

Para desempeñar sus responsabilidades misionales y cumplir con dicho Plan, se formuló la meta “*Generar 4 Informes anualizados de calidad hídrica superficial resultado de la operación*”, del proyecto 978; por lo que 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

Página 8 de 57



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 entre el segundo semestre de 2018 (2018-II) y el primer semestre de 2019 (2019-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 2018-II a 2019-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 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 actualmente las estaciones de monitoreo se distribuyen así:



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**

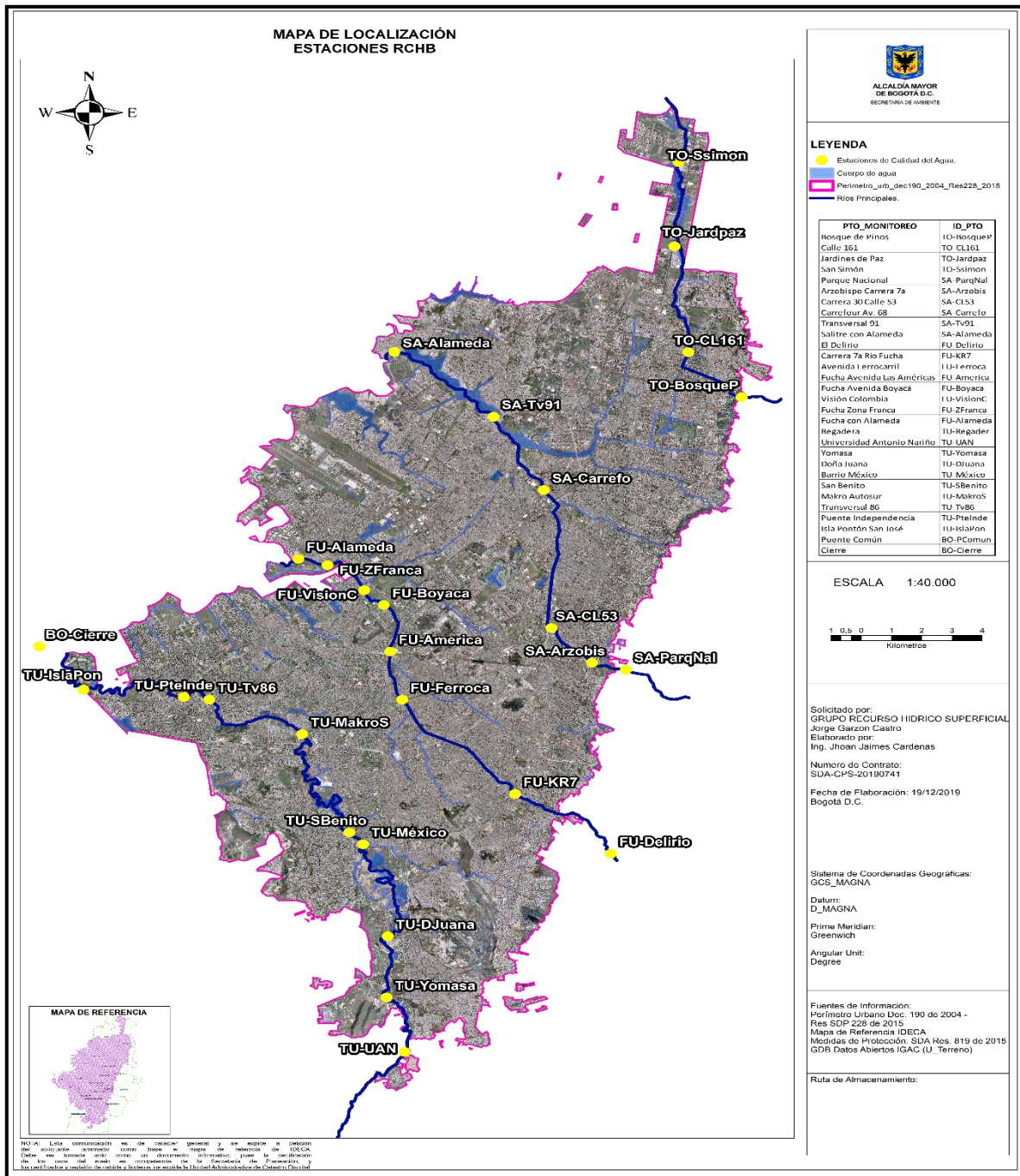
Durante la operación de la RCHB-T, se tomaron muestras compuestas de agua superficial durante ventanas temporales de dos horas con alícuotas cada treinta minutos, durante jornadas entre las 06:00 y las 18:00 horas. Durante los monitoreos se realiza la toma de datos de campo *in situ* en las muestras 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 <i>in situ</i>	VARIABLES para determinación de Caudal, pH, Temperatura, Conductividad y Oxígeno Disuelto
Análisis de laboratorio	DBO <sub>5</sub> , DQO, SST, Coliformes Fecales, Grasas y Aceites, P <sub>total</sub> , N <sub>total</sub> (Kjeldahl, Nitratos, Nitritos) y Tensoactivos (SAAM).

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



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE



**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 2018-II y 2019-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 AUTONOMA 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- SECOPII- 712018 de 2018, estos laboratorios adelantaron la toma de muestras, medición y análisis de laboratorio acorde a la acreditación 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 primer semestre de (2018-2019). A partir de esto, se monitoreó cada estación de la RCHB-T en las diferentes ventanas bihoraria (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
<b>(TO) TORCA</b>	Bosque de Pinos	TO-BosqueP	6
	Calle 161	TO-CL161	6
	Jardines de Paz	TO-Jardpaz	6
	San Simón	TO-Ssimon	6
<b>(SA) SALITRE</b>	Parque Nacional	SA-ParqNal	6
	Arzobispo Carrera 7a	SA-Arzobis	6
	Carrera 30 Calle 53	SA-CL53	6
	Carrefour Av. 68	SA-Carrefo	6
	Transversal 91	SA-Tv91	6
	Salitre con Alameda	SA-Alameda	6
<b>(FU) FUCHA</b>	El Delirio	FU-Delirio	6
	Carrera 7a Río Fucha	FU-KR7	6
	Avenida Ferrocarril	FU-Ferroca	6



RÍO	PUNTO DE MONITOREO	IDENTIFICACIÓN PUNTO DE MONITOREO	TOTAL MONITOREOS
	Fucha Avenida Las Américas	FU-America	6
	Fucha Avenida Boyacá	FU-Boyaca	6
	Visión Colombia	FU-VisionC	6
	Fucha Zona Franca	FU-ZFranca	6
	Fucha con Alameda	FU-Alameda	6
(TU) TUNJUELO	Regadera	TU-Regader	6
	Universidad Antonio Nariño	TU-UAN	6
	Yomasa	TU-Yomasa	5
	Doña Juana	TU-DJuana	6
	Barrio México	TU-México	6
	San Benito	TU-SBenito	6
	Makro Autosur	TU-MakroS	6
	Transversal 86	TU-Tv86	6
	Puente Independencia	TU-PteInde	6
Isla Pontón San José	TU-IslaPon	6	
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 2018-2019

## 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  $n$  observaciones de una variable  $x$ , 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),  $(\bar{x} - kS, \bar{x} + kS)$  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 % ó 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:  $(x - \bar{x})/S > k$  (Acuña y Rodríguez, 2004).

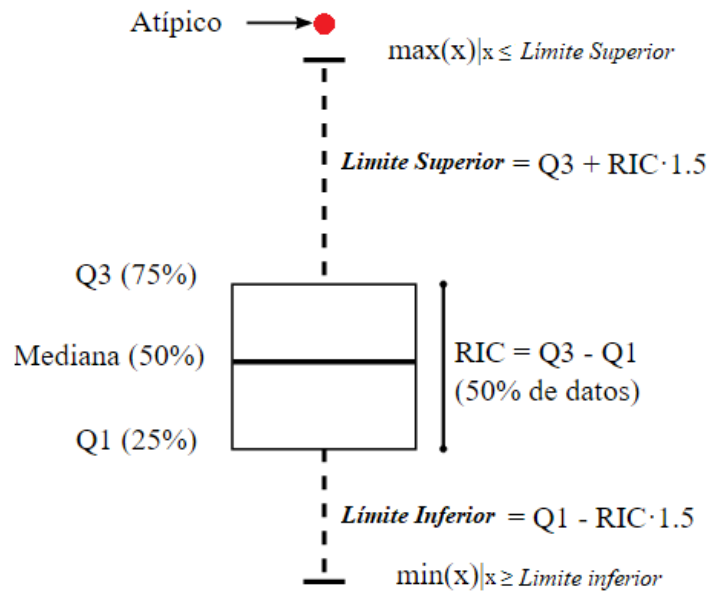
El problema del método anterior es que asume la distribución normal de la información, esperando formas de campana y simetría razonable en los datos, que con frecuencia es algo que no ocurre. Además, la media y desviación estándar son muy sensibles a los valores atípicos de magnitudes significativas (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 **Error! Reference source not found.2**). 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  $(Q_1 - 1.5 \cdot \text{RIC}, Q_3 + 1.5 \cdot \text{RIC})$ , donde  $Q_1$  es el primer cuartil,  $Q_3$  es el tercer cuartil y RIC recibe el nombre de Rango Intercuartílico (en inglés *Interquartil Range* ó *IQR*) calculado como  $Q_3 - Q_1$  (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 bihorario, 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 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, en marcados 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 <sup>a</sup>
	2	Carrera 7 <sup>a</sup>	Carrera 30
	3	Carrera 30	Avenida 68
	4	Avenida 68	Desembocadura Río Juan Amarillo
FUCHA (FU)	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7 <sup>a</sup>
	2	Carrera 7 <sup>a</sup>	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 2018)**

De acuerdo con la definición de los tramos en el Artículo 3 de la Resolución 5731 de 2008 se determinaron los valores de las concentraciones para los siguientes determinantes de calidad del agua: se determinaron los valores de las concentraciones para los siguientes determinantes de calidad del agua: Oxígeno Disuelto (OD), pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Coliformes Fecales (CF), Grasas y Aceites (GyA), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Tensoactivos (SAAM), Nitritos, Nitratos, Kjeldahl, Nitrógeno Total (N<sub>TOTAL</sub>) y Fósforo Total (P<sub>TOTAL</sub>), 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	6.0	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
DBO5	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
Col_fe	NMP/1000 ml	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06
NTOTAL	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 2018)**

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
DBO5	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
Col_fe	NMP/1000 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
NTOTAL	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 la 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:

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

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:

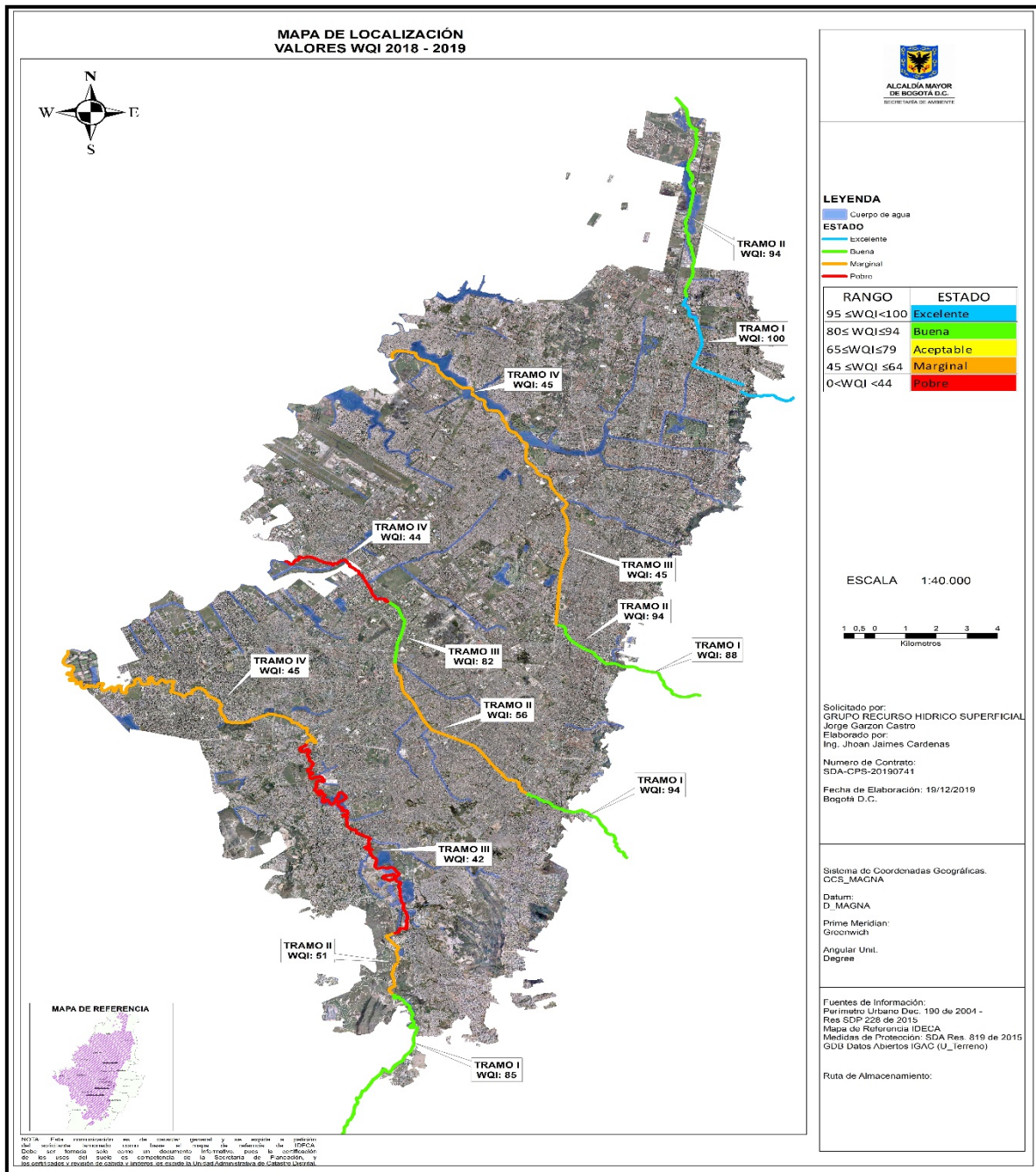
En las figuras 2, 4, 6 y 8 se presenta la relación entre la cantidad de datos que fueron catalogados como *outliers*, y la cantidad de datos monitoreados por cada punto de la RCHB-T durante el periodo analizado para cada uno de los determinantes de calidad de agua.

Las tablas 8 a la 21 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 y F3 (ver numeral 2.3) empleadas en el cálculo del indicador WQI, y finalmente el valor de este indicador.

Las figuras 3, 5, 7 y 9, tipo radar, representan el porcentaje de cumplimiento con respecto al OC por determinante de la calidad del agua y para cada tramo del río analizado. Por último, en las imágenes 3 a 6 se presenta espacialmente por medio de mapas, el valor del indicador WQI por cada uno tramos asociados a los ríos del Distrito Capital.



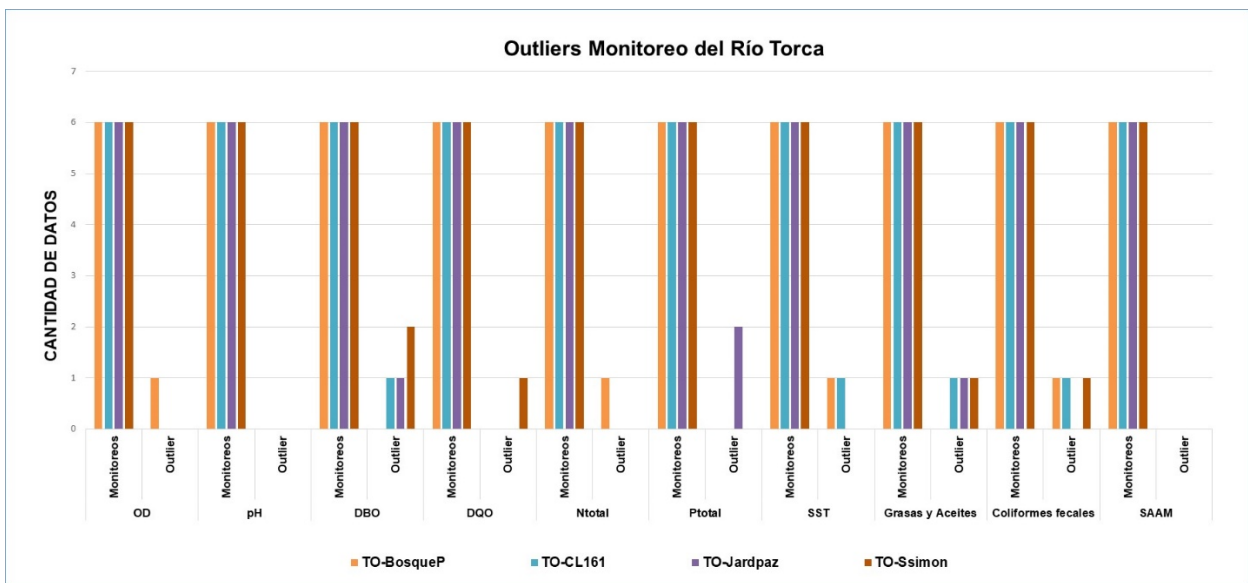
ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE



**Imagen 2. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en los principales ríos de la ciudad para el periodo 2018-2019**

### 3.1. RÍO TORCA

En el río Torca se realizaron seis monitoreos en cada una de las 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. Allí se evidencia los puntos de monitoreo que presentaron por lo menos 1 *outlier*. Los determinantes que no presentaron *outlier* fueron el pH y SAAM.



**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 4 valores atípicos lo que corresponde a que el 93.3 % de los datos de un total de 56 datos validados los que 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 180 datos lo que arrojó el 92.8% 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 **Excelente**, teniendo en cuenta que para este tramo todos los determinantes alcanzaron los valores de referencia establecidos como OC, tal como se presenta en la tabla 8.

DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0
DBO	0	0
DQO	0	0
Ntotal	0	0
Ptotal	0	0
SST	0	0
Grasas y Aceites	0	0
Coliformes fecales	0	0
pH	0	0
SAAM	0	0

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

Tabla 8. Río Torca WQI-Tramo I

Para el caso del tramo II, únicamente el 1.2% del total de los datos superaron los valores de referencia para este tramo en el río Torca, nueve (9) de los diez (10) determinantes cumplieron con la totalidad de sus datos respecto a los OC, para lo cual se estableció un valor de WQI de 94, que clasifica la calidad del agua del tramo en **Buena**.

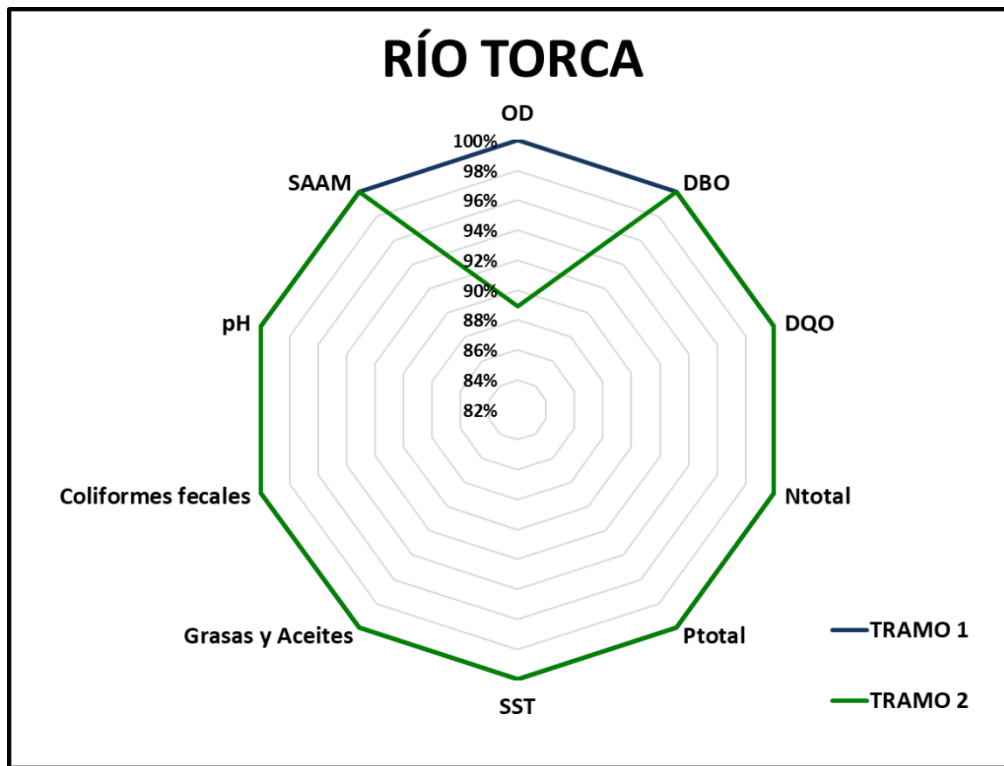
DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	2	11%
DBO	0	0%
DQO	0	0%
Ntotal	0	0%
Ptotal	0	0%
SST	0	0%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes fecales	0	0%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	10
F2	1,20
nse	0,01
F3	1,15
WQI	94



**Tabla 9. Río Torca WQI-Tramo II**

La tabla 9, permite evidenciar que el determinante con mayor impacto en la calidad hídrica del tramo II del río Torca, fue OD, y con un porcentaje de incumplimiento del 11 %. La Figura 3 permite visualizar un comportamiento uniforme en la calidad del agua para determinantes de la calidad del agua en evaluados en el río Torca.



**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.



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

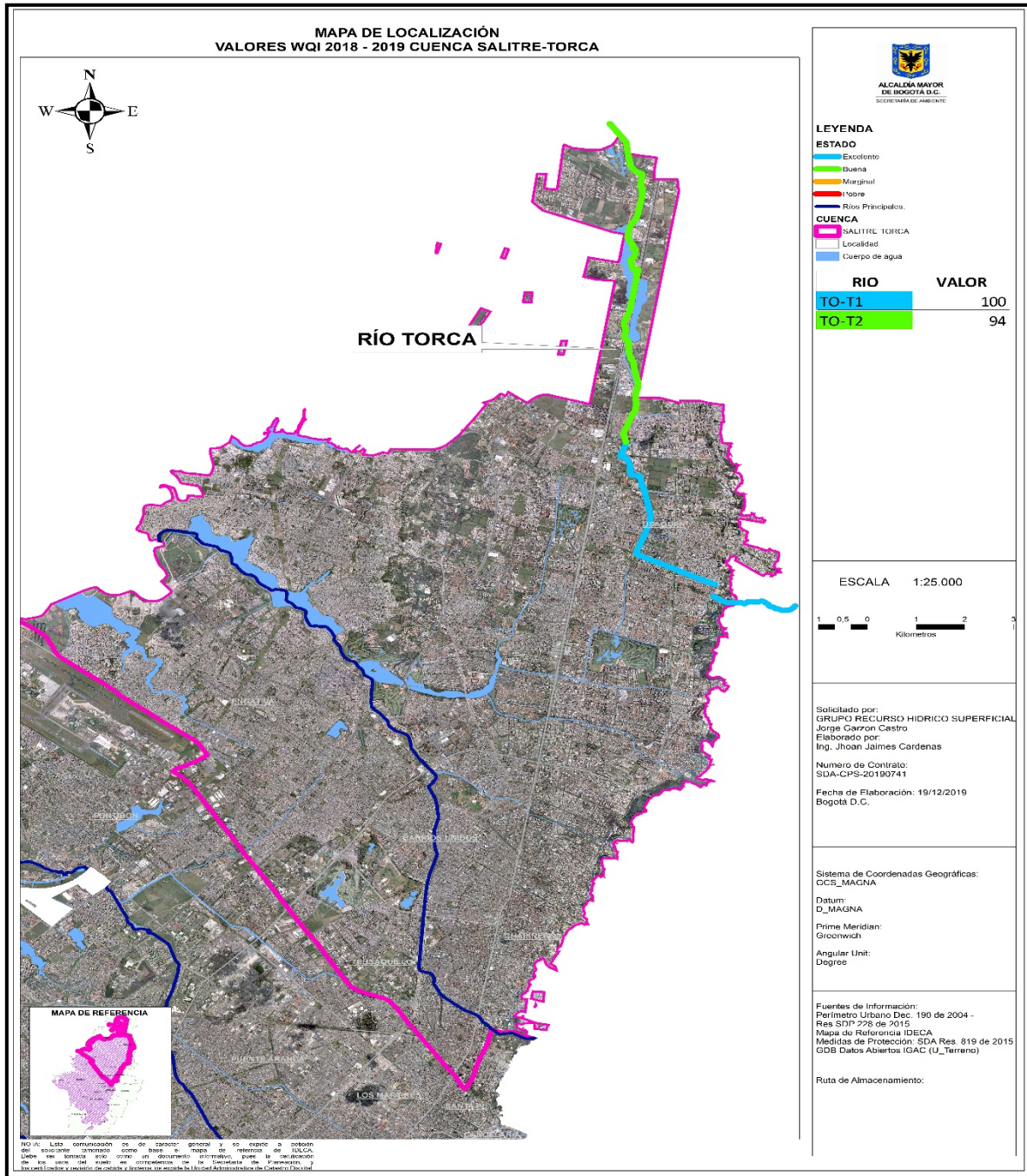


Imagen 3. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Torca 2018-2019.

### 3.2. RÍO SALITRE

Para los puntos de control de la calidad del agua se ejecutaron 6 monitoreos en cada una de las estaciones, a partir de los datos reportados se realizaron los análisis estadísticos y se determinaron 24 valores atípicos, que corresponden al 6.7% 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 95.0% de los datos que se tenían, correspondiente a 57 datos validados y 3 atípicos. En el tramo II del río Salitre (puntos arzobispo y Calle 53) se obtuvo el 10.8% de los datos, para un total de 107 datos válidos y 13 datos atípicos, para el tramo III de este río (estaciones Calle 53 y Carrefour) el 92.5 % de los datos fueron validados para un total de 111 datos y por último para el tramo IV (estaciones Carrefour, tv 91 y Alameda) se validó el 95.6% de los 180 datos que se tenían, correspondiente a 172 datos validados y 8 atípicos (ver Figura 4).

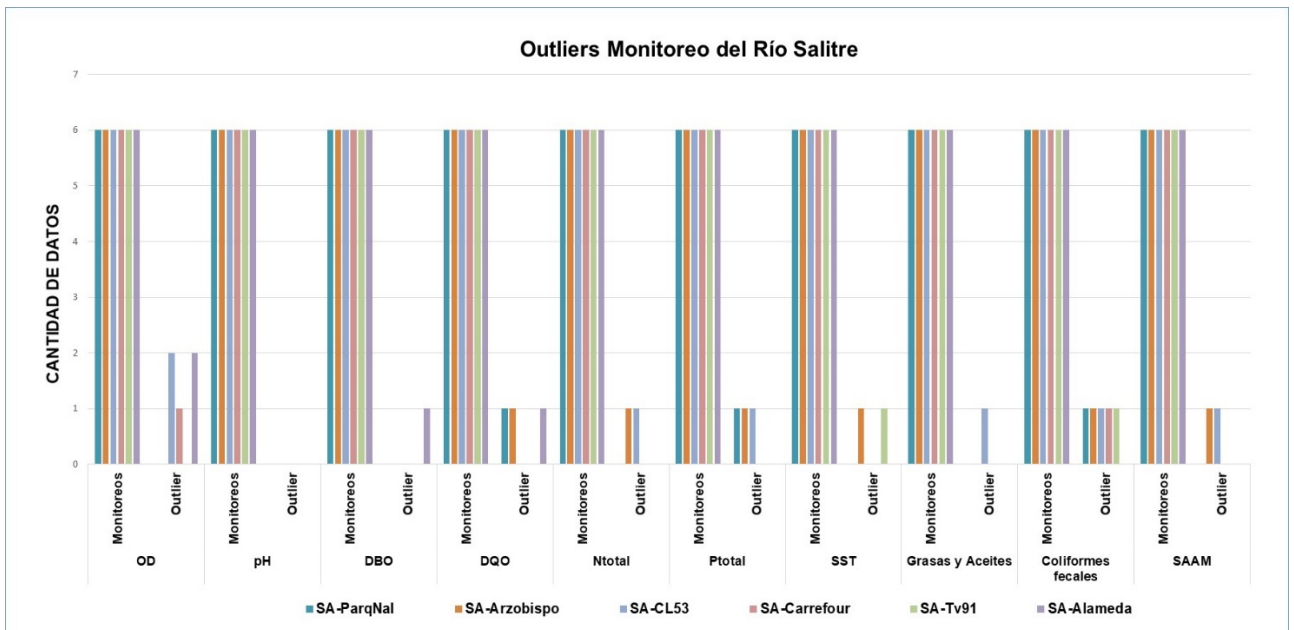


Figura 4. Cantidad de datos validados y datos outliers en los tramos de monitoreo del río Salitre

Del total de los 57 datos validados para el punto Parque Nacional (Tramo I del río Salitre), dos (2) valores correspondientes al determinante OD y dos (2) valores de SST no



cumplieron con los OC, lo que influyó para obtener como resultado un valor y clasificación del WQI: 88, Buena, (ver Tabla 10).

DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	2	33%
DBO	0	0%
DQO	0	0%
Ntotal	0	0%
Ptotal	0	0%
SST	2	33%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes fecales	0	0%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	20
F2	7,02
nse	0.02
F3	1,69
WQI	88

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 107 datos validados, 3 datos incumplieron con el OC estos asociados a 1 variable (SST), con lo cual se determina un valor y clasificación del WQI: 94, Buena (ver Tabla 11).

Es de resaltar que para este tramo la estación de la calle 53 presenta un aporte del 0.95 % de los valores que no cumplieron con los OC, lo que corresponde a 1 dato y la estación arzobispo obtuvo un comportamiento del 1.87 % de sus datos incumpliendo.

DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO	0	0%
DQO	0	0%
Ntotal	0	0%
Ptotal	0	0%
SST	3	27%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes fecales	0	0%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	10
F2	2,80
nse	0,02
F3	1,58
WQI	94

Tabla 11. Río Salitre WQI-Tramo II

Para el tramo III del río Salitre, sólo 1 de los 10 determinantes (pH) cumple con la totalidad de los valores con relación al valor objetivo, los 8 de los 9 determinantes restantes incumplieron con mínimo 3 datos, para un total de 27 datos que superan los OC, lo que corresponde al 24,3 % de los 111 datos validados.

De acuerdo con el cálculo del WQI la calidad del agua en este tramo se categoriza como **Marginal**. (Imagen 4).

A comparación con los dos primeros tramos, en el tramo III el porcentaje de datos que incumplen los OC, 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 tres variables que más incidieron en la excursión fueron OD, GyA y SAAM, mientras que la DBO<sub>5</sub>, DQO y OD fueron los determinantes de calidad de agua que presenta una mayor frecuencia en el incumplimiento del valor objetivo (Tabla 12).



Se infiere que la estación de monitoreo con el mayor aporte de incumplimiento de los OC es Carrefour con un porcentaje de incumplimiento del 46.6% correspondiente a 27 datos del total de los 58 validados en esta estación; mientras que en el punto de la calle 53 ninguno de los valores considerados superan el valor objetivo para el tramo.

DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	VARIABLES	VALOR
OD	3	33%	F1	90
DBO	4	33%	F2	24,32
DQO	4	33%	nse	0,18
Ntotal	3	27%	F3	15,50
Ptotal	1	9%	WQI	45
SST	3	25%		
Grasas y Aceites	3	27%		
Coliformes fecales	3	30%		
pH	0	0%		
SAAM	3	27%		

Tabla 12. Río Salitre WQI- Tramo III

Finalmente, para el tramo IV del río Salitre se obtuvo que para los 171 datos validados el 28.7 % correspondiente a 49 datos superan los valores determinados como OC. En este tramo se tiene que los determinantes de calidad que presentaron mayor frecuencia de incumplimiento fueron OD y Coliformes Fecales, superando hasta en un 50% los valores objetivo, así mismo, la DBO<sub>5</sub>, DQO, N<sub>Total</sub> y SAAM obtuvieron un incumplimiento por encima del 33 %. 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 45 y con categoría **Marginal**.

Es de resaltar que el punto de monitoreo Carrefour es en aquel en el que se presenta un mayor incumplimiento de los OC que representa el 15.79 % del total de los datos validados para el tramo, mientras que las estaciones TV 91 y Salitre Alameda presentan un incumplimiento del 8.19 % y 4.68% respectivamente.



DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	7	50%
DBO	6	35%
DQO	6	35%
Ntotal	6	33%
Ptotal	1	6%
SST	3	18%
Grasas y Aceites	3	17%
Coliformes fecales	11	69%
pH	0	0%
SAAM	6	33%

VARIABLES	VALOR
F1	90
F2	28,65
nse	0,19
F3	15,9
WQI	45

Tabla 13. Río Salitre WQI - Tramo IV

Para el caso específico del pH el 100% de los datos en las estaciones (Carrefour, Transversal 91 y Salitre Alameda) estuvieron dentro del rango de referencia establecido como objetivo de calidad para este determinante en el tramo IV. En términos de frecuencia se establece que en el determinante que presentó una mayor afectación fue coliformes fecales, incumpliendo los OC en 11 datos de los 16 del tramo lo que representa el 69%, del incumplimiento, en cuanto al OD el 50% de los datos no cumplen con los OC los cuales se asocian con las estaciones Carrefour y Tv 91 (7 datos de los 14 validados).

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 OD y los SST, durante el periodo evaluado. Por otra parte, en el tramo II se tiene como determinante crítico los SST y finalmente se infiere que en los tramos III y IV las descargas que se presentan tienen un alto contenido de sustancias de origen orgánico, relacionado directamente con aguas residuales predominantemente domésticas.

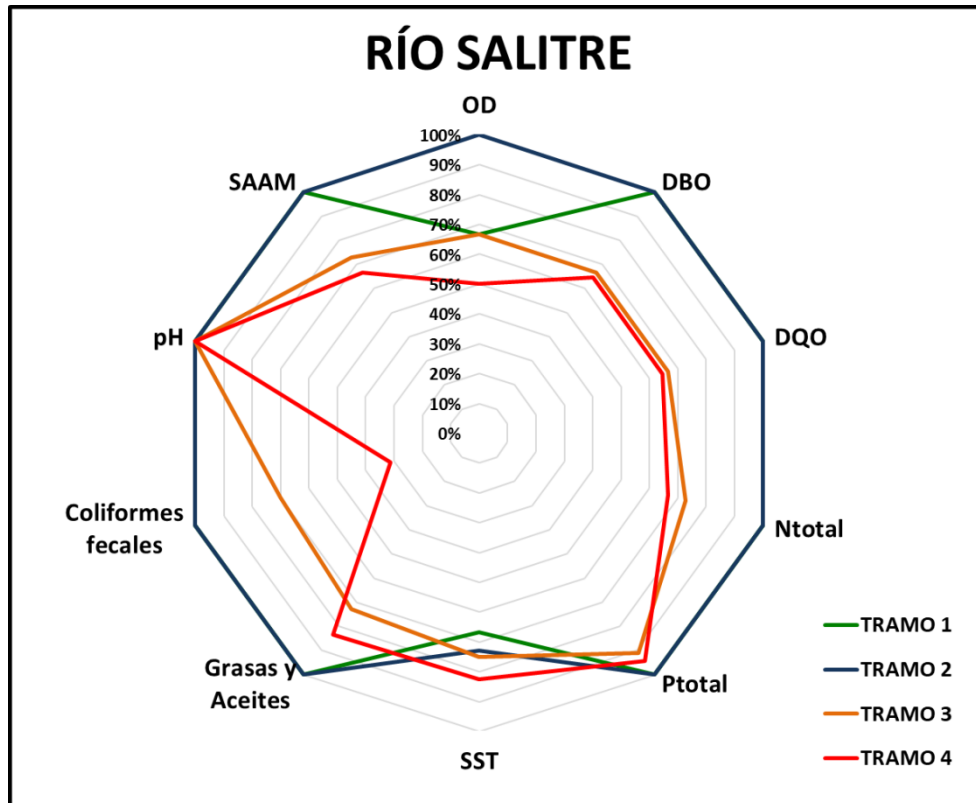


Figura 5. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del Río Salitre

A continuación, se presenta el mapa del WQI para los tramos del río Salitre y sus respectivas categorías para lo cual se observa el cambio de la calidad del agua para el periodo 2018-2019 (Imagen 4).





ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

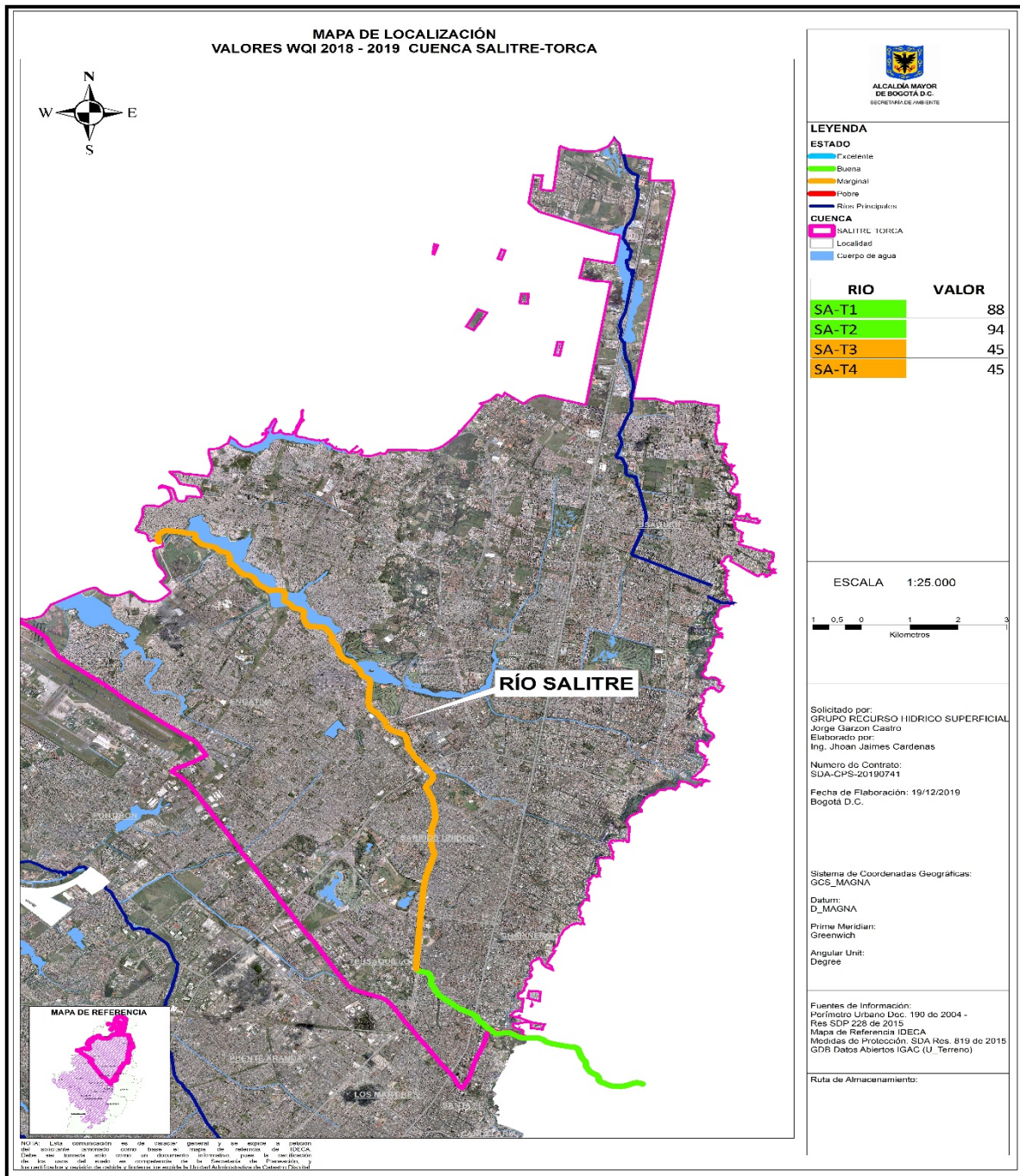
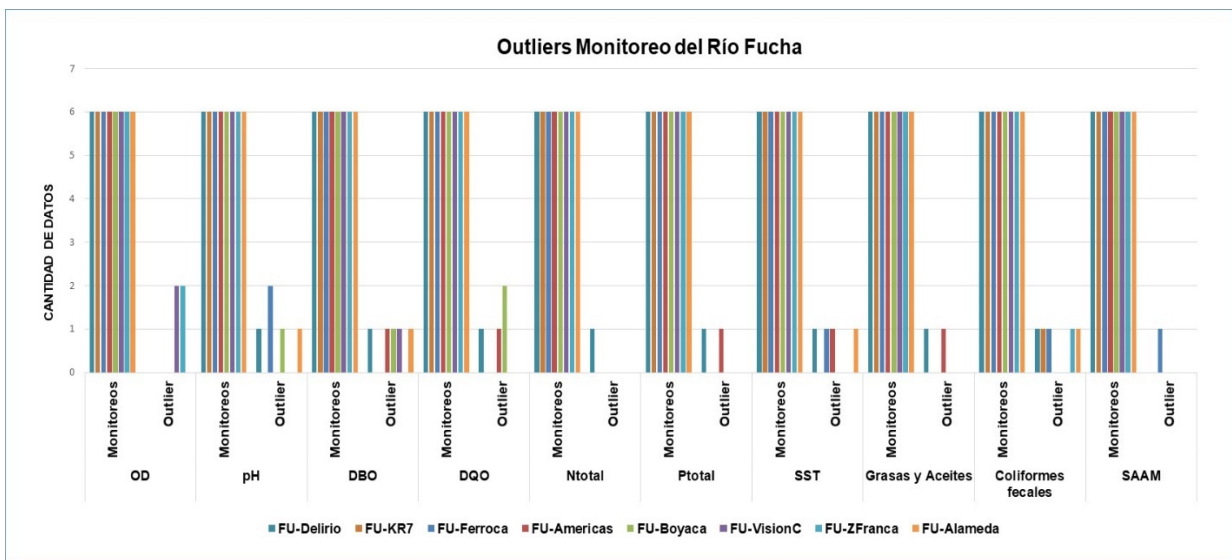


Imagen 4. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Salitre 2018-2019

### 3.3. RÍO FUCHA

En el río Fucha existen ocho puntos de monitoreo, a partir del análisis estadístico de la información, se determinaron 33 valores atípicos que corresponden al 6.9% 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 El Delirio fue el punto de monitoreo con mayor número de *outliers* (8). Por otra parte, los determinantes con mayor número de *outliers* fueron pH, DBO<sub>5</sub> y Coliformes Fecales (con 5 valores *outliers* cada uno). El N<sub>Total</sub> y los SAAM fueron los determinantes que menor número de *outliers* presentaron.



**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 cual se calculó el WQI con un total de 52 datos validados, de los cual sólo un (1) dato no cumple con la concentración establecida como OC (Tabla 14), que corresponde al determinante de la calidad del agua (DQO). La magnitud por la cual la concentración que incumplió es del 10% por encima del OC. De esta manera el valor del WQI en este tramo es de 94, y se categoriza como **Buena**.



DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO	0	0%
DQO	1	20%
Ntotal	0	0%
Ptotal	0	0%
SST	0	0%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes fecales	0	0%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	10
F2	1,92
nse	0,002
F3	0,21
WQI	94

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 114, de los cuales 26 datos no cumplieron con los objetivos; lo cual incidió en que la calidad de agua se calificara en WQI 56. y se categorizara como **Marginal** (Tabla 15).

Se destaca que siete (7) variables incumplieron con los OC de este tramo, donde el más crítico es SST con el 64% de datos que incumplen, seguido de la DQO con 42%, la DBO<sub>5</sub>, el N<sub>Total</sub> y OD no superan el 33% de incumplimiento, finalmente GyA y P<sub>Total</sub> con valores inferiores al 20% de incumplimiento en los datos analizados. La afectación de la calidad de agua en este tramo se da principalmente por descargas de aguas residuales asociadas con el sistema de alcantarillado combinado, específicamente con las subcuencas que convergen al tramo como las del Canal Albina y Río Seco. Lo anterior se hace evidente al comparar el número de determinantes de la calidad de agua que incumplieron los objetivos en cada una de las estaciones, encontrando que en punto de la carrera séptima únicamente los SST superaron el valor objetivo, mientras que en la estación de Avenida Ferrocarril siete (7) determinantes superaron el OC, lo cual incide directamente en el valor de variable F1 y por tanto en el WQI.



DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	4	33%
DBO	3	25%
DQO	5	42%
Ntotal	3	25%
Ptotal	2	17%
SST	7	64%
Grasas y Aceites	2	17%
Coliformes fecales	0	0%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	70
F2	22,81
nse	0,25
F3	19,97
WQI	56

Tabla 15. Río Fucha WQI - Tramo II

En la mayoría de los determinantes de la calidad se presenta en el tramo III del río Fucha un mayor porcentaje de cumplimiento (ver Tabla 16) en comparación con los resultados obtenidos en el tramo II. Cerca del 93 % del conjunto de datos validados cumplieron con los OC. De tal manera que el 70% de los determinantes (OD, DBO<sub>5</sub>, DQO, P<sub>TOTAL</sub>, GyA, pH y SAAM) están dentro de los rangos establecidos, en la estación Av. Las Américas hizo un aporte con 6 valores incumplieron el valor objetivo mientras que en la estación Av. Boyacá únicamente 2 valores excedieron el OC. Es importante resaltar que para este tramo el determinante que más influyó en el resultado del WQI para este tramo en términos de frecuencia fue Coliformes Fecales (50%) seguido de SST (9.1%) y N<sub>TOTAL</sub> con el 8.3 %.

Los OC para el tramo III son más flexibles teniendo en cuenta que los datos reportados para Av. Ferrocarril y Av. Las Américas de tramo II a tramo III no presentan diferencias significativas y por lo tanto el cambio en calidad de agua no es notable. La clasificación del tramo se categoriza como **Buena** con un valor WQI: 82.



DETERMINANTE	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	8%
Ptotal	0	0%
SST	1	9%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes fecales	6	50%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	30
F2	7,21
nse	0,015
F3	1,47
WQI	82

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 Alameda), el cálculo del WQI se realizó con 170 datos, de los cuales 59 (34.7% ) de los datos que no alcanzaron los OC, por lo tanto, el valor de WQI obtenido fue de 44 (Tabla 17) y la calidad de agua de este tramo es catalogada como **Pobre**.

Todos los puntos de monitoreo de este tramo presentaron para sus conjuntos de datos porcentajes de incumplimiento en por lo menos tres de los diez determinantes de la calidad del agua evaluados. El pH fue el único determinante que no presentó incumplimiento con los OC. Los determinantes de la calidad críticos fueron coliformes fecales, DQO y Nitrógeno Total debido a que más del 60 % de las mediciones presentó incumplimiento del valor objetivo.



DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	2	14%
DBO	3	19%
DQO	12	67%
Ntotal	11	61%
Ptotal	3	17%
SST	7	41%
Grasas y Aceites	2	11%
Coliformes fecales	12	75%
pH	0	0%
SAAM	7	39%

VARIABLES	VALOR
F1	90
F2	34,71
nse	0,14
F3	12,19
WQI	44

Tabla 17. Río Fucha WQI - Tramo IV

Analizando gráficamente los datos para el río Fucha, en la Figura 7 se puede observar que en los tramos II, III y IV los determinantes SST y N<sub>Total</sub> reportaron incumplimiento con los OC. Por su parte, cabe aclarar que el único determinante de la calidad que cumplió el objetivo en todos los tramos fue pH.

Para el Tramo I, la mayoría de los determinantes cumplen con los OC, excepto para DQO, que reporta cumplimiento con los OC hasta un 80% de los datos. El tramo II particularmente tiene un comportamiento en su calidad categorizándose como **Marginal** y reduciendo su calidad significativamente con respecto al tramo I.

Para el caso del tramo III incumple tres de los diez determinantes (N<sub>Total</sub>, SST, Coliformes fecales); mientras que en el Tramo IV se reportaron 3 porcentajes de incumplimiento de los objetivos superiores al 60% para esto tenemos DQO, N<sub>Total</sub>, Coliformes Fecales.

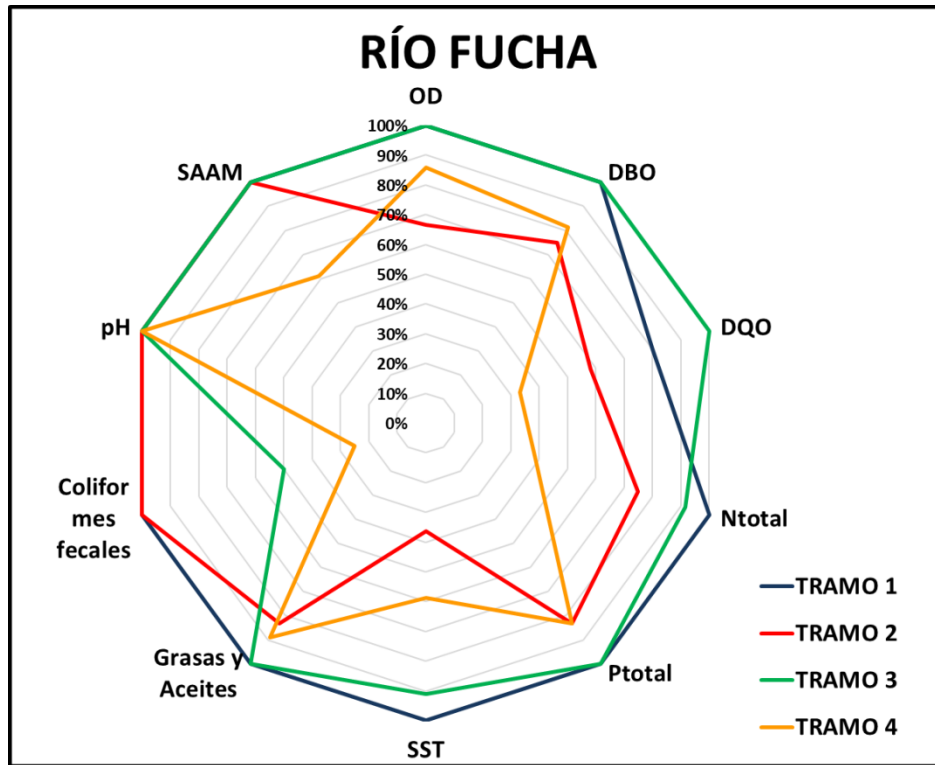
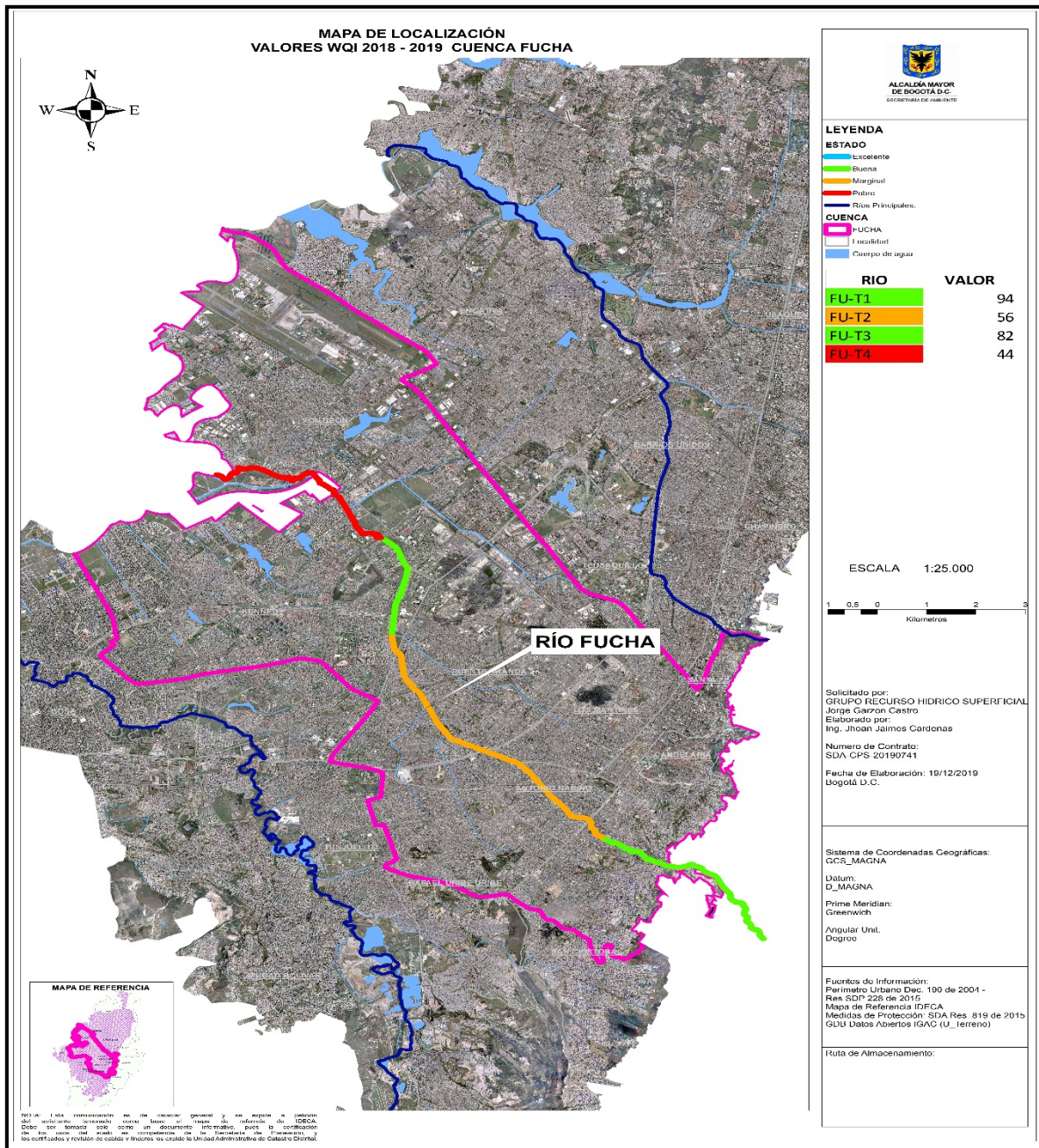


Figura 7. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del río Fucha

En la Imagen 5 se presentan los valores de WQI sobre el río Fucha obtenidos para el periodo 2018-2019. 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 **Pobre**.



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE



**Imagen 5. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Fucha 2018-2019**

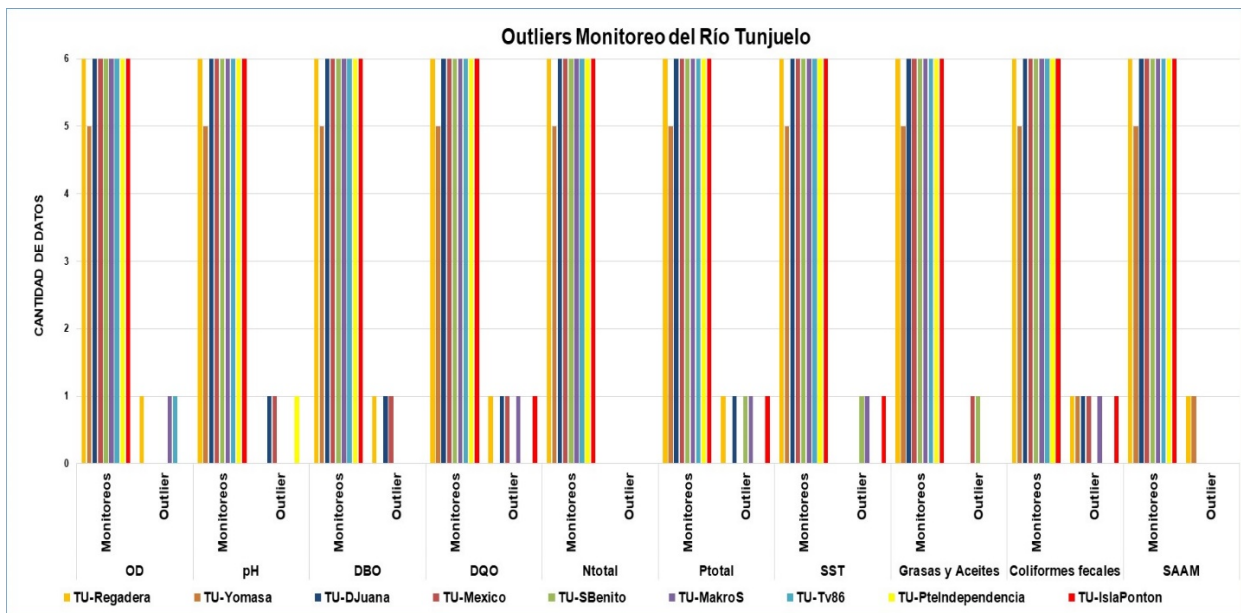


### 3.4. RÍO TUNJUELO

En el río Tunjuelo, el índice de calidad, WQI, tiene una variación particular asociada 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 estaciones de seguimiento o puntos de monitoreo los que fueron caracterizados periódicamente conforme a lo señalado en la tabla 3. A partir del análisis estadístico de la información, se determinaron treinta y dos (32) valores atípicos que corresponden al 6.04% 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 la Regadera, Djuana, México y MakroS, fueron las estaciones de monitoreo con mayor número de valores atípicos (6, 5, 5 y 5 respectivamente). Por último, el determinante con mayor número de *outliers* fue Coliformes Fecales (con 6 atípicos) y para el caso del N<sub>TOTAL</sub> este fue el único parámetro que no obtuvo 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 (La Regadera y Universidad Antonio Nariño). Sin embargo, para el cálculo del WQI sólo se considera el punto La Regadera que contó con un total de 54 datos validados de los cuales el 11.1 %, equivalente a seis (6) datos, no alcanzaron el valor de referencia establecido como OC (ver Tabla 18) distribuidos en 2 variables (SST y Coliformes Totales). El índice de calidad hídrica WQI obtuvo un valor de 85. para este tramo y recibe la categoría de **Buena**.

De acuerdo con los datos reportados para el periodo analizado, los determinantes de la calidad más críticos en el incumplimiento de los objetivos fueron SST y Coliformes Fecales con porcentajes de incumplimiento del 67% y 40% respectivamente. El restante de los determinantes cumplió con el 100%. Para el caso específico de los SST, es de precisar que la magnitud de la diferencia, por la cual se dio el incumplimiento, fue significativa, y en promedio superó la concentración objetivo (10 mg/L) en una 160% aproximadamente. Lo anterior se evidencia el valor del factor de excursión y la variable F3. No obstante, la variables F1 es la que mayor incidencia tiene en el cálculo del WQI (Figura 9).

DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
OD	0	0%
DBO	0	0%
DQO	0	0%
Ntotal	0	0%
Ptotal	0	0%
SST	4	67%
Grasas y Aceites	0	0%
Coliformes fecales	2	40%
pH	0	0%
SAAM	0	0%

VARIABLES	VALOR
F1	20
F2	11,11
nse	0,13
F3	11,42
WQI	85

Tabla 18. Río Tunjuelo WQI - Tramo I

En el Tramo II, los puntos de monitoreo correspondientes son Yomasa y Doña Juana. Para el periodo analizado 2018-2019 el cálculo del WQI se realizó a partir de 103 datos validados, de los cuales 29 datos (28.16%) no alcanzaron el OC. El índice de calidad hídrica WQI para este tramo obtuvo un valor de 51 y una categoría de **Marginal**.

Por otra parte, es importante aclarar que el incumplimiento de los OC se dio por los determinantes de Calidad pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, N<sub>TOTAL</sub>, P<sub>TOTAL</sub>, SST y Coliformes Fecales es de resaltar que de las dos estaciones 27 de los valores de incumplimiento se dieron en el conjunto de datos del punto de monitoreo Doña Juana y tan solo 2 valores para la estación Yomasa. 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, principalmente el N<sub>Total</sub> y SST como se refleja en los valores del factor de excursión y el F3.

DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
<b>OD</b>	0	0%
<b>DBO</b>	3	30%
<b>DQO</b>	5	50%
<b>Ntotal</b>	5	45%
<b>Ptotal</b>	2	20%
<b>SST</b>	8	73%
<b>Grasas y Aceites</b>	0	0%
<b>Coliformes fecales</b>	1	11%
<b>pH</b>	5	50%
<b>SAAM</b>	0	0%

VARIABLES	VALOR
<b>F1</b>	70
<b>F2</b>	28,16
<b>nse</b>	0,6
<b>F3</b>	37,56
<b>WQI</b>	51

**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 222, de los cuales 66 datos no alcanzaron el valor objetivo, lo que corresponde al 29.7%. De igual manera, 9 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 11% con 25 datos, Barrio México el 4% con 9 datos, San Benito el 7% con 15 datos y Makro el 8% con 17 datos.

Por otra parte, para el caso de los determinantes OD, DQO y N<sub>Total</sub> el incumplimiento es del 56.5%, 66.7.1% y 70.8%, respectivamente. La diferencia se encuentra marcada por el

determinante  $P_{Total}$  que no presentó incumplimiento en la concentración objetivo (5 mg/L), en ninguna de las estaciones del tramo.

Por lo anterior, el indicador WQI para el periodo analizado en este tramo presenta un valor de 42, categorizado con calidad **Pobre**.

DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	VARIABLES	VALOR
OD	13	57%	F1	90
DBO	3	14%	F2	29,73
DQO	14	67%	nse	0,47
Ntotal	17	71%	F3	32,07
Ptotal	0	0%	WQI	42
SST	7	32%		
Grasas y Aceites	1	5%		
Coliformes fecales	5	24%		
pH	5	23%		
SAAM	1	4%		

Tabla 20. Río Tunjuelo WQI - Tramo III

El tramo IV está conformado por cuatro puntos de monitoreo Makro Autopista Sur, Transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José. De los 239 datos validados se detectaron 10 atípicos. Es así que los 229 valores para ser analizados el 26.2% que corresponde a 60 datos excedieron los OC (ver Tabla 21 y Figura 8). En este tramo, los Coliformes Fecales aumentaron considerablemente respecto a los tramos anteriores con un 54.5% de los datos por encima del OC, esto debido a las descargas con características domésticas que se realizan en este último tramo, en el que se tienen identificados cerca de 65 puntos de vertimiento, incluyendo el Interceptor Tunjuelo Medio y las estaciones de bombeo Cartagena, Xochimilco, Grancolobiano y La Isla.

Otros determinantes que influyeron en la clasificación del WQI fueron  $N_{Total}$  con un 45.8% de incumplimiento, OD con el 45.5% de incumplimiento y SAAM con un 33.3% de incumplimiento. Por otra parte, el único determinante de la calidad del agua que no presentó incumplimiento fue pH con un 0%. El tramo IV del río Tunjuelo, presenta un índice de calidad hídrica WQI con valor de 45 y con una categoría de **Marginal**.



DETERMINANTE	No. DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC	% DE DATOS QUE NO CUMPLEN EL OC
<b>OD</b>	10	45%
<b>DBO</b>	2	8%
<b>DQO</b>	5	23%
<b>Ntotal</b>	11	46%
<b>Ptotal</b>	2	9%
<b>SST</b>	4	18%
<b>Grasas y Aceites</b>	6	25%
<b>Coliformes fecales</b>	12	55%
<b>pH</b>	0	0%
<b>SAAM</b>	8	33%

VARIABLES	VALOR
<b>F1</b>	90
<b>F2</b>	26,20
<b>nse</b>	0,17
<b>F3</b>	14,79
<b>WQI</b>	45

Tabla 21. Río Tunjuelo WQI - Tramo IV

En el análisis gráfico de la Figura 8, se puede evidenciar el cumplimiento de los OC para los datos obtenidos de cada determinante en los diferentes tramos. Para el tramo I se evidencia incumplimiento de los OC en los determinantes pH y SST. Por otra parte, son notables los bajos porcentajes de cumplimiento para todos los determinantes, a excepción OD y SAAM para el tramo II, del P<sub>TOTAL</sub> para el tramo III y pH para el tramo IV.

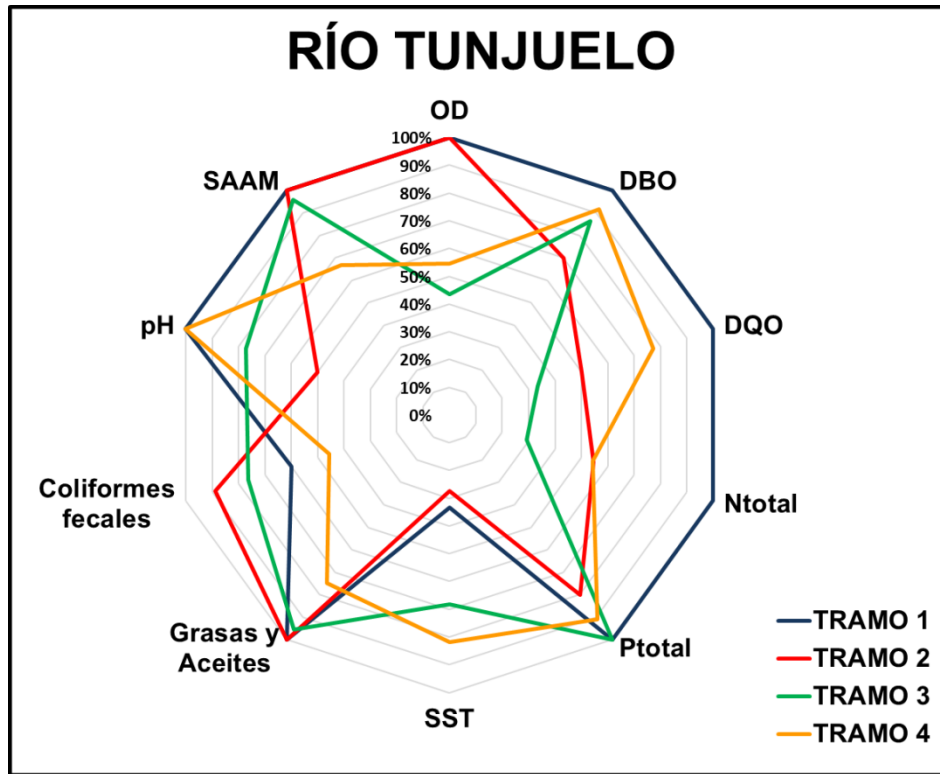


Figura 9. Porcentaje de cumplimiento de los OC por determinante de la calidad del agua y tramo del Río Tunjuelo

Se presenta la (Imagen 6) con los indicadores WQI para los tramos del río Tunjuelo y sus respectivas condiciones para lo cual se observa el cambio de la calidad del agua una vez va descendiendo desde la parte alta hasta su desembocadura lo que se hace evidente la evolución presentada durante el periodo 2018-2019.



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

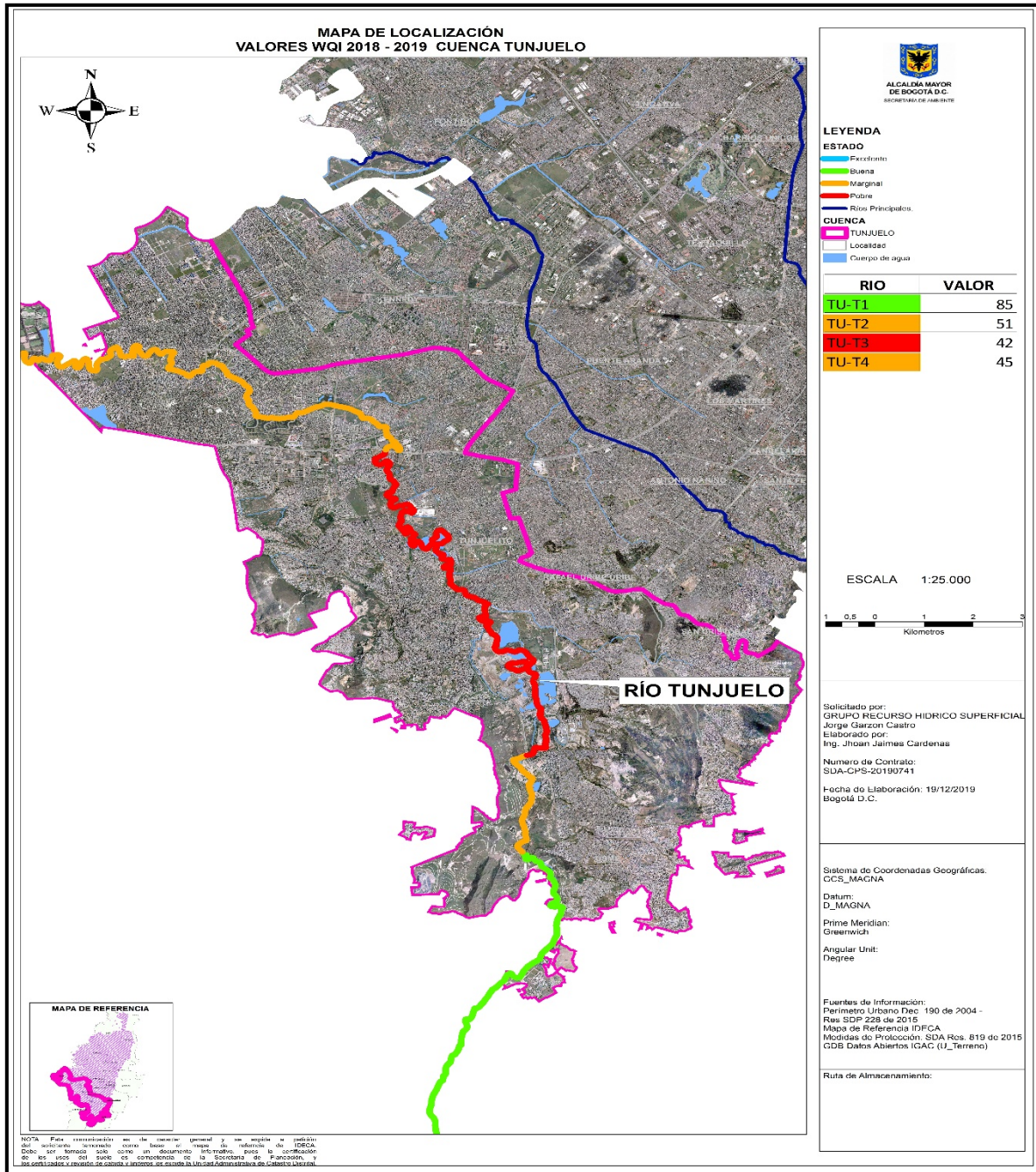


Imagen 6. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Tunjuelo 2018-2019

### 3.5. EVOLUCIÓN DEL WQI EN EL PERIODO 2014 A 2018-2019

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

#### Río Torca

Para el tramo I del río Torca en el periodo comprendido 2018-2019 mantuvo la calidad del WQI: 100 **Excelente** respecto al periodo directamente anterior. En el año 2014 la calidad para este tramo se definió en **Buena**. Por otra parte, la calidad del agua en el tramo II presentó una significativa mejora en comparación con el periodo 2017-2018 con un evolución en su categoría.

#### Río Salitre

En el tramo I el valor del WQI disminuyó, 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**, manteniendo la clasificación desde 2014. El Tramo II mantuvo la misma categoría respecto al periodo 2017-2018 conservándose en **Buena**, presentado un incremento en la magnitud de 12 puntos en el valor del WQI. Por otra parte, el Tramo III, conservó constante el indicador en la categoría de **Marginal**. Finalmente, el tramo IV presenta una mejora significativa en 4 puntos obteniendo un el valor WQI: 45 y por ende cambiando su clasificación de **Pobre** en 2017-2018 a **Marginal** para el presente periodo.

#### Río Fucha

En el tramo I del río Fucha se mantuvo la condición WQI en **Buena**, se resalta la mejora en el valor con relación al año 2017-2018 y se mantiene igual al nivel establecido desde el año 2014 como **Buena**. El tramo II mejoró significativamente la clasificación en 29 puntos y aumentó su categoría de **Pobre** a **Marginal**, igualmente, el tramo III tuvo un comportamiento de crecimiento con relación a la periodo anterior, la magnitud del indicador se incrementó en 14 unidades, y cambio su categoría a **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 aún mantiene la clasificación del WQI en **Pobre** desde el periodo 2014-2015, con un incremento de 7 puntos en el valor del indicador entre los periodos 2017-2018 y 2018-2019. Cabe resaltar que si bien se refleja una tendencia 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

En el Tramo I, el índice de calidad hídrica WQI para el periodo 2018-2019 fue **Bueno** presentando la misma categoría que en el periodo 2017-2018, sin embargo se evidencia una ligero incremento de 3 unidades en el valor de WQI. En cuanto al WQI reportado en el periodo 2014-2015 se presenta una condición favorable ya que en este se tenía establecido con un índice WQI **Aceptable** (Ver Tabla 22).

Con respecto al periodo anterior 2017-2018, el valor obtenido de WQI para el Tramo II decreció sustancialmente de una categoría **Aceptable** a **Marginal**, no obstante, se mantiene la mejora con respecto al periodo 2014- 2015 donde se tenía una categoría de **Pobre**. En cuanto al tramo III se conserva la categoría en **Pobre** respecto al periodo 2017-2018 y a su vez con el periodo 2014-2015.

Finalmente para el tramo IV, la clasificación del WQI reportado para el periodo 2018-2019 es **Marginal** con lo cual se presenta una clara mejora respecto al periodo anterior (2017-2018), y a su vez un cambio con relación al periodo establecido como línea base (2014-2015), donde se tenía una categoría **Pobre**.

	TRAMO	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019					
		WQI	WQI	WQI	WQI	WQI					
<table border="1"> <tr><td>Excelente</td></tr> <tr><td>Buena</td></tr> <tr><td>Regular</td></tr> <tr><td>Marginal</td></tr> <tr><td>Pobre</td></tr> </table>	Excelente	Buena	Regular	Marginal	Pobre	<b>Río Torca</b>					
	Excelente										
	Buena										
	Regular										
	Marginal										
Pobre											
1	94	88	100	100	100						
2	75	82	88	70	94						
<b>Río Salitre</b>											
1	83	100	87	94	88						
2	88	100	94	82	94						
3	45	47	53	45	45						
4	37	37	52	41	45						
<b>Río Fucha</b>											

1	94	82	88	82	94
2	29	36	48	27	56
3	44	59	76	68	82
4	32	44	43	37	44
<b>Río Tunjuelo</b>					
1	69	80	81	82	85
2	40	80	69	72	51
3	33	47	59	43	42
4	40	44	53	39	45

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

### 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 mencionada meta, se formuló el indicador "Número de Km de río urbano con índice de calidad hídrica WQI  $\geq 80$ " 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 aumentó en 9,84 km en comparación con el periodo anterior 2017-2018, además, se observa un incremento significativo de 11,3 km con respecto a los km reportados en el periodo 2014-2015.

RANGO		2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
		LONGITUD (km)				
$95 \leq WQI < 100$	Excelente	0.0	3,62	5,96	5.96	5,96
$80 \leq WQI \leq 94$	Buena	11.56	20,6	14,16	7.06	16,9



TOTAL, km WQI ≥80	11.56	24,22	20.12	13.02	22,86
-------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 233. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2018-2019 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI ≥ 80 (Buena)

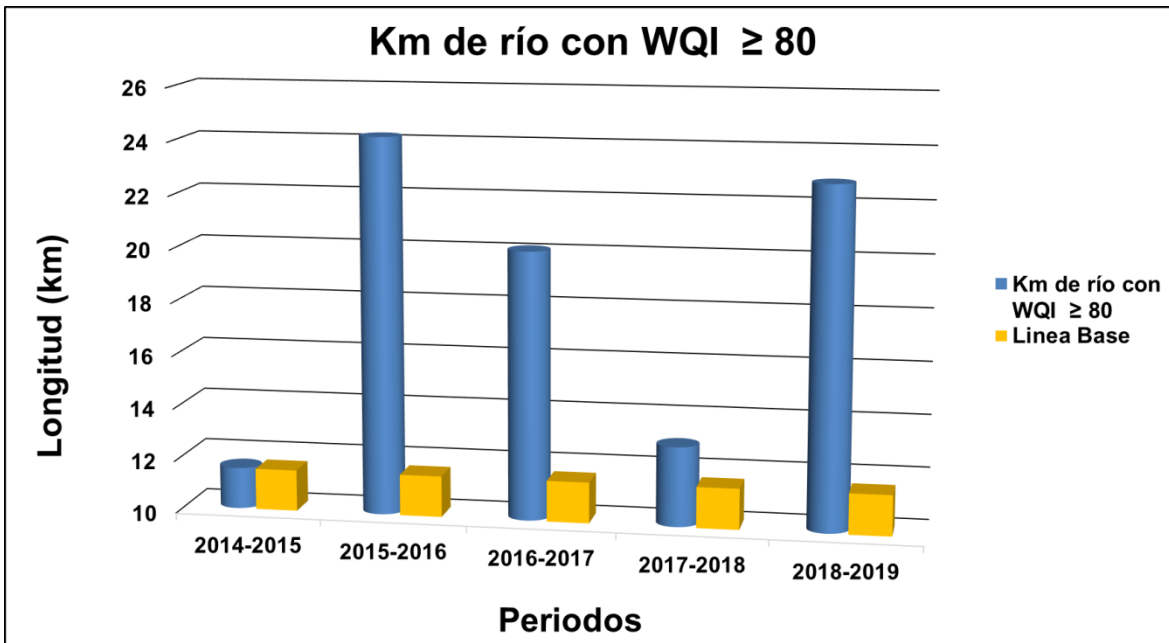


Figura 100. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2018-2019 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI ≥ 80 unidades (Buena)

En cuanto al indicador “Kilómetros de río urbano con índice de calidad hídrica WQI > 65 o superior”, para el cual tiene que para el periodo 2018-2019 la longitud de kilómetros río con valores de WQI superiores o iguales a 65 unidades disminuyó con respecto a la reportada en el periodo directamente anterior 2017-2018. No obstante, al comparar los km reportados en el periodo 2014-2015 se tiene un incremento de 2,74 km, teniendo a la fecha un total de km de río con WQI > 65 de 22.86 (Ver Tabla 24 y Figura 11).

RANGO		2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
		LONGITUD (km)				
95 ≤ WQI < 100	Excelente	0,0	3,62	5,96	5,96	5,96
80 ≤ WQI ≤ 94	Buena	11,56	20,6	14,16	7,06	16,9
65 ≤ WQI ≤ 79	Aceptable	8,56	0	6,84	13,94	0
<b>TOTAL, km WQI ≥ 65</b>		<b>20,12</b>	<b>24,22</b>	<b>26,96</b>	<b>26,96</b>	<b>22,86</b>



Tabla 244. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2018-2019 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI  $\geq 65$

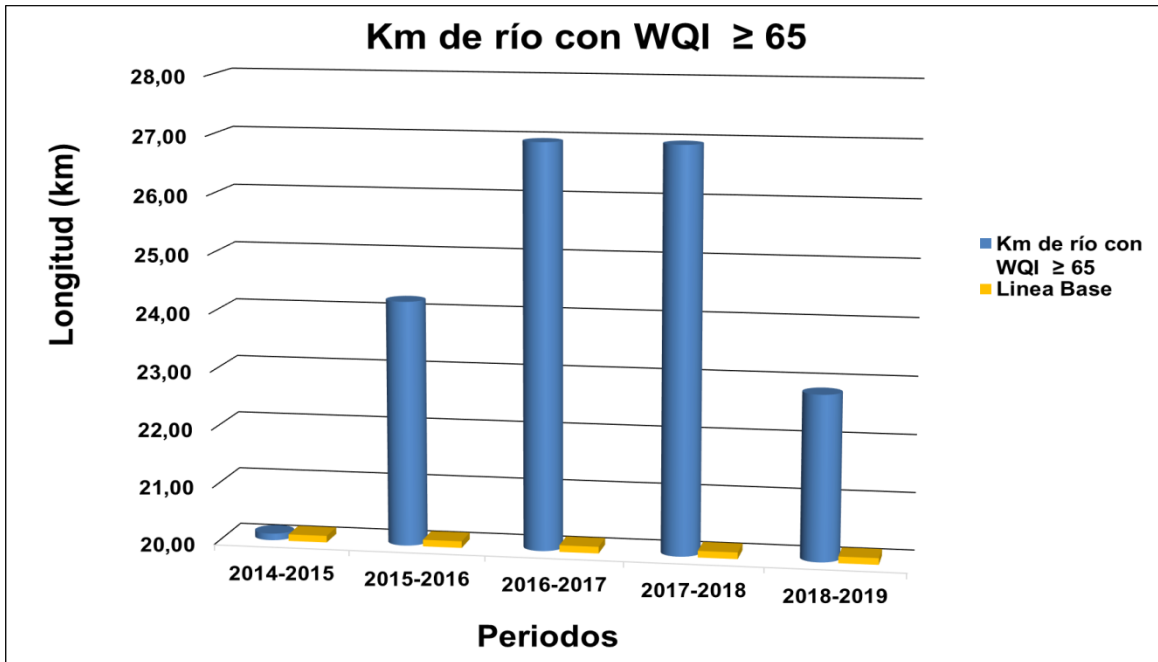


Figura 11. Evolución temporal desde el año 2014 al año 2019 del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI  $\geq 65$  unidades (Aceptable).

## 4. CONCLUSIONES

Para el río Torca en general, la calidad del agua en el tramo I, para el periodo evaluado, fue **Excelente** en comparación al periodo inmediatamente anterior 2017-2018 que también se

determinó como **Excelente** y 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, únicamente el 1.2% del total de los datos superaron el valor de referencia establecido como OC, adicionalmente, nueve (9) de los 10 determinantes cumplieron con la totalidad de los datos respecto a los OC, lo cual incidió directamente en el valor del WQI (94), que clasifica la calidad del agua del tramo en **Buena**, lo que supone una mejora de la calidad comparativamente con el periodo anterior que clasificaba este tramo en la categoría **Aceptable**, se resalta que respecto a la línea base de 2014-2015 esta se encuentra una significativa mejora.

Con respecto al el río Salitre, en el Tramo I cuatro (4) datos incumplieron con el OC dando como resultado un valor y clasificación del WQI de 88 categorizada como **Buena** al igual que para el tramo II.

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 un OC son las dos variables que más pesan en el valor del WQI obtenido para el tramo III, un resultado en la calidad que la clasifica como **Marginal**, conservando la misma reportada en el periodo 2017-2018 y sosteniendo la que se determinó como línea base en el 2014-2015.

A diferencia de los anteriores, el tramo IV del río Salitre presentó un WQI de 45 y por ende cambió su clasificación de **Pobre** en 2017-2018 a **Marginal** para el presente periodo. En este tramo se tiene que los determinantes de calidad que presentaron mayor frecuencia de incumplimiento fueron OD y Coliformes Fecales, superando hasta en un 50% los valores objetivo, así mismo, la DBO<sub>5</sub>, DQO, N<sub>Total</sub> y SAAM obtuvieron un incumplimiento por encima del 33 %. siendo los determinantes OD y Coliformes Fecales los que con mayor frecuencia superaron los OC.

Respecto al río Fucha, la calidad del agua del primer tramo se mantuvo en una categoría **Buena** comparativamente con el periodo 2017-2018 y con un valor de WQI del 94, dado que el cumplimiento de los objetivos de calidad fue de 98.1 % teniendo la DQO como único valor que incumple, de tal manera que se mantiene la calidad igual a la señalada en la línea base.

En términos generales, en el tramo II del río Fucha la afectación de la calidad de agua se da principalmente por descargas de aguas residuales asociadas con el sistema de alcantarillado combinado, específicamente con las subcuencas que convergen al tramo como las del Canal Albina y Río Seco. Lo anterior se hace evidente al comparar el número de determinantes de la calidad de agua que incumplieron los objetivos en cada una de las estaciones, encontrando que en punto de la carrera séptima únicamente los SST superaron el valor objetivo, mientras que en la estación de Avenida Ferrocarril siete (7) determinantes superaron el OC, lo cual incide directamente en el valor de variable F1 y por tanto en el WQI. Pese a esto el tramo cambia de categoría a **Marginal** con un valor del WQI de 56 con lo cual mejora su calidad con el obtenido en el anterior periodo 2017-2018.

En la mayoría de los determinantes de la calidad se presenta en el tramo III del río Fucha un mayor porcentaje de cumplimiento en comparación con los resultados obtenidos en el tramo II. Se resalta además que el 70% de los determinantes (OD, DBO<sub>5</sub>, DQO, P<sub>TOTAL</sub>, GyA, pH y SAAM) están dentro de los rangos establecidos como objetivos de calidad. La clasificación del tramo tuvo un comportamiento de crecimiento con relación a la periodo anterior, la magnitud del indicador se incrementó en 14 unidades, y cambio su categoría a **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**.

Ahora bien, para el Tramo IV el 34,7% del conjunto de datos analizados no alcanzaron los OC. En relación con el periodo 2017-2018, se mantiene su clasificación **Pobre**, el pH fue el único determinante que no presentó incumplimiento con los OC. Los determinantes de la calidad críticos fueron coliformes fecales, DQO y Nitrógeno Total debido a que más del 60 % de las mediciones presentaron incumplimiento del valor objetivo, sin desconocer el incumplimiento de los demás determinantes lo que influyó directamente en el valor obtenido del WQI de 44.

En cuanto a la calidad del río Tunjuelo se determinó que para el tramo I permaneció igual, ya que mantuvo la clasificación en **Buena** con un valor WQI de 85, asociado con la regulación del caudal que se presenta en el primer tramo por la operación del embalse La Regadera, ejecutada por la EAAB-ESP. Los determinantes de la calidad más críticos en el incumplimiento de los objetivos en este tramo fueron los SST y Coliformes Fecales. En su evolución temporal se evidencia el incremento en la calidad relación al periodo 2014-2015 (línea base).

Para el Tramo II se presenta un cambio en su clasificación presentándose como **Marginal** con un valor WQI de 51. Del análisis desarrollado se puede establecer que el punto Doña Juana es el más crítico de este tramo, la magnitud con la cual los valores superan los OC es alto, principalmente el  $N_{Total}$  y SST lo que se refleja en los valores del factor de excursión y el F3. Por consiguiente, se evidencia una desmejora la categoría con relación al periodo 2017-2018, no obstante, se denota el incremento progresivo de la calidad con respecto al periodo 2014-2015 que fue **Pobre**.

Para el caso específico del tramo II del río Tunjuelo la variación significativa del valor obtenido del WQI puede estar asociada a las condiciones hidrológicas predominantemente secas durante los monitoreos desarrollados para el periodo 2018-2019, que se hacen evidentes en los caudales transportados en el punto de monitoreo, es así que, la disminución de los caudales transportados asociados a condiciones hidrológicas secas repercute en la capacidad de asimilación natural de los ríos (caudal medio) y por ende en las concentraciones de los determinantes de calidad medidos. La variación del caudal para la estación de Doña Juana (Río Tunjuelo) fue importante considerando que el caudal promedio histórico es cercano a 3075 L/s mientras que el caudal promedio para el periodo 2018-2019 fue de 724 L/s.

En el tramo III, para las cuatro estaciones 3 de los 10 determinantes evaluados (OD, DQO y  $N_{TOTAL}$ ) incumplieron con más del 50% de los datos siendo el más crítico el  $N_{TOTAL}$  con 17 datos equivalentes al 70.8% de incumplimiento. En el caso de la estación Doña Juana, la relación del número de determinantes que incumplieron los objetivos fue 7/10, teniendo en cuenta los datos obtenidos no se presenta cambios respecto al periodo 2017-2018, sosteniéndose en **Pobre** con un valor WQI de 42.

En el último tramo del río Tunjuelo la calidad del río clasificación del WQI reportado para el periodo 2018-2019 es **Marginal**, con lo cual se presenta una clara mejora respecto al periodo anterior (2017-2018), y a su vez un cambio con relación al periodo establecido como línea base (2014-2015), donde se tenía una categoría **Pobre**.

En términos generales los principales ríos de Bogotá presentan una evolución en la calidad del agua independientemente de las variaciones manifiestas en comparación a la temporalidad entre los periodos 2017-2018 y 2018-2019. Es importante resaltar la dinámica de las condiciones del recurso hídrico a lo largo de cada uno de los tramos de los ríos,

debido a los factores que ejercen presión en su calidad, sin embargo, es evidente el avance que se tiene con relación a la línea base establecida en el periodo 2014-2015.

## 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), 2018. 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.
- Seo, S. (2006) A review and comparison of methods for detecting *outliers* in univariate data sets.
- Acuña, E. y Rodriguez, C. (2004). On Detection Of *Outliers* And Their Effect In Supervised Classification.





ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

**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:	19/12/2019
---------------------	---------------	----------	------------------	------------------	------------

**Revisó:**

DAVID FELIPE PEREZ SERNA	C.C: 80073805	T.P: N/A	CPS: CONTRATO 20190636 DE 2019	FECHA EJECUCION:	22/12/2019
--------------------------	---------------	----------	--------------------------------	------------------	------------

**Aprobó:**

**Firmó:**

DIANA ANDREA CABRERA TIBAQUIRA	C.C: 40612921	T.P: N/A	CPS: FUNCIONARIO	FECHA EJECUCION:	22/12/2019
--------------------------------	---------------	----------	------------------	------------------	------------