

SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe Tecnico No. 04283, 19 de octubre del 2021

ESTADO DE CALIDAD DE LOS RÍOS TORCA, SALITRE, FUCHA Y TUNJUELO.



Punto de monitoreo Av. Américas, río Fucha

2021

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

Página 1 de 58

INFORME TÉCNICO:

ESTADO DE CALIDAD DE LOS RÍOS TORCA, SALITRE, FUCHA Y TUNJUELO.

ELABORÓ:

ANGIE NATALIA VÉLEZ ALBARRACÍN
Profesional Técnico de Apoyo

JUAN SEBASTIÁN HERRERA JARA
Profesional Técnico de Apoyo

DAVID ANDRÉS ZAMORA
Profesional Técnico de Apoyo

REVISÓ

DAVID FELIPE PÉREZ SERNA
Grupo Recurso Hídrico Superficial

APROBÓ

REINALDO GÉLVEZ GUTIÉRREZ
Subdirector del Recurso Hídrico y del Suelo

Página 2 de 58

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	9
1 MATERIALES Y MÉTODOS	10
1.1 METODOLOGÍA PARA VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS	15
1.2 INTERVALOS DE CONFIANZA EN LOS PERFILES LONGITUDINALES DE CONCENTRACIÓN POR MEDIO DE LA TÉCNICA <i>BOOTSTRAPPING</i>	16
1.2.1 ¿CÓMO FUNCIONA BOOTSTRAPPING?	17
1.2.2 INTERVALOS DE CONFIANZA CON <i>BOOTSTRAPPING</i>	19
1.3 PERFILES LONGITUDINALES DE LA CALIDAD HÍDRICA DE LOS RÍOS	20
1.4 PRUEBA DE CONTRASTE WILCOXON	22
2 PERFILES DE CALIDAD DEL RÍO TORCA	24
2.1 CONCENTRACIONES TÍPICAS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DEL RÍO TORCA	28
3 PERFILES DE CALIDAD DEL RÍO SALITRE	29
3.1 CONCENTRACIONES TÍPICAS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DEL RÍO SALITRE	35
4 PERFILES DE CALIDAD DEL RÍO FUCHA	37
4.1 CONCENTRACIONES TÍPICAS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DEL RÍO FUCHA	44
5 PERFILES DE CALIDAD DEL RÍO TUNJUELO	45
5.1 CONCENTRACIONES TÍPICAS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DEL RÍO TUNJUELO	53
6 CONCLUSIONES	55
REFERENCIAS	57

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los cinco días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
SST	Sólidos Suspendedos Totales
EAAB-ESP	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - Empresa de Servicios Públicos
L/s	Litros por segundo
mg/L	Miligramos por litro
OC	Objetivos de Calidad
OD	Oxígeno Disuelto
OMS	Organización Mundial de la Salud
PEDH	Parque Ecológico Distrital de Humedal
pH	Potencial de Hidrógeno
PMAE	Programa de Monitoreo de Afluentes y Efluentes del Distrito Capital
PSMV	Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
RCHB	Red de Calidad Hídrica de Bogotá
RCHB-T	Red de Calidad Hídrica de Bogotá Tradicional
PTotal	Fósforo Total
NTotal	Nitrógeno Total
SAAM	Sustancias Activas al Azul de Metileno
GyA	Grasas y Aceites

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1.....	18
Ecuación 2.....	18
Ecuación 3.....	18
Ecuación 4.....	20
Ecuación 5.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Red de Calidad Hídrica de Bogotá – Tradicional, conformada por 30 puntos de monitoreo incluidos dos sobre el río Bogotá.....	11
Figura 2. Promedio de la cantidad de datos de la calidad del agua disponible en los puntos de monitoreo de cada río desde el año 2009 hasta el 2020	14
Figura 3. Boxplot o diagrama de caja	16
Figura 4. Muestra <i>bootstrap</i> : Muestra con reemplazo de la muestra original, con el mismo tamaño de la muestra (Lock, 2012)	19
Figura 5. Modelo de la evolución espacial y temporal de determinantes de la calidad.....	22
Figura 6. Perfil de calidad en el río Torca para el determinante OD.....	25
Figura 7. Perfil de calidad en el río Torca para el determinante DBO ₅	26
Figura 8. Perfil de calidad en el río Torca para el determinante DQO.....	27
Figura 9. Perfil de calidad en el río Torca para el determinante SST	28
Figura 10. Perfil de calidad en el río Salitre para el determinante OD	31
Figura 11. Perfil de calidad en el río Salitre para el determinante DBO ₅	33
Figura 12. Perfil de calidad en el río Salitre para el determinante DQO.....	34
Figura 13. Perfil de calidad en el río Salitre para el determinante SST.....	35
Figura 14. Perfil de calidad en el río Fucha para el determinante OD	38
Figura 15. Perfil de calidad en el río Fucha para el determinante DBO ₅	40
Figura 16. Perfil de calidad en el río Fucha para el determinante DQO	42
Figura 17. Perfil de calidad en el río Fucha para el determinante SST	43
Figura 18. Perfil de calidad en el río Tunjuelo para el determinante OD	46
Figura 19. Perfil de calidad en el río Tunjuelo para el determinante DBO ₅	49
Figura 20. Perfil de calidad en el río Tunjuelo para el determinante DQO.....	51
Figura 21. Perfil de calidad en el río Tunjuelo para el determinante SST.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. División de los tramos de los ríos de Bogotá, (Resolución 5731 de 2008).....	13
Tabla 2. Clasificación de los determinantes de la calidad del agua medidos <i>in situ</i> y en laboratorio	13
Tabla 3. Concentraciones medianas para siete determinantes de la calidad del agua en los puntos de monitoreo del río Torca para el periodo 2018-2020	29
Tabla 4. Concentraciones medianas para siete determinantes de la calidad del agua en los puntos de monitoreo del río Salitre para el periodo 2018-2020	36
Tabla 5. Concentraciones medianas para siete determinantes de la calidad del agua en los puntos de monitoreo del río Fucha para el periodo 2018-2020.....	45
Tabla 6. Concentraciones medianas para siete determinantes de la calidad del agua en los puntos de monitoreo del río Tunjuelo para el periodo 2018-2020.	54

INTRODUCCIÓN

El estado de calidad de las fuentes hídricas de la ciudad de Bogotá ha tenido cambios relevantes en la última década, debido a la dinámica constante de la ciudad y varios factores de impacto que influyen en la concentración de parámetros de interés en la calidad del agua. En el siguiente informe se analiza la dinámica de calidad del agua a través de perfiles longitudinales que fueron elaborados con base en la información generada en los diferentes puntos de monitoreo de la RCHB-T para tres periodos de tiempo 2009-2012, 2013-2017 y 2018-2020. Los perfiles longitudinales de calidad de agua permitieron evaluar los cambios multitemporales y en el espacio de la concentración de cuatro determinantes de la calidad del agua y evaluar el cumplimiento de los objetivos de calidad que son usados en el cálculo del *Water Quality Index* (WQI) y que fueron establecidos por la Resolución 5731 de 2008 en los diferentes periodos. Los análisis fueron enfocados en soportar los cambios que se evidenciaron en el tiempo y entre puntos de monitoreo teniendo en cuenta todos los factores que generan un cambio en la calidad del agua y su variación temporal en los diversos puntos de monitoreo para los determinantes Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar el comportamiento de los determinantes de la calidad del agua OD, DBO₅, DQO y SST en los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca de la ciudad de Bogotá D.C. durante el periodo 2009 a 2020.

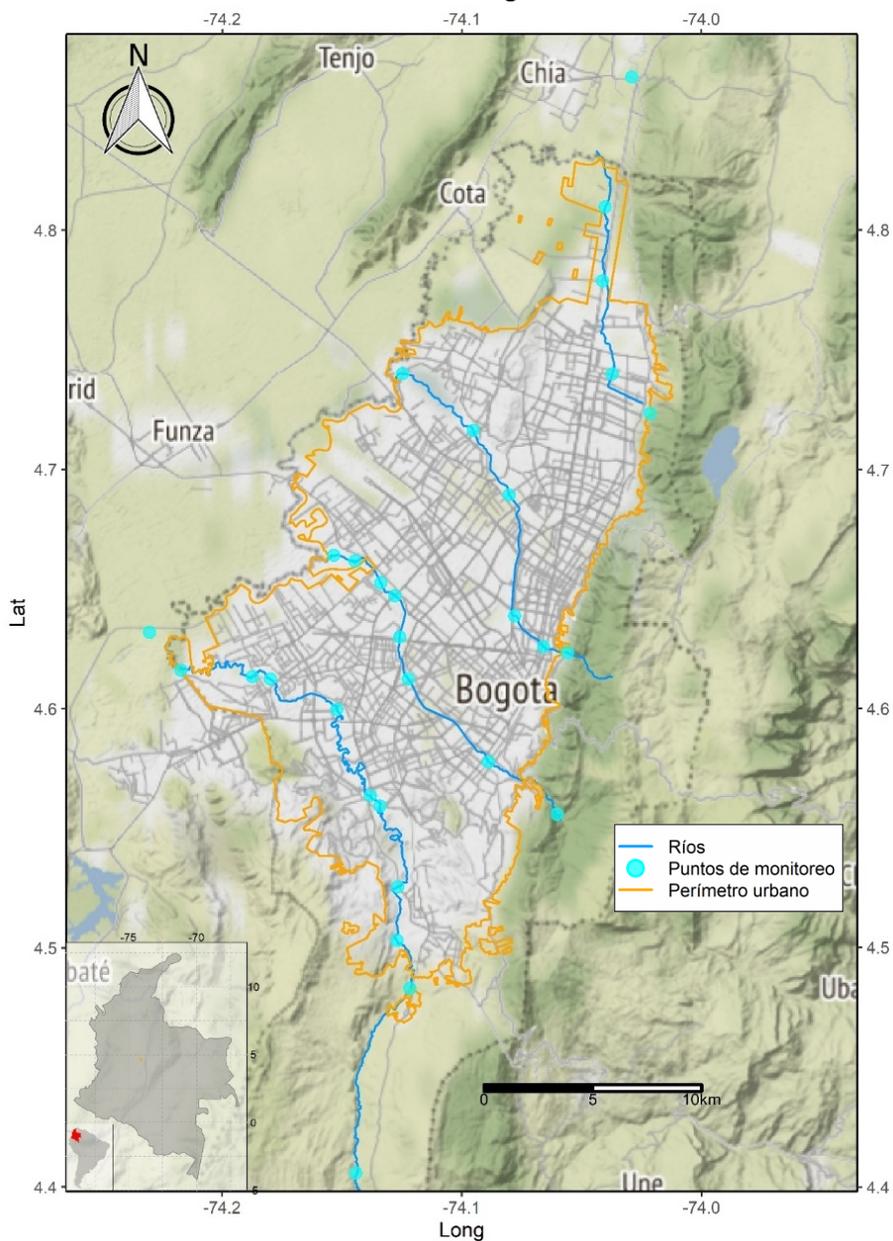
Objetivos específicos

- Evaluar espacial y temporalmente los cambios de calidad del agua en los puntos de monitoreo de los principales ríos de la Ciudad.
- Analizar los cambios en la calidad del agua considerando las obras de saneamiento realizadas en el marco del cumplimiento del PSMV en los diferentes periodos de análisis.

1 MATERIALES Y MÉTODOS

Para los cálculos y análisis realizados en el presente informe técnico, se utilizó la información de la calidad del agua de 28 puntos de monitoreo distribuidos en los ríos Tunjuelo (10), Fucha (8), Salitre (6) y Torca (4) que pertenecen a la RCHB para el periodo comprendido entre el año 2009 (con excepción de río Torca desde el año 2010) hasta el segundo semestre del año 2020. Es importante resaltar que no todos los años y tampoco sus semestres tienen la misma cantidad de información como consecuencia, principalmente, por el tiempo de los procesos de contratación de un laboratorio para que realice la actividad de monitoreo y análisis, dado que la SDA no cuenta con un laboratorio en la matriz agua propio para este fin.

Figura 1. Red de Calidad Hídrica de Bogotá – Tradicional, conformada por 30 puntos de monitoreo incluidos dos sobre el río Bogotá



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 1. De conformidad con esta normatividad, no se involucran las corrientes de los afluentes que convergen a la corriente principal en el tramo relacionado.

RÍO	TRAMO	PUNTOS DE MONITOREO	LÍMITES	
			DESDE	HASTA
Torca	1	TO-BosqueP TO-CL161	Entrada perímetro urbano	Calle 183
	2	TO-CL161 TO-Jardpaz TO-Ssimon	Calle 183	Desembocadura Canal Torca
Salitre	1	SA-ParqNal	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª
	2	SA-Arzobis SA-CL53	Carrera 7ª	Carrera 30
	3	SA-CL53 SA-Carrefo	Carrera 30	Avenida 68
	4	SA-Carrefo SA-Tv91 SA-Alameda	Avenida 68	Desembocadura Río Juan Amarillo
Fucha	1	FU-Delirio	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª
	2	FU-KR7 FU-Ferroca	Carrera 7ª	Desembocadura Canal Comuneros
	3	FU-Américas FU-Boyaca	Desembocadura canal comuneros	Avenida Boyacá
	4	FU-VisionC FU-ZFranca FU-Alameda	Avenida Boyacá	Desembocadura Río Fucha
Tunjuelo	1	TU-Regader TU-UAN	Entrada perímetro urbano	Desembocadura Quebrada Yomasa
	2	TU-Yomasa TU-DJuana	Desembocadura Q. Yomasa	Avenida Boyacá
	3	TU-DJuana TU-Mexico	Avenida Boyacá	Autopista Sur

RÍO	TRAMO	PUNTOS DE MONITOREO	LÍMITES
		TU-SBenito	
		TU-MakroS	
		TU-MakroS	
4		TU-Tv86	Autopista Sur
		TU-PteInde	Desembocadura Río Tunjuelo
		TU-IslaPon	

Tabla 1. División de los tramos de los ríos de Bogotá, (Resolución 5731 de 2008)

Por lo general, en el funcionamiento de la RCHB se realizan seis (6) monitoreos semestrales en cada uno de los puntos donde se cualifica y cuantifica la calidad de los principales ríos de la ciudad monitoreo. En la ejecución de las campañas de monitoreo se han tomado muestras compuestas (por periodos de dos horas y alícuotas cada media hora), toma de datos de campo *in situ* y aforos de caudal, como aparecen en la Tabla 2.

Monitoreo	Determinantes de la calidad del agua
Mediciones <i>in situ</i>	Caudal, pH, Temperatura, Conductividad y Oxígeno Disuelto.
En laboratorio	DBO ₅ , DQO, SST, Coliformes Fecales, Grasas y Aceites, Ptotal, Ntotal (Kjeldahl), Nitratos, Nitritos) y Surfactantes Activos al Azul de Metileno (SAAM).

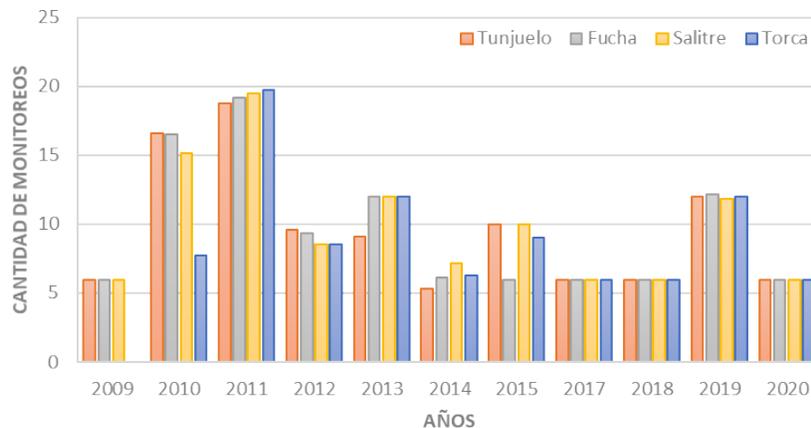
Tabla 2. Clasificación de los determinantes de la calidad del agua medidos *in situ* y en laboratorio

Cabe resaltar que, durante el primer semestre de 2020, se presentó un receso aproximado de cinco meses, desde el 14 de febrero hasta el 16 de junio, por factores externos asociados a la emergencia sanitaria declarada por el gobierno nacional a causa de la pandemia generada por el COVID-19, y sumado a esto la cuarentena obligatoria decretada por la Alcaldía de Bogotá. Una vez implementadas las medidas de seguridad sanitaria se reactivaron los monitoreos, finalizando el 24 de septiembre de 2020; así las cosas, en cada una de los puntos de la RCHB-T se realizaron

seis (6) caracterizaciones en ventanas bihorarias hasta completar 12 horas, con base en los resultados de estos monitoreos se desarrollan los cálculos y análisis del índice que se presentan en este informe.

De esta manera, en la Figura 2 se presenta la cantidad de datos promedio que se tienen disponibles desde el año 2009 al 2020 para cada uno de los puntos de monitoreo de los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca. Como se observa en la Figura de barras el año 2016 no tiene información para ninguno de los cuatro ríos que contrasta con los años 2010 y 2011 donde se tiene más de 15 monitoreos por año, con excepción del río Torca que en el año 2010 presentó ocho (8). En el resto de los años del periodo de análisis se tiene como mínimo seis monitoreos por cada punto.

Figura 2. Promedio de la cantidad de datos de la calidad del agua disponible en los puntos de monitoreo de cada río desde el año 2009 hasta el 2020



El periodo de análisis (2009-2020) fue dividido en tres: 2009-2012, 2013-2017 y 2018-2020, y con esta información se realizaron los cálculos que se presenta en el siguiente numeral (Anexo 1). Aunque los análisis se enfocan en los determinantes de la calidad del agua OD, DBO₅, DQO y SST, se aclara que en los anexos (Anexo 3) de este informe se encuentran los perfiles longitudinales

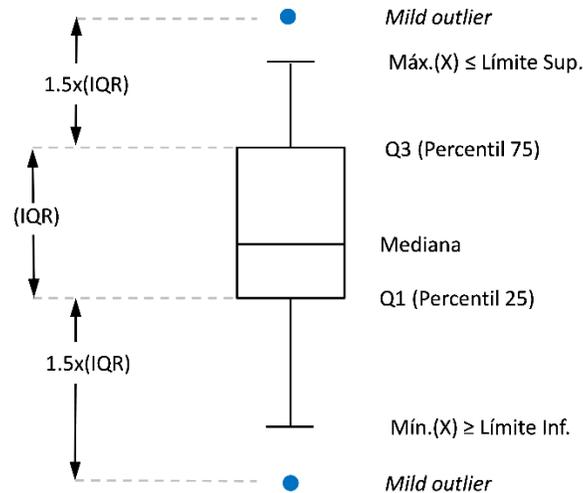
de concentración para los determinantes Nitrógeno Total, Fósforo Total, Grasas y Aceites y Sustancias Activas al Azul de Metileno.

1.1 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).

La detección atípicos en las concentraciones de cada determinante y por cada periodo de análisis, se realiza por medio de la metodología de boxplot. Este método fue desarrollado por John Tukey en 1977 quien introdujo varios métodos para el análisis de datos. 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 3). 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).

Figura 3. Boxplot o diagrama de caja



Un dato x se declara outlier si se encuentra fuera del intervalo $(Q_1 - 1.5 \times IQR, Q_3 + 1.5 \times IQR)$, donde Q_1 es el primer cuartil, Q_3 es el tercer cuartil e IQR recibe el nombre de rango intercuartil (en inglés *interquartil range*) calculado como $Q_3 - Q_1$ (Acuña y Rodríguez, 2004).

1.2 INTERVALOS DE CONFIANZA EN LOS PERFILES LONGITUDINALES DE CONCENTRACIÓN POR MEDIO DE LA TÉCNICA *BOOTSTRAPING*

Las capacidades de cálculo de los computadores han incrementado a lo largo de los años, lo cual ha permitido la implementación de métodos estadísticos más potentes y precisos, destacando todos aquellos que emplean el remuestreo como principal herramienta de análisis. Dentro de este grupo, aparece el *bootstrapping*¹ que fue propuesto y estudiado inicialmente por Efron (1979) como un método para la aproximación de la distribución de muestreo de un estadístico (e.g. media, mediana, correlación, etc.) (Araujo, 2009).

¹ *Bootstrap*: Levantarse tirando de las propias correas de las botas

La inferencia estadística tradicional parte de ciertas suposiciones acerca de la distribución poblacional para determinar matemáticamente la distribución muestral de un estadístico. De este modo, da por hecho el cumplimiento del Teorema de Límite Central para tamaños de muestra suficientemente grandes, sin definir acertadamente lo que significa "suficientemente grande" (Araujo, 2009).

Por lo tanto, los métodos de remuestreo, por su parte, presentan varias ventajas (Solanas y Sierra, 1992):

- i. Flexibles en lo que referente a supuestos acerca de la población y permiten, además, estimar la distribución de un estadístico de manera empírica.
- ii. No exigen de tamaños de muestra excesivamente grandes para ser precisos y confiables.
- iii. Tienen magnitudes de sesgo significativamente más pequeñas que otros modelos de inferencia.
- iv. De fácil comprensión y rápida implementación.
- v. Finalmente, son menos costosos y en la mayoría de las veces, más rápidos y efectivos que otros métodos.

1.2.1 ¿CÓMO FUNCIONA BOOTSTRAPPING?

Sea $\theta(F)$ un parámetro dependiente de una desconocida función de distribución F y, por otro lado, considere las variables aleatorias X_1, X_2, \dots, X_n , tales que $F \stackrel{iid}{\sim} X_n$ son variables aleatorias con función de distribución idéntica e independiente (Solanas y Sierra, 1992). A partir de este punto, la implementación general se realiza siguiendo los pasos detallados a continuación:

- i. Crear B muestras nuevas a partir de la muestra original utilizando para esto, muestreo con reemplazo. Las muestras generadas se denominan Muestras *Bootstrap* y son de tamaño n igual a la original.
- ii. Calcular el estadístico de interés de cada muestra *bootstrap*. Luego, definir la distribución de los valores estimados creando así la Distribución *Bootstrap*. Por tanto, es factible

establecer significando $\hat{\theta}_i(F) = \theta(F)$, que la función de distribución de la variable aleatoria de interés se estima a partir de la distribución empírica, constituyendo el aspecto fundamental del denominado *bootstrap* no paramétrico (Solanas y Sierra, 1992).

- iii. Utilizar la Distribución *Bootstrap* considerando que ésta contiene información relevante en cuanto a la forma, centro y dispersión de la distribución muestral del estadístico.

Cuando se genera una distribución *bootstrap*, la cual posee características de forma, centro y dispersión semejantes a la distribución muestral del estadístico $\hat{\theta}$, es posible calcular los siguientes estimadores *bootstrap* considerando $\hat{\theta}^*$ los obtenidos:

- Media o Promedio *bootstrap* el cual es un indicador del centro de la distribución:

$$E_{boot}(\hat{\theta}^*) = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \hat{\theta}_i^* \quad \text{Ecuación 1.}$$

- Error Estándar *bootstrap* el cual es un indicador de la dispersión de la distribución:

$$SE_{boot}(\hat{\theta}^*) = \sqrt{\frac{1}{B-1} \left[\sum_{i=1}^B (\hat{\theta}_i^* - E_{boot}(\hat{\theta}^*))^2 \right]} \quad \text{Ecuación 2.}$$

- Sesgo *bootstrap* el cual es indicador de la forma de la distribución:

$$bias_{boot}(\hat{\theta}^*) = E_{boot}(\hat{\theta}^*) - \hat{\theta} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Este método genera una analogía importante que facilita la comprensión del modelo: "la muestra aleatoria es a la población así como la muestra *bootstrap* es a dicha muestra aleatoria" (Araujo, 2009). En la Figura 4, se presenta una interpretación gráfica de la muestra *bootstrap*.

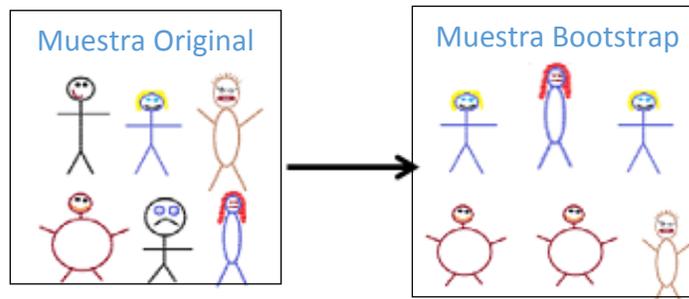


Figura 4. Muestra *bootstrap*: Muestra con reemplazo de la muestra original, con el mismo tamaño de la muestra (Lock, 2012)

1.2.2 INTERVALOS DE CONFIANZA CON *BOOTSTRAPPING*

Existen varias maneras de calcular Intervalos de Confianza cuando se emplea el método de *bootstrapping*, pero dependerá exclusivamente de la distribución *bootstrap* resultante del proceso. Si la distribución mencionada no presenta un sesgo de magnitud considerable y se observa una aproximación a la normal, se puede usar intervalos t (la distribución de los datos es próxima a la normal) o de percentiles, en caso contrario es recomendable usar intervalos BC.

Por lo tanto, en el caso puntual de las concentraciones calculadas para los siete determinantes de calidad hídrica se asume que la distribución es normal y que las distribuciones *bootstrap* resultantes del proceso no presentan un sesgo considerable. Bajo estas suspensiones la técnica seleccionada para realizar el cálculo del intervalo de confianza de las concentraciones fue *bootstrap* de percentiles.

El intervalo por medio *bootstrap* de percentil es solo el intervalo entre los percentiles $100 \times (\alpha/2)$ y $100 \times (1 - \alpha/2)$ de la distribución de las estimaciones θ obtenidas del remuestreo, donde θ representa un parámetro de interés y α es el nivel de significancia (por ejemplo, $\alpha = 0,05$ para IC del 95%). Se puede obtener un IC percentil de *bootstrap* de $\hat{\theta}$ (un estimador de θ) de la siguiente manera: (1) Se generan B muestras *bootstrap* aleatorias, (2) se calcula una estimación de

Página 19 de 58

parámetro a partir de cada muestra *bootstrap*, (3) todas B las estimaciones de parámetros de *bootstrap* son ordenado de menor a mayor, y (4) el IC se construye de la siguiente manera,

$$[\hat{\theta}_{\text{límite inferior}}, \hat{\theta}_{\text{límite superior}}] = [\hat{\theta}_j^*, \hat{\theta}_k^*] \quad \text{Ecuación 4.}$$

donde $\hat{\theta}_j^*$ denota el j-ésimo cuantil (límite inferior), y $\hat{\theta}_k^*$ denota el k-ésimo cuantil (límite superior); $j = [\alpha/2 \times B]$, $k = [(1 - \alpha/2) \times B]$. Por ejemplo, un IC *bootstrap* de percentil del 95% con 1000 muestras de arranque es el intervalo entre el valor del cuantil 25 y el valor del cuantil 97.5 de las 1000 estimaciones del parámetro *Bootstrap*.

Los intervalos de confianza fueron calculados por medio del paquete estadístico *simpleboot* de la herramienta computacional R (R Development Core Team, 2015; Peng, 2008).

1.3 PERFILES LONGITUDINALES DE LA CALIDAD HÍDRICA DE LOS RÍOS

En este numeral se presentarán los perfiles de calidad hídrica a lo largo de los ríos, con el objetivo de evaluar la evolución espacial y temporal en términos de la concentración mediana de cuatro determinantes de calidad OD, DBO₅, DQO y SST del agua de la ciudad, desde los primeros puntos de monitoreo (aguas arriba) ubicados generalmente en los cerros orientales, hasta los últimos puntos antes de su desembocadura al río Bogotá (aguas abajo). Es importante señalar que los cálculos de las medianas e intervalos de confianza se realizaron sin eliminar los datos atípicos o outliers, y que por el contrario si fueron eliminados de la aplicación de la prueba de contraste Wilcoxon.

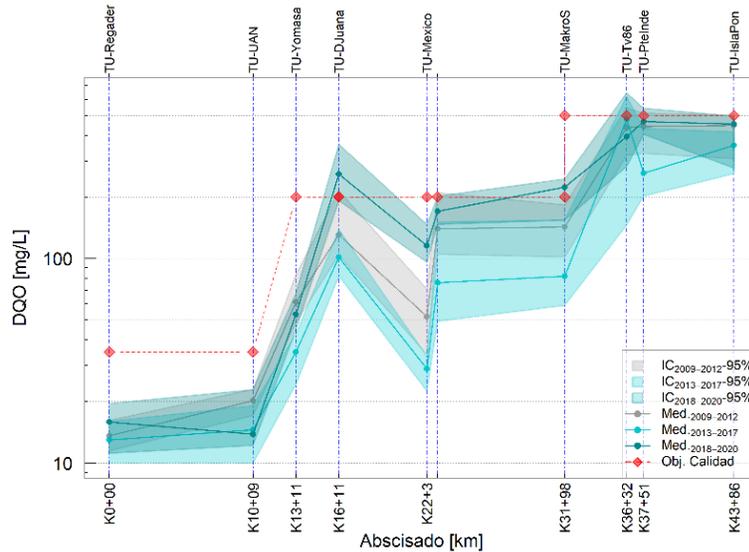
En esos gráficos, se observa por cada punto de monitoreo y por cada uno de los tres periodos evaluados la concentración mediana y sus intervalos de confianza de 95 %. La representación de la evolución espacial y temporal de los determinantes de la calidad evaluados se realiza mediante

gráficos similares al presentado en la Figura 5 que corresponde a la DQO en el río Tunjuelo. En su eje vertical presenta la concentración expresada en (mg/L) en una escala logarítmica para los determinantes de análisis. Por otra parte, en el eje horizontal inferior se presenta el abscisado en kilómetros y resaltado con un eje vertical en azul punteado que en el eje horizontal superior aparece en nombre del punto de monitoreo correspondiente a la abscisa, mientras que en el eje vertical se presentan las concentraciones en escala logarítmica.

La banda gris representa el intervalo de confianza del 95 % para los datos del periodo 2009-2012 de los determinantes evaluados, mientras que las bandas de colores representan el intervalo de confianza del 95 % para los datos registrados para los periodos 2013-2017 y 2018-2020.

Las líneas con puntos de color gris y de los colores mencionados en el rotulo de cada grafica representan la mediana de los datos de los periodos de interés, para cada uno de los determinantes evaluados. Por último, la línea punteada con rombos de color rojo representa el objetivo de calidad de la Resolución 5731 de 2008 para cada determinante con el fin realizar el análisis congruente con el periodo 2009 a 2020.

Figura 5. Modelo de la evolución espacial y temporal de determinantes de la calidad.



Fuente: SRHS, 2021.

1.4 PRUEBA DE CONTRASTE WILCOXON

La prueba de Wilcoxon o Mann-Whitney no paramétrica se usa para comprobar la heterogeneidad de dos muestras ordinales o continuas independientes. Las consideraciones iniciales para esta prueba son:

- I. Las observaciones de ambos grupos son independientes.
- II. Las observaciones son variables ordinales o continuas.
- III. Bajo la hipótesis nula, la distribución de partida de ambos grupos es la misma: $P(X > Y) = P(Y > X)$.
- IV. Bajo la hipótesis alternativa, los valores de una de las muestras *tienden a exceder* a los de la otra: $P(X > Y) + 0.5 P(X = Y) > 0.5$.

Las hipótesis de investigación nula y bilateral para la prueba no paramétrica se expresan de la siguiente manera: H_0 las dos poblaciones son iguales versus H_1 las dos poblaciones no son iguales.

El estadístico de la prueba es U y corresponde al menor valor de U_1 y U_2 , definidos a continuación:

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1$$

Ecuación 5.

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2$$

donde n_1 y n_2 son los tamaños respectivos de cada muestra; R_1 y R_2 es la suma de los rangos (la suma de la posición relativa de cada individuo de la muestra) de las observaciones de las muestras 1 y 2, respectivamente.

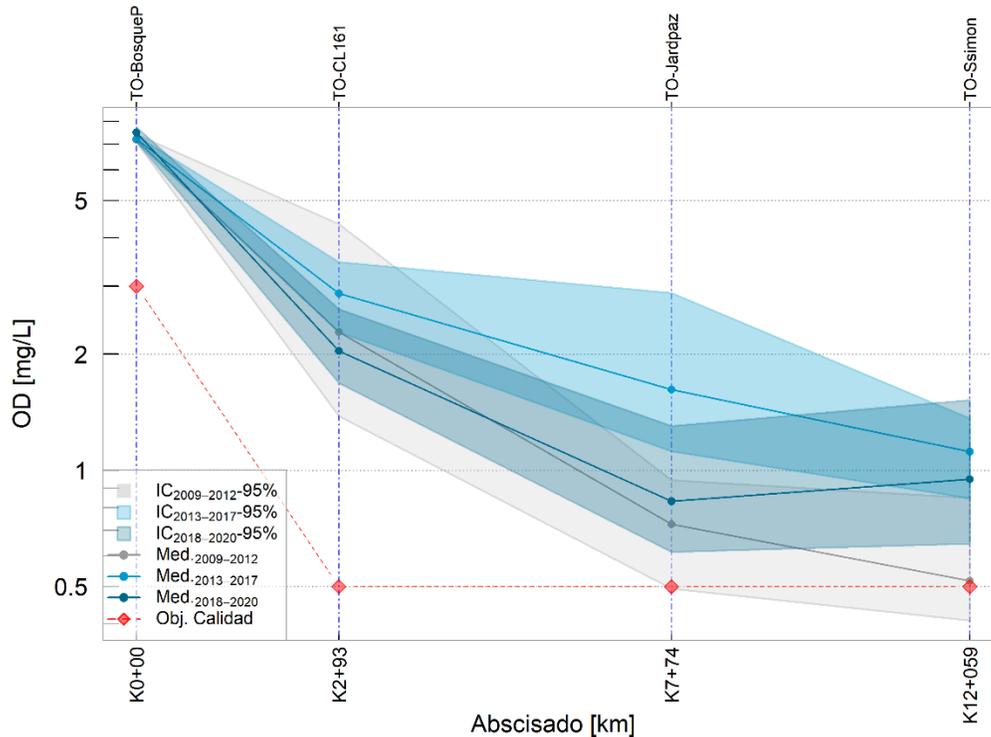
La prueba Wilcoxon se usa en este informe para comparar si las medianas de las concentraciones de siete determinantes de la calidad del agua entre los periodos 2009-2012 y 2018-2020 son significativamente diferentes.

2 PERFILES DE CALIDAD DEL RÍO TORCA

Para las concentraciones de OD según la Figura 6, se observa el cumplimiento general en los tres periodos a los objetivos de calidad para los puntos TO-BosqueP y TO-CL161, sin embargo, para los puntos TO-JardPaz y TO-Ssimon algunos valores dentro del intervalo de confianza fueron menores al objetivo de calidad para el periodo de 2009-2012. En términos generales, se evidenció un aumento en las concentraciones de OD para los periodos 2013-2017 y 2018-2020 con respecto al periodo 2009-2012. En los últimos periodos los intervalos de confianza cumplen con el objetivo de calidad y que las concentraciones de los últimos puntos del río Torca tienden a presentar concentraciones de 1 mg/L, mientras que los puntos TO-BosqueP y TO-CL161 han reportado cumplimiento del valor objetivo mucho más amplio durante los tres periodos.

Se evidenció que a medida que río Torca recorre la Ciudad los intervalos de confianza del OD aumenta como consecuencia de la descarga tanto de afluentes pluviales como residuales, observando una gran diferencia de todos los puntos con respecto a TO-BosqueP que evidencia en términos de calidad de agua una condición más prístina en ese punto de monitoreo. Por otra parte, en el periodo 2013-2017 el intervalo de confianza es amplio en los puntos TO-JardPaz, logrando concentraciones entre 1.2 y 3 mg/L, lo cual denota una variación importante dentro de este periodo temporal. Para los tres periodos se evidencia que la tendencia en las medianas de las concentraciones es similar, pero en el periodo 2018-2020 el comportamiento del perfil de concentración presenta una leve mejora en la estación TO-SSimon que también se refleja en su intervalo de confianza.

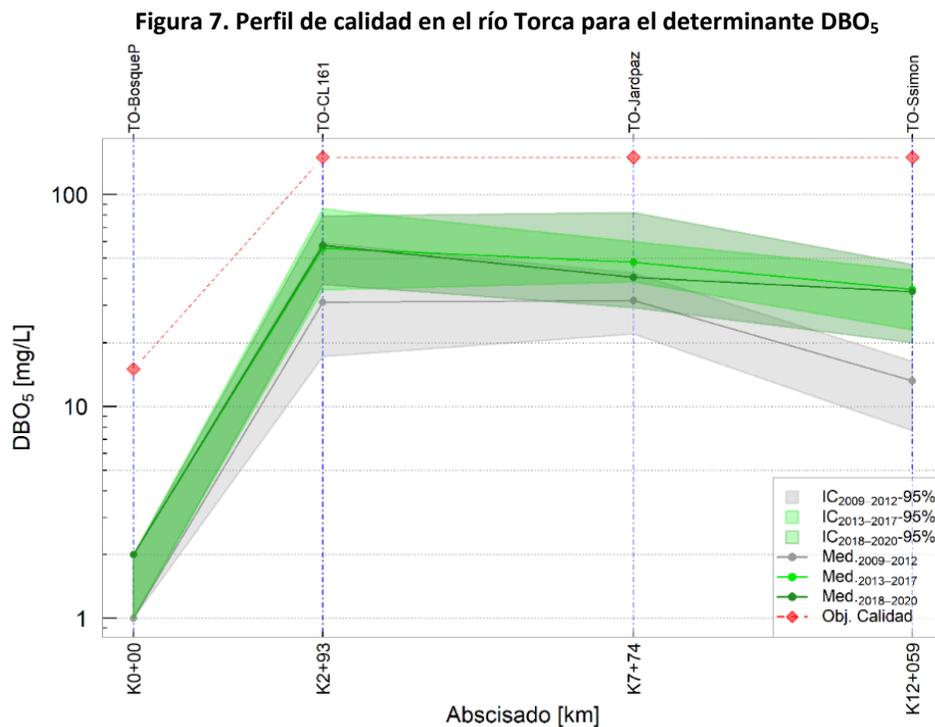
Figura 6. Perfil de calidad en el río Torca para el determinante OD



En cuanto a las concentraciones de DBO_5 en el río Torca, se observó un incremento importante de los valores de la mediana en los periodos 2013-2017 y 2018-2020 con respecto a 2009-2012, aun así, es importante resaltar que el intervalo de confianza para el periodo comprendido entre 2018-2020 es inferior al que se presenta entre 2013-2017 a partir de la estación TO-CL161, pero presenta un incremento importante con respecto al intervalo de confianza del periodo de 2009-2012. Como aspecto positivo se tiene que el intervalo de confianza de los tres periodos analizados cumple con los valores de concentración establecidos como objetivo de calidad, sin embargo, el incremento de las concentraciones de hasta 25 mg/L en los últimos dos periodos evidencia que es necesario el desarrollo de obras de saneamiento en los puntos de vertimiento RTO-T1-0120, RTO-T1-0130, RTO-T1-0780, RTO-T1-0790 localizados entre TO-BosqueP y TO-JardPaz, los cuales,

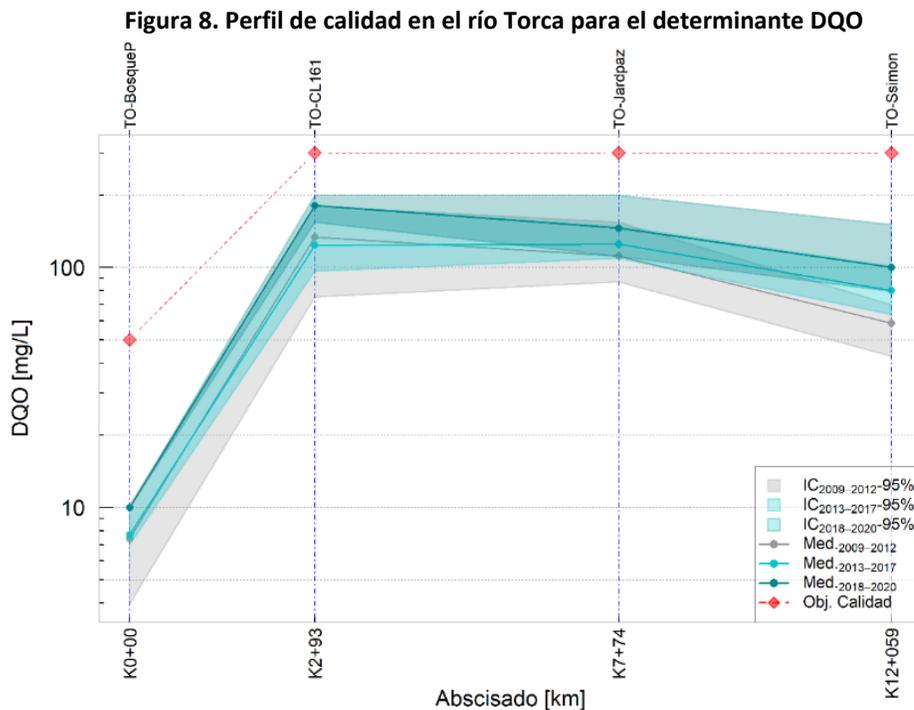
con base en la caracterizaciones obtenidas en el PSMV y el PMAE, tienen incidencia directa en el incremento de la concentración de DBO₅ en esta fuente hídrica.

Si bien se puede inferir que existen procesos de biodegradación en el PEDH Torca Guaymaral que propician la disminución de los valores de concentración de la DBO₅ no son suficientes, tal como se observa en las medianas de los dos últimos periodos (2013-2017 y 2018-2020) en los que la concentración entre TO-JardPaz y TO-Ssimon es similar.



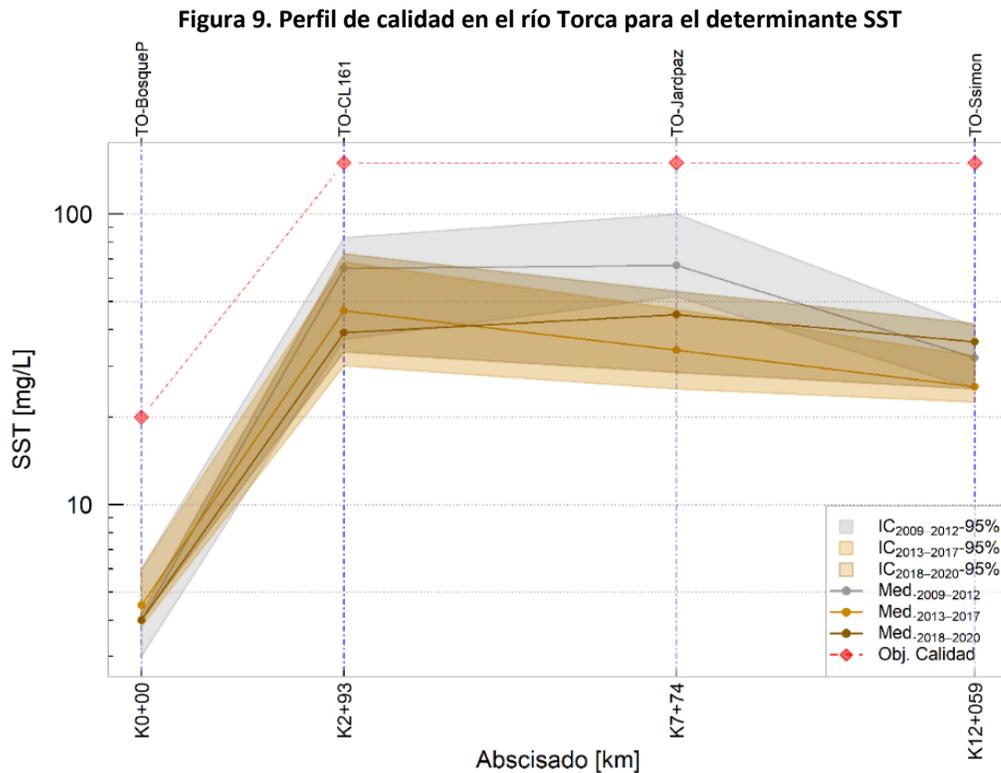
Al analizar los resultados asociados con las concentraciones de DQO, se observó que presentan un comportamiento análogo con la DBO₅, presentando un crecimiento sostenido entre los puntos TO-BosqueP y TO-CL161, pero que a pesar de esto en ambos lugares los intervalos de confianza

reflejan el cumplimiento de los objetivos de calidad en los tres periodos de análisis. No obstante, el periodo 2018-2020 presentó un aumento en la concentración de la DQO con respecto a los demás periodos, de manera que se hace evidente el incremento en la magnitud de las descargas asociadas con sustancias inorgánicas incorporadas procedentes de la red de alcantarillado. Finalmente se evidencia una disminución progresiva en la concentración de DQO en el trayecto comprendido entre TO-CL161 y TO-SSimon (ver Figura 8).



En contraste con los resultados de concentraciones de DBO₅ y DQO obtenidos para el río Torca, el determinante SST muestra en el periodo 2010-2012 que el intervalo de confianza y valores de mediana son mayores en los puntos TO-CL161 y TO-Jardpaz con respecto a los periodos posteriores. Si bien, presenta esta novedad, conserva en todos los periodos evaluados el

cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos para cada tramo en esta fuente hídrica. Por otra parte, en el periodo 2018-2020 el punto TO-SSimon presentó un incremento en los SST de 10.85 mg/L frente a la mediana calculada para el periodo 2013-2017.



2.1 CONCENTRACIONES TÍPICAS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DEL RÍO TORCA

En la Tabla 3, se presenta la mediana de siete determinantes de calidad del agua para cada uno de los puntos de monitoreo del río Torca para el periodo 2018-2020. Los asteriscos de color rojo representan que las medianas de las concentraciones del periodo 2009-2012 son

significativamente diferentes ($p\text{-valor} \leq \alpha$; $\alpha = 0.05$) a las medianas de las concentraciones del periodo 2018-2020 y las cruces de color azul representan que las concentraciones del periodo 2018-2020 son mayores a las del periodo 2009-2012.

De esta manera, se observa que el 71 % de los determinantes evaluados han incrementado (+) sus concentraciones en los puntos TO-BosqueP, TO-CL161 y TO-Jardpaz durante el periodo 2018-2020, mientras que en el punto TO-Ssimon el 57 % de los determinantes reportó esta condición. Por otra parte, el 64 % de las celdas determinante-punto de monitoreo reportaron diferencias significativas (*) entre las medianas de los dos periodos evaluados conforme a los resultados de la prueba de Wilcoxon (ver Anexo 2). Por otra parte, la DBO_5 fue el determinante con más puntos de monitoreo con incrementos significativos entre los periodos evaluados seguido del Ptotal y Ntotal . Finalmente, el 46 % de las celdas determinante-punto de monitoreo reportaron incrementos significativos entre los periodos evaluados.

Puntos de monitoreo	Concentración [mg/L]						
	DBO_5	DQO	SST	GYA	SAAM	Ptotal	Ntotal
TO-BosqueP	2.00* ⁺	10.00 ⁺	4.00	10.00 ⁺	0.40* ⁺	0.90 ⁺	1.00*
TO-CL161	57.65 ⁺	181.00 ⁺	39.00	20.70* ⁺	1.50	2.42* ⁺	20.25* ⁺
TO-Jardpaz	40.70* ⁺	145.50 ⁺	45.00*	12.50* ⁺	1.76*	2.66* ⁺	19.40* ⁺
TO-Ssimon	34.85* ⁺	100.12* ⁺	36.25 ⁺	10.00 ⁺	1.22*	1.85	15.90

Tabla 3. Concentraciones medianas para siete determinantes de la calidad del agua en los puntos de monitoreo del río Torca para el periodo 2018-2020

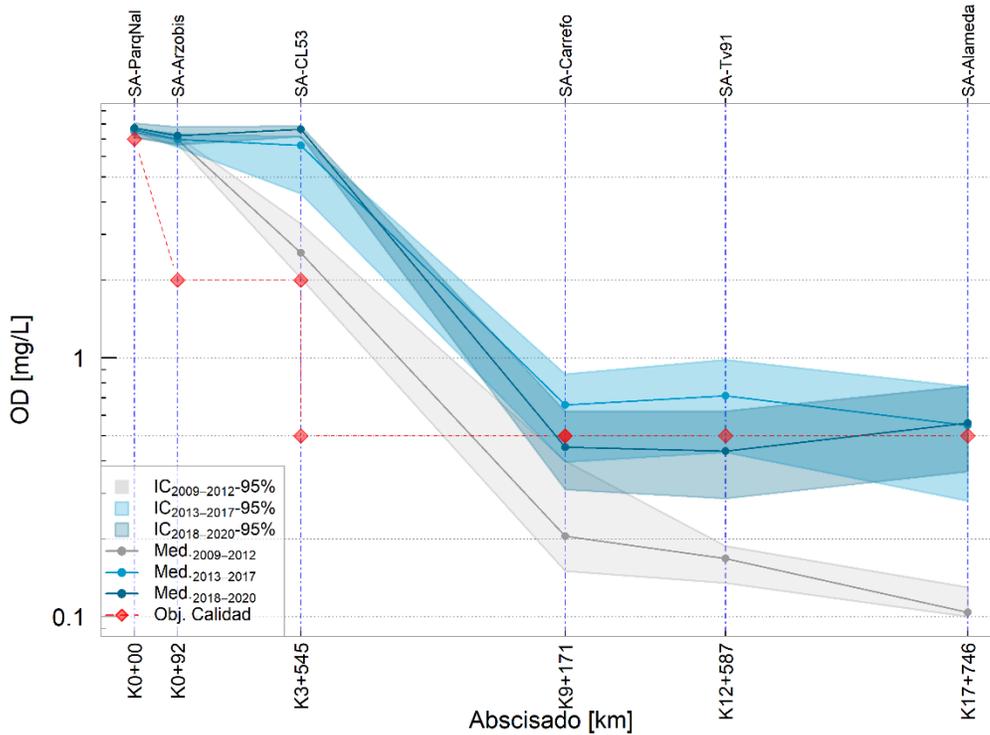
3 PERFILES DE CALIDAD DEL RÍO SALITRE

Los puntos de monitoreo que conforma el tramo I y II del río Salitre tienen objetivos de calidad distintos, pero han presentado un comportamiento similar en cuanto a la concentración del OD y que han superado los 6 mg/L en los puntos SA-ParqNal, SA-Arzobis y SA-CL53 en los periodos

2013-2017 y 2018-2020. Es preciso indicar el cambio en la concentración entre SA-Arzobis y SA-CL53 con respecto al periodo 2009-2012, el cual se asocia con la eliminación de vertimientos directos a esta fuente superficial aguas arriba de punto SA-CL53.

Los vertimientos realizados en el tramo III del río salitre causan un evidente impacto en la concentración del Oxígeno disuelto, pasando de valores superiores de 6 mg/L de la mediana en los periodos 2013-2017 y 2018-2020 a una concentración inferior a 0.5 mg/L en los periodos 2009-2012 y 2018-2020 en el punto SA-Carrefour. En el trayecto comprendido hasta el punto SA-Tv91 se estabiliza la concentración de OD para los periodos 2013-2017 y 2018-2020 con la diferencia que en el periodo más reciente los valores de la mediana incumplen el objetivo de calidad. Antes de la entrega, en el punto SA-Alameda, se presenta un leve incremento en la mediana de los datos del periodo 2018-2020. A pesar de que no implica cambios significativos en la calidad del río Salitre, se observó una mejora en el OD del tramo IV pasando de 0.1 mg/L en el periodo 2009-2012 a concentraciones, por lo general, superiores a 0.5 mg/L en los demás periodos en el último punto de esta fuente hídrica.

Figura 10. Perfil de calidad en el río Salitre para el determinante OD

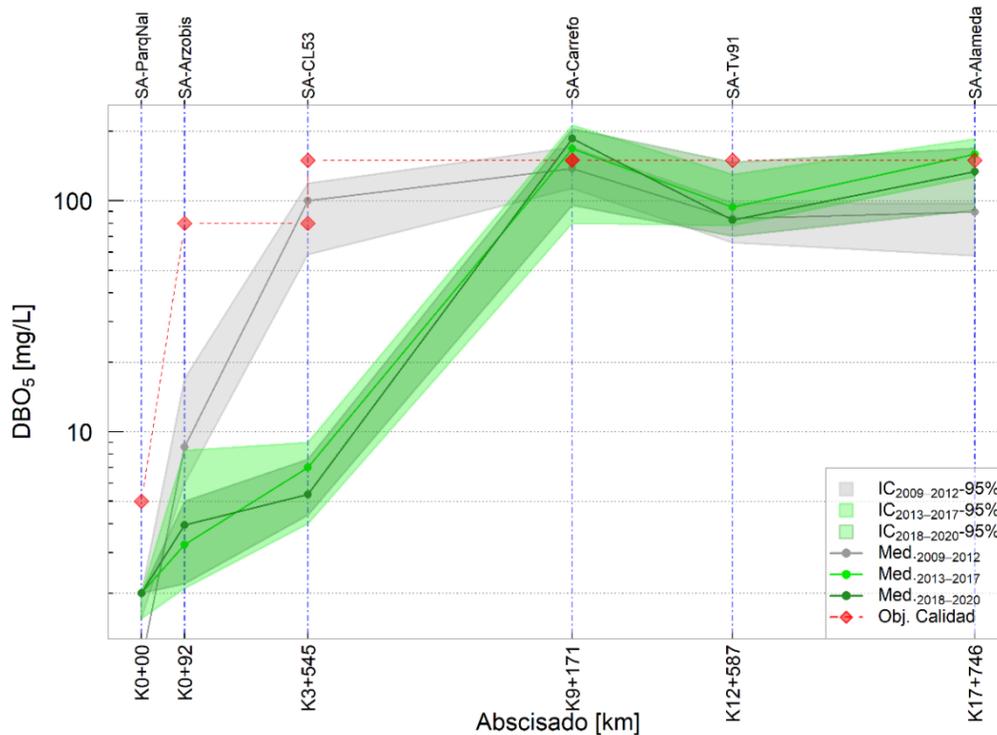


El comportamiento de la concentración de DBO_5 en el río Salitre presenta una reducción importante entre los puntos SA-ParqNal, SA-Arzobis y SA-CL53, en los periodos 2013-2017 y 2018-2020 (en donde el valor de la mediana no supera el objetivo de calidad en el punto SA-CL53), con respecto al periodo 2009-2012, como se observa en la Figura 11. Las concentraciones tienen un amplio margen de diferencia con los objetivos de calidad establecidos en el tramo I y II al cual pertenecen los mencionados puntos, pero a pesar de los resultados y teniendo en cuenta los recorridos realizados durante 2020 a esta fuente hídrica, se evidenciaron vertimientos menores que en el mediano plazo pueden ocasionar un incremento en la concentración de la DBO_5 y disminuir el margen de diferencia para el cumplimiento de objetivos de calidad.

En la estación SA-Carrefour se encontró que las franjas de confianza de los tres periodos de análisis y por tanto las medianas para los periodos 2013-2017 y 2018-2020 superan el límite máximo establecido en los objetivos de calidad para el tramo III, a su vez, en el punto SA-TV91 se presenta una tendencia en el tiempo de reducción de la DBO_5 tanto en la mediana como en el intervalo de confianza que ha permitido cumplir el objetivo de calidad. En el último punto del río Salitre (SA-Alameda) se encontró incumplimiento de algunas concentraciones como lo refleja el intervalo de confianza para los periodos 2013-2017 y 2018-2020.

Desde el tramo III hasta el IV se nota una influencia marcada las siguientes descargas (con código de la SDA) en la calidad de las aguas del río Salitre: Colector SEARS (RSA-T3-0040), Colector Las Delicias (RSA-T3-0080), Alivio interceptor izquierdo Salitre CL 68 (RSA-T3-0170), Colector La Vieja (RSA-T3-0210), confluencia del Canal Río Negro (RSA-T3-0430), canal Bonanza (RSA-T4-0300), Entrega subcuenca Córdoba (RSA-T4-0400), Colector Suba Rincón (RSA-T4-0580), e Interceptor Suba Compartir (RSA-T4-0680).

Figura 11. Perfil de calidad en el río Salitre para el determinante DBO₅

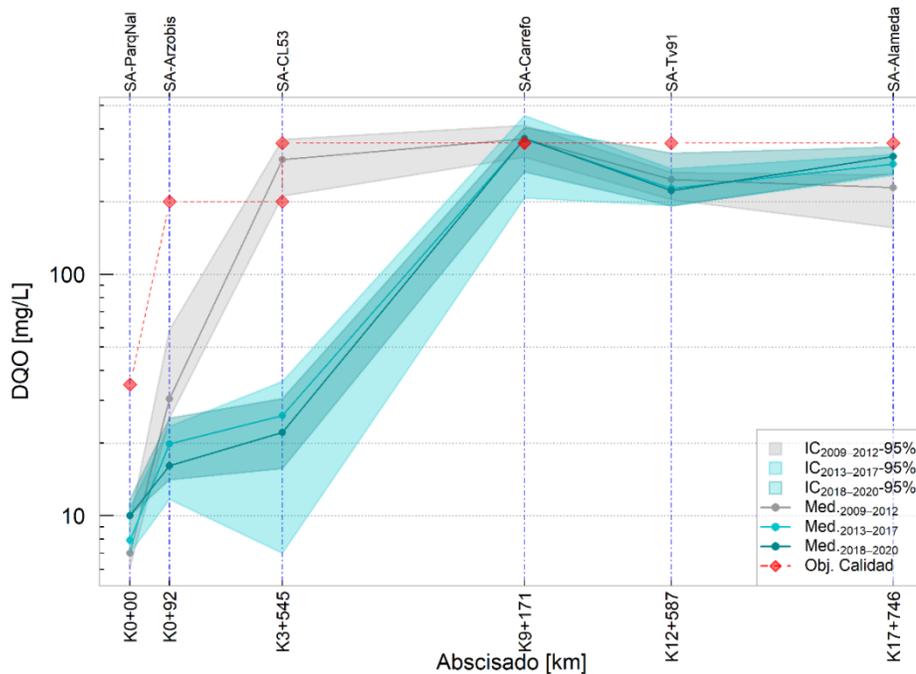


En lo referente al perfil de concentración de la DQO en la Figura 12, se evidenció que tiene un comportamiento homólogo con la DBO₅ en cuanto al cumplimiento a los límites establecidos como objetivos de calidad, pero es mayor la magnitud de las franjas de confianza entre los puntos SA-ParqNal, SA-Arzobis y SA-CL53, en especial para los periodos 2013-2017 y 2018-2020.

Para el tramo IV, el punto SA-Carrefour continúa reportando concentraciones de DQO mayores tanto en la mediana como en el intervalo de confianza que superan el objetivo de calidad en los tres periodos, aunque no por un margen significativo. Sin embargo, en los puntos SA-TV91 y SA-Alameda se observa cumplimiento del objetivo de calidad, que se consolida en el punto SA-TV91 donde a lo largo de los últimos dos periodos se ha presentado una reducción sostenida de la DQO.

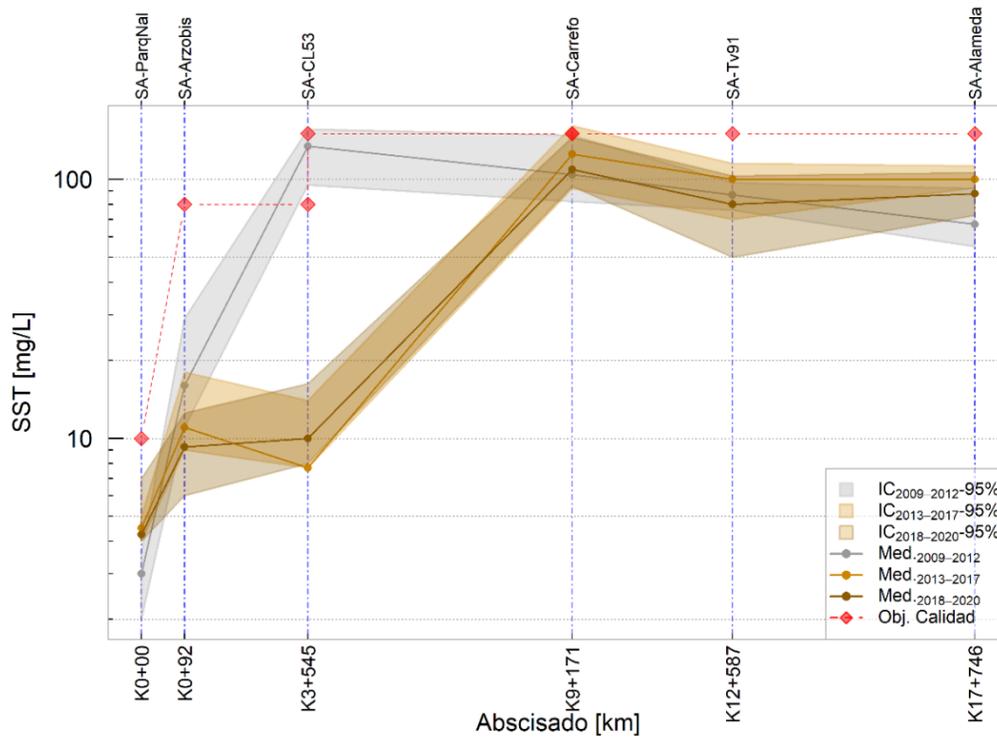
Finalmente, en el periodo 2018-2020 la estación SA-Alameda presenta el valor más alto de la mediana y del intervalo de confianza, lo anterior puede explicarse por la descarga de aguas residuales del punto RSA-T4-0680, que se localiza 300 metros aguas arriba de la última estación del río Salitre.

Figura 12. Perfil de calidad en el río Salitre para el determinante DQO



Para el determinante SST (Figura 13) también se presenta entre los puntos SA-ParqNal, SA-Arzobis y SA-CL53 una disminución notoria en la concentración entre los periodos 2013-2017 y 2018-2020 con respecto al periodo 2009-2012, situación que se ha sido similar al comportamiento de la DBO₅ y la DQO. Se evidencian cambios relevantes entre los puntos SA-Carrefour, SA-TV91 y SA-Alameda, en donde cabe resaltar que para el periodo 2018-2020 con respecto al periodo 2013-2017 hay disminuciones en la mediana y del intervalo de confianza.

Figura 13. Perfil de calidad en el río Salitre para el determinante SST



3.1 CONCENTRACIONES TÍPICAS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DEL RÍO SALITRE

En la Tabla 4, se presenta la mediana de siete determinantes de calidad del agua para cada uno de los puntos de monitoreo del río Salitre para el periodo 2018-2020. Los asteriscos de color rojo representan que las medianas de las concentraciones del periodo 2009-2012 son significativamente diferentes ($p\text{-valor} \leq \alpha$; $\alpha = 0.05$) medianas de las concentraciones del periodo 2018-2020 y las cruces de color azul representan que las concentraciones del periodo 2018-2020 son mayores a las del periodo 2009-2012.

De esta manera, se observa que el 86 % de los determinantes evaluados han incrementado (+) sus concentraciones en los puntos SA-ParqNal y SA-Alameda durante el periodo 2018-2020, mientras que en los puntos SA-Carrefo y SA-Arzobis el 57 % y 14 % de los determinantes reportaron esta condición, respectivamente. Por otra parte, el 57 % de las celdas determinante-punto de monitoreo reportaron diferencias significativas (*) entre las medianas de los dos periodos evaluados conforme a los resultados de la prueba de Wilcoxon (ver Anexo 2). La GyA fue el determinante con más puntos de monitoreo (3 puntos) con incrementos significativos entre los periodos evaluados seguido de la DQO. Finalmente, el 21 % de las celdas determinante-punto de monitoreo reportaron incrementos significativos entre los periodos evaluados.

Puntos de monitoreo	Concentración [mg/L]						
	DBO ₅	DQO	SST	GYA	SAAM	Ptotal	Ntotal
SA-ParqNal	2.00 ^{*+}	10.00 ^{*+}	4.25 ^{*+}	10.00 ^{*+}	0.40 ^{*+}	0.11 ⁺	1.00 [*]
SA-Arzobis	3.95 [*]	16.10 [*]	9.25 [*]	10.00 ^{*+}	0.40	0.24 [*]	3.95
SA-CL53	5.35 [*]	22.15 [*]	10.00 [*]	10.00 [*]	0.40 [*]	0.31 [*]	5.10 [*]
SA-Carrefo	186.00 ⁺	365.00 ⁺	109.00 ⁺	49.95	3.40 [*]	5.07 ⁺	31.75
SA-Tv91	82.75	222.00	80.00	14.80	2.13 [*]	3.82	28.70
SA-Alameda	134.00 ^{*+}	308.00 ^{*+}	88.00 ⁺	28.90 ^{*+}	3.26 [*]	4.62 ⁺	41.00 ⁺

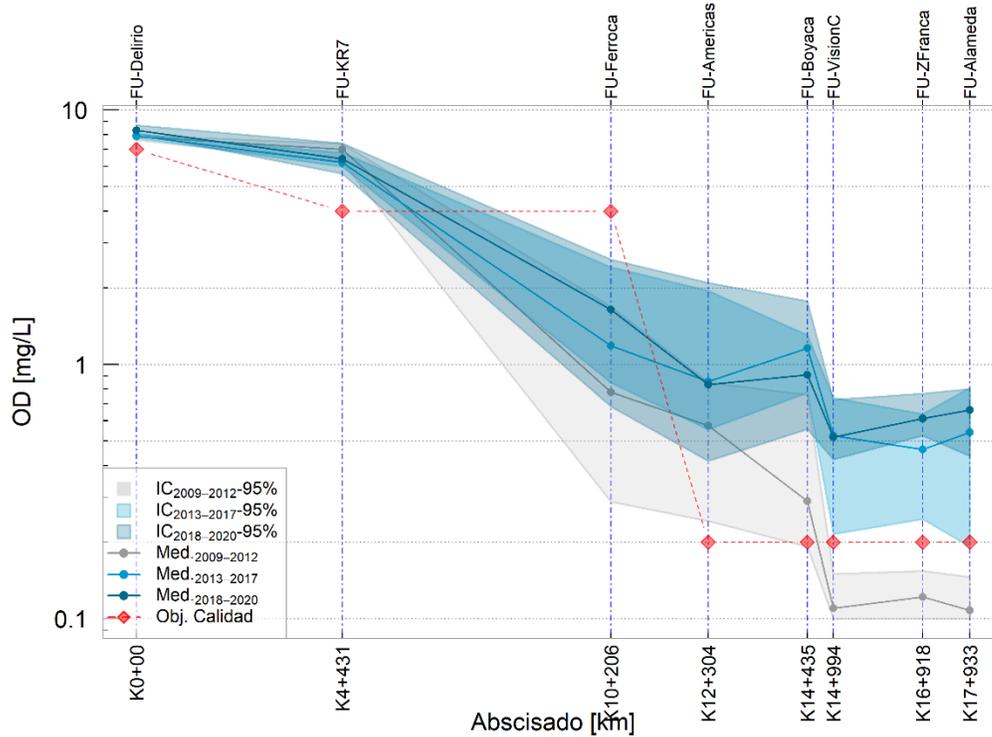
Tabla 4. Concentraciones medianas para siete determinantes de la calidad del agua en los puntos de monitoreo del río Salitre para el periodo 2018-2020

4 PERFILES DE CALIDAD DEL RÍO FUCHA

Como se observa en la Figura 14, en la cuenca alta del río Fucha la concentración de OD entre los puntos FU- Delirio y FU-Ferroca presenta un comportamiento similar dentro de los tres periodos de estudio. La mediana y el intervalo de confianza exceden el objetivo de calidad. Esta condición de incremento en el OD ha prevalecido en los dos últimos periodos y en los puntos monitoreo localizados aguas abajo de FU-Ferroca, donde el punto FU-Boyaca ha alcanzado incrementos de hasta 0.5 mg/L con respecto a la mediana del primer periodo. Para todos los periodos en los tres últimos puntos (FU-VisionC, FU-ZFranca y FU-Alameda), se observan concentraciones inferiores a 1mg/L, en donde río Fucha alcanza condiciones anaeróbicas.

Si bien para los periodos 2013-2017 y 2018-2020, se evidencia que aguas abajo del punto FU-Americas hay un leve incremento de la concentración de OD en comparación con el periodo 2009-2012, lo cual puede estar asociado a la disminución del aporte en carga contaminante de vertimientos provenientes de la red de alcantarillado combinado, los cuales alteran la concentración de OD por la presencia excesiva de materia orgánica e inorgánica y de nutrientes susceptibles de oxidarse, aún persisten las descargas asociadas con los grandes interceptores que disminuyen la concentración de OD.

Figura 14. Perfil de calidad en el río Fucha para el determinante OD



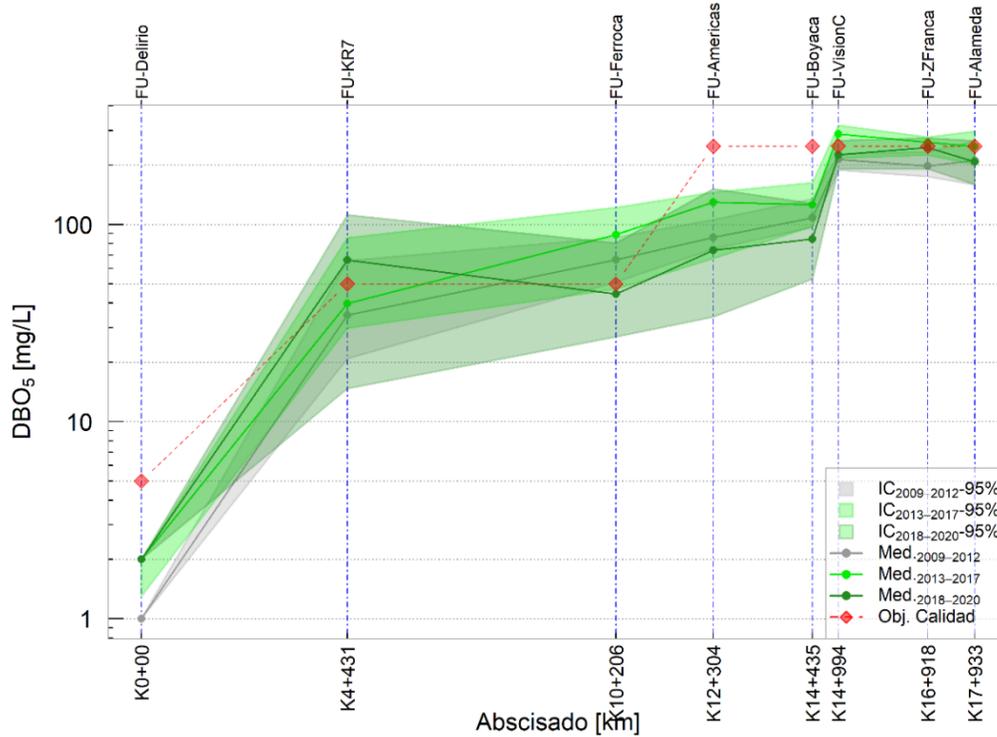
En el tramo I del río Fucha se observan concentraciones bajas de DBO₅, inferiores a 2 mg/L para todos los periodos de análisis y una amplitud baja del intervalo de confianza, lo que indica una condición estable en las concentraciones de este parámetro en la primera estación (FU-Delirio), tal como se presenta en la Figura 15. La existencia de vertimientos de importancia como RFU-T1-0310 y RFU-T1-0320 que se reflejan en la FU-KR7 generan un incremento significativo en la concentración de la DBO₅, lo cual produce un incumplimiento de valor establecido como objetivo de calidad los tres periodos de análisis, siendo el periodo 2018-2020, el que presenta una mayor variabilidad de las concentraciones como lo refleja el intervalo confianza y un mayor incumplimiento del objetivo de calidad como lo evidencia la mediana.

En la estación FU-Ferroca, se evidencia que en los periodos 2009-2012 y 2013-2017 existen valores en el intervalo de confianza que en gran medida incumplen con el objetivo de calidad. Para el periodo 2018-2020 si bien existe una leve disminución en la concentración del intervalo de confianza y de la mediana, con base en el informe de seguimiento al PSMV y en los últimos recorridos realizados a la fuente hídrica, continúa el vertimiento en tiempo seco de estructuras de alivio asociadas con el río principal (punto RFU-T2-0050) y con las subcuencas del canal río Seco y Albina, vertimientos que, por sus características y condiciones de flujo realizan aportes de materia orgánica que influyen en el aumento de la concentración de DBO₅.

En el punto FU-Americas se observó un cumplimiento del objetivo de calidad en los tres periodos de análisis tanto en las medianas como los intervalos de confianza de la DBO₅. Es importante resaltar que existe una reducción cercana de 56 mg/L en la mediana de la DBO₅ del último periodo con respecto a la segunda, en el cual está determinado por el aporte de la rehabilitación del inicio del canal Comuneros (CCO-RFU-F).

Posteriormente en la Av. Boyacá (FU-Boyacá) existe un incremento de las concentraciones de DBO₅, para el periodo 2018-2020, el cual está relacionado con el aporte de la descarga del vertimiento con código SDA RFU-T3-0360. En el punto FU-VisiónC, el río Fucha recibe el aporte de los vertimientos de los interceptores Fucha izquierdo (RFU-T4-0020), Interceptor Boyacá (RFU-T4-0030) e Interceptor del Sur (RFU-T4-0050), por lo tanto, se evidencia un incremento considerable en la concentración DBO₅ en el río Fucha, que domina la calidad en el tramo IV del río y mantiene una baja variabilidad representada en el intervalo de confianza y en la mediana para las estaciones de FU-ZFranca y FU-Alameda.

Figura 15. Perfil de calidad en el río Fucha para el determinante DBO₅



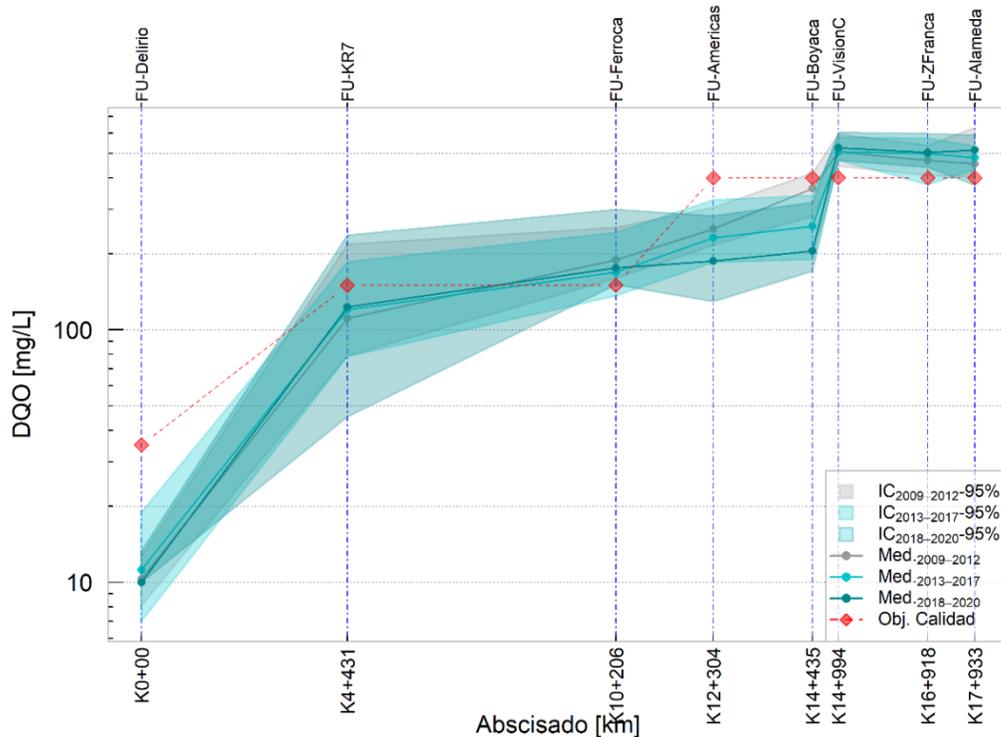
En términos generales se evidencia que el parámetro DQO existe un comportamiento similar al que se encontró para la DBO₅, aun así, es importante resaltar los siguientes cambios, los cuales se consideran relevantes para este parámetro que denota la presencia de sustancias inorgánicas en el agua.

En el punto FU-KR7 se evidenció que los valores de la mediana para los tres periodos de análisis son inferiores al objetivo de calidad, aun así, el límite superior de los intervalos de confianza es mayor al valor objetivo, lo que refleja la alta variabilidad de calidad en el punto asociado con el funcionamiento de las estructuras de alivio del tramo I.

En el caso del punto FU-Ferroca el intervalo de confianza de los tres periodos de estudio es en su gran mayoría superior al objetivo de calidad, razón por la cual, se puede decir que los vertimientos que se realizan antes de esta estación cuentan con aportes de sustancias inorgánicas, que modifican las concentraciones de DQO del río Fucha.

Para la parte baja de la cuenca, el comportamiento es similar a lo establecido para la DBO₅, en los puntos FU-VisionC, FU-ZFranca y FU-Alameda se evidenció que las concentraciones de DQO presentan un aumento desde el punto FU-VisionC, como consecuencia de la descarga de los interceptores localizados aguas arriba del punto, desde aquí el río incumple con los objetivos de calidad propuestos. El comportamiento y magnitud de la DQO en el período 2018 y 2020 tiende a ser similar en los tres puntos. Teniendo en cuenta este comportamiento es posible afirmar que los vertimientos que se realizan entre la estación FU-VisionC y FU-Alameda tienen un importante aporte desde el sector industrial que desarrolla sus actividades dentro de sus áreas aferentes a los puntos, que para el periodo 2018-2020 incrementa la mediana en un valor cercano a 300 mg/L de DQO con respecto a la concentración en la estación de FU-Boyacá.

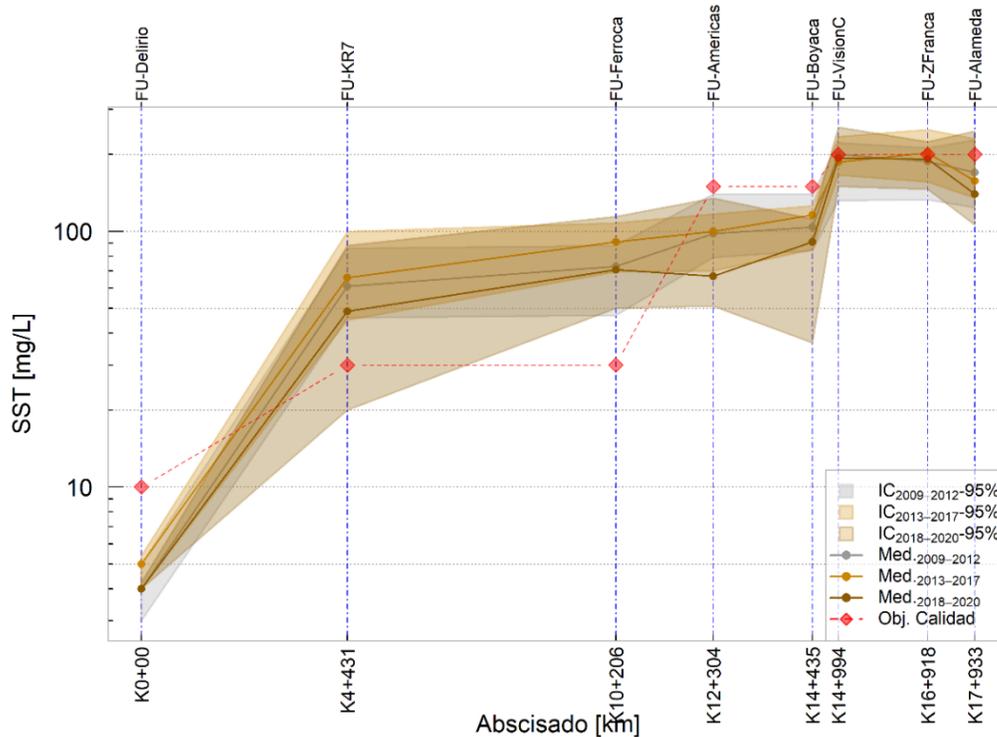
Figura 16. Perfil de calidad en el río Fucha para el determinante DQO



Con respecto a los sólidos suspendidos totales (SST) en el río Fucha, se observó que en el punto FU-Delirio se cumple con el objetivo de calidad, y que aguas abajo se presenta un incremento generalizado de los SST que se ve reflejado en las medianas e intervalos de confianza de los tres periodos de estudio. Para los puntos FU-KR7 y FU-Ferroca, se presenta un incumplimiento del objetivo de calidad, mientras que en los puntos FU-Americas y FU-Boyaca, tiende a existir un cumplimiento en la concentración objetivo. Para las estaciones asociadas con los tramos II y III del río Fucha se presenta una alta variabilidad en las concentraciones obtenidas que se refleja la magnitud del intervalo de confianza para los tres periodos, como se observa en la Figura 17.

Finalmente, en las estaciones del tramo IV del río Fucha el valor de la mediana en los tres periodos es cercano al valor objetivo y presenta un leve descenso en el punto FU-Alameda, lo cual se debe principalmente a una pendiente relativamente baja y al efecto de la condición hidráulica que genera el río Bogotá y que favorece en cierta medida procesos de sedimentación.

Figura 17. Perfil de calidad en el río Fucha para el determinante SST



4.1 CONCENTRACIONES TÍPICAS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DEL RÍO FUCHA

En la Tabla 5, se presenta la mediana de siete determinantes de calidad del agua para cada uno de los puntos de monitoreo del río Fucha para el periodo 2018-2020. Los asteriscos de color rojo representan que las medianas de las concentraciones del periodo 2009-2012 son significativamente diferentes ($p\text{-valor} \leq \alpha$; $\alpha = 0.05$) medianas de las concentraciones del periodo 2018-2020 y las cruces de color azul representan que las concentraciones del periodo 2018-2020 son mayores a las del periodo 2009-2012.

De esta manera, se observa que el 71 % de los determinantes evaluados han incrementado (+) sus concentraciones en el punto FU-ZFranca, entre el 57 % y 43 % en los puntos de FU-Delirio, FU-KR7, FU-VisionC y FU-Alameda, de un 14 % en los puntos FU-Ferroca y FU-Américas, durante el periodo 2018-2020. Mientras que en el punto FU-Boyaca los determinantes evaluados tienen concentraciones similares o inferiores durante el periodo 2018-2020. Por otra parte, el 32 % de las celdas determinante-punto de monitoreo reportaron diferencias significativas (*) entre las medianas de los dos periodos evaluados conforme a los resultados de la prueba de Wilcoxon (ver Anexo 2). Las GyA fue el determinante con más puntos de monitoreo (2 puntos) con incrementos significativos entre los periodos evaluados seguido de la DBO₅ y las SAAM. Finalmente, el 7 % de las celdas determinante-punto de monitoreo reportaron incrementos significativos entre los periodos evaluados, pero el 68 % de las celdas no reportaron cambios significativos entre las medianas de ambos periodos, es decir que las condiciones en la calidad del agua en varios puntos y determinantes de la calidad son significativamente iguales a pesar del paso del tiempo.

Puntos de monitoreo	Concentración [mg/L]						
	DBO ₅	DQO	SST	GYA	SAAM	Ptotal	Ntotal
FU-Delirio	2.00 ⁺	10	4	10 ⁺	0.40 ⁺	0.06	2.00 ⁺
FU-KR7	66.1 ⁺	123 ⁺	48.75	13.30 ⁺	0.91	1.13	11.46 ⁺
FU-Ferroca	44.35	176	70.75	20.50 ⁺	1.56 [*]	2.74	23.85
FU-Américas	74.10	187	66.75	26.60 [*]	1.65 [*]	2.51	16.51 [*]
FU-Boyaca	84.65	205 [*]	91	20.95	1.95 [*]	3.02	22.22 [*]
FU-VisionC	226 ⁺	525.15 ⁺	193.5	44.90	4.08 [*]	6.86 ⁺	61.59 ⁺
FU-ZFranca	246 ⁺	503.5 ⁺	192 ⁺	48.00	3.83 [*]	6.70 ⁺	54.33 ⁺
FU-Alameda	208	515 ⁺	140	51.00	4.10 [*]	6.32 ⁺	53.52 ⁺

Tabla 5. Concentraciones medianas para siete determinantes de la calidad del agua en los puntos de monitoreo del río Fucha para el periodo 2018-2020

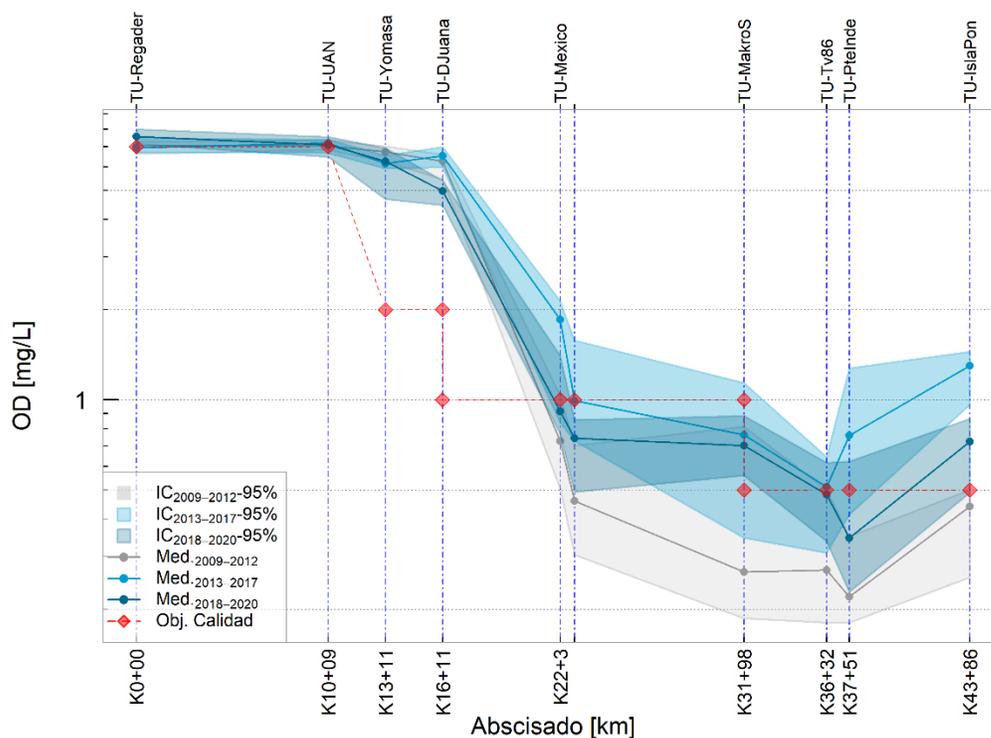
5 PERFILES DE CALIDAD DEL RÍO TUNJUELO

Según lo observado en la Figura 18, para los puntos TU-Regader y TU-UAN en los tres periodos de estudio las medianas cumplen con el objetivo de calidad del OD, sin embargo, el intervalo de confianza del 95 % alcanza a estar por debajo del objetivo, lo que indica que en ciertas horas del día y meses del año se presenta incumplimiento. Desde el punto TU-Yomasa hasta TU-TV86, en los tres periodos, se tuvo un comportamiento decreciente y a partir del punto TU-Mexico hasta la desembocadura en el río Bogotá predominan las condiciones casi anóxicas en el río Tunjuelo. Desde el punto TU-Mexico se evidenció incumplimiento de los objetivos de calidad establecidos para los tramos III y IV, teniendo un valor mínimo en el periodo 2018-2020 en el punto de TU-PteInde, lo cual se relaciona con una reducción en la concentración de OD como consecuencia del vertimiento de las redes sanitarias y del interceptor Tunjuelo medio (RTU-T4-0250).

En el punto TU-PteInde, las concentraciones del OD no tienen un comportamiento homogéneo, entre los periodos 2009-2012 y 2018-2020, pero en general las concentraciones del determinante

están por debajo 1 mg/L que evidencia el incumplimiento del objetivo de calidad. En el punto TU-IslaPon, hay un incremento en la concentración que ha predominado en los tres periodos, que pudiese estar relacionado con la operación de la estación elevadora de La Isla que en el proceso hidráulico de elevación genera la oxigenación del agua y se localiza unos metros aguas arriba del punto de monitoreo.

Figura 18. Perfil de calidad en el río Tunjuelo para el determinante OD



Teniendo en cuenta el comportamiento de la concentración de la DBO_5 para el punto TU-Regader se observó que las medianas de los datos se encuentran cumpliendo el objetivo de calidad; comportamiento que se mantiene en el punto TU-UAN excepto para algunos datos en el límite

superior del intervalo de confianza del periodo 2018-2020 (Figura 19). A pesar del cumplimiento en el determinante OD, es de resaltar que los vertimientos localizados entre estos dos puntos de monitoreo se registró un incremento para periodo 2018-2020 que está relacionado con el crecimiento poblacional en el área rural de la localidad de Usme.

Aguas abajo del embalse seco Cantarrana se localiza el punto TU-Yomasa, en el cual se presenta un incremento en la concentración de la DBO_5 a lo largo de los tres periodos de análisis, aun así, todos los valores (es decir, medianas e intervalos de confianza) cumplen con el objetivo de calidad. Además, los intervalos de confianza no presentan gran amplitud a pesar de que el río Tunjuelo recibe los aportes de varios cuerpos hídricos que presentan problemas de descargas de agua residual, como la quebrada el Piojo, Chuniza, La Taza y Yomasa.

Posterior a su paso por el punto TU-Yomasa, el río Tunjuelo transita por un área que no cuenta con una gran cantidad de vertimientos provenientes de la red de alcantarillado, sin embargo, se presenta la descarga de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Doña Juana y de usuarios que realizan actividades de trituración de material pétreo. Teniendo en cuenta lo anterior, en el punto TU-DJuana se observa para los tres periodos un incremento significativo en la concentración de DBO_5 . Al comparar la mediana obtenida en el periodo 2009-2012 con respecto a la establecida en el periodo 2018-2020 se evidencia un incremento en la concentración de la DBO_5 cercana a los 60 mg/L.

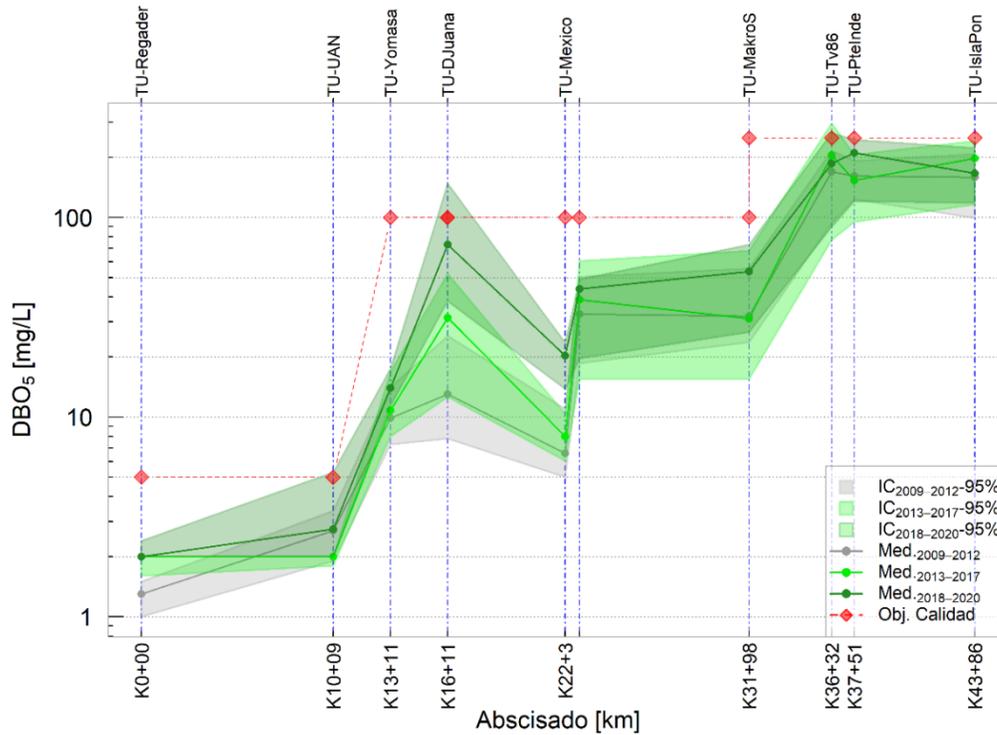
Antes del punto TU-Mexico, el río Tunjuelo atraviesa por la zona de los pits mineros, la cual cumple las veces de un sistema de almacenamiento y retención donde se logra la sedimentación de compuestos presentes en el agua. Por tal razón, se ha evidenciado una disminución en la DBO_5 para los tres periodos, sin embargo, persiste el incremento de la concentración entre el primer y el tercer periodo, que para el punto de TU-Mexico es de 14 mg/L. Cabe resaltar que en el trayecto entre TU-DJuana y TU-Mexico, se localizan las entregas de las quebradas Hoya del Ramo y Trompeta que reciben el aporte de carga contaminante por vertimientos de aguas residuales.

Si bien el trayecto entre la estación TU-México y TU-SBenito es inferior a 1 km, la entrega de la Quebrada Chiguaza es un factor que incrementa notablemente la concentración de la DBO₅. Entre los puntos TU-SBenito y TU-MakroS convergen varias fuentes hídricas y puntos de descarga del sistema de alcantarillado de la Ciudad, como lo son: Quebrada Limas, Canal San Carlos, San Vicente I y II y los puntos de vertimiento de la red de alcantarillado con código SDA RTU-T3-0221, RTU-T3-0251, RTU-T3-0300 y RTU-T4-0010 (Red Local Sanitaria Autopista Sur – Barrio Guadalupe). Aun así, las concentraciones de los valores de la mediana e intervalos de confianza no presentan cambios significativos entre periodos y las estaciones TU-SBenito y TU-MakroS.

Desde el punto TU-MakroS hasta el punto TU-TV86 existes descargas de estructuras pertenecientes a la red de alcantarillado pluvial y sanitario de la EAAB-ESP, entre las cuales cabe resaltar: Interceptor Tunjuelo Medio (RTU-T4-0250), el Colector Ismael Perdomo (RTU-T4-0560), Interceptor Ismael Perdomo (RTU-T4-0580), Colector José Antonio Galán KR 78 F (RTU-T4-0670), Red Local Sanitaria KR 78 F (RTU-T4-0680), RTU-T4-0681, Red Local Sanitaria KR 78 J costado sur (RTU-T4-0700), Red Local Sanitaria KR 79 B (RTU-T4-0780) y Red Local Sanitaria KR 80 D - Costado Sur (RTU-T4-0950). Los aportes de los puntos de vertimiento triplican la concentración de DBO₅ (es decir, con respecto a las medianas) en el río Tunjuelo que pasan de 53 mg/L de DBO₅ en la estación TU-MakroS a 186 mg/L en la estación TU-TV86. Es de precisar que en el presente análisis no se observa la variación de la calidad de agua asociada con la entrada en operación de la estación elevadora de Bosatama, que recogió algunos puntos de vertimiento, teniendo en cuenta que la operación de esta fue posterior a los monitoreos desarrollados durante el 2020.

En el punto TU-PteInde se evidenció que la mediana de los valores de concentración de la DBO₅ en los periodos 2009-2012 y 2013-2017 presenta una disminución, contrario a lo observado en el periodo 2018-2020. Finalmente, en el punto TU-IslaPon, en el cual se puede verificar el efecto de las descargas de las estaciones elevadoras Grancolombiano, Cartagenita y la Isla, se encontró un comportamiento similar en los tres periodos objeto de análisis.

Figura 19. Perfil de calidad en el río Tunjuelo para el determinante DBO₅



El comportamiento de la DQO entre los puntos TU-Regader y TU-UAN presenta un comportamiento muy estable en lo referente a la mediana de las concentraciones en todos los periodos, como se observa en la Figura 20. Estos valores son consistentes teniendo en cuenta que en este tramo no se realizan descargas de importancia provenientes de industrias que generen sustancias inorgánicas que se reflejan finalmente en las concentraciones del determinante evaluado.

Posterior a la entrega de la Quebrada Yomasa, se observó que las concentraciones máximas de este parámetro son 60 mg/L para el periodo 2009-2012. Lo anterior, se explica por el aporte de vertimientos de la red de alcantarillado en las subcuencas tributarias localizadas entre los puntos TU-UAN y TU-Yomasa. El principal factor de impacto ambiental en el tramo II de río Tunjuelo para la DQO es el vertimiento del relleno sanitario de Doña Juana, el cual incrementa las concentraciones entre los puntos TU-Yomasa y TU-DJuana, como se puede evidenciar en el perfil de calidad. Es preocupante que para el periodo 2018-2020 se presentan concentraciones por encima del objetivo de calidad para la totalidad del intervalo de confianza, y el río Tunjuelo pasa de 53 mg/L de DQO a 259 mg/L.

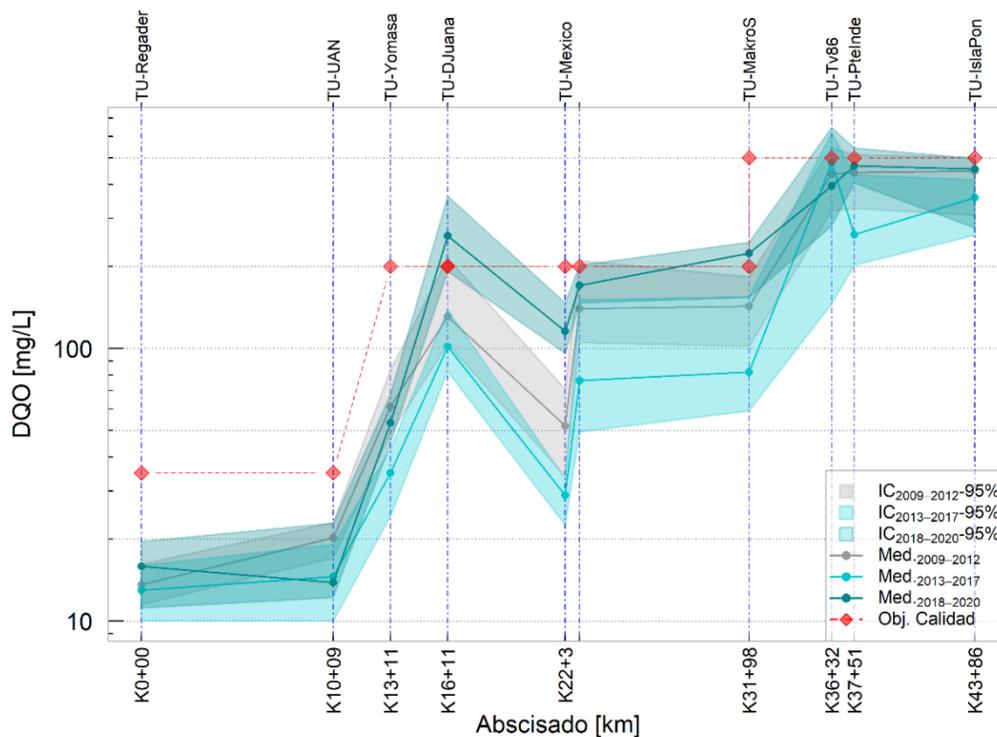
El comportamiento y la variabilidad en las concentraciones de DQO son muy similares a las observadas para DBO_5 , así las cosas, se evidencia que posterior al tránsito del río por el parque minero, hay una reducción importante en concentración para todos los periodos de estudio. Es de resaltar la tendencia decreciente de la DQO entre en los puntos TU-DJuana y TU-Mexico que es consistente en los periodos de análisis, sin embargo, entre el periodo 2013- 2017 y 2018-2020 el valor de la mediana en el punto TU-Mexico refleja un incremento de 86.5 mg/L. Entre los puntos TU-México y TU-SBenito continúa observándose una correlación de los datos, con tendencia creciente en la magnitud de las concentraciones de la DQO. Lo anterior, se asocia a las condiciones de calidad de la Quebrada Chiguaza, la cual por las problemáticas presentadas en cuanto a descargas con altos contenidos de agua residual doméstica y comercial incrementa la concentración de DQO.

Al analizar la información de concentración en la estación TU-MakroS, se encontró que el comportamiento de la mediana en los periodos 2009-2012 y 2013-2017 es muy similar al registrado en el punto TU-SBenito, pero con una leve tendencia creciente para el periodo 2018-2020 que ha generado que la mayoría de los registros incumplan el objetivo de calidad definido para este punto. En la estación TU-TV86, prácticamente se duplica la concentración de DQO para los tres periodos de análisis con respecto al anterior punto de monitoreo. Tal como se indicó en entre los punto TU-MakroS y TU-TV86 convergen las aguas residuales procedentes de la red de alcantarillado, sin embargo se evidencia el efecto de las aguas residuales no domésticas de varios

sectores industriales que realizan sus actividades dentro del área aferente de los colectores e interceptores de la red, como los relacionados con el sector de curtiembres del barrio San Benito, cuyas aguas residuales son transportadas por el Interceptor Tunjuelo Medio y vertidas finalmente en el río Tunjuelo.

En el periodo 2018-2020 se evidenció un crecimiento en la mediana de la DQO en el punto TU-Ptelnde de 73.5 mg/L con respecto al punto TU-TV86. El comportamiento con respecto a los periodos no cuenta con tendencia clara creciente o decreciente y por el contrario presenta una alta variabilidad de las descargas localizada entre los mencionados puntos de monitoreo a lo largo de los once (11) años de análisis.

Figura 20. Perfil de calidad en el río Tunjuelo para el determinante DQO



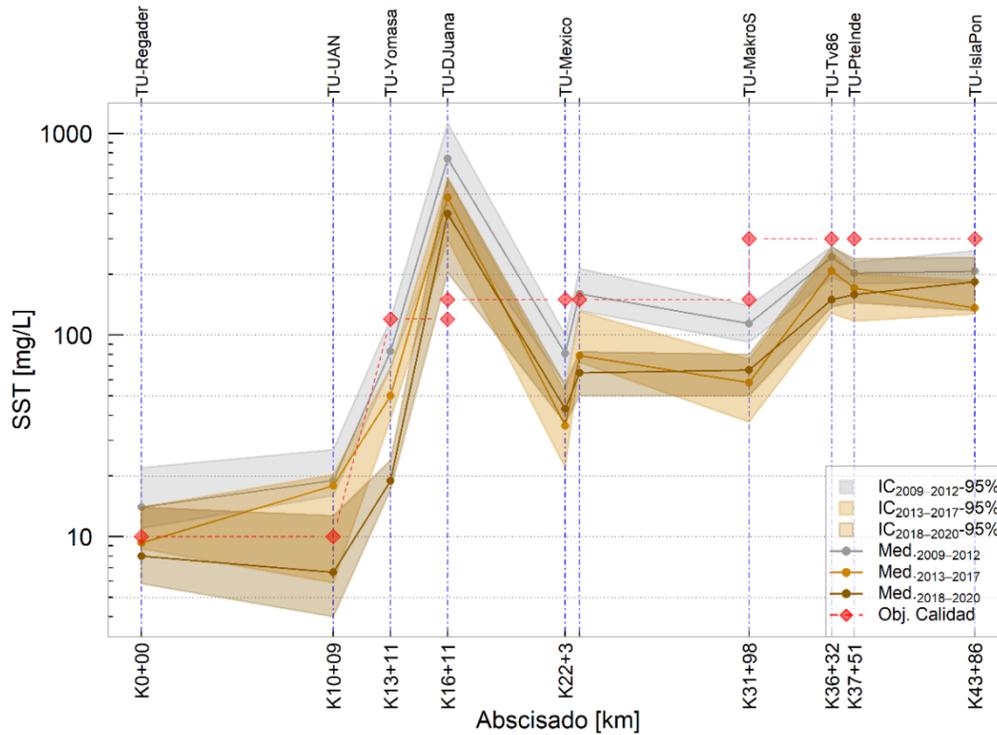
En lo referente a SST (Figura 21), se observó un comportamiento similar a lo establecido para los perfiles de DBO_5 y DQO, con la diferencia de que en la mayoría de los puntos la variabilidad de los datos en cada uno de los periodos representada en la amplitud del intervalo de confianza es menor.

En los puntos localizados en el tramo I se presenta un fenómeno de relevancia que afecta la concentración de SST, que es la apertura de compuertas en el embalse La Regadera, situación que se realiza periódicamente, teniendo en cuenta los niveles de la lámina de agua del embalse, los cuales fluctúan en función de la precipitación que se presenta en el área aferente de las cuencas tributarias en la localidad de Sumapaz. En el punto TU-DJuana se presenta la descarga de aguas residuales no domésticas generadas por las actividades de triturado de material pétreo, que hacen que la concentración para los tres periodos exceda el objetivo de calidad. Teniendo en cuenta el comportamiento histórico de la concentración de los SST, se observa en el punto de TU-DJuana una tendencia hacia a la reducción de la concentración del determinante de 750 mg/L en el primer periodo a 400 mg/L en el tercer periodo, debido al desarrollo de actividades de control y vigilancia realizadas a los usuarios que operan en este sector. Si bien el efecto de los SST es causado en su mayoría por las actividades mencionadas existe una fracción significativa asociada con el vertimiento del relleno sanitario.

Para el punto TU-México se observó una disminución en los valores de concentración de los SST para los tres periodos de análisis y el cumplimiento del objetivo de calidad, sin embargo, en la estación TU-SBenito las concentraciones de este parámetro vuelven a elevarse considerablemente como consecuencia de las descargas generadas por la quebrada Chiguaza.

Desde el punto TU-Sbenito hasta la estación TU-MakroS los dos últimos periodos han registrado una tendencia a la reducción de la concentración de los SST con respecto al periodo 2009-2013. En los puntos de monitoreo TU-Tv 86, TU-PteInde y TU-IslaPon las concentraciones de SST tuvieron un aumento con respecto a los valores del punto de monitoreo Makro Sur para los tres periodos de estudio, pero con una tendencia en la reducción de sus concentraciones con respecto al periodo 2009-2013.

Figura 21. Perfil de calidad en el río Tunjuelo para el determinante SST



5.1 CONCENTRACIONES TÍPICAS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DEL RÍO TUNJUELO

En la Tabla 6, se presenta la mediana de siete determinantes de calidad del agua para cada uno de los puntos de monitoreo del río Tunjuelo para el periodo 2018-2020. Los asteriscos de color rojo representan que las medianas de las concentraciones del periodo 2009-2012 son significativamente diferentes ($p\text{-valor} \leq \alpha$; $\alpha = 0.05$) a las medianas de las concentraciones del periodo 2018-2020 y las cruces de color azul representan que las concentraciones del periodo 2018-2020 son mayores a las del periodo 2009-2012.

De esta manera, se observa que el 71 % de los determinantes evaluados han incrementado (+) sus concentraciones en los puntos TU-Regader y TU-MakroS, el 57 % en los puntos TU-UAN, TU-DJuana, TU-Mexico y TU-SBenito, y el 43 % en los puntos TU-Yomasa, TU-Tv86, TU-PteInde y TU-IslaPon durante el periodo 2018-2020. Por otra parte, el 57 % de las celdas determinante-punto de monitoreo reportaron diferencias significativas (*) entre las medianas de los dos periodos evaluados conforme a los resultados de la prueba de Wilcoxon (ver Anexo 2). Por otra parte, la DBO₅ y el Ntotal fueron los determinantes con más puntos de monitoreo (4 puntos) con incrementos significativos entre los periodos evaluados seguidos de las SAAM y la DQO. Finalmente, el 19 % de las celdas determinante-punto de monitoreo reportaron incrementos significativos entre los periodos evaluados, pero el 81 % de las celdas no reportaron cambios significativos entre las medianas de ambos periodos, es decir que las condiciones en la calidad del agua en varios puntos y determinantes de la calidad son significativamente iguales a pesar del paso del tiempo.

Puntos de monitoreo	Concentración [mg/L]						
	DBO ₅	DQO	SST	GYA	SAAM	Ptotal	Ntotal
TU-Regader	2.00 ⁺ *	15.90 ⁺	8.00 [*]	10.00 ⁺ *	0.40 ⁺ *	0.06 [*]	2.00 ⁺
TU-UAN	2.75 ⁺	13.85 [*]	6.65 [*]	10.00 ⁺ *	0.40 ⁺ *	0.14 [*]	4.33 ⁺ *
TU-Yomasa	13.95 ⁺ *	53.45	18.88 [*]	10.00 ⁺ *	0.41 [*]	0.54 [*]	7.48 ⁺
TU-DJuana	73.00 ⁺ *	259.00 ⁺ *	400.00 [*]	10.00 ⁺ *	0.47	1.33 [*]	46.07 ⁺ *
TU-Mexico	20.30 ⁺ *	115.50 ⁺ *	43.00 [*]	10.00 ⁺ *	0.40	0.68 [*]	14.81 ⁺ *
TU-SBenito	43.80 ⁺	170.50 ⁺	65.00 [*]	12.30 ⁺	1.04 [*]	1.85	27.01 ⁺
TU-MakroS	53.60 ⁺	223.50 ⁺	67.00 [*]	16.90 ⁺ *	1.19 [*]	2.69 ⁺	25.06 ⁺ *
TU-Tv86	186.00 ⁺	394.50	149.50	30.65	2.54 [*]	5.64 ⁺	47.81 ⁺
TU-PteInde	210.50 ⁺	468.00 ⁺	159.00	48.50	2.86 [*]	5.85 ⁺	35.53
TU-IslaPon	166.50 ⁺	455.00 ⁺	183.50	28.10	2.60 [*]	5.83 ⁺	43.44

Tabla 6. Concentraciones medianas para siete determinantes de la calidad del agua en los puntos de monitoreo del río Tunjuelo para el periodo 2018-2020. Las celdas en color azul claro identifican los puntos de monitoreo donde el ensayo de laboratorio de Grasas y Aceites de la entidad contratada en entre los años 2019 y 2020 reportó como valor límite de cuantificación de 10 mg/L que es superior al utilizado en el periodo 2009-2012

6 CONCLUSIONES

Las concentraciones de los parámetros DBO5, DQO y SST del río Torca son aquellas que en términos generales presentan un intervalo de confianza más amplio en sus estaciones, la alta variabilidad y el incremento de las medianas de las concentraciones del periodo 2018-2020 significativamente diferentes a las del periodo 2009-2012, indican que en el mediano plazo la tendencia al incremento de estas dos medidas será inevitable, por lo tanto es fundamental el desarrollo de obras de saneamiento en el marco del PSMV y el cumplimiento de los valores de referencia en los vertimientos puntuales que se realizan diferentes usuarios al río. Con respecto a la evaluación espacial se observa que el punto que presenta las mayores concentraciones en casi todos los determinantes analizados es el de la estación de TO-CL161, lo cual se asocia con los vertimientos del sistema de alcantarillado pluvial con conexiones erradas y su comportamiento tiende a disminuir levemente en las estaciones TO-Jardpaz y TO-Ssimon.

El cumplimiento de los objetivos de calidad en el río Salitre han sido generalizados en el tramo I y II en el periodo comprendido entre el 2013 y el 2020, aun así, el efecto de los vertimientos en su mayoría relacionados con las estructuras de alivio que hacen parte del sistema de alcantarillado combinado, domina las condiciones de calidad para los determinantes objeto de análisis desde la estación SA-Carrefour, tal hecho deja en evidencia la importancia de realizar las actividades de saneamiento en los puntos de vertimiento localizados en el tramo III, conforme a lo establecido en el PSMV que permitan una mejora progresiva de la calidad del agua.

En el río Fucha las concentraciones de DBO5, DQO y SST son aquellas que en términos generales presentan una menor variabilidad y un valor de las medianas significativamente similar desde el periodo 2009-2012, dado que tres de las estaciones (FU-VisionC, FU-ZFranca y FU-Alameda) se localizan en la parte baja de la cuenca y su calidad está afectada directamente por el vertimiento de los interceptores Fucha izquierdo, Boyacá, del Sur y Kennedy que convergen en el río. El cambio más significativo en su calidad se debe a la variabilidad en las condiciones de operación

de las estructuras de alivio asociadas con el tramo II de río y las localizadas en los canales río Seco y Albina, que generan alteraciones en la concentración los determinantes analizados.

La cuenca del río Tunjuelo es más extensa de Bogotá y cuenta con diversas problemáticas y aspectos particulares que en su conjunto generan una dinámica con variaciones significativas, pero evidentes en el análisis espacial realizado. Es así como, en la parte alta de la cuenca las concentraciones de DBO5, DQO y SST, presentan la mayoría de las veces condiciones de calidad deseables (puntos TU-Regader y TU-UAN), modificadas por la operación del embalse de la Regadera, un incremento significativo en las concentraciones de los parámetros analizados en el punto de TU-DJuana que se relaciona directamente con la descarga de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Doña Juana y los vertimientos de usuarios que realizan actividades de trituración de material pétreo. Un descenso hasta el punto de TU-Mexico debido a procesos de depuración por la condición hidráulica en el sector del parque minero y finalmente un incremento generalizado por los vertimientos procedentes de la red de alcantarillado público de la ciudad de manera directa o sobre las subcuencas que confluyen al río.

REFERENCIAS

- Acuña, E. y Rodriguez, C. (2004). On Detection of Outliers And Their Effect In Supervised Classification.
- 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.
- Efron, B. (1979). Bootstrap methods: another look at the jackknife. Annals of statistics. Vol. 7. Pág. 1-26.
- Efron, B. (1987). "Better Bootstrap Confidence Intervals". Journal of the American Statistical Association (Journal of the American Statistical Association, Vol. 82, No. 397) 82 (397): 171–185
- 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.
- Iglewicz B., and Hoaglin D. (1993). How to detect and handle outliers. ASQC Quality Press.
- Lock Morgan, Kari. (2009). Notas de clase: Confidence Intervals: Bootstrap Distribution. Departamento de Universidad de Duke. Durham, Carolina del Norte, EEUU. En line: <https://stat.duke.edu/courses/Spring13/sta101.002/project1.pdf>.
- Peng, R. (2008). Simple bootstrap routines: package 'simpleboot'. Publicación 2008-05-02. Repositorio CRAN.

R Development Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Seo, S. (2006) A review and comparison of methods for detecting outliers in univariate data sets.



REINALDO GELVEZ GUTIERREZ
SUBDIRECCION DE RECURSO HIDRICO Y DEL SUELO

Anexos: *Anexo 1- concentraciones_historicas_2009-2020.xlsx*
Anexo 2 – Mediana-Prueba de Wilcoxon.zip
Anexo 3 – Perfiles longitudinales.zip

Elaboró:

DAVID ANDRES ZAMORA AVILA	CPS:	CONTRATO SDA-CPS-20210849 DE 2021	FECHA EJECUCION:	10/08/2021
---------------------------	------	-----------------------------------	------------------	------------

Revisó:

DAVID FELIPE PEREZ SERNA	CPS:	CONTRATO SDA-CPS-20210548 DE 2021	FECHA EJECUCION:	11/10/2021
--------------------------	------	-----------------------------------	------------------	------------

DAVID FELIPE PEREZ SERNA	CPS:	CONTRATO SDA-CPS-20210548 DE 2021	FECHA EJECUCION:	19/10/2021
--------------------------	------	-----------------------------------	------------------	------------

DAVID ANDRES ZAMORA AVILA	CPS:	CONTRATO SDA-CPS-20210849 DE 2021	FECHA EJECUCION:	13/10/2021
---------------------------	------	-----------------------------------	------------------	------------

Aprobó:

Firmó:

REINALDO GELVEZ GUTIERREZ	CPS:	FUNCIONARIO	FECHA EJECUCION:	19/10/2021
---------------------------	------	-------------	------------------	------------