

SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe Técnico No. 01084, 05 de septiembre del 2016

INFORME TÉCNICO

ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA - WQI 2015-2016

RED DE CALIDAD HÍDRICA DE BOGOTÁ

Grupo Recurso Hídrico Superficial



Embalse La Regadera, río Tunjuelo (GRHS, 2015)

2016

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

Página 1 de 63



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

INFORME TÉCNICO: ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA - WQI PARA PERIODO 2015-2016 RED DE CALIDAD HÍDRICA DE BOGOTÁ

ELABORÓ

DAVID ANDRÉS ZAMORA

Profesional Técnico de Apoyo
Grupo Recurso Hídrico Superficial

REVISÓ

PEDRO NEL GAMBA GARCÍA

Coordinador Grupo Recurso Hídrico
Superficial

APROBÓ

RANDY FILADELFO VELÁZQUEZ OLAYA

Subdirector del Recurso Hídrico y del Suelo

Página 2 de 63

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

**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

TABLA DE CONTENIDO

<u>INTRODUCCIÓN</u>	7
<u>1 MATERIALES Y MÉTODOS</u>	8
1.1 MONITOREOS DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN LOS PUNTOS DE LA RCHB	8
1.2 METODOLOGÍA PARA VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS	10
1.2.1 FORMA DE IMPLEMENTAR EL BOXPLOT EN LOS DATOS DE LA RCHB	12
1.3 PROCESO DE PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA – WQI	13
<u>2 RESULTADOS</u>	19
2.1 RÍO TORCA	19
2.2 RÍO SALITRE	26
2.3 RÍO FUCHA	34
2.4 RÍO TUNJUELO	44
2.5 EVOLUCIÓN DEL WQI EN EL PERIODO 2014-2016	54
<u>3 REFERENCIAS</u>	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Boxplot o diagrama de caja.....	12
Figura 2. Cantidad de datos monitoreados y datos <i>outliers</i> en los puntos de monitoreo del río Torca	20
Figura 3. Porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad por determinante de la calidad del agua y tramo del río Torca	23
Figura 4. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Torca 2014-2015	24
Figura 5. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Torca 2015-2016	25
Figura 6. Cantidad de datos monitoreados y datos <i>outliers</i> en los puntos de monitoreo del río Salitre.....	27
Figura 7. Porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad por determinante de la calidad del agua y tramo del río Salitre.....	32
Figura 8. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Salitre 2014-2015	33
Figura 9. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Salitre 2015-2016.....	34
Figura 10. Cantidad de datos monitoreados y datos <i>outliers</i> en los puntos de monitoreo del río Fucha – Parte I	35
Figura 11. Cantidad de datos monitoreados y datos <i>outliers</i> en los puntos de monitoreo del río Fucha – Parte II	36
Figura 12. Porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad por determinante de la calidad del agua y tramo del río Fucha	42
Figura 13. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Fucha 2014-2015.....	43
Figura 14. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Fucha 2015-2016.....	44
Figura 15. Cantidad de datos monitoreados y datos <i>outliers</i> en los puntos de monitoreo del río Tunjuelo – Parte I.....	45
Figura 16. Cantidad de datos monitoreados y datos <i>outliers</i> en los puntos de monitoreo del río Tunjuelo – Parte II.....	46
Figura 17. Porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad por determinante de la calidad del agua y tramo del río Tunjuelo.....	52
Figura 18. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Tunjuelo 2014-2015	53



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

Figura 19. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Tunjuelo 2015-201654
Figura 20. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) de los principales ríos de la Ciudad..58
Figura 21. Evolución temporal del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI \geq 65 unidades [Aceptable]60



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los determinantes de la calidad del agua medidos <i>in situ</i> y en laboratorio	9
Tabla 2. Cantidad de monitoreos realizada en cada punto de la RCHB durante el periodo 2015-II	10
Tabla 3. Objetivos de calidad a cuatro años para los tramos del río Fucha y Salitre (Resolución 5739 de 2008)	14
Tabla 4. Objetivos de calidad a cuatro años para los tramos del canal Torca y río Tunjuelo (Resolución 5739 de 2008)	15
Tabla 5. Categorización, clasificación y caracterización de los rangos del WQI	18
Tabla 6. Río Torca WQI – Tramo I	21
Tabla 7. Río Torca WQI – Tramo II	22
Tabla 8. Río Salitre WQI – Tramo I	28
Tabla 9. Río Salitre WQI – Tramo II	29
Tabla 10. Río Salitre WQI – Tramo III	30
Tabla 11. Río Salitre WQI – Tramo IV	31
Tabla 12. Río Fucha WQI – Tramo I	37
Tabla 13. Río Fucha WQI – Tramo II	38
Tabla 14. Río Fucha WQI – Tramo III	39
Tabla 15. Río Fucha WQI – Tramo IV	41
Tabla 16. Río Tunjuelo WQI – Tramo I	47
Tabla 17. Río Tunjuelo WQI – Tramo II	48
Tabla 18. Río Tunjuelo WQI – Tramo III	50
Tabla 19. Río Tunjuelo WQI – Tramo IV	51
Tabla 20. Comparación WQI anual dinámico entre los periodos 2014-2015 y 2015-2016	57
Tabla 21. Longitud de los ríos de la RCHB clasificadas por WQI desde 2011 a 2015	60
Tabla 22. Resultados del indicador PDD 2012-2016	61

INTRODUCCIÓN

Las corrientes hídricas de la ciudad, ríos urbanos como Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca - están afectados por la presión que sobre ellos se ejerce, pues durante décadas han recibido las descargas de las aguas residuales de quienes habitan el Distrito Capital., actualmente 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.

Con el fin de contar con los datos para determinar la calidad de estos cuerpos de agua, la Secretaría de Ambiente opera la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB), esta es una herramienta que monitorea la calidad del agua en treinta (30) estaciones o puntos ubicadas en los ríos a lo largo de su recorrido (desde la parte alta a sus desembocaduras en el río Bogotá), caracterizando por medio de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Por lo tanto, el presente informe técnico tiene por objeto evaluar los datos de la calidad del agua de los puntos de monitoreo de la RCHB para determinar el cumplimiento frente a los objetivos de calidad establecidos mediante la Resolución 5731 de 2008, para la vigencia comprendida entre el segundo semestre del 2015 el primer semestre del 2016.

¹ Todos los gráficos, tablas y análisis realizados en el presente informe técnico son autoría del Grupo de Recurso Hídrico Superficial de la Subdirección de Recurso Hídrico y del Suelo, Secretaría Distrital de Ambiente, de lo contrario se realiza la respectiva cita y referencia.

1 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se realiza una breve descripción de las generalidades de las jornadas monitoreo de la calidad y cantidad del agua en puntos que conforman la RCHB realizadas para el periodo 2015-II a 2016-I, el proceso de validación de los datos (detección de datos atípicos) y la metodología para calcular el índice de calidad hídrica (WQI).

1.1 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 representan el estado físico, químico y biológico estos ríos.

Por lo tanto, durante las campañas de monitoreo se tomaron muestras compuestas (por periodos de dos horas y alícuotas cada media hora), toma de datos de campo *in situ* y aforos de caudal (Tabla 1) en cada uno de los treinta puntos de monitoreo, lo cuales están distribuidos de la siguiente manera: Torca 4, Salitre 6, Fucha 8, Tunjuelo 10, y Bogotá 2.

Monitoreo	Determinantes de la calidad del agua
Mediciones <i>in situ</i>	Oxígeno Disuelto, pH y Caudal
En laboratorio	(DBO ₅ , DQO, SST, Coliformes Fecales, Grasas y Aceites, P _{total} , N _{total} , SAAM)

Tabla 1. Clasificación de los determinantes de la calidad del agua medidos *in situ* y en laboratorio

Para el segundo semestre de 2015, la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo dio inicio al Programa de Operación de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá mediante el contrato No. 1355 del 2 de julio de 2015 adjudicado al laboratorio certificado Antek S.A.S.

Las jornadas de monitoreo iniciaron el 21 de agosto de 2015, al finalizar segundo semestre de 2015 se monitoreo cada uno de los puntos de la RCHB seis (6) veces en diferentes ventanas bihorarias a lo largo del periodo de tiempo mencionado. Además, en algunos puntos de la RCHB se realizaron jornadas de monitoreo de 24 horas con ventanas bihorarias para un total de 12 muestras por punto (ver Tabla 2), donde se caracterizaron los determinante de la calidad presentados en la Tabla 1. Es importante aclarar que durante el primer semestre de 2016 no llevó acabo el monitoreo sobre los puntos de la RCHB, debido a que no se generó un contrato para el desarrollo de esta actividad durante el mencionado periodo de tiempo. Con base en esta información se desarrollaron los cálculos que se explican en el numeral 1.2.

Punto de monitoreo	Convencional	24 Horas	Total Monitoreos	Punto de monitoreo	Convencional	24 Horas	Total Monitoreos
TO-BosqueP	X		6	SA-ParqNal	X		6
TO-CL161	X		6	SA-Arzobis	X		6
TO-Jardpaz	X		6	SA-CL53	X	X	18
TO-Ssimon	X	X	18	SA-Carrefo	X		6
TU-Regader	X		6	SA-Tv91	X		6
TU-UAN	X		6	SA-Alameda	X	X	18
TU-Yomasa	X	X	18	FU-Delirio	X		6
TU-DJuana	X	X	18	FU-KR7	X		6
TU-Mexico	X	X	18	FU-Ferroca	X		6
TU-SBenito	X		6	FU-America	X		6
TU-MakroS	X		6	FU-Boyaca	X		6
TU-Tv86	X		6	FU-VisionC	X		6
TU-PteInde	X		6	FU-ZFranca	X		6
TU-IslaPon	X		6	FU-Alameda	X		6

Tabla 2. Cantidad de monitoreos realizada en cada punto de la RCHB durante el periodo 2015-II

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

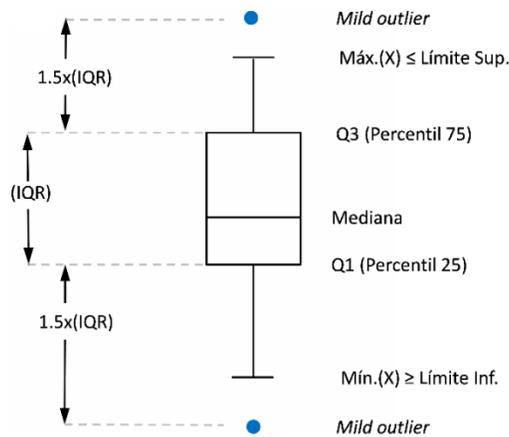


Figura 1- Boxplot o diagrama de caja

Un dato x se declara outlier si se encuentra fuera del intervalo $(Q_1 - 1.5\tilde{A}-IQR, Q_3 + 1.5\tilde{A}-IQR)$, 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).

1.2.1 FORMA DE IMPLEMENTAR EL BOXPLOT EN LOS DATOS DE LA RCHB

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 boxplot. El proceso de implementación varía levemente dependiendo si los datos son obtenidos en campo (*in situ*) o en laboratorio (ver Tabla 1). A continuación se explica procedimiento por cada conjunto de datos:

In situ

- i. 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*.
- ii. Para los conjuntos de datos conformados en el paso anterior se aplica el *boxplot* para determinar la presencia de *outliers*.
- iii. Luego, los datos detectados como *outliers* en paso anterior son eliminados del conjunto de datos de monitoreo.
- iv. Los datos restantes son desagregados en los monitoreos iniciales, y con base en estos se calcula la media de cada monitoreo. Lo anterior aplica para oxígeno disuelto y pH.
- v. Las medias calculadas (datos validados finales) serán empleados en el cálculo del WQI.

En laboratorio

- i. Para todas las muestras recolectadas en las campañas de monitoreo se realizan los ensayos estándar de laboratorio para cuantificar ocho determinantes de la calidad del agua: DBO, DQO, SST, N_{Total} , P_{Total} , Coliformes fecales, SAAM y GyA. Por lo tanto, la detección de outliers mediante boxplot, se realizara en el conjunto de datos de cada determinante de la calidad agua.
- ii. Luego, los datos detectados como *outliers* en paso anterior son eliminados del conjunto de datos del monitoreo y los datos restantes (Validados) son empleados para calcular el WQI.

1.3 PROCESO DE PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA – WQI

La información consolidada de las jornadas de monitoreo de la RCHB (datos *in situ* y de laboratorio) es empleada para la construcción de indicadores de calidad del agua, en marcados dentro de los objetivos de calidad () 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 objetivos de calidad de los próximos años están enfocados hacia la recuperación de los mismos (Resolución 5731 de 2008).

Determinantes de la calidad	Unidad	Río Fucha (FU)				Río Salitre (SA)			
		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
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	7	4	0.2	0.2	7	2	0.5	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	50	250	250	5	80	150	150
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	35	150	400	400	35	200	350	350
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	10	30	150	200	10	80	150	150
Grasas y Aceites (GyA)	mg/L	10	25	40	60	10	20	30	30
Tensoactivos (SAAM)	mg/L	0.5	3	4	4	1	3	3	3



Determinantes de la calidad	Unidad	Río Fucha (FU)				Río Salitre (SA)			
		FU-T1	FU-T2	FU-T3	FU-T4	SA-T1	SA-T2	SA-T3	SA-T4
Fósforo Total (P _{TOTAL})	mg/L	0.1	3	8	8	1	6	6	6
Coliformes Fecales (Col _{fe})	NMP/1000 mL	1.0E+03	1.0E+06	1.0E+06	1.E+06	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06
Nitrógeno Total (N _{TOTAL})	mg/L	3	20	40	40	5	20	40	40

T1= Tramo I

T3= Tramo III

T2= Tramo II

T4= Tramo IV

Tabla 3. Objetivos de calidad a cuatro años para los tramos del río Fucha y Salitre (Resolución 5739 de 2008)

Determinantes de la calidad	Unidades	Canal Torca (TO)		Río Tunjuelo (TU)			
		TO-T1	TO-T2	TU-T1	TU-T2	TU-T3	TU-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
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	3	0.5	7	2	1	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	150	5	100	100	250
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	50	300	35	200	200	500
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	20	150	10	120	150	300
Grasas y Aceites (GyA)	mg/L	20	30	20	20	20	50
Tensoactivos (SAAM)	mg/L	1	4	0.5	3	3	3
Fósforo Total (P _{TOTAL})	mg/L	1	6	0.2	3	5	8
Coliformes Fecales (Col _{fe})	NMP/1000 mL	1.0E+0 5	1.0E+0 6	1.0E+0 3	1.0E+0 6	1.0E+0 6	1.0E+0 6
Nitrógeno Total (N _{TOTAL})	mg/L	5	40	3	20	20	50

T1= Tramo I

T3= Tramo III

T2= Tramo II

T4= Tramo IV

Tabla 4. Objetivos de calidad a cuatro años para los tramos del canal Torca y río Tunjuelo (Resolución 5739 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 objetivos de calidad a cuatro años (2009-2012) de los siguientes determinantes de la calidad del agua, tal como lo establece el Artículo 3 de la Resolución 5731 de 2008: Oxígeno disuelto (OD), pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno-5 días (DBO₅), Demanda Química Oxígeno (DQO), Coliformes fecales (Col_{fe}), Grasas y aceites (GyA), Sólidos Suspendedos Totales (SST), SAAM (Surfactantes), Nitrógeno total (Nt o Ntotal) y Fósforo total (Pt o Ptotal).

Es importante aclarar que los objetivos de calidad 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, los cuales están definidos el Artículo 2 de la Resolución 5731 de 2008.

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

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 objetivos de calidad; 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 pueden 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 objetivos de calidad, 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 objetivo de calidad, como en el caso del oxígeno disuelto o pH, la excursión se calcula como:

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

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 siguientes categorías (Tabla 5):

Categoría	Valor WQI	Descripción
Excelente	[95 <WQI<100]	Calidad del agua cumple los objetivos de calidad, 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 veces la calidad está amenazada o afectada; por lo general apartada de las condiciones deseables

Tabla 5. 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 prioritizadas que mitiguen fenómenos que impactan de forma negativa la calidad del recurso hídrico.

2 RESULTADOS

Después de la implementación de los métodos y metodologías explicados en los numerales 1.2 y 1.3 se obtienen los resultados para cada uno de los tramos de los ríos que conforman la RCHB.

En general los resultados que se presenta para cada tramo son los siguientes:

- En la Figura 2, 5, 8 y 11 se presenta en el eje vertical la cantidad de datos que fueron catalogados como *outliers*, y la cantidad que fue monitoreados por cada punto de la RCHB durante el periodo 2015-2016 por cada determinante, esto últimos presentados en el eje horizontal.
- Las tablas similares a la Tabla 6 (*e.g.* Tablas 6, 7 entre otras) 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

Página 18 de 63

presentan las variables F1, F2, nse y F3 (ver numeral 1.3) empleadas en el cálculo del indicador WQI, y finalmente el valor de este indicador.

La figuras tipo radar como la Figura 3 representan el porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad por determinante de la calidad del agua y para cada tramo del río analizado. Por último, se presenta espacialmente por medio de mapas, el valor del indicador WQI por cada uno tramos que conforman los ríos de la RCHB, tal como se puede observar en la

Figura 4.

2.1 RÍO TORCA

En el río Torca se realizaron seis monitoreos por cada uno de los tres primeros puntos sobre los cuales se realiza seguimiento a la calidad del agua: Bosque de Pinos, Calle 1261 y Jardines de Paz, y 18 monitoreos en el punto 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 boxplot. Allí se evidencia que los puntos Calle 161 y Jardines de Paz presentan *outliers* en 5 de los 10 determinantes evaluados, mientras que San Simón presenta la menor cantidad de atípicos. Por otra parte, en todos los puntos de monitoreo los Coliformes fecales fue el determinante que más *outliers* presento, mientras SAAM no presento ningún *outliers*.

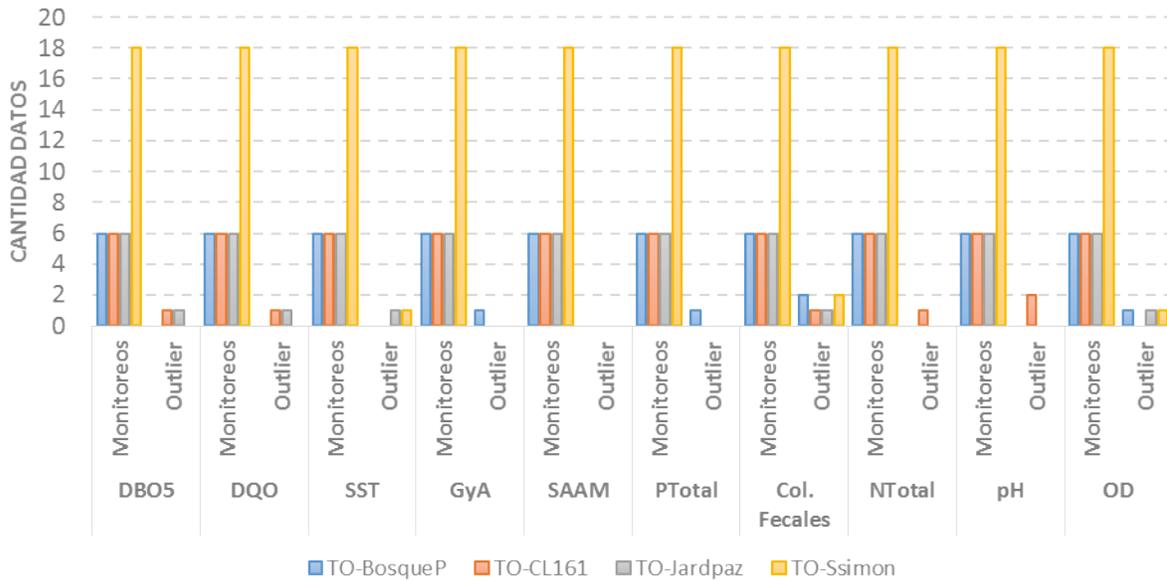


Figura 2. Cantidad de datos monitoreados y datos *outliers* en los puntos de monitoreo del río Torca

A partir del análisis estadístico de la información, se determinaron 5 valores atípicos, los cuales no fueron considerados para el cálculo del WQI en el tramo I. Para el tramo II del río Torca el 91.67 % de los monitoreos fueron catalogados como válidos y empleados en el cálculo del WQI empleados de los datos, para un total de 285 datos validados y 15 datos atípicos.

Con base en los datos validados, se determinó que la calidad del agua en el tramo I, para el periodo evaluado, fue [Buena]. Los únicos determinantes que no alcanzaron los objetivos de calidad establecidos para el tramo I fueron DBO₅ y Fósforo Total, los cuales corresponden al 3.64 % y 1.82 % del total de los datos considerados en esta evaluación respectivamente. En la Tabla 6 se presentan los porcentajes de datos que no cumplen los OC con respecto al total de los datos de cada determinante. Es preciso indicar que la magnitud con la cual los datos superan los OC es pequeña, tal como lo reflejan el

coeficiente excursión y F3 que evalúan esta condición, y tiene más relevancia en el WQI la cantidad de determinantes que incumple los OC que es dado por el F1.

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	2	33.33	F1	20
DQO	0	0	F2	5.45
SST	0	0	nse	1.01
GyA	0	0	F3	0.01
SAAM	0	0	WQI	88
Fosforo Total	1	20		
Coliformes fecales	0	0		
Nitrógeno Total	0	0		
pH	0	0		
OD	0	0		

Tabla 6. Río Torca WQI – Tramo I

Para el caso específico de Coliformes fecales el 84.62 % del total de los datos superaron el valor de referencia para el tramo II del río Torca, el cual es de 1×10^6 NMP/100mL. El punto de monitoreo en la que se presentó una mayor afectación por Coliformes fecales fue San Simón, con un porcentaje de 87.5 %, lo que representa que 14 de los 16 datos superaron el objetivo de calidad, si bien los porcentajes de excedencia del valor de referencia (objetivo de calidad), fueron inferiores en las estaciones de Calle 161 y Jardines de Paz en comparación con la estación San Simón, se estableció que 80 % de los datos en ambos casos estuvieron por encima del valor objetivo (ver Tabla 7). El Nitrógeno Total y Fosforo Total fueron dos de los tres determinantes que incumplieron los OC con un porcentaje de 10 % y 3.45 % respectivamente. Al igual que el determinante de Coliformes fecales, se tiene que para el determinante de Tensoactivos (SAAM) el mayor porcentaje de excedencia se presentó en la estación Jardines de Paz, para la cual 5 de los 11 datos considerados sobrepasaron el valor establecido como objetivo de calidad (1 mg/L), mientras que en las estaciones de Calle 161 y San Simón se presentaron porcentajes de incumplimiento del 33.33 % y 16.7 % respectivamente. Sin embargo, el incumplimiento

del OC del Nitrógeno Total [40 mg/L] solo se dio en Calle 161 y San Simón, mientras que el punto Jardines de Paz fue el único que incumplió el OC [6 mg/L]. Los siete determinantes restantes cumplieron con los objetivos de calidad, lo cual incidió en el valor de F1 y por tanto en el valor final del WQI [82], que clasifica la calidad del agua del tramo en **Bueno**.

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	0	0	F1	30
DQO	0	0	F2	9.09
SST	0	0	nse	0.56
GyA	0	0	F3	0.01
SAAM	0	0	WQI	82
Fosforo Total	3	10		
Coliformes fecales	22	84.62		
Nitrógeno Total	1	3.45		
pH	0	0		
OD	0	0		

Tabla 7. Río Torca WQI – Tramo II

La Figura 3 permite evidenciar que los determinantes de la calidad del agua con mayor impacto en la calidad hídrica del tramo I y II del río Torca, fueron coliformes Fecales y Fósforo Total. Si bien el WQI para el tramo II del periodo 2015-2016 mejoro **Bueno** con respecto al periodo anterior **Aceptable**, el deterioro de la calidad del agua continua siendo afectada principalmente por las descargas de aguas residuales domésticas generadas por la problemática de conexiones erradas presentes en el área aferente al canal y a la inexistencia de un sistema de alcantarillado para la parte baja de la cuenca (desde Jardines de Paz hasta La desembocadura al río Bogotá) (ver

Figura 4).

Río Torca

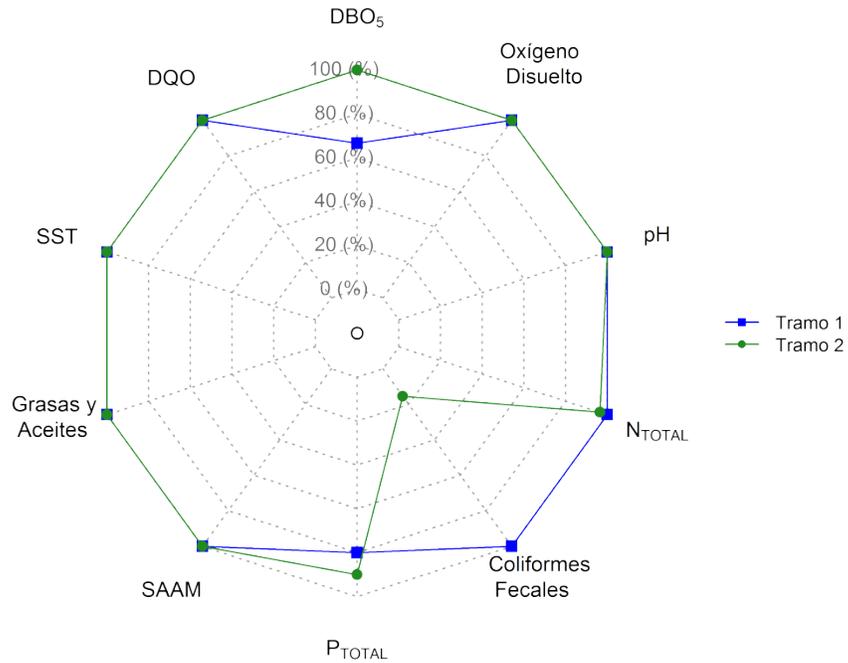


Figura 3. Porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad por determinante de la calidad del agua y tramo del río Torca

En general, se puede establecer que para el primer tramo del río Torca, no hubo un determinante crítico y la calidad del agua se mantuvo dentro de los valores históricos. Sin embargo, el valor de WQI disminuyó en un 6.82 % con respecto al periodo 2014-2015 sin cambiar de clasificación, tal como lo muestran la Figura 4 y la Figura 5. El segundo tramo la calidad del agua presentó una mejora del 8.55 % en comparación con el valor del WQI del período 2014-2015 cuyo valor fue de 75. En este último tramo los Coliformes fecales, siguen siendo el determinante que presenta una mayor frecuencia e incide directamente en la calidad del agua.

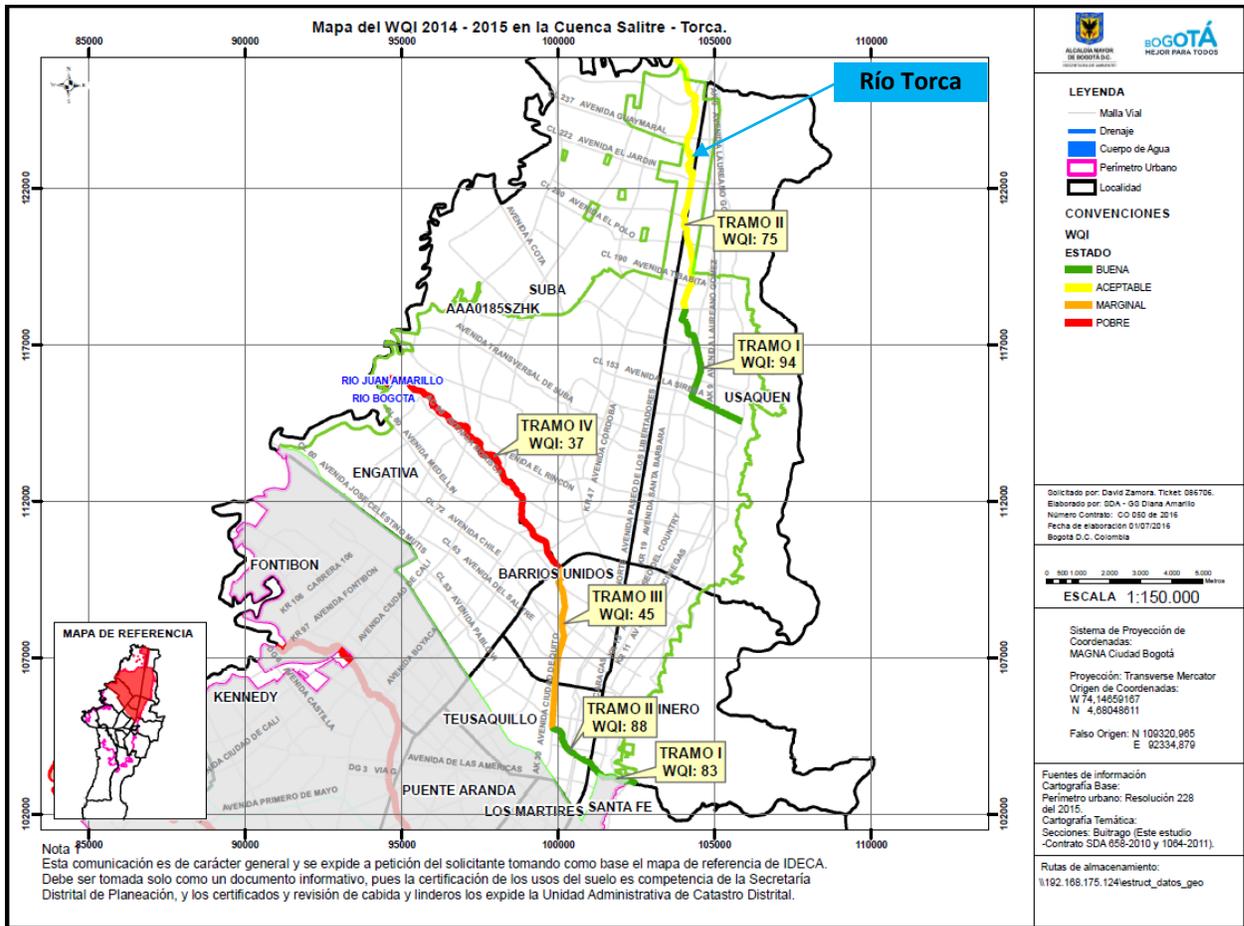


Figura 4. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Torca 2014-2015

A continuación se presenta el mapa del indicador WQI durante el periodo 2015-2016 para los tramos del río Torca. Se puede evidenciar que para el periodo evaluado la clasificación del indicador predominante es Buena (color a verde), ya que se presenta en el tramo II el cual es el más largo de este río continuando con la clasificación de calidad del agua obtenida en el tramo I.

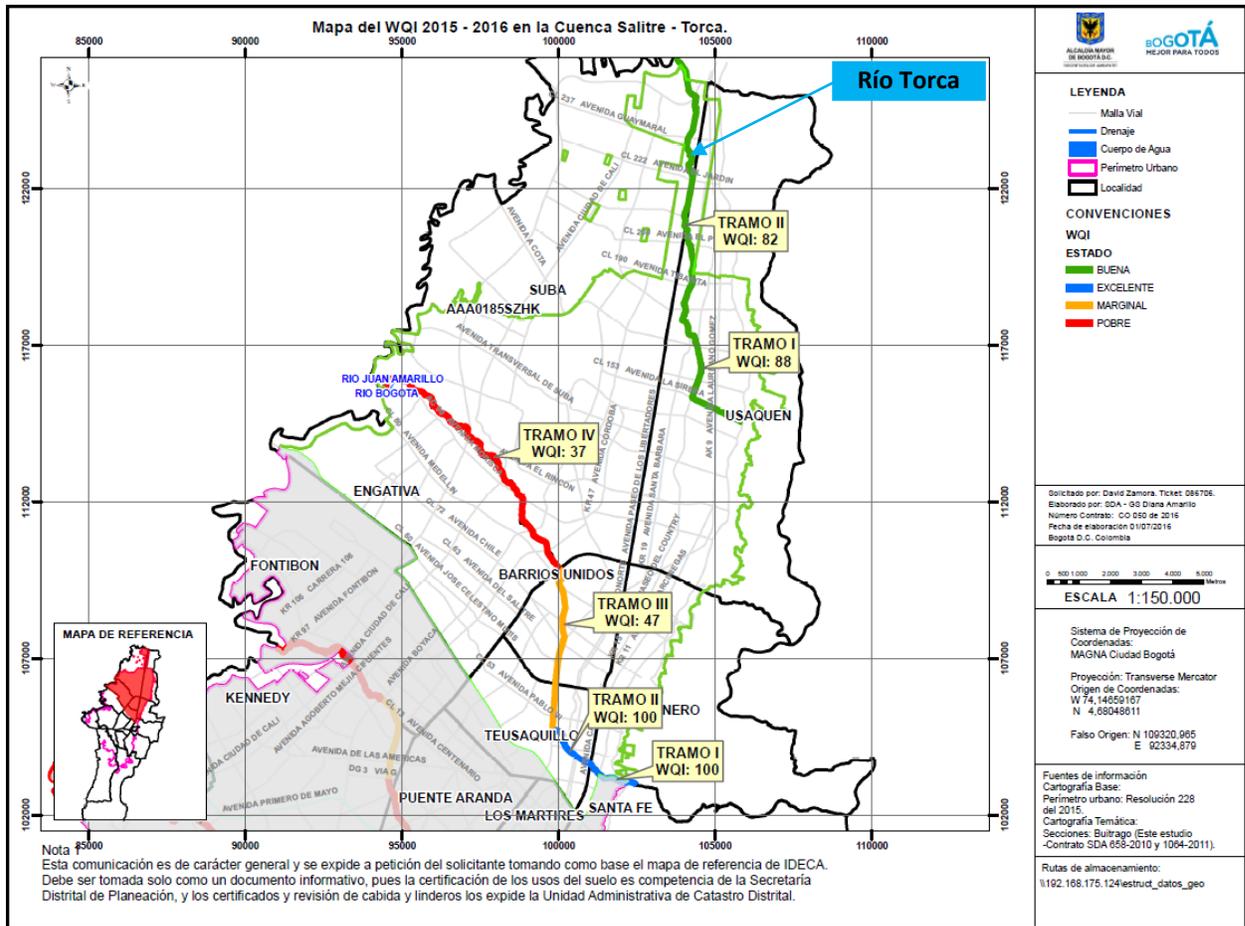


Figura 5. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Torca 2015-2016

2.2 RÍO SALITRE

Para los puntos de monitoreo Calle 53 y Salitre Alameda localizadas en la cuenca del río Salitre, se desarrollaron 18 monitoreos, mientras que para los demás punto de control de la calidad del agua se ejecutaron 6 monitoreos durante los meses de agosto a octubre de 2015, obteniéndose así un total 840 datos de los determinantes de calidad del agua evaluados. A partir del análisis estadístico de la información, se determinaron 70 valores

atípicos que corresponden al 8.33 % de los datos, estos valores atípicos no fueron considerados para el cálculo del WQI. Para el tramo I del río Salitre (cuya único punto de monitoreo es el Parque Nacional) se validó el 91.67 % de los datos, para un total de 55 datos validados y 5 datos atípicos. En el tramo II del río Salitre (puntos Arzobispo y Calle 53) se validó el 89.17 % de los datos, para un total de 214 datos validados y 26 datos atípicos mientras que para los tramos III y IV, se validó el 90.83 % (218 datos) y el 94.33 % (283 datos) respectivamente (ver Figura 6).

El punto de monitoreo que presentó más determinantes con datos atípicos fue el punto Calle 53 (9 de 10), mientras que Carrefour presentó la menor cantidad de estos datos, tal como se muestra en la Figura 6. Entre los determinantes los Coliformes fecales fueron los que presentaron datos atípicos en todos los puntos de monitoreo, a diferencia del Nitrógeno Total y pH que solo reportaron esta clase de datos en un punto de monitoreo: Calle 53 y Parque Nacional respectivamente.

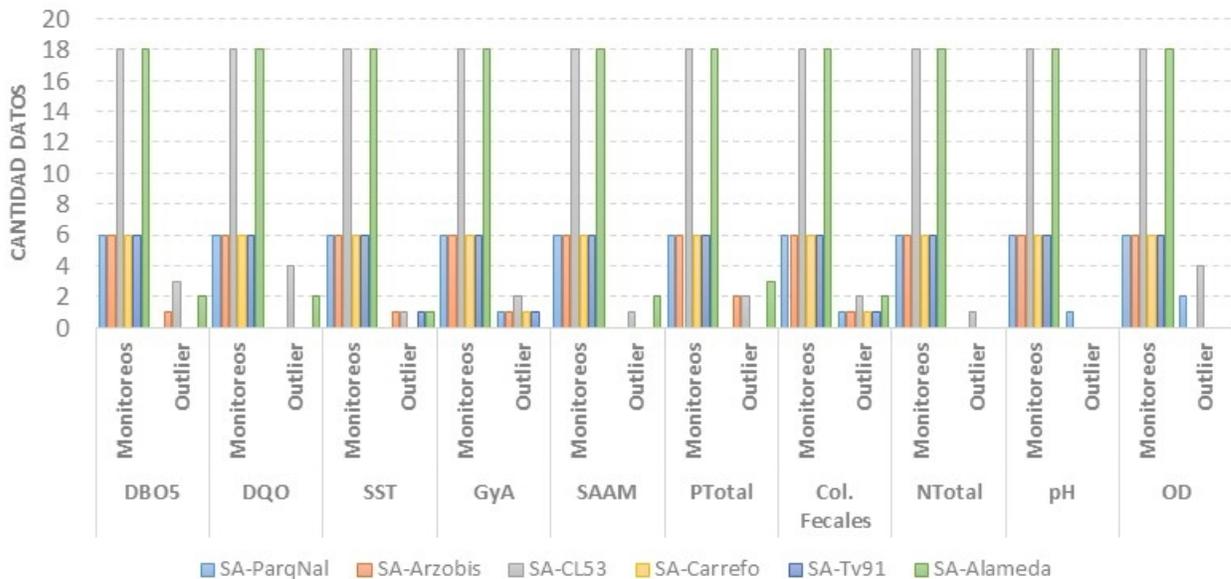


Figura 6. Cantidad de datos monitoreados y datos *outliers* en los puntos de monitoreo del río Salitre

Del total de los 55 datos validados para el punto Parque Nacional (Tramo I del río Salitre) ninguno de los diez determinantes reporto incumplimiento de los objetivos de calidad, lo cual se vio reflejado en el valor y la clasificación del WQI: 100 y [Excelente] respectivamente (ver Tabla 8).

Comparando el WQI de este período (2015-2016) con el valor obtenido para el 2014-2015, la calidad de este tramo tuvo un incremento del 17 %, dado que un porcentaje significativo de los determinantes incumplió los OC establecidos para el presente tramo durante 2014-2015. Un valor de WQI igual a 100 no era reportado desde el periodo 2013-2014.

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	0	0	F1	0
DQO	0	0	F2	0
SST	0	0	nse	0
GyA	0	0	F3	0
SAAM	0	0	WQI	100
Fosforo Total	0	0		
Coliformes fecales	0	0		
Nitrógeno Total	0	0		
pH	0	0		
OD	0	0		

Tabla 8. Río Salitre WQI – Tramo I

Para los dos puntos de monitoreo (Arzobispo y Calle 53) del tramo II del río Salitre, se obtuvo un total de 214 datos, y cuya evaluación de los diez determinantes de calidad del agua arrojó cumplimiento de los OC durante todas las jornadas de monitoreo de la calidad

del agua ejecutadas en el segundo semestre de 2015. La calidad de agua de este tramo fue [Excelente], y el valor del WQI incremento un 12 % con respecto a la evaluación realizada en el período 2014-2015 cuya clasificación fue [Buena]. Este tramo a lo largo de los año ha mejorado su calidad del agua, debido a las obras de rehabilitación de las estructuras de alivio culminadas en el año 2012, generando así un incremento superior al 100 % en el índice de calidad WQI (2012-2013 = 46 vs 2015-2016 = 100) pasando de [Marginal] a [Excelente] (ver Tabla 9).

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	0	0	F1	0
DQO	0	0	F2	0
SST	0	0	nse	0
GyA	0	0	F3	0
SAAM	0	0	WQI	100
Fosforo Total	0	0		
Coliformes fecales	0	0		
Nitrógeno Total	0	0		
pH	0	0		
OD	0	0		

Tabla 9. Río Salitre WQI – Tramo II

Para el tramo III del río Salitre la totalidad de los datos que no cumplieron con los objetivos de calidad se presentaron en el punto de monitoreo Carrefour, para la cual el 63.79 % de los datos no alcanzaron los valores objetivo. Los determinantes que en este tramo presentaron una mayor frecuencia fueron Nitrógeno Total, DBO₅, Fósforo Total y Coliformes Fecales (Tabla 10), y cuyos porcentajes de incumplimiento con respecto al punto Carrefour fueron del 100 %, 83.33 %, 83.33 % y 66.67 % respectivamente.

De acuerdo con el cálculo del WQI la calidad del agua en este tramo fue [Marginal] (ver Tabla 10), manteniendo la clasificación reportada para el periodo 2014-2015. Sin embargo, se incrementó en dos unidades el valor de este indicador con respecto al 2014-2015 (Figura 8 y Figura 9).

A diferencia de los tramos I y II, en el tramo III el alto porcentaje de datos Coliformes fecales que excedió el objetivo muestran la afectación de las descargas de aguas residuales domésticas provenientes de las estructuras de alivio del sistema de alcantarillado combinado localizadas en este tramo del río. La cantidad determinantes que incumplen los OC (F1) y la frecuencia que un objetivo es incumplido son las dos variables que más pesan en el valor del WQI obtenido para el tramo III. Aunque, la amplitud (F3) es pequeña en comparación con las otras dos variables se pudo determinar que las variables que más incidieron en la excursión fueron DBO₅ y el Nitrógeno Total cuyos registros fueron muy superiores a los objetivos de calidad (Tabla 10).

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	5	23.81	F1	90
DQO	4	20	F2	16.89
SST	4	17.39	nse	8.16
GyA	3	14.29	F3	0.09
SAAM	4	17.39	WQI	47
Fosforo Total	5	22.73		
Coliformes fecales	4	19.05		
Nitrógeno Total	6	26.09		
pH	0	0		
OD	2	9.52		

Tabla 10. Río Salitre WQI – Tramo III

Finalmente, para el tramo IV del río Salitre se tiene que de los 300 datos validados el 58.30 % superan los valores establecidos como objetivos de calidad. En este tramo se tiene que los determinantes de calidad que presentaron una mayor frecuencia fueron Coliformes Fecales, Tensoactivos y Fósforo Total. Los porcentajes asociados al número de datos que no cumplieron con los objetivos de calidad por cada determinante se presentan en la Tabla 11, a excepción del pH cuyos registros nunca sobrepasaron los objetivos de calidad. Al igual que el tramo III la variable F1 del WQI tiene el mismo valor en el tramo IV, pero la frecuencia (F2) y la amplitud con la cual se incumplieron los OC fueron superiores. El WQI en el tramo IV mostró una calidad del agua [Pobre] con un valor de 37 igual al reportado para el periodo 2014-2015.

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	23	82.14	F1	90
DQO	7	25	F2	58.30
SST	14	50	nse	19.99
GyA	18	64.29	F3	0.25
SAAM	25	89.29	WQI	37
Fosforo Total	23	85.19		
Coliformes fecales	25	96.15		
Nitrógeno Total	27	90		
pH	0	0		
OD	3	10		

Tabla 11. Río Salitre WQI – Tramo IV

Para el caso específico de Coliformes Fecales el 100 % del total de los datos (para los puntos Transversal 91 y Salitre Alameda) superaron el valor de referencia para el tramo IV, el cual es de 1×10^6 NMP/100mL, y no muy lejos un 80 % de incumplimiento fue determinado para el punto Carrefour. En términos de frecuencia se establece que en el punto de monitoreo en el que se presentó una mayor afectación por SAAM fue la de la Salitre Alameda, con un porcentaje del 100 %, lo que representa que los 6 datos validados

superaron el objetivo de calidad. Los porcentajes del número de datos que excedieron el valor de referencia establecido como objetivo de calidad para SAAM, fueron del 83.33 % en Transversal 91 y del 67.77 % en Carrefour.

La medida que río avanza en el tramo IV se evidenció que la DQO y el OD tiende a disminuir y aumentar sus concentraciones respectivamente, con cual se reduce la cantidad de datos no cumplen con los OC. Por otra parte, la DBO₅ tiene un comportamiento similar a la DQO hasta el punto Transversal 91, pero incrementa su concentración nuevamente en el punto Salitre Alameda, ya que en medio de estos puntos recibe descargas de aguas residuales principalmente domésticas. Lo anterior permite inferir que el mayor contenido de las sustancias afectan el tramo IV son de origen orgánico.

La Figura 7 permite visualizar los resultados antes descritos y evidencia la notoria influencia que tiene la DBO₅, en la calidad del agua en los tramos II, III y IV del río Salitre. Además, es claro el comportamiento relativamente uniforme que presentaron los determinantes de la calidad del agua en el tramo II durante el periodo aquí evaluado. Finalmente, se revela la incidencia negativa de las descargas con alto contenido de Coliformes fecales, Nitrógeno Total y SAAM sobre el tramo IV.

Río Salitre

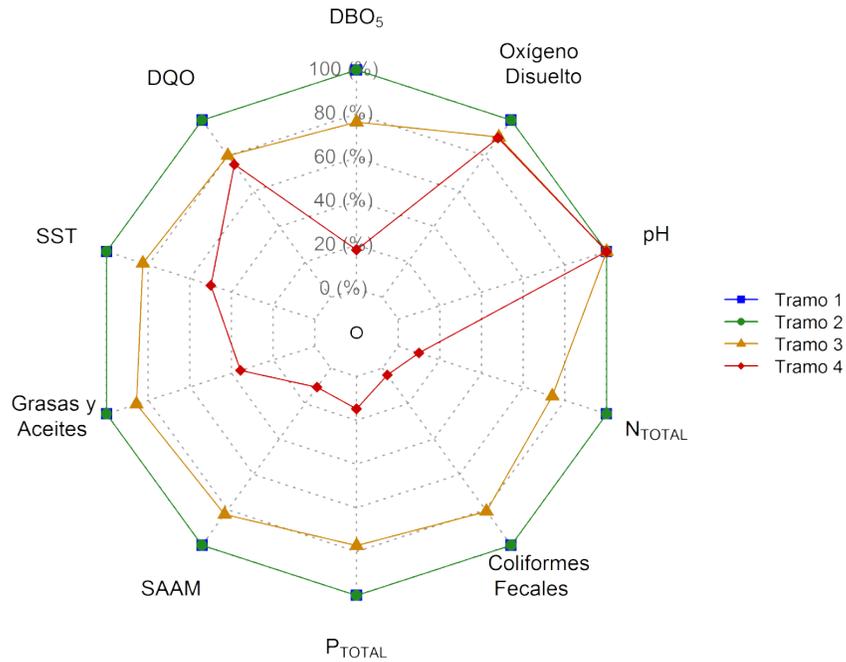


Figura 7. Porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad por determinante de la calidad del agua y tramo del río Salitre

A continuación se presenta el mapa del indicador WQI para los tramos del río Salitre durante los periodos 2014-2015 (Figura 8) y 2015-2016 (Figura 9). Allí se evidencia la mejora de calidad del agua en los tramos I y II del río durante el periodo 2015-2016, y la constante baja calidad del recurso hídrico en los tramos III y IV.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

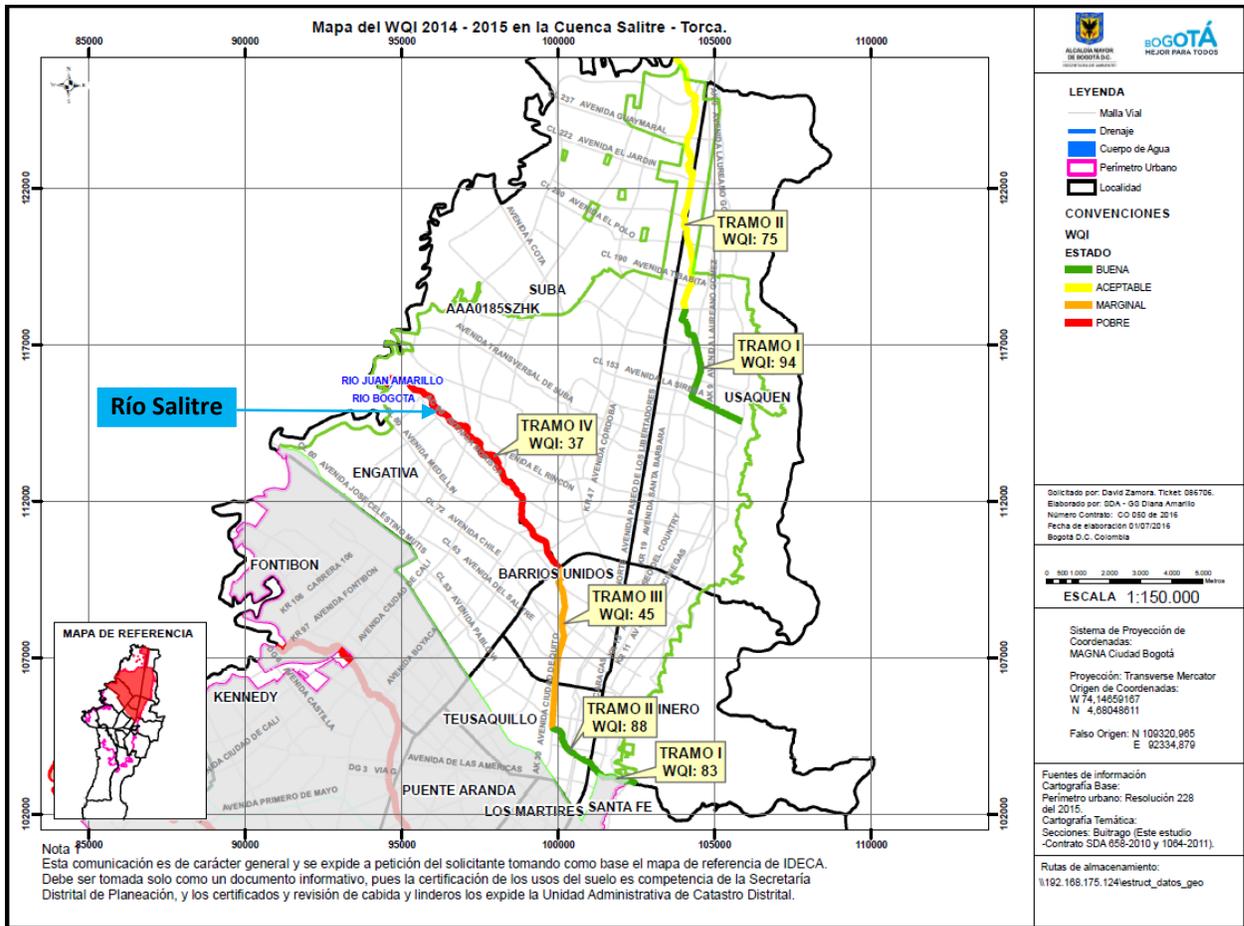


Figura 8. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Salitre 2014-2015

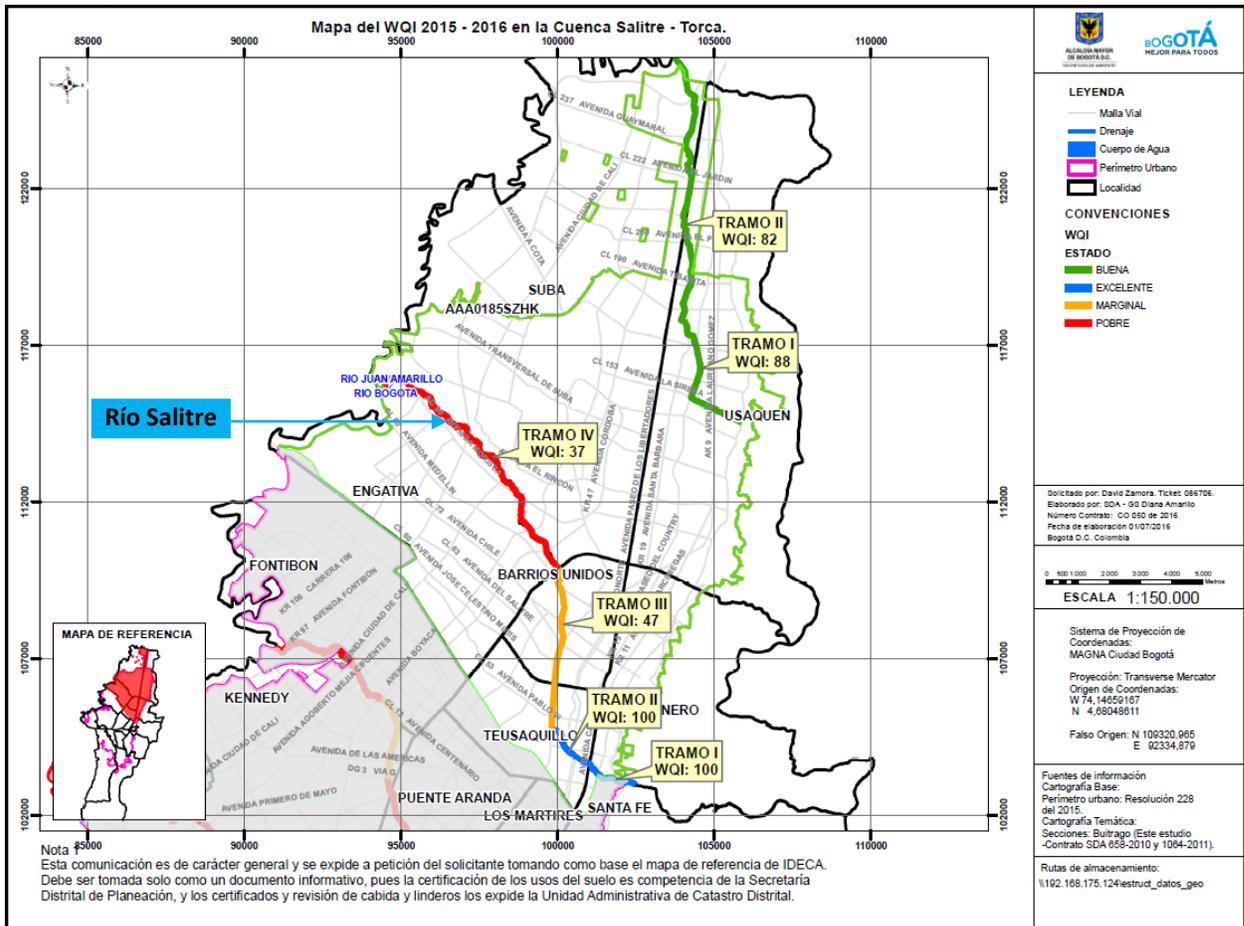


Figura 9. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Salitre 2015-2016

2.3 Río FUCHA

El río Fucha está conformado por ocho puntos de monitoreo y cada uno fue caracterizado (calidad y cantidad) seis veces durante el segundo semestre del 2015, como se presenta en la Figura 10 y la Figura 11. En estas figuras se observa que Ferrocarril fue el punto de monitoreo con mayor número de determinantes con *outliers* (6 de 10) mientras que el punto Américas reportó este tipo de datos únicamente en el determinante pH. Por último,

el determinante que mayor número de puntos de monitoreo con *outliers* fue Fósforo Total (5 puntos), mientras que para SAAM no se detectó ningún *outlier*.

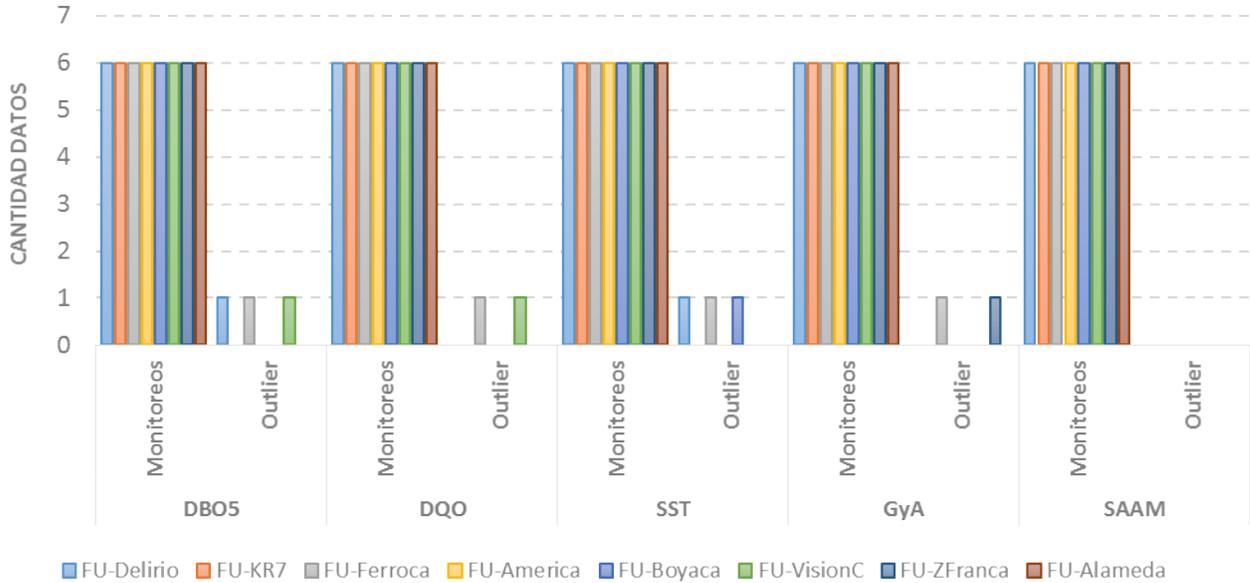


Figura 10. Cantidad de datos monitoreados y datos *outliers* en los puntos de monitoreo del río Fucha – Parte I

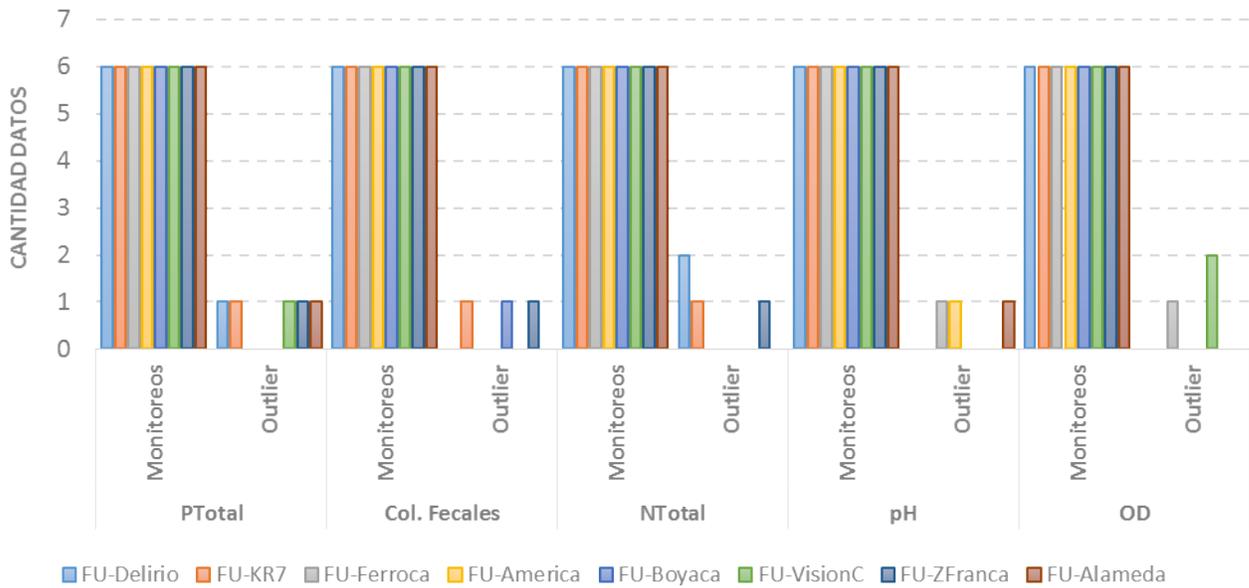


Figura 11. Cantidad de datos monitoreados y datos outliers en los puntos de monitoreo del río Fucha – Parte II

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 55 datos validados, de los cuales cuatro (4) no cumplieron con los objetivos de calidad (Tabla 12). Fósforo Total, DBO₅ y OD fueron los únicos determinantes de la calidad del agua donde se incumplieron los OC. La magnitud por la cual las concentraciones de Fósforo Total y OD incumplieron no están muy alejadas del objetivo, y por tanto su aporte a la excursión es mínimo, sin embargo, en el caso de las concentraciones de DBO₅ la amplitud es mucho mayor al objetivo siendo este determinante el que más aporta en la excursión. De esta manera el valor del WQI en este tramo es de 82 [Buena], que fue inferior en un 12.7 % al valore reportado en el periodo 2014-2015.



Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	1	20	F1	30
DQO	0	0	F2	7.27
SST	0	0	nse	0.80
GyA	0	0	F3	0.01
SAAM	0	0	WQI	82
Fosforo Total	2	40		
Coliformes fecales	0	0		
Nitrógeno Total	0	0		
pH	0	0		
OD	1	16.67		

Tabla 12. 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 fueron un total de 111, de los cuales 58 no cumplieron con los objetivos; lo cual incidió en que la calidad de agua de este tramo sea clasificada como [Pobre] (Figura 13). Es importante resaltar que nueve parámetros incumplieron con los objetivos de calidad de este tramo, donde los más críticos son los SST y DBO₅ con un 90.91 % cada uno, y la DQO con un 72.73 % (ver Tabla 13). El único parámetro que cumplió fue el pH. La afectación de la calidad de agua en este tramo se da principalmente por descargas de aguas residuales domésticas.

Los datos del punto Av. Ferrocarril presentan el mayor porcentaje de incumplimiento en los determinantes de la calidad del agua: Fósforo Total [83.33 %], OD [83.33 %] y Coliformes Fecales [67.7 %] que son superiores en un 75, 10 y 100 % respectivamente frente a los porcentajes presentados para el conjunto de datos del punto Carrera 7. No obstante, el incumplimiento de los datos de SST, DBO₅ y DQO del punto Av. Ferrocarril fue inferior al reportado en el punto Carrera 7.

La magnitud, en general, de las concentraciones de los determinantes de la calidad que incumplieron los objetivos fueron significativos, tal como lo evidencia el factor de excursión y la variable F3. Por último, el WQI mantuvo su clasificación en [Pobre], pero la magnitud incremento un 19.4 % con respecto al periodo anterior (2014-2015) (ver Figura 13).

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	10	90.91	F1	90
DQO	8	72.73	F2	51.79
SST	10	90.91	nse	37.27
GyA	2	18.18	F3	0.59
SAAM	5	41.67	WQI	36
Fosforo Total	6	54.55		
Coliformes fecales	7	63.64		
Nitrógeno Total	5	45.45		
pH	0	0		
OD	5	41.67		

Tabla 13. Río Fucha WQI – Tramo II

En el tramo III se presenta, para todos los determinantes de la calidad un menor porcentaje de incumplimiento (ver Tabla 14) en comparación con los resultados obtenidos en el tramo II. Para este tramo se determinó que el 12 % [14 datos] de los monitoreos no cumplieron con los OC. Esto se debe a que los dos puntos de monitoreo [Av. Las Américas y Av. Boyacá] que conforman este tramo, presentaron porcentajes de incumplimiento diferentes, ya que en el punto Av. Las Américas tres de los diez determinantes presentaron porcentajes de incumplimiento superiores al 0 % y en caso de Av. Boyacá cinco de los diez fueron superiores al 0 %. En ambos puntos de monitoreo, Coliformes fecales fue el único determinante en el cual coincidieron en determinar porcentajes de incumplimiento superiores al 0 %.

Es importante resaltar que los determinantes que más influenciaron en el resultado del WQI fueron Coliformes fecales [54.55 %], Nitrógeno Total [16.67 %] y DBO₅ [16.67 %] en el tramo III. No obstante, la magnitud del incumplimiento (diferencia entre el objetivo y el valor medido) de estos determinantes es en general significativamente menor en el tramo III, si se comparan con los factores de excursión del tramo II.

Los objetivos de calidad 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. El valor del WQI incremento un 25.24 % con respecto al periodo 2014-2015, lo cual generó que su clasificación pasara de [Pobre] a [Marginal] en periodo 2015-2016.

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	2	16.67	F1	70
DQO	1	8.33	F2	11.97
SST	1	9.09	nse	1.91
GyA	1	8.33	F3	0.02
SAAM	0	0	WQI	59
Fosforo Total	1	8.33		
Coliformes fecales	6	54.55		
Nitrógeno Total	2	16.67		
pH	0	0		
OD	0	0		

Tabla 14. Río Fucha WQI – Tramo III

En el tramo IV de este río hay tres puntos de monitoreo [Visión Colombia, Fucha Zona Franca y Fucha con Alameda], el cálculo del WQI se hizo con 169 de datos, de los cuales

235 [51 % de los datos] no alcanzaron los objetivos de calidad, por lo tanto calidad de agua de este tramo es [Pobre] (Tabla 15). Todos los puntos de monitoreo presentaron para sus conjuntos de datos porcentajes de incumplimiento diferentes en siete de los diez determinantes de la calidad del agua evaluados. Sin embargo, las SAAM presentaron el mismo porcentaje de incumplimiento [67.7 %]. En cuanto al pH y al OD fueron los únicos determinantes cuyos monitoreos en todos los puntos del tramo IV cumplieron los objetivos de calidad.

El determinante de la calidad crítico fue DBO₅, debido a que el 82.35 % de las mediciones se presentó incumplimiento del objetivo. No obstante, Coliformes Fecales, Nitrógeno Total y Fósforo Total y SAAM presentaron porcentajes de incumplimiento significativos que oscilaron entre 67 % y 76 %.

Si bien el factor de excursión y la variable F3 del tramo IV son mayores a los reportados para el tramos III, es importante resaltar que los objetivos de la calidad para el tramo IV son superiores, lo cual influye en que la magnitud de excedencia con respecto al objetivo sea menor. Sin embargo, las concentraciones de los determinantes de la calidad son similares en los tramos III y IV.

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	14	82.35	F1	80
DQO	11	64.71	F2	50.59
SST	8	44.44	nse	18.73
GyA	5	29.41	F3	0.23
SAAM	12	66.67	WQI	44
Fosforo Total	11	73.33		
Coliformes fecales	12	70.59		
Nitrógeno Total	13	76.47		



Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
pH	0	0		
OD	0	0		

Tabla 15. Río Fucha WQI – Tramo IV

En la Figura 12 se puede observar que el pH y Grasas y Aceites son los únicos determinantes de la calidad que en la mayoría de tramos reportaron cumplimiento de los objetivos con valores superiores al 80 % y al 60 % respectivamente. Por otra parte, los tramos III y IV reportaron porcentajes de cumplimiento de los objetivos inferiores al 20 % y al 40 % en el caso de DBO₅ y Coliformes fecales respectivamente.

Por otra parte, el oxígeno disuelto presentó porcentajes de cumplimiento inferiores a medida que el río avanza desde el punto de monitoreo El Delirio a Fucha con Alameda, pero nunca menores al 60 % (Figura 13), asociado al incremento de las descargas de puntos de vertimiento de agua residual. Finalmente, los SST tienden a presentar el porcentaje de cumplimiento más crítico de los todos los determinantes en tramo IV, mientras que en los tramos I y II se presentan los porcentajes de cumplimiento más altos superiores al 90 %.

Río Fucha

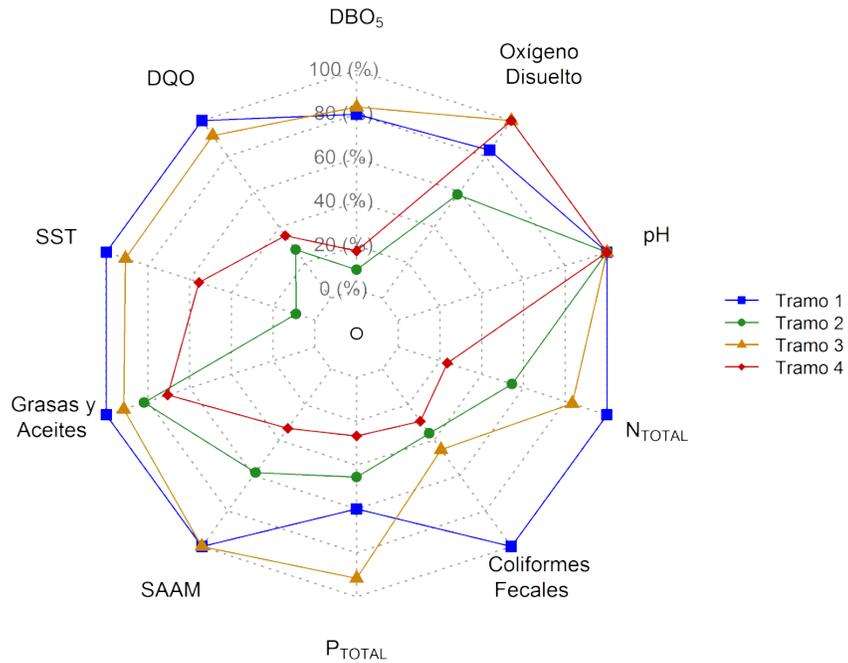


Figura 12. Porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad por determinante de la calidad del agua y tramo del río Fucha

En las siguientes figuras se presentan los valores de WQI especializados sobre el río Fucha obtenidos para los periodos 2014-2015 y 2015-2016. Allí se puede observar el incremento que desde el tramo II al IV tuvo el indicador en el periodo 2015-2016 con respecto al periodo anterior, y la reducción del indicador que se presentó para el tramo I del río Fucha.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

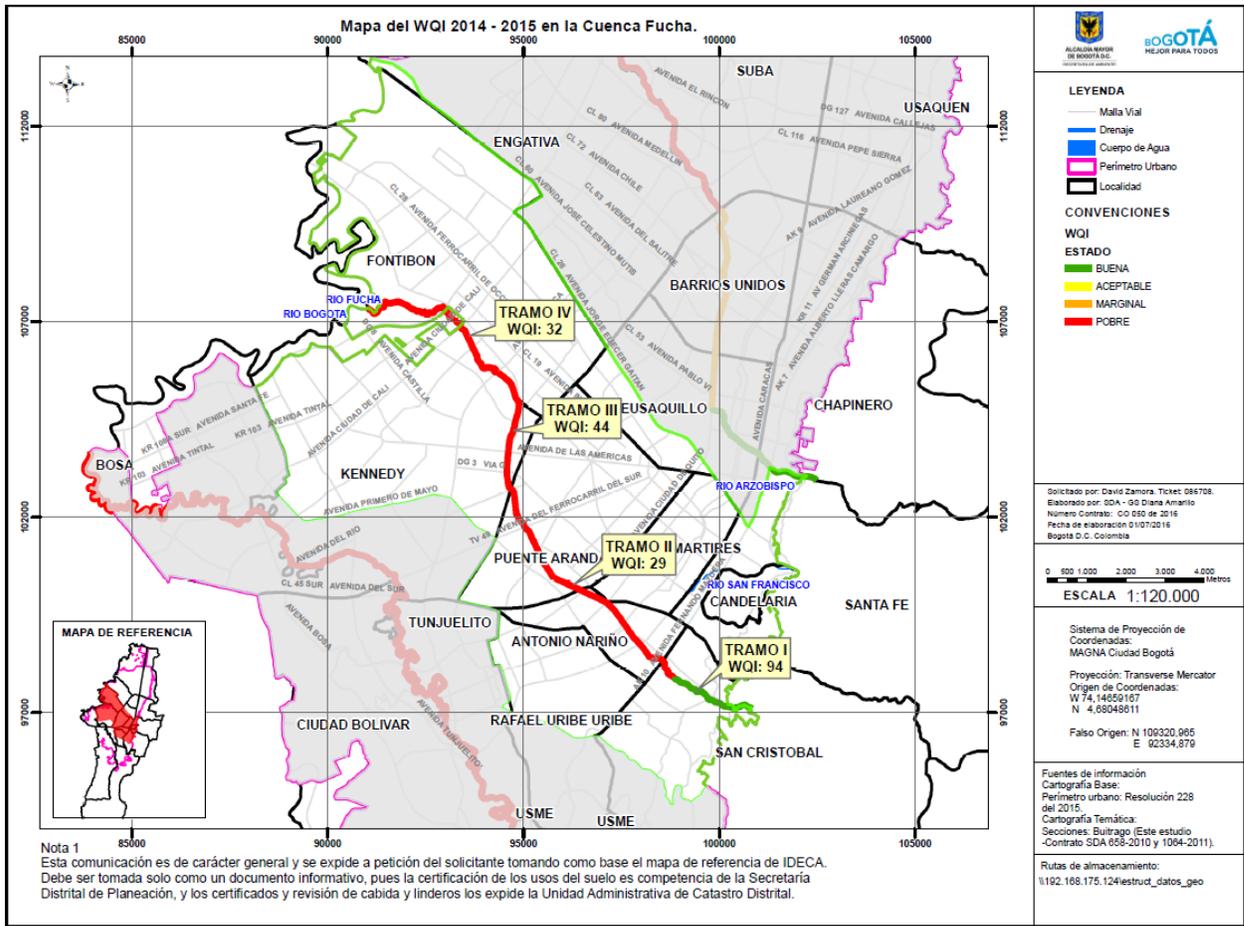


Figura 13. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Fucha 2014-2015

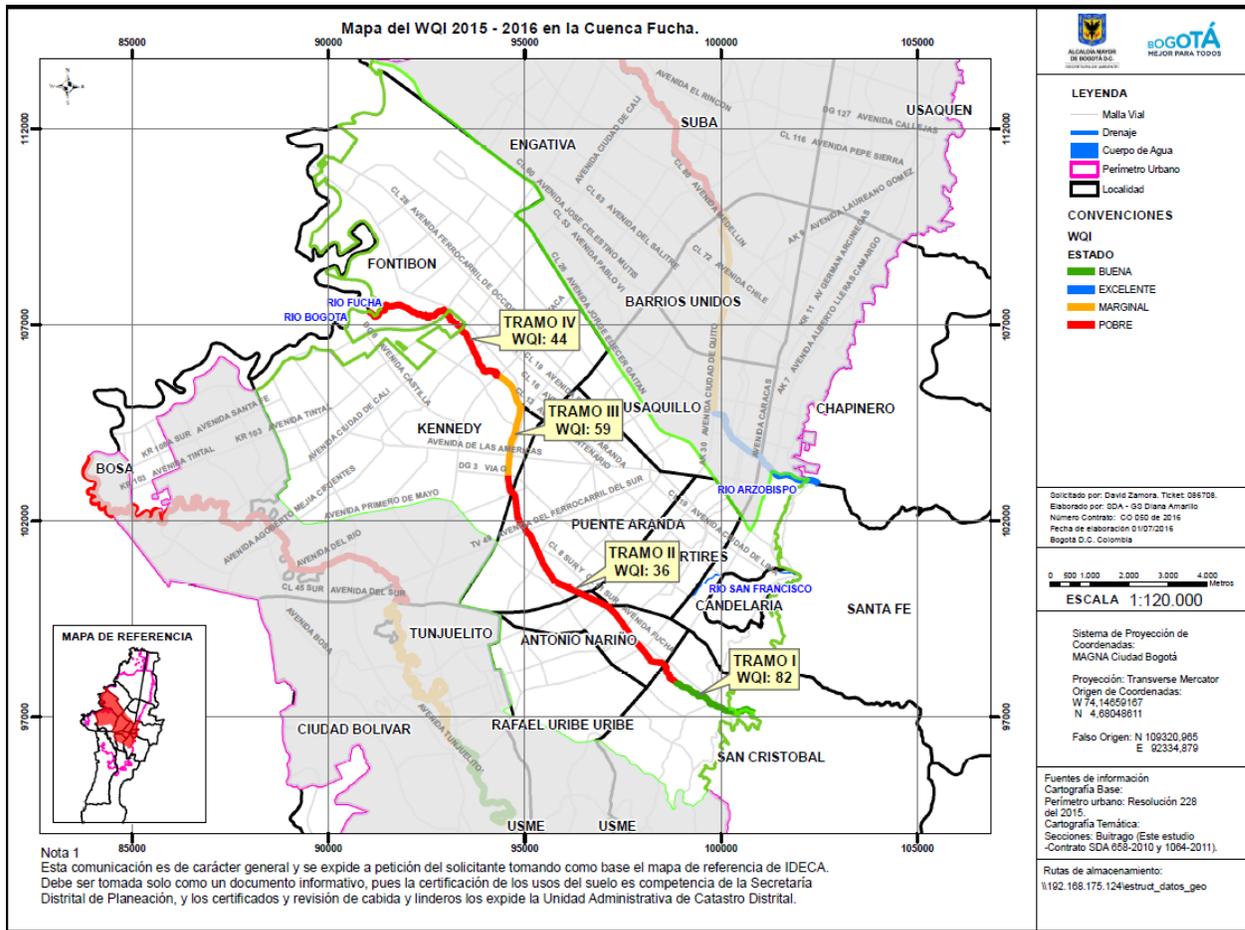


Figura 14. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Fucha 2015-2016

2.4 Río TUNJUELO

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

En siete de los diez puntos de monitoreo del río Tunjuelo se realizaron seis jornadas de caracterización de la calidad del agua en el segundo semestre de 2015, mientras que en los puntos Yomasa, Doña Juana y Barrio México se realizaron 18 monitoreos, tal como se muestra en la Figura 15 y la Figura 16. Otro de los aspectos que se puede observar en estas figuras es que los determinantes con menor cantidad de puntos de monitoreo con *outliers* fueron pH y OD, mientras que Grasas y Aceites y Coliformes fecales fueron los que mayor número de puntos de monitoreo con *outliers*. Por otra parte, Yomasa y Doña Juana fueron los puntos de monitoreo que reportaron *outliers* en siete de los diez determinantes evaluados.

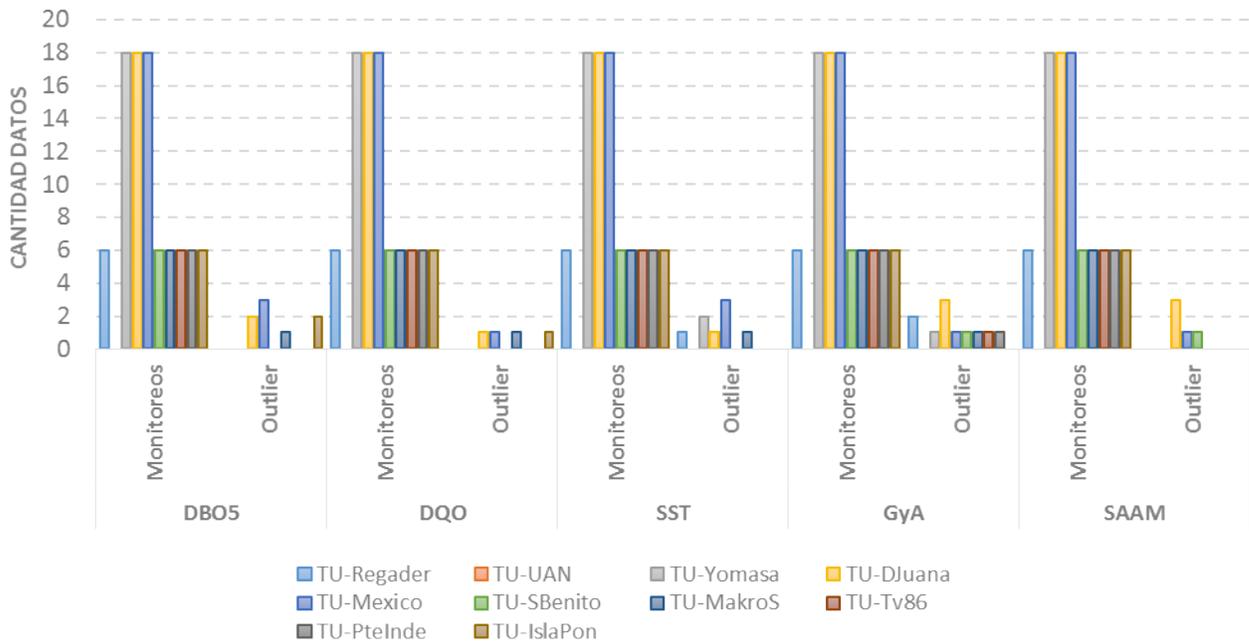


Figura 15. Cantidad de datos monitoreados y datos *outliers* en los puntos de monitoreo del río Tunjuelo – Parte I

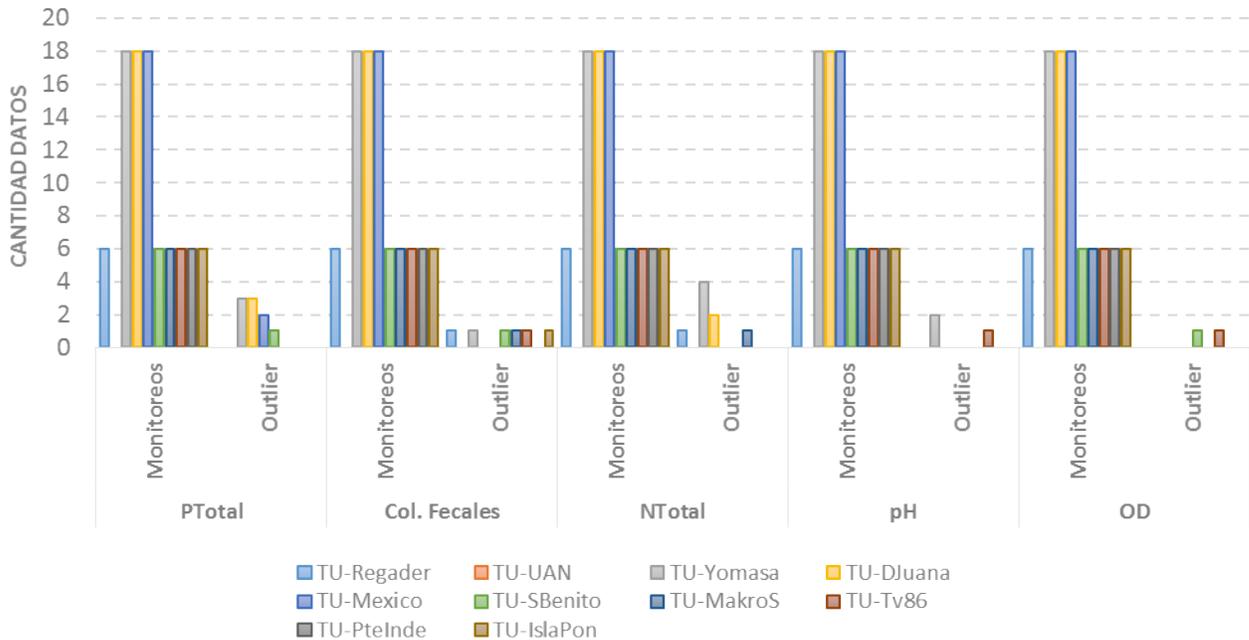


Figura 16. Cantidad de datos monitoreados y datos *outliers* en los puntos de monitoreo del río Tunjuelo – Parte II

En el primer tramo del río Tunjuelo, hay un solo punto de monitoreo (La Regadera), que contó con un total de 55 datos validados de los cuales el 11 % [6 datos] no alcanzaron los objetivos de calidad (ver Tabla 16). El índice de calidad hídrica WQI para este tramo fue **[Buena]**.

La calidad del río en este tramo presenta una mejora, lo cual se observa claramente al comparar el índice de calidad con el periodo anterior (Tabla 20). De acuerdo a los datos reportados para el periodo analizado los determinantes de la calidad más críticos en el incumplimiento de los objetivos fueron la DBO₅ [50 %] y el OD [34 %], ya que los valores medidos de la DBO₅ fueron superiores a 5 mg/L y en el OD estuvieron por debajo de los 7

mg/L. Aunque los valores reportados que no alcanzaron los objetivos de ambos determinantes de la calidad, es importante resaltar que la magnitud de la diferencia por la cual se dio el incumplimiento no fueron significativas en caso de OD, pero si en la DBO₅ tal como lo evidencia el valor del factor de excursión y la variable F3. No obstante, las variables F1 y F2 tuvieron mayor incidencia en el cálculo del WQI (Figura 18).

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	3	50	F1	30
DQO	1	16.67	F2	10.91
SST	0	0	nse	13.04
GyA	0	0	F3	0.15
SAAM	0	0	WQI	80
Fosforo Total	0	0		
Coliformes fecales	0	0		
Nitrógeno Total	0	0		
pH	0	0		
OD	2	33.33		

Tabla 16. Río Tunjuelo WQI – Tramo I

En el segundo tramo, los sitios de monitoreo correspondientes son [Yomasa y Doña Juana]. Para el periodo 2014-2015, el cálculo del WQI se realizó a partir de 332 datos validados, de los cuales 32 [11 %] no alcanzaron los objetivos de calidad. A diferencia del tramo I los determinantes de la calidad del agua que más pesaron por su incumplimiento en el WQI fueron los Nitrógeno Total [50 %], SST [33 %] y pH [45 %].

Por otra parte, es importante aclarar que incumplimiento de los OC de los tres determinantes mencionados en el párrafo anterior, se dieron en el conjunto de datos del punto de monitoreo Doña Juana únicamente, ya que el punto Yomasa dio cumplimiento con todos los OC. Por consiguiente, se puede establecer que Doña Juana es punto crítico de este tramo. Aunque es baja la frecuencia con la cual los datos reportados que

incumplen los objetivos [variable F2], la magnitud con la cual superan tales valores son altos, principalmente los SST como se refleja en los valores del factor de excursión y el F3.

Con respecto al periodo anterior [2014–2015], el WQI cambio su clasificación de [Pobre] a [Buena], debido a la disminución en la magnitud de variable F1 y F3 que para el periodo anterior fueron del orden de 80 y 63 respectivamente (Figura 18).

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	0	0	F1	30
DQO	0	0	F2	10.54
SST	11	33.33	nse	0.16
GyA	0	0	F3	13.86
SAAM	0	0	WQI	80
Fosforo Total	0	0		
Coliformes fecales	0	0		
Nitrógeno Total	15	50		
pH	9	26.47		
OD	0	0		

Tabla 17. 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 validados un total de 443, de los de los cuales el 15.8 % [70 datos] no alcanzaron los objetivos de calidad.

Si bien todos los determinantes de la calidad evaluados en el tramo III incumplieron los objetivos no en todos puntos de monitoreo ocurrió lo mismo. Es así que en el caso del punto Doña Juana 3 de 10 determinantes (SST, Ntotal y pH) incumplieron los objetivos

siendo el más crítico el Nitrógeno Total [93.75 % incumplimiento]. De los datos obtenidos del monitoreo en el punto Barrio México menos determinantes incumplieron los objetivos solo 1 de los 10 evaluados: Coliformes fecales [22.22 % incumplimiento].

Por otra parte, en el caso de los puntos San Benito y Makro Autopista Sur volvió incrementar el número de determinantes que incumplieron los objetivos: 5/10 y 6/10 respectivamente. La diferencia fue marcada por la DQO, SAAM y Fosforo Total. El primero de estos determinantes solo presentó incumplimiento en el punto San Benito [33.33 %], mientras los otros dos únicamente incumplieron los objetivos en punto Makro Autopista Sur.

Además, cabe resaltar que los porcentajes de incumplimiento en el punto Makro Autopista Sur son en la mayoría de determinantes menores a los establecidos para el punto San Benito, con excepción de los Coliformes fecales que son iguales para ambos puntos [40 % incumplimiento].

Por lo anterior, la clasificación del indicador WQI para el periodo analizado es **Marginal**, la cual es superior con respecto a la reportada para el periodo 2014-2015 **Pobre**.

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC
DBO ₅	5	11.9
DQO	2	4.44
SST	11	25.58
GyA	0	0
SAAM	2	4.65
Fosforo Total	3	7.14
Coliformes fecales	8	17.39

Variables	Valor
F1	90
F2	15.80
nse	0.12
F3	10.88
WQI	47



Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
Nitrógeno Total	23	51.11		
pH	9	18.75		
OD	7	14.89		

Tabla 18. Río Tunjuelo WQI – Tramo III

En el último tramo la calidad del río se mantuvo igual [**Pobre**] a la reportada en el periodo anterior (2014-2015). No obstante, el valor del indicador incremento en cuatro unidades.

Este tramo está conformado por cuatro puntos de monitoreo [Makro Autopista Sur, Transversal 86, Puente Independencia e Isla Ponto San José]. De los datos analizados en la detección de atípicos se determinó que 225 eran datos validados, y de estos 76 datos [34 %] excedieron los objetivos (ver Tabla 19 y Figura 19). En este tramo los Coliformes fecales aumentaron considerablemente respecto a los tramos anteriores con un 57 % de los datos por encima del objetivo de calidad, esto debido a las descargas de tipo doméstico que se realizan en este último tramo como es el caso del interceptor Tunjuelo Medio. Otros determinantes que influyeron en la clasificación del WQI fueron Nitrógeno Total [61 % incumplimiento], SAAM y Fósforo Total [54 % incumplimiento]. Por otra parte, los determinantes de la calidad del agua que no presentaron un porcentaje significativo de incumplimiento fueron pH [0 %] y SST [4.3 %], este último asociado al valor del objetivo de calidad 300 mg/L.

Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
DBO ₅	9	42.86	F1	90
DQO	4	18.18	F2	33.78
SST	1	4.35	nse	0.18
GyA	8	38.1	F3	15.24
SAAM	13	54.17	WQI	44



Determinante de la calidad	No. datos que no cumplen el OC	% de datos que no Cumplen el OC	Variables	Valor
Fosforo Total	13	54.17		
Coliformes fecales	12	57.14		
Nitrógeno Total	14	60.87		
pH	0	0		
OD	2	8.7		

Tabla 19. Río Tunjuelo WQI – Tramo IV

Como se puede observar en la Figura 17 los tramos II y III presentaron un comportamiento similar en el cumplimiento de los objetivos de calidad. Sin embargo, los porcentajes de cumplimiento de los SST, El Nitrógeno Total y el pH reportados son mayores en el tramo III que en el tramo II. Por otra parte, los determinantes de la calidad del agua pH, DQO y DBO₅ presentaron un 100 % de cumplimiento de los OC en el tramo II a diferencia del tramo III, cuyos porcentajes oscilaron entre 95 % y 80 %.

La DBO₅ y el OD del tramo I son los determinantes que en todo el río Tunjuelo presentaron menor porcentaje de cumplimiento de los OC, pero fue el único tramo con un 100 % de cumplimiento del OC del Nitrógeno Total.

En los tramos III y IV los determinantes que menos cumplieron los objetivos de calidad fueron Nitrógeno Total y Coliformes fecales, con valores entre 45 y 40 %. Finalmente, el cumplimiento más constante de los objetivos de calidad en los tramos del río Tunjuelo lo presentó la DQO, cuyos valores oscilaron entre 100 % y 80 % aproximadamente (ver Figura 17).

Río Tunjuelo

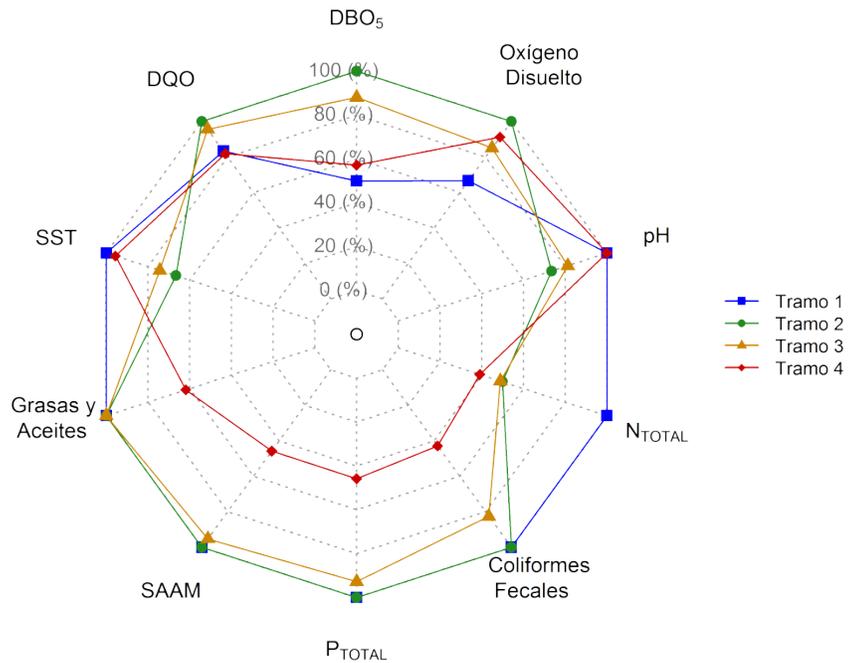


Figura 17. Porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad por determinante de la calidad del agua y tramo del río Tunjuelo

La mayor parte río Tunjuelo en el periodo 2014-2015 reportó un WQI con una condición **[Pobre]** y únicamente aceptable para el tramo I, tal como se muestra en la Figura 18. Sin embargo, para el periodo 2015-2016 se presentó una mejora sustancial en los tramos I y II, cuya clasificación del WQI fue **[Buena]**. Además, el tramo III cambio de **[Pobre]** a **[Marginal]** con un incremento del indicador del 30 % con respecto al periodo anterior (ver Figura 19).

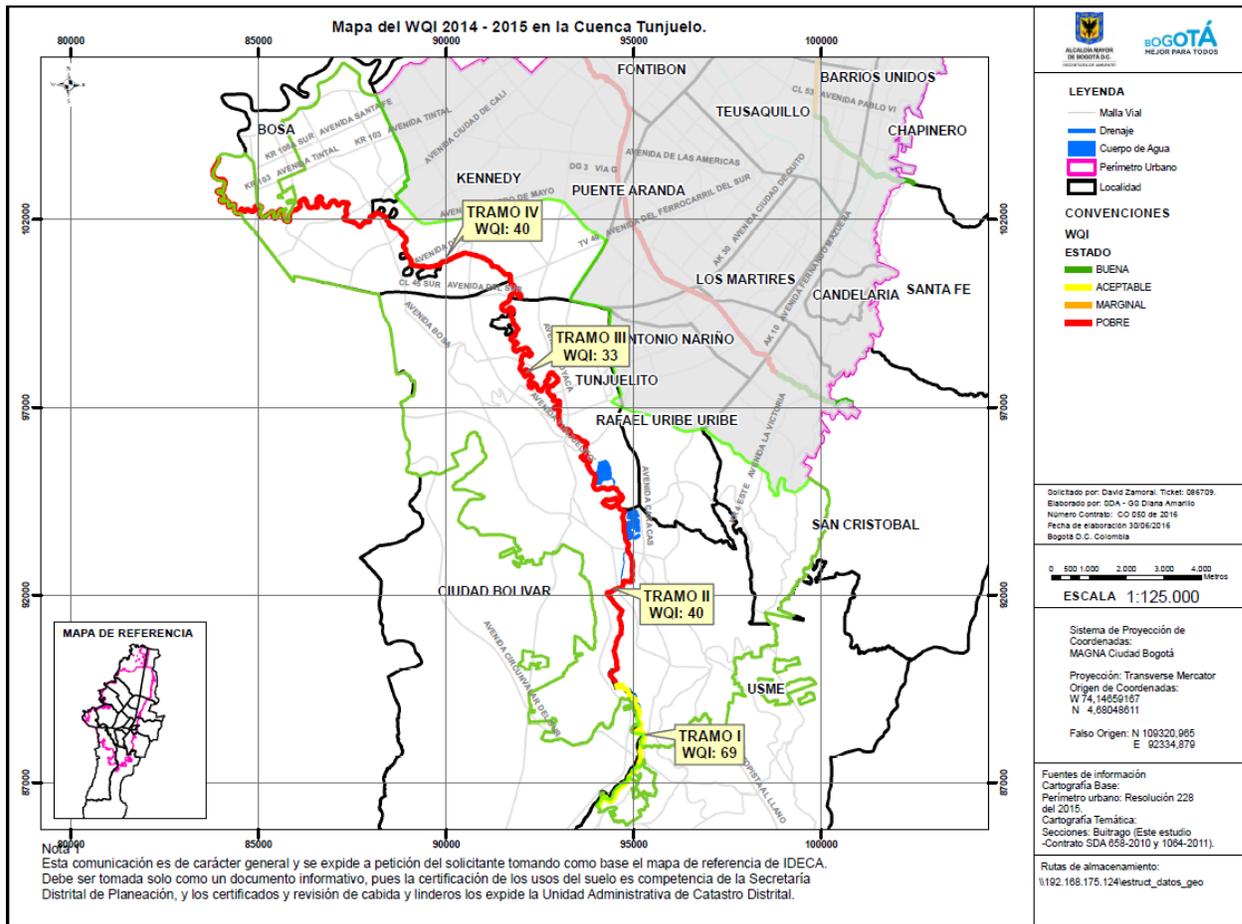


Figura 18. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Tunjuelo 2014-2015

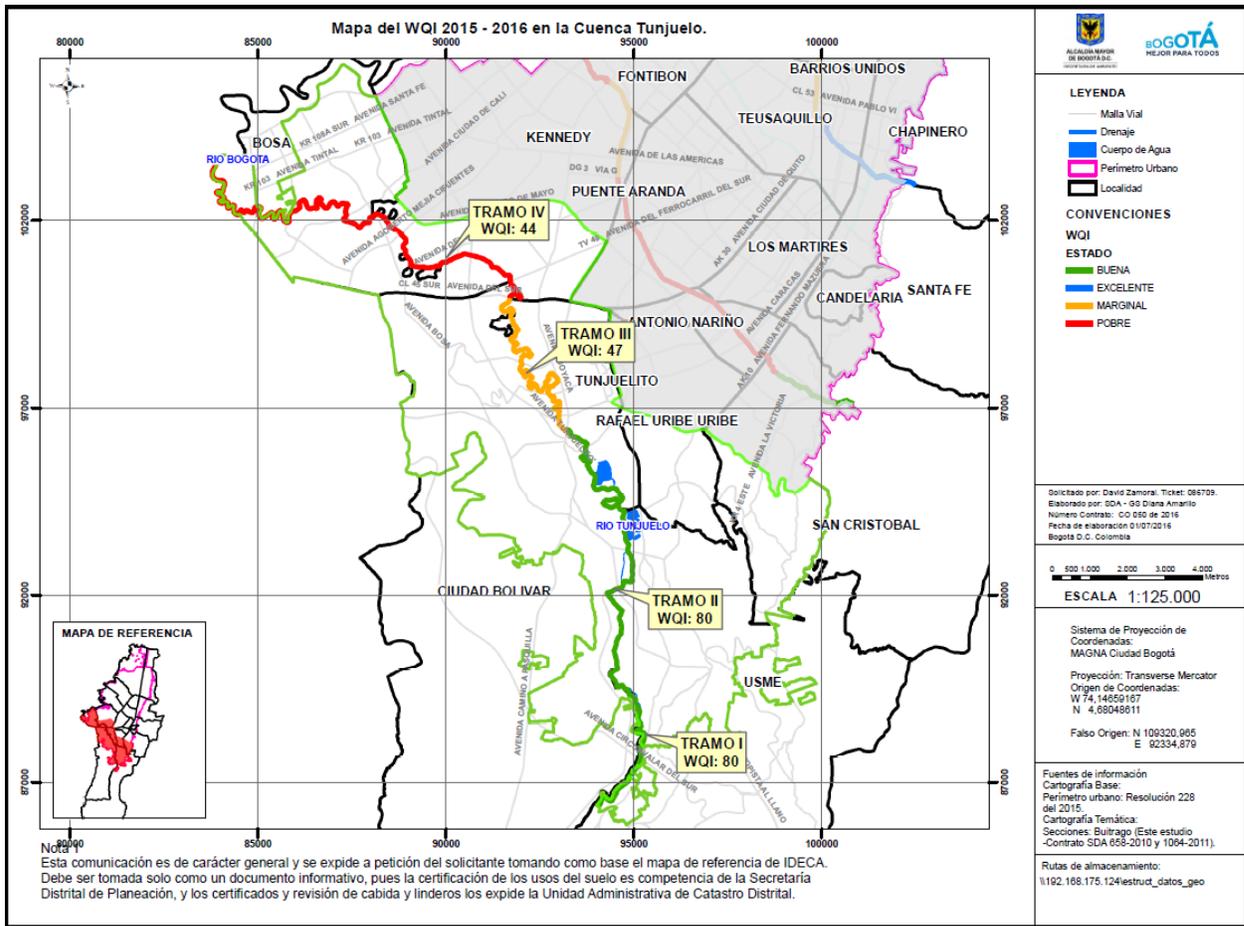


Figura 19. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) en el río Tunjuelo 2015-2016

2.5 EVOLUCIÓN DEL WQI EN EL PERIODO 2014-2016

La Tabla 20 muestra los valores del indicador WQI evaluado para los periodos 2014-2015 y 2015-2016, así como su clasificación para cada uno de los tramos que conforman los ríos de la RHC B (ver Figura 20). A continuación se realiza el análisis de estos resultados para los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo respectivamente.

Torca

El tramo I del río Torca presento una reducción en su calidad, ya que el valor del indicador en el periodo 2014-2015 fue mayor en 6 unidades al valor obtenido en 2015-2015, pero no influyo en la clasificación del indicador que se mantuvo en [Buena]. Por otra parte, la calidad del agua en el tramo II mejoro, ya que incremento la magnitud del indicador en un 9 % en comparación con el valor obtenido en periodo 2014-2015 y con esto cambio su clasificación de [Aceptable] a [Buena].

Salitre

Los tramos I y II presentaron los cambios más significativos tanto en el valor del indicador como en su clasificación, debido a la incremento en el cumplimiento de los objetivos de calidad. Lo anterior se vio reflejado en un aumento del 17 % (tramo I) y 12 % (tramo II) del valor WQI en el periodo 2015-2016, y que a su vez afecto la clasificación, ya que en el tramo I y II cambiaron de [Buena] en el periodo 2014-2015 a [Excelente] en el periodo 2015-2016. Finalmente, los tramos III y IV mantuvieron constante el valor del WQI durante los periodos analizados y por ende la clasificación continua siendo [Buena] y [Marginal] respectivamente.

Fucha

Al igual que en el tramo I del río Torca, en el tramo I del río Fucha se presentó una reducción del valor del WQI, pero no genero cambio en la clasificación del indicador manteniéndola en [Buena]. Por otra parte, los demás tramos presentaron un incremento en el valor del indicador, pero solo ocurrió un cambio de clasificación en el tramo III que paso de [Pobre] a [Marginal] (Tabla 20). Cabe resaltar que los valores y clasificación del WQI se han venido presentado en periodos anteriores a los aquí evaluados, y que están asociados principalmente a la problemática de puntos de vertimiento de aguas residuales que tiene sobre el río la EAB-ESP.

Tunjuelo

Este río fue el que presentó los cambios más significativos en su calidad del agua para el periodo 2015-2016, ya que al comparar los resultados con el periodo 2014-2015 se evidencia un incremento en el cumplimiento de los objetivos de calidad de todos sus tramos. Los cambios más importantes se dieron en el tramo I y II, donde la clasificación del WQI aumento un 14 % y 50 % respectivamente, con respecto al valor obtenido en el periodo 2014-2015. Lo anterior se reflejó en la clasificación, ya que paso de **Aceptable** a **Buena** en el tramo I y de **Pobre** a **Buena** en el tramo II. La calidad del tramo III mejoro en un 30 % en el periodo 2015-2016, lo cual generó que su clasificación fuera catalogada como **Marginal**. La clasificación del WQI en el tramo IV se mantuvo en **Pobre**, pero tuvo un leve incremento de cuatro unidades con respecto al periodo 2014-2015.

Tramo	2014-2015		2015-2016	
	Valor WQI	Clasificación WQI	Valor WQI	Clasificación WQI
Río Torca				
1	94	BUENA	88	BUENA
2	75	ACEPTABLE	82	BUENA
Río Salitre				
1	83	BUENA	100	EXCELENTE
2	88	BUENA	100	EXCELENTE
3	45	MARGINAL	47	MARGINAL
4	37	POBRE	37	POBRE
Río Fucha				
1	94	BUENA	82	BUENA
2	29	POBRE	36	POBRE
3	44	POBRE	59	MARGINAL
4	32	POBRE	44	POBRE
Río Tunjuelo				
1	69	ACEPTABLE	80	BUENA
2	40	POBRE	80	BUENA



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

3	33	POBRE	47	MARGINAL
4	40	POBRE	44	POBRE

Tabla 20. Comparación WQI anual dinámico entre los periodos 2014-2015 y 2015-2016



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

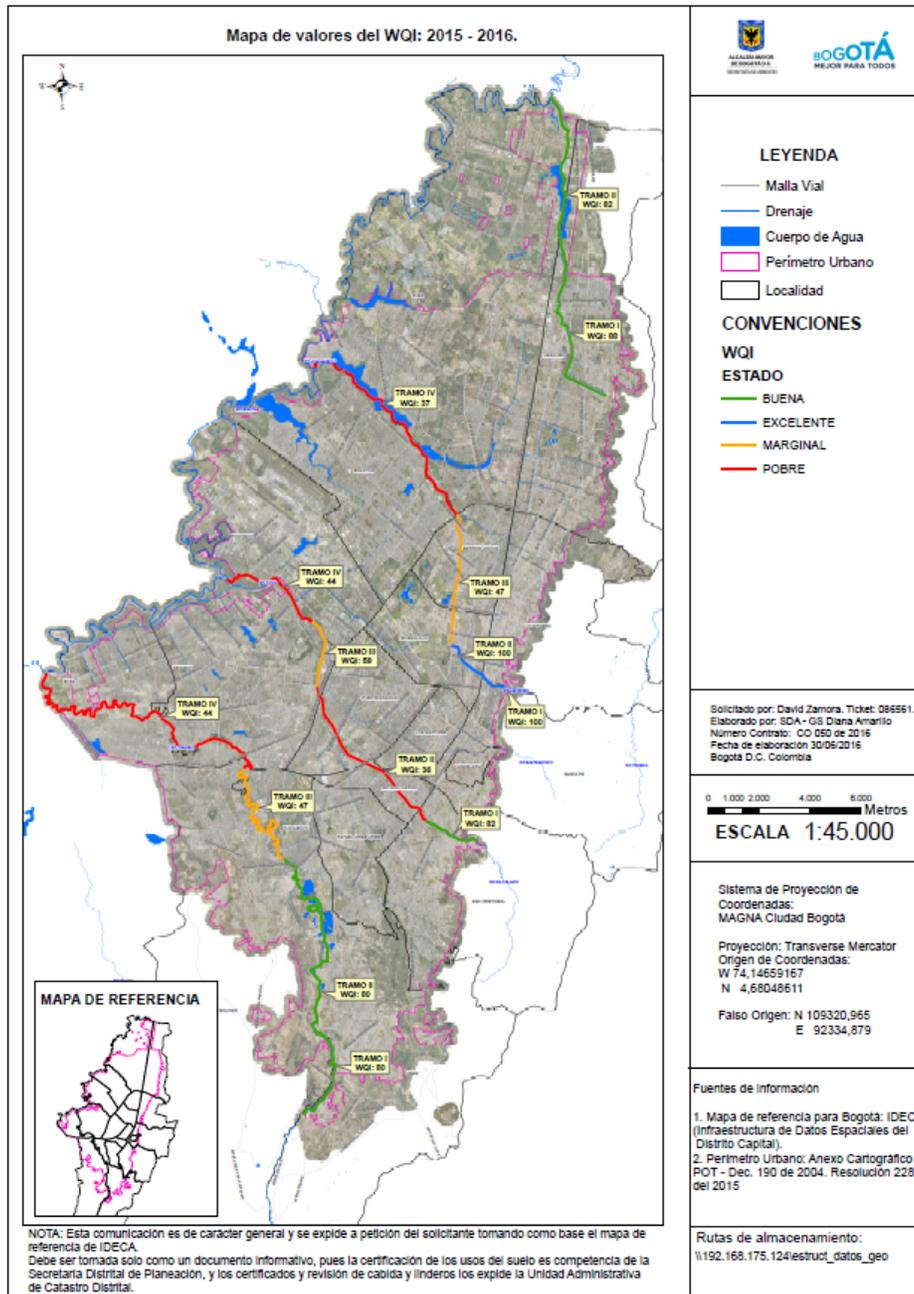


Figura 20. Mapa del índice de calidad hídrica (WQI) de los principales ríos de la Ciudad

Por otra parte, es importante determinar la longitud del territorio de los ríos se presentan condiciones iguales o superiores a un estado Aceptable [65-79] según la evolución del WQI en los ríos de la RCHB. Además, dentro de las metas del Plan de Desarrollo se establece que 20 km de los ríos urbanos de la RCHB deben presentar un índice de calidad hídrica (WQI) Aceptable o superior para 2012.

En la Figura 21 y Tabla 21 se presenta la evolución temporal de la cantidad de longitud de los ríos clasificada según la categoría de su índice de calidad hídrica. Al comparar los periodos evaluados es evidente que desde el 2012 al segundo semestre del 2015 se ha venido consolidando y manteniendo la calidad del agua en mayoría de tramos de la RCHB. Además, se desde el periodo 2012-2013 la cantidad de kilómetros río con WQI con valores superiores o iguales a 65 unidades han sido superiores con respecto a la línea base (2011-2012: 10.7 km), y que en general la calidad del agua ha tendido a mejorar.

Por otra parte, la longitud de los ríos que para el periodo 2015-2016 con una clasificación del WQI [Pobre] fue inferior al periodo anterior, pero con respecto a los históricos se evidencia un comportamiento similar, el cual se ha venido presentado en los tramos III y IV de los ríos donde las descargas de puntos de vertimientos de agua residual es alta.

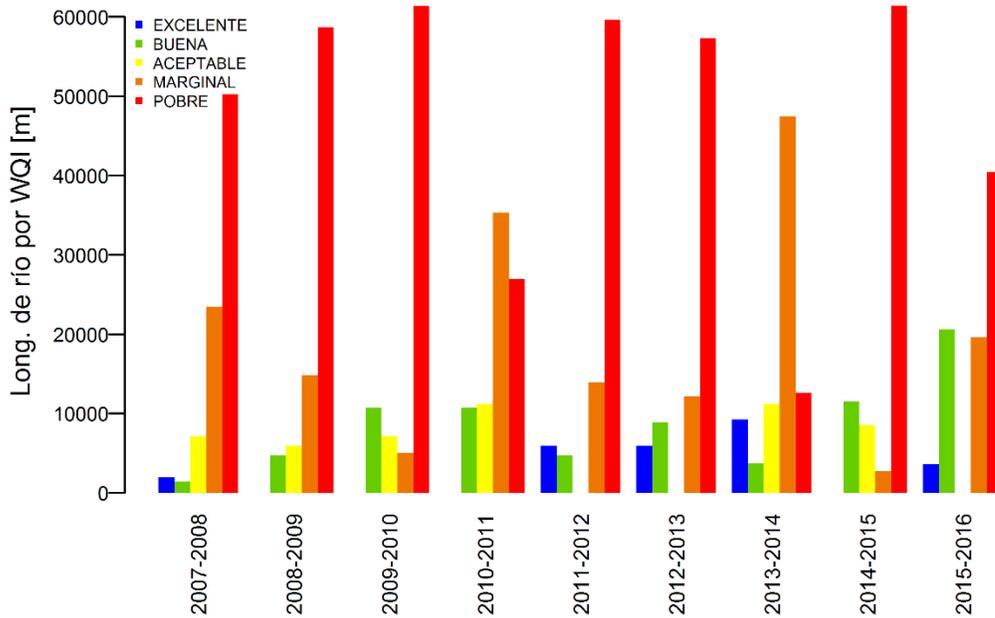


Figura 21. Evolución temporal del Indicador de Ciudad: kilómetros de río con WQI \geq 65 unidades [Aceptable]

Índice de calidad	Long. de los ríos [m] clasificada por WQI				
	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
EXCELENTE	5956	5956	9244.8	0	3618.4
BUENA	4747.4	8846.1	3764.7	11550.9	20595.5
ACEPTABLE	0	0	11204.4	8564.3	0
MARGINAL	13942	12149.4	47438.4	2698.5	19594
POBRE	59595.4	57289.3	12588.5	61427.1	40432.9

Tabla 21. Longitud de los ríos de la RCHB clasificadas por WQI desde 2011 a 2015

Con respecto a la meta de 20 km de río urbanos con índice de calidad hídrica WQI: 65 a 79 (Tabla 22), se evidencia el cumplimiento para el periodo evaluado, pero una leve incremento del 17 % con respecto al periodo 2014-2015. No obstante, si se compara contra el valor de la meta obtenido en el periodo 2011-2012 se puede determinar que en



los últimos cuatro años calidad del recurso hídrico de la Ciudad ha tendido a mejorar en un 61 %, tal como lo evidencia el incremento en los kilómetros con clasificación igual o superior [Aceptable].

META PLAN DE DESARROLLO	INDICADOR	MAGNITUD 2012-2016	SEGUIMIENTO				
			2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
20 km. de río urbanos con índice de calidad hídrica WQI: 65 a 79	Número de km. de ríos urbanos con índice de calidad hídrica aceptable	20 km	10,70 km	14,80 km	24,21 km	20.12 km	24.21 km

Tabla 22. Resultados del indicador PDD 2012-2016

3 REFERENCIAS

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.

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.

Iglewicz B., and Hoaglin D. (1993). How to detect and handle outliers. ASQC Quality Press.

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.



Randy Filadelfo Velasquez Olaya
SUBDIRECCIÓN DE RECURSO HIDRICO Y DEL SUELO

Anexos: Base de datos RCHB 2015-2016.xlsx

Elaboró:

DAVID ANDRES ZAMORA AVILA	C.C: 80796861	T.P: N/A	CPS: CONTRATO 932 DE 2016	FECHA EJECUCION:	16/08/2016
---------------------------	---------------	----------	---------------------------	------------------	------------

Revisó:

PEDRO NEL GAMBA GARCIA	C.C: 79515799	T.P: N/A	CPS: CONTRATO 750 DE 2016	FECHA EJECUCION:	17/08/2016
------------------------	---------------	----------	---------------------------	------------------	------------

Aprobó:

Firmó:



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

RANDY FILADELFO VELASQUEZ
OLAYA

C.C:

80013179

T.P:

N/A

CPS: FUNCIONARIO

FECHA
EJECUCION:

05/09/2016

Página 63 de 63

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

**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**