

SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe Tecnico No. 05956, 17 de diciembre del 2021

INFORME TÉCNICO

OBJETIVOS DE CALIDAD PARA LOS TRAMOS DE LOS RÍOS TUNJUELO, FUCHA, SALITRE Y TORCA



Universidad Antonio Nariño (UAN), río Tunjuelo

2021

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

Página 1 de 99

INFORME TÉCNICO:

**OBJETIVOS DE CALIDAD PARA LOS TRAMOS DE LOS RÍOS TUNJUELO, FUCHA,
SALITRE Y TORCA**

ELABORÓ:

LIZBETH AMAYA HERNÁNDEZ
Profesional Técnico de Apoyo

DAVID SANTIAGO PERDOMO
Profesional Técnico de Apoyo

DAVID 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 99

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1 OBJETIVOS	13
2 OBJETIVOS DE CALIDAD DEL CALIDAD AGUA EN LA RCHB	14
2.1 RESOLUCIÓN 5731 DE 2008	14
2.2 RESOLUCIÓN 3162 DE 2015	17
3 MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 MONITOREOS DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN LOS PUNTOS DE LA RCHB	21
3.2 METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE LA CALIDAD DEL AGUA	26
3.3 EVALUACIÓN DE TENDENCIAS EN LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA	27
3.3.1 PRUEBA DE MANN KENDALL	27
3.3.2 PRUEBA DE SEN SLOPE	28
4 RESULTADOS	33
4.1 RÍO TUNJUELO	34
4.1.1 CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN EL RÍO TUNJUELO	34
4.1.2 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO TUNJUELO	44
4.2 RÍO TORCA	52
4.2.1 CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN EL RÍO TORCA	52
4.2.2 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO TORCA	56

4.3	RÍO FUCHA	61
4.3.1	CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN EL RÍO FUCHA	61
4.3.2	EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO FUCHA	69
4.4	RÍO SALITRE	75
4.4.1	CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN EL RÍO SALITRE	75
4.4.2	EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SALITRE	84
5	OBJETIVOS DE CALIDAD	91
6	CONCLUSIONES	94
	REFERENCIAS	97
	ANEXOS	98

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
SRHS	Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo
RCHB-T	Red de Calidad Hídrica de Bogotá Tradicional
WQI	Índice de Calidad del Agua – WQI (por sus iniciales en inglés Water Quality Index)
DBO ₅	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
OD	Oxígeno disuelto
SAAM	Sustancias activas al azul de metileno
OC	Objetivos de Calidad
GyA	Aceites y grasas
NTotal	Nitrógeno total
PTotal	Fósforo total
OECD	Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo
CF	Coliformes Fecales
EAAB	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica de los puntos de monitoreo - RCHB	23
Figura 2. Ejemplo de la representación gráfica de la tendencia en las series de tiempo de los diez determinantes de calidad del agua – Punto de monitoreo Transversal 86, río Tunjuelo	30
Figura 3. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Tunjuelo Tramo I	36
Figura 4. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Tunjuelo Tramo II	38
Figura 5. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Tunjuelo Tramo III	40
Figura 6. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Tunjuelo Tramo IV	43
Figura 7. Series de tiempo de los diez determinantes de la calidad del agua, sus respectivas líneas de tendencia (color negro) y valor del objetivo de calidad conforme la Res. 3162 de 2015 - Punto de monitoreo Barrio México, río Tunjuelo – Eje vertical en escala \log_{10}	45
Figura 8. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Torca Tramo I	53
Figura 9. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Torca Tramo II	55
Figura 10. Series de tiempo de los diez determinantes de la calidad del agua, sus respectivas líneas de tendencia (color negro) y valor del objetivo de calidad conforme la Res. 3162 de 2015 –Punto de monitoreo Jardines de Paz, río Torca – Eje vertical en escala \log_{10}	57
Figura 11. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Fucha Tramo I	62
Figura 12. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Fucha Tramo II	64
Figura 13. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Fucha Tramo III	66
Figura 14. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Fucha Tramo IV	68

Figura 15. Series de tiempo de los diez determinantes de la calidad del agua, sus respectivas líneas de tendencia (color negro) y valor del objetivo de calidad conforme la Res. 3162 de 2015 – Punto de monitoreo Av. Ferrocarril, río Fucha – Eje vertical en escala \log_{10}	70
Figura 16. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Salitre Tramo I	77
Figura 17. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Salitre Tramo II	79
Figura 18. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - río Salitre Tramo III	81
Figura 19. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - río Salitre Tramo IV	83
Figura 20. Series de tiempo de los diez determinantes de la calidad del agua, sus respectivas líneas de tendencia (color negro) y valor del objetivo de calidad conforme la Res. 3162 de 2015 – Punto de monitoreo Carrefour, río Salitre - Eje vertical en escala \log_{10}	85

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Objetivos de calidad del agua a cuatro (4) años para los tramos de los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo (Resolución 5731 de 2008).....	17
Tabla 2. Objetivos de calidad del agua a 2020 los tramos de los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo (Resolución 3162 de 2015)	20
Tabla 3. Distribución y nombre de los puntos de monitoreo de la RCHB-T.....	22
Tabla 4. Límites geográficos de los tramos de los principales ríos de Bogotá (Resolución 5731 de 2008).....	24
Tabla 5. Clasificación de los determinantes de la calidad del agua medidos <i>in situ</i> y en laboratorio.....	25
Tabla 6. Cantidad de muestras para cada periodo de análisis.....	26
Tabla 7. Ejemplo de los resultados de las pruebas Sen Slope y Mann-Kendall por punto de monitoreo, y las medianas de las diferencias de los registros (por tramo) de los diez determinantes frente a sus objetivos de calidad (Resolución 3162 de 2015) para los periodos 2014-2017 y 2018-2020, y porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad para periodo 2018-2020.....	32
Tabla 8. Comparación entre los valores de los objetivos de calidad del agua en los determinantes de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para los tramos de los principales ríos de la Ciudad.....	33
Tabla 9. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo I del río Tunjuelo	37
Tabla 10. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para tramo II del río Tunjuelo.....	39
Tabla 11. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo III del río Tunjuelo	41
Tabla 12. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo IV del río Tunjuelo.....	44
Tabla 13. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo I del río Tunjuelo	46
Tabla 14. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Tunjuelo	48

Página 8 de 99

Tabla 15. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo III del río Tunjuelo	50
Tabla 16. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo IV del río Tunjuelo	51
Tabla 17. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo I del río Torca	54
Tabla 18. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo II del río Torca	56
Tabla 19. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo I del río Torca	58
Tabla 20. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Torca	60
Tabla 21. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo I del río Fucha.....	63
Tabla 22. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo II del río Fucha.....	65
Tabla 23. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo III del río Fucha.....	67
Tabla 24. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo IV del río Fucha	69
Tabla 25. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo I del río Fucha	71
Tabla 26. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Fucha	72
Tabla 27. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo III del río Fucha	74

Tabla 28. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo IV del río Fucha.....	75
Tabla 29. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo I del río Salitre	78
Tabla 30. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo II del río Salitre	80
Tabla 31. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo III del río Salitre	82
Tabla 32. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo IV del río Salitre.....	84
Tabla 33. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo I del río Salitre	86
Tabla 34. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Salitre	88
Tabla 35. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, mediana diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo III del río Salitre	89
Tabla 36. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo IV del río Salitre	90
Tabla 37. Objetivos calidad del agua para los tramos que conforman los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca desde el año 2021.....	93

INTRODUCCIÓN

El sistema hidrográfico de Bogotá está conformado por las cuencas de los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca, las cuales drenan el agua de más del 90 % del área urbanizada del Distrito Capital y por lo tanto se ven afectadas por la presión que sobre ellas se ha ejercido, pues durante décadas han recibido las descargas de las aguas residuales de quienes habitan el Distrito Capital, convirtiéndose en cuerpos hídricos cuya función se ha visto limitada a la recepción y transporte de las aguas residuales.

De acuerdo con lo estipulado mediante el artículo 20 del Decreto 109 de 2009 (Modificado por el artículo 6, Decreto Distrital 175 de 2009), la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo - SRHS, de la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA, tiene por objeto adelantar los procesos técnico-jurídicos necesarios para el cumplimiento de las regulaciones y controles ambientales al recurso hídrico. Por lo tanto y con el fin de conocer el estado y la dinámica en la calidad del recurso hídrico superficial de la ciudad, la SDA opera la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB), la cual comprende una serie de puntos de monitoreo distribuidos en los ríos principales de la Ciudad así: cuatro (4) en el río Torca, seis (6) en el río Salitre, ocho (8) en el río Fucha y diez (10) en el río Tunjuelo. La operación de la RCHB permite capturar datos fisicoquímicos y microbiológicos de dichos cuerpos de agua, información base que describe la dinámica de la calidad del agua a través de los años.

Como parte de los instrumentos para evaluar y controlar el estado del recurso hídrico de la Ciudad, la SDA evalúa el cumplimiento de los objetivos de calidad definidos en la Resolución 3162 de 2015 que aplicaba para el periodo 2018-2020. De esta manera, el presente documento define los objetivos de calidad del agua para los tramos de los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca, que serán vigentes desde el año 2021 y que se determinan a partir de un análisis con enfoque estadístico y considerando no sólo la viabilidad técnica y operativa de su cumplimiento, sino

Página 11 de 99

además las obras de saneamiento y eliminación de cargas contaminantes vertidas¹. Para este fin se evaluó la calidad del agua con base en los registros existentes desde el año 2009 al 2020 por medio de dos criterios: (i) comparación del cumplimiento de los objetivos de calidad entre las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015, y (ii) evolución de la calidad del agua por medio de análisis de tendencia. Los resultados fueron acogidos por medio de gráficas y tablas que permitieran sintetizar los hallazgos en cada uno de los tramos objeto de análisis.

¹ 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 OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer los objetivos de calidad del agua para los tramos de los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y Torca del Distrito Capital.

Objetivos específicos

- Evaluar el cumplimiento de los objetivos de calidad de agua en los principales ríos de Bogotá conforme a lo establecido en las Resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015.
- Estimar la tendencia y su magnitud en las concentraciones de los diez de determinantes de la calidad del agua (Resolución 3162 de 2015) que han sido caracterizados en los puntos de monitoreo que conforman los tramos de los principales ríos de la Ciudad.
- Definir objetivos de calidad del agua en los tramos de los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y Torca de acuerdo con la información existente y los resultados de los análisis de cumplimiento y tendencia para el periodo 2009 - 2020.

2 OBJETIVOS DE CALIDAD DEL CALIDAD AGUA EN LA RCHB

En este capítulo se presenta una descripción histórica de los ejercicios de evaluación y modelación de calidad del agua de los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca para definir objetivos de calidad cuantitativos que permitan medir su estado en tiempo.

2.1 RESOLUCIÓN 5731 DE 2008

En el año 2008, a partir de la experiencia internacional y el estado de los principales ríos en Bogotá, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) mediante el convenio 045 de 2007 con la Universidad de los Andes propuso establecer los objetivos de calidad para los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y Torca, esto con el fin de recuperar los ríos hasta que su uso sea el de preservación de flora y fauna, estableciendo así los objetivos de calidad en dos periodos de tiempo: el primero en cuatro (4) años y el segundo en diez (10) años (UniAndes, 2007).

Para la determinación de los objetivos de calidad (2008) de los ríos en Bogotá se utilizó la siguiente información:

- Modelo de calidad del agua en la aplicación QUAL2K para cada río [excepto Torca]
- Datos de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá
- Objetivos de calidad de las siguientes entidades: Australia, FAO, Francia, OECD, OMS y EUA.

El modelo Qual2Kw requiere información hidráulica e información de algunos de los determinantes de calidad medidos en campo y analizados en laboratorio, tales como: Oxígeno Disuelto [OD], Materia Orgánica: Carbono de degradación rápida [DBO₅], Carbono de degradación lenta, Detritus, Sólidos suspendidos inorgánicos; Nutrientes: NTK, Nitrógeno orgánico, Amonio, Nitritos, Nitratos, Fósforo Total, Fósforo Orgánico, Fósforo Inorgánico, pH, Temperatura, Conductividad. Es importante señalar que el procedimiento de cálculo desarrollado por el modelo Qual2Kw básicamente consiste en la división del tramo principal en subtramos o en elementos

computacionales para los cuales se realiza un balance de caudal de entrada y salida, estimando, además, la velocidad media y profundidad en cada elemento, estas estimaciones son de utilidad para resolver de forma secuencial el modelo de transporte ADE en cada celda, utilizando un modelo de celdas finitas implícitas (UniAndes, 2009).

Para efectuar la modelación de la calidad del agua se empleó la siguiente metodología:

1. Cada corriente principal fue modelada con las correspondientes fuentes puntuales y distribuidas.
2. Las características geográficas de cada cuenca y corriente, coordenadas, altitud, longitud y abscisas, fueron estimadas a partir de la información de coberturas de curvas de nivel.
3. Cada cuenta fue dividida en dos tramos, en los cuales se realizaron campañas de monitoreo siguiendo la masa de agua.
4. Modelación de escenarios de saneamiento para cada río, tales como:

Escenario 1: estado actual de los ríos

Escenario 2: eliminación de los puntos de vertimientos según el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de 2006

Escenario 3: eliminación de todos los diferentes vertimientos

Objetivos de calidad – 4 años

El propósito de establecer objetivos de calidad a cuarto (4) años es el de evitar la contaminación en los tramos de los ríos donde existe una buena calidad del agua y el de mejorar moderadamente la calidad del agua de los demás tramos en este periodo de tiempo. En general, para los tramos de los ríos el objetivo es establecer criterios de calidad de acuerdo con las obras de saneamiento

previstas por la EAAB en la Ciudad y algunas otras que sean requeridas para subir el estándar de calidad en cada uno de los tramos.

La metodología utilizada para establecer los objetivos a cuatro (4) años, fue realizar una comparación y análisis de los registros históricos y los resultados de la modelación de los escenarios 2 y 3, donde se modeló la calidad del agua una vez realizadas las obras del PSMV e incorporando otras actividades de saneamiento (UniAndes, 2007).

La información utilizada para llevar a cabo la metodología planteada se obtuvo a partir de:

- Registros históricos de todas las estaciones de la RCHB en los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo
- Modelación en QUAL2K de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo
- Recomendaciones de la FAO para uso agrícola
- Decreto 1594 de 1984 – uso agrícola
- Concentraciones de la OECD – Clase IV

Inicialmente, se realizó un análisis del estado actual de los ríos con los resultados de la modelación (Escenario 1) y los valores históricos de la RCHB. Se encontró que la calidad del agua varía en función de los ríos y los tramos: en los tramos altos la calidad es mucho mejor que en los tramos finales. Por esta razón se establecieron objetivos de calidad por río y por tramo.

Con base en lo anteriormente descrito y un análisis de los escenarios de saneamiento evaluados en el ejercicio de modelación, se determinaron los valores de las concentraciones para los siguientes determinantes de calidad del agua: Oxígeno disuelto, pH, DBO₅, DQO, Coliformes fecales, Grasas y aceites, SST, SAAM (Surfactantes), Nitrógeno y Fósforo totales, los cuales fueron establecidos mediante la Resolución 5731 de 2008 a cuatro y diez años.

En la **Tabla 1** se presentan los objetivos de calidad a cuatro años para los tramos que conforman los principales ríos de la Ciudad.

Tabla 1. Objetivos de calidad del agua a cuatro (4) años para los tramos de los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo (Resolución 5731 de 2008)

DETERMINANTE	UNIDAD	CANAL TORCA		RÍO SALITRE				RÍO FUCHA				RÍO TUNJUELO			
		T1	T2	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
pH- Mínimo	Unidad	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
pH- Máximo	Unidad	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
OD	mg/L	3	0.5	7	2	0.5	0.5	7	4	0.2	0.2	7	2	1	0.5
DBO ₅	mg/L	15	150	5	80	150	150	5	50	250	250	5	100	100	250
DQO	mg/L	50	300	35	200	350	350	35	150	400	400	35	200	200	500
SST	mg/L	20	150	10	80	150	150	10	30	150	200	10	120	150	300
GyA	mg/L	20	30	10	20	30	30	10	25	40	60	20	20	20	50
SAAM	mg/L	1	4	1	3	3	3	0.5	3	4	4	0.5	3	3	3
PTotal	mg/L	1	6	1	6	6	6	0.1	3	8	8	0.2	3	5	6
CF	NMP/100 mL	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06
NTotal	mg/L	5	40	5	20	40	40	3	20	40	40	3	20	20	50

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

2.2 RESOLUCIÓN 3162 DE 2015

Con la finalidad de establecer los objetivos de calidad al año 2020, la Universidad de los Andes, tuvo en cuenta la rigurosidad técnica con la cual fueron calculados los objetivos de calidad para los principales ríos de Bogotá en el marco del Convenio No. 1520/2014, así como los criterios de saneamiento progresivo, el nivel de cumplimiento y el interés de la SDA en mantener un programa coherente de recuperación de los cuerpos de agua superficial de la ciudad.

Para establecer los objetivos de calidad al año 2020 se empleó el modelo dinámico QUASAR extendido (Lees et al., 1998), el cual incluye, por una parte, la integración del modelo hidrológico de tránsito de caudales multilínea discreto de retraso y cascada y el modelo extendido de calidad del agua en ríos. El modelo ha sido extendido para modelar determinantes biológicos, bacteriológicos y físico-químicos adicionales a los del modelo original. Para cada subtramo de canal se realiza el balance de masa de cada determinante de calidad del agua. Se utiliza por lo tanto la representación de un reactor incompletamente mezclado para modelar tanto los procesos de transporte, advección y dispersión, como los procesos físicos, químicos y biológicos de transformación de cada determinante.

Entre las determinantes de calidad evaluadas se encuentran las fisicoquímicas que incluyen temperatura, conductividad, sólidos suspendidos totales, demanda biológica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo soluble reactivo, fósforo particulado, y oxígeno disuelto. Como determinante bacteriológico se modela el indicador de Coliformes Totales. En la última versión se considera la inclusión del pH, alcalinidad, demanda béntica y se consideran condiciones anaerobias.

La implementación del modelo QUASAR-extendido para la simulación de escenarios, se realiza una vez que el modelo QUASAR-extendido ha sido calibrado de manera indirecta utilizando el modelo QUAL2Kw (Pelletier et al., 2006), permitiendo su uso para la simulación de escenarios de saneamiento. Con el modelo implementado fueron generados los escenarios de condiciones actuales, escenarios de condiciones ideales o meta, escenarios de PSMV vigente y propuesto por la SDA y escenarios propuestos por la EAAB.

Una vez se contó con un modelo hidráulico verificado, se procedió a la generación del modelo de calidad, el cual fue calibrado con datos de campo y de laboratorio de jornadas de seguimiento de

masa, las cuales permiten establecer el cambio en la calidad del agua en el río en su tránsito por la ciudad, recibiendo descargas puntuales. Este procedimiento se llevó a cabo para cada tramo de cada río.

A partir de este punto se realizó la integración de parámetros del modelo de los tramos constituyentes de cada río, de esta forma obtener un conjunto de estos que reflejarán de forma integral el comportamiento de los parámetros que son indicadores de calidad del río.

En este punto se contrastó el comportamiento que predice el modelo, frente a los datos históricos de calidad del río, en forma tal que se pudo constatar el grado de calibración de los cuatro modelos, el cual arrojó niveles de correlación estadística buenos para modelos de calidad de agua en ríos.

En síntesis los modelos fueron utilizados bajo las siguientes consideraciones:

- Para cada día de muestreo se realizó una modelación independiente en la que el último punto de cada día debía ser el mismo del siguiente día.
- Cada modelo independiente se calibró y el balance de masa (caudal y conductividad) debía ser coherente.
- Para cada modelo se obtuvieron las diferentes tasas (tasas de los diferentes ciclos: carbono, nitrógeno, fósforo; decaimiento de patógenos y sólidos) con un R^2 muy cercano a 1. A partir del criterio del modelador se escogieron las más apropiadas para cada modelo.
- Se implementó un modelo general para cada río a partir de los modelos independientes y las tasas de cada uno sirvió como insumo para el modelo general.
- Para cada uno de los tramos de cada río se corrió el escenario tomando desde el primer punto del tramo hasta el último punto de este.

- Para los primeros puntos de la RCHB en cada uno de los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo se tomó el caudal medio.
- Para calcular las cargas y caudales de los vertimientos directos que no fueron monitoreados se tomaron los factores multiplicadores de los vertimientos monitoreados que tuvieran condiciones similares en caudal y carga (Uniandes, 2015).

En la **Tabla 2** se presentan los objetivos de calidad a cuatro años para los tramos que conforman los principales ríos de la Ciudad.

Tabla 2. Objetivos de calidad del agua a 2020 los tramos de los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo (Resolución 3162 de 2015)

DETERMINANTE	UNIDAD	TORCA		RÍO SALITRE				RÍO FUCHA				RÍO TUNJUELO			
		T1	T2	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
pH- Mínimo	Unidad	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
pH- Máximo	Unidad	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
OD	mg/L	8	1	7	7	1	0,3	7	5	4	1	7	5	2	0,1
DBO ₅	mg/L	5	80	3	3	60	100	5	20	20	20	5	20	30	20
DQO	mg/L	20	200	10	10	120	160	25	40	40	40	10	30	50	50
SST	mg/L	10	50	10	25	60	100	10	15	50	50	10	120	140	60
GyA	mg/L	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
SAAM	mg/L	0.5	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1
PTotal	mg/L	1	5	0.4	0.4	4	5	0.1	1	1	1	0.4	1	3	3
CF**	NMP/10 OmL	1.0E+ 04	1.0E+ 05	1.0E+ 04	1.0E+ 05	1.0E+ 05	1.0E+ 05	1.0E+ 02	1.0E+ 05	1.0E+ 05	1.0E+ 05	1.0E+ 02	1.0E+ 05	1.0E+ 05	1.0E+ 05
NTotal	mg/L	1.5	8	1.5	1,5	30	40	1,5	10	10	10	3	10	10	10

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

**El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales por tramo corresponde a los valores definidos en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años, ya que las unidades de medida de los valores de la Resolución 3162 de 2015 difieren (es decir, Unidades de Formadores de Colonias (UFC/100 mL) de las unidades que históricamente se han obtenido en la RCHB para el determinante (es decir, Número Más Probable (NMP/100 mL)). Condición consecuente con las unidades utilizadas para realizar el seguimiento a la gestión integral del recurso hídrico en Colombia.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Para los cálculos y análisis realizados en el presente informe técnico, se emplea la información obtenida por la Secretaría Distrital de Ambiente de la operación de la RCHB-T donde periódicamente se realizan monitoreos de la cantidad y calidad del recurso hídrico en los principales ríos del Distrito Capital (Tunjuelo, Torca, Fucha y Salitre). Los resultados obtenidos permiten cualificar y cuantificar la calidad del agua como insumo fundamental para gestión del recurso hídrico de la Ciudad.

A continuación, se realiza una breve descripción de las generalidades del monitoreo en los puntos que conforman la RCHB.

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

3.1.1 RCHB TRADICIONAL

Los monitoreos de la RCHB-T está conformada por 30 puntos y están distribuidos de la siguiente manera: cuatro (4) río Torca, seis (6) río Salitre, ocho (8) río Fucha, diez (10) río Tunjuelo y dos (2) río Bogotá. Los puntos de monitoreo se enlistan en la **Tabla 3** y su localización espacial se puede observar en la **Figura 1**.

Tabla 3. Distribución y nombre de los puntos de monitoreo de la RCHB-T

CUENCA	ESTACIÓN	CUENCA	ESTACIÓN
Río Tunjuelo (10 puntos)	TU-Regader	Río Salitre (6 puntos)	SA-ParqNal
	TU-UAN		SA-Arzobis
	TU-Yomasa		SA-CL53
	TU-DJuana		SA-Carrefo
	TU-México		SA-Tv91
	TU-SBenito		SA-Alameda
	TU-MakroS	Río Fucha (8 puntos)	FU-Delirio
	TU-Tv86		FU-KR7
	TU-PtelInde		FU-Ferroca
	TU-IslaPon		FU-América
Río Torca (4 puntos)	TO-BosqueP		FU-Boyacá
	TO-CL161		FU-VisiónC
	TO-Jardpaz		FU-ZFranca
	TO-Ssimón		FU-Alameda
Río Bogotá (2 puntos)	BO-Común		
	BO-Cierre		

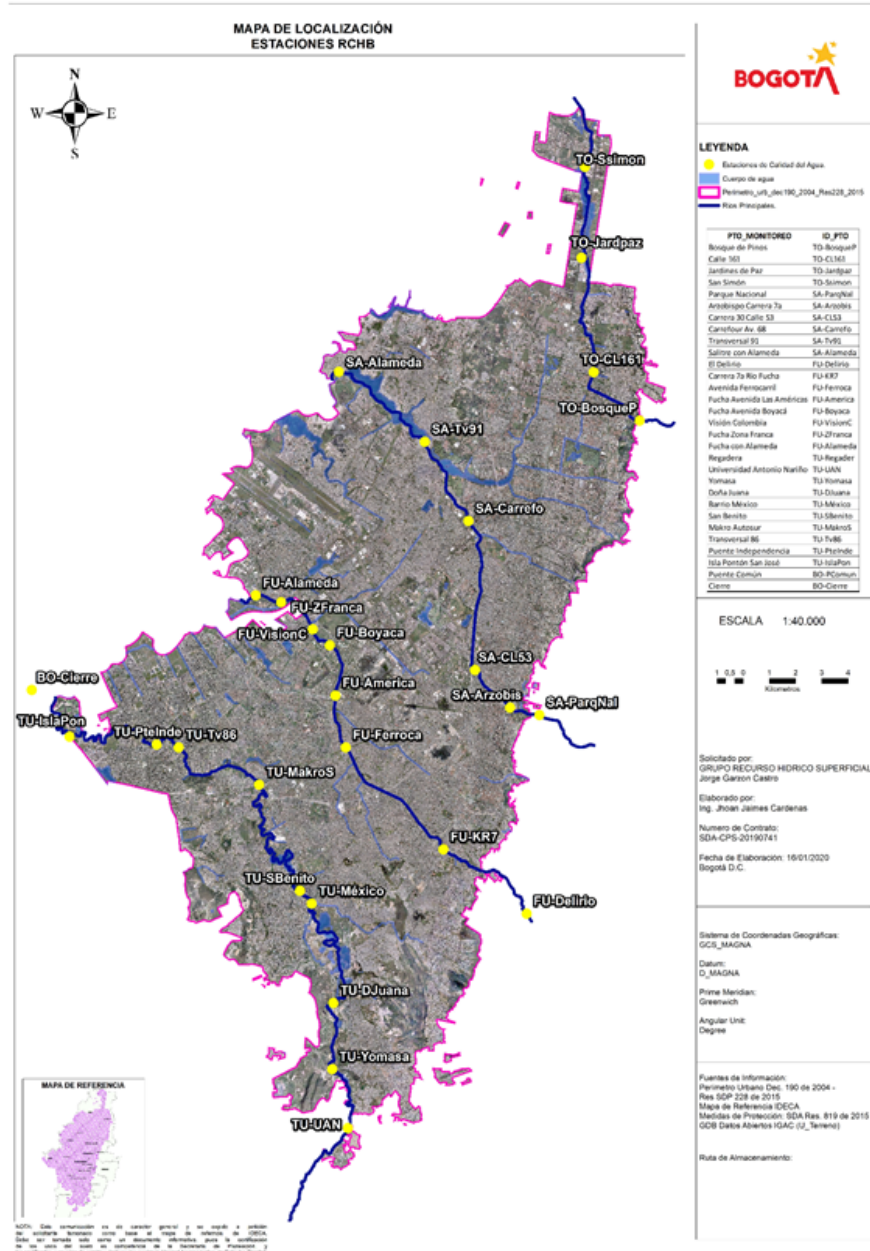


Figura 1. Localización geográfica de los puntos de monitoreo - RCHB

En adición a lo anterior, es importante mencionar que cada río tiene una división en tramos que fue establecida en el artículo 2 de la Resolución 5731 de 2008 como se presenta en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Límites geográficos de los tramos de los principales ríos de Bogotá (Resolución 5731 de 2008)

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-México TU-SBenito TU-MakroS	Avenida Boyacá	Autopista Sur

RÍO	TRAMO	PUNTOS DE MONITOREO	LÍMITES	
			DESDE	HASTA
	4	TU-MakroS TU-Tv86 TU-Ptelnde TU-IslaPon	Autopista Sur	Desembocadura Río Tunjuelo

La toma de muestras en cada uno de los puntos de monitoreo se realiza de forma compuesta durante dos horas con alícuotas cada media hora. Para cada alícuota se realiza el aforo de caudal y la medición de parámetros *in situ*. Los monitoreos para cada estación de la red se efectúan de forma metodológica de tal forma que se cubra cada estación en diferentes días y horas, los monitoreos se ejecutan en ventanas temporales de dos horas con alícuotas cada 30 minutos, en horarios comprendidos entre las 06:00 y las 18:00 horas, con base en los resultados de los monitoreos se desarrollan los cálculos y análisis del presente informe. Los determinantes evaluados tanto *in situ* como en laboratorio se presentan en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Clasificación de los determinantes de la calidad del agua medidos *in situ* y en laboratorio

MONITOREO	DETERMINANTE
<i>In situ</i>	pH, Conductividad, Temperatura, Oxígeno Disuelto y medición de caudal
Laboratorio	Coliformes Totales, Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), Nitritos, Nitratos, Grasas y Aceites, Coliformes Fecales, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo Total, Sólidos Suspendedos Totales (SST), Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).

Teniendo en cuenta que la SDA no cuenta con la infraestructura ni logística para ejecutar la toma de muestras y análisis de laboratorio de las muestras obtenidas en la RCHB, la ejecución de los monitoreos, análisis de laboratorio y reporte de resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del recurso hídrico se realiza mediante laboratorios ambientales acreditados ante el IDEAM, asegurando así la calidad, confiabilidad y trazabilidad de los datos.

Los análisis desarrollados en los numerales 4.1.1, 4.2.1, 4.3.1 y 4.4.1 del presente documento, se desarrollaron para los años 2009 a 2020 (ver Anexo B), teniendo en cuenta tres periodos 2009-2012, 2013-2017 y 2018-2020. La cantidad de muestras existentes en cada periodo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Cantidad de muestras para cada periodo de análisis

PERIODO	Número de muestras
2009-2012	1.383
2013-2017	1.086
2018-2020	672
TOTAL	3.141

3.2 METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

A lo largo de los años los monitoreos han permitido caracterizar la calidad del agua y determinar su estado frente a los factores que impactan el recurso hídrico de la Ciudad. De esta manera, se evalúa el porcentaje de cumplimiento de los diez determinantes respecto a los objetivos de calidad del agua establecidos en las Resoluciones 5731/08 y 3162/15.

En lo que respecta al porcentaje de cumplimiento, los datos obtenidos de la RCHB-T, específicamente para los determinantes de calidad del agua: OD, DBO₅, DQO, NTotal, PTotal, SST, GyA, Coliformes Fecales, pH y SAAM, son evaluados frente al objetivo de calidad establecido en las resoluciones antes mencionadas teniendo en cuenta el tramo al que pertenecen. La información es consolidada según los periodos establecidos (**Tabla 6**) y se calculan los porcentajes de cumplimiento para cada determinante. Los resultados obtenidos se consolidaron mediante

una gráfica tipo piramidal con la cual se representa la variación del porcentaje de cumplimiento entre las dos normas evaluadas, lo anterior se realizó por cada determinante y en cada periodo.

3.3 EVALUACIÓN DE TENDENCIAS EN LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA

A pesar de evidenciar el cumplimiento o no de los objetivos de calidad del agua en cada uno de los tramos de los ríos aquí evaluados y en los periodos definidos, es necesario establecer si existe una tendencia significativa de incremento o reducción de las concentraciones en los diez determinantes evaluados, con definir la necesidad de mantener o modificar los objetivos vigentes de la Resolución 3162 de 2015. Al respecto, existen diferentes pruebas estadísticas que permiten definir la tendencia o no de una serie de tiempo (e.g. DQO, SST, *etc.*). Mann Kendall y Sen Slope son pruebas estadísticas que han sido ampliamente usadas para definir la presencia de tendencia y la magnitud de esta, respectivamente. A continuación, se describen las dos pruebas y la forma como consolidaron sus resultados.

3.3.1 PRUEBA DE MANN KENDALL

Es una prueba no paramétrica, lo que significa que no se hace una suposición subyacente sobre la normalidad de los datos. Esta prueba se utiliza para determinar si existe o no una tendencia en los datos de series de tiempo.

La hipótesis nula (H_0) determina que los datos provienen de una población con muestras independientes y distribuidas de manera idéntica, es decir sin tendencia. La hipótesis alternativa (H_1) define que los datos siguen una tendencia monótona (esto podría ser una tendencia positiva o negativa). Para establecer si el resultado de la prueba Mann-Kendall es significativo o no el p valor debe ser menor que el nivel de significancia (en este caso $\alpha = 0.05$), con lo que se concluye

que hay evidencia estadísticamente significativa de la existencia de una tendencia presente en los datos de la serie de tiempo. El estadístico de la prueba de Mann-Kendall se calcula de acuerdo con:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Ec. 5

Donde x es la variable evaluada (e.g. DBO_5 , OD, SST, etc.) y sgn es una función que determina si el resultado de la operación entre paréntesis es positiva, negativa o nula. Supone que H_0 sea verdadera, S debe presentar una distribución aproximadamente normal con media cero y variancia $\text{Var}(S) = [(n*(n-1)*(2*n+5))/18]$. El resultado de S indica la posible existencia de tendencias, desde que el valor de S sea significativamente diferente de cero. Siendo S diferente de cero, la hipótesis nula H_0 puede ser rechazada, y la hipótesis alternativa H_1 sería aceptada (Mann, 1945; Kendall, 1975).

3.3.2 PRUEBA DE SEN SLOPE

El método habitual para estimar la pendiente (i.e., la tasa de cambio de la concentración en el tiempo) de una línea de regresión que se ajusta a un conjunto de elementos de datos (x (tiempo), y (concentración)) se basa en una estimación de mínimos cuadrados. Este enfoque no es válido cuando los datos no se ajustan a una línea recta; y es sensible a valores atípicos (Sen, 1968).

Una estimación alternativa, más robusta y no paramétrica de la pendiente, es la llamada pendiente de Sen (en inglés *Sen Slope*), para el conjunto de pares (x, y) donde y es una serie de tiempo y x el tiempo. La pendiente de Sen se define como:

Página 28 de 99

$$\beta = \text{Median}\left\{\frac{y_j - y_i}{j - i} : i < j\right\} \quad \text{Ec. 5}$$

donde β es la estimación de la pendiente de Sen. $\beta > 0$ indica una tendencia ascendente en una serie de tiempo. De lo contrario, la serie de datos presenta una tendencia decreciente durante el período de tiempo. El intervalo de confianza de la pendiente al 95 % (límite superior e inferior) de la pendiente se calcula de la siguiente manera:

$$N = \frac{n(n-1)}{2}; k = se * z_{\text{critico}} \quad \text{Ec. 6}$$
$$\text{lim.inferior} = (N - k)/2;$$
$$\text{lim.superior} = 1 + (N + k)/2$$

Donde n es número de parejas de la serie de tiempo (y_i, y_j) , se es el error estándar de la prueba de Mann-Kendall.

Las pruebas de Mann Kendall y Sen Slope se realizaron para cada uno de los puntos de monitoreo de los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca desde al año 2009 hasta el 2020, con excepción del río Torca que inicia desde el año 2010. Los resultados de las pruebas se consolidaron por medio de gráficas y tablas. Es importante mencionar que los resultados completos de la prueba Mann-Kendall y Sen Slope están en el Anexo C.

En la **Figura 2**, se presenta un ejemplo de la gráfica que se realizó por cada uno de los puntos monitoreo localizados en los ríos mencionados con el objetivo de representar la tendencia de los determinantes en el tiempo. En el gráfico aparecen diez cuadros que corresponden a la serie de tiempo (líneas continuas de colores) de cada uno de los determinantes evaluados. Las líneas de color negro representan la tendencia y las líneas de color rojo el valor del objetivo de calidad conforme a la Resolución 3162 de 2015.

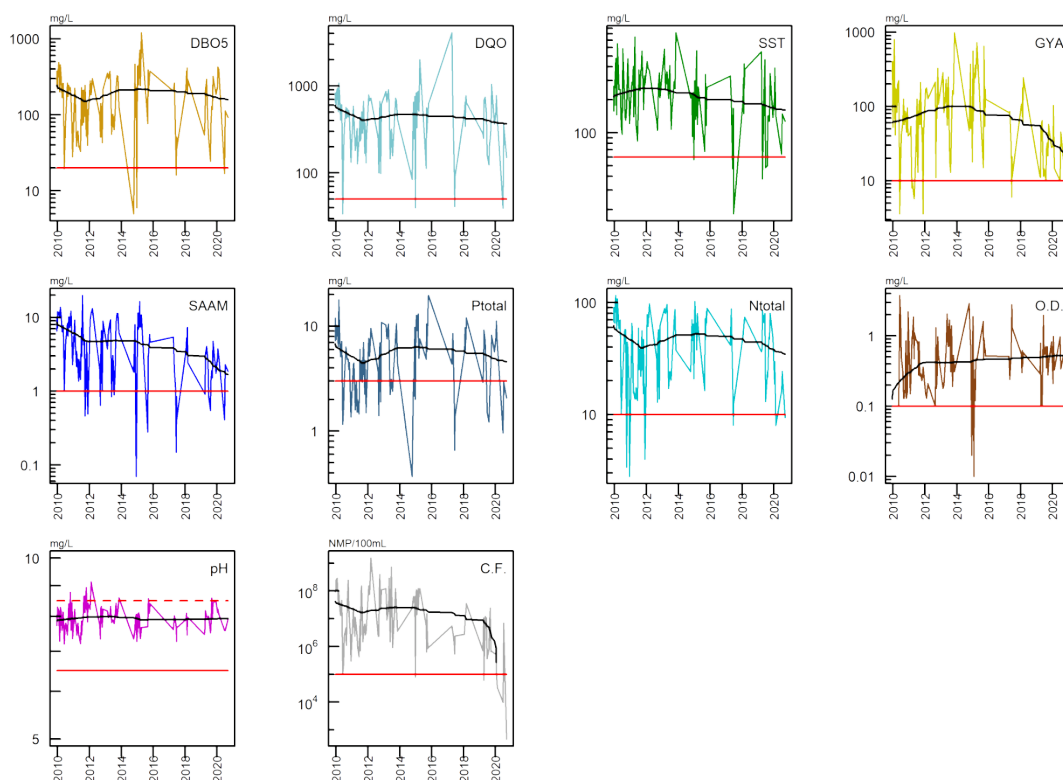


Figura 2. Ejemplo de la representación gráfica de la tendencia en las series de tiempo de los diez determinantes de calidad del agua – Punto de monitoreo Transversal 86, río Tunjuelo

Es importante resaltar que en los resultados del presente informe se muestra en una gráfica por río similar a la relacionada en la **Figura 2** y que las demás se pueden consultar en el Anexo B del presente informe.

Así mismo, se presenta una tabla por cada tramo río que contiene: el valor de la pendiente y con una flecha vertical que señala la tendencia de la serie tiempo, es decir si es creciente (\uparrow) o decreciente (\downarrow) en cada uno de los puntos de monitoreo que conforman el tramo. Cuando la flecha tenga un color anaranjado o azul quiere decir que su tendencia es estadísticamente significativa conforme a los resultados de la prueba Mann-Kendall. Adicionalmente, se presentan cuatro columnas que evalúan los siguientes aspectos (ver **Tabla 7** y resultados completos en el Anexo C):

- a. $\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$: se calcula la diferencia entre el registro del determinante (por ejemplo, OD, DQO, SST, SAAM, etc.) y el objetivo de calidad (Resolución 3162 de 2015). Del conjunto de diferencias se estima la mediana (ver Ec. 7). Lo anterior, se realiza para cada los registros existentes en los periodos 2014 al 2017. Los resultados negativos indican que en términos generales no se cumple el objetivo para el determinante y los positivos que se está cumpliendo. En el caso del OD el resultado se interpreta de forma opuesta, por la misma condición del determinante. Finalmente, se debe mencionar que esta evaluación no se realizó para el pH, ya que este determinante cuenta con un intervalo como objetivo de calidad.

$$\Delta C_{PERIODO-1} = \text{mediana}(OC_k - C_{jk})$$

Ec. 7

C es la concentración de un determinante (k , de 1 a 9) para cada registro j que se tenga (1 hasta n . n es el número total de registros por tramo y para periodo de análisis) y OC es el objetivo de calidad del determinante k conforme con la Resolución 3162 de 2015.

- b. $\Delta C_{PERIODO-2}$: el mismo procedimiento descrito en el literal a, pero para el periodo 2018-2020.
- c. **WC.significancia**: para verificar si las medianas de la diferencia (literal a y b) son estadísticamente significantes se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon (ver detalles de la prueba en el Informe técnico No. 04283, 19 de octubre del 2021). El asterisco (*) indica que el p valor de la prueba de Wilcoxon es inferior a $\alpha = 0.05$, es decir que las medianas de los periodos son significativamente diferentes.
- d. **Cumplimiento [%]**: en esta columna se relaciona el porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad para los registros del periodo (2018-2020).

Tabla 7. Ejemplo de los resultados de las pruebas Sen Slope y Mann-Kendall por punto de monitoreo, y las medianas de las diferencias de los registros (por tramo) de los diez determinantes frente a sus objetivos de calidad (Resolución 3162 de 2015) para los periodos 2014-2017 y 2018-2020, y porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad para periodo 2018-2020

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo 1			
	TU-Regader	TU-UAN	$\Delta C_{PERIODO-1}$	$\Delta C_{PERIODO-2}$	WC.significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.01 ↑	0 ↑	3	2.85		79.17
DQO	0 ↑	0.08 ↓	-3.8	-5.45		16.67
SST	0.05 ↓	0.11 ↓	2	2.5		62.5
GYA	0.04 ↑	0.04 ↑	4	0	*	83.33

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo 1			
	TU-Regader	TU-UAN	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
SAAM	0↑	0↑	0.4	0.1	*	91.67
PTotal	0↓	0↓	0.32	0.34		95.83
NTotal	0↑	0↑	1.833	0.565	*	58.33
O.D.	0.01↑	0↑	0.255	-0.38	*	68.75
pH	0↓	0↑	NA	NA		95.83
C.F.	0.92↓	85.71↓	-325	-444.5		37.5

Las unidades de las columnas del resultado del Sen Slope y los ΔC están en las unidades originales de cada determinante

4 RESULTADOS

El análisis de los resultados obtenidos para los ríos Tunjuelo, Torca, Fucha y Salitre pretende establecer la diferencia en los porcentajes de cumplimiento para cada una de las normas evaluadas, teniendo en cuenta que la resolución emitida en el año 2015 establece valores más restrictivos para su cumplimiento. La

Tabla 8 presenta por medio de colores los cambios (si aumenta, se mantiene o disminuye) entre los valores de los objetivos de cada determinante. Se evidencia que más del 70 % de los determinantes de calidad presentan una disminución en la concentración exigida en la resolución 3162 de 2015 (DBO₅, DQO, NTotal, PTotal, SST, GyA y SAAM), es decir que la concentración es más restrictiva en los tramos de los ríos. En el caso del OD se considera una concentración más alta para la mayoría de los tramos y ríos, lo que se traduce en mejores condiciones del cuerpo de agua que permita un mayor nivel de oxígeno en el recurso. Con respecto a los determinantes y tramos donde se mantuvieron el valor objetivo, se observa que 57 % se presenta en el tramo I de los ríos Fucha y Tunjuelo.

Tabla 8. Comparación entre los valores de los objetivos de calidad del agua en los determinantes de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para los tramos de los principales ríos de la Ciudad

RÍO	TRAMO	OD	DBO ₅	DQO	NTotal	PTotal	SST	GVA	Coliformes Fecales	SAAM
TORCA	T1	AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
	T2	AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
SALITRE	T1	MANTIENE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	MANTIENE	MANTIENE	NO APLICA	DISMINUYE
	T2	AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
	T3	AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
	T4	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	MANTIENE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
FUCHA	T1	MANTIENE	MANTIENE	DISMINUYE	DISMINUYE	MANTIENE	MANTIENE	MANTIENE	NO APLICA	MANTIENE
	T2	AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
	T3	AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
	T4	AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
TUNJUELO	T1	MANTIENE	MANTIENE	DISMINUYE	MANTIENE	AUMENTA	MANTIENE	DISMINUYE	NO APLICA	MANTIENE
	T2	AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	MANTIENE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
	T3	AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
	T4	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	DISMINUYE	NO APLICA	DISMINUYE
T1= Tramo I, T2= Tramo II, T3= Tramo III, T4= Tramo IV										
AUMENTA		MANTIENE		DISMINUYE		NO APLICA				

4.1 RÍO TUNJUELO

4.1.1 CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN EL RÍO TUNJUELO

TRAMO I - TUNJUELO

La **Figura 3** representa el cumplimiento normativo del Tramo I del río Tunjuelo, siendo importante destacar que para los determinantes OD, DBO₅, NTotal, SST y SAAM se mantiene el valor de referencia tanto en la Res. 5731 como en la Res. 3162, por lo cual no existe variación alguna en los porcentajes de cumplimiento frente a dichas normas. Lo anterior también permite evidenciar que la calidad del cuerpo de agua se ha mantenido a lo largo de los años como lo reflejan los porcentajes de cumplimiento en los tres periodos evaluados. Caso contrario se presenta para la DQO cuyo objetivo de calidad pasa de 35 mg/L (Res. 5731) a 10 mg/L (Res. 3162), razón por la cual el porcentaje de datos que cumple con la norma pasa de 88 % a 23 %, respectivamente. Con relación a este determinante se destaca que los registros obtenidos de los monitoreos ejecutados entre los años 2009 a 2020 presentan un promedio de 22,1 mg/L (ver **Tabla 9**), por lo cual es importante considerar que la reducción del objetivo de calidad a 10 mg/L no es proporcional a los valores históricos para el tramo, igualmente es importante mencionar que los valores de DBO₅ históricamente registran en promedio 3,8 mg/L demostrando la baja cantidad de materia orgánica presente en el agua del tramo I.

Por otra parte, se encontró que las GyA tenía un valor objetivo 20 mg/L (Res. 5731) y pasó a 10 mg/L (Res. 3162), con esto, el cumplimiento que para la primera norma era en promedio del 94 % pasó a 85 % en la segunda, destacándose que históricamente este determinante presenta un promedio de 9,3 mg/L. Por último, el PTotal aumenta el valor de referencia normativo de 0,2 mg/L a 0,4 mg/L, lo que se traduce en un aumento del porcentaje de cumplimiento frente a la Res. 3162. Es importante mencionar que en el siguiente análisis de la excursión este último determinante presenta una excursión negativa debido al aumento del valor objetivo de calidad y el respectivo aumento en el porcentaje de datos que cumple la norma.

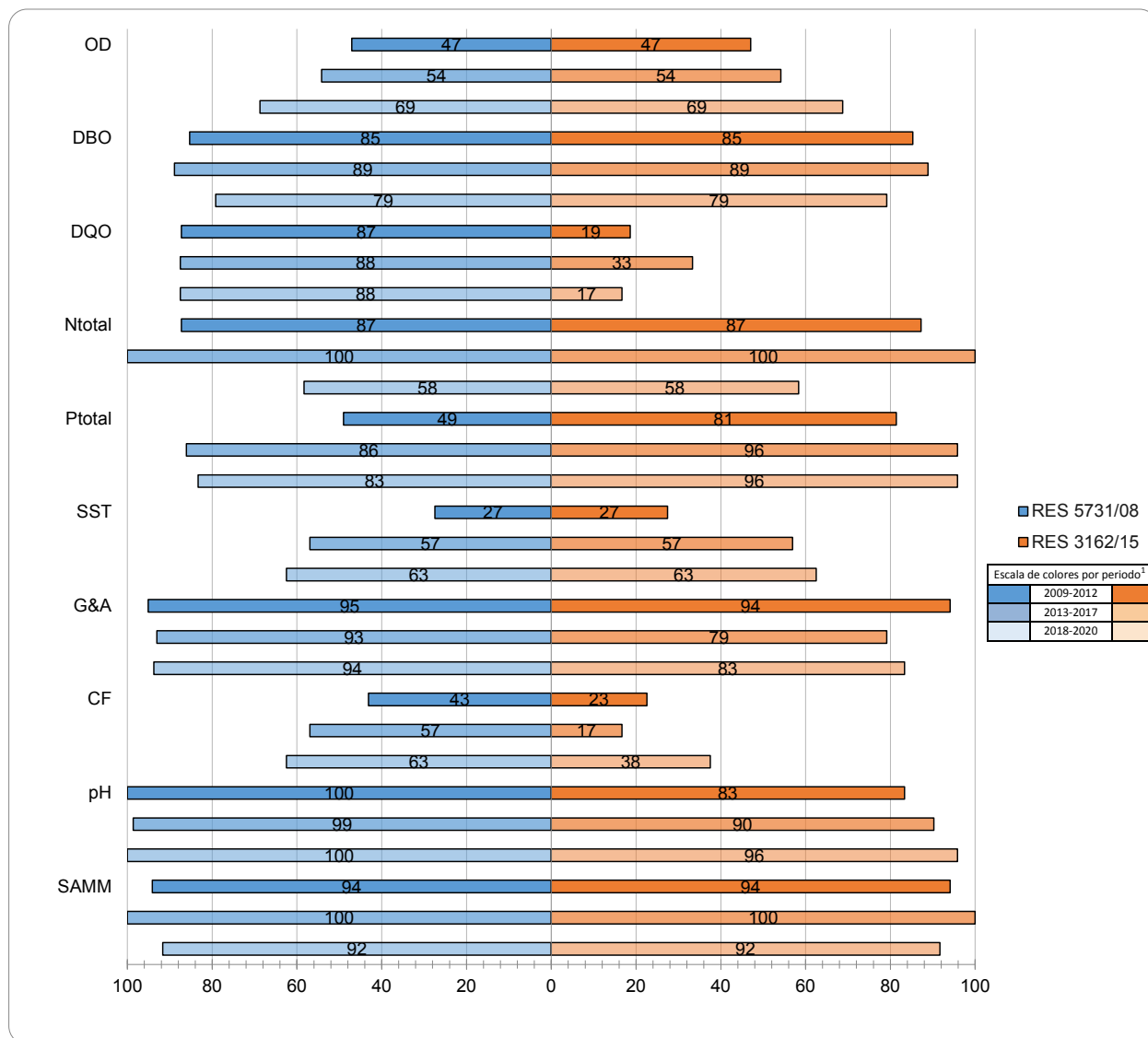


Figura 3. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Tunjuelo Tramo I

Tabla 9. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo I del río Tunjuelo

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	50,0	272,0	1270,0	237,0	14,2	2,5	24,6	12,5	8,6	2.10E+06
Media Histórica	3,8	22,1	25,6	9,3	0,4	0,2	2,5	6,9	7,0	3.71E+04
Res. 5731	5	35	10	20	0,5	0,2	3	7	6,0-9,0	1.00E+03
Res. 3162	5	10	10	10	0,5	0,4	3	7	6,5-8,5	1.00E+02*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO II - TUNJUELO

En lo que respecta al tramo II, la Res. 3162 modifica los valores de nueve (9) de los diez (10) determinantes de calidad con excepción de los SST. Dicha variación se ve reflejada en los porcentajes de cumplimiento obtenidos, donde frente a la Res. 5731 más del 80 % de los registros para cada uno los determinantes: OD, DBO₅, GyA, Coliformes fecales y SAAM cumplen con la normatividad, esto durante los periodos 2009-2012, 2013-2017 y 2018-2020. A diferencia de su evaluación frente a la Res. 3162 donde en promedio para los tres periodos menos del 60 % de los registros obtenidos para las determinantes DBO₅, DQO, NTotal y PTotal presentan cumplimiento normativo, incluso a lo largo del tiempo se observa una tendencia al incumplimiento donde el más crítico es la DQO (ver **Figura 4**).

Cabe resaltar que según los resultados obtenidos durante los años 2009 a 2020 los valores promedio obtenidos superan el valor de referencia establecido en la norma (**Tabla 10**), por lo cual, es importante evaluar los nuevos objetivos de calidad de forma coherente con el comportamiento del cuerpo de agua sin perder el enfoque de mejora paulatina y progresiva de la calidad del recurso, considerando además la afectación que genera sobre el recurso hídrico del

tramo II el vertimiento procedente del Relleno Sanitario Doña Juana (lixiviados), así como las acciones correctivas para mejorar la calidad del recurso.

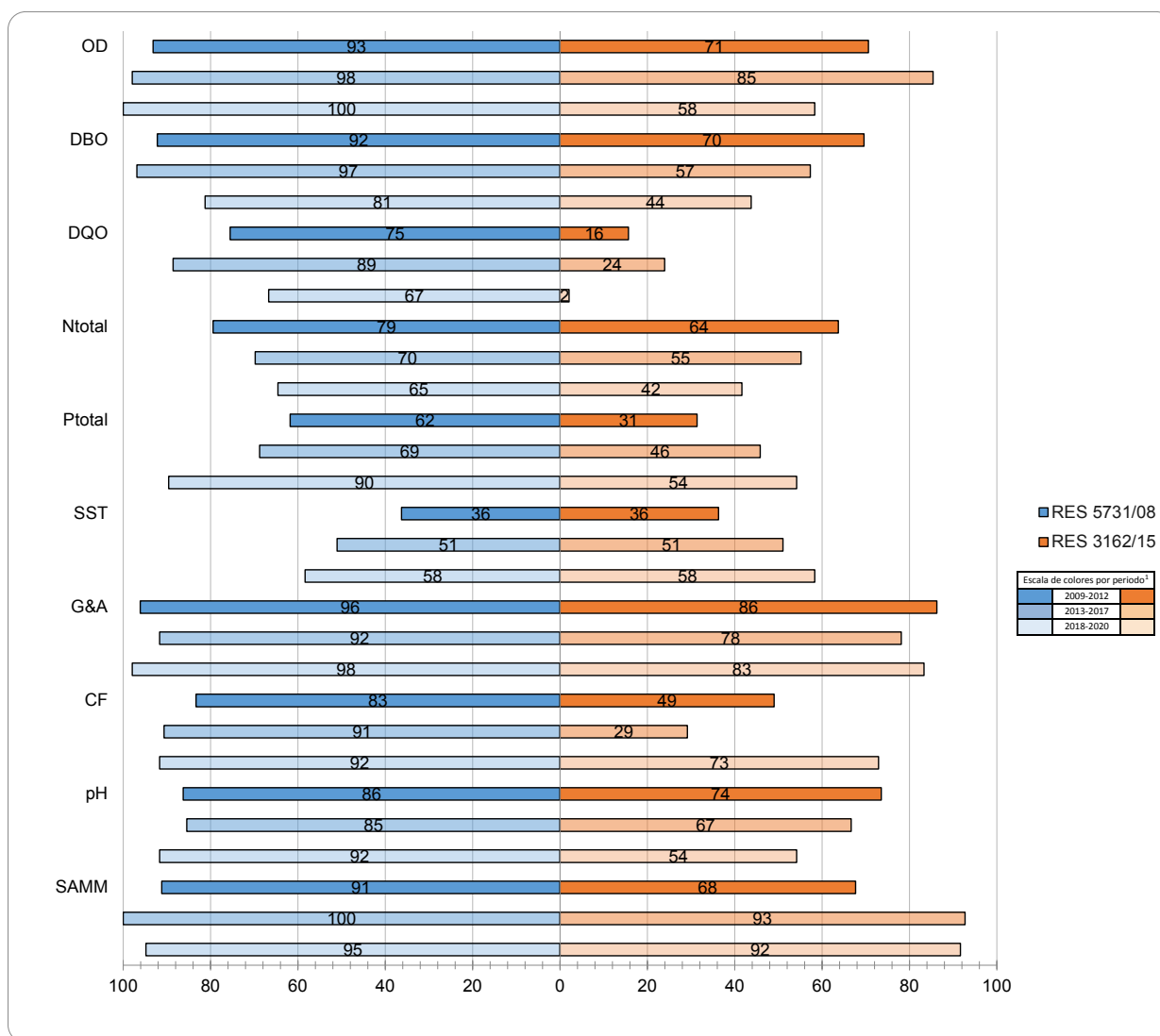


Figura 4. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Tunjuelo Tramo II

Tabla 10. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para tramo II del río Tunjuelo

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/1000 ml]
Máx. Histórico	362,0	858,0	10380,0	176,0	13,6	54,6	282,8	8,7	10,8	4.70E+07
Media Histórica	34,1	132,0	660,1	8,8	0,7	4,9	20,2	5,8	8,0	9.08E+05
Res. 5731	100	200	120	20	3	3	20	2	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	20	30	120	10	1	1	10	5	6,5-8,5	1.00E+05*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO III - TUNJUELO

Para el presente tramo la Res. 3162 modifica todos los valores de referencia para los diez (10) determinantes. La **Figura 5**, muestra el porcentaje de cumplimiento para cada determinante donde, como parte de la reducción de los valores de referencia, disminuyó la cantidad de datos que presentan cumplimiento normativo. Lo anterior es evidente especialmente en cuanto a la DBO₅, PTotal y pH, los cuales presentaban para los tres periodos evaluados porcentajes superiores al 83 % de cumplimiento, pero que una vez evaluados bajo los lineamientos de la Res. 3162 reducen el porcentaje a valores entre 42 % (DBO₅/2018-2020) y 81 % (PTotal/2018-2020). De igual manera es importante destacar que determinantes como OD, DQO y NTotal no superan el 60 % de cumplimiento frente a la norma emitida en el 2015.

De acuerdo con los resultados históricos que se presentan en la **Tabla 11**, se ha evidenciado que el tramo III del río Tunjuelo aún continúa siendo afectado por el vertimiento del Relleno Sanitario Doña Juana y la confluencia de varias subcuencas, entre ellas la Quebrada Chiguaza, puntos que aportan concentraciones significativas para los determinantes evaluados, esto sumado a la disminución de la magnitud de los objetivos de calidad establecidos en la Res. 3162. Esta

condición genera que la magnitud con la que se superan los valores objetivo de la DBO₅, DQO y SAAM sea mucho mayor a lo obtenido con Resolución 5731.

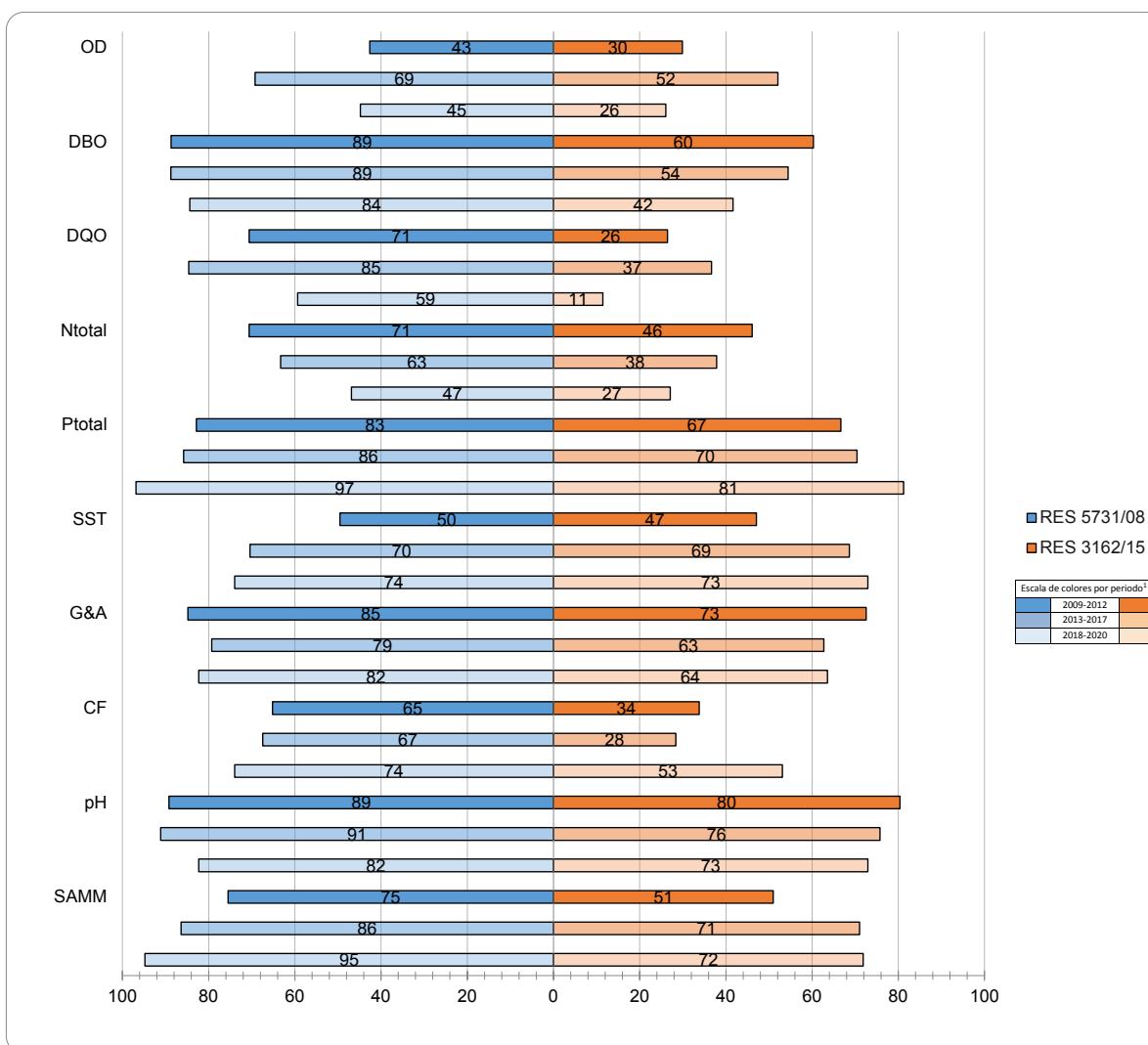


Figura 5. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Tunjuelo Tramo III

Tabla 11. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo III del río Tunjuelo

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	362,0	949,0	10380,0	176,0	66,5	54,6	282,8	8,4	10,9	7.50E+08
Media Histórica	43,4	147,5	400,0	12,8	1,6	3,6	22,2	2,3	7,9	6.46E+06
Res. 5731	100	200	150	20	3	5	20	1	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	30	50	140	10	1	3	10	2	6,5-8,5	1.00E+05*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO IV - TUNJUELO

Por último, para el tramo IV la Resolución 3162 de 2015 redujo la magnitud de los objetivos de calidad para la totalidad de los determinantes evaluados, lo cual ha favorecido particularmente el análisis realizado para el OD donde se presentan mayores porcentajes de cumplimiento. Es decir que para evaluación del OD con respecto la Resolución 5731 de 2008 se presentan porcentajes de cumplimiento de 33 % (2009-2012), 75 % (2013-2017) y 55 % (2018-2020), y bajo los estándares de calidad de la Res. 3162 se presenta un cumplimiento superior al 95% en los tres periodos evaluados, destacando que este aumento en su porcentaje de cumplimiento no indica una mejor calidad del agua, al contrario, indica que los niveles de oxigenación del recurso son mínimos y si bien alcanzan a superar el valor de 0,1 mg/L (norma), la media de la concentración es inferior a 1 mg/L (es decir, OD menor de 3 mg/L, es dañino para el ecosistema. A partir de este punto hacia abajo el ecosistema experimenta hipoxia. Menor de 2 mg/L, es fatal para la mayor parte de las especies. El ecosistema sufre anoxia). Respecto a los demás determinantes evaluados, como era de esperarse presentan una reducción considerable de los porcentajes de cumplimiento desde 4 % para los SST del periodo 2009-2012 hasta un máximo de 40 % para fósforo total del periodo 2009-2012.

Históricamente el Tramo IV del río Tunjuelo, ha registrado las mayores concentraciones de las determinantes: DBO₅, DQO, GYA y CF, asociado con los vertimientos de agua residual procedentes de la red de alcantarillado de la ciudad, realizados sobre el cuerpo de agua, dentro de los cuales se encuentra el Interceptor Tunjuelo Medio cuya descarga genera un impacto negativo para el cumplimiento de los objetivos de calidad. Esto sumado a la significativa reducción de los valores de referencia establecidos mediante la Res. 3162 de 2015 (**Figura 6**), que genera una disminución de los porcentajes de cumplimiento, como se evidencia en la **Tabla 12**.

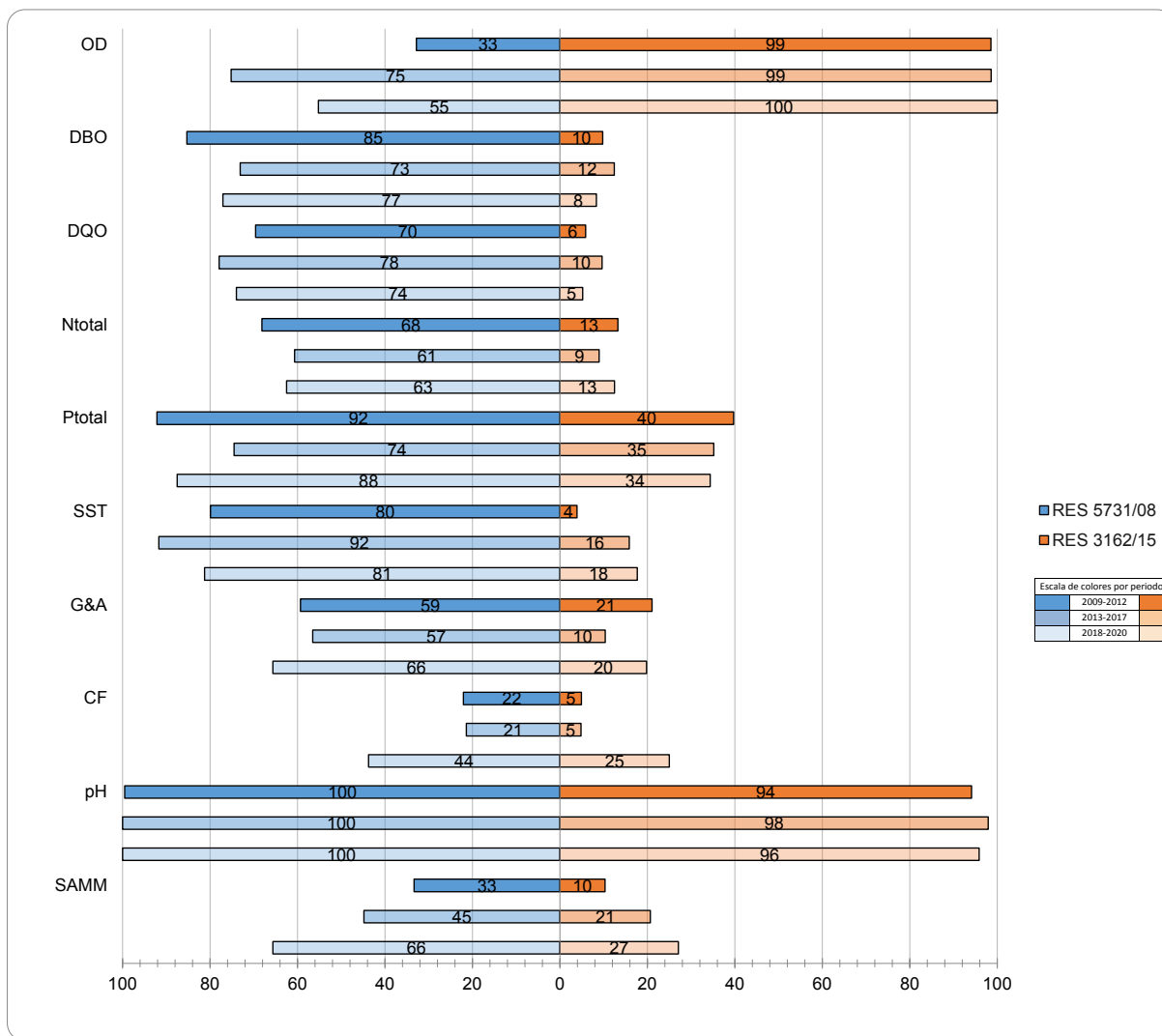


Figura 6. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Tunjuelo Tramo IV

Tabla 12. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo IV del río Tunjuelo

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	1196,0	4069,0	1540,0	977,0	66,5	33,1	128,9	4,8	9,1	2.40E+11
Media Histórica	154,3	368,0	200,6	70,6	4,8	5,0	39,9	0,7	7,7	8.93E+08
Res. 5731	250	500	300	50	3	8	50	0,5	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	20	50	60	10	1	3	10	0,1	6,5-8,5	1.00E+05*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

4.1.2 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO TUNJUELO

Para identificar los cambios que ha tenido cada uno de los diez determinantes de calidad del agua y por cada uno de los puntos de monitoreo que conforma el río Tunjuelo a lo largo de los años, se realizaron gráficos de tendencia como los presentados en la **Figura 7**. En cada recuadro de la figura aparece una línea de color que representa el comportamiento del determinante, y su magnitud se observa en el eje vertical en escala logarítmica (con excepción en los C.F.) desde el año 2009 al 2020 (es, decir el eje horizontal). La línea de color negro es un ajuste de la curva de los datos (suavizado), que son estimados por medio de una regresión local ponderada en la que el ajuste en x se realiza utilizando únicamente las observaciones, para representar si visualmente existe o no tendencia en las series de tiempo de cada determinante. Por último, la línea de color rojo representa el valor del objetivo de calidad conforme a lo establecido en la Resolución 3162 de 2015.

Los gráficos que se presentan a continuación corresponden al punto de monitoreo Barrio México, río Tunjuelo. Para los demás puntos, sus respectivas figuras pueden ser consultadas en el Anexo B. En general, se observa en la mayoría de los determinantes un punto de inflexión en el año 2016 y a partir de ese momento una tendencia creciente para la DBO₅, DQO, SAAM y GyA; decreciente

en OD y CF, y estable en NTotal, PTotal y SST. En el caso del pH, se observa que a lo largo de los años el agua que trascurre por este punto de monitoreo presenta una condición alcalina ($7 < \text{pH}$) con una tasa de incremento sostenida.

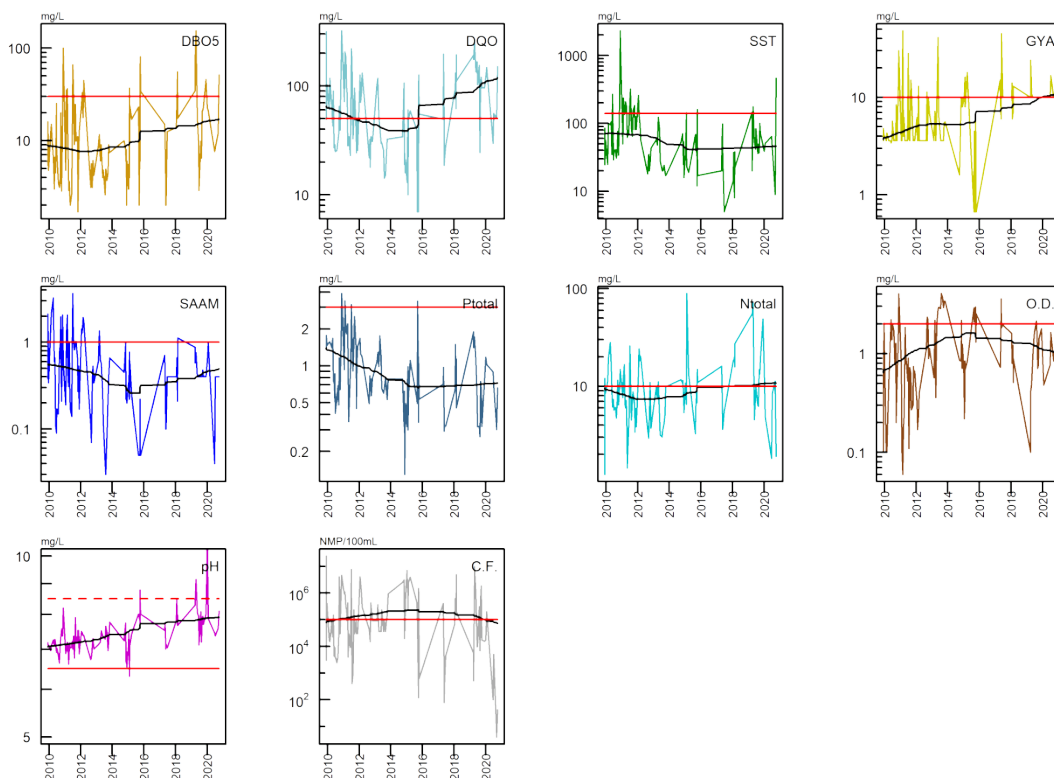


Figura 7. Series de tiempo de los diez determinantes de la calidad del agua, sus respectivas líneas de tendencia (color negro) y valor del objetivo de calidad conforme la Res. 3162 de 2015 - Punto de monitoreo Barrio México, río Tunjuelo – Eje vertical en escala \log_{10}

El número cero en tablas como la **Tabla 13** y con una flecha de color quiere decir que la pendiente tiene tres o más ceros decimales.

TRAMO I - TUNJUELO

El análisis de tendencia en el tramo I del río Tunjuelo evidencia que la concentración para SST, PTotal y C.F. ha tendido a reducir, mientras que para GyA tiende al incremento, en ambos casos estadísticamente significativa. Por otra parte, se observa una tendencia de incremento en la DBO₅, SAAM y NTotal en ambos puntos de monitoreo, pero sin significancia (**Tabla 13**).

Por otra parte, se observan porcentajes de cumplimiento altos para el periodo 2018-2020 para varios de los determinantes evaluados, sin alcanzar el 100 % que permita evidenciar un continuo cumplimiento de los objetivos de calidad del agua para el tramo I del río Tunjuelo. Además, al comparar los ΔC se observa que para el segundo periodo los determinantes DBO₅, DQO, GyA, SAAM, NTotal y C.F. han aumentado sus concentraciones. En cuanto al OD se evidencia una leve mejora en el segundo periodo, pero como lo indica el Sen Slope su pendiente es menor de 0.01 mg/L que no ha sido suficiente para cumplir continuamente con el objetivo de calidad. Los SST y el PTotal presentan una tendencia decreciente conforme al resultado del Sen Slope, pero en los últimos ocho años las diferencias con respecto al objetivo se han mantenido constantes, sin llegar al 100 % del cumplimiento. Por último, pH ha presentado una baja variabilidad y valores próximos al límite inferior del objetivo, manteniendo el cumplimiento con una alta frecuencia.

Tabla 13. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo I del río Tunjuelo

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo 1			
	TU-Regader	TU-UAN	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.01 ↑	0 ↑	3	2.85		79.17
DQO	0 ↑	0.08 ↓	-3.8	-5.45		16.67

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo 1			
	TU-Regader	TU-UAN	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
SST	0.05 ↓	0.11 ↓	2	2.5		62.5
GyA	0.04 ↑	0.04 ↑	4	0	*	83.33
SAAM	0 ↑	0 ↑	0.4	0.1	*	91.67
PTotal	0 ↓	0 ↓	0.32	0.34		95.83
NTotal	0 ↑	0 ↑	1.833	0.565	*	58.33
O.D.	0.01 ↑	0 ↑	0.255	-0.38	*	68.75
pH	0 ↓	0 ↑	NA	NA		95.83
C.F.	0.92 ↓	85.71 ↓	-325	-444.5		37.5

Las flechas hacia arriba de **color azul** representan tendencias de incremento mientras que las flechas hacia abajo de **color verde** son tendencias de reducción, ambas estadísticamente significantes con base en los resultados de la prueba de Mann-Kendall [p valor < 0.05]

TRAMO II - TUNJUELO

Aunque el punto de monitoreo Yomasa refleja en seis de los diez determinantes una tendencia decreciente, en general, para el tramo se observa que DQO, GyA, SAAM, PTotal y NTotal tienen valores de ΔC que indican mayores concentraciones en el segundo periodo (**Tabla 14**). Este aumento aleja a estos determinantes del cumplimiento (< 60 %) de su objetivo de calidad, con excepción de GyA y SAAM. De estos dos últimos determinantes, se evidencia que sus ΔC son significativamente diferentes (columna WC.significancia) y sus concentraciones han tendido a ser mayores en el segundo periodo a pesar de que el cumplimiento de sus objetivos está por encima de un 60 % e inferior al 95 %.

En caso de los C.F. existe una tendencia a la reducción que mejoró en el segundo periodo, como lo refleja un valor más grande y positivo de su ΔC , pero no ha sido suficiente para tener un cumplimiento continuo de su objetivo de calidad en el tiempo.

Si bien los valores negativos del OD reflejan mayores concentraciones del determinante y con esto mejores condiciones en la calidad del agua, el ΔC del segundo periodo muestra que sus concentraciones se están acercando al objetivo de calidad y con esto reduciendo calidad del agua que se había presentado en primer periodo. Esta condición con lleva a que el cumplimiento de su objetivo se ha inferior al 60 %. Finalmente, el pH continúa manteniéndose dentro del rango del objetivo, pero con una tendencia creciente significativa principalmente en el punto de monitoreo DJuana como consecuencia de la descarga de la PTL del relleno sanitario Doña Juana. Esta condición impide que en el tramo se presente un cumplimiento del 100 %.

Tabla 14. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Tunjuelo

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo II			
	TU-Yomasa	TU-DJuana	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.02↑	0.19↑	-3	-2.7		43.75
DQO	0.25↓	0.13↑	-24	-79.5	*	2.08
SST	0.75↓	2.5↓	35	85.65	*	58.33
GYA	0.01↑	0.01↑	4.77	0	*	83.33
SAAM	0.01↓	0↓	0.9	0.58	*	91.67
PTotal	0.01↓	0.02↓	0.206	0.0855		54.17
NTotal	0.01↓	0.06↑	-1.014	-3.765		41.67
O.D.	0↑	0↓	-1.3	-0.14	*	58.33

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo II			
	TU-Yomasa	TU-DJuana	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
pH	0↑	0↑	NA	NA		54.17
C.F.	615.38↓	282.11↓	-155000	88450	*	72.92

TRAMO III - TUNJUELO

SST y SAAM en el tramo III tienen una tendencia decreciente significativa en los cuatro puntos de monitoreo que se ha mantenido y mejorado levemente más para el primer determinante que para el segundo. A pesar de esta mejora en el tiempo la reducción de sus concentraciones no ha sido suficiente para tener un continuo cumplimiento (< 73 %) de sus objetivos, como aparece en la **Tabla 15**.

Con respecto a los determinantes DBO₅, DQO, GyA, PTotal, y NTotal se evidencian incrementos en sus concentraciones en el segundo periodo de análisis, tal como lo reflejan mayores distanciamientos (ΔC) y bajos (o menores a 82 %) cumplimientos de sus objetivos de calidad.

El OD ha reducido sus concentraciones significativamente (WC.significancia) en el segundo periodo y que se refleja en bajos cumplimientos de su objetivo y mayores distanciamientos de estos. Por otra parte, se observan menores concentraciones de C.F. en los dos últimos puntos de monitoreo del tramo y con un ΔC más grande y positivo en el segundo periodo con respecto al primero, pero estas condiciones resultan insuficientes para obtener un cumplimiento del objetivo del 100 %.

Al igual que lo otros tramos el pH en la mayoría de los registros del periodo 2018-2020 continúa estando dentro del rango del objetivo de calidad, pero con una tendencia creciente significativa en tres de los cuatro puntos de monitoreo del tramo.

Tabla 15. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo III del río Tunjuelo

Determinante	Puntos de monitoreo				Tramo III			
	TU-DJuana	TU-Mexico	TU-SBenito	TU-Makros	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.19↑	0.07↑	0↓	0.01↓	-4	-13.1		41.67
DQO	0.13↑	0.01↑	0.37↓	0.08↓	-27	-119.5	*	11.46
SST	2.5↓	0.32↓	1.23↓	0.29↓	72	73		72.92
GYA	0.01↑	0.04↑	0.01↑	0.03↑	2	0	*	63.54
SAAM	0↓	0↓	0.02↓	0.01↓	0.755	0.365	*	71.88
PTotal	0.02↓	0.01↓	0.01↓	0↓	1.94	1.6125		81.25
NTotal	0.06↑	0.02↑	0↑	0.02↑	-6.013	-11.735	*	27.08
O.D.	0↓	0↑	0↑	0↑	0.18	1.075	*	26.04
pH	0↑	0.01↑	0↑	0↑	NA	NA		72.92
C.F.	282.11 ↓	0↑	12022.99 ↓	2140.74 ↓	-330000	35350	*	53.12

TRAMO IV - TUNJUELO

En último tramo del río Tunjuelo, se observa que SAAM y C.F. han tenido una reducción significativa en el tiempo, pero insuficiente para que los objetivos de calidad se cumplan y se evidencie en porcentajes de cumplimiento superiores al 25 % (ver **Tabla 16**).

Si bien el OD presenta un cumplimiento superior al 90 % es importante resaltar que su objetivo de calidad es de 0.1 mg/L y que la media de los registrados es 0.5 mg/L. Si este último valor se compara con el ΔC del segundo periodo corresponde a la mejora con respecto al objetivo, pero inferior mejora que se presenta en el primer periodo, es decir que para el segundo las concentraciones de OD se ha reducido en el tramo IV.

En cuanto al pH se evidencia un 95 % de cumplimiento del objetivo de calidad y que los valores que incumplen superan el límite superior del objetivo. Este incumplimiento ha sido más recurrente en el segundo periodo como consecuencia del incremento en las unidades del pH.

Tabla 16. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo IV del río Tunjuelo

Determinante	Puntos de monitoreo				Tramo IV			
	TU-Makros	TU-Tv86	TU-PteInde	TU-IslaPon	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.01↓	0.06↑	0.07↓	0.06↓	-130	-104		8.33
DQO	0.08↓	0.75↓	1↓	1.07↓	-229	-300		5.21
SST	0.29↓	0.76↓	0.55↓	0.39↓	-73	-82		17.71
GYA	0.03↑	0.31↓	0.11↓	0.23↓	-31.3	-17.15	*	19.79
SAAM	0.01↓	0.04↓	0.05↓	0.04↓	-2.71	-1.445	*	27.08
PTotal	0↓	0↑	0.01↑	0.01↑	-1.85	-1.3515		34.38
NTotal	0.02↑	0.05↓	0.02↑	0.1↓	-31.83	-28.1185		12.5
O.D.	0↑	0↑	0.01↑	0↑	-0.65	-0.455	*	92.71
pH	0↑	0↓	0↑	0↑	NA	NA		95.83
C.F.	2140.74 ↓	123092.5 ↓	100000 ↓	135714.29 ↓	-1.4E+07	-1490000	*	25

4.2 RÍO TORCA

4.2.1 CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN EL RÍO TORCA

TRAMO I - TORCA

La evaluación de los resultados obtenidos frente a la Res. 5731 del tramo I del río Torca, evidencia porcentajes de cumplimiento entre 75 % y 100 % en la totalidad de períodos evaluados. Respecto a la variación a los objetivos de calidad realizados en la Res. 3162 se destaca el OD que pasa de 100% de cumplimiento en los tres periodos evaluados a 0% (2009-2012), 11% (2012-2017) y 13% (2018-2020), lo cual es acorde a la modificación de su valor de referencia pasando de 3 mg/L a 8 mg/L, respectivamente. Otro de los determinantes que evidencia una reducción significativa en su porcentaje de cumplimiento es el NTotal, que inicialmente registraba valores de 100% (2009-2012 y 2013-2017) y 75% (2018-2020), y que posteriormente presenta registros de 86% (2009-2012), 57% (2012-2017) y 38% (2018-2020) (**Figura 8**). Con respecto a los demás determinantes como resultado de la modificación realizada en la Res. 3162 se presentó una reducción del cumplimiento de los objetivos de la Res. 3162, pero en ninguno se presentaron porcentajes de cumplimiento inferiores al 85 %.

El comportamiento histórico de los determinantes evaluados (**Tabla 17**) permite observar que el tramo I presenta buenas condiciones de calidad asociadas a las bajas concentraciones obtenidas. Es importante mencionar que los incumplimientos se asocian más a la reducción de la magnitud de los objetivos que a cambios en calidad del agua como se observa en los análisis de tendencia.

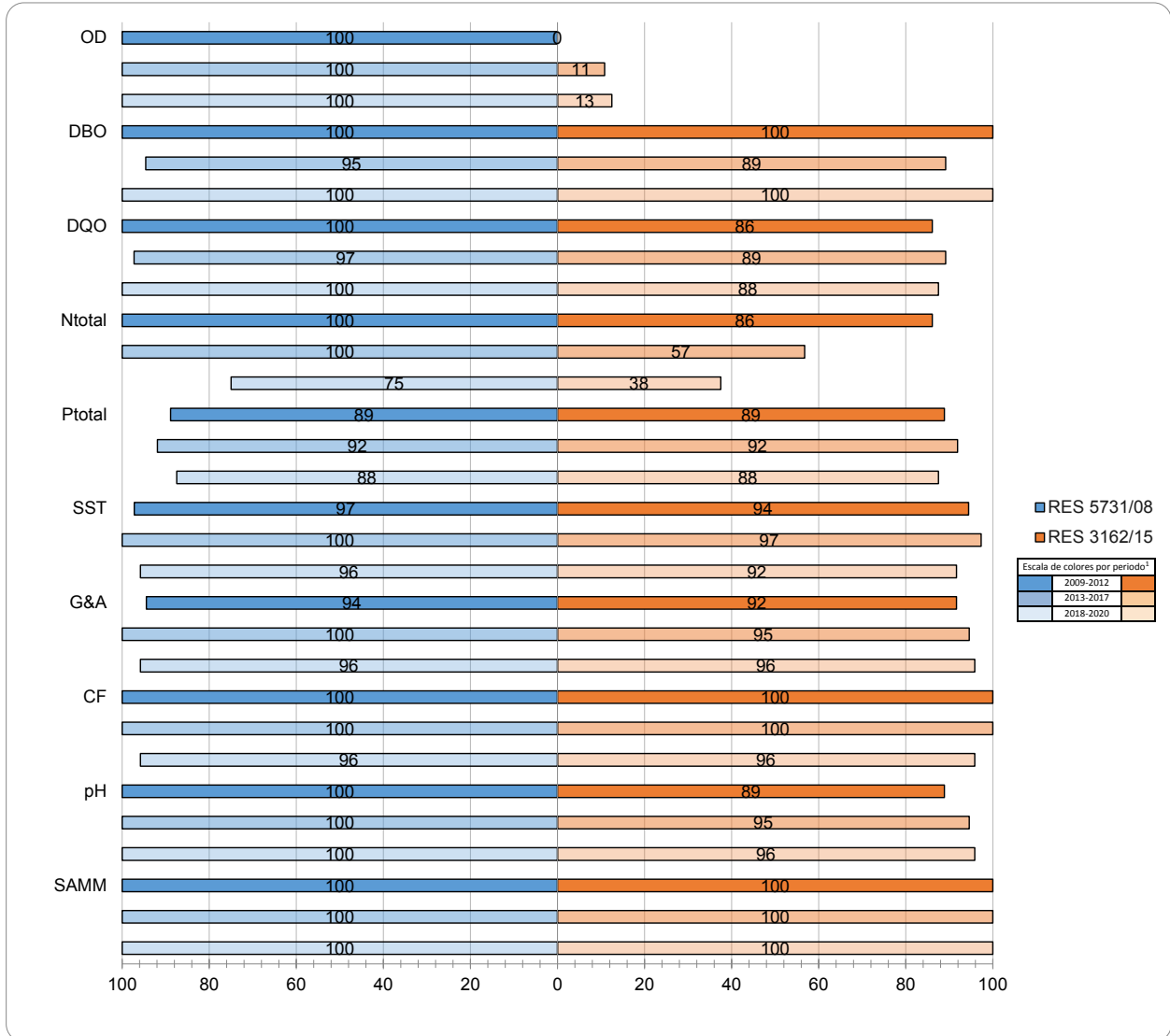


Figura 8. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Torca Tramo I

Tabla 17. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo I del río Torca

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GyA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	22,0	60,0	70,0	336,0	0,5	4,4	21,8	9,8	7,9	4.90E+06
Media Histórica	2,1	10,8	5,7	9,9	0,2	0,8	1,9	7,3	7,1	5.07E+04
Res. 5731	15	50	20	20	1	1	5	3	6,0-9,0	1.00E+05
Res. 3162	5	20	10	10	0,5	1	1,5	8	6,5-8,5	1.00E+04*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO II - TORCA

En lo que respecta al tramo II la Res. 3162 modifica la totalidad de valores de referencia para cumplimiento (Figura 9), la comparación realizada evidencia que bajo la Res. 5731 los determinantes NTotal, GyA y SAAM registran cumplimiento para más del 70% de los registros evaluados, mientras que bajo la Res. 3162 estos mismos parámetros registran cumplimientos máximos de 22 % (NTotal/2018-2020), 59 % (GyA/2009-2012) y 31 % (SAAM/2018-2020), como se presenta en la Tabla 8. En términos generales es posible determinar que la disminución de los valores objetivo de calidad (o aumento en el caso del OD), ocasiona una disminución de los porcentajes de cumplimiento al no ser considerado el valor promedio histórico para el tramo evaluado.

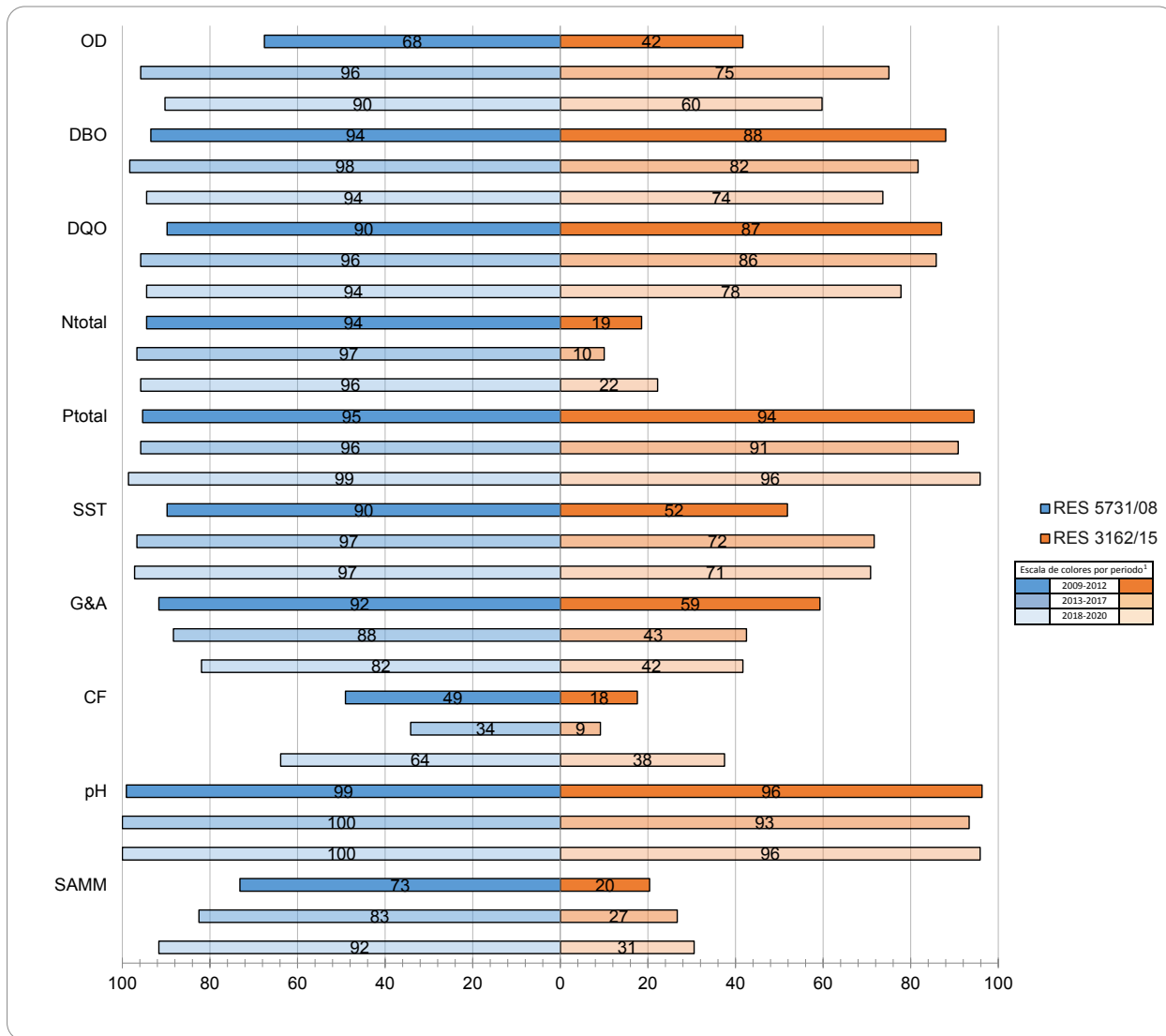


Figura 9. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Torca Tramo II

Tabla 18. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo II del río Torca

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	347,0	1418,0	912,0	232,0	12,4	8,2	69,4	6,4	9,1	9.30E+09
Media Histórica	49,0	136,1	64,0	16,6	2,5	2,3	18,9	1,8	7,5	4.21E+07
Res. 5731	150	300	150	30	4	6	40	0,5	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	80	200	50	10	1	5	8	1	6,5-8,5	1.00E+05*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

4.2.2 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO TORCA

Para identificar los cambios que han tenido cada uno de los diez determinantes de calidad del agua y por cada uno de los puntos de monitoreo que conforma el río Torca a lo largo de los años, se realizaron gráficos de tendencia como los presentados en la **Figura 10**. En cada recuadro de la figura aparece una línea de color que representa el comportamiento del determinante y su magnitud se observa en el eje vertical en escala logarítmica (con excepción en los C.F.) desde el año 2010 al 2020 (es, decir el eje horizontal). La línea de color negro es un ajuste de curvas a datos mediante suavizados que son estimados por medio de una regresión local ponderada en la que el ajuste en x se realiza utilizando únicamente observaciones, y con representar si visualmente existe o no tendencia en las series de tiempo de cada determinante. Por último, la línea de color rojo representa el valor del objetivo de calidad conforme a lo establecido en la Resolución 3162 de 2015.

Los gráficos que se presentan a continuación corresponden al punto de monitoreo Jardines de Paz, río Torca. Para los demás puntos sus respectivas figuras pueden ser consultadas en el Anexo B. En general, se observa que a partir del año 2017 en las series de tiempo de los determinantes

una tendencia creciente leve ocurre en DQO, pH y PTotal; decreciente en DBO₅, NTotal, OD, GyA, SAAM y CF, y en estable en SST.

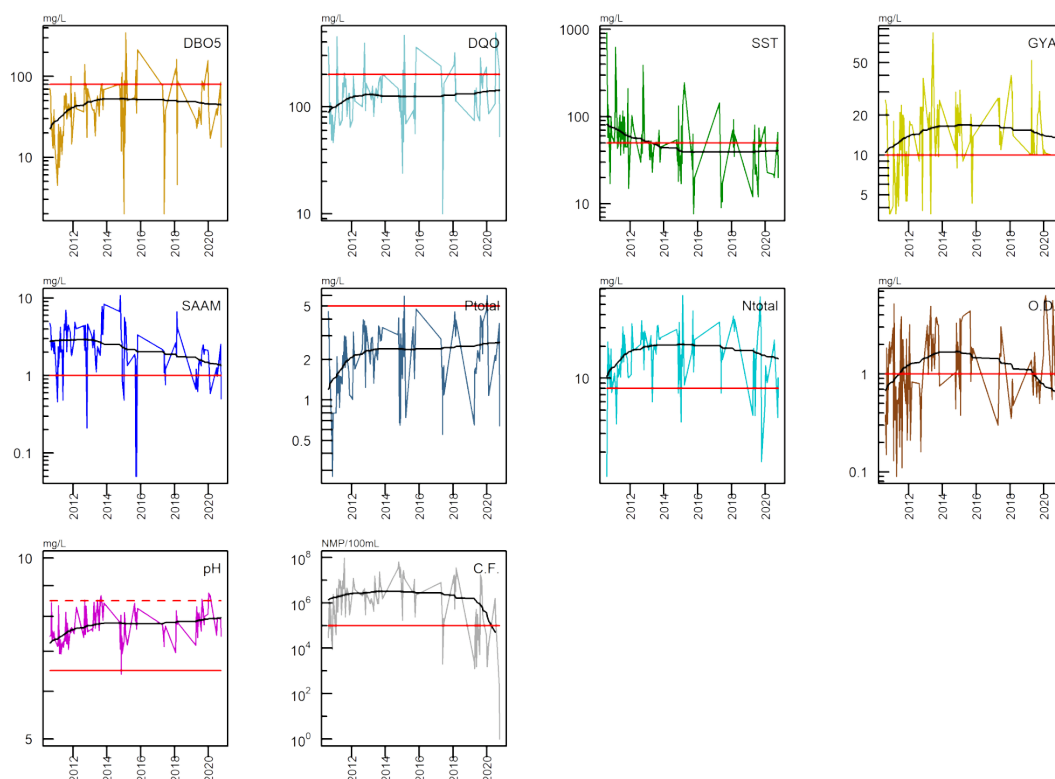


Figura 10. Series de tiempo de los diez determinantes de la calidad del agua, sus respectivas líneas de tendencia (color negro) y valor del objetivo de calidad conforme la Res. 3162 de 2015 –Punto de monitoreo Jardines de Paz, río Torca – Eje vertical en escala \log_{10}

TRAMO I - TORCA

Existe un amplio cumplimiento de los objetivos de calidad en la mayoría de los determinantes del tramo I del río Torca. Sin embargo, ocho de los diez tiene una tendencia al incremento de manera significativa a lo largo del tiempo y en varios de ellos para el periodo 2018-2020 se evidenció

más, tal como lo refleja ΔC . De esta manera, es importante detectar que factor de deterioro está generando incrementos en la mayoría de los determinantes y que de mantenerse reducirá el cumplimiento de los objetivos, como está ocurriendo en el NTotal.

Si bien los ΔC del primer y segundo periodo del OD muestra valores positivos, es decir incumplimiento de su objetivo de calidad, la tendencia creciente es significativa en el tiempo. Sin embargo, esta mejora es vulnerable frente a los incrementos que están presentado los demás determinantes.

Tabla 19. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo I del río Torca

Determinante	Puntos de monitoreo	Tramo I			
		TO-BosqueP	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia
DBO ₅	0.01↑	3	3		100
DQO	0.04↑	10	10	*	87.5
SST	0↑	5	6	*	91.67
GYA	0.04↑	4	0	*	95.83
SAAM	0↑	0.43	0.1	*	100
PTotal	0↑	0.11	0.105		87.5
NTotal	0.01↑	0.793	-0.6	*	37.5
O.D.	0↑	0.75	0.5		12.5
pH	0.01↑	NA	NA		95.83
C.F.	0.14↓	9980	9976		95.83

Las flechas hacia arriba de **color azul** representan tendencias de incremento mientras que las flechas hacia abajo de **color verde** son tendencias de reducción, ambas estadísticamente significantes con base en los resultados de la prueba de Mann-Kendall [p valor < 0.05].

TRAMO II - TORCA

Existe una tendencia creciente en la mayoría de los determinantes caracterizados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Torca y que se hace mucho más evidente en el punto TO-Ssimon que está localizado aguas abajo del humedal Torca-Guaymaral.

A lo anterior se suma el aumento de las concentraciones en los determinantes DQO, SST, GyA, SAAM, PTotal, NTotal y C.F. en el segundo periodo con respecto al primero, como evidencia los valores de sus ΔC (positivos más pequeños o que continúan siendo negativos). Este aumento se refleja en mayores distancias a los objetivos de calidad y menores porcentajes de cumplimiento.

El OD en la mayoría de los puntos de monitoreo tiene una tendencia creciente, pero las concentraciones registradas para el segundo periodo han sido menores (ΔC), es decir que entre más negativo es mayor la concentración con la cual se cumple el objetivo de calidad. A pesar de esta condición los porcentajes cumplimiento en el periodo 2018-2020 son inferiores al 60 %.

Con respecto a la DBO_5 , se observa que en el segundo periodo se presentaron menores concentraciones frente al primero, a pesar de que la tendencia de toda serie de tiempo es creciente en los tres puntos de monitoreo. Es importante resaltar que el tramo II del río torca tiene un objetivo holgado (80 mg/L) frente a los tramos cuatro de los ríos Fucha y Tunjuelo (20 mg/L) donde se registran mayores concentraciones que las reportadas en Torca. Por lo tanto, aunque no se dé un porcentaje de cumplimiento del 100 % para el objetivo de calidad de la DBO_5 es evidente que el ΔC del segundo periodo refleja que el 73 % de las veces se cumple con valores inferiores o iguales a 39.4 mg/L.

Finalmente, pH tiene una tendencia creciente que no han incidido críticamente en incumpliendo para el tramo IV. Sin embargo, es importante resaltar que los valores de sus registros en los puntos TO-CL161 y TO-Jardpaz tiende estar muy cerca al límite superior del objetivo.

Tabla 20. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Torca

Determinante	Puntos de monitoreo			Tramo II			
	TO-CL161	TO-Jardpaz	TO-Ssimon	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.28 ↑	0.3 ↑	0.34 ↑	30	39.4		73.61
DQO	0.64 ↑	0.36 ↑	0.54 ↑	107	50.5	*	77.78
SST	0.15 ↓	0.51 ↓	0.07 ↓	21	12	*	70.83
GYA	0.11 ↑	0.04 ↑	0.06 ↑	-2	-1.45	*	41.67
SAAM	0.01 ↓	0.02 ↓	0 ↓	-0.625	-0.53		30.56
PTotal	0 ↑	0.01 ↑	0.01 ↑	3.036	2.763		95.83
NTotal	0.04 ↑	0.08 ↑	0.09 ↑	-11.12	-11.06		22.22
O.D.	0.01 ↓	0 ↑	0.01 ↑	-0.53	-0.35		59.72
pH	0 ↑	0.01 ↑	0 ↑	NA	NA		95.83
C.F.	13409.09 ↓	4170.99 ↓	4113.31 ↑	-2700000	-252500	*	37.5

4.3 RÍO FUCHA

4.3.1 CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN EL RÍO FUCHA

TRAMO I - FUCHA

La **Figura 11**, representa el cumplimiento normativo del Tramo I del río Fucha, los parámetros relacionados a continuación mantienen el valor de referencia para las dos resoluciones evaluadas; OD, DBO₅, PTotal, SST, GyA y SAAM. Lo cual conlleva a que no se presenten variaciones en el porcentaje de cumplimiento.

Para los determinantes de calidad OD y SST si bien aumentaron su cumplimiento durante el periodo 2013 – 2017, para el periodo actual que corresponde al (2018 – 2020) se observa una disminución en el cumplimiento. Adicionalmente se evidencia un punto crítico con el determinante NTotal, pasando de un cumplimiento del 98 % (Res. 5731 de 2008) y 80 % (Res. 3162 del 2015) para el periodo histórico, a un porcentaje de cumplimiento del 63 y 38% para el periodo actual respectivamente. En cuanto a los otros determinantes se muestra una estabilidad durante el tiempo objeto de estudio, no obstante el determinante PTotal presenta un crecimiento en su porcentaje de cumplimiento manteniendo su límite normativo de 0.1 mg/L para las dos Resoluciones (**Figura 11**).

Tomando como referencia la **Tabla 22**, para el determinante DQO, si bien el cumplimiento normativo pasa de 35 mg/L (Res. 5731 del 2008) a 25 mg/L (Res. 3162 del 2015), evidenciándose una media para el periodo 2009-2020 de 22.3 mg/L el porcentaje de cumplimiento es superior al 81 % para ambas Resoluciones. Ahora bien, los determinantes CF y pH presentan valores más restrictivos, los porcentajes de cumplimiento son superiores al 78 % **Figura 11**.

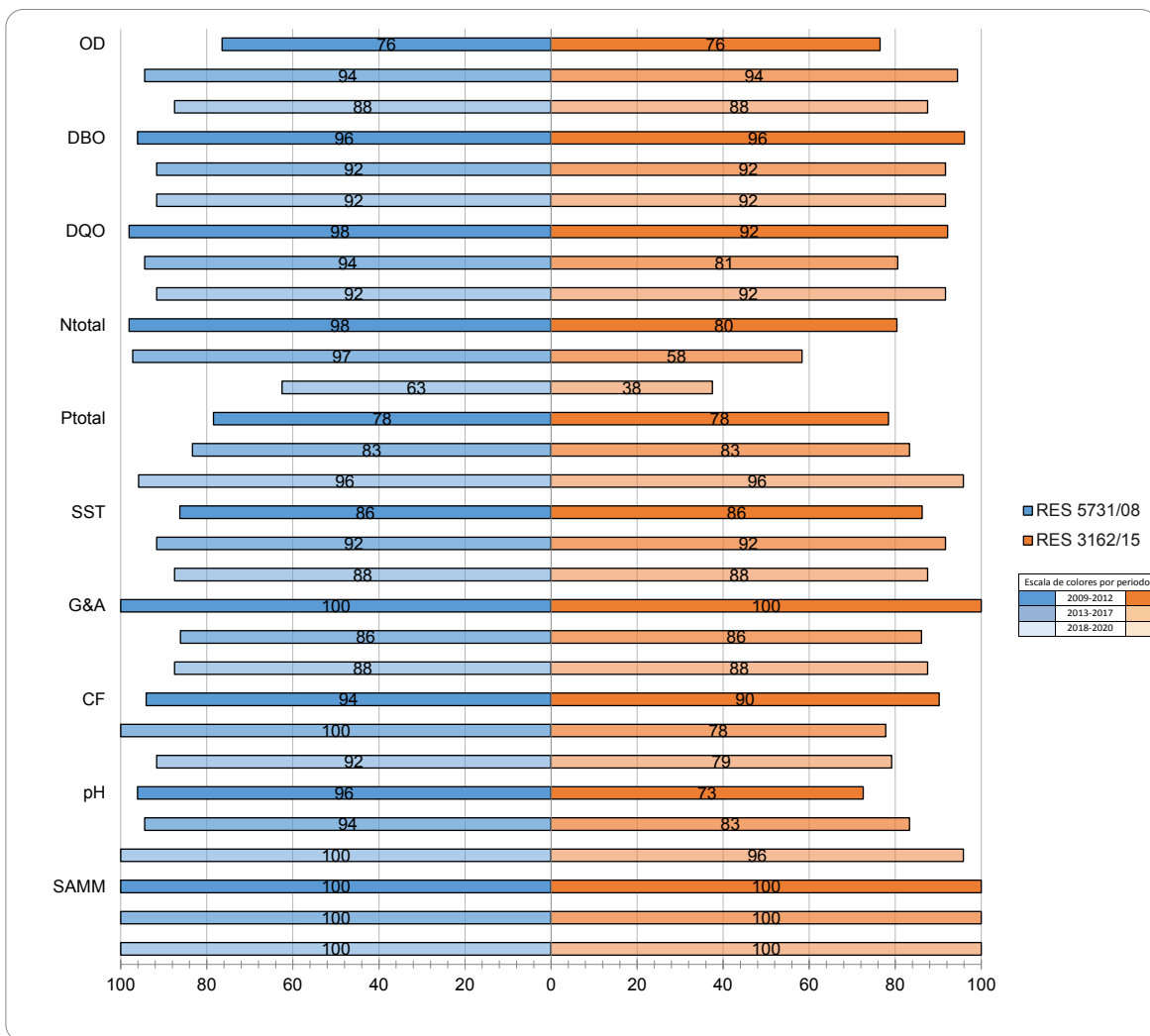


Figura 11. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Fucha Tramo I

Tabla 21. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo I del río Fucha

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GyA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	169,0	576,0	180,0	53,0	0,4	0,9	72,1	10,2	8,6	3.90E+06
Media Histórica	3,7	22,3	10,4	6,3	0,2	0,1	3,0	7,6	7,0	3.59E+04
Res. 5731	5	35	10	10	0.5	0.1	3	7	6,0-9,0	1.00E+03
Res. 3162	5	25	10	10	0.5	0.1	1.5	7	6,5-8,5	1.00E+02*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO II - FUCHA

Para el tramo II del río Fucha los determinantes OD, DBO₅, DQO, NTotal, PTotal, SST, GyA y CF no superan el 68 % de cumplimiento para la Res. 5731 del 2008 y 46 % para la Res. 3162 del 2015, exceptuando el pH que registra un porcentaje de cumplimiento superior al 97 % para ambas Resoluciones y el determinante SAAM que muestra un 94% de cumplimiento para el periodo 2018-2020 de la Res. 5731 del 2008.

Si se observa la **Tabla 22**, se evidencia que la media histórica periodo (2009-2020) para los determinantes DBO₅, DQO, SST, GyA, SAAM, NTotal y CF son superiores al valor de referencia para ambas resoluciones, se puede inferir que históricamente el comportamiento en las concentraciones se mantiene en el tiempo, sin que exista un avance significativo en términos de saneamiento **Figura 12**.

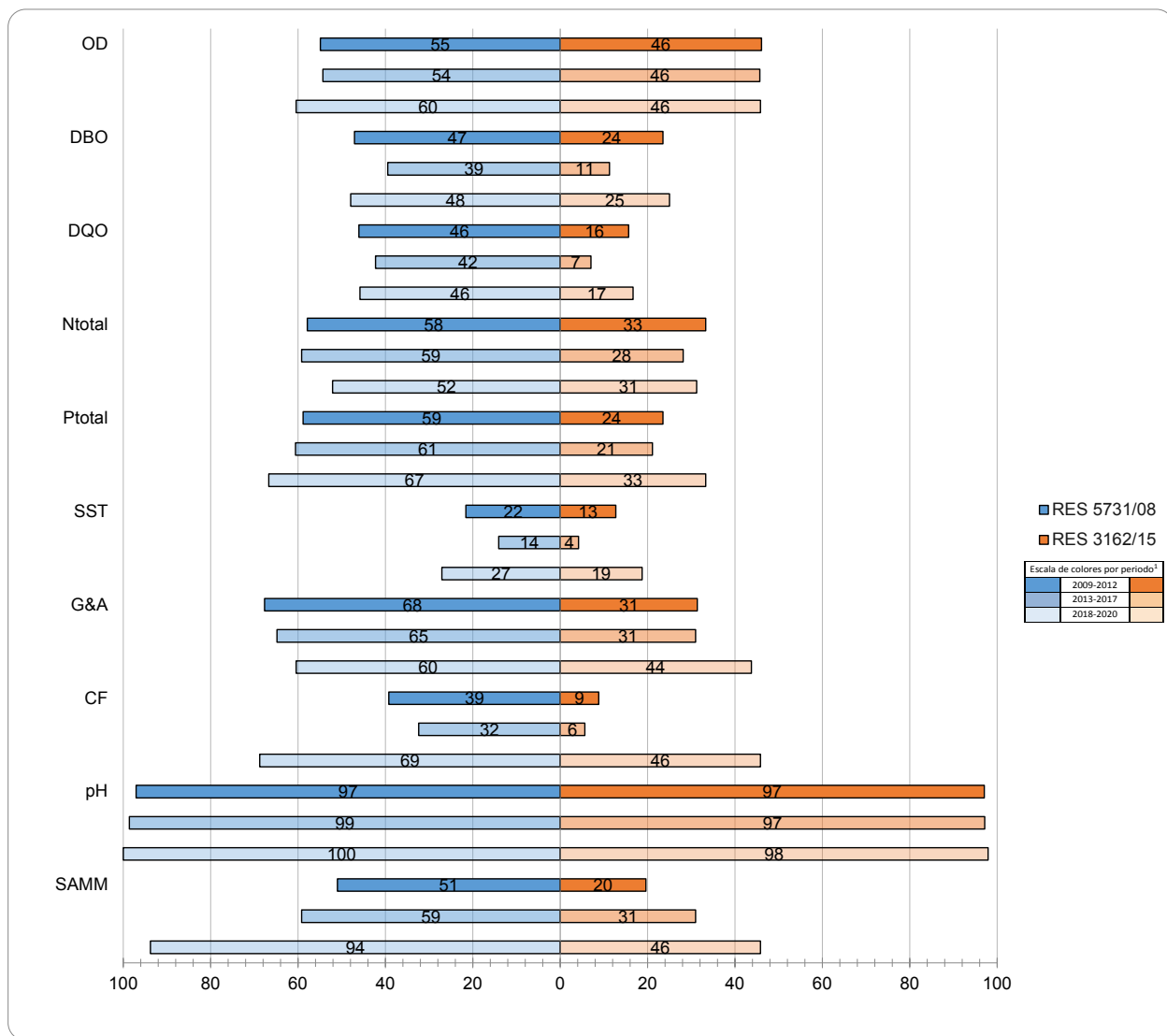


Figura 12. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Fucha Tramo II

Tabla 22. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo II del río Fucha

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	342,0	727,0	527,0	248,0	14,6	11,2	79,4	9,4	9,1	2.40E+08
Media Histórica	76,5	187,1	91,3	25,3	3,1	2,6	20,9	4,1	7,6	1.07E+07
Res. 5731	50	150	30	25	3	3	20	4	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	20	40	15	10	1	1	10	5	6,5-8,5	1.00E+05*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO III - FUCHA

La **Figura 13**, representa el cumplimiento normativo del Tramo III del río Fucha. Cabe resaltar que para este tramo se observa una diferencia porcentual de significativa de cumplimiento entre las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015. Para la primera resolución los porcentajes de cumplimiento superiores al 60 % para la mayoría de los determinantes durante los tres periodos considerados. Mientras que al comparar las concentraciones con los valores de referencia de la Res. 3162 de 2015, de los 10 determinantes de calidad evaluados, sólo el pH logra superar el 90 % de cumplimiento para los tres períodos, los demás determinantes no logran sobrepasar el 35 % de cumplimiento, registrando porcentajes inferiores a 15% para NTotal, DBO₅ y DQO en el periodo 2018-2020.

El porcentaje que se observa para los parámetros (OD, DBO₅, DQO, PTotal) muestra una diferencia significativa que se ve reflejada en el cumplimiento normativo, debido al cambio en la magnitud en la concentración para cada determinante, establecido entre las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015, pasando de 0.2 a 4.0 mg/L para OD, 250 a 20 mg/L para DBO₅, 400 a 40 mg/L para DQO y de 8 a 1 mg/L para PTotal. (ver **Tabla 24**).

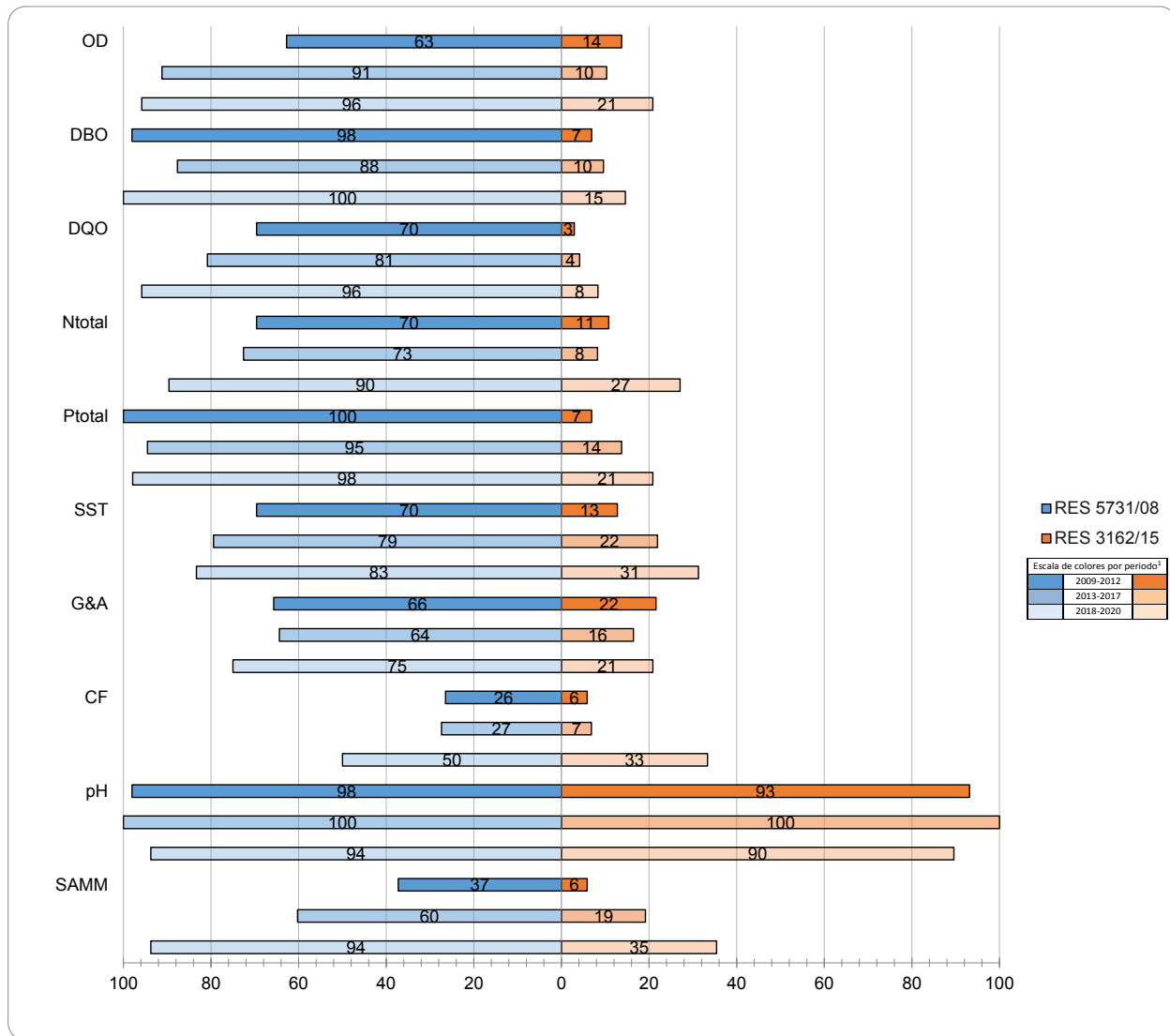


Figura 13. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Fucha Tramo III

Tabla 23. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo III del río Fucha

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	346,0	831,0	612,0	268,0	16,1	10,5	75,9	8,5	9,4	1.10E+10
Media Histórica	113,7	275,1	113,4	32,5	4,2	3,6	29,1	1,6	7,8	8.18E+07
Res. 5731	250	400	150	40	4	8	40	0.2	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	20	40	50	10	1	1	10	4.0	6,5-8,5	1.00E+05*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO IV - FUCHA

En la **Figura 14** **Error! Reference source not found.**, se muestra un comportamiento similar al gráfico del tramo III, ya que se evidencia un cumplimiento mayor para la Res. 5731 de 2008. Es importante resaltar que el pH fue el único determinante que obtuvo un cumplimiento mayor al 90 % para los tres periodos, y por el contrario los determinantes más críticos en ambas resoluciones fueron DQO, NTotal y CF, que no superan el 34 % de cumplimiento. Adicionalmente se observa que varios determinantes registran 0 % de cumplimiento para la Res. 3162 de 2015, es el caso de la (DBO₅, DQO y NTotal).

En la **Tabla 25** se observa una disminución en magnitud significativa en los valores objetivo para varios de los determinantes evaluados, registrando concentraciones que pasan de 250 a 20 mg/L para DBO₅, 400 a 40 mg/L para DQO y 40 a 10 mg/L para NTotal, evidenciando que bajo las condiciones actuales el comportamiento medio de estos determinantes es muy lejano al objetivo de calidad establecido en la Res. 3162 de 2015 **Figura 14**.

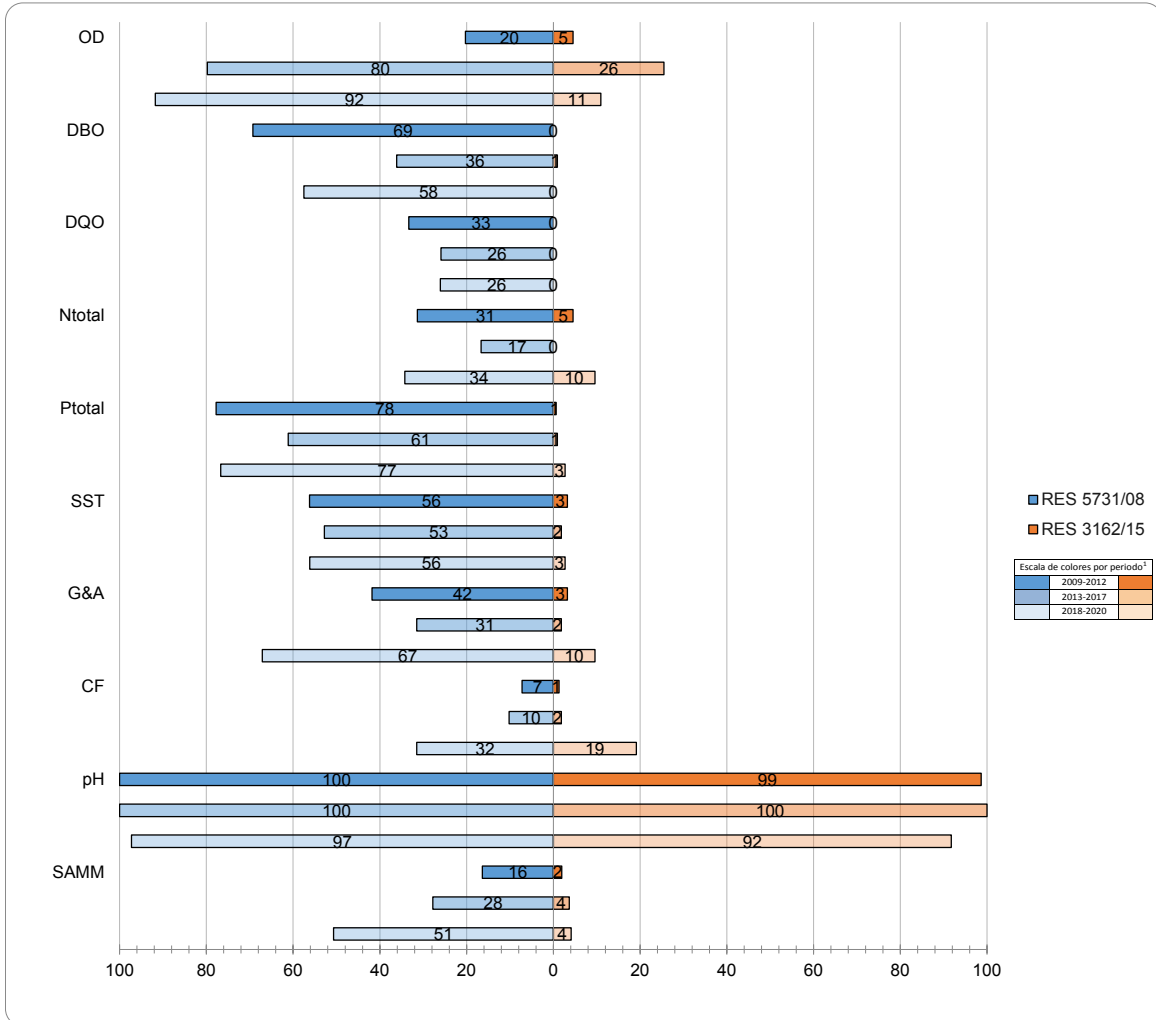


Figura 14. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Fucha Tramo IV

Tabla 24. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo IV del río Fucha

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100mL]
Máx. Histórico	2070,0	13007	52100,0	16547,0	94,9	258,0	292,1	3,7	9,8	4.30E+09
Media Histórica	248,7	592,8	427,8	175,2	7,3	8,4	53,3	0,5	7,6	1.18E+08
Res. 5731	250	400	200	60	4	8	40	0.2	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	20	40	50	10	1	1	10	1.0	6,5-8,5	1.00E+05*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

4.3.2 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO FUCHA

Para identificar los cambios que han tenido cada uno de los diez determinantes de calidad del agua y por cada uno de los puntos de monitoreo que conforma el río Fucha a lo largo de los años, se realizaron gráficos de tendencia como los presentados en la **Figura 15**. En cada recuadro de la figura aparece una línea de color que representa el comportamiento del determinante y su magnitud se observa en el eje vertical en escala logarítmica (con excepción en los C.F.) desde el año 2009 al 2020 (es, decir el eje horizontal). La línea de color negro es un ajuste de curvas a datos mediante suavizados que son estimados por medio de una regresión local ponderada en la que el ajuste en x se realiza utilizando únicamente observaciones, y con representar si visualmente existe o no tendencia en las series de tiempo de cada determinante. Por último, la línea de color rojo representa el valor del objetivo de calidad conforme a lo establecido en la Resolución 3162 de 2015.

Los gráficos que se presentan a continuación corresponden al punto de monitoreo Av. Ferrocarril, río Fucha. Para los demás puntos sus respectivas figuras pueden ser consultadas en el Anexo B. En general, se observa en el punto Av. Ferrocarril que la mayoría de las series de tiempo de los

Página 69 de 99

determinantes se presenta una condición estable, es decir ni reducción ni incremento como ocurre en DQO, pH, NTotal, GYA, OD y PTotal; y decreciente en DBO₅, SAAM y CF, y en levemente creciente en OD.

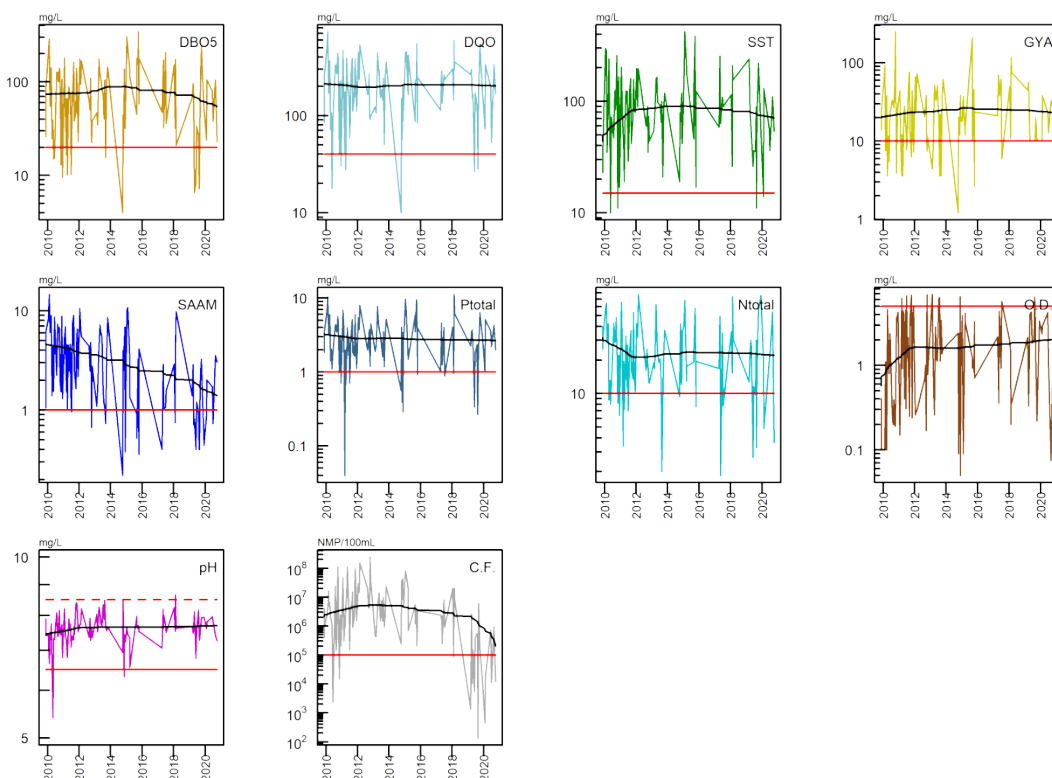


Figura 15. Series de tiempo de los diez determinantes de la calidad del agua, sus respectivas líneas de tendencia (color negro) y valor del objetivo de calidad conforme la Res. 3162 de 2015 – Punto de monitoreo Av. Ferrocarril, río Fucha – Eje vertical en escala \log_{10}

TRAMO I - FUCHA

El cumplimiento de los objetivos de calidad del agua en el tramo I del río Fucha ha estado por encima del 75 % en la mayoría de los determinantes, con excepción de NTotal que ha tenido un incremento en su concentración para el segundo periodo, como lo refleja su ΔC (Tabla 25).

Los resultados de los ΔC para el primer y segundo periodo reflejan que las concentraciones de los determinantes DBO₅, DQO, NTotal, SST, OD y C.F. se han mantenido o reducido, pero sin llegar a mantener en el tiempo el 100 % del cumplimiento de los objetivos. En cuanto a GyA y SAAM, se evidenció que en el segundo periodo estos determinantes incrementaron significativamente sus concentraciones frente al primero, pero no condujo a que se generen grandes incumplimientos frente a los objetivos de calidad.

El pH se mantiene en el rango de objetivo y rara vez se presenta un incumplimiento, y cuando este ocurre es porque los valores son menores al límite inferior del rango del objetivo de calidad.

Tabla 25. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo I del río Fucha

Determinante	Puntos de monitoreo	Tramo I			
		FU-Delirio	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia
DBO ₅	0.01 ↑	3	3		91.67
DQO	0.04 ↑	7.1	15		91.67
SST	0 ↑	5	6	*	87.5
GYA	0.04 ↑	4	0	*	87.5

Determinante	Puntos de monitoreo	Tramo I			
		FU-Delirio	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia
SAAM	0↑	0.4	0.1	*	100
PTota I	0↑	0.04	0.04		95.83
NTota I	0↑	0.85	-0.5	*	37.5
O.D.	0.01↑	-0.845	-1.305	*	87.5
pH	0↑	NA	NA		95.83
C.F.	0↑	81	86.5		79.17

Las flechas hacia arriba de **color azul** representan tendencias de incremento mientras que las flechas hacia abajo de **color verde** son tendencias de reducción, ambas estadísticamente significantes con base en los resultados de la prueba de Mann-Kendall [p valor < 0.05].

TRAMO II - FUCHA

De los diez determinantes evaluados solo dos (SAAM y C.F.) tiene una tendencia significativa decreciente en los puntos de monitoreo del tramo II. Sin embargo, esto no ha repercutido sustancialmente en el cumplimiento de sus objetivos de calidad.

En general, se observa que los ΔC de todos determinantes y para ambos periodos reflejan que la mayoría de los registros presentan concentraciones que incumplimiento los objetivos de calidad, menos critica en el segundo periodo donde el ΔC en la mayoría de los determinantes es menor. Es decir, que no se evidencia una mejora en ninguno de los determinantes que conlleve el cumplimiento de sus objetivos, con excepción del pH.

Tabla 26. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Fucha

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo II			
	FU-KR7	FU-Ferroca	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.12↑	0.04↓	-90	-32	*	25.00
DQO	0.19↓	0.03↓	-131	-126.5		16.67
SST	0.17↓	0.18↑	-77	-40	*	18.75
GYA	0.05↑	0.02↑	-9	-6.95		43.75
SAAM	0.01↓	0.03↓	-1.88	-0.285		45.83
PTota I	0↓	0↓	-1.4	-1.1655		33.33
NTota I	0.03↑	0.04↓	-9.21	-9.56		31.25
O.D.	0↑	0.01↑	1.13	0.735		45.83
pH	0↑	0↑	NA	NA		97.92
C.F.	4542.98↓	19230.77↓	-3400000	-51155	*	45.83

TRAMO III - FUCHA

De la forma muy similar a lo reportado en el tramo II del río Fucha ocurre su tramo III. Se presenta concentraciones menores el segundo periodo en los determinantes DBO₅, DQO, NTotal, SST, PTotal, OD y C.F., tal como lo refleja el valor sus ΔC con respecto al primer periodo. Sin embargos estas reducciones han sido insuficientes para que el cumplimiento de sus objetivos calidad sea superior al 50% (ver **Tabla 27**).

Los ΔC del segundo periodo de GyA y OD, reflejan mayor y menores concentraciones respectivamente, que en ambos casos conllevan a menores porcentajes de cumplimiento de sus objetivos. Finalmente, el pH no tiene tendencia según la prueba de Sen Slope, pero en algunos registros de los puntos de monitoreo exceden el límite superior del rango del objetivo de calidad.

Tabla 27. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo III del río Fucha

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo III			
	FU- Americas	FU- Boyaca	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.02↑	0.37↓	-110	-59.5	*	14.58
DQO	0.57↓	2.29↓	-191	-156		8.33
SST	0.22↓	0.45↓	-42	-26		31.25
GYA	0.01↓	0.11↓	-11	-13.5		20.83
SAAM	0.03↓	0.05↓	-2.18	-0.795	*	35.42
PTotal	0↓	0.01↓	-2.62	-1.6645		20.83
NTotal	0.09↓	0.16↓	-17.1	-10.115	*	27.08
O.D.	0.01↑	0.01↑	2.86	3.17		20.83
pH	0↑	0↓	NA	NA		87.5
C.F.	9148.58↓	24675.32 ↓	-2300000	-917000	*	33.33

TRAMO IV - FUCHA

El tramo IV del río Fucha presenta las condiciones más críticas en la calidad de sus aguas, ya que en nueve de sus diez determinantes reportan cumplimiento de sus objetivos en menos del 20 % de sus registros para el periodo 2018-2020 (ver **Tabla 28**). Además, para ese mismo periodo en los determinantes DQO y SST, y OD sus concentraciones (ΔC) son mayores y menores lo reportado para el periodo 2014-2017, respectivamente. Esta condición se ve reflejado en mayores incumplimientos de los objetivos de calidad. Mientras que para los demás determinantes se presenta una reducción en sus concentraciones, pero insuficiente para dar cumplimiento a sus objetivos de calidad.

De esta manera el pH resulta es el único determinante con porcentajes de cumplimiento superiores al 90 %, pero que en los puntos de monitoreo FU-VisionC y FU-ZFranca sus registros, por lo general, son muy próximos al límite superior del rango del objetivo calidad.

Tabla 28. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo IV del río Fucha

Determinante	Puntos de monitoreo			Tramo IV			
	FU-VisionC	FU-ZFranca	FU-Alameda	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.38↑	0.41↑	0.01↓	-270	-204	*	0
DQO	0.33↓	0.18↓	0.87↓	-443.5	-475		0
SST	0.18↑	0.01↓	0.04↑	-125.5	-133		2.74
GYA	0.27↓	0.3↓	0.14↓	-69.5	-36	*	9.59
SAAM	0.05↓	0.04↓	0.04↓	-4.77	-2.99	*	4.11
PTotal	0↑	0↑	0↑	-5.88	-5.611		2.74
NTotal	0.03↑	0.01↑	0.06↑	-47.66	-44.9		9.59
O.D.	0↑	0.01↑	0↑	0.545	0.42	*	10.96
pH	0↑	0↑	0↑	NA	NA		91.78
C.F.	63829.79↓	238805.97↓	50000↓	-2.7E+07	-6390000	*	19.18

4.4 RÍO SALITRE

4.4.1 CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN EL RÍO SALITRE

TRAMO I - SALITRE

La Resolución 3162 de 2015 mantiene la misma concentración en tres (3) de los diez (10) determinantes establecidos como objetivos de calidad (OD, SST, GyA), lo cual muestra porcentajes de cumplimiento iguales en ambas resoluciones. De estos tres determinantes el OD registra el menor porcentaje de cumplimiento en el periodo 2009-2012, con un valor de 67 % **Figura 16**. Para los otros dos determinantes, los porcentajes de cumplimiento están por encima del 75 % (Res. 5731 de 2008) y 54 % (Res. 3162 de 2015). Para el periodo actual (2018-2020) la DQO presenta un menor porcentaje de cumplimiento (54 %)

Observando la **Tabla 30**, se puede inferir que la media histórica (2009-2020) de los determinantes de calidad (DBO₅, SST, GyA, SAAM, PTotal, C.F.) es inferior al valor de la concentración establecida en la Resolución 3162 del 2015, evidenciando su alto porcentaje de cumplimiento. En cuanto a los determinantes DQO y NTotal, y si bien la media histórica es superior al valor objetivo actual, no hay una diferencia significativa. Para el parámetro OD los valores se mantuvieron en 7 mg/L en ambas resoluciones, mostrando una media histórica superior a este valor 7.3 mg/L.

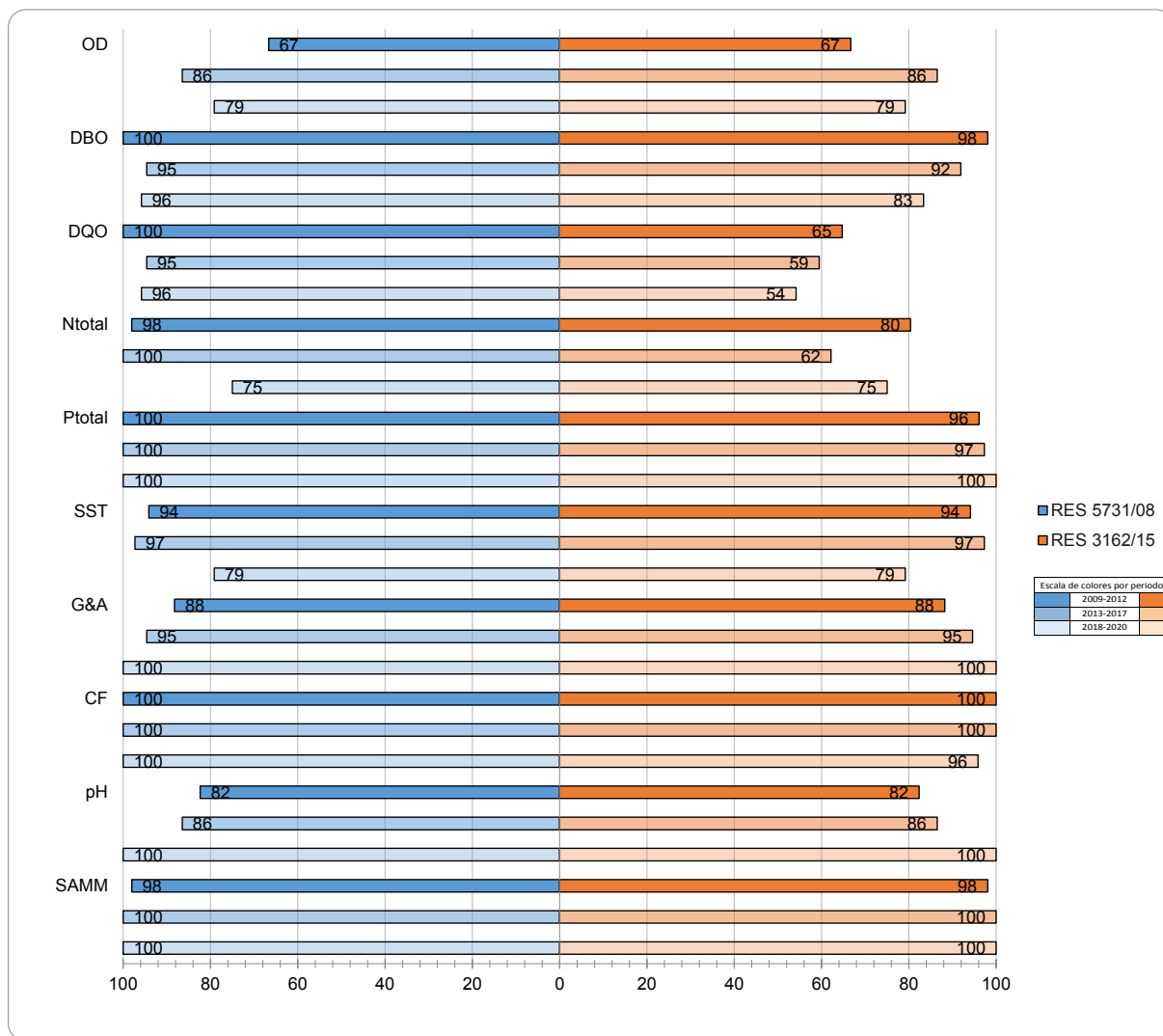


Figura 16. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Salitre Tramo I

Tabla 29. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo I del río Salitre

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GyA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	9,0	77,0	28,0	113,0	1,7	0,9	54,8	10,7	7,9	1.01E+04
Media Histórica	1,8	11,3	5,0	7,4	0,2	0,1	2,3	7,3	6,6	6.29E+02
Res. 5731	5	35	10	10	1	1	5	7	6,0-9,0	1.00E+05
Res. 3162	3	10	10	10	0.5	0.4	1.5	7	6,0-8,5	1.00E+04*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO II - SALITRE

La **Figura 17** muestra porcentajes de cumplimiento entre el 50 y 100 % para todos los determinantes Res. 5731 de 2008, siendo el determinante crítico los CF con porcentajes de cumplimiento del 50 %, seguido por SST con 58 %, NTotal, DQO, GyA con 63 %, y DBO₅ con un 69 % para periodo (2009-2012). Para los periodos 2013-2017 y 2018-2020 todos los determinantes de calidad presentan porcentajes de cumplimiento superiores al 81 %. Con respecto a la evaluación de la Res. 3162 de 2015 para la mayoría de los determinantes se observa un cumplimiento del 63 % para el periodo actual (2018-2020), sin embargo, los parámetros NTotal, DQO, DBO₅ se determinan como críticos con base en su porcentaje de cumplimiento que es del 33 % para el periodo actual (2018-2020).

En la **Tabla 31**, se observa que la media histórica para los determinantes SST y GyA, son superiores al valor objetivo establecido en la Res. 5731 de 2008, lo que conlleva implícitamente a un porcentaje de incumplimiento mayor para la Res. 3162 de 2015.

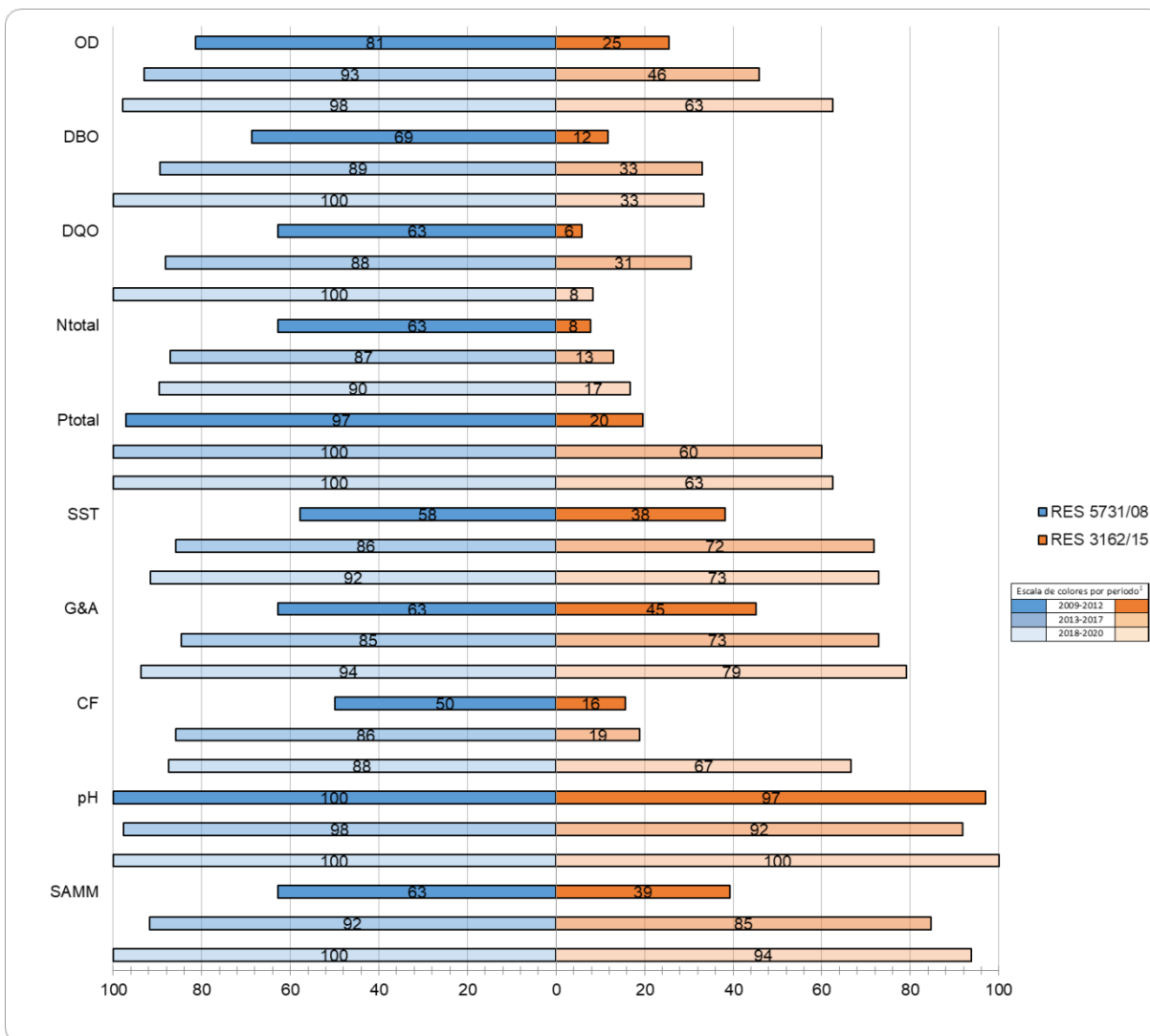


Figura 17. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - Río Salitre Tramo II

Tabla 30. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo II del río Salitre

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GyA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	880.0	4540.0	810.0	13.6	6.5	56.7	0.8	9.5	9.2	1.10E+09
Media Histórica	37.4	108.4	94.1	21.5	1.6	1.3	12.3	5.7	7.5	9.66E+06
Res. 5731	80	200	80	20	3	6	20	2	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	3	10	25	10	1	0.4	1.5	7	6,5-8,5	1.00E+05*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO III - SALITRE

El comportamiento del cumplimiento de los objetivos que se presenta en la **Figura 18** muestra variaciones predominantemente inferiores al 25 % si se comparan los porcentajes determinados para las dos resoluciones evaluadas, específicamente para los periodos 2013-2017 y 2018-2020. Respecto al porcentaje de cumplimiento se observa que la mayoría de los determinantes de calidad, para el periodo actual, presentan un porcentaje superior al 54 % de cumplimiento con respecto al objetivo de calidad, únicamente para GyA y CF el porcentaje es de 46 %. En términos generales los porcentajes de cumplimiento en el periodo 2013-2017 y 2018-2020 son similares en magnitud teniendo como referencia el objetivo de calidad establecido en la Resolución 3162 del 2015.

La media histórica para los parámetros GyA, CF y SAAM es superior al valor de la concentración establecido en ambas resoluciones, mientras que para OD, NTotal y PTotal la media histórica es inferior a las concentraciones objetivo, sin embargo, esta condición no se ve representada en los porcentajes de cumplimiento lo que indica una alta variabilidad en la calidad del agua del tramo.

Tabla 32.

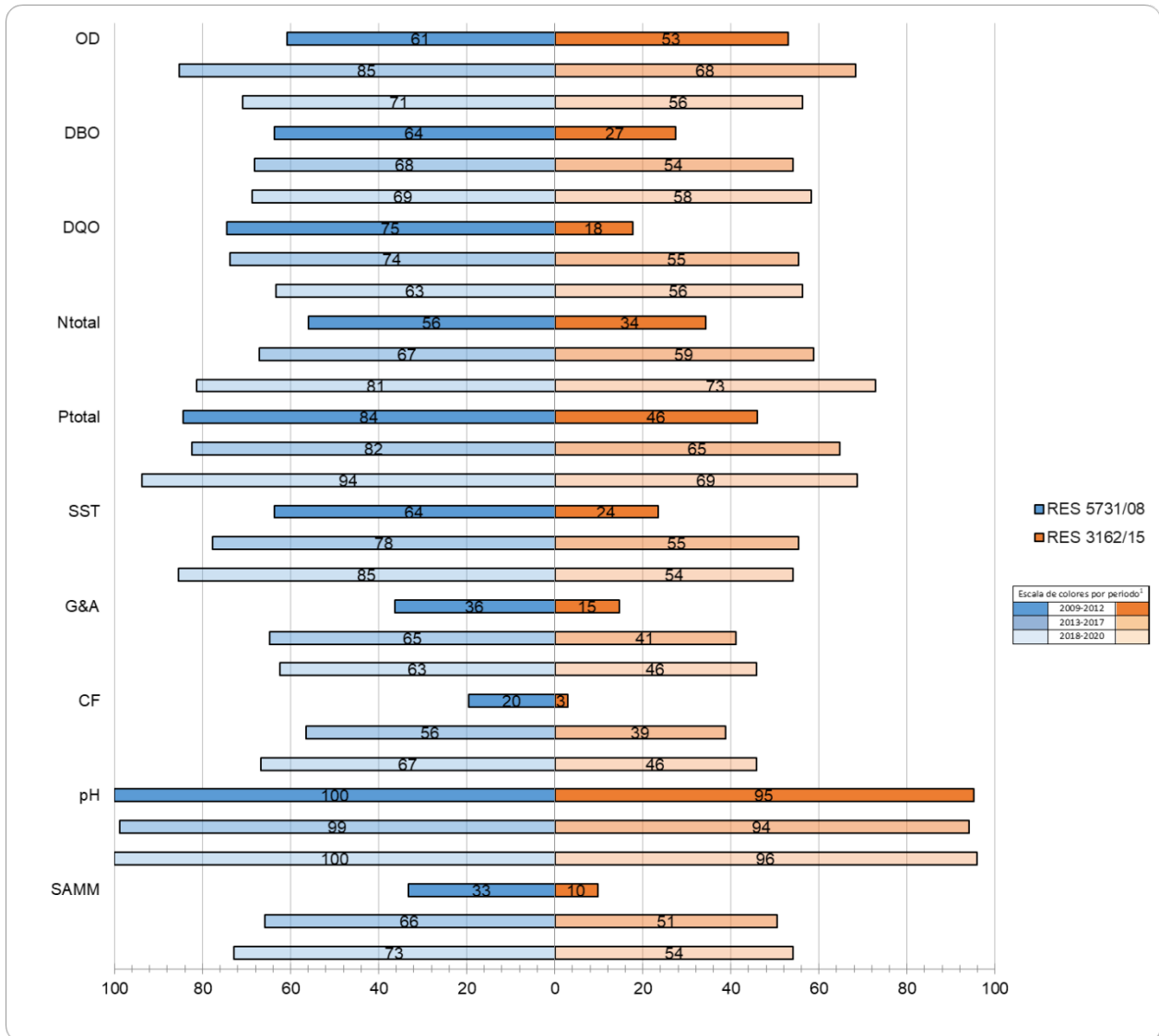


Figura 18. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - río Salitre Tramo III

Tabla 31. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo III del río Salitre

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	880.0	4540.0	263.0	15.4	20.3	70.8	5.9	9.5	9.2	1.10E+09
Media Histórica	100.8	242.8	128.5	40.4	4.0	3.4	27.6	3.0	7.7	2.77E+07
Res. 5731	150	350	150	30	3	6	40	0.5	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	60	120	60	10	1	4	30	1	6,5-8,5	1.00E+05

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

TRAMO IV - SALITRE

La **Figura 19** muestra un intervalo de cumplimiento muy amplio para la Res. 5731 del 2008 observando un incumplimiento generalizado para el OD en el periodo (2009-2012), y para CF y SAAM en los periodos (2009-2012 y 2013-2017), donde los porcentajes son inferiores al 26 %, cabe destacar que para los demás determinantes se tienen porcentajes de cumplimiento superiores al 40 %. Con respecto a la Res. 3162 del 2015 se puede evidenciar que los determinantes DQO, GyA, CF Y SAAM presentan una condición crítica con porcentajes de cumplimiento inferiores al 26 %, para todos los periodos evaluados.

Si bien, se muestra un aumento en el porcentaje de cumplimiento para el determinante OD en el periodo actual (2018 - 2020), debido a que en la Res. 3162 del 2015 se estableció un valor inferior, la media histórica para este determinante es de 0.6 mg/L, que representa una condición totalmente anaerobia (**Tabla 33**).

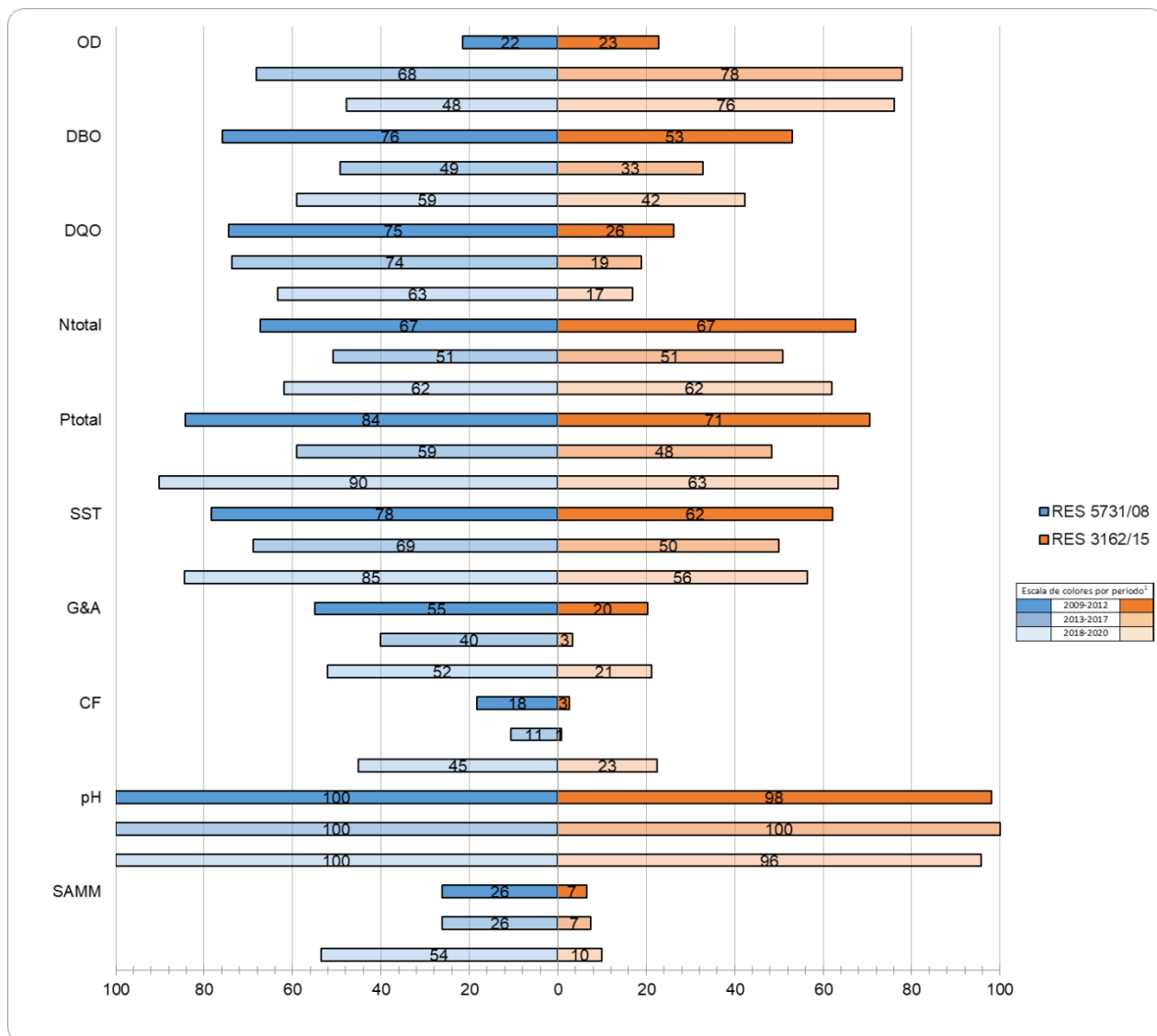


Figura 19. Comparación normativa multitemporal del porcentaje de cumplimiento de los objetivos de calidad - río Salitre Tramo IV

Tabla 32. Comparación entre los valores de los registros históricos (2009-2020) y los objetivos de calidad del agua de las resoluciones 5731 de 2008 y 3162 de 2015 para el tramo IV del río Salitre

	DBO ₅ [mg L ⁻¹]	DQO [mg L ⁻¹]	SST [mg L ⁻¹]	GYA [mg L ⁻¹]	SAAM [mg L ⁻¹]	PTotal [mg L ⁻¹]	NTotal [mg L ⁻¹]	O.D. [mg L ⁻¹]	pH (Und)	C.F. [NMP/100 ml]
Máx. Histórico	5112.0	4149.0	462.0	38.6	20.8	77.9	17.7	5.6	8.6	2.40E+11
Media Histórica	127.8	298.3	134.4	47.8	5.3	4.7	34.7	0.6	7.5	7.22E+08
Res. 5731	150	350	150	30	3	6	40	0.5	6,0-9,0	1.00E+06
Res. 3162	100	160	100	10	1	5	40	0.3	6,5-8,5	1.00E+05*

* El objetivo de calidad para el determinante Coliformes Fecales corresponde al valor definido en la Resolución 5731 de 2008 para un periodo de diez (10) años

4.4.2 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SALITRE

Para identificar los cambios que han tenido cada uno de los diez determinantes de calidad del agua y por cada uno de los puntos de monitoreo que conforma el río Salitre a lo largo de los años, se realizaron gráficos de tendencia como los presentados en la **Figura 20**. En cada recuadro de la figura aparece una línea de color que representa el comportamiento del determinante y su magnitud se observa en el eje vertical en escala logarítmica (con excepción en los C.F.) desde el año 2009 al 2020 (es, decir el eje horizontal). La línea de color negro es un ajuste de curvas a datos mediante suavizados que son estimados por medio de una regresión local ponderada en la que el ajuste en x se realiza utilizando únicamente observaciones, y con representar si visualmente existe o no tendencia en las series de tiempo de cada determinante. Por último, la línea de color rojo representa el valor del objetivo de calidad conforme a lo establecido en la Resolución 3162 de 2015.

Los gráficos que se presentan a continuación corresponden al punto de monitoreo Carrefour, río Salitre. Para los demás puntos sus respectivas figuras pueden ser consultadas en el Anexo B. En general, se observa en el punto Carrefour las series de tiempo de los determinantes DQO, DBO₅,

SST, PTotal, pH y GyA presentan una condición estable, es decir ni reducción ni incremento, mientras que una tendencia decreciente se presenta en NTotal, SAAM CF y OD, a partir del año 2017.

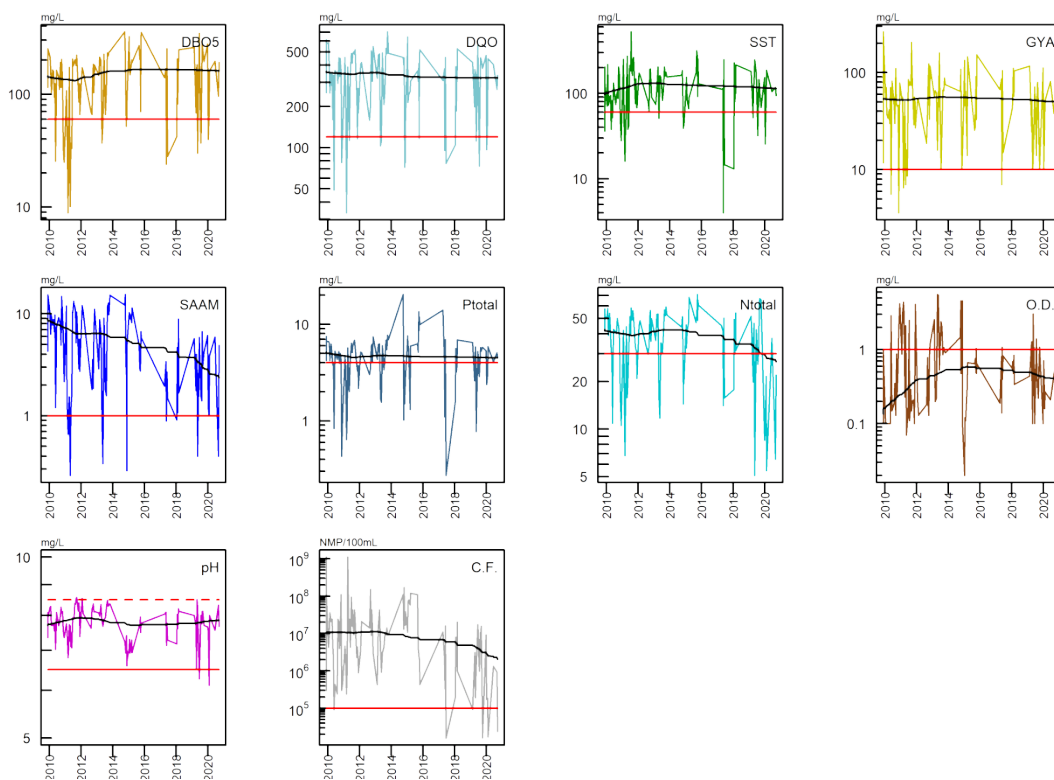


Figura 20. Series de tiempo de los diez determinantes de la calidad del agua, sus respectivas líneas de tendencia (color negro) y valor del objetivo de calidad conforme la Res. 3162 de 2015 – Punto de monitoreo Carrefour, río Salitre - Eje vertical en escala \log_{10}

TRAMO I - SALITRE

En la **Tabla 33**, se observa que durante el periodo 2009-2020 siete de los diez determinantes presentan una tendencia creciente significativa, pero para el periodo 2018-2020 DBO₅, DQO, SST y PTotal reportaron iguales o menores concentraciones frente al periodo 2014-2017. Esto también aplica para el OD, pero de forma opuesta.

Con respecto a GyA, NTotal, SAAM y C.F. se evidenciaron incrementos en sus concentraciones para el periodo 2018-2020. A pesar de esta condición los cumplimientos de los objetivos de calidad en la mayoría de los determinantes fueron superiores 75 % (incluido el pH), con excepción de la DQO que fue 54.17 %.

Si bien se tiene porcentajes de cumplimiento del 100 % para GyA y SAAM existe una tendencia sostenida de incremento significativa, y por tanto se debe revisar en el monitoreo la actividad o fenómeno que hasta generando esta condición este tramo de río Salitre. En cuanto al PTotal se sugiere ajustar su objetivo a un valor de 0.3 mg/L como consecuencia del cumplimiento actual y de la tendencia de sus datos en el periodo 2018-2020.

Tabla 33. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo I del río Salitre

Determinante	Puntos de monitoreo	Tramo I			
	SA-ParqNal	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.01↑	1	1		83.33
DQO	0.05↑	0	0		54.17

Determinante	Puntos de monitoreo	Tramo I			
	SA-ParqNal	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
SST	0.02 ↑	5	5.75		79.17
GyA	0.03 ↑	4	0	*	100
SAAM	0 ↑	0.43	0.1	*	100
PTotal	0 ↑	0.23	0.292		100
NTotal	0 ↓	0.853	0.5		75
O.D.	0.01 ↑	-0.46	-0.725		79.17
pH	0 ↑	NA	NA		100
C.F.	0.16 ↑	9980	9600	*	95.83

Las flechas hacia arriba de **color azul** representan tendencias de incremento mientras que las flechas hacia abajo de **color verde** son tendencias de reducción, ambas estadísticamente significantes con base en los resultados de la prueba de Mann-Kendall [p valor < 0.05].

TRAMO II - SALITRE

En general, en el tramo II se presenta una tendencia decreciente en las concentraciones de la mayoría de los determinantes y predominando más en el punto de monitoreo SA-CL53. Esta mejora repercute en la calidad del río, pero ha resultado insuficiente para que esto se refleje en los porcentajes de cumplimiento que para el periodo 2018-2020 no superaron 94 %. Incluso, la DQO y el NTotal tienen los porcentajes de cumplimiento más bajos de 8.33 % y 16.67 %, respectivamente, para el periodo 2018-2020, como consecuencia de un incremento sostenido de sus concentraciones (ver **Tabla 34**). Determinantes como SST, DBO₅, PTotal y C.F. reportan que la diferencia con respecto a sus objetivos a incrementado en el segundo periodo de análisis, como lo refleja sus ΔC . Sin embargo, esta condición no es constante y los cumplimientos son inferiores al 73 %. Por otra parte, SAAM y GyA tienen porcentajes de cumplimiento superiores al 75 %, pero sus ΔC reflejan incremento en sus concentraciones en el segundo periodo con respecto al primero.

En cuanto al OD, se evidencia mayores concentraciones en el segundo periodo, pero 37 % de las veces que se monitorea incumple el objetivo de calidad. A pesar de que el pH es el único determinante que tiene un 100 % de cumplimiento del objetivo tiene una amplia variabilidad que en ocasiones se aproxima al límite inferior o superior del rango del objetivo de calidad.

Tabla 34. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo II del río Salitre

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo II			
	SA-Arzobis	SA-CL53	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.05↓	0.3↓	-3	-1.6		33.33
DQO	0.18↓	1.03↓	-6	-10.35		8.33
SST	0.05↓	0.4↓	14	15.5		72.92
GYA	0.03↑	0.09↓	4	0	*	79.17
SAAM	0↓	0.01↓	0.83	0.6	*	93.75
PTotal	0↓	0.01↓	0.101	0.126		62.5
NTotal	0.01↓	0.1↓	-1.14	-2.75	*	16.67
O.D.	0.01↑	0.03↑	0.25	-0.44	*	62.5
pH	0↑	0↓	NA	NA		100
C.F.	1041.67↓	9283.45↓	65000	98498.5	*	79.17

TRAMO III - SALITRE

En la **Tabla 35**, aparece que nueve de los diez determinantes tiene incrementos en sus concentraciones en el periodo 2018-2020 frente al 2014-2017, tal como lo reflejan sus ΔC . Esta condición genera que los porcentajes de cumplimiento en la mayoría de los nueve determinantes sea inferior al 70 % con excepción del NTotal y los C.F.

En cuanto al pH, se observa un comportamiento muy similar obtenido en el tramo anterior, pero con un cumplimiento del objetivo inferior como consecuencia de las descargas sanitarias y pluviales (con conexiones erradas) que son monitoreadas en el punto SA-Carrefo.

Tabla 35. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, mediana diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo III del río Salitre

Determinante	Puntos de monitoreo		Tramo III			
	SA-CL53	SA-Carrefo	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.3↓	0.19↑	41.00	25.00		58.33
DQO	1.03↓	0.12↓	71.50	34.96		56.25
SST	0.4↓	0.03↑	38.75	13.00		54.17
GYA	0.09↓	0.03↓	-1.00	-3.00	*	45.83
SAAM	0.01↓	0.02↓	0.63	0.22	*	54.17
PTotal	0.01↓	0↓	3.43	2.65		68.75
NTotal	0.1↓	0.02↓	25.95	17.40		72.92
O.D.	0.03↑	0↑	-3.57	-1.21		56.25
pH	0↓	0↓	NA	NA		93.75
C.F.	9283.45↓	28571.43↓	-5000	-88150		45.83

TRAMO IV - SALITRE

En la **Tabla 36**, se identifica que la DQO es único de los diez determinantes que tiene incrementos en sus concentraciones en el periodo 2018-2020 frente al 2014-2017, tal como lo reflejan sus ΔC . Esta condición genera que su porcentaje sea igual 16.9 %. En el caso del OD se representa una reducción en sus concentraciones que conlleva a un cumplimiento del 76.06 %.

Los determinantes SAAM, DBO₅, SST, NTotal, PTotal, GyA y C.F. presentan reducción en sus concentraciones en el segundo periodo favoreciendo la calidad del agua del tramo IV del río Salitre. Sin embargo, la mejora no es constante y esto se refleja en que los porcentajes de cumplimiento de sus objetivos estén entre 9 % al 64 %. Finalmente, el pH registrado en los puntos de monitoreo del tramo IV tiende a permanecer en la mitad del rango del objetivo y las veces que se generan incumplimientos se caracterizan por sobrepasar el límite superior del objetivo.

Tabla 36. Valor de la pendiente de la tendencia obtenida con la prueba Sen Slope, las medianas de las diferencias con respecto a los objetivos y porcentaje de cumplimiento en los diez determinantes registrados en los puntos de monitoreo que conforman el tramo IV del río Salitre

Determinante	Puntos de monitoreo			Tramo IV			
	SA-Carrefo	SA-Tv91	SA-Alameda	$\Delta C_{\text{PERIODO-1}}$	$\Delta C_{\text{PERIODO-2}}$	WC. significancia	Cumplimiento [%]
DBO ₅	0.19↑	0.37↑	0.79↑	-69.50	-32.00	*	42.25
DQO	0.12↓	0.15↑	1.07↑	-106.00	-148.00		16.9
SST	0.03↑	0.02↑	0.25↑	3.65	3.30		56.34
GYA	0.03↓	0↓	0.16↑	-23.90	-18.00	*	21.13
SAAM	0.02↓	0.03↓	0.03↓	-3.53	-1.81	*	9.86
PTotal	0↓	0.01↑	0.02↑	-0.90	0.76	*	63.38
NTotal	0.02↓	0.03↑	0.18↑	-3.32	7.80	*	61.97
O.D.	0↑	0↑	0↑	-0.25	-0.18		76.06
pH	0↓	0↑	0↑	NA	NA		94.37
C.F.	28571.43 ↓	4614.84↓	0↑	-1.4E+07	-1100000	*	22.54

5 OBJETIVOS DE CALIDAD

La información recolectada en la actividad de monitoreo que lleva a cabo la RCHB ha permitido consolidar en el tiempo un conjunto de datos para caracterizar el comportamiento de la calidad del agua en los ríos Tunjuelo, Fucha, Torca y Salitre desde su ingreso al perímetro urbano de la Ciudad hasta la confluencia de las fuentes hídricas al río Bogotá. De esta manera, la evaluación del cumplimiento multitemporal de los objetivos de calidad definidos en la Resolución 3162 de 2015, de las tendencias de la concentración de los diez determinantes para el periodo 2009-2020 y sus respectivos análisis fundamentan la necesidad de prorrogar los objetivos de la calidad de la Resolución 3162 de 2015 para todos los tramos de los ríos Tunjuelo, Fucha, Torca y Salitre y para todos los determinantes, con excepción de los Coliformes Fecales. Las razones que soportan esta decisión han sido expuestas en el presente documento y se resumen en los siguiente literales:

- a. Si bien se ha presentado un incremento en los porcentajes de cumplimiento de los objetivos de calidad para algunos determinantes y tramos de los ríos Tunjuelo, Fucha, Torca y Salitre, no ha sido suficiente para mantener un cumplimiento igual al 100 %, es decir una mejora en la calidad del agua constante en el tiempo.
- b. Tener objetivos de calidad más estrictos en la Resolución 3162 de 2015 frente a los establecidos a cuatro (4) años en la Resolución 5731 de 2008, demostró que más allá del cambio en la magnitud de los valores objetivo, las concentraciones cuantificadas por la RCHB en los determinantes han permanecido a lo largo de los años, como lo reflejan los porcentajes de cumplimiento estimados para cada resolución en los tres periodos evaluados.
- c. Los análisis de tendencia permitieron validar el argumento del anterior literal, ya que para varios determinantes y puntos de monitoreo de los cuatro ríos se evidenció una reducción estadísticamente significativa de los valores de concentración, pero insuficiente para garantizar un constante cumplimiento para la totalidad los objetivos de la calidad. Las reducciones se han presentado principalmente desde el año 2016 o 2017 en los tramos I

y II, mientras que en los demás tramos predomina una condición estable como consecuencia de la limitada implementación de las medidas determinadas para el saneamiento de los ríos en los términos y condiciones establecidas en el PSMV.

- d. Para el año 2017, se realizó la actualización del PSMV de la ciudad de Bogotá, En este ejercicio se presentaron diferentes escenarios de intervención sobre vertimientos y cargas contaminantes y se realizó la comparación con los objetivos de calidad de los tramos de los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo establecidos en la resolución 3162 del 2015, para los determinantes: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Oxígeno Disuelto (OD); con el fin de establecer la priorización de actividades en el mediano y largo plazo, enfocadas en la reducción de carga de contaminante que debía estructurarse y hacer parte integral del PSMV.

Para tal fin se realizó la corrida de los escenarios de saneamiento en el Modelo Dinámico de Calidad de Agua del Distrito Capital, permitiendo desarrollar un análisis de los escenarios de intervención, por medio de los perfiles longitudinales de calidad hídrica para cada uno de los tramos de los ríos principales, y la evaluación de la evolución espacial de los referidos determinantes de calidad. Los análisis se incluyeron en el numeral 5 del Concepto Técnico No. 06320 del 17/11/2017 de la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo. Este análisis derivó en la emisión de la Resolución No. 03428 del 04/12/2017, por la cual se aprobó el PSMV.

Por lo tanto, y considerando la vigencia del PSMV (2027), resulta imperativo avanzar en el esquema de saneamiento de la ciudad de Bogotá, cuyo desarrollo traerá consigo el mejoramiento de la calidad de los ríos del Distrito Capital, que permita realizar un análisis periódico al cumplimiento de los objetivos de calidad para determinar la viabilidad de realizar el ajuste a las concentraciones objetivo, de forma consecuente y articulada con las medidas adoptadas, a fin de garantizar un manejo integral para la reducción de la contaminación en la cuenca hidrográfica de los ríos de la ciudad y del Río Bogotá.

- e. Los objetivos de calidad de los coliformes fecales son los únicos que cambiarán su magnitud y unidades de medida en cada uno de los tramos de los ríos Tunjuelo, Fucha, Torca y Salitre. Esto se debe a que en la modelación de calidad del agua ejecutada por la Universidad de los Andes en el marco del convenio 1520 de 2014 con la SDA, se

establecieron los objetivos de calidad de la Resolución 3162 de 2015, que para el caso de los CF la unidad de medida fue Unidades Formadoras de Colonias (UFC / 100 mL). Esta unidad difiere de la que se tiene de los registros históricos del determinante en los puntos de monitoreo de la RCHB que es Número Más Probable (NMP / 100 mL). Condición consecuente con las unidades utilizadas para realizar el seguimiento a la gestión integral del recurso hídrico en Colombia. De esta manera, los objetivos de calidad para CF en los tramos de los ríos Tunjuelo, Fucha, Torca y Salitre serán los establecidos en el artículo tercero de la Resolución 5731 de 2008 a diez (10) años.

En la siguiente tabla, se presentan los objetivos de calidad del agua para los tramos de Tunjuelo, Fucha, Torca y Salitre desde el año 2021.

Tabla 37. Objetivos calidad del agua para los tramos que conforman los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca desde el año 2021

Determinante	Unidad	Río Torca		Río Salitre				Río Fucha				Río Tunjuelo			
		T1	T2	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
pH- Mínimo	Unidad	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
pH- Máximo	Unidad	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
OD	mg/L	8	1	7	7	1	0.3	7	5	4	1	7	5	2	0.1
DBO ₅	mg/L	5	80	3	3	60	100	5	20	20	20	5	20	30	20
DQO	mg/L	20	200	10	10	120	160	25	40	40	40	10	30	50	50
SST	mg/L	10	50	10	25	60	100	10	15	50	50	10	120	140	60
GyA	mg/L	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
SAAM	mg/L	0.5	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1
PTotal	mg/L	1	5	0.4	0.4	4	5	0.1	1	1	1	0.4	1	3	3
CF	NMP/100mL	1.0E+04	1.0E+05	1.0E+04	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+02	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+02	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05
NTotal	mg/L	1.5	8	1.5	1,5	30	40	1.5	10	10	10	3	10	10	10

6 CONCLUSIONES

La evaluación realizada para el río Tunjuelo presenta un comportamiento que evidencia la afectación sobre el recurso desde el tramo I al tramo IV, como consecuencia de las descargas procedentes de la red de alcantarillado público de la ciudad de Bogotá, de manera directa o a través de las subcuencas que confluyen al río. Adicionalmente, allí se presenta el vertimiento de la planta de lixiviados del Relleno Sanitario Doña Juana.

El incremento de las concentraciones obtenidas para los determinantes de calidad evaluados, indica mayores aportes de carga contaminante a lo largo del río Tunjuelo. Si bien no en todos los determinantes y tramos se presenta un incremento de las concentraciones, las condiciones continúan siendo muy similares a las que históricamente se han registrado, lo que se refleja en la poca variabilidad en los porcentajes de cumplimiento para los tres periodos evaluados.

Un comportamiento similar se presenta en el tramo I del río Torca destacándose el incremento de la concentración de Coliformes Fecales y Nitrógeno total y la disminución de la concentración obtenida para Oxígeno disuelto. Para el tramo II se evidencia una leve mejora en la calidad del agua, determinada por una reducción en la concentración para mayoría de los determinantes evaluados, pero que resulta insuficiente para que exista una condición constante del cumplimiento de los objetivos.

Los resultados históricos obtenidos en los análisis realizados en el río Fucha permiten evidenciar una afectación a medida que el río fluye a lo largo del Distrito Capital, que se hace más evidente a la altura del punto de monitoreo Av. Ferrocarril en donde existe un incremento significativo en las concentraciones obtenidas para los determinantes de calidad, que se asocia directamente con las descargas del sistema de alcantarillado combinado en las subcuencas Albina y Río Seco. En el tramo IV el río Fucha recibe el mayor aporte de carga contaminante, relacionado con la magnitud de las concentraciones y caudales que provienen de los interceptores Boyacá, Fucha, Sur y Kennedy aumentando significativamente la concentración de materia orgánica, GyA, SST, SAAM, PTotal, NTotal y CF. La concentración de los determinantes transportados por el río Fucha, se ve

reflejada en el incumplimiento de los objetivos de calidad para los tramos II, III y IV, y en menor proporción en el tramo I.

Respecto al río Salitre, su tramo I no evidencia afectaciones considerables sobre el recurso, toda vez que, las concentraciones obtenidas para los determinantes de calidad muestran valores asociados a condiciones naturales del recurso. A partir del tramo III la calidad se ve afectada debido a la confluencia de los vertimientos localizados entre los puntos de monitoreo Calle 53 y Carrefour Av. 68, lo que se refleja en la disminución del porcentaje cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos en la Resolución 3162 del 2015, aun cuando el comportamiento histórico del cuerpo de agua no presenta variaciones significativas a lo largo de los años.

Es importante resaltar que si bien para algunos determinantes y especialmente para los tramos asociados con la parte alta de la cuenca de los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca se presenta una tendencia estadísticamente significativa en la reducción de sus concentraciones en el tiempo, que se ha venido presentando con más claridad y significancia desde los años 2016 o 2017, no ha sido suficiente para garantizar un constante cumplimiento para la totalidad los objetivos de la calidad. De manera opuesta, principalmente en los tramos III y IV de los ríos Tunjuelo, Fucha y Salitre predomina una condición estable en las concentraciones de los determinantes, lo cual, permite inferir que si bien se cuenta con objetivos de calidad más restrictivos, no ha habido una mejora significativa en la calidad del agua, que conlleve a una tendencia al cumplimiento de los objetivos a través del tiempo y en todo momento. Lo anterior refleja la necesidad expresa del cumplimiento de las medidas determinadas para el saneamiento de los ríos, en los términos y condiciones establecidas en el PSMV.

Los objetivos de calidad del agua establecidos en la Resolución 3162 de 2015 deben ser prorrogados desde el año 2021 para los determinantes DBO₅, DQO, pH, OD, PTotal, NTotal, SAAM y GyA para los tramos de los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca, que se justifica en los resultados y análisis presentados en el presente documento técnico. Para el determinante CF se acogerán los objetivos definidos en la Resolución 5731 de 2008 a diez (10) años con base en las razones expuestas en el numeral 5 de presente informe y que tendrán vigencia desde el año 2021.



SECRETARÍA DE
AMBIENTE

Teniendo en cuenta que resulta imperativo avanzar en el esquema de saneamiento de la ciudad de Bogotá, cuyo desarrollo traerá consigo el mejoramiento de la calidad de los ríos del Distrito Capital, se debe realizar un análisis periódico al cumplimiento de los objetivos de calidad para determinar la viabilidad de realizar el ajuste a las concentraciones objetivo, de forma consecuente y articulada con las medidas adoptadas, a fin de garantizar un manejo integral para la reducción de la contaminación en las cuencas hidrográficas de los ríos de la ciudad y del Río Bogotá.

Página 96 de 99

REFERENCIAS

- Gregory J. Pelletier, Steven C. Chapra, and Hua Tao. 2006. Short communication: QUAL2Kw - A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration. *Environ. Model. Softw.* 21, 3 (March, 2006), 419–425. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.002>
- Kendall, M. G. (1975) Rank Correlation Methods. Griffin, London, UK.
- Lees, M. & Camacho-Botero, Luis. (1984). Extension of the QUASAR river water quality model to incorporate dead-zone mixing. *Hydrology and Earth System Science*. 2. 10.5194/hess-2-353-1998.
- Mann, H. B. (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245–259.
- Resolución 3162 de 2015 [Secretaría Distrital de Ambiente]. Por la cual se establecen los objetivos de calidad para el año 2020 y la meta global de carga contaminante de los cuerpos de agua del perímetro urbano de Bogotá, D.C. y las metas individuales de la carga contaminante 2016 – 2020, y se adoptan otras determinaciones. 30 de diciembre de 2015.
- Resolución 5731 de 2008 [Secretaría Distrital de Ambiente]. Por la cual se deroga la Resolución 1813 de 2006 y se adoptan nuevos objetivos de calidad para los Ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca en el Distrito Capital. 30 de diciembre de 2008.
- Universidad de los Andes (UniAndes). 2007. Concentraciones de referencia para los vertimientos industriales realizados a la red de alcantarillado y de los vertimientos industriales y domésticos efectuados a cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá - informe Objetivos de Calidad. Secretaría Distrital de Ambiente - Universidad de Los Andes Convenio 045 de 2007. Numeral 5. Bogotá D.C., Colombia.

Tipo archivo	Cumplimiento 2009-2020.xlsx
Cantidad archivo	Uno (1)
Comprimido	No

Anexo B. Figuras de las series de tiempo de los diez determines de la calidad del agua y sus tendencias en los puntos de la RCHB

Tipo archivo	*.png
Cantidad archivo	28
Comprimido	Figuras_tendencia.zip

Anexo C. Resultados de los análisis de tendencia (pruebas Mann-kendall y Sen Slope) en cada punto de monitoreo y contraste con la prueba Wilcoxon en los tramos de los ríos de la RCHB

Tipo archivo	*.csv
Cantidad archivo	38
Comprimido	Pruebas_tendencia.zip