

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe Técnico No. 07126, 30 de diciembre del 2025

INFORME TÉCNICO

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA, WQI, EN LOS TRAMOS DE LA RED DE CALIDAD HÍDRICA DE BOGOTÁ-TRADICIONAL PARA PERIODO 2024-2025



2025

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

INFORME TÉCNICO:
**ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA, WQI, EN LOS TRAMOS DE LA RED DE CALIDAD
HÍDRICA DE BOGOTÁ-TRADICIONAL PARA PERIODO 2024-2025**

ELABORÓ:

DAVID ZAMORA
Profesional Técnico de Apoyo

HARRISON RINCÓN
Profesional Técnico de Apoyo

REVISÓ

DAVID FELIPE PÉREZ SERNA
Coordinador Grupo Recurso Hídrico Superficial

APROBÓ

CARLOS ARTURO ÁLVAREZ MONSALVE
Subdirector del Recurso Hídrico

Página 2 de 43

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN EJECUTIVO	5
INTRODUCCIÓN	11
1 MATERIALES Y MÉTODOS	12
1.1 MONITOREOS DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN LOS PUNTOS DE LA RCHB	12
1.2 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA – WQI	15
2 RESULTADOS	16
2.1 MONITOREOS DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN LOS PUNTOS DE LA RCHB	16
2.2 EVALUACIÓN DEL INCUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD	19
2.2.1 INCUMPLIMIENTO EN TRAMOS INICIALES	20
2.2.2 INCUMPLIMIENTO LOS SEGUNDOS TRAMOS	21
2.2.3 INCUMPLIMIENTO LOS TERCEROS TRAMOS	22
2.2.4 INCUMPLIMIENTO EN LOS ÚLTIMOS TRAMOS	22
2.3 EVALUACIÓN DEL WQI PARA EL PERIODO 2024-2025	23
2.3.1 WQI EN EL RÍO FUCHA	24
2.3.2 WQI EN EL RÍO TORCA	26
2.3.3 WQI EN EL RÍO TUNJUELO	27
2.3.4 WQI EN EL RÍO SALITRE	28
2.3.5 COMPARACIÓN INTERANUAL	30
2.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE WQI EN LA RCHB-T	31
2.4.1 EXTENSIÓN DE LA CATEGORÍA BUENA	32
2.4.2 EXTENSIÓN DE LA CATEGORÍA ACEPTABLE	33

2.4.3	EXTENSIÓN DE LA CATEGORÍA MARGINAL	34
2.4.4	APARICIÓN DE LA CATEGORÍA POBRE	35
2.4.5	ANÁLISIS COMPARATIVO INTERANUAL	35
2.5	EVOLUCIÓN DEL WQI EN EL PERIODO 2014 A 2025	36
2.5.1	ANÁLISIS DE TENDENCIAS MEDIANTE LA PRUEBA DE MANN-KENDALL	39
3	CONCLUSIONES	42
4	RECOMENDACIONES	42

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta la evaluación del Índice de Calidad del Agua (WQI) para los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo durante el periodo 2024-2025, con base en los monitoreos realizados en la Red de Calidad Hídrica de Bogotá Tradicional.

Los resultados muestran una mejora generalizada: el 46 % de la extensión monitoreada (38.37 km) se clasifica en categorías favorables (Buena y Aceptable), frente al 32 % del periodo 2023-2024. El río Torca destaca con el 100 % de su extensión en categoría Buena, mientras el río Tunjuelo mejoró sustancialmente en sus cuatro tramos. Sin embargo, persisten situaciones de relevancia para el sistema hídrico de la ciudad: el río Fucha presenta la condición más desfavorable, con su tramo medio FU-T2 en categoría Pobre, y los tramos finales del río Salitre se ubican en el límite inferior de la categoría Marginal.

El 16 % de los datos incumplió los objetivos de calidad, siendo los coliformes fecales y el nitrógeno total los parámetros que presentan una mayor excedencia, concentrados en los tramos medios y finales de los ríos. Se confirma un patrón de deterioro longitudinal asociado al impacto acumulativo del sistema de alcantarillado público.

El análisis de tendencias mediante Mann-Kendall identificó al tramo SA-T2 del río Salitre como prioritario para seguimiento y evaluación, dado su comportamiento degradativo sostenido. Se recomienda investigar las causas del deterioro en el tramo FU-T2 del Fucha.

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

Abreviatura	Descripción
EAAB-ESP	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - Empresa de Servicios Públicos
L/s	Litros por segundo
NTotal	Nitrógeno Total (NT Kjeldahl + NO ₃ + NO ₂)
OC	Objetivos de Calidad
PSMV	Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
RCHB	Red de Calidad Hídrica de Bogotá
RCHB-T	Red de Calidad Hídrica de Bogotá Tradicional
RCHB-A	Red de Calidad Hídrica de Bogotá Ampliada
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
PM	Punto de Monitoreo
mg/L	Miligramos por litro
NMP/100 ml	Número Más Probable de microorganismos (como coliformes) por cada 100 mililitros de una muestra
PM	Punto de Monitoreo
TO-T1	Tramo 1 del río Torca
TO-T2	Tramo 2 del río Torca
SA-T1	Tramo 1 del río Salitre
SA-T2	Tramo 2 del río Salitre
SA-T3	Tramo 3 del río Salitre
SA-T4	Tramo 4 del río Salitre
FU-T1	Tramo 1 del río Fucha
FU-T2	Tramo 2 del río Fucha
FU-T3	Tramo 3 del río Fucha
FU-T4	Tramo 4 del río Fucha
TU-T1	Tramo 1 del río Tunjuelo
TU-T2	Tramo 2 del río Tunjuelo
TU-T3	Tramo 3 del río Tunjuelo
TU-T4	Tramo 4 del río Tunjuelo
TU-Regadera	Regadera
TU-UAN	Universidad Antonio Nariño
TU-Yomasa	Yomasa
TU-DJuana	Doña Juana

Abreviatura	Descripción
TU-México	Barrio México
TU-SBenito	San Benito
TU-MakroS	Makro Autosur
TU-Tv86	Transversal'86
TU-PteInde	Puente Independencia
TU-IslaPon	Isla Pontón San José
FU-Delirio	El Delirio
FU-KR7	Carrera 7ª Río Fucha
FU-Ferroca	Avenida Ferrocarril
FU-Américas	Fucha Avenida Las Américas
FU-Boyacá	Fucha Avenida Boyacá
FU-VisiónC	Visión Colombia
FU-ZFranca	Fucha Zona Franca
FU-Alameda	Fucha con Alameda
SA-ParqNal	Parque Nacional
SA-Arzobispo	Arzobispo Carrera 7a
SA-CL53	Carrera 30 Calle 53
SA-Carrefour	Carrefour Av. 68
SA-Tv91	Transversal 91
SA-Alameda	Salitre con Alameda
TO-BosqueP	Bosque de Pinos
TO-CL161	Calle 161
TO-Jardpaz	Jardines de Paz
TO-Ssimón	San Simón

DETERMINANTES DE CALIDAD DEL AGUA Y UNIDADES

DETERMINANTE	ABREVIATURA	UNIDADES
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades
Temperatura Ambiente	Tamb	°C
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los cinco días	DBO ₅	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L
Fósforo Total	PTotal	mg/L
Sustancias activas al azul de metileno	SAAM	mg/L
Aceites Y Grasas	GyA	mg/L
Nitrógeno Total	Ntotal	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L
Coliformes Fecales	Col.Fec	NMP/100 mL

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Distribución de los puntos de monitoreo que conforman la Red de Calidad Hídrica de Bogotá – Tradicional.....	13
Figura 2. Cantidad de monitoreos por tramo y el porcentaje monitoreos por río con respecto al total de la RCHB en el periodo 2023-2024	14
Figura 3. Porcentaje de datos clasificados como atípicos por cada determinante y tramo de los ríos de la RCHB	18
Figura 4. Cantidad de datos clasificados como válidos frente al total de datos en cada tramo de los ríos de la RCHB en el periodo 2024 II - 2025 I.....	19
Figura 5. Cantidad de datos que incumplieron los OC en el periodo 2024-2025 clasificados por tramo y porcentajes de incumplimiento de los OC para toda la RCHB.	20
Figura 6. Clasificación de la longitud en kilómetros de los tramos de los ríos de la RCHB según su WQI para el periodo 2024-2025.....	32
Figura 7. Distribución del WQI en los tramos de la RCHB-T para el periodo 2024-2025.....	37
Figura 8. Evolución temporal de ríos los urbanos por categoría de calidad de agua según el WQI	39

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Categorización, clasificación y caracterización de los rangos del WQI	15
Tabla 2. Valores del WQI y sus factores	24
Tabla 3. Longitud de los ríos de la RCHB clasificados por WQI desde 2014 a 2025	38
Tabla 4. Análisis de tendencias en la calidad del agua por tramo - prueba Mann-Kendall	41

INTRODUCCIÓN

Las corrientes hídricas principales de la ciudad, como los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca, han sufrido durante décadas la presión de las descargas de aguas residuales de quienes habitan el Distrito Capital. En respuesta, la administración de Bogotá ha dado un paso fundamental para la recuperación de la calidad de los ríos, al construir una visión de ciudad entorno al recurso hídrico, por lo que la Secretaría Distrital de Ambiente como autoridad ambiental urbana ha adoptado el Índice de Calidad del Agua – WQI (por sus Iniciales en inglés Water Quality Index) como índice de seguimiento al estado de las principales fuentes superficiales de la ciudad. Este índice permite evaluar y clasificar la calidad del agua, simplificando datos complejos y facilitando su interpretación y comparación a lo largo del tiempo.

Con el fin de contar con los insumos técnicos para determinar la calidad de los cuerpos de agua urbanos por medio del WQI, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) opera la Red de Calidad Hídrica de Bogotá Tradicional (RCHB-T), una herramienta que monitorea treinta (30) puntos estratégicos a lo largo de los ríos principales, caracterizándolos mediante determinantes físicos, químicos y microbiológicos desde la parte alta hasta sus desembocaduras en río Bogotá. En este orden de ideas, el presente informe técnico tiene por objeto evaluar los datos de la calidad del agua de los puntos de monitoreo de la RCHB para determinar el cumplimiento o no frente a los objetivos de calidad establecidos mediante la Resolución 5731 de 2008 y con esto la estimación del WQI, para la vigencia comprendida entre el segundo semestre del año 2024 y el primer semestre del 2025.¹

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, Secretaría Distrital de Ambiente, de lo contrario se realiza la respectiva cita y referencia.

1 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se realiza una breve descripción de las generalidades de las jornadas de monitoreo de calidad y cantidad del agua que se llevaron a cabo en el periodo 2024 - 2025 en los puntos que conforman la RCHB-T. En cuanto a los aspectos metodológicos de validación de los datos (detección de datos atípicos) y la metodología para calcular el índice de calidad hídrica (WQI) se siguieron cada uno de los pasos que se encuentran detallados en el numeral 1.1 a 1.3 del Informe Técnico "ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA, WQI, EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DE LA RED DE CALIDAD DE HÍDRICA DE BOGOTÁ-TRADICIONAL PARA AÑO 2020" con proceso SDA No. 4980484.

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

La caracterización sistemática de la calidad del agua en los principales ríos de la ciudad—Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo—ha permitido consolidar una base de datos robusta de determinantes fisicoquímicos y microbiológicos que representan el estado integral de estas fuentes hídricas superficiales. Esta información constituye el insumo fundamental para la evaluación y seguimiento de la calidad del recurso hídrico urbano.

La metodología de monitoreo implementada en la Red de Calidad Hídrica de Bogotá Tradicional (RCHB-T) contempla la toma de muestras compuestas con periodicidad semestral en treinta (30) puntos de monitoreo estratégicamente distribuidos a lo largo de los sistemas hídricos: río Torca (4 puntos), río Salitre (6 puntos), río Fucha (8 puntos), río Tunjuelo (10 puntos) y río Bogotá (2 puntos) (ver Figura 1). Cada muestra compuesta se obtiene mediante la recolección de alícuotas cada media hora durante un período de dos horas, acompañada de mediciones in situ y aforo de caudal.

El programa de monitoreo contempla dos tipos de caracterización: Tipo I, ejecutado en cinco jornadas semestrales por punto, donde se analizan quince (15) determinantes, de los cuales diez (10) son empleados para el cálculo del índice WQI. Las mediciones in situ incluyen OD, pH, temperatura y conductividad, mientras que los análisis de laboratorio comprenden DBO₅, DQO, SST, GyA, SAAM, PTotal, NTotal (suma de nitrógeno Kjeldahl, nitritos y nitratos), y Coliformes

Fecales y Totales. La caracterización Tipo II, realizada una vez por semestre, amplía el espectro analítico a treinta (30) determinantes mediante la inclusión de metales pesados (arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, manganeso, mercurio, níquel, plomo y zinc), nutrientes adicionales (nitrógeno amoniacal), y otros parámetros fisicoquímicos (alcalinidad, dureza total, fenoles totales, sulfuros y cianuro total).

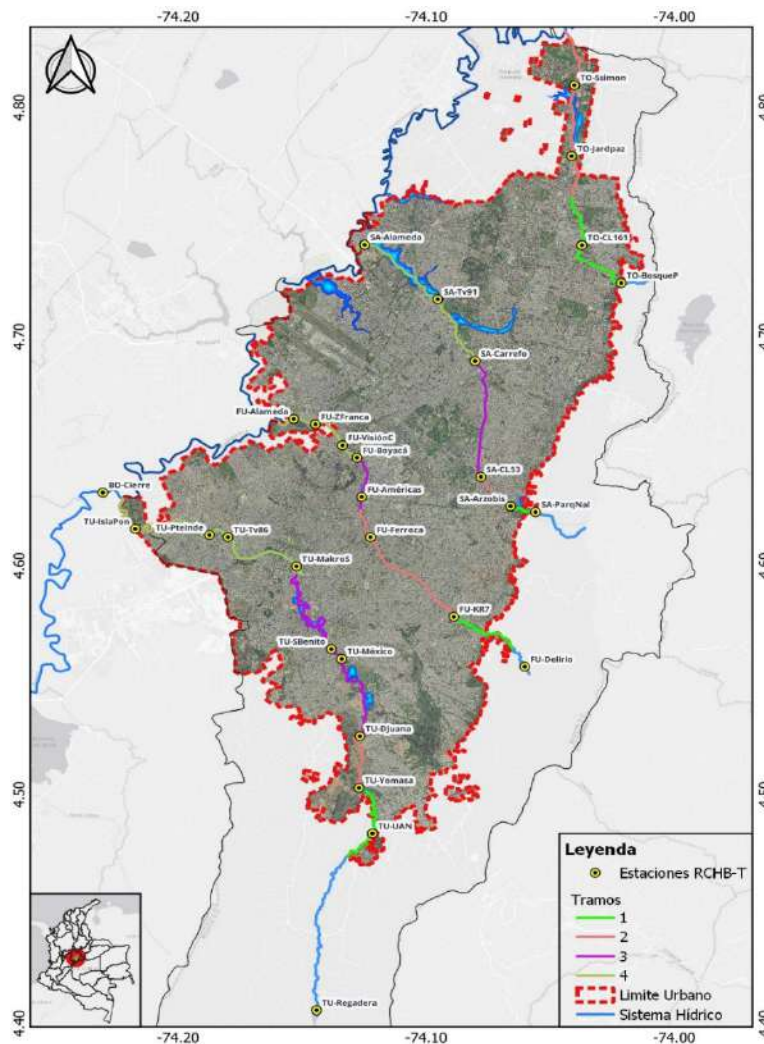


Figura 1. Distribución de los puntos de monitoreo que conforman la Red de Calidad Hídrica de Bogotá – Tradicional

Durante el periodo comprendido entre el segundo semestre de 2024 y el primer semestre de 2025, la SDA garantizó la continuidad del programa de monitoreo mediante la ejecución sucesiva de dos contratos de prestación de servicios. Esta transición contractual permitió dar continuidad a la recolección sistemática de muestras y la realización de análisis fisicoquímicos y microbiológicos en los puntos de monitoreo de la RCHB-T, asegurando el seguimiento y evaluación periódica de los determinantes de calidad de los cuerpos de agua superficiales de la ciudad. Durante el periodo evaluado, se ejecutó un total de 286 monitoreos en la RCHB-T que se utilizaron en el presente análisis. La distribución espacial de estos monitoreos, presentada en la Figura 2, evidencia una asignación diferenciada del esfuerzo de muestreo en función de las características particulares de cada sistema hídrico. El río Tunjuelo concentró la mayor proporción con 97 muestras (34 % del total), seguido por los ríos Fucha y Salitre con 83 (29 %) y 62 (22 %) muestras respectivamente. El río Torca, debido a su menor extensión longitudinal y al número reducido de puntos de control (cuatro puntos), registró 44 muestras equivalentes al 15 % del programa de monitoreo.

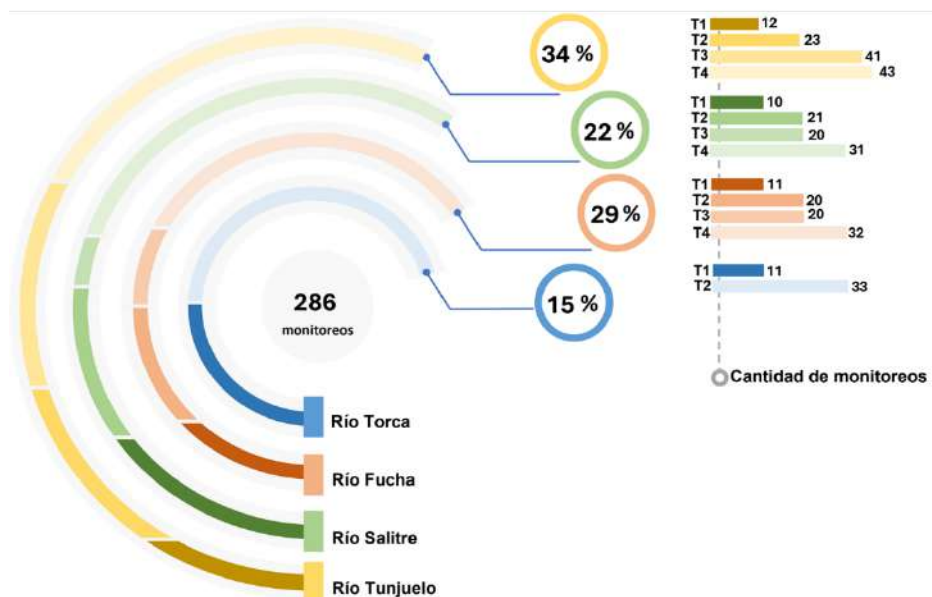


Figura 2. Cantidad de monitoreos por tramo y el porcentaje monitoreos por río con respecto al total de la RCHB en el periodo 2023-2024

1.2 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA – WQI

Los índices de calidad del agua integran múltiples datos que se recopilan de determinadas variables de calidad de agua dentro de una ecuación matemática la cual estima el estado del cuerpo de agua con un número que está dentro de una escala determinada de 0 a 100, que a su vez está dentro de una escala relativa que clasifica la calidad del agua desde pobre hasta excelente.

La administración de Bogotá adoptó como índice de calidad de agua el WQI (por sus siglas en inglés Water Quality Index), la cual tiene unos rangos numéricos y unas categorías según el número obtenido, la información base para el cálculo del índice son los monitoreos ejecutados durante el periodo.

De esta manera, el WQI determina de una forma aproximada el estado anual (junio a julio) de la calidad del recurso hídrico y con esto establecer las variaciones por tramos (espacial y temporal). Esta información es útil para planificar y ejecutar acciones priorizadas que mitiguen los factores que impactan de forma negativa la calidad del recurso hídrico. El resultado del WQI se clasifica en las siguientes categorías:

Tabla 1. Categorización, clasificación y caracterización de los rangos del WQI

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

2 RESULTADOS

A continuación, se presentan los análisis obtenidos, iniciando con la validación de los datos recopilados durante el período evaluado con el fin de verificar la integridad de la información recolectada. Posteriormente, se evalúan los resultados del índice de calidad de los tramos que conforman los principales ríos, por medio de los datos obtenidos del periodo 2024 - 2025, los cuales se sintetizan mediante diversas representaciones gráficas, lo que facilita la comprensión y la visualización de los datos obtenidos.

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

Para la determinación el WQI es necesario la detección y la eliminación de valores atípicos con el fin de reducir el riesgo de distorsiones en el cálculo y obtener resultados más representativos (fiabiles), dado que pueden influir significativamente en la clasificación general de la calidad del agua, lo que podría llevar a evaluaciones inexactas o sesgadas. En el mapa de calor (Figura 3), se muestran los porcentajes de datos atípicos por tramo por cada uno de los diez (10) determinantes evaluados representados en el eje horizontal y para cada uno de los tramos de los ríos. Los siguientes son los principales hallazgos:

El determinante Col.Fec presenta la mayor incidencia de valores atípicos, con 37 registros que representan el 12.9 % del total de datos para este determinante. Este comportamiento se observa en la totalidad de los 14 tramos que conforman los cuerpos hídricos principales, siendo particularmente evidente en el tramo inicial del río Tunjuelo (TU-T1) con tres datos atípicos, así como en los segundos tramos de Torca (TO-T2) y Tunjuelo (TU-T2) con cuatro y cinco registros respectivamente. El segundo determinante con una mayor frecuencia de atípicos correspondió a los SST, con un total de 26 registros distribuidos en 13 tramos. La mayor frecuencia de atípicos de este determinante se detectó en el segundo tramo del río Tunjuelo (TU-T2) con cuatro registros, seguido por el tercer tramo de este mismo cuerpo hídrico (TU-T3) y el segundo tramo del río Torca (TO-T2), los cuales presentaron tres registros cada uno.

En contraste, el pH muestra una alta estabilidad con ausencia de valores atípicos en 9 de los 14 tramos evaluados. Los tramos que registraron datos anómalos para este parámetro fueron el

segundo tramo del Salitre (SA-T2) con tres registros, el cuarto tramo del Tunjuelo (TU-T4) con tres datos, el cuarto tramo del Salitre (SA-T4) con dos, y el tramo inicial del Fucha (FU-T1) con un registro. Cabe destacar que el segundo tramo del Tunjuelo (TU-T2) no presentó atípicos en pH. Las GyA también exhiben una baja incidencia de atípicos con nueve registros distribuidos en seis tramos, pero ninguno de estos estuvo presente en el tramo inicial del río Tunjuelo.

El análisis de la calidad hídrica reveló que los tramos iniciales de todos los sistemas hídricos presentan la mayor concentración de valores anómalos. En el río Torca, el tramo inicial registró un 18 % de anomalías para un conjunto amplio de determinantes, incluyendo SST, DBO₅, DQO, PTotal, Col.Fec y NTotal. Por su parte, la zona alta del río Fucha mostró que SST alcanzó el 18 % de valores atípicos, mientras que pH, DBO₅, DQO, PTotal, Col.Fec y NTotal se mantuvieron en un 9 % cada uno. El tramo inicial del río Salitre evidenció un impacto más uniforme, con PTotal, Col.Fec, DBO₅ y SST alcanzando todos un 20 % de anomalías, y DQO un 10 % de los monitoreos realizados. Finalmente, en el río Tunjuelo, la mayor frecuencia de valores atípicos en su tramo de cabecera fue para Col.Fec con un 25 %, seguido de SST y NTotal con un 17%.

Finalmente, Col.Fec fue el único determinante que presentó valores atípicos en los 14 tramos evaluados, seguido de cerca por los SST y la DQO con 13 y 12 tramos, respectivamente. Los determinantes PTotal y NTotal registraron concentraciones atípicas en 9 tramos. Por otro lado, GyA y pH mostraron presencia de datos anómalos en solo seis y cinco tramos, respectivamente.

En la Figura 4 se presenta una comparación entre la cantidad de datos iniciales que incluye valores atípicos (barras horizontales grises) y el conjunto de datos finales validados después de la depuración (barras azul claro). Este análisis permite cuantificar el impacto de la depuración de datos atípicos en cada tramo.

Es pertinente precisar que ciertos puntos de monitoreo en los ríos Tunjuelo y Salitre actúan como puntos limítrofes entre tramos. Bajo este criterio metodológico, la información recolectada en dichos puntos (incluyendo datos válidos y atípicos) se incorpora en el cálculo de los índices de calidad de ambos. Los puntos sujetos a esta doble contabilización son: TU-DJuana (compartida entre T2 y T3), TU-MakroS (T3 y T4), SA-CL53 (T2 y T3) y SA-Carrefo (T3 y T4).

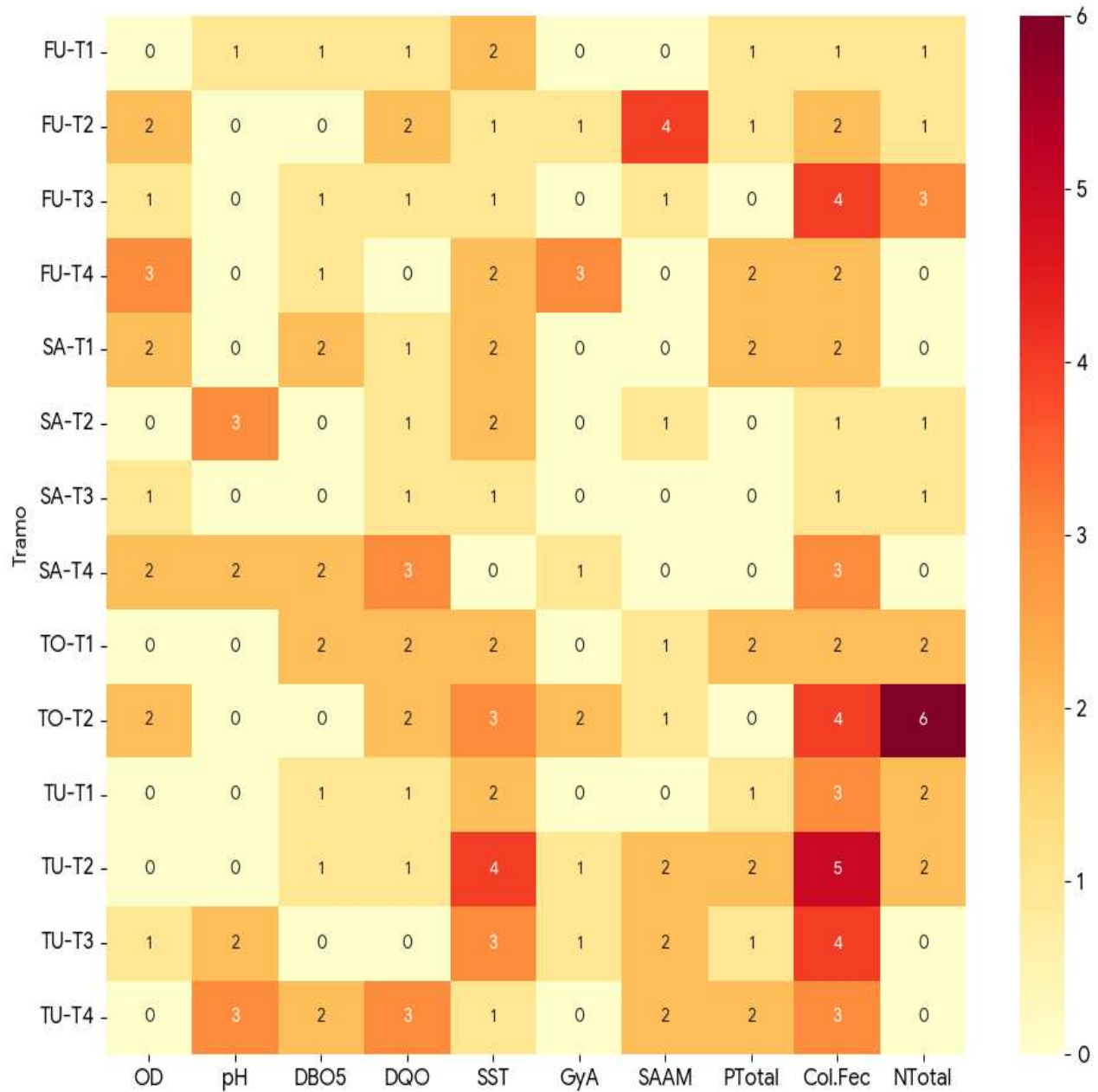


Figura 3. Porcentaje de datos clasificados como atípicos por cada determinante y tramo de los ríos de la RCHB

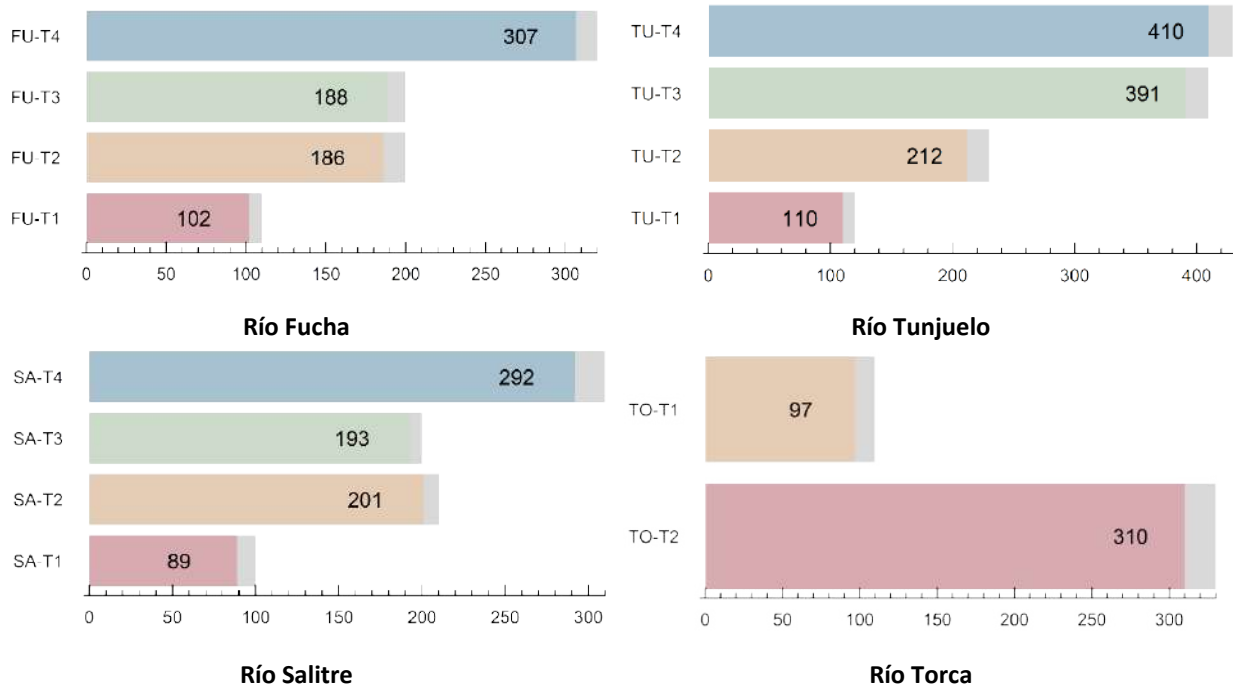


Figura 4. Cantidad de datos clasificados como válidos frente al total de datos en cada tramo de los ríos de la RCHB en el periodo 2024 II - 2025 I

2.2 EVALUACIÓN DEL INCUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD

En primer lugar, se contempla el análisis de porcentaje de incumplimiento de los objetivos de calidad de los determinantes, con base en lo definido en el artículo 3 de la resolución 5731 de 2008, para cada tramo de las fuentes hídricas principales de la ciudad por medio de una gráfica de barras apiladas (Figura 5).

En el eje horizontal de la Figura 5, se representa la cantidad de datos por determinante que no cumplieron con los objetivos establecidos, mientras que en el eje vertical se muestran los distintos tramos de cada río. Las barras horizontales están divididas en segmentos coloreados que representan los diferentes determinantes evaluados. En la leyenda se muestra el porcentaje de

los datos que incumple el objetivo de calidad con respecto a la totalidad de datos validados por determinante, para toda la RCHB-T durante el periodo evaluado.

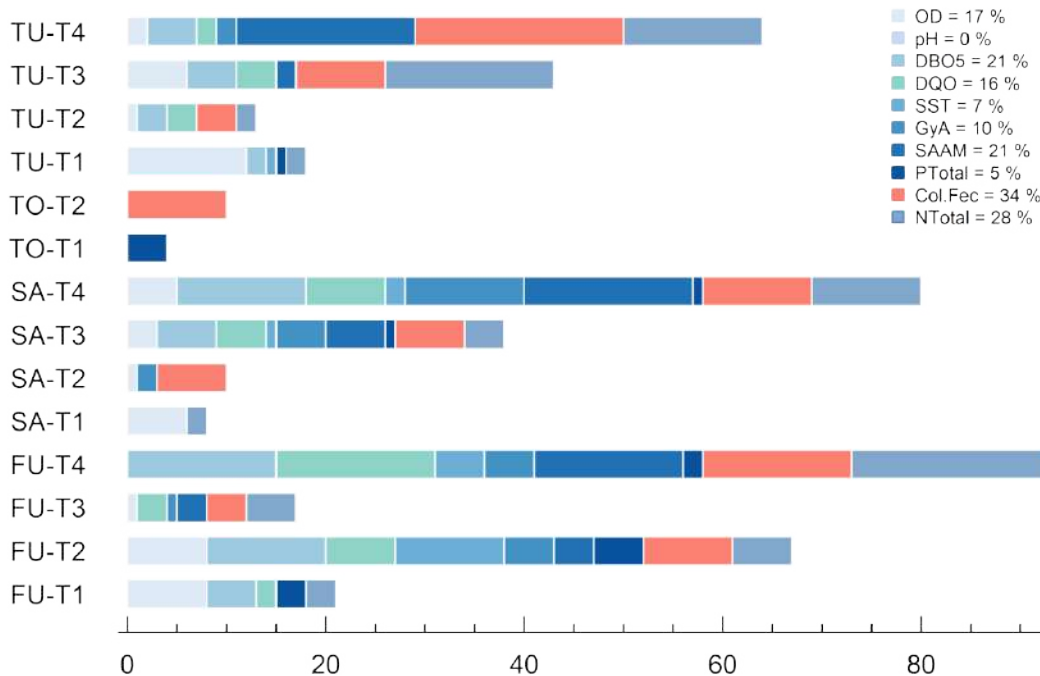


Figura 5. Cantidad de datos que incumplieron los OC en el periodo 2024-2025 clasificados por tramo y porcentajes de incumplimiento de los OC para toda la RCHB.

2.2.1 INCUMPLIMIENTO EN TRAMOS INICIALES

Al analizar los resultados relacionados con el incumplimiento de los determinantes en los tramos iniciales (TU-T1, FU-T1, SA-T1 y TO-T1), se evidencia que el determinante OD presenta la mayor cantidad de datos que no cumplen los OC en estos tramos. El porcentaje de incumplimiento más crítico se registró en TU-T1, donde el 100 % de los datos validados excedieron los límites establecidos (12 registros). Para el FU-T1, ocho (8) de los 11 registros validados no cumplieron con el valor de referencia (73 %). Respecto al SA-T1, seis (6) de los ocho (8) registros validados no

cumplieron con el valor de referencia (75 %). En contraste, el TO-T1 no presentó incumplimientos en OD, siendo este el tramo inicial con menor cantidad de incumplimientos.

Se identificó que en el TO-T1, se presentó incumplimiento únicamente en el PTotal con cuatro datos que representan el 44 % de las observaciones para este determinante. En contraste, el tramo FU-T1 evidencia incumplimientos en cinco determinantes (OD, DBO₅, DQO, PTotal y NTotal), siendo el OD el determinante que reportó una mayor frecuencia, ya que se excedió OC en un 73 % de los registros. El tramo SA-T1 presenta dos determinantes con incumplimiento (OD y NTotal), mientras que TU-T1 registra cinco determinantes (OD, DBO₅, SST, PTotal y NTotal).

Al analizar la proporción de datos que incumplieron los OC respecto al total de cada tramo inicial, se puede establecer que el tramo con menor incidencia de datos que incumplen es TO-T1, con solo un 4 %. Por el contrario, el tramo con mayor cantidad de incumplimiento es FU-T1, con el 21 % de sus datos que exceden los OC. Le siguen en orden descendente TU-T1 con el 16 % y SA-T1 con el 9 %.

2.2.2 INCUMPLIMIENTO LOS SEGUNDOS TRAMOS

En el segundo tramo de los ríos Torca, Fucha, Salitre y Tunjuelo, se observa una variabilidad en la cantidad de determinantes que no cumplen con los OC. El tramo FU-T2 presenta la mayor incidencia con nueve determinantes que no cumplen los OC (OD, DBO₅, DQO, SST, GyA, SAAM, PTotal, NTotal y Col.Fec). Esto se traduce en 67 datos que incumplieron, lo que representa un 36 % del total de datos en este tramo. Los determinantes más críticos en términos de incumplimiento fueron la DBO₅ con 12 registros (60 %), seguido por SST el con 8 registros (58 %), los Col.Fec con 9 datos (50 %) y el OD con 8 datos (44 %).

En cuanto al tramo TO-T2, se observa un bajo incumplimiento con solo un determinante (Col.Fec) que excede los OC en 10 registros (34 % del total de Col.Fec del tramo). En contraste, el tramo TU-T2 presenta cinco determinantes (OD, DBO₅, DQO, Col.Fec y NTotal) con incumplimientos, totalizando 13 registros que representan el 6 % del total de datos del tramo. Por su parte, el tramo SA-T2 registró la menor incidencia de incumplimiento con solo tres determinantes (OD, GyA y Col.Fec) y un total de 10 registros, representando el 5 % de los datos validados en este tramo.

2.2.3 INCUMPLIMIENTO LOS TERCEROS TRAMOS

En el tercer tramo de los ríos Tunjuelo, Fucha y Salitre, se destaca que TU-T3 presenta la mayor cantidad de datos y determinantes que no cumplen con los OC. En este tramo, se identificaron seis determinantes que incumplen (OD, DBO₅, SAAM, Col.Fec, NTotál y DQO) con un total de 43 datos, representando el 11 % de los registros del tramo. Los determinantes más relevantes por su incumplimiento son el NTotál con 17 registros (43 % del total de NTotál del tramo), seguido por los Col.Fec con 9 datos (26%), el OD con 6 registros (15%) y la DBO₅ con 5 datos (12%).

En contraste, el FU-T3 presenta la menor cantidad de datos y determinantes que superan los valores establecidos como objetivo, con un total de 17 registros distribuidos en seis determinantes (OD, DQO, GyA, SAAM, Col.Fec y NTotál), siendo el NTotál y los Col.Fec los más críticos con cinco (5) y cuatro (4) datos de incumplimiento respectivamente. En cuanto al SA-T3, se identificaron nueve determinantes (OD, DBO₅, DQO, SST, GyA, SAAM, PTotál, Col.Fec y NTotál) con datos que excedieron los OC, siendo los Col.Fec con 7 registros (39 %) y la DBO₅ y los SAAM con 5 datos (30 %) las variables más críticas en términos de incumplimiento. En cuanto al número de datos que incumplieron, el 20 % de los registros validados (38 resultados) no cumplen los OC en el tramo SA-T3.

2.2.4 INCUMPLIMIENTO EN LOS ÚLTIMOS TRAMOS

Respecto al último tramo de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo, se observó un mayor incumplimiento en comparación con los tramos anteriores. Al respecto, el tramo FU-T4 y SA-T4 presentan ocho y nueve determinantes con datos que incumplen los OC, acumulando 93 y 80 registros respectivamente, lo que equivale al 30 % y 27% del total de datos en estos tramos, respectivamente. En el tramo TU-T4, se identificaron siete determinantes con 64 registros que exceden los OC, representando el 16 % del total de datos en este tramo.

En relación con el análisis por determinante, se identificó que los Col.Fec, SAAM, NTotál y DBO₅ presentaron la mayor frecuencia de incumplimiento en los tramos finales de los tres ríos. En particular, Col.Fec se destacó como el parámetro más crítico con porcentajes de incumplimiento del 50% en FU-T4, 41% en SA-T4 y 54% en TU-T4. Los demás determinantes registraron porcentajes de incumplimiento que oscilan entre el 3 % y el 63 % respecto al total de datos de cada variable en su respectivo tramo. En cuanto a los determinantes que mantuvieron el

cumplimiento de los OC, se evidencia que pH, SST y PTotal no registraron excedencias en el TU-T4, mientras que en el FU-T4 fueron el OD y pH, y por último en el SA-T4 el cumplimiento se mantuvo en pH.

Estas condiciones de calidad del agua en los últimos tramos de los ríos están principalmente asociadas con el aporte de aguas residuales del sistema de alcantarillado público de la ciudad. Entre los puntos que representan un mayor impacto en la calidad del agua se encuentra el Interceptor Tunjuelo Medio, las estaciones de bombeo Cartagenita, Grancolombiano y La Isla para el caso específico del río Tunjuelo. Para el río Fucha, se encuentran los interceptores Kennedy, Boyacá, Sur, Fucha Izquierdo y la estación elevadora de Fontibón. Mientras que para el río Salitre, el vertimiento de las estructuras de alivio pertenecientes al sistema de alcantarillado combinado que descargan en el tramo III y que dominan la calidad del agua del río hasta su parte final.

2.3 EVALUACIÓN DEL WQI PARA EL PERIODO 2024-2025

En la Tabla 2, se muestran los resultados del WQI para cada tramo con respecto a los resultados del periodo 2024 -2025, con los factores F1, F2, F3 y nse (excursión) empleadas en el cálculo del índice. Es necesario aclarar que los tres factores (F1, F2, F3) representan alcance, frecuencia y amplitud, el primero define la cantidad en porcentaje de variables que tienen valores fuera del rango de los objetivos de calidad para el uso que se esté evaluando respecto al total de los determinantes considerados. El segundo es la relación entre la cantidad de valores fuera de los niveles deseables respecto al total de datos de las variables estudiadas. Mientras la amplitud (F3) es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la magnitud de los excesos de cada dato fuera de rango al compararlo con su umbral. La última columna de la mencionada tabla representa simbólicamente el cambio o no del valor de WQI entre el periodo 2023-2024 y 2024-2025: (i) la fecha roja hacia abajo representa reducción del índice en el último periodo, (ii) la fecha verde hacia arriba representa incremento en el índice en el último periodo, y (iii) signo igual de color azul representa que la magnitud no cambio de un periodo a otro.

Con base en los datos validados, se determinó el WQI de los diferentes tramos de los ríos principales para el periodo evaluado (2024-2025), obteniendo un comportamiento diverso de los

resultados para cada fuente hídrica. Los ríos Torca y Tunjuelo exhiben una tendencia de mejora respecto al periodo anterior en varios de sus tramos, mientras que los ríos Salitre y Fucha presentan un comportamiento heterogéneo con mejoras y deterioros según el tramo analizado.

Tabla 2. Valores del WQI y sus factores

Tramos	2024-2025					WQI 2023-2024	Cambio entre periodos
	F1	F2	F3	nse	WQI		
TO-T1	10	4.12	0.52	0.01	94	94	=
TO-T2	10	3.23	0.64	0.01	94	65	↑
SA-T1	20	8.99	1.9	0.02	87	81	↑
SA-T2	30	4.98	1.14	0.01	82	94	↓
SA-T3	90	19.69	11.74	0.13	46	52	↓
SA-T4	90	27.4	12.61	0.14	45	51	↓
FU-T1	50	20.59	16.5	0.2	67	80	↓
FU-T2	90	36.02	30.58	0.44	41	45	↓
FU-T3	60	9.04	18.22	0.22	63	65	↓
FU-T4	80	30.29	13.48	0.16	50	50	=
TU-T1	50	16.36	4.4	0.05	70	77	↓
TU-T2	50	6.13	2.75	0.03	71	65	↑
TU-T3	60	11	5.34	0.06	65	47	↑
TU-T4	70	15.61	4.77	0.05	59	46	↑

2.3.1 WQI EN EL RÍO FUCHA

Para el río Fucha, los resultados del WQI permiten clasificar sus tramos en cuatro categorías: **Aceptable** para el tramo inicial con un valor de 67, **Pobre** para el tramo FU-T2 con 41, **Marginal** para los tramos FU-T3 y FU-T4 con valores de 63 y 50 respectivamente. El periodo 2024-2025 muestra un deterioro generalizado respecto al periodo anterior, con el tramo inicial descendiendo 13 unidades (de 80 a 67), cambiando su categorización de **Buena** a **Aceptable**. El tramo FU-T2 registra un descenso de 4 unidades (de 45 a 41), modificando su clasificación de **Marginal** a **Pobre**, convirtiéndose en el tramo con la calidad más crítica de toda la RCHB-T durante el periodo evaluado.

Al analizar los factores que determinan el WQI en el tramo inicial, se determinó que el factor F1 aumentó de 30 % a 50 %, indicando que cinco de los diez determinantes evaluados incumplen los objetivos de calidad. El factor F2 se incrementó de 16.24 % a 20.59 %, es decir que una mayor cantidad registro no cumplieron los OC, mientras que la amplitud de las desviaciones (F3) aumentó sustancialmente de 7.17% a 16.5%, más del doble respecto al periodo anterior. Esta combinación de factores explica el cambio de categoría y la reducción del índice de 80 a 67 unidades. La amplitud particularmente elevada sugiere que los determinantes que incumplen presentan concentraciones considerablemente superiores a los objetivos establecidos. Es necesario destacar que pesar de mantenerse en categoría **Aceptable** este tramo, sufrió la mayor disminución de calidad de todo el río. Este deterioro inesperado en la cabecera es impulsado significativamente por incumplimientos en OD (8 eventos de incumplimiento) y DBO₅ (5 eventos), lo que alerta sobre posibles presiones tempranas en la cuenca alta.

El tramo FU-T2 presenta la situación más crítica de todo el sistema, con el factor F2 más alto registrado entre todos los tramos (36.02 %), indicando que más de un tercio del total de datos exceden los valores objetivo. El factor F1 se mantiene en 90 %, evidenciando que nueve de los diez determinantes incumplen los objetivos de calidad. Particularmente alarmante es el factor F3 de 30.58 %, el más elevado de toda la RCHB-T, sugiriendo que las concentraciones de los contaminantes superan ampliamente los límites establecidos.

Es imperativo señalar que los determinantes más significativos que explican la baja calidad del tramo FU-T2 son la DBO₅ con 12 incumplimientos, los SST con once (11) incumplimientos y los Coliformes Fecales con nueve (9) incumplimientos. Estos resultados se asocian a la carga contaminante originada de múltiples fuentes de contaminación en el tramo. Estas incluyen vertimientos directos del sistema de alcantarillado combinado, como el Colector San Blas y el Interceptor Quebrada Mina Vitelma. A esto se suman los aportes indirectos de las subcuencas de los canales Albina y Río Seco, las cuales también reciben descargas de dicho sistema combinado.

Los tramos FU-T3 y FU-T4 mantienen categorizaciones de **Marginal**, aunque el tramo FU-T4 conserva su valor de 50 unidades sin cambios respecto al periodo anterior. El tramo FU-T3 experimentó una leve reducción de 2 unidades (de 65 a 63), cambiando su categoría de **Aceptable** a **Marginal**. Este tramo presenta un comportamiento particular con un factor F2 relativamente

bajo (9.04%), pero con un F3 elevado (18.22%), indicando que, aunque la frecuencia de incumplimientos es menor, sus magnitudes con respecto a los valores objetivo son considerablemente superiores. El tramo final mantiene factores elevados con F1 de 80 %, F2 de 30.29 % y F3 de 13.48 %, lo que refleja no solo el impacto acumulativo de las descargas a lo largo del río, sino también la concentración de los mayores aportantes de carga contaminante que se encuentran en este tramo. Dichos aportantes son: los interceptores Fucha Izquierdo, Boyacá, Sur, Kennedy y la Estación de Bombeo Fontibón.

2.3.2 WQI EN EL RÍO TORCA

El río Torca presenta el mejor comportamiento entre todos los sistemas hídricos evaluados durante el periodo 2024-2025. El tramo inicial (TO-T1) mantiene su clasificación de calidad Buena con un WQI de 94, sin variación respecto al periodo anterior. Este tramo registra los factores más favorables de toda la RCHB-T: F1 de 10% (un solo determinante incumple), F2 de 4.12% (menos del 5% de los datos exceden los OC) y F3 de 0.52% (las magnitudes con las que se superan los OC son mínimas). Esta condición de calidad del agua favorable se ha mantenido estable durante dos periodos consecutivos, consolidando al tramo inicial del río Torca como la sección con mejor calidad hídrica de las fuentes principales de la ciudad.

El tramo TO-T2 evidencia una mejora notable de 29 unidades respecto al periodo anterior, pasando de un WQI de 65 (categoría Aceptable) a 94 (categoría Buena). Esta mejora sustancial se refleja en todos los factores del índice: el F1 se redujo de 60 % a 10 %, indicando que solo un determinante incumple los objetivos de calidad frente a los seis del periodo anterior. El factor F2 disminuyó considerablemente de 12.63 % a 3.23 %, al igual que el F3 se redujo ligeramente de 3.66 % a 0.64 %. Esta mejora en la calidad del agua del tramo TO-T2 es la más significativa registrada en toda la RCHB-T durante el periodo 2024-2025, sugiriendo la efectividad de las medidas de control de vertimientos o la disminución de las descargas contaminantes en esta sección del río.

2.3.3 WQI EN EL RÍO TUNJUELO

Los resultados del WQI para el río Tunjuelo durante el periodo 2024-2025 clasifican su calidad en dos categorías: **Aceptable** para los tramos iniciales TU-T1, TU-T2 y TU-T3 con valores de 70, 71 y 65 respectivamente, y **Marginal** para el tramo final TU-T4 con 59 unidades. En comparación con el periodo anterior (2023-2024), se evidencia una tendencia general de mejora en los tramos T2, T3 y T4, con incrementos de 6, 18 y 13 unidades, respectivamente, mientras que el tramo inicial experimentó una reducción de siete unidades. Este patrón diferenciado sugiere una distribución heterogénea de las fuentes de contaminación y sus variaciones temporales a lo largo del río.

El tramo inicial (TU-T1) presenta un descenso de siete (7) unidades en su índice, al pasar de 77 a 70, manteniéndose en la categoría **Aceptable**. Este deterioro se explica principalmente por el incremento en el factor F1 (Alcance), que aumentó de 30 % a 50 %, indicando que cinco determinantes incumplen los objetivos de calidad frente a los tres del periodo anterior. Es notable que este deterioro ocurre a pesar de una mejora en los otros dos factores: la frecuencia de incumplimientos (F2) se redujo, pasando de 22.43 % a 16.36 %, y la amplitud (F3) disminuyó drásticamente de 13.13 % a 4.40 %, sugiriendo que las desviaciones respecto a los valores objetivo son ahora menores. El factor nse también disminuyó de 0.15 a 0.05, reflejando una reducción en la magnitud de las excursiones por encima de los límites establecidos, lo que permite inferir que la magnitud de los determinantes que incumplieron se redujo con respecto al periodo 2023-2024.

Al examinar los determinantes más críticos en el tramo inicial, sobresale el comportamiento del OD, el cual registró 12 incumplimientos, cifra que corresponde a la totalidad de las mediciones realizadas para este determinante. A este escenario se suman, en menor magnitud, la DBO₅ y el NTotal con dos (2) incumplimientos cada uno, lo que constituye una alerta temprana sobre presiones que comprometen la calidad del cauce antes de su ingreso a la zona urbana de la ciudad.

Los tramos TU-T2 y TU-T3 evidencian mejoras sustanciales en su calidad hídrica. El tramo TU-T2 incrementó su WQI de 65 a 71 unidades, manteniendo su categoría **Aceptable**. Esta mejora se sustenta en la reducción del número de parámetros de que incumplen el valor objetivo, pasando de seis a cinco variables, así mismo la frecuencia de incumplimiento (F2), disminuyó de 9.39 % a 6.13 %, y la amplitud (F3), descendió de 5.30 % a 2.75 %. Por su parte, el tramo TU-T3 registra

la segunda mejora más importante de toda la RCHB-T, con un incremento de 18 unidades (de 47 a 65), logrando ascender de categoría **Marginal** a **Aceptable**. Esta notable recuperación se fundamenta en una mejora de los tres factores: el factor F1 se redujo de 90% a 60%, el F2 disminuyó de 13.42% a 11.00%, y el F3 se redujo significativamente de 8.49% a 5.34%. Estos resultados evidencian una disminución en el número de determinantes que incumplen, en la frecuencia de las excedencias y en la magnitud de las desviaciones respecto a los valores objetivo.

El tramo final (TU-T4) presenta una mejora de 12 unidades (de 46 a 59), manteniéndose en la categoría **Marginal**, pero acercándose al umbral de la categoría **Aceptable** (65). El factor F1 disminuyó de 90 % a 70 %, indicando que siete de los diez determinantes incumplen los objetivos de calidad. El F2 se redujo de 22.65 % a 15.61 %, mientras que el F3 disminuyó de 8.02 % a 4.77 %. Esta mejora generalizada en todos los factores del índice sugiere una reducción en la carga contaminante que llega a este tramo, posiblemente asociada con intervenciones en el control de vertimientos o variaciones en las descargas del sistema de alcantarillado.

2.3.4 WQI EN EL RÍO SALITRE

La calidad del agua del río Salitre para el periodo 2024-2025 se divide claramente en dos estados. Los tramos altos (SA-T1 y SA-T2) se clasifican como **Buena**, con valores WQI de 87 y 82, respectivamente. En contraste, los tramos bajos (SA-T3 y SA-T4) presentan una calidad **Marginal**, con valores significativamente inferiores de 46 y 45 unidades. Este patrón evidencia una transición abrupta en la calidad del agua entre los tramos iniciales e intermedios del río. En comparación con el periodo anterior.

El tramo inicial (SA-T1) mantiene su categoría **Buena** con una mejora de seis (6) unidades (de 81 a 87). El análisis de los factores revela una mejora integral: el F1 disminuyó de 30 % a 20 %, indicando que solo dos determinantes incumplen los objetivos de calidad frente a los tres del periodo anterior. Adicionalmente, el factor F2 se redujo de 15.08 % a 8.99 %, mientras que el F3 disminuyó de 3.17% a 1.90%. Estos resultados sugieren una mejora general en la calidad del agua, con menor cantidad de determinantes incumpliendo y desviaciones menos pronunciadas respecto a los valores objetivo.

El tramo SA-T2 experimentó un deterioro notable en su índice, aunque logró conservar su categoría **Buena**. El WQI descendió 12 unidades, pasando de 94 a 82. Este retroceso se explica

por una disminución simultánea en los tres factores: el F1 se triplicó (de 10 % a 30 %), indicando que tres determinantes incumplieron los objetivos frente a uno en el periodo anterior. Asimismo, el F2 (Frecuencia) se triplicó (de 1.61 % a 4.98 %), y el F3 (Amplitud), aunque partía de un valor muy bajo, se incrementó considerablemente (de 0.06 % a 1.14 %). Si bien el tramo mantiene su categorización, este deterioro generalizado en F1, F2 y F3 sugiere una mayor presión de contaminación sobre este sector durante el periodo evaluado, dado la presencia de efluentes que corresponden al mal funcionamiento de las estructuras de alivio del sistema alcantarillado combinado que se encuentran en este tramo.

Los tramos SA-T3 y SA-T4 se consolidan en la categoría de calidad **Marginal**, presentando valores de WQI muy similares (46 y 45, respectivamente). Ambos tramos evidencian un deterioro de 6 unidades respecto al periodo anterior (SA-T3 de 52 a 46, y SA-T4 de 51 a 45). Esta caída se explica por un empeoramiento en el F1, que subió de 80 % a 90 % en ambos tramos, y un incremento en el F3 (Amplitud), indicando que los incumplimientos superaron los límites permitidos por un margen mucho mayor que en el periodo anterior. Los factores de incumplimiento en el periodo actual son críticos: el SA-T3 presenta un F1 de 90 %, F2 de 19.69 % y F3 de 11.74 %. El tramo final (SA-T4) registra valores incluso superiores, con F1 de 90 %, F2 de 27.40 % (el tercero más alto de toda la RCHB-T) y F3 de 12.61 %. Estos resultados reflejan el impacto significativo de las estructuras de alivio del sistema de alcantarillado combinado que descargan en el SA-T3 y que dominan la calidad del agua hasta su parte final. La similitud en los factores sugiere que las condiciones de SA-T3 se propagan y mantiene en el SA-T4, situación que se agrava por la existencia de descargas de aguas combinadas en el tramo final, originadas en su gran mayoría por conexiones erradas y mal funcionamiento del sistema pluvial.

El análisis detallado de los determinantes revela que el deterioro en el tramo SA-T3 es impulsado principalmente por contaminación orgánica de origen doméstico, evidenciada por la alta recurrencia de siete registros que incumplieron en los Col.Fec, junto a seis registros tanto para DBO₅ como para SAAM. Por su parte, el tramo final SA-T4 exhibe un perfil de contaminación más complejo y severo, dominado por una presencia crítica de tensoactivos y carga orgánica, registrando 17 incumplimientos en SAAM, 13 en DBO₅ y 12 en GyA. La combinación de estos factores sitúa a este sector en el umbral exacto de descender a la categoría **Pobre**.

2.3.5 COMPARACIÓN INTERANUAL

El análisis comparativo entre los periodos 2023-2024 y 2024-2025 revela patrones diferenciados. El río Torca presenta la mejora más significativa, con una recuperación de 29 puntos en el tramo TO-T2 (de 65 a 94). El río Tunjuelo evidencia una mejora promedio de 12 puntos en los tres tramos que aumentaron su magnitud (TU-T2: +6, TU-T3: +18 y TU-T4: +13), siendo TU-T3 el que registra la segunda mejora más importante de la red con 17 unidades (de 47 a 65). En contraste, los ríos Fucha y Salitre presentan deterioros promedio de 6 y 8 puntos respectivamente, en los tramos que empeoraron; tanto el río Fucha como el Salitre mostraron descensos en tres de sus cuatro tramos.

Los cambios de categorización más relevantes incluyen el ascenso de TO-T2 de Aceptable a Buena, el descenso de FU-T1 de Buena a Aceptable, la caída de FU-T2 de Marginal a Pobre (convirtiéndose en el único tramo de toda la RCHB-T con esta categoría entre los dos periodos), el deterioro de FU-T3 de Aceptable a Marginal, y la mejora de TU-T3 de Marginal a Aceptable. Estos cambios reflejan la dinámica de las presiones contaminantes sobre los cuerpos de agua desde la zona alta hasta la baja y la efectividad diferenciada de las medidas de control y gestión implementadas en cada cuenca.

Adicionalmente, se identifica la necesidad de un seguimiento prioritario a varios tramos que, aunque no cambiaron de categoría, se encuentran en el umbral inferior de su clasificación: SA-T2 (WQI 82) está en riesgo de pasar de Buena a Aceptable, mientras que FU-T1 (WQI 67) y TU-T3 (WQI 65) están al cerca de la categoría Marginal. De especial preocupación son los tramos SA-T3 (WQI 46) y SA-T4 (WQI 45), los cuales están próximos al límite superior de la categoría Pobre, requiriendo atención inmediata.

En términos de factores críticos, el periodo 2024-2025 evidencia que los tramos con mayor alcance de incumplimiento (F1 de 90 %) son FU-T2, SA-T3 y SA-T4, donde nueve de los diez determinantes exceden los objetivos de calidad. Los tramos con mayor frecuencia de incumplimientos (F2) son FU-T2 con 36.02 %, FU-T4 con 30.29 % y SA-T4 con 27.4 %. En cuanto a la amplitud de las desviaciones (F3), los valores más críticos se registran en FU-T2 con 30.58 %, FU-T3 con 18.22 % y FU-T1 con 16.5 %, todos correspondientes al río Fucha, lo que confirma a este cuerpo de agua como aquel que durante el periodo evaluado presentó el mayor deterioro

su calidad. Esto se evidencia al registrar los valores más extremos tanto en Frecuencia (F2) —qué tan seguido supera los OC— como en Severidad (F3), el factor que mide qué tan lejos están los incumplimientos del límite permitido.

Al comparar los factores del WQI entre los dos periodos (2023-2024 y 2024-2025), emerge una tendencia diversa en los ríos evaluados. A nivel general, la red mostró una mejora en la Frecuencia (F2), dado que se redujo en 64 % (9) de los tramos. Sin embargo, esta mejora fue contrarrestada por un aumento en la Amplitud (F3) aumentando en el 57 % (8) de los tramos, indicando que las concentraciones superan en mayor medida la concentración objetivo. Respecto a la tendencia de los cuerpos de agua evaluados, se encontró dos dinámicas opuestas: los ríos Tunjuelo y Torca mostraron mejoras generalizadas en sus tres factores, destacando la drástica reducción del Alcance (F1) en el tramo II del Torca (pasando de 60 % a 10 %). En contraparte, los ríos Salitre y Fucha se deterioraron.

2.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE WQI EN LA RCHB-T

El análisis de la distribución del WQI parte de una evaluación espacial que contempla de forma seccionada la dinámica de la calidad hídrica entre los tramos que conforman los ríos principales. Teniendo en cuenta los resultados presentados en la Figura 6 y la Figura 7, se muestra el análisis del WQI con base en la distancia recorrida para cada cuerpo de agua evaluado. En la Figura 6, se muestra un gráfico de cuerdas que representa la interrelación entre los resultados de las categorías del WQI del periodo evaluado (2024-2025) con la distancia recorrida en cada río, por medio de la longitud y la categoría obtenida de cada uno de sus tramos, que se puede visualizar con las conexiones o flujos de este gráfico.

El análisis espacial de la calidad del agua en los cuatro ríos principales de Bogotá durante el periodo 2024-2025 evidencia una mejora sustancial respecto al periodo anterior, particularmente en la extensión de los tramos con mejor calidad. Los resultados muestran un cambio favorable en la distribución de las categorías del WQI, con incrementos importantes en las categorías Buena y Aceptable, acompañados de una reducción considerable en la categoría Marginal. Sin embargo, es relevante señalar que por primera vez desde el periodo 2019-2020 se registra la presencia de la categoría Pobre, específicamente en el tramo FU-T2 del río Fucha.

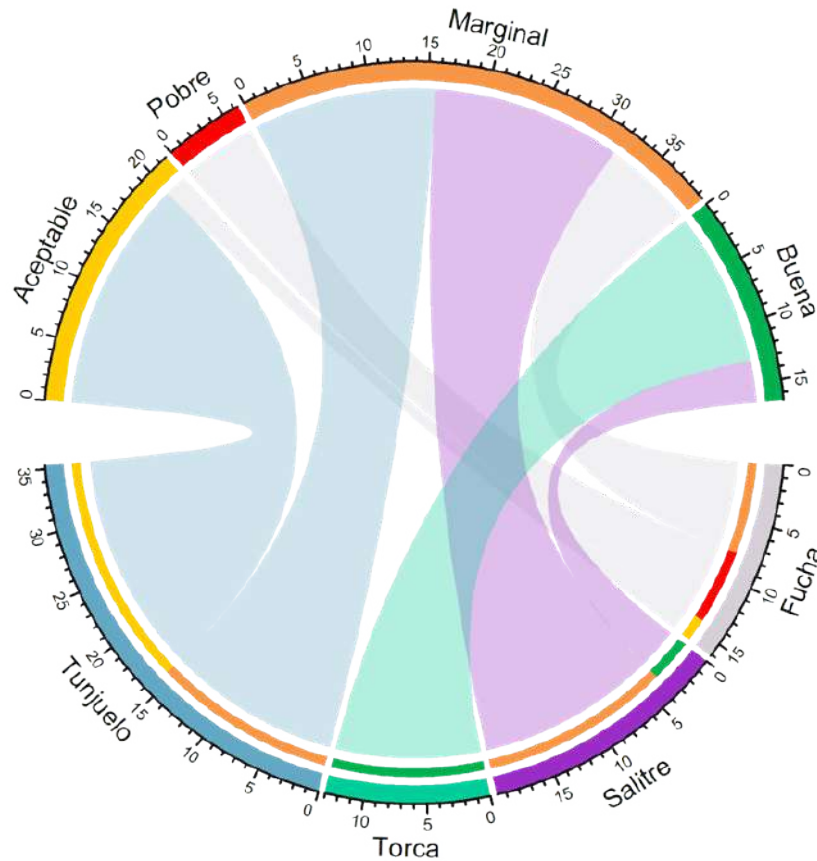


Figura 6. Clasificación de la longitud en kilómetros de los tramos de los ríos de la RCHB según su WQI para el periodo 2024-2025

2.4.1 EXTENSIÓN DE LA CATEGORÍA BUENA

La categoría Buena abarca 16.68 kilómetros durante el periodo 2024-2025, representando un incremento de 5.13 kilómetros respecto al periodo anterior (11.5 km), lo que constituye un aumento del 44 %. Esta extensión se distribuye en cuatro tramos pertenecientes a dos ríos: el río Torca con 13.06 kilómetros (TO-T1 con 5.96 km y TO-T2 con 7.10 km) y el río Salitre con 3.62 kilómetros (SA-T1 con 1.31 km y SA-T2 con 2.31 km). El río Torca destaca como el sistema hídrico

con mejor comportamiento de toda la RCHB-T, manteniendo una calidad Buena a lo largo de toda su extensión monitoreada, con valores del WQI de 94 unidades en ambos tramos.

El incremento en la extensión de la categoría Buena se debe principalmente a la recuperación del tramo TO-T2, que ascendió de la categoría Aceptable (WQI de 65) en el periodo 2023-2024 a Buena (WQI de 94) en el periodo actual, incorporando 7.10 kilómetros adicionales a esta clasificación. Los tramos iniciales del río Salitre también mantienen su categoría en Buena, aunque el tramo SA-T1 experimentó una mejora de 6 unidades (de 81 a 87) mientras que SA-T2 registró un descenso de 12 unidades (de 94 a 82), manteniéndose ambos dentro de la misma categoría. Esta distribución evidencia que la calidad Buena se concentra principalmente en los tramos iniciales y medios de los ríos Torca y Salitre, antes de que las descargas residuales afecten de manera considerable la calidad del agua.

2.4.2 EXTENSIÓN DE LA CATEGORÍA ACEPTABLE

La categoría Aceptable se extiende por 21.69 km durante el periodo 2024-2025, representando un incremento notable de 6.29 km respecto al periodo anterior (15.4 km), equivalente a un aumento del 41 %. Esta categoría se distribuye en cuatro tramos pertenecientes a dos ríos: el río Tunjuelo con 19.72 kilómetros (TU-T1 con 1.46 km, TU-T2 con 4.10 km y TU-T3 con 14.16 km) y el río Fucha con 1.98 kilómetros (FU-T1). El río Tunjuelo concentra el 91 % de la extensión de esta categoría, evidenciando una mejora sustancial en su calidad hídrica respecto al periodo anterior.

El incremento en la extensión de la categoría Aceptable se fundamenta principalmente en la mejora del tramo TU-T3, que ascendió de la categoría Marginal (WQI de 47) en el periodo 2023-2024 a Aceptable (WQI de 65) en el periodo actual, incorporando 14.16 km a esta clasificación. Este tramo representa por sí solo el 65 % de la extensión total de esta categoría y constituye uno de los tramos más extensos de todo el sistema de monitoreo. La mejora de este tramo es particularmente relevante dado que evidencia una reducción en las cargas contaminantes que llegan desde la cuenca media del río Tunjuelo y de los aportes indirectos de los efluentes que entregan a las quebradas Chiguaza y Limas que confluyen en este tramo, posiblemente asociada con un mejor control de vertimientos o variaciones en las descargas del sistema de alcantarillado.

Los tramos TU-T1 y TU-T2 mantienen su categoría en Aceptable respecto al periodo anterior, aunque con leves variaciones en la magnitud del WQI. El tramo TU-T1 experimentó un descenso

de siete unidades (de 77 a 70) mientras que TU-T2 registró una mejora de 6 unidades (de 65 a 71), ambos manteniéndose dentro de la misma categoría. El tramo FU-T1 del río Fucha, por su parte, descendió de la categoría Buena (WQI de 80) a Aceptable (WQI de 67), aunque continúa representando la sección con mejor calidad de este río durante el periodo evaluado.

2.4.3 EXTENSIÓN DE LA CATEGORÍA MARGINAL

La categoría Marginal abarca 38.31 km durante el periodo 2024-2025, representando una reducción sustancial de 18.98 km respecto al periodo anterior (57.29 km), equivalente a una disminución del 33 %. A pesar de esta mejora, esta categoría continúa siendo la segunda más extensa del sistema, representando el 45 % de la longitud total monitoreada. Esta categoría se distribuye en cinco tramos pertenecientes a tres ríos: el río Tunjuelo con 14.39 km (TU-T4), el río Salitre con 16.15 km (SA-T3 con 2.70 km y SA-T4 con 13.45 km) y el río Fucha con 7.76 km (FU-T3 con 2.74 km y FU-T4 con 5.03 km).

La reducción en la extensión de la categoría Marginal se debe principalmente a la mejora del tramo TU-T3 del río Tunjuelo, que ascendió a la categoría Aceptable, retirando 14.16 km de esta clasificación. Sin embargo, persisten condiciones críticas en varios tramos dentro de esta categoría, particularmente en los tramos finales de los ríos Salitre y Fucha. Los tramos SA-T3 y SA-T4 registran valores del WQI de 46 y 45 unidades respectivamente, ubicándose exactamente en el límite inferior de la categoría Marginal. En particular, el tramo SA-T4, con 13.45 km, representa la segunda mayor extensión individual dentro de la categoría Marginal en toda la red (superado solo por TU-T4). Su WQI de 45 lo sitúa exactamente en el umbral que define el descenso a la categoría Pobre, requiriendo atención prioritaria.

El río Fucha presenta dos tramos en categoría Marginal: FU-T3 con un WQI de 63 unidades (2.74 km) y FU-T4 con 50 unidades (5.03 km). El tramo FU-T3 descendió de la categoría Aceptable (WQI de 65) en el periodo anterior, mientras que FU-T4 mantiene tanto su categoría como su valor del WQI sin cambios. El tramo TU-T4 del río Tunjuelo, con 14.39 km, representa la mayor extensión individual de la categoría Marginal. No obstante, experimentó una mejora significativa de 13 unidades (de 46 a 59) respecto al periodo anterior. Esta mejora sugiere una reducción en las cargas contaminantes que llegan al tramo final del río Tunjuelo, posiblemente asociada con intervenciones en el control de vertimientos o condiciones hidrológicas.

2.4.4 APARICIÓN DE LA CATEGORÍA POBRE

Durante el periodo 2024-2025 se registra por primera vez desde 2019-2020 la presencia de la categoría **Pobre** en la RCHB-T, específicamente en el tramo FU-T2 del río Fucha, que abarca 7.56 km. Este tramo obtuvo un WQI de 41 unidades, descendiendo desde la categoría **Marginal** (WQI de 45) del periodo anterior. Esta situación representa el aspecto más crítico del periodo evaluado y evidencia un deterioro considerable en la calidad del agua de este sector, que se localiza en la zona de mayor densidad urbana y recibe cargas contaminantes significativas de las subcuencas de los canales Albina y río Seco, sumado a los aportes de las estructuras del sistema de alcantarillado combinado.

El deterioro del tramo FU-T2 se atribuye al comportamiento crítico de todos los factores del índice. El factor F1 se mantiene en 90 %, indicando que nueve de los diez determinantes evaluados incumplen los objetivos de calidad.

La aparición de la categoría **Pobre** en un tramo de 7.56 km representa una señal de alerta que requiere intervención prioritaria. Esta extensión equivale al 9 % de la longitud total monitoreada. El deterioro de este tramo contrasta con las mejoras observadas en otros sectores, evidenciando la necesidad de enfocar el control en las fuentes de carga contaminante que afectan este sector específico del río Fucha.

2.4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO INTERANUAL

La comparación entre los periodos 2023-2024 y 2024-2025 revela una reconfiguración sustancial en la distribución espacial de la calidad del agua en los ríos principales de Bogotá. Las categorías **Buena** y **Aceptable** experimentaron incrementos del 44 % y 41 % respectivamente, pasando de 11.55 a 16.68 km y de 15.40 a 21.69 km. Estos incrementos suman 11.42 km adicionales en categorías de calidad favorable. Por su parte, la categoría **Marginal** experimentó una reducción del 33 %, pasando de 57.29 a 38.31 km, lo que representa 18.98 km menos bajo esta categoría.

En términos porcentuales, durante el periodo 2024-2025 las categorías favorables (**Buena** y **Aceptable**) representan el 46 % de la extensión total de los ríos principales (38.37 km de 84.24 km totales). Por el contrario, las categorías críticas (**Marginal** y **Pobre**) abarcan el 54 % restante (45.87 km). Esta distribución contrasta positivamente con el periodo anterior, cuando las categorías **Buena** y **Aceptable** representaban únicamente el 32 % del total (26.95 km). El

Página 35 de 43

incremento de 14 puntos porcentuales en la extensión de tramos con calidad favorable evidencia una recuperación general del sistema, aunque heterogénea entre las cuencas.

La reconfiguración espacial más notable se observa en el río Tunjuelo, donde tres de sus cuatro tramos (TU-T1, TU-T2 y TU-T3) se clasifican actualmente en categoría **Aceptable**, abarcando 19.72 km del total de 34.11 km del río (58 %). Esta situación contrasta con el periodo anterior, cuando la mitad de los tramos se encontraba en categoría **Marginal**.

El río Torca ratifica su comportamiento calidad del agua favorable en la totalidad de su extensión monitoreada (13.06 km) con categoría **Buena**, consolidándose como el sistema hídrico con mejor calidad de la ciudad. El río Salitre mantiene una polarización marcada: sus tramos iniciales sostienen la categoría **Buena** (3.62 km), pero sus tramos finales (16.15 km) permanecen estancados en categoría **Marginal**. Finalmente, el río Fucha presenta el escenario más complejo y desfavorable: únicamente su tramo inicial se encuentra en categoría **Aceptable** (1.98 km), mientras que el resto del río se divide entre la categoría **Marginal** (7.76 km) y la aparición crítica de la categoría **Pobre** en su tramo medio (7.56 km).

2.5 EVOLUCIÓN DEL WQI EN EL PERIODO 2014 A 2025

Con el fin de cuantificar la mejora de la calidad del agua, en la Tabla 3 se presenta la distribución espacial de la calidad hídrica en términos de kilómetros recorridos para cada categoría del WQI, obtenidos en los periodos interanuales desde 2014 hasta 2025. Esta síntesis temporal permite visualizar la evolución de la calidad del agua en el sistema hídrico de la ciudad, evidenciando las variaciones en la extensión de tramos que mantienen condiciones favorables de calidad durante los diferentes periodos de evaluación.



Tabla 3. Longitud de los ríos de la RCHB clasificados por WQI desde 2014 a 2025

Periodo	Clasificación WQI				
	EXCELENTE	BUENA	ACEPTABLE	MARGINAL	POBRE
2014-2015	0,00	11,55	8,56	2,70	61,43
2015-2016	3,62	20,60	0,00	19,59	40,43
2016-2017	5,96	14,16	6,84	52,26	5,03
2017-2018	5,96	7,05	13,94	2,70	54,59
2018-2019	5,96	16,90	0,00	42,20	19,18
2019-2020	2,31	10,70	13,94	49,73	7,56
2020-2021	0,00	15,75	11,20	57,29	0,00
2021-2022	0,00	14,29	22,72	47,23	0,00
2022-2023	0,00	20,12	20,99	43,13	0,00
2023-2024	0,00	11,55	15,40	57,29	0,00
2024-2025	0,00	16,68	21,69	38,31	7,56

Al examinar la evolución de los ríos urbanos por categoría de calidad de agua según el WQI, la comparación entre los periodos, 2023-2024 y 2024-2025 revela dinámicas complejas en la calidad hídrica del sistema hídrico de la ciudad. Durante el periodo 2023-2024 se observó un deterioro notable respecto al periodo anterior, con una disminución en los kilómetros de río clasificados en las categorías Buena (de 20.1 km a 11.6 km) y un incremento significativo en la categoría Marginal (de 43.1 km a 57.3 km). Este deterioro se correlacionó con el déficit hidrológico experimentado durante ese periodo de evaluación, caracterizado por una reducción significativa en la frecuencia e intensidad de eventos de precipitación. La condición de sequía resultó en un incremento en la extensión de tramos con valores del WQI inferiores a 65 unidades (6 Tramos), aunque es importante destacar que ningún segmento alcanzó la categorización Pobre durante ese periodo.

Sin embargo, el periodo 2024-2025 presenta un comportamiento diferenciado. Al respecto, se observa una recuperación parcial en la categoría Aceptable, que aumenta de 15.4 km a 21.7 km, y una disminución en la categoría Marginal, que pasa de 57.3 km a 38.3 km. Esta mejora relativa sugiere una recuperación en algunos tramos del sistema hídrico, posiblemente asociada a cambios en las condiciones hidrológicas o a intervenciones sobre el sistema alcantarillado. No obstante, este periodo también marca la reaparición de la categoría Pobre en el tramo FU-T2 (7.6 km), lo cual representa una señal de alerta que requiere atención inmediata. La categoría Buena muestra un ligero incremento de 11.6 km a 16.7 km, mientras que la categoría Excelente continúa

ausente, reflejando la persistencia de factores de presión sobre la calidad del recurso hídrico que impiden que los tramos alcancen las condiciones óptimas de calidad

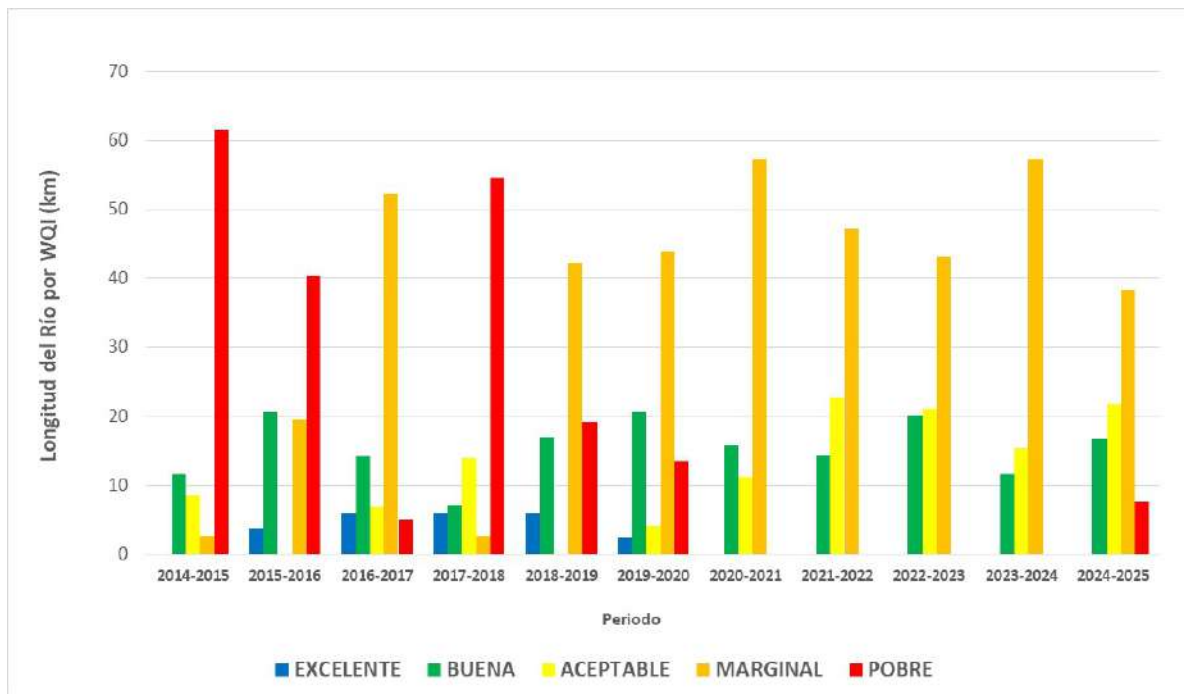


Figura 8. Evolución temporal de ríos los urbanos por categoría de calidad de agua según el WQI

2.5.1 ANÁLISIS DE TENDENCIAS MEDIANTE LA PRUEBA DE MANN-KENDALL

Para complementar el análisis temporal de la calidad del agua, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall a cada uno de los tramos monitoreados, con el objetivo de identificar tendencias monotónicas estadísticamente significativas en las series temporales del WQI. Este método permite evaluar si existe una tendencia creciente o decreciente en la calidad del agua a lo largo del periodo 2014-2025, independientemente de la distribución de los datos y sin asumir una relación lineal. La prueba de Mann-Kendall² es particularmente apropiada para datos

² Los resultados de la prueba Mann-Kendall se complementaron la prueba Sen-Slope que representa la mediana de todas las pendientes calculadas entre pares de puntos en la serie temporal, proporcionando una estimación robusta de la magnitud del cambio por unidad de tiempo.

ambientales, ya que es robusto ante valores atípicos y no requiere que los datos sigan una distribución normal. El análisis de tendencias revela patrones diferenciados entre los cuatro sistemas hídricos evaluados.

El análisis mediante la prueba Mann-Kendall aplicado a los datos del periodo 2014-2025 revela un panorama general de estabilidad con mejoras moderadas en el sistema hídrico de Bogotá, como se presenta en la Tabla 4. De los catorce tramos evaluados, solamente dos presentan tendencias estadísticamente significativas, ambas de carácter positivo. Los doce tramos restantes muestran comportamientos variables sin alcanzar significancia estadística, lo cual sugiere que sus fluctuaciones pueden atribuirse a variabilidad natural o a factores temporales sin dirección clara de cambio sistemático. Adicionalmente, el Sen-Slope representa la mediana del cambio por unidad de tiempo en la serie temporal, expresada en unidades de WQI por periodo. Valores positivos indican mejora gradual en la calidad del agua, mientras valores negativos señalan deterioro. Las pendientes más pronunciadas identificadas corresponden a los tramos FU-T2 (2.875), FU-T4 (2.714) y TU-T3 (2.571), indicando recuperación sustancial, aunque no todos alcanzan significancia estadística. Las pendientes negativas más notables se observan en SA-T2 (-1.750) y SA-T1 (-0.200), reflejando presiones persistentes en los tramos superiores del río Salitre. A continuación, se presenta la síntesis por río de las dos pruebas estadísticas que se realizaron:

- **Río Fucha:** El sistema presenta comportamiento heterogéneo. El tramo FU-T4 exhibe mejora significativa con pendiente de Sen de 2.714 unidades por periodo, reflejando recuperación gradual, aunque permanece en categoría Marginal. Los tramos FU-T2 y FU-T3 muestran tendencias crecientes positivas sin significancia estadística, con pendientes de 2.875 y 2.429 unidades por periodo respectivamente. El tramo FU-T1 evidencia ligero deterioro no significativo, descendiendo desde categoría Buena hacia Aceptable.
- **Río Salitre:** El río no presenta ningún tramo con tendencias estadísticamente significativas. Los tramos superiores SA-T1 y SA-T2 muestran tendencias decrecientes leves con pendientes negativas, aunque ambos mantienen WQI promedio superior a 86 unidades en categoría Buena. Los tramos inferiores SA-T3 y SA-T4 exhiben tendencias crecientes moderadas sin significancia, con pendientes de 1.000 y 0.889 unidades por periodo, manteniéndose en categoría Marginal.

- **Río Torca:** El sistema presenta notable estabilidad sin tendencias significativas. El tramo TO-T1 mantiene WQI promedio de 91.8 unidades con pendiente prácticamente nula, permaneciendo consistentemente en categoría Buena. El tramo TO-T2 muestra ligera tendencia creciente no significativa con pendiente cercana a cero, ascendiendo desde categoría Aceptable hacia Buena en el periodo más reciente.
- **Río Tunjuelo:** El tramo TU-T4 presenta mejora significativa con pendiente de Sen de 1.250 unidades por periodo, aunque permanece en categoría Marginal con WQI promedio de 52.0 unidades. El tramo TU-T3 exhibe tendencia creciente considerable sin significancia estadística, con pendiente de 2.571 unidades por periodo. Los tramos superiores muestran estabilidad relativa con variaciones menores.

Tabla 4. Análisis de tendencias en la calidad del agua por tramo - prueba Mann-Kendall

Río	Tramo	Tau	P-valor	Sen-Slope	WQI Inicial	WQI Final	WQI Promedio
Fucha	FU-T1	-0.164	0.5196	-0.143	94	67	86.4
Fucha	FU-T2	0.436	0.0725	2.875	29	41	47.9
Fucha	FU-T3	0.309	0.2101	2.429	44	63	74.5
Fucha	FU-T4	0.655	0.0063	2.714	32	50	50.9
Salitre	SA-T1	-0.164	0.5240	-0.200	83	87	87.0
Salitre	SA-T2	-0.418	0.0829	-1.750	88	82	86.3
Salitre	SA-T3	0.327	0.1781	1.000	45	46	52.9
Salitre	SA-T4	0.364	0.1323	0.889	37	45	45.7
Torca	TO-T1	-0.255	0.2798	-0.200	94	94	91.8
Torca	TO-T2	0.036	0.9369	0.000	75	94	79.2
Tunjuelo	TU-T1	-0.073	0.8133	-0.167	69	70	80.9
Tunjuelo	TU-T2	0.127	0.6356	0.333	40	71	67.8
Tunjuelo	TU-T3	0.418	0.0823	2.571	33	65	55.6
Tunjuelo	TU-T4	0.491	0.0400	1.250	40	59	52.0

3 CONCLUSIONES

El periodo 2024-2025 evidencia una recuperación del sistema hídrico de Bogotá: el 46% de la extensión monitoreada (38.37 km) se clasifica ahora en categorías favorables (Buena y Aceptable), frente al 32% del periodo anterior, lo que representa una mejora neta de 14 puntos porcentuales. Sin embargo, el 54% restante (45.87 km) persiste en categorías desfavorables (Marginal y Pobre).

El análisis de incumplimientos muestra que el 16% de los datos no cumplió con los objetivos de calidad. Los coliformes fecales y el nitrógeno total son los determinantes más críticos, concentrando el 38 % de las excedencias y afectando principalmente los tramos medios y finales de los ríos. El pH fue el único parámetro con cumplimiento total.

Se mantiene un patrón de deterioro longitudinal donde los tramos iniciales conservan mejores condiciones, mientras los sectores medios y finales reflejan el impacto acumulativo de las descargas procedentes del sistema de alcantarillado público. El río Torca representa el sistema mejor conservado (100% en categoría Buena), mientras el río Fucha presenta la situación más crítica, con la reaparición de la categoría Pobre en su tramo medio.

La evaluación integral revela que, pese a las mejoras observadas, persisten desafíos considerables. La ausencia de tramos en categoría Excelente y la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos subrayan la necesidad de fortalecer la gestión del recurso hídrico.

4 RECOMENDACIONES

Se requiere evaluar de manera prioritaria el tramo SA-T2 del río Salitre, que presenta la pendiente negativa más pronunciada del sistema (-1.75 unidades/periodo) y una caída reciente de 12 unidades en su WQI, actuando como precursor del deterioro aguas abajo. Igualmente, es necesario investigar las causas del descenso abrupto en el tramo FU-T2 del río Fucha a categoría Pobre, que contradice su tendencia histórica de recuperación.

Finalmente, se recomienda institucionalizar la integración del análisis de tendencias Mann-Kendall con el monitoreo tradicional, complementándolo con análisis de estacionalidad y

correlaciones hidrológicas, para sustentar la toma de decisiones con evidencia estadística robusta.



CARLOS ARTURO ALVAREZ MONSALVE
SUBDIRECCION DEL RECURSO HIDRICO

Elaboró:

DAVID ANDRES ZAMORA AVILA	CPS:	SDA-CPS-20251101	FECHA EJECUCIÓN:	04/12/2025
---------------------------	------	------------------	------------------	------------

Revisó:

DAVID FELIPE PEREZ SERNA	CPS:	SDA-CPS-20250758	FECHA EJECUCIÓN:	29/12/2025
--------------------------	------	------------------	------------------	------------

Aprobó:

CARLOS ARTURO ALVAREZ MONSALVE	CPS:	FUNCIONARIO	FECHA EJECUCIÓN:	30/12/2025
--------------------------------	------	-------------	------------------	------------