

SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe Técnico No. 01540, 24 de junio del 2014

**Subdirección del Recurso
Hídrico y del Suelo**

**INFORME RESULTADO DEL
WQI PARA EL PERIODO
2013-II A 2014-I**

Elaborado: Ing. Carlos Andrés Peña Guzmán

Revisado: Ing. Pedro Nel Gamba García

Coordinador del Grupo de Recurso Hídrico
Superficial

ABREVIACIONES

| | |
|--------------------|--|
| DBO ₅ | Demanda Bioquímica de Oxígeno |
| DQO | Demanda Química de Oxígeno |
| GyA | Grasas y Aceites |
| N _{total} | Nitrógeno total |
| OD | Oxígeno Disuelto |
| P _{total} | Fósforo total |
| RCHB | Red de Calidad Hídrica de Bogotá |
| SAAM | Sustancias Activas al Azul de Metileno |
| SDA | Secretaria Distrital de Ambiente |
| SST | Sólidos Suspendidos Totales |
| WQI | Water Quality Index |



CONTENIDO

| | |
|-----------------------------------|----|
| ABREVIACIONES..... | 2 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 2. INDICE DE CALIDAD HÍDRICO..... | 5 |
| 3. RÍO TORCA..... | 11 |
| 4. RÍO SALITRE..... | 13 |
| 5. RÍO FUCHA..... | 18 |
| 6. RÍO TUNJUELO..... | 22 |
| 7. conclusiones..... | 29 |
| BIBLIOGRFÍA..... | 33 |

TABLA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Rangos cuantitativos y cualitativos del WQI..... | 7 |
| Tabla 2 Calculo de varianzas del WQI para los semestres S2-2012, S1-2013 y S2-2013..... | 8 |
| Tabla 3 Comparación WQI anual dinámico entre los años 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014. | 9 |
| Tabla 4 WQI Río Torca - Tramo 1. | 11 |
| Tabla 5 WQI Río Torca - Tramo 2. | 12 |
| Tabla 6 WQI Río Salitre - Tramo 1..... | 14 |
| Tabla 7 WQI Río Salitre - Tramo 2..... | 15 |
| Tabla 8 WQI Río Salitre - Tramo 3..... | 15 |
| Tabla 9 WQI Río Salitre - Tramo 4..... | 16 |
| Tabla 10 WQI Río Fucha - Tramo 1..... | 18 |
| Tabla 11 WQI Río Fucha - Tramo 2..... | 19 |
| Tabla 12 WQI Río Fucha - Tramo 3..... | 20 |
| Tabla 13 WQI Río Fucha - Tramo 4..... | 21 |
| Tabla 14 WQI Río Tunjuelo - Tramo 1. | 23 |
| Tabla 15 WQI Río Tunjuelo - Tramo 2. | 24 |
| Tabla 16 WQI Río Tunjuelo - Tramo 3. | 26 |
| Tabla 17 WQI Río Tunjuelo - Tramo 4. | 27 |
| Tabla 19. Concentración promedio – Parámetros críticos..... | 29 |
| Tabla 20. Resumen variables críticas y evolución WQI – Río Torca..... | 30 |
| Tabla 21. Resumen variables críticas y evolución WQI – Río Salitre..... | 31 |
| Tabla 22 Resumen variables críticas y evolución WQI – Río Fucha..... | 31 |
| Tabla 23. Resumen variables críticas y evolución WQI – Río Tunjuelo..... | 32 |

TABLAS DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Boxplot por cuenca de los valores de WQI para los semestres S2-2012, S1-2013 y S2-2013..... | 7 |
| Ilustración 2 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014..... | 8 |
| Ilustración 3 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014 Río Torca. | 12 |
| Ilustración 4 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014 Río Salitre. | 16 |
| Ilustración 5 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014 Río Fucha..... | 21 |
| Ilustración 6 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014 Río Tunjuelo. | 27 |
| Ilustración 7 Comparación del comportamiento de las concentraciones de coliformes fecales para las cuencas Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo. | 29 |
| Ilustración 8 Comparación de porcentaje de mejoramiento o disminución en el WQI por cuenca..... | 32 |

1. INTRODUCCIÓN

El recurso Los recursos hídricos superficiales están expuestos con gran facilidad a diferentes impactos ambientales, por tal motivo cualquier las acciones ón de gestión y control que se realicen sobre estos permitirá la protección y sostenibilidad la recuperación de este recurso natural. Una de las herramientas de gestión más empleada para la evaluación de la calidad hídrica, control de las políticas ambientales y determinar establecer el efectos sobre el de prácticas ambiente ales es el uso de Indicadores, para este caso el Índice de Calidad del Agua (ICA- WQI) [1], el los cuales utilizan la información cualitativa cuantitativa de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua para definir en términos cualitativos simples un cierto el estado nivel de calidad del recurso (bueno, malo, regular, etc) [2, 3].

Bogotá es una ciudad que ha venido creciendo de manera abrumadora, en área espacio ocupada y población, pasando aproximadamente de 2.9 millones de habitantes en 1973 a más de 8 millones en 2013, según la Secretaría Distrital de Planeación, su sistema de alcantarillado está compuesto por tres Subcuencas urbanas: Salitre, Fucha y Tunjuelo, de acuerdo con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP) en su informe de gestión de 2012, esta infraestructura para el año 2012 era del 99.20% para barrios legalmente constituidos, sin embargo solo un porcentaje de las aguas residuales generadas en la cuenca del Salitre son tratadas por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Salitre (aproximadamente el 19% del total de aguas residuales de la ciudad) [4], las demás son vertidas a ríos y quebradas de la ciudad.

En ese contexto, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) como autoridad ambiental en el perímetro urbano del Distrito Capital inició un seguimiento a la calidad de las principales fuentes superficiales del Distrito, mediante la operación de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (Red destinada a monitorear la calidad de los ríos Torca, Salitre, Fucha, Tunjuelo en 28 puntos y en donde se toman muestras compuestas en jornada de monitoreo bihoraria y [6-8]. A partir de dichas muestras se cuantifican por medio de análisis estándar de laboratorio los siguientes parámetros: pH, OD, DBO₅, DQO, SST, SAAM, GyA, NT, PT y Coliformes fecales, es importante mencionar que ocasionalmente se miden sustancias de interés sanitario como.

2. INDICE DE CALIDAD HÍDRICO

Como se mencionó anteriormente para la evaluación de la calidad ha venido siendo empleado el indicador The Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI), el cual fue generado en 1997 por el Water Quality Guidelines Task Group from the CCME al realizar una estandarización de los diferentes indicadores usados en Canadá, está basado en el BCWQI el cual emplea tres factores de cálculo y su respuesta numérica es de igual magnitud, sin embargo varía en los rangos de calidad [11-13]. Su fórmula de cálculo es:

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

Las variables F1, F2 y F3, representan diferentes aproximaciones para determinar la calidad del agua, que son:

$$F_1 = \left(\frac{\text{Number of failed variables}}{\text{Total number of variables}} \right) * 100$$

- F2 - Frecuencia: Representa la cantidad de datos que no cumplen los objetivos de calidad, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$F_2 = \left(\frac{\text{Number of failed test}}{\text{Total number of test}} \right) * 100$$

- F3 - Amplitud: Representa la cantidad por la cual los datos no cumplen los objetivos; este se calcula a partir de la excursión y la suma normalizada de las excursiones [nse].

$$F_3 = \frac{nse}{0.01nse + 0.01}$$

Cuando hay uno o varios datos que no cumplen los objetivos de calidad y dicho objetivo no debe ser superado, se debe calcular la excursión de la siguiente manera:

$$excursion_i = \left(\frac{\text{Failed test value}_i}{\text{Objective}_j} \right) - 1$$

Cuando los valores deben estar por encima del objetivo para cumplir, es decir dicho objetivo debe ser superado, se debe calcular la excursión de la siguiente manera:

$$excursion_i = \left(\frac{Objective_j}{Failed\ test\ value_i} \right) - 1$$

Después de calcular la excursión de todos los datos que no cumplen, se calcula el *nse* utilizando la siguiente ecuación:

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n excursion_i}{number\ of\ test}$$

La relación entre el valor del índice obtenido de la fórmula general y el ranking cualitativo de la calidad del agua se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Rangos cuantitativos y cualitativos del WQI

| CCME WQI | | |
|-----------|------------------|--|
| Rating | Rango del Índice | Color |
| Excelente | 95 a 100 |  |
| Bueno | 80 a 94 |  |
| Regular | 65 a 79 |  |
| Marginal | 45 a 64 |  |
| Pobre | 0 a 44 |  |

Cabe mencionar que para el cálculo del WQI, es necesario llevar a cabo diferentes análisis estadísticos que permitan identificar valores atípicos, diferencias entre rangos, valores promedios, medias y mediana, de acuerdo a esto se plantea la búsqueda de estos valores o outliers mediante el uso de diagramas de cajas las cuales, el cual permite una rápida identificación de los valores atípicos (Valores que son extremos en relación al resto de los valores) por medio del cálculo de cuartiles. Los cuartiles son los tres valores que dividen un conjunto ordenado en cuatro partes iguales. Los cuartiles se denotan usualmente por Q1, Q2 y Q3, entre los cuartiles, el primero representa un cuarto de todos los datos (25%), el segundo representa la media de la serie de datos, y

el tercero representa las tres cuartas partes de los datos (75%), los brazos o “bigotes” representan los valores máximos y mínimos dentro del rango de los percentiles los valores que se encuentre fuera de estos bigotes son considerados atípicos.

Este análisis fue llevado a cabo sobre todos los parámetros por año y estación, una vez identificados estos valores fueron eliminados de la serie de tiempo, para el cálculo del WQI.

Es importante mencionar que la SDA no llevo a cabo realizar monitoreo en el primer semestre 2014, por lo tanto se aplicó la metodología de cálculo con los resultados disponibles del periodo anual Julio 2013 – Junio 2014 y se evaluó la variabilidad los resultados de WQI semestral desde las campañas S2-2012 hasta S2-2013.

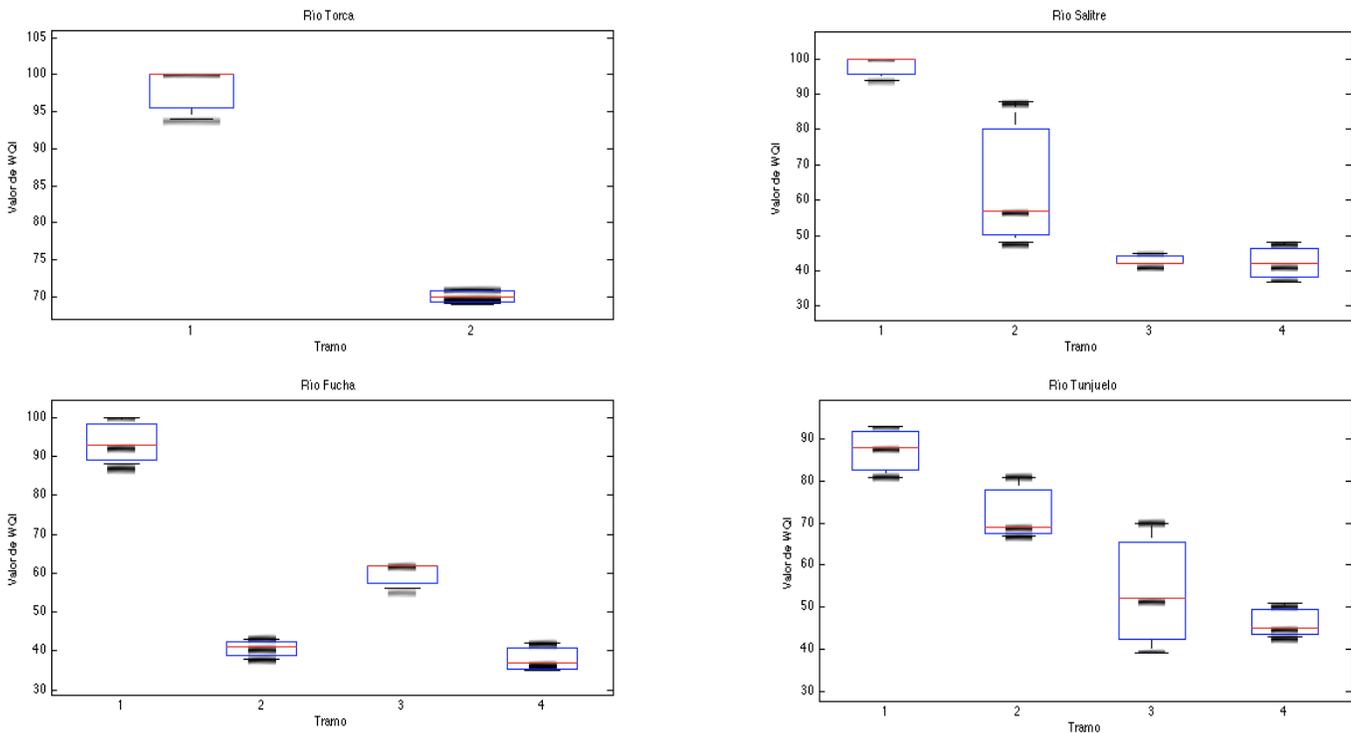
Tabla 2 Calculo de varianzas del WQI para los semestres S2-2012, S1-2013 y S2-2013

| | WQI S2-2012 | WQI S1-2013 | WQI S2-2013 | |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| Río Torca | | | | Varianza |
| Tramo 1 | 94 | 100 | 100 | 8 |
| Tramo 2 | 69 | 71 | 70 | 0,66 |
| Río Salitre | | | | |
| Tramo 1 | 94 | 100 | 100 | 8 |
| Tramo 2 | 57 | 48 | 88 | 293,55 |
| Tramo 3 | 42 | 42 | 45 | 2 |
| Tramo 4 | 37 | 42 | 48 | 20,22 |
| Río Fucha | | | | |
| Tramo 1 | 88 | 93 | 100 | 24,22 |
| Tramo 2 | 43 | 38 | 41 | 4,22 |
| Tramo 3 | 56 | 62 | 62 | 8 |
| Tramo 4 | 37 | 35 | 42 | 8,66 |
| Río Tunjuelo | | | | |
| Tramo 1 | 81 | 93 | 88 | 24,22 |



| | | | | |
|---------|----|----|----|--------|
| Tramo 2 | 81 | 69 | 67 | 38,22 |
| Tramo 3 | 70 | 39 | 52 | 161,55 |
| Tramo 4 | 51 | 43 | 45 | 11,55 |

Ilustración 1 Boxplot por cuenca de los valores de WQI para los semestres S2-2012, S1-2013 y S2-2013



Como se observa en la Tabla 2, la varianza de los WQI semestrales por tramo no presentó cifras elevadas, mostrando un comportamiento de baja dispersión entre los valores registrados. Este fenómeno se explica por qué las diferencias entre los valores se encuentran por debajo del rango de 10 unidades, con excepción de los tramos correspondientes al número 2 del río Salitre y 3 del río Tunjuelo, que indican incrementos de calidad, los cuales obedecen a acciones de intervención en saneamiento y control.

Sin embargo a pesar de la variabilidad de los datos sobre el tramo 3 del río Tunjuelo se puede determinar que presenta un comportamiento uniforme que se explica por la tendencia al equilibrio proporcional de las cifras del crecimiento y disminución del WQI, situación que se puede ver con claridad en la Ilustración 2 ya que el boxplot para este tramo presenta un comportamiento

harmónico lo que muestra uniformidad en los datos. En cuanto al tramo 2 del río Salitre, este presenta una tendencia asimétrica por la expresión de marcados comportamientos de aumento que obedecen a la intervención de obras sobre alivios a la altura de la calle 24 del tramo en mención.

Después de este análisis se presenta a continuación el WQI:

Tabla 3 Comparación WQI anual dinámico entre los años 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014.

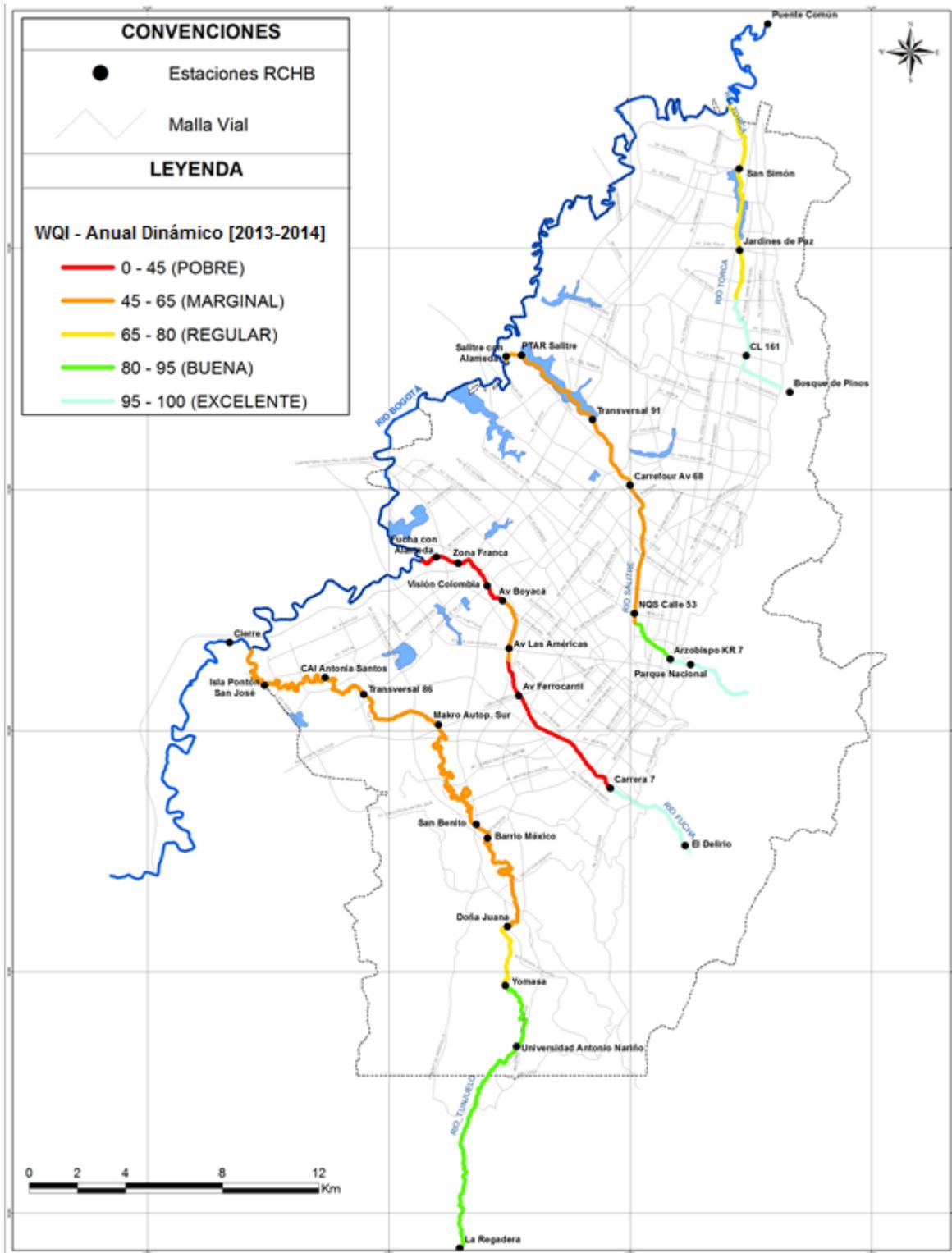
| | WQI 2011 - 2012 | WQI 2012 - 2013 | WQI 2013 - 2104 |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Río Torca | | | |
| Tramo 1 | 100 | 100 | 100 |
| Tramo 2 | 47 | 53 | 70 |
| Río Salitre | | | |
| Tramo 1 | 94 | 94 | 100 |
| Tramo 2 | 44 | 46 | 88 |
| Tramo 3 | 38 | 43 | 45 |
| Tramo 4 | 39 | 38 | 48 |
| Río Fucha | | | |
| Tramo 1 | 88 | 88 | 100 |
| Tramo 2 | 31 | 41 | 41 |
| Tramo 3 | 57 | 51 | 62 |
| Tramo 4 | 37 | 35 | 42 |
| Río Tunjuelo | | | |
| Tramo 1 | 80 | 88 | 88 |
| Tramo 2 | 60 | 81 | 67 |
| Tramo 3 | 38 | 39 | 52 |



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

| | | | |
|---------|----|----|----|
| Tramo 4 | 38 | 43 | 45 |
|---------|----|----|----|

Ilustración 2 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014.



Cabe mencionar que para el análisis por cuenca y general se tendrá como referencia el Informe WQI y Mapas de Calidad – 2do Semestre 2013 presentado por la Universidad de los Andes dentro del CONTRATO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NO. 01202 DE 2009.

3. RÍO TORCA

En el tramo 1 de este río hay un punto de monitoreo [Bosque de Pinos], con un total de datos de 56, de los cuales todos alcanzaron los objetivos de calidad a cuatro años [Resolución 5731 de 2008]. La calidad del agua en este primer tramo, para el período evaluado, fue **excelente**.

Tabla 4 WQI Río Torca - Tramo 1.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 0,0 |
| DBO ₅ | 0 | F2 | 0,0 |
| DQO | 0 | nse | 0,0 |
| N _{total} | 0 | F3 | 0,0 |
| P _{total} | 0 | WQI | 100 |
| SST | 0 | | |
| Grasas y Aceites | 0 | | |
| Coliformes Fecales | 0 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 0 | | |

Para el tramo 1, en comparación con los resultados [2012-2013], la calidad se mantuvo en la misma categoría **excelente**. La única diferencia que tuvieron los datos de un período a otro fue en P_{total}, ya que para el año 2012-2013 se encontraron dos valores que excedieron el objetivo mientras que en este periodo todos los valores de P_{total} estuvieron por debajo del objetivo.

En el tramo 2 de este río hay tres puntos de monitoreo [Calle 161, Jardines de Paz y San Simón] con un total de datos de 171, de los cuales 20 no satisficieron los objetivos de calidad. El WQI para este tramo fue **regular**. En este caso, los parámetros que alcanzaron el objetivo en un 100% fueron

oxígeno disuelto, DBO₅, P_{total}, SST y pH, mientras que los parámetros que más veces incumplieron los objetivos fueron coliformes fecales y grasas y aceites, evidenciado que el deterioro de la calidad del agua en este tramo se da principalmente por las descargas de aguas residuales domésticas [ver Tabla 1].

En cuanto a los coliformes fecales, el 80% de los datos de esta variable estuvieron por encima del objetivo de calidad [1×10^6 NMP/100mL]; estos datos se registraron con mayor frecuencia en Jardines de Paz y San Simón, mostrando el efecto de las aguas residuales vertidas sobre la calidad en la parte más baja del río o transportadas desde el tramo 1. Las grasas y aceites presentes en este tramo también fueron críticos para la calidad del agua, especialmente en el punto Calle 161 donde el 33% de los datos de GyA en dicho punto superó lo establecido en la Resolución 5731 de 2008.

Tabla 5 WQI Río Torca - Tramo 2.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 50,0 |
| DBO5 | 0 | F2 | 11.7 |
| DQO | 1 | nse | 0.02 |
| Ntotal | 1 | F3 | 1.92 |
| Ptotal | 0 | WQI | 70.33 |
| SST | 0 | | |
| Grasas y Aceites | 2 | | |
| Coliformes Fecales | 10 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 6 | | |

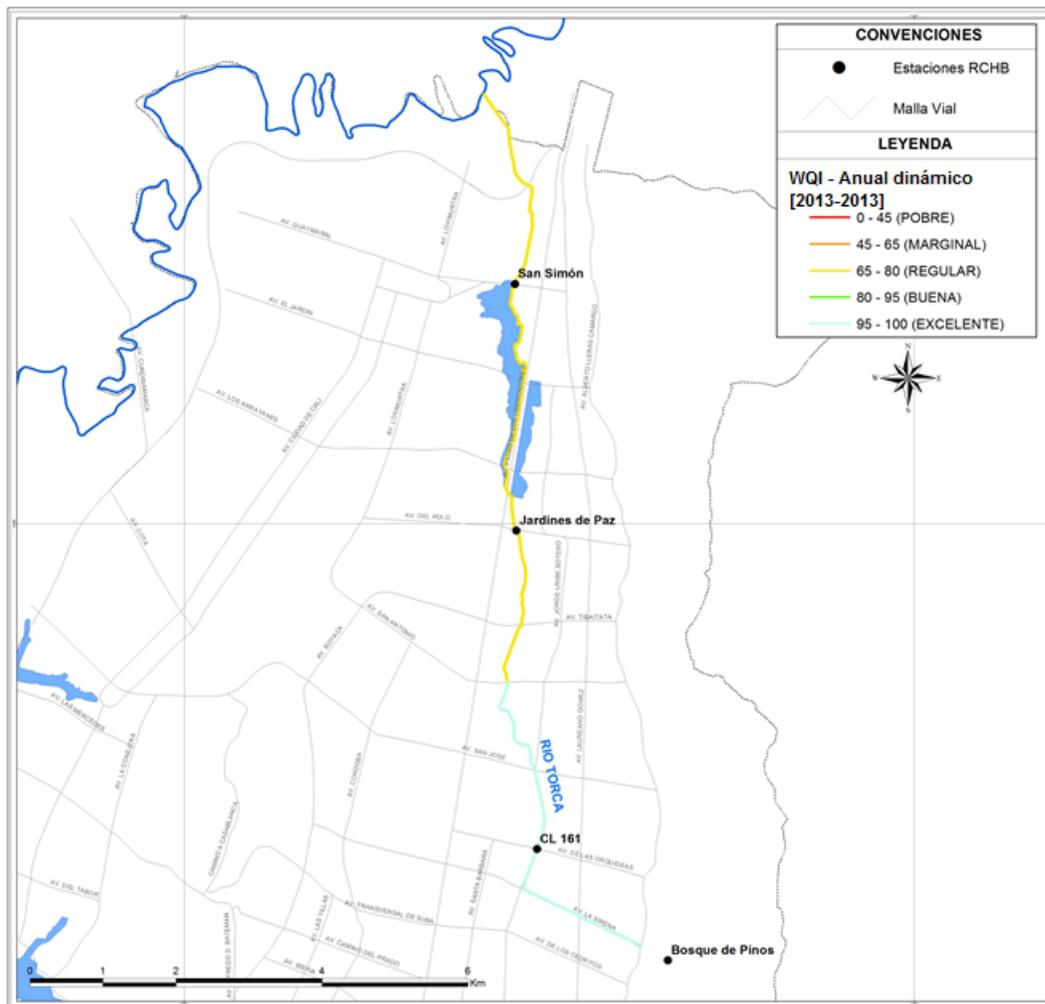
En comparación con los resultados obtenidos anteriormente [2012-2013], la calidad del agua mejoró significativamente y el valor de WQI varió [WQI 2012-2013= **53** y WQI 2013 -2014= **70**]. Se notó que las diferencias entre los periodos están relacionadas con la cantidad de datos que no alcanzaron los objetivos; para 2012-2013 fue del 80% de los datos mientras que en 2013-2014 el porcentaje disminuyó un 30%, lo anterior también debe tener en cuenta la disminución del número de monitoreos realizados.

Cabe resaltar que para este periodo el oxígeno disuelto no fue crítico en la determinación de la calidad del segundo tramo como se había presentado en periodos anteriores, en cambio los coliformes fecales siguió siendo la variable más crítica del tramo. Adicionalmente, el punto con mayor frecuencia de incumplimiento ha sido Calle 161, denotando un sector con alto impacto por las descargas de agua residual.

En general, se pudo notar que para el primer tramo no hubo una variable crítica y la calidad del agua fue **excelente**, mientras que para el segundo tramo los coliformes fecales y las grasas y aceites fueron las variables más críticas, mostrando una calidad **regular**. En comparación con los resultados obtenidos en el año anterior evaluada [2012-2013], la calidad del agua ha mejorado significativamente específicamente sobre el tramo 2.

A continuación se presenta el mapa de calidad para el río Torca.

Ilustración 3 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014 Río Torca.



4. RÍO SALITRE

En el tramo 1 del río Salitre sólo se encuentra un punto de monitoreo [Parque Nacional]; sobre este punto se obtuvo un total de 55 datos, de los cuales todos alcanzaron los objetivos de calidad, situación que mejoró con respecto al periodo anterior, ya que para este se obtuvo que el OD incumplió una vez. A partir de la estimación del WQI la calidad del agua en este primer tramo fue **excelente** [ver Tabla 6].

Tabla 6 WQI Río Salitre - Tramo 1.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 0,0 |
| DBO ₅ | 0 | F2 | 0,0 |
| DQO | 0 | nse | 0,0 |
| N _{total} | 0 | F3 | 0,0 |
| P _{total} | 0 | WQI | 100 |
| SST | 0 | | |
| Grasas y Aceites | 0 | | |
| Coliformes Fecales | 0 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 0 | | |

Comparando el WQI de este año con el año anterior, la calidad de este tramo mejoró de **buena** a **excelente**, y el valor del WQI mejoró 6 puntos [WQI 2012-2013 = **94** vs. WQI 2013-2014 = **100**].

En el tramo 2 de este río hay dos puntos de monitoreo [Arzobispo y Carrera 30 con Calle 53], con un total de 109 datos, de los cuales 2 no lograron los objetivos de calidad. La calidad de agua de este tramo fue **buena** [ver Tabla 7] y presentó un incremento en el valor del WQI del casi del doble con respecto al año anterior [WQI 2012-2013=**46** vs WQI2013-2014=**88**] pasando **marginal** a **buena**, es importante resaltar una vez más que el cambio en la calidad del tramo se debe a la diferencia en la calidad que existe entre el antiguo y nuevo punto de monitoreo NQS Calle 53 [600m aguas arriba aproximadamente]. Por otra parte es importante mencionar que todos los parámetros, excepto coliformes fecales y pH, cumplieron los objetivos de calidad.

Los dos puntos del tramo presentaron una calidad homogénea, en Arzobispo dos datos de coliformes fecales de calidad incumplieron lo establecido en la Resolución 5731 de 2008; y en NQS Calle 53 tan solo un valor de pH superó el límite superior.

Tabla 7 WQI Río Salitre - Tramo 2.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 20,0 |
| DBO ₅ | 0 | F2 | 2.8 |
| DQO | 0 | nse | 0,0 |
| N _{total} | 0 | F3 | 0.20 |
| P _{total} | 0 | WQI | 88.34 |
| SST | 0 | | |
| Grasas y Aceites | 0 | | |
| Coliformes Fecales | 2 | | |
| pH | 1 | | |
| SAAM | 0 | | |

En el tramo 3, están los puntos Carrera 30 Calle 53 y Carrefour Avenida 68, con 109 datos en total de los cuales 33 no alcanzaron los objetivos de calidad, de acuerdo con el cálculo del WQI la calidad del agua en este tramo fue **marginal** [ver Tabla 8 **Error! Reference source not found.**] mejorado cuantitativamente muy poco 2 puntos pero cualitativamente de **pobre** a **marginal**.

El punto Calle 53 presentó una mejor calidad que Carrefour Av. 68; todos los datos de calidad en Calle 53 cumplieron con lo establecido en la Resolución 5731 de 2008 mientras que en Carrefour el 55% de los datos excedió los objetivos. Al igual que el tramo anterior es importante resaltar que el punto NQS Calle 53 cambió de ubicación y su calidad se vio notablemente.

Tabla 8 WQI Río Salitre - Tramo 3.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 90,0 |
| DBO ₅ | 4 | F2 | 30.3 |
| DQO | 4 | nse | 0.13 |
| N _{total} | 5 | F3 | 11.12 |
| P _{total} | 3 | WQI | 44.8 |
| SST | 4 | | |
| Grasas y Aceites | 4 | | |
| Coliformes Fecales | 4 | | |
| pH | 1 | | |
| SAAM | 4 | | |

La mayoría de parámetros que excedieron los objetivos, presentaron una frecuencia similar en el incumplimiento, influyendo aún más en la calidad del tramo. A diferencia de los tramos 1 y 2, en el tramo 3 el porcentaje de datos que excedió el objetivo muestra la afectación de las descargas de aguas residuales domésticas en este tramo del río. Porcentualmente, las variables que más incumpliendo presentaron fueron N_{total}, coliformes fecales, SST, DBO₅, DQO y SAAM.

Por último en el tramo 4 [Carrefour Av.68, Transversal 91 y Salitre Alameda] el WQI mostró una calidad del agua **marginada** con un valor de **48**. Este tramo contó con un total de 171 datos, de los cuales 68 no alcanzaron los objetivos de calidad. Todos los parámetros, a excepción de pH y OD, sobrepasaron los objetivos de calidad al menos una vez, como se puede ver en la Tabla 9.

Los parámetros que con más frecuencia superaron los objetivos de calidad fueron coliformes fecales, SAAM y GyA. El 93% de los datos de coliformes fecales fueron superiores a 1×10^6 NMP/100mL, el 82% de los datos de SAAM estuvieron por encima de 3 mg/L y 61% de los datos de GyA excedieron 30 mg/L, mostrando que en la gran mayoría de monitoreos la calidad del agua fue muy baja en relación con estos parámetros. Los valores de grasas y aceites y tensoactivos que incumplieron con la norma, se alejaron significativamente de los objetivos [rango GyA 32 – 115 mg/L y rango SAAM 3.1 – 15 mg/L] haciendo de estos parámetros los más crítico del tramo.

Los tres puntos que conforman el tramo 4 presentaron variaciones en la calidad, ya que de todos los valores reportados en Carrefour Av.68 el 55% no alcanzó los objetivos de calidad, en Transversal 91 fue el 25% y en Salitre Alameda fue el 38%. Se debe resaltar que Carrefour y Salitre Alameda fue donde todos los datos de coliformes fecales incumplieron el objetivo.

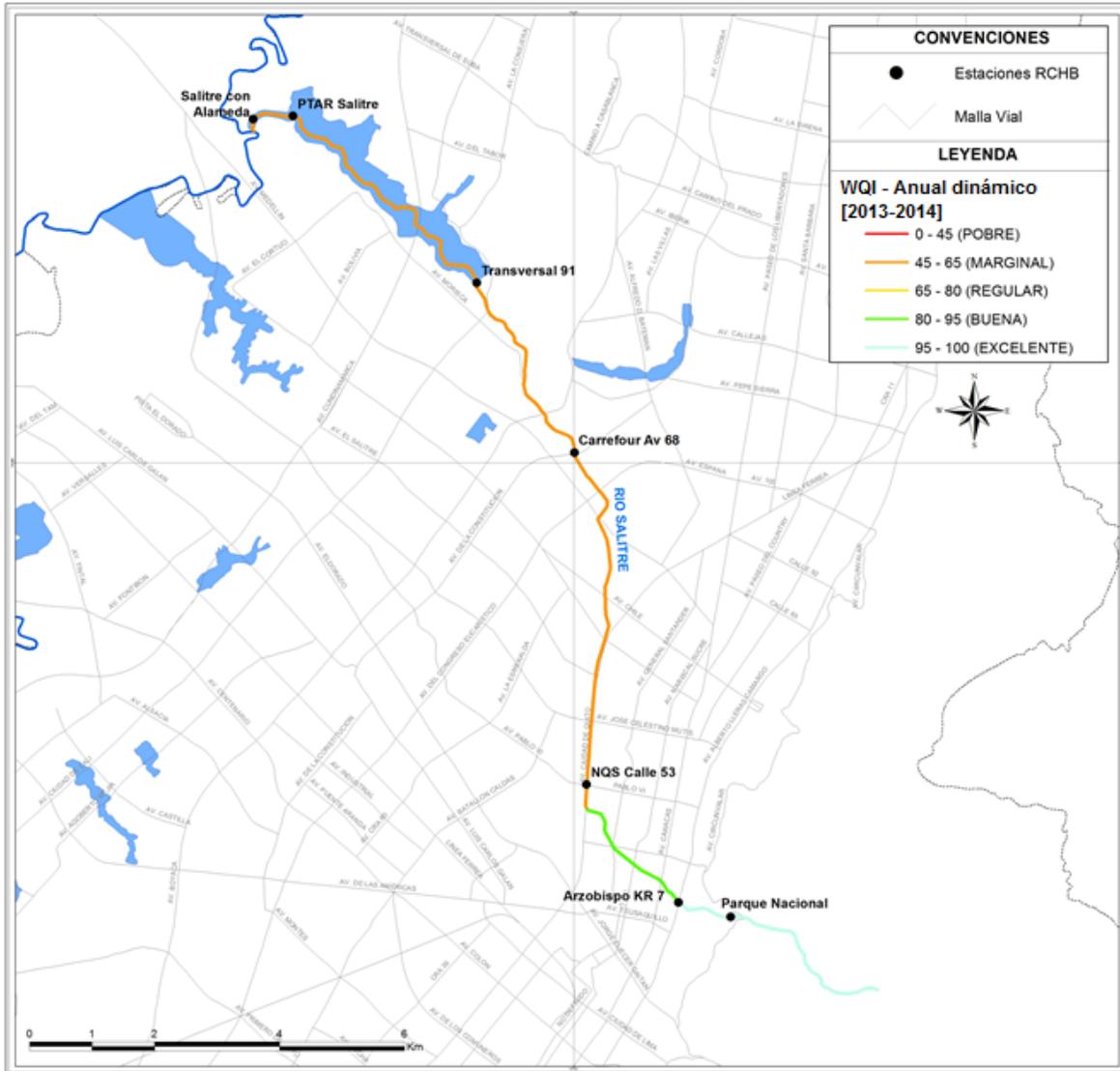
Tabla 9 WQI Río Salitre - Tramo 4.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 80,0 |
| DBO ₅ | 6 | F2 | 39,8 |
| DQO | 5 | nse | 0.09 |
| N _{total} | 7 | F3 | 8.53 |
| P _{total} | 5 | WQI | 48.18 |
| SST | 6 | | |
| Grasas y Aceites | 11 | | |
| Coliformes Fecales | 14 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 14 | | |

Comparando el WQI de este año con el WQI 2012-2013, la calidad de este tramo cambió de categoría **pobre** a **marginal** denotando una mejoría en la calidad. El valor del WQI aumentó en 10 puntos [WQI 2012-2013 = **38** y WQI 2013-2014 = **48**] mostrando una mejora en la calidad del tramo, esta se debe principalmente a dos factores, primero para el presente año se redujo el número de parámetros que incumplen, ya que el OD pasa de 22 incumplimientos para 2012-2013 a 0 incumplimientos en el presente año, el segundo factor se da en la frecuencia de incumplimiento debido a que todos los parámetros que presentaron una alta disminución, disminuyendo casi el doble para este periodo.

A continuación se presenta el mapa de calidad para el río Salitre.

Ilustración 4 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014 Río Salitre.



5. RÍO FUCHA

El tramo 1 del río Fucha se compone únicamente por el punto de monitoreo [El Delirio]; este punto obtuvo un total de 54 datos, de los cuales ningún dato incumplió con los objetivos de calidad [OC] establecidos por la Resolución 5731 de 2008. A partir de la estimación del WQI se pudo determinar que la calidad de este tramo para el período S2-2013 es **excelente**.

En cuanto a la comparación de WQI por año, se encontró una mejora de Bueno a Excelente [WQI 2012-2013 = 88 vs WQI 2013-2013=100], esto asociado al número de variables que incumplen, para el año 2012-2013 se presentó un incumplimiento de dos parámetros P_{total} y pH, y en la frecuencia del P_{total} ya que incumplió 6 veces, en la actualidad no se incumplió ninguna vez este parámetro.

Tabla 10 WQI Río Fucha - Tramo 1.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 0,0 |
| DBO ₅ | 0 | F2 | 0,0 |
| DQO | 0 | nse | 0,0 |
| N _{total} | 0 | F3 | 0,0 |
| P _{total} | 0 | WQI | 100 |
| SST | 0 | | |
| Grasas y Aceites | 0 | | |
| Coliformes Fecales | 0 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 0 | | |

Considerando los resultados WQI obtenidos durante el periodo de tiempo comprendido entre el S1-2012 y S2-2013, es posible identificar las óptimas condiciones que este tramo ha mantenido a través del tiempo y el avance en términos de calidad que se obtuvo en el último semestre [S2-2013]. En el S1-2012 el tramo presentó una calidad excelente [WQI = 100], mientras que en los dos siguientes periodos la calidad disminuyó a buena, para el S2-2012 y el S1-2013 el WQI correspondió a 88 y 93, respectivamente, esto permite ver el comportamiento dinámico por semestre.

En relación al tramo 2 de este río, éste se compone por dos puntos [Carrera 7 y Avenida Ferrocarril]. Obtuvo un total de 113 datos, de los cuales 45 [40%] no alcanzaron los objetivos de calidad [Ver Tabla 11]. El único parámetro que no presentó ningún dato por encima del objetivo de calidad fue el pH, mientras que los parámetros más críticos fueron SST y coliformes fecales, donde el 100% y 70% de los datos incumplieron con los objetivos de calidad, respectivamente. Es importante resaltar la diferencia de calidad entre los 2 puntos de monitoreo de este tramo, pues Carrera 7 supera sustancialmente la de Avenida Ferrocarril; en el punto Avenida Ferrocarril el 53% de los datos sobrepasaron lo establecido en la Resolución 5731 de 2008, a diferencia del punto

Carrera 7 donde tan sólo el 27% de los datos incumplieron lo estipulado. Adicionalmente es importante mencionar que el WQI no varió, este se mantuvo constante siendo 41 para los dos años.

Por otro lado, es importante resaltar el cambio drástico en la calidad de agua entre el tramo 1 [excelente] y el tramo 2 [pobre], que se presenta principalmente por la entrada del río Fucha al perímetro urbano y que trae consigo la descarga de aguas residuales domésticas mostrando un incumplimiento del 0 al 90% de los parámetros.

Tabla 11 WQI Río Fucha - Tramo 2.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 4 | F1 | 90.0 |
| DBO ₅ | 4 | F2 | 39.8 |
| DQO | 6 | nse | 0.32 |
| N _{total} | 3 | F3 | 24.51 |
| P _{total} | 4 | WQI | 41.44 |
| SST | 10 | | |
| Grasas y Aceites | 4 | | |
| Coliformes Fecales | 7 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 3 | | |

En lo que respecta al tramo 3 del río Fucha [Av. Américas y Av. Boyacá], este presenta 115 datos, de los cuales 29 [39%] incumplen con los objetivos de calidad. Los parámetros más críticos fueron coliformes fecales [80% incumple] y SAAM [58% incumple], mientras que los parámetros que cumplieron con el 100% de sus datos el OC fueron OD, DBO₅, P_{total} y pH, ver Tabla 12. Los valores de coliformes fecales que exceden el objetivo de calidad [OC = 1.0 x 10⁶ NMP/100 ml] varían de 2.3 x 10⁶ a 1.5 x 10⁷ NMP/100 ml, mientras que en el caso de SAAM varía de 4.4 a 9.9 mg/L para un OC de 4 mg/L.

Tabla 12 WQI Río Fucha - Tramo 3.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 60,0 |
| DBO ₅ | 0 | F2 | 25.2 |
| DQO | 4 | nse | 0.09 |
| N _{total} | 4 | F3 | 8.48 |
| P _{total} | 0 | WQI | 62.11 |
| SST | 3 | | |
| Grasas y Aceites | 3 | | |
| Coliformes Fecales | 8 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 7 | | |

En el caso de este tramo no existe un punto de monitoreo que haya incumplido con los OC en mayor proporción al otro, por lo contrario, ambos puntos presentan un porcentaje de incumplimiento similar, siendo de 21% [Av. Américas] y 29% [Av. Boyacá].

El valor WQI del tramo 3 fue de 62, correspondiente a una calidad de agua **marginal**. En relación con los WQI obtenido en el periodo anterior [2012-2013 se mejoró por 11 puntos, esto debido a la disminución de incumplimiento en dos parámetros OD y P_{total}. El parámetro que redujo notoriamente el porcentaje de incumplimiento de la Resolución 5731 de 2008 entre el periodo S2-2012 y S2-2013 fue el OD, el cual pasó de tener un incumplimiento del 40% [S2-2012] a un cumplimiento del 100% [S2-2013].

Durante todos los años de monitoreo se ha visto que la categoría del WQI sube del tramo 2 al tramo 3, lo cual no refleja un mejoramiento de la calidad del agua sino un efecto de la variación de los objetivos de calidad en el tercer tramo. Se ha podido evidenciar que los diferentes registros obtenidos en los puntos Av. Ferrocarril y Av. Américas presentan pequeñas variaciones, por lo que el aumento del WQI se refiere a que los objetivos son menos exigentes en el tramo 3, por ejemplo el objetivo de calidad para DBO₅ pasa de 50 mg/L en el tramo 2 a 250 mg/L en el tramo 3 [por el orden del 80%].

Tabla 13 WQI Río Fucha - Tramo 4.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 80,0 |
| DBO ₅ | 9 | F2 | 56.1 |
| DQO | 15 | nse | 0.36 |
| N _{total} | 16 | F3 | 26.47 |
| P _{total} | 6 | WQI | 41.56 |
| SST | 10 | | |
| Grasas y Aceites | 12 | | |
| Coliformes Fecales | 16 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 13 | | |

Por último, el tramo 4 de este río está conformado por tres puntos [Visión Colombia, Zona Franca y Fucha con Alameda]. El cálculo del WQI se realizó con un total de 173 datos, de los cuales 97 [56%] excedieron los objetivos de calidad [ver Tabla 14]. En Visión Colombia, Zona Franca y Fucha con Alameda el 59%, 55% y 54% de los datos, respectivamente, no cumplieron lo establecido en la Resolución 5731 de 2008; lo que demuestra una homogeneidad en las condiciones de cada uno de los puntos. Del total de parámetros monitoreados, los únicos que alcanzaron en su totalidad el objetivo de calidad fueron OD y pH; mientras que de los parámetros restantes los más críticos fueron coliformes fecales [100% incumplió], N_{total} [89% incumplió] y DQO [83% incumplió]. Los valores de coliformes fecales que superan el OC de 1.0×10^6 NMP/100ml oscilan entre 6.2×10^6 y 5.3×10^7 NMP/100ml; en N_{total}, el objetivo de calidad corresponde a 40 mg/L y el rango de excedencia varía de 44 a 78 mg/L; y por último, en el caso de DQO, el objetivo de calidad es 400 mg/L y se encuentra con valores que exceden el objetivo de 423 a 911 mg/L.

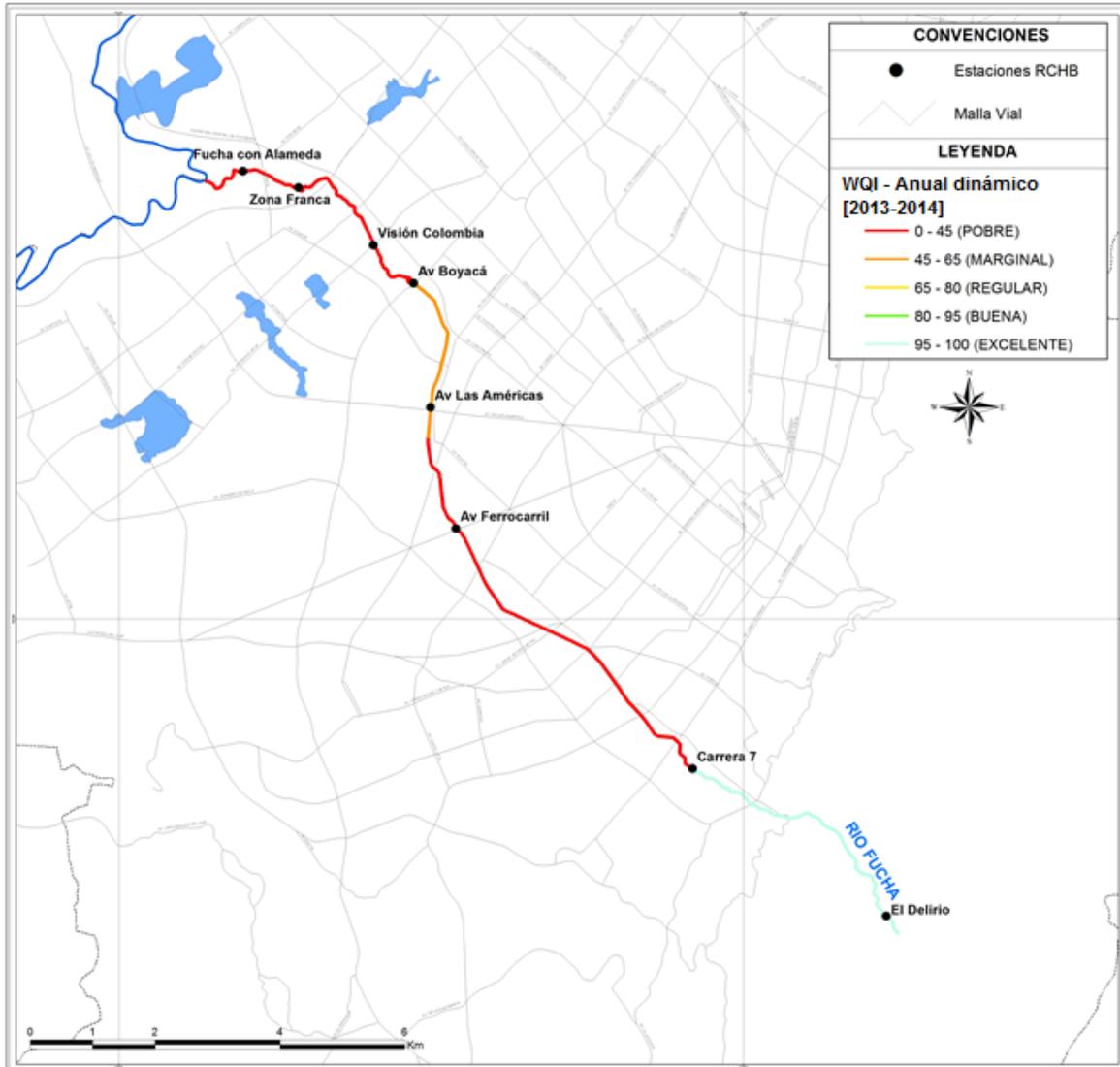
El WQI para el tramo 4 resultó ser de 42, equivalente a una calidad **pobre**. En comparación con los WQI obtenido en 2012-2013 de 35 se evidencia un aumento en la calidad del agua asociada a la disminución del incumplimiento de parámetros de 9 a 8 y del valor de la frecuencia del F2 de 62.5 a 56.1, sin embargo se mantiene en marginal. En relación con la calidad del tramo 3, es indudable la reducción en la calidad del río, que cambia de **marginal** a **pobre**. La mejoría no ha tenido lugar en



este tramo debido a la gran cantidad de carga contaminante que recibe, proveniente de interceptores como Fucha, Boyacá, del Sur y Kennedy, y del canal San Francisco.

A continuación se presenta el mapa de calidad para el río Fucha.

Ilustración 5 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014 Río Fucha.



6. RÍO TUNJUELO

El caudal en el río Tunjuelo se ve alterado de forma significativa debido a la operación del embalse [La Regadera-ejecutada por la EAAB], aumentando su valor hasta en tres órdenes de magnitud cuando las compuertas del embalse se abren. Este factor afecta las concentraciones de algunos parámetros en el agua, y a su vez influye en el valor del índice de calidad del agua. Por lo anterior se considera importante analizar dos escenarios para evaluar la dinámica de la calidad del agua en función del régimen de caudales en el primer tramo. El escenario 1 corresponde a todos los datos registrados y el escenario 2 hace referencia a la operación del embalse con las compuertas cerradas [caudales aproximadamente entre 4 y 46 L/s. Para este informe no se tuvieron en cuenta los resultados de compuertas cerradas pues tan sólo el 50% de los caudales estuvieron por debajo de 46% por lo cual no tenemos datos representativos para este análisis.

En el tramo 1 del río Tunjuelo sólo se encuentra un punto de monitoreo [La Regadera]; para el escenario 1 se obtuvieron un total de 60 datos, de los cuales 3 no alcanzaron los objetivos de calidad. A partir de la estimación del WQI la calidad del agua en este primer tramo fue **buena**. El parámetro que no cumplió con el objetivo de calidad fue OD y P_{total} . Como se puede ver en la Tabla 14 el WQI para este tramo fue de **87.96**.

Tabla 14 WQI Río Tunjuelo - Tramo 1.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 2 | F1 | 20,0 |
| DBO5 | 0 | F2 | 5.9 |
| DQO | 0 | nse | 0,0 |
| Ntotal | 0 | F3 | 0.15 |
| Ptotal | 1 | WQI | 87.96 |
| SST | 0 | | |
| Grasas y Aceites | 0 | | |
| Coliformes Fecales | 0 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 0 | | |



En cuanto al OD el 40% de los datos no alcanzaron los objetivos de calidad, 2 datos estuvieron por encima del valor establecido en la Resolución 5731 de 2008 [10mg/L], con valores entre 7.53 y 8.29 mg/L. Cabe resaltar que estos valores se encontraron cercanos al objetivo de calidad descrito en la norma. En cuanto al P_{total} el 20% de los datos no alcanzó los objetivos de calidad sólo se presentó 1 dato por encima del valor establecido, con un valor de 0.21 mg/L es importante resaltar que este valor no se encuentra alejado del objetivo de calidad [2mg/L].

Comparando el WQI de 2012-2013 para el escenario 1 con el WQI del presente año se mantuvo igual, sin embargo la diferencia se da en la variación de un parámetro pH por OD y la frecuencia del P_{total} para el año pasado 6 veces para este 1 vez.

Así mismo, al comparar el WQI de este período [S2-2013] para el escenario 1 con el WQI del período [S2-2012], la calidad del tramo se mantuvo buena. El valor del WQI mejoró un 9% y pasó de 81 a 88, esta mejora en la calidad está relacionado con la disminución de parámetros que no alcanzaron los objetivos de calidad; para el S2-2013 sólo se obtuvieron 2 parámetros [OD y P_{total}] por fuera del rango del objetivo mientras que para el S2-2012 se encontraron 3 parámetros [P_{total} , SST y coliformes fecales] por fuera de los objetivos de calidad.

En el tramo 2 de este río hay dos puntos de monitoreo [Yomasa y Doña Juana], con un total de datos de 120, de los cuales 11 no lograron los objetivos de calidad. El WQI de este tramo fue regular, los parámetros que no satisficieron los objetivos de calidad para este tramo fueron DQO, N_{total} , P_{total} y SST. El WQI para este tramo fue de 66.75 como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15 WQI Río Tunjuelo - Tramo 2.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 40,0 |
| DBO5 | 0 | F2 | 10.7 |
| DQO | 2 | nse | 0.67 |
| Ntotal | 1 | F3 | 40.04 |
| Ptotal | 3 | WQI | 66.75 |
| SST | 5 | | |
| Grasas y Aceites | 0 | | |
| Coliformes Fecales | 0 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 0 | | |

En Yomasa y Doña Juana el 0% y el 18.33% de los datos incumplió con los objetivos de calidad lo que demuestra que Doña Juana es el primer punto del río afectado por las descargas de agua residual. En cuanto al DQO el 17% de los datos estuvieron por encima del valor establecido en la Resolución 5731 de 2008 [200mg/L] con valores entre 186 y 220 mg/L. Para N_{total} el 9% de los datos sobrepasó el objetivo de calidad con un valor de 28.37 mg/L. En cuanto a P_{total} y SST el 60% y 56% de los datos respectivamente estuvo por encima del objetivo de calidad establecido. Para P_{total} se encontraron valores entre 5.35-39.9mg/L y para SST los datos que sobrepasaron los objetivos de calidad tuvieron valores entre 290-2733mg/L.

Sobre este tramo se presenta la mayor disminución en la calidad con respecto a todos los tramos, ya que para el año 2012-2013 el WQI fue de 81 **bueno**, pasando a **regular** 67, esto se debe principalmente al aumento de dos parámetros (N_{total} y DQO) que incumplieron, sin embargo es importante recalcar que se mejoró la magnitud de incumplimientos en SST y P_{total} , de 15 a 5 y de 6 a 3.

Comparando el WQI de este semestre [S2-2013] con el WQI del S1-2013, la calidad del agua de este tramo se mantuvo en una categoría **regular**. Los valores de WQI cambiaron entre los dos semestres [WQI actual= 67 vs. WQI S1-2013=69] mostrando que la calidad del agua desmejoró en un 3% en este tramo. Esta leve disminución en la calidad del agua está asociada con el aumento de una variable que no cumplió con los objetivos de calidad para este período [S2-2013].

Por otro lado al comparar el WQI de este semestre [S2-2013] con el del semestre [S2-2012], la calidad del agua desmejoró pasando de una categoría **buena** a **regular**, los valores de WQI cambiaron entre los dos semestres [WQI actual= **67** vs WQI S2-2012= **81**]. La desmejora en la calidad del agua se debe principalmente al aumento en el número de parámetros que no cumplen con los objetivos de calidad. Se pudo observar que para el S2-2012, tres parámetros incumplieron con los objetivos fijados mientras que para el S2-2013 cuatro parámetros estuvieron por fuera de los objetivos de calidad establecidos.

Es importante resaltar que aunque se hayan eliminado puntos de vertimiento aguas arriba de la quebrada Yomasa, los vertimientos provenientes del relleno sanitario en Doña Juana causan un detrimento en la calidad del agua de este tramo haciendo muy variable la calidad del agua durante los semestres evaluados.

El valor del WQI del tramo 3 para este período 2013-2014 fue de 52, correspondiente a una calidad de agua **marginal**. Este tramo está compuesto por cuatro puntos de monitoreo Doña Juana, Barrio México, San Benito y Makro Autopista Sur, con 240 datos en total de los cuales 28 no alcanzaron los objetivos de calidad [ver Tabla 16]. En general, se observó que la calidad del agua en comparación con el tramo 2 empeoró ya que pasó de una calidad **regular** a **marginal** con valores de WQI de [tramo 2= **67** vs. tramo 3= **52**]. Por otro lado, la calidad de agua en los 4 puntos fue heterogénea, ya que el punto Barrio México presentó una calidad mejor que el resto de los puntos monitoreados, ninguno de los datos sobrepasó los objetivos de calidad mientras que para Doña Juana, San Benito y Makro Autopista Sur el 3.75%, 4.58% y el 3.33% de los datos excedieron lo establecido en la Resolución 5731 de 2008. Es importante mencionar que ocho de los diez parámetros evaluados excedieron los objetivos de calidad.

Tabla 16 WQI Río Tunjuelo - Tramo 3.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 0 | F1 | 80,0 |
| DBO5 | 1 | F2 | 13.4 |
| DQO | 4 | nse | 0.24 |
| Ntotal | 5 | F3 | 19.28 |
| Ptotal | 3 | WQI | 51.86 |
| SST | 3 | | |
| Grasas y Aceites | 4 | | |
| Coliformes Fecales | 4 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 4 | | |

El N_{total} fue el parámetro que más excedió, los objetivos de calidad con un 22% y 5 datos. El DQO, GyA, coliformes fecales y SAAM tuvieron 4 datos que no alcanzaron los objetivos seguido de P_{total} y SST con 3 datos sobrepasando los objetivos de calidad. Por último el DBO_5 tuvo 1 dato que sobrepasó los objetivos de calidad establecidos. A diferencia de los tramos 1 y 2, en el tramo 3 la calidad del agua se ve drásticamente afectada por los altos valores de SST que superaron los 290 mg/L en Doña Juana.

Es importante resaltar que en el punto Doña Juana y San Benito se encontraron el mayor número de datos que superaron el objetivo de calidad [15 y 11 datos respectivamente], este comportamiento se debe a los vertimientos residuales en estos puntos del río. Los parámetros más críticos en estos puntos de monitoreo fueron SST, P_{total} y coliformes fecales.

En cuanto al punto Makro Autopista Sur, se presentaron 8 datos que no cumplieron con los objetivos de calidad, en este punto los parámetros más críticos fueron GyA y SAAM con 2 datos que no alcanzaron el objetivo. También es importante mencionar que en este punto se presentó el único dato de DBO_5 que no cumplió con el objetivo de calidad con un valor de 105 mg/L.

Al comparar el WQI del año 2012-2013 con el 2013-2014, la calidad de este tramo pasó de **pobre** a **marginaria** [WQI 2013-2014= 52 vs. WQI 2012-2013=39], se observó que el número de parámetros

que excedieron los objetivos de calidad para este semestre fue menor 8 parámetros, en cambio para el año de 2012-2013 [9 parámetros].

Por último, el WQI en el tramo 4 [Makro Autopista Sur, Transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José] mostró una calidad del agua **marginal**; el WQI para este tramo fue de **45**. En este tramo se obtuvo un total de 240 datos, de los cuales 53 no cumplieron los objetivos de calidad. A diferencia del tramo anterior, nueve parámetros, sobrepasaron los objetivos de calidad, como se puede observar en la Tabla 17.

Tabla 17 WQI Río Tunjuelo - Tramo 4.

| Parámetro | No. De datos que no alcanzan | Variables | Valor |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------|
| OD | 3 | F1 | 90,0 |
| DBO5 | 2 | F2 | 25.9 |
| DQO | 3 | nse | 0.18 |
| Ntotal | 6 | F3 | 15.41 |
| Ptotal | 3 | WQI | 45.21 |
| SST | 1 | | |
| Grasas y Aceites | 7 | | |
| Coliformes Fecales | 15 | | |
| pH | 0 | | |
| SAAM | 13 | | |

Los parámetros que con mayor frecuencia excedieron los objetivos de calidad fueron, GyA, coliformes fecales y SAAM. El 75% de los datos de coliformes fecales superó el objetivo de calidad con concentraciones mayores 1×10^6 NMP/100mL, el 54% de los datos de SAAM excedieron los 3 mg/L y el 30% de los datos de GyA superó los 50mg/L. En cuanto a N_{total} el 30% de los datos excedió el objetivo de calidad con valores superiores a 50mg/L y el 25% de los datos de P_{total} sobrepasó el objetivo con valores superiores a 8mg/L. Los valores de coliformes fecales estuvieron lejanos al objetivo de calidad [rango entre 2.3×10^6 - 4.3×10^7 NMP/100mL] haciendo de este parámetro el más crítico del tramo.



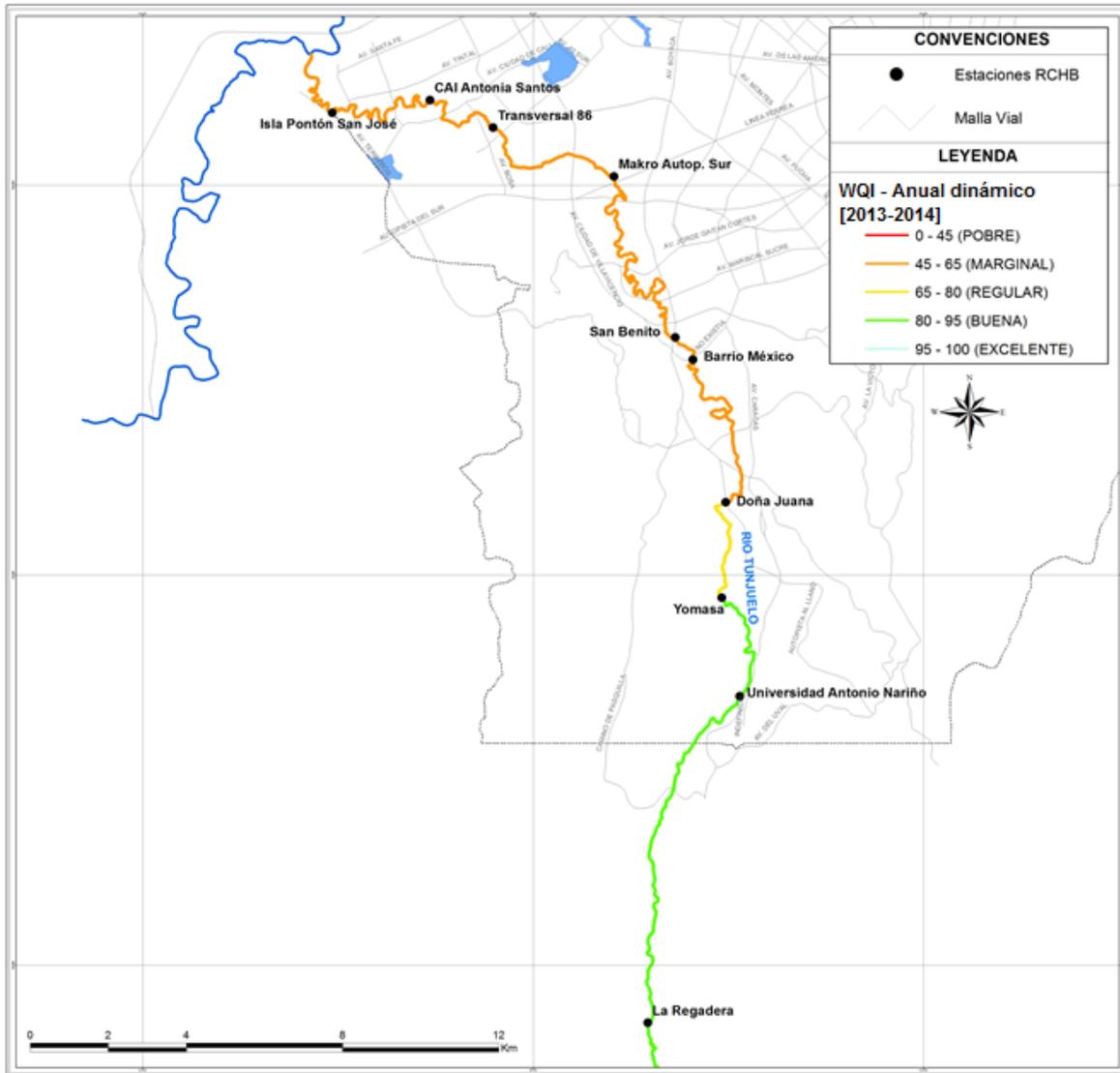
Se observó que la calidad del agua en los cuatro puntos fue heterogénea ya que en Makro Autopista Sur el 0.41% de los datos superó los objetivos de calidad, seguido de Puente Independencia con el 12%, Isla Pontón con el 9% y Transversal 86 con el 8%. Se debe resaltar que el punto Makro Autopista Sur presentó una calidad mejor en comparación con los otros puntos ya que sólo se presentó un parámetro de coliformes fecales que no cumplió el objetivo de calidad establecido. Por otro lado, el punto Transversal 86 reportó el mayor porcentaje de datos que sobrepasaron los objetivos de calidad, esto se debe principalmente a la descarga del Interceptor Tunjuelo Medio; el parámetro que más afecta la calidad de este punto son los coliformes fecales con el 100% de los datos por fuera de los objetivos de calidad.

Al comparar el WQI del presente periodo a evaluar con el del año anterior es muy baja 2 puntos de 43 a 45, sin embargo en función del WQI esto significa la mejoría en las condiciones cuantitativas, ya que sube de pobre de marginal. Este leve aumento en la calidad del agua está relacionada principalmente con una disminución en la frecuencia de los valores que no alcanzaron los objetivos de calidad para este semestre; los parámetros más críticos son SAAM y coliformes fecales. Es importante resaltar que estos parámetros ocasionan que la calidad del tramo sea mala evidenciando que ese necesaria la eliminación de una mayor número de puntos de vertimiento. En general comparando los dos semestres la calidad del tramo mejoro un 5%.

A continuación se presenta el mapa de calidad para el río Tunjuelo.



Ilustración 6 Mapa WQI anual dinámico 2013-2014 Río Tunjuelo.



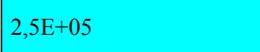
7. CONCLUSIONES

En general los ríos muestran una dinámica en la calidad a lo largo de su recorrido por la ciudad, en los tramos altos las calidades son excelentes y buenas evidenciando esos sectores como referentes de calidad, sin embargo en las partes bajas los ríos muestran condiciones de contaminación. En la mayoría de puntos donde la calidad está entre regular y pobre, los parámetros críticos fueron coliformes fecales, N_{total} y SAAM. En la Tabla 18 se muestran las concentraciones promedio de los parámetros críticos [coliformes fecales] en todos los puntos de monitoreo.

Tabla 18 Concentración promedio – Parámetros críticos.

| Coliformes fecales | |
|---------------------|---|
| < 2,5E+06 |  |
| 252E+04 - 505E+04 |  |
| 505E+04 - 757E+04 |  |
| 757E+04 - 1.010E+04 |  |
| > 1,0E+07 |  |

| | Coliformes Promedio | fecales |
|------------|------------------------|---|
| TO-BosqueP | 6,5E+01 |  |
| TO-CL161 | 3,5E+06 |  |
| TO-Jardpaz | 2,5E+06 |  |
| TO-Ssimon | 1,5E+06 |  |

| | | |
|------------|---------|---|
| SA-ParqNal | 4,5E+02 |  |
| SA-Arzobis | 1,6E+06 |  |
| SA-CL53 | 2,5E+05 |  |
| SA-Carrefo | 9,2E+06 |  |
| SA-Tv91 | 7,5E+06 |  |
| SA-Alameda | 9,0E+06 |  |



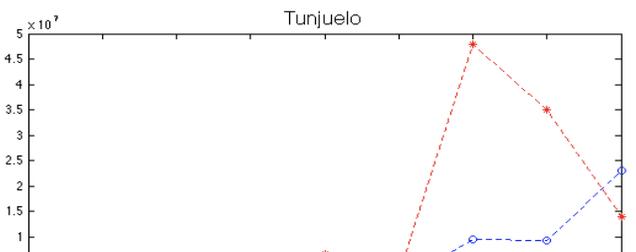
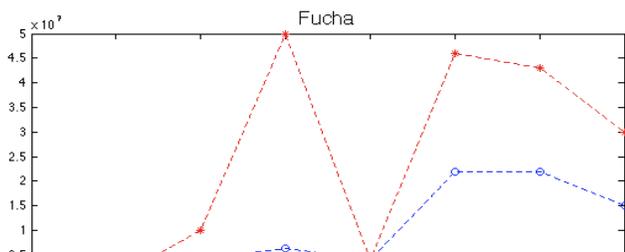
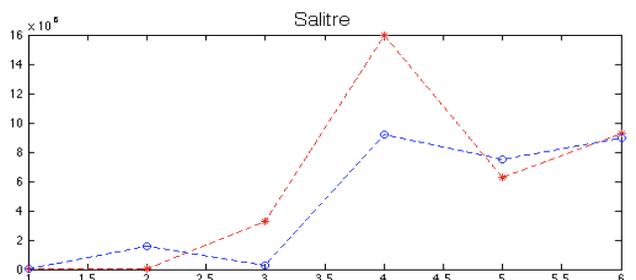
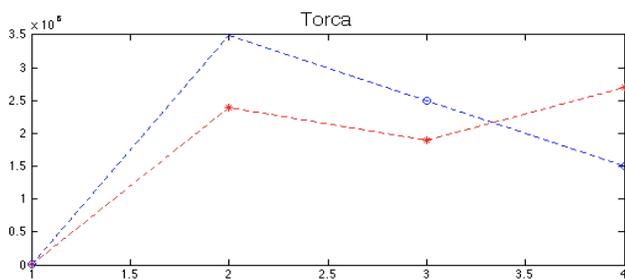
ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

| | |
|------------|---------|
| FU-Delirio | 6,7E+01 |
| FU-KR7 | 2,6E+06 |
| FU-Ferroca | 4,3E+06 |
| FU-America | 6,3E+06 |
| FU-Boyaca | 4,1E+06 |
| FU-VisionC | 2,2E+07 |
| FU-ZFranca | 2,2E+07 |
| FU-Alameda | 1,5E+07 |

| | |
|------------|---------|
| TU-Regader | 2,2E+02 |
| TU-Yomasa | 4,5E+05 |
| TU-DJuana | 2,1E+05 |
| TU-Mexico | 1,3E+05 |
| TU-SBenito | 1,5E+06 |
| TU-MakroS | 7,8E+05 |
| TU-Tv86 | 9,4E+06 |
| TU-PteInde | 9,2E+06 |
| TU-IslaPon | 2,3E+07 |

A continuación podemos ver la comparación de este parámetro con respecto al comportamiento del año anterior, ya que para esa temporada es igualmente considerado un valor crítico:

Ilustración 7 Comparación del comportamiento de las concentraciones de coliformes fecales para las cuencas Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo.



Se puede observar que se presentó una alta mejoría para los río Salitre, Fucha y Tunjuelo, principalmente en tramos bajos e intermedios, lo que conlleva a la mejora de estos con respecto al año anterior, ya que este a pesar de ser un parámetro crítico su comportamiento ha sido de disminución, sin embargo se presenta crecimiento en las concentraciones para el río Torca, aun así los valores nunca estuvieron por debajo de los valores exigidos por los objetivos de calidad.

La calidad del río Torca estuvo entre **excelente** y **regular** a lo largo de su recorrido por la ciudad; dado que la calidad del agua en el primer tramo fue excelente no se evidenció ningún parámetro crítico. Por el contrario en el tramo 2 los parámetros críticos fueron coliformes fecales y SAAM [ver Tabla 19], mostrando que el impacto de la calidad del agua está dado por las descargas de aguas residuales domésticas, las cuales se caracterizan por su alto contenido de coliformes y detergentes. Comparando los resultados actuales con S1-2013 se pudo establecer un comportamiento constante en el primer y segundo tramo manteniéndose en las mismas categorías.

Tabla 19. Resumen variables críticas y evolución WQI – Río Torca

| Río Torca | Parámetros críticos | WQI 2012-2013 vs. WQI 2013-2014 | |
|-----------|---------------------|---------------------------------|-----------|
| T1 | - | Constante | |
| T2 | Coliformes fecales | [63%] | Mejóro 2% |
| | SAAM | [35%] | |

Con respecto al río Salitre, la variación en la calidad del río se dio a partir del segundo tramo en donde pasó de una clasificación **excelente** en el primer tramo a **bueno** en el segundo, **marginal** en el tercer y cuarto tramo. En el primer tramo no hubo parámetros críticos. En el segundo tramo se observó dos parámetros críticos [coliformes fecales y pH], además se notó una mejoría importante en el punto NQS con Calle 53 por su cambio de ubicación [600m aguas arriba aproximadamente]. En el tercer tramo los parámetros más críticos fueron N_{total} y coliformes fecales aunque una cantidad no despreciable de datos de DBO_5 , DQO, SST, GyA y SAAM excedió el objetivo de calidad. Por último, en el cuarto tramo los parámetros que con más frecuencia superaron los objetivos de calidad fueron coliformes fecales, GyA y SAAM [ver Tabla 20]. Dada la recurrencia de los coliformes fecales en exceder los objetivos, la calidad del río a partir del tercer tramo se puede atribuir a las descargas de aguas residuales domésticas.

Tabla 20. Resumen variables críticas y evolución WQI – Río Salitre

| Río Salitre | Parámetros críticos | WQI 2012-2013 vs. WQI 2013-2014 | |
|-------------|--------------------------|---------------------------------|-----|
| T1 | - | Mejóro | 13% |
| T2 | Coliformes fecales [18%] | Mejóro | 92% |
| | pH [8%] | | |
| T3 | Ntotal [45%] | Mejóro | 4% |
| | Coliformes fecales [44%] | | |
| T4 | Coliformes fecales [93%] | Mejóro | 22% |
| | SAAM [82%] | | |
| | Grasas y aceites [61%] | | |

En comparación con el WQI 2012-2013 se observó un comportamiento constante en el primer tramo. En el segundo tramo la calidad del agua cambió de categoría **marginal** a **buena** denotando una gran mejoría en la calidad, es importante resaltar una vez más que el cambio en la calidad del tramo se debe a la diferencia en la calidad que existe entre el antiguo y nuevo punto de monitoreo NQS Calle 53 además de las obras de rehabilitación de alivios en la cuenca (CII24). El tramo 3 pasa de **pobre** a **marginal** en; y en el cuarto tramo el valor del WQI varió un poco más (10 puntos) mostrando una mejora además de un cambio en la categoría pasando de **pobre** a **marginal**.

Respecto al río Fucha, es evidente la disminución de la calidad del agua a través de su trayectoria. En los tramos 1, 2, 3 y 4 el WQI corresponde a las categorías **excelente**, **pobre**, **marginal** y **pobre**, respectivamente. Es importante resaltar que el aumento de categoría entre el tramo 2 y el tramo 3, no se atribuye a mejores condiciones del río en el tercer tramo sino al hecho de que los objetivos de calidad son menos estrictos.

Tabla 21 Resumen variables críticas y evolución WQI – Río Fucha

| Río Fucha | Parámetros críticos | WQI 2012-2013 vs. WQI 2013-2014 |
|-----------|--|---------------------------------|
| T1 | - | Mejoró 26% |
| T2 | SST [100%] Coliformes fecales [70%] | Constante |
| T3 | Coliformes fecales [80%] SAAM [58%] | Mejoró 24% |
| T4 | Coliformes fecales [100%] Ntotal [89%] DQO [83%] | Mejoró 19% |

En términos de parámetros, los más críticos fueron SST y coliformes fecales en el tramo 2; coliformes fecales y SAAM en el tramo 3; y coliformes fecales y N_{total} en el tramo 4. En el tramo 1 no se indican parámetros críticos pues este presentó un cumplimiento del 100%. En el tramo 2 se alcanzaron concentraciones máximas de SST y coliformes fecales de 118 mg/L y 9.4×10^6 NMP/100 mL, respectivamente; en el tramo 3 se alcanza una concentración máxima de 1.5×10^7 NMP/100 mL de coliformes fecales [aumentando un orden de magnitud en relación con el tramo anterior] y de 9,9 mg/L de SAAM; mientras que en el tramo 4 se presenta una concentración máxima de 5.3×10^7 NMP/100 mL de coliformes fecales y de 78 mg/L de N_{total} .

Comparando el WQI del presente periodo con el obtenido en el año anterior [2012-2013], se evidencia un aumento en la calidad del tramo 1, 3 y 4, y un comportamiento constante en la calidad del tramo 2. Es importante resaltar el cambio de categoría que se generó en el primer tramo, el cual aumentó de bueno a excelente, sin embargo, aunque estas variaciones se hayan presentado, no han sido del todo significativas para que el cambio de categoría se haya generado en todos los tramos, especialmente en el último, por lo que se puede afirmar que la calidad del río se ha mantenido constante.

Para finalizar la calidad del río Tunjuelo estuvo entre **buena**, **regular** y **marginal** a lo largo de su recorrido por la ciudad. En el primer tramo la calidad fue **buena**; evidenciando que la calidad del agua en este tramo es de buena calidad. Los parámetros críticos fueron OD y P_{total} ; con respecto al WQI 2012-2013 la calidad del tramo se mantuvo constante [ver Tabla 22]. En el segundo tramo la

calidad fue **regular** y los parámetros críticos fueron P_{total} y SST; en comparación con el período anterior la calidad del tramo empeoró un 30%.

Tabla 22. Resumen variables críticas y evolución WQI – Río Tunjuelo

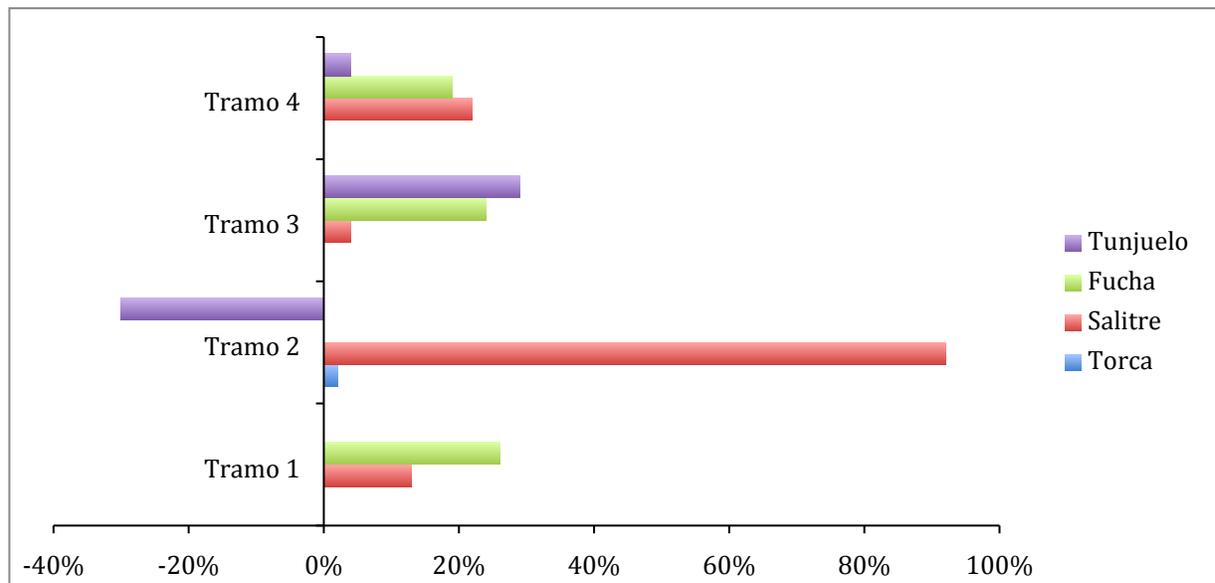
| Río Tunjuelo | Parámetros críticos | WQI 2012-2013 vs. WQI 2013-2014 | |
|--------------|---------------------|---------------------------------|-------------|
| T1 | OD | 26% | Constante |
| | Ptotal | (20%) | |
| T2 | Ptotal | (60%) | Empeoró 30% |
| | SST | (56%) | |
| T3 | Ntotal | (22%) | Mejóro 29% |
| | Ptotal | (25%) | |
| | SST | (25%) | |
| T4 | Coliformes fecales | (75%) | Mejóro 4% |
| | SAAM | (50%) | |

A partir del tercer tramo la calidad pasó de **regular** a **marginal** encontrándose un mayor número de parámetros críticos; para este tramo los parámetros críticos fueron N_{total} , P_{total} y SST. En comparación con el año 2012-2013 la calidad del tramo mejoró un 29% es importante mencionar que el punto Barrio México presentó una calidad mejor que el resto de los puntos [ver Tabla 22].

En cuanto al tramo 4 los parámetros críticos fueron coliformes fecales y SAAM, siendo coliformes fecales el que más afectó la calidad del tramo, en este tramo el punto que más se vio afectado por la presencia de coliformes fecales fue Transversal 86, posiblemente por la descarga del Interceptor Tunjuelo Medio. En general, las descargas domésticas son un factor perjudicial en este río debido a que coliformes fecales, SST y P_{total} fueron los parámetros que aparecieron con mayor recurrencia.

Como se puede ver en la siguiente gráfica el comportamiento de las cuencas Torca, Salitre y Fucha es muy similar, ya que en la mayoría de los tramos se mejoró la condición WQI o se mantuvo igual, sin embargo se evidencia que sobre el río Tunjuelo hay una gran reducción en la calidad del tramo 2 y su mejoría en el tramo 4 es bajo, asociado a la no disminución de descargas sobre este tramo.

Ilustración 8 Comparación de porcentaje de mejoramiento o disminución en el WQI por cuenca.



BIBLIOGRFÍA

- [1] T. Abbasi and S. A. Abbasi, *Water quality indices*: Elsevier, 2012.
- [2] A. A. Bordalo, R. Teixeira, and W. J. Wiebe, "A water quality index applied to an international shared river basin: the case of the Douro River," *Environmental management*, vol. 38, pp. 910-920, 2006.

- [3] N. Bharti and D. Katyal, "Water quality indices used for surface water vulnerability assessment," *International Journal of Environmental Sciences*, vol. 2, pp. 154-173, 2012.
- [4] J. Rodríguez, M. Díaz-Granados, L. Camacho, I. Raciny, C. Maksimovic, and N. McIntyre, "Bogotá's urban drainage system: context, research activities and perspectives," in *Proceedings of the 10th National Hydrology Symposium, British Hydrological Society*, Exeter, United Kingdom, 2008.
- [5] Secretaría Distrital de Ambiente, "Calidad del sistema hídrico de Bogotá," ed. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 2008.
- [6] M. Rodríguez, L. Porras, A. Pérez, L. Rodríguez, and S. Medina, *Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2009 - 2010)*. Bogotá: Ediciones Uniandes, 2011.
- [7] M. Rodríguez, L. Porras, A. Pérez, L. Rodríguez, and S. Medina, *Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2010 - 2011)*. Bogotá: Ediciones Uniandes, 2012.
- [8] M. Rodríguez, L. Porras, A. Pérez, and F. Zamora, *Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2011 - 2012)*. Bogotá: Ediciones Uniandes, 2012.
- [9] Universidad Nacional de Colombia, "Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Tunjuelo en el Perímetro Urbano de Bogotá," ed. Bogotá: Convenio 040 de 2007, 2007.
- [10] C. A. Peña-Guzmán and D. Zamora, "Determinación de las concentraciones de SST, DBO5, NT, PT, SAAM, GyA en el río Tunjuelo, Bogotá D.D. a través de modelos de redes neuronales tipo feed-forward," in *Memorias Conferencia Internacional Agua 2013 "La gestión dle riesgo"*, Cali - Colombia, 2013.
- [11] CCME, "Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.01.0, Technical Report," ed. Canada: Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001.
- [12] C. Sarkar and S. Abbasi, "QUALIDEX—a new software for generating water quality indice," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 119, pp. 201-231, 2006.
- [13] T. Hurley, R. Sadiq, and A. Mazumder, "Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality," *Water Research*, vol. 46, pp. 3544-3552, 2012.
- [14] Universidad de los andes, Informe WQI y Mapas de Calidad – 2do Semestre 2013, 2013.
- [15] http://portales.sdp.gov.co/resources/Cartilla_23_Poblacion_Desarrollo_Urbano.pdf



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE AMBIENTE

Juan Carlos Roncancio Chavez
SUBDIRECCIÓN DE RECURSO HIDRICO Y DEL SUELO

Anexos: Hoja Excel de cálculos de varianzas, hoja Excel de cálculo WQI de Torca tramo 2, hoja Excel monitoreos 2013-S1

Elaboró:

Carlos Andres Peña Guzman C.C: 80730492 T.P: CPS: FECHA EJECUCION: 20/06/2014

Revisó:

Pedro Nel Gamba Garcia C.C: 79515799 T.P: CPS: FECHA EJECUCION: 20/06/2014

Aprobó:

Juan Carlos Roncancio Chavez C.C: 79436614 T.P: CPS: FECHA EJECUCION: 24/06/2014