Calidad del sistema hídrico de Bogotá

Calidad del sistema hídrico de Bogotá

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.
Secretaría Distrital
Ambiente

acueducto
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

Alcaldía Mayor de Bogotá
Samuel Moreno Rojas
ALCALDE

Secretaría Distrital de Ambiente
Juan Antonio Nieto Escalante
SECRETARIO DEL DESPACHO

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP
Jorge Enrique Pizano Callejas
GERENTE GENERAL

Dirección de Control y Seguimiento Ambiental
Orlando Velandia Sepúlveda
DIRECTOR-SDA

Oficina de Control de Calidad y Uso del Agua
Octavio Augusto Reyes Ávila
JEFE DE OFICINA - SDA

Grupo Profesional
Aurita Bello Espinosa - SDA
María Eugenia Vásquez Mendoza - SDA

Gerencia de Tecnología
Jairo Armando Rodríguez Triana
GERENTE CORPORATIVO EAAB-ESP

Gerencia Corporativa Ambiental
Humberto Triana Luna
GERENTE CORPORATIVO EAAB-ESP

Dirección de Saneamiento Ambiental
Sonia Raquel Duarte Cely
DIRECTORA EAAB-ESP

Dirección de Ingeniería Especializada
Daniel Hernando Posada Suárez
DIRECTOR EAAB- ESP

Grupo Profesional
Nubia Irley León López – EAAB-ESP
Emigdio Parra Jiménez – EAAB-ESP

Agradecimientos
Agradecemos a todas las personas que participaron en la generación de esta publicación.

ISBN: 978-958-716-124-3

PRIMERA EDICIÓN:
Bogotá, Agosto de 2008

Calidad del sistema hídrico de Bogotá. -- 1a ed. -- Bogotá : Editorial Pontificia Universidad Javeriana: Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente : Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2008.

361 p. : ilustraciones a color, fotos, gráficas, mapas y tablas; 24 cm.

Incluye referencias bibliográficas (329-331) y glosario.

ISBN: 978-958-716-124-3

1. CALIDAD DEL AGUA - BOGOTÁ (COLOMBIA). 2. CONTAMINACIÓN DEL AGUA - BOGOTÁ (COLOMBIA). 3. RECURSOS HÍDRICOS - BOGOTÁ (COLOMBIA). 4. ANÁLISIS DEL AGUA - BOGOTÁ (COLOMBIA). 5. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA - CALIDAD EN RÍOS URBANOS - BOGOTÁ (COLOMBIA). I. Pontificia Universidad Javeriana. II. Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaría Distrital de Ambiente. III. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

CDD 628.16 ed. 21

Catalogación en la publicación - Pontificia Universidad Javeriana. Biblioteca General

ech. Agosto 12/2008

Contenido

PRESENTACIÓN 13

PRÓLOGO 15

INTRODUCCIÓN 17

1 DESCRIPCIÓN HIDROGRÁFICA DE BOGOTÁ 23

2 OBJETIVOS Y ALCANCE 31
Objetivos 31
Alcance 31

3 ANTECEDENTES 35
Evolución histórica de la calidad hídrica de Bogotá 35
Avances en relación con el plan de monitoreo anterior 36
Normas de calidad hídrica y red de monitoreo 37
Herramientas utilizadas para el análisis de la información 40

4 CONFORMACIÓN DE LA RED 49
Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB) 49
Ubicación de los puntos de monitoreo 50
Componentes de las estaciones fijas y móviles 50
Metodología y validación de los puntos de monitoreo 55
Ventajas de los puntos de monitoreo 56
Desventajas de los puntos de monitoreo 57
Parámetros analizados y métodos analíticos 57

5 OPERACIÓN DE LA RED 61
Lineamientos para la logística de muestreo 61
Tiempo del monitoreo 61
Caracterización por río 63

6 METODOLOGÍA 67

Ejecución de aforo y recolección de muestra 67

Recolección de muestras 71

Preservación de las muestras 72

Actividades en las estaciones fijas 72

Recuperación de datos 72

Mantenimiento 72

Calibración de sensores 73

Análisis estadístico y validación de datos 73

Estadística descriptiva 74

Pruebas de hipótesis 74

Análisis de conglomerados 74

Análisis global de los datos obtenidos del monitoreo 75

Índices y elaboración de mapas de calidad 76

Calificación de la calidad de los sistemas hídricos 77

Elaboración de los mapas de calidad usando la metodología geoestadística 78

Análisis de correlación espacial de las variables 78

Semivariogramas de los índices de calidad de agua 79

Mapas del índice de calidad y factor de confiabilidad 81

Factor de confiabilidad 81

7 RESULTADOS Y ANÁLISIS 85

Canal Torca 85

Descripción de la cuenca 85

Fuentes de contaminación hídrica 86

Localización de los puntos de monitoreo 86

Análisis de precipitación 88

Análisis de los parámetros evaluados 90

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) 90

Demanda Química de Oxígeno (DQO) 92

Oxígeno Disuelto (OD) 95

Sólidos Suspendidos Totales (SST) 97

Mapas de concentración y carga 100

Índice de calidad y usos del canal Torca 103

Uso agrícola 103

Uso pecuario 103

Uso recreativo mediante contacto secundario 104

Uso para la preservación de la vida acuática 104

Usos del recurso hídrico del canal Torca de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura 104

Cumplimiento de los objetivos de calidad según la Resolución 1813 de 2006 del DAMA 105

Mapas de calidad y confiabilidad 105

Río Salitre o Juan Amarillo 110

Descripción de la cuenca 110

Fuentes de contaminación hídrica 110

Localización de los puntos de monitoreo 112

Análisis de precipitación 112

Análisis de los parámetros evaluados 115

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) 115

Demanda Química de Oxígeno (DQO) 119

Oxígeno Disuelto (OD) 121

Sólidos Suspendidos Totales (SST) 122

Mapas de concentración y carga 127

Índice de calidad y usos del recurso hídrico 130

Uso agrícola 130

Uso pecuario 130

Uso recreativo mediante contacto secundario 131

Uso para la preservación de la vida acuática 132

Usos del recurso hídrico de la cuenca del Salitre de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura 133

Tramo 1 (entrada al perímetro urbano hasta la carrera 7ª) 133

Tramo 2 (desde la carrera 7ª hasta la carrera 30) 133

Tramo 3 (carrera 30 hasta la avenida 68) 134

Tramo 4 (avenida 68 hasta la desembocadura del río Juan Amarillo, o Salitre, a la cuenca media del río Bogotá) 134

Cumplimiento de los objetivos de calidad según la Resolución 1813 de 2006 del DAMA 135

Mapas de calidad y confiabilidad 135

Río Fucha 140

Descripción de la cuenca 140

Fuentes de contaminación hídrica 141

Localización de los puntos de monitoreo 142

Análisis de precipitación 144

Análisis de los parámetros evaluados 146

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) 146

Demanda Química de Oxígeno (DQO) 151

Oxígeno Disuelto (OD) 155

Sólidos Suspendidos Totales (SST) 157

Metales pesados 162

Mapas de concentración y carga 181
Índice de calidad y usos del recurso hídrico 183
Uso agrícola 183
Uso pecuario 183
Uso recreativo mediante contacto secundario 184
Uso para la preservación de la vida acuática 185
Usos del recurso hídrico de la cuenca del Fucha de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura 186
Tramo 1 (entrada perímetro urbano hasta la carrera 7ª) 186
Tramo 2 (desde la carrera 7ª hasta la desembocadura del canal Los Comuneros) 187
Tramo 3 (desde la desembocadura del canal Los Comuneros hasta la avenida Boyacá) 187
Tramo 4 (desde la avenida Boyacá hasta la desembocadura del río Fucha en el río Bogotá) 188
Cumplimiento de los objetivos de calidad, Resolución 1813 de 2006 del DAMA 188
Mapas de calidad y confiabilidad 189
Río Tunjuelo 194
Descripción de la cuenca 194
Fuentes de contaminación hídrica 195
Localización de los puntos de monitoreo 195
Análisis de precipitación 196
Análisis de los parámetros evaluados 199
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) 199
Demanda Química de Oxígeno (DQO) 207
Oxígeno Disuelto (OD) 213
Sólidos Suspendidos Totales (SST) 214
Sólidos sedimentables 219
pH 221
Grasas y aceites 222
Amonio 223
Nitrogeno Kjeldahl Total (NKT) 225
Fósforo total 227
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) 229
Coliformes totales y E. Coli (NMP/100 ml) 229
Metales pesados 230
Mapa de concentración y carga 238
Índice de calidad y usos del recurso hídrico 240
Uso agrícola 240
Uso recreativo mediante contacto secundario 240
Uso para la preservación de la vida acuática 241

Usos del recurso hídrico de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura 241
Tramo 1 (entrada al perímetro urbano hasta la desembocadura de la quebrada Yomasa) 242
Tramo 2 (desembocadura quebrada Yomasa hasta la avenida Boyacá) 242
Tramo 3 (desde la avenida Boyacá hasta la Autopista Sur) 243
Tramo 4 (desde la Autopista Sur hasta la desembocadura del río Tunjuelo en el río Bogotá) 243
Cumplimiento de los objetivos de calidad, Resolución 1813 de 2006 del DAMA 244
Mapas de calidad y confiabilidad 244
Cuenca media del río Bogotá 247
Descripción de la cuenca 247
Fuentes de contaminación hídrica 248
Localización de los puntos de monitoreo 249
Análisis de precipitación 251
Análisis de los parámetros evaluados 253
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) 253
Demanda Química de Oxígeno (DQO) 257
Oxígeno Disuelto (OD) 260
Sólidos Suspendidos Totales (SST) 262
Metales pesados 267
Mapas de concentración y carga 271
Índice de calidad y usos del recurso hídrico 274
Uso agrícola 274
Uso pecuario 274
Uso recreativo mediante contacto secundario 274
Uso para la preservación de la vida acuática 275
Usos del recurso hídrico de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura y en el Acuerdo 43 de octubre de 2006 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) 275
Mapas de calidad y confiabilidad 276
Comparación de los ríos evaluados 281
Análisis de comparación de la DBO_5 en concentración y carga en los ríos 281
Análisis de comparación de la DQO en concentración y carga en los ríos 284
Análisis de comparación de los SST en concentración y carga en los ríos 288
Análisis de comparación de la concentración de OD en los ríos 293
Análisis de comparación de la concentración de metales pesados en las cuencas 295
Índice de calidad y usos del recurso hídrico entre los cauces analizados 298
Uso agrícola 298
Uso pecuario 299

Uso recreativo con contacto secundario 299
Preservación de la vida acuática 300
Época seca para el uso de preservación de la vida acuática 300
Época de lluvia para el uso de preservación de la vida acuática 301

8 CONSIDERACIONES 311
Consideraciones generales 311
Canal Torca 314
Río Salitre 316
Río Fucha 318
Río Tunjuelo 320
Cuenca media del río Bogotá 322
Índices de calidad 325
Mapas 326
Precipitación 327

BIBLIOGRAFÍA 329
GLOSARIO 333
LISTA DE SIGLAS 345
ÍNDICE DE TABLAS 347
ÍNDICE DE GRÁFICAS 351
ÍNDICE DE MAPAS 356
ÍNDICE DE ESQUEMAS 358
ÍNDICE DE FIGURAS 359

Presentación

EL SISTEMA HÍDRICO DE BOGOTÁ PRESENTA una problemática compleja en términos de calidad del agua que se ha estudiado desde el 2002. Para la administración de la "Bogotá Positiva" es grato entregar a la ciudadanía la presente publicación titulada *Calidad del Sistema Hídrico de Bogotá*.

Como alcalde del Distrito Capital considero que el conocimiento es parte fundamental del desarrollo de las ciudades y su búsqueda requiere de convencimiento, apoyo y compromiso de la ciudadanía y de sus dirigentes. Hoy, los frutos de esos esfuerzos se ven plasmados en esta edición que presenta los resultados del seguimiento de la calidad del sistema a través de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá. Este instrumento se utilizará para alinear el curso de nuestras actuaciones que permitirá el mejoramiento gradual de la calidad del agua de nuestros ríos urbanos, mediante la aplicación de acciones de saneamiento e implementación de tecnología para la mitigación de la contaminación hídrica y ambiental.

Asimismo, definirá las causas y actores de la contaminación hídrica y articulará la gestión efectiva y oportuna para su mejoramiento. Estas acciones están orientadas por lo dispuesto en el Plan de Desarrollo Distrital "Bogotá Positiva: Para Vivir Mejor" cuyo objetivo central en lo ambiental consiste en que los bogotanos gocen de un ambiente más sano.

SAMUEL MORENO ROJAS
Alcalde Mayor de Bogotá



Prólogo

"El universo requiere la eternidad...
Por eso afirman que la conservación
de este mundo es una perpetua creación, y que
los verbos 'conservar' y 'crear', tan
enemistados aquí, son sinónimos en el Cielo"

Historia de la eternidad
Jorge Luis Borges

SOBRE TODA LA SUPERFICIE DE ESTE "NUESTRO PLANETA" la raza humana ha demarcado el territorio ocupado con el peor de sus signos de identidad. A medida que nos "civilizamos", nos hemos vuelto más "incivilizados" y, no conformándonos con usar la tierra que nos da cobijo, hemos puesto tan poco cuidado en protegerla que, incluso con alta frecuencia, pareciera que nuestro empeño es destruirla.

Si realizásemos una recapitulación del significado histórico-social de los hechos desde los comienzos del nuevo siglo y la segunda mitad del anterior, veríamos que lo acontecido ha estado determinado, entre otros condicionantes, por un desarrollo urbanístico, industrial y agrícola sin comparación en otras épocas. Todos somos concientes de su precio, los daños al entorno ambiental, la acumulación de contaminantes y los riesgos tecnológicos. Como consecuencia, todos los países del mundo se encuentran marcados por esa huella de la contaminación.

La degradación de la calidad de los recursos hídricos es sin duda "una parte de muchos problemas" y "un problema con muchas partes". Limita los usos posibles de las aguas, encarece los sistemas de tratamiento para la potabilización, disminuye el valor de las propiedades aledañas a los mismos, atenta contra la salud de la población, favorece la instalación de asentamientos humanos marginales, desalienta cualquier inversión inmobiliaria y constituye un motivo de permanente desazón para los habitantes que diariamente ven estas aguas y se sienten olvidados por los gobernantes.

En este lapso de espacio-tiempo, ¡por fin, parece que hemos llegado a escuchar esa llamada a nuestras conciencias! Esa llamada que nos convoca a reevaluar nuestra forma de pensar y a tratar de reparar tanta herida y tanto daño.

La tarea es dura y compleja, y los recursos económicos necesarios son significativos; pero nada nos exime de la necesidad de actuar por la doble vía de prevenir y de reparar.

El "prevenir" lo conocemos y, tanto a la industria como a cada uno de nosotros, la sociedad nos demanda ese esfuerzo de minimización de residuos y esa gestión adecuada de los que, por obligación, hemos de depositar en algún lugar. El "reparar" es una tarea mucho más compleja, por cuanto incluye acumulación y diversidad, especialmente para países como los nuestros, en los cuales las necesidades inmediatas tuvieron a veces más importancia sobre las políticas de largo plazo.

Es indudable que para hacer frente a esta tarea debemos emplear la mejor tecnología y trabajar juntos, de esta forma nos potenciamos; hay que ser creativos y aceptar visiones no convencionales. Nuestros recursos son limitados y es necesario hacer el mejor uso de ellos. La importancia de la empresa así lo requiere.

Las enseñanzas aprendidas, a veces marcadas por éxitos y otras por fracasos, sobre todo en países con experiencia en estos temas, tienen que ser la clave para el mejor desempeño que a los técnicos se les demanda.

En el caso específico de Bogotá, la solución del problema de calidad de aguas de la cuenca del río Bogotá que afrontamos requiere de un relevamiento de información preciso y pormenorizado; un conocimiento y asimilación de todas las tecnologías aplicables, con sus pros y contras; el abordaje de los temas en forma multi e interdisciplinaria, y de equipos técnicos provenientes de instituciones de gobierno, municipios, organismos de cuenca, empresas de servicios, instituciones académicas y organizaciones civiles.

Afortunadamente, con el diseño establecido de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB) y el plan de monitoreo ejecutado, el primer paso de obtención de datos ya ha sido dado. La información generada es sólida y mientras que algunos de los elementos técnicos empleados son probados, otros resultan innovadores y merecen un desarrollo más profundo. Esta tarea debe continuarse.

La contribución de los técnicos será aportar elementos de decisión para los dirigentes. Las Autoridades han demostrado una firme voluntad política para hacer frente al problema de calidad de las aguas de la cuenca del río Bogotá, gestionando para ello los recursos necesarios. De estas Autoridades se necesitará la continuación del apoyo.

El desafío es grande, pero cuando el bienestar de las generaciones futuras está en juego, nada es imposible.

ING. JOSÉ E. LOBOS
INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA
REPÚBLICA DE ARGENTINA

Introducción

EL EJE DEL SISTEMA HÍDRICO DE BOGOTÁ está conformado por el canal Torca y los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo, siendo estos los cauces mayores que nacen en los cerros orientales de Bogotá y que se forman por la confluencia de varias quebradas que le aportan sus aguas.

En estos ríos se depositan, desde hace varias décadas, las lluvias y la mayoría de las aguas residuales domésticas e industriales, como resultado del crecimiento y desarrollo de Bogotá. Su dinámica metropolitana y el comportamiento ciudadano ejercen sobre la naturaleza y sus ecosistemas presiones ambientales que no logran soportar. Una de las consecuencias que esta dinámica genera es que el servicio ambiental se ha convertido en una necesidad urbana de difícil comprensión.

Con el fin de conocer el grado de contaminación del sistema hídrico en el Distrito Capital, la Secretaria Distrital de Ambiente y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, han realizado diferentes proyectos de seguimiento de la calidad del sistema con diversas metodologías, puntos de muestreo, parámetros, frecuencias, jornadas y tipo de muestra según el estudio. Si bien los resultados de estos proyectos han sido de mucha utilidad, no permitían generar una línea base de calidad unificada que fuera útil para alcanzar objetivos de interés para las dos entidades, cada una con su respectiva competencia.

Dentro de este contexto la Secretaria Distrital de Ambiente y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá aunaron esfuerzos con el propósito de unificar criterios y lineamientos, y de generar una línea base probando un diseño de monitoreo aleatorio que no se había realizado en proyectos anteriores y que ha permitido obtener información técnica sin sesgo de horas, jornadas y días, como también la obtención de la calidad y cargas contaminantes en las fuentes superficiales en las diferentes épocas climáticas.

La presente publicación es uno de los logros de esta unión (Convenio No. 005 de 2006). En ella se presenta la descripción hidrográfica de Bogotá, así como un resumen de los principales resultados alcanzados en el seguimiento de la calidad del sistema hídrico de la capital.

Para el desarrollo del proyecto las dos entidades establecieron 37 puntos de monitoreo sobre el canal Torca, los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y la cuenca media del río Bogotá. De estos puntos, 7 son fijos; en cada punto se generaron

20 datos, para un total de 740 y se analizaron 29 parámetros entre físicos, químicos y bacteriológicos.

La publicación como tal consta de ocho capítulos. En el primero se hace una breve descripción de la ubicación geográfica y del recurso hídrico de Bogotá. En el segundo se presentan los objetivos y los alcances propuestos para el desarrollo del presente proyecto.

En el capítulo tres se describe la evolución y los avances de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB), se presenta la normatividad vigente y las diferentes herramientas utilizadas para evaluar la información en forma espacial y temporal.

En el cuarto se explica qué es una red de calidad hídrica y para qué sirve. Se abordan los aspectos que contemplan los puntos de monitoreo, como: ubicación, componentes, metodología, validación, ventajas, desventajas, métodos utilizados y parámetros analizados. El quinto capítulo por su parte contiene el diseño experimental de monitoreo implementado y enseña los lineamientos de logística de monitoreo, tiempo y caracterización por cuenca y por punto.

La metodología utilizada en la logística de monitoreo, así como las actividades en los puntos de monitoreo fijos, el análisis estadístico, los índices que califican la calidad de la RCHB y la elaboración de mapas de calidad y confiabilidad con la utilización de la geoestadística (Krigeaje), se encuentra en el capítulo seis. La aplicación de las anteriores herramientas de análisis y procesamiento de la información se logró a través de la sinergia entre el aporte científico de la Pontificia Universidad Javeriana (Facultad de Ingeniería Civil y el Instituto Geofísico) y el conocimiento de los sistemas hídricos de la EAAB-ESP y la SDA.

En el séptimo capítulo se pueden ver las principales fuentes de contaminación, la localización de los puntos de monitoreo, el análisis de precipitación, los parámetros evaluados, los mapas de concentración y carga, los índices de calidad y el uso del recurso hídrico. En este capítulo también están los mapas de calidad y confiabilidad donde se puede visualizar por intensidad cromática el estado de la calidad actual y el posible uso de acuerdo con los estándares de la normatividad vigente.

Por último está el capítulo ocho en el que se abordan las consideraciones generales entre los ríos, planteando los parámetros de calidad que las diferencian y las limitan para algunos usos y los valores que exceden los límites de los objetivos de calidad proyectados por las autoridades ambientales. En este mismo capítulo se destaca, en cada río, los puntos de monitoreo que registran los mayores grados de contaminación y sus posibles causas, los valores atípicos, la calificación de las corrientes superficiales por uso y el cumplimiento de los estándares por tramos. También se resumen los logros del proyecto en el análisis de la información de precipitación, índices de calidad, mapas de calidad y confiabilidad.

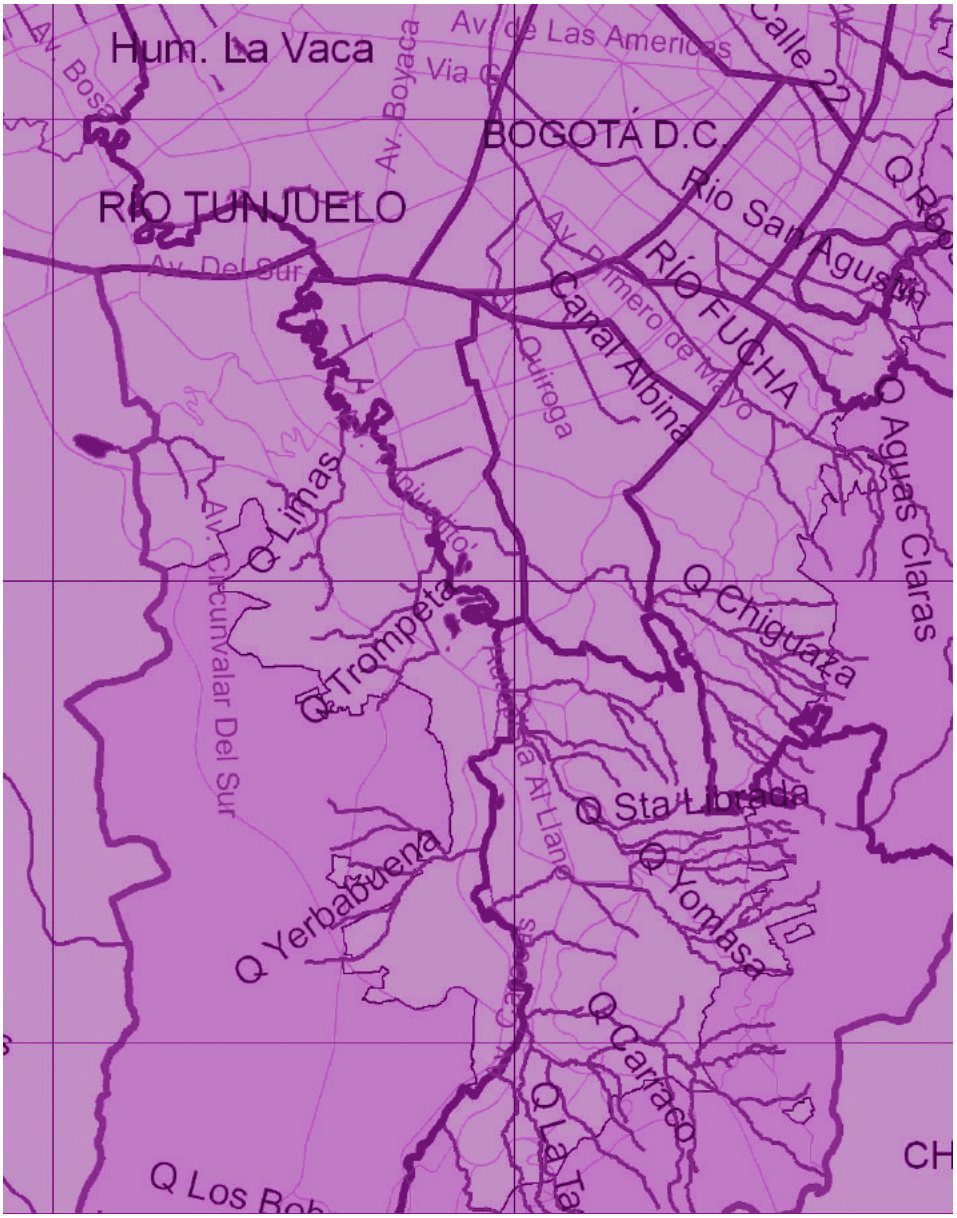
Esta publicación tiene el propósito de brindar conocimiento de calidad sobre el sistema hídrico de Bogotá a todas las entidades y personas intere-

sadas en el tema. También pretende optimizar las acciones, los proyectos, planes y programas que permitan mejorar la calidad del recurso hídrico de la ciudad, y que la información que tiene posibilite validar los objetivos de calidad proyectados para 2011, los cuales hacen parte integral del saneamiento del río Bogotá.

Se espera que la metodología y las herramientas aplicadas en este proyecto puedan contribuir a futuros estudios sobre el sistema hídrico de Bogotá, y que la línea base de calidad generada, sirva de soporte para establecer políticas ambientales y de uso hacia el futuro.



1 Descripción hidrográfica de Bogotá





Descripción hidrográfica de Bogotá

BOGOTÁ, DISTRITO CAPITAL, ESTÁ LOCALIZADA EN UNA MESETA de la cordillera Oriental de los Andes a una altura de 2.630 metros sobre el nivel del mar, cuyas coordenadas están entre los 03º 44' y 04º 49' de latitud norte y los 74 º 00' y los 74º 28' de longitud oeste, al sur oriente del departamento de Cundinamarca. Limita al norte con el municipio de Chía; al oriente con los cerros orientales y los municipios de la Calera, Choachí, Ubaque, Chipaque, Une y Gutiérrez; al sur con los departamentos del Meta y Huila, y al occidente con el río Bogotá y los municipios de Cabrera, Venecia, San Bernardo, Arbeláez, Pasca, Sibaté, Soacha, Mosquera, Funza y Cota[1] (*ver Mapa 1*).

Debido a su ubicación geográfica en la cordillera de los Andes, la ciudad se encuentra dentro de la zona de confluencia intertropical, la cual origina un comportamiento bimodal: dos épocas de lluvia bien marcadas durante el primer semestre del año, en marzo, abril y mayo, y en el segundo semestre en septiembre, octubre y noviembre. Los meses más secos del año son enero, febrero y diciembre. Asimismo, la ciudad cuenta con gran variedad de climas, tipos de suelos, cuerpos de aguas y otras formaciones naturales. La temperatura promedio es de 14 °C, pero presenta temperaturas máximas y mínimas entre los 9 ºC y los 22 ºC. En general, la orientación vial de la ciudad está determinada porque sus carreras son orientadas de sur a norte y sus calles de oriente a occidente[2y3].

Bogotá es el principal centro urbano, económico, social y cultural del país, que con el paso de los años se ha constituido como la "ciudad de todos". En ella habitan personas de todas las regiones del país, quienes con el tiempo la han engrandecido convirtiéndola en una ciudad cosmopolita[4].

Bogotá tiene un área total de 163.574 hectáreas, distribuidas en 20 localidades de las cuales 19 son urbanas y una es estrictamente rural (*ver Tabla 1*). Sin embargo, existen localidades que tienen suelo urbano y rural, como son

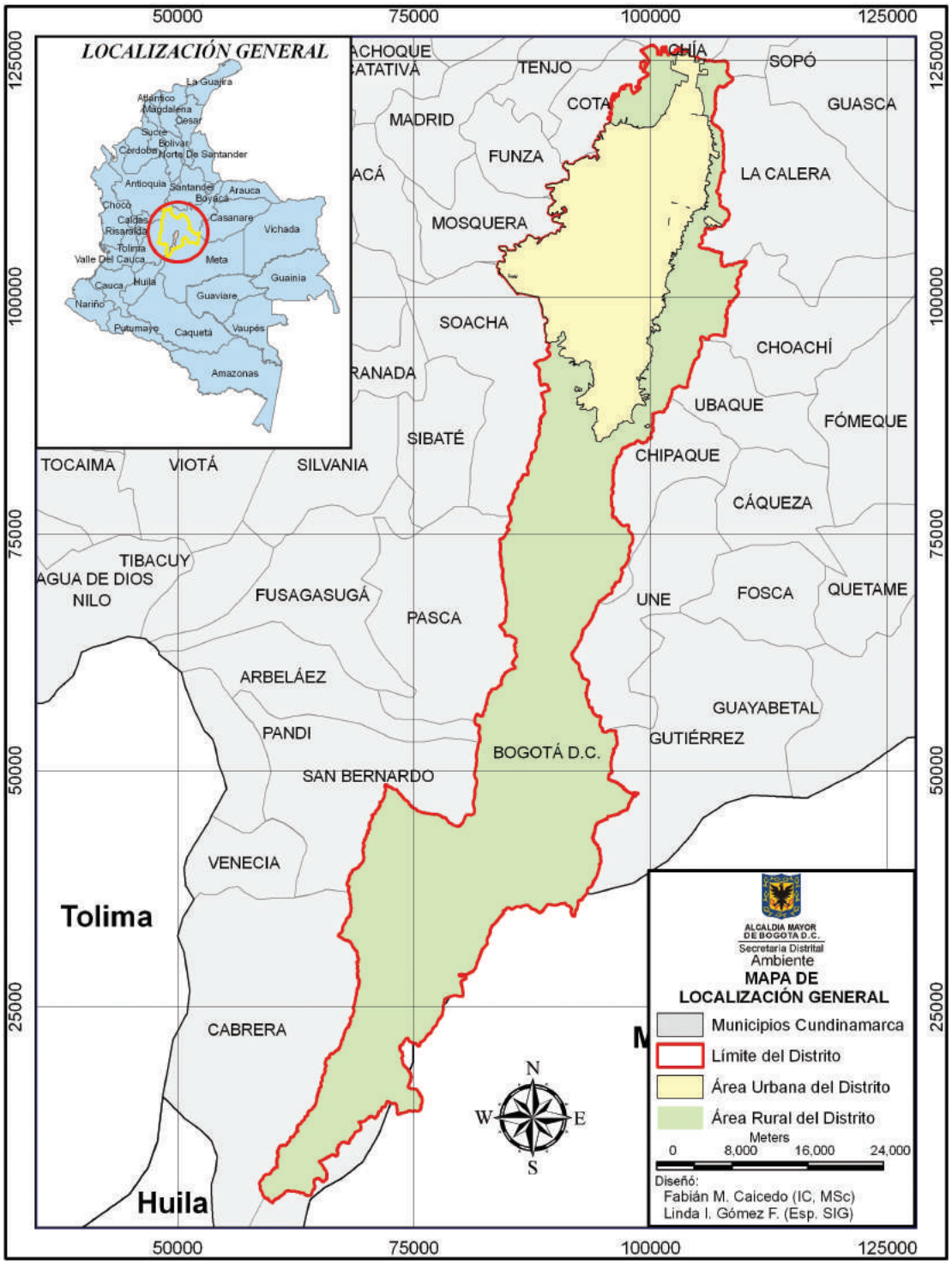
1 Instituto Distrital de Turismo. Portal oficial del turismo en Bogotá. Disponible en www.bogotaturismo.gov.co.

2 Equipo 2006 Café de Colombia. *¿Por qué 2006?* Disponible en www.equipo2006.com.

3 F.C.A. Colombia. *Hostelling Colombia. Generalidades de Colombia*. Disponible en www.fcaj.org.co.

4 *Ibídem*.

MAPA 1. Localización general



Fuente: *Atlas ambiental de Bogotá. D.C.* "División político administrativa del Distrito Capital". Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente. Imprenta Nacional de Colombia, 2007, p.32.

Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme (conforman los cerros orientales), Suba y Ciudad Bolívar. El área del perímetro urbano es aproximadamente de 38.427 hectáreas.

TABLA 1. Distribución y participación de las localidades en el área del Distrito Capital

Localidad	Área total (ha)	%	Área urbana (ha)	%	Área rural (ha)	%
Usaquén	6.531	3,99	3.522	9,16	2.720	2,24
Chapinero	3.899	2,38	1.235	3,21	2.664	2,19
Santa Fe	4.488	2,74	685	1,78	3.803	3,13
San Cristóbal	4.816	2,94	1.629	4,24	3.187	2,62
Usme	21.556	13,18	2.064	5,37	18.307	15,07
Tunjuelito	1.028	0,63	1.028	2,67	-	-
Bosa	2.392	1,46	1.929	5,02	-	-
Kennedy	3.857	2,36	3.606	9,38	-	-
Fontibón	3.326	2,03	3.053	7,94	-	-
Engativá	3.556	2,17	3.439	8,95	-	-
Suba	10.055	6,15	6.034	15,70	3.141	2,59
Barrios Unidos	1.190	0,73	1.190	3,10	-	-
Teusaquillo	1.421	0,87	1.421	3,70	-	-
Los Mártires	655	0,40	655	1,70	-	-
Antonio Nariño	494	0,30	494	1,29	-	-
Puente Aranda	1.724	1,05	1.724	4,48	-	-
La Candelaria	184	0,11	184	0,48	-	-
Rafael Uribe	1.310	0,80	1.310	3,41	-	-
Ciudad Bolívar	12.996	7,95	3.238	8,42	9.556	7,87
Sumapaz	78.096	47,74	-	-	78.096	64,29
TOTAL	163.574	100,	38.440	100	121.474	100

Fuente: *Atlas ambiental de Bogotá. D.C.* "División político administrativa del Distrito Capital". Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente. Imprenta Nacional de Colombia, 2007, p.31.

De acuerdo con el Decreto 1729 de 2002 de la Presidencia de la República, una cuenca u hoya hidrográfica se entiende como "*el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural, con uno o varios cauces naturales de caudal continuo o intermitente, los cuales confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar*".

Considerando la anterior definición, el sistema hídrico de Bogotá está constituido por las cuencas media del río Bogotá y alta del río Sumapaz, ambas afluentes del río Magdalena, y la cuenca alta del río Blanco, tributario del río Orinoco (*ver Mapa 2*). En la Tabla 2 se muestran ciertas características morfométricas de las cuencas y subcuencas principales del sistema hídrico de esta ciudad[5].

5 Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente. *Atlas ambiental de Bogotá. D.C.* "Distribución temporal y espacial de la precipitación". Imprenta Nacional de Colombia, 2007, p.39.

TABLA 2. **Características de las cuencas de Bogotá**

Cuenca	Subcuenca	Área (ha)
MEDIA RÍO BOGOTÁ	La Conejera	3.840,29
	Jaboque	1.623,71
	Río Fucha	14.814,72
	Río Salitre	13.251,48
	Río Teusacá	3.245,72
	Canal Tintal	3.415,32
	Torca	6.008,69
	Río Tunjuelo	38.899,86
RÍO SUMAPAZ	Río San Juan	16.474,76
	Río El Pilar	8.736,47
	Río Sumapaz	17.335,58
RÍO BLANCO	Río Chochal	14.464,84
	Río Los Llanitos	4.669,18
	Río Santa Rosa	8.776,53
	Interfluvios Río Blanco	1.184,32
	Río Los Salitres	6.671,11

Fuente: Sistema de Información de la Subdirección de Ecosistemas. DAMA. 2006.

La cuenca del río Bogotá se localiza en el centro del departamento de Cundinamarca. El río nace en el Alto de la Calavera, en el municipio de Villapinzón, sobre los 3.400 msnm[6], en el páramo de Guacheneque, y desemboca en el río Magdalena alrededor de la costa a 280 msnm. Su longitud aproximada es de 335 km y tiene un área tributaria de 5.671 km^2. Su sistema está conformado por 18 subcuencas, un sistema de regulación para abastecimiento y generación eléctrica conformado por nueve embalses y un distrito de riego[7].

Esta cuenca se divide en tres sectores. Primero la cuenca alta, que va desde su nacimiento hasta la confluencia de los ríos Neusa y Bogotá (sector Sisga-Tibitóc); en este trayecto recibe las aguas de los embalses de Sisga y Tominé, y el río Neusa. Segundo la cuenca media que empieza desde la confluencia del río Neusa hasta Alicachín en el Salto del Tequendama; en este tramo el río Bogotá presenta un cauce meandrico con baja pendiente. En Aposentos recibe las aguas del río Teusacá, cuyas aguas son reguladas por el embalse de San Rafael. A su vez, a este embalse le llegan las aguas trasvasadas de los ríos Chuza, Guatiquía y Blanco (que pertenecen a la cuenca del río Orinoco). Y por último la cuenca baja, que comienza a partir del embalse del Muña, aguas abajo de Alicachín, hasta desembocar al río Magdalena en el municipio de Girardot.

El Distrito Capital hace parte de la cuenca media del río Bogotá, cuyo sistema hídrico es considerado un conjunto de cuerpos de agua natural y/o ar-

6 Corporación Clorofila Urbana. *Nacimiento del río Bogotá*. Disponible en www.clorofilaurbana.org./rio.

7 *Atlas ambiental de Bogotá. D.C.* "Distribución temporal y espacial de la precipitación". Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente. Imprenta Nacional de Colombia, 2007, p.39.

tificial superficial y subterráneo. En esta ciudad los cuerpos de agua superficial cuentan además con la zona de ronda hidráulica y la Zona de Manejo y Preservación Ambiental (ZMPA) (*ver Mapa 2*).

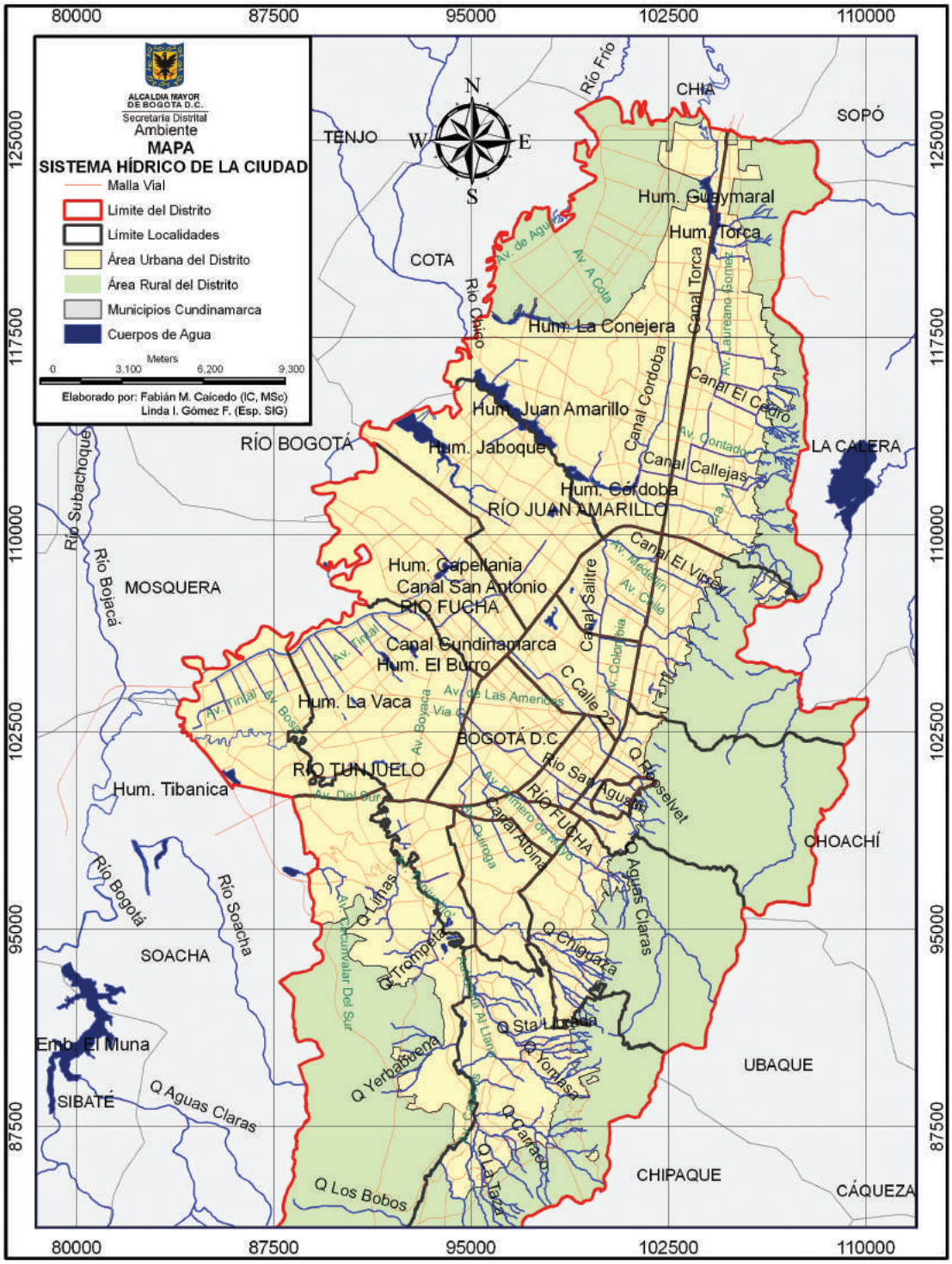
Asimismo, el sistema hídrico hace parte de la estructura ecológica en las distintas categorías cuyos elementos son los siguientes:

- Áreas de recarga de acuíferos.
- Cauces y rondas de nacimientos y quebradas.
- Cauces y rondas de ríos y canales.
- Humedales y sus rondas.
- Lagos, lagunas y embalses.

Es así como el sistema hídrico de Bogotá está constituido de norte a sur por:

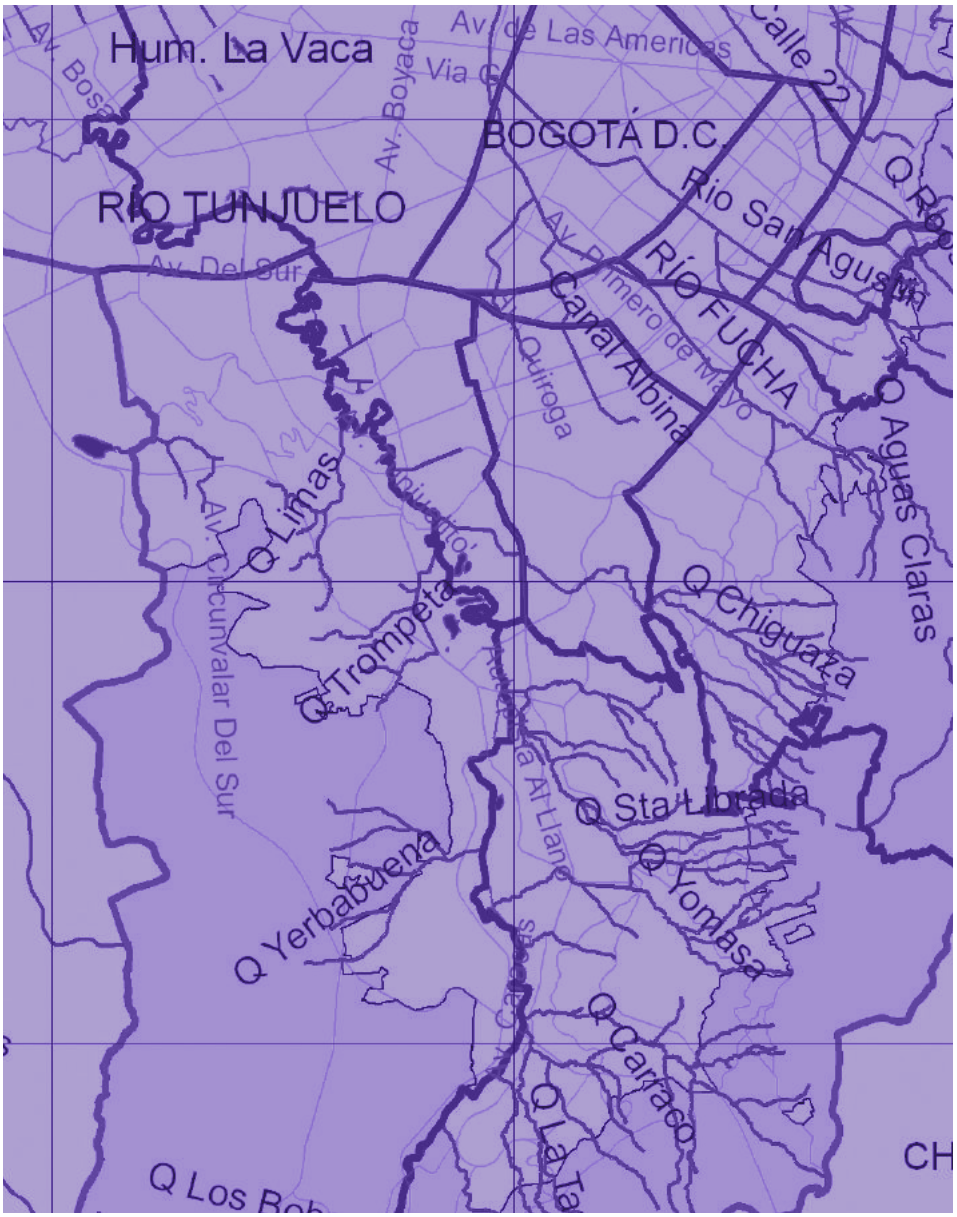
- El canal Torca, que recibe las aguas de los humedales de Guaymaral y Torca, capta las aguas de varias quebradas que nacen en los cerros orientales.
- El humedal de la Conejera, que drena las aguas de la quebrada la Salitrosa.
- El río Juan Amarillo o Salitre, al cual llegan por el norte las aguas del humedal Córdoba y los canales Córdoba, Contador, Callejas y Los Molinos, y por el sur el río Negro y los canales Virrey y Salitre, este último recibe las aguas de la quebrada Arzobispo.
- El humedal de Jaboque, que recibe las aguas del canal Los Ángeles.
- El río Fucha y su principal tributario, el río San Francisco.
- El canal Cundinamarca, que drena los humedales de Techo, El Burro y La Vaca, y los canales Tintal I, II, III y IV, que descargan sus aguas por medio de estaciones de bombeo al río Bogotá.
- El río Tunjuelo conformado en sus cabeceras por los ríos Mugroso, Chisacá y Curubital, en su parte media por las quebradas Yomasa, Santa Librada y Chiguaza y en su parte baja por las descargas de los humedales de Timiza, Laguna Terreros y Tibanica.

MAPA 2. Sistema hídrico de Bogotá



Fuente: *Atlas Ambiental de Bogotá. D.C.* "Distribución temporal y espacial de la precipitación". Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente. Imprenta Nacional de Colombia, 2007, p.39.

2 Objetivos y alcance



Objetivos y alcance

Objetivos

El objetivo fundamental de la presente publicación es "establecer la base técnica-conceptual para la interpretación y utilización de los datos obtenidos en el sistema hídrico de la ciudad a través de la operación de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá".

Alcance

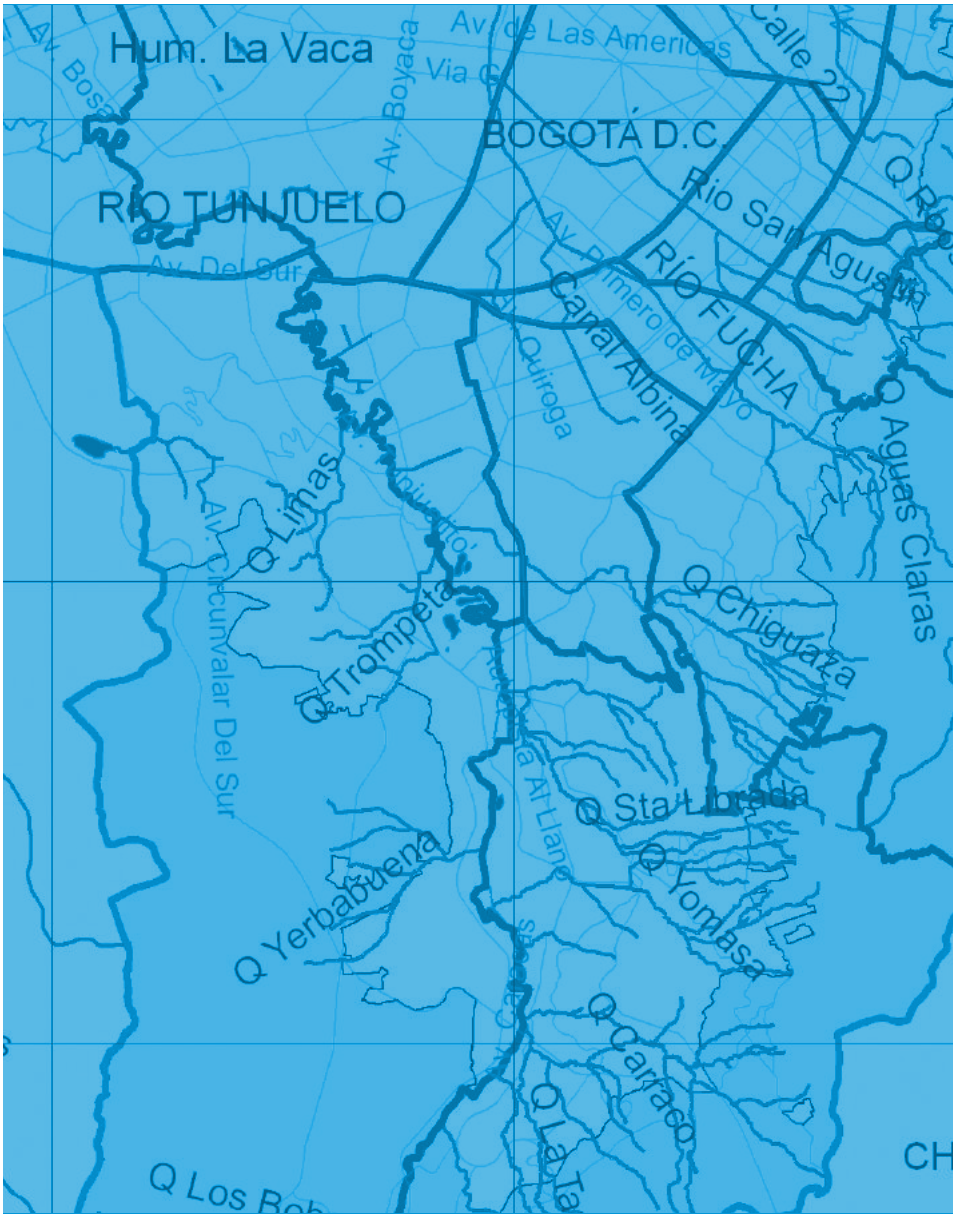
Para el logro del objetivo, la interpretación de la información va más allá de la simple lectura de un registro e involucra aspectos como la validación y aceptación del dato para ingresarlo en series de correlaciones que, finalmente, proporcionan el estado de la calidad del recurso hídrico de las corrientes estudiadas en un momento y espacio determinados.

La información contenida en esta publicación, busca dos resultados fundamentales:

- Establecer la línea base de la calidad de los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo, canal Torca y cuenca media del río Bogotá, en términos de concentraciones y cargas contaminantes. Esta información es la plataforma sobre la cual se diseñará la gestión del recurso hídrico de Bogotá para los próximos diez (10) años, de conformidad con los objetivos de calidad, resultado del análisis de los datos monitoreados por la Red de Calidad Hídrica de Bogotá y las normas que la regulan.
- Determinar el índice de calidad del agua para los principales ríos de la ciudad y diseñar los mapas de calidad correspondientes, de acuerdo con los usos potenciales definidos en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura.



3 Antecedentes



Antecedentes

EN ESTE CAPÍTULO SE RELACIONAN LAS ACTIVIDADES que se han ejecutado en los seguimientos sobre la calidad fisicoquímica y bacteriológica de los ríos que atraviesan el D.C. a partir del año 2004 hasta la generación de la línea base desarrollada en la presente publicación.

Evolución histórica de la calidad hídrica de Bogotá

A continuación se reseñan las secuencias de los convenios realizados entre la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), con los diferentes entes en el seguimiento de la calidad del recurso hídrico de Bogotá.

En el Convenio 041 de 2002, suscrito con el IDEAM, se inició el seguimiento de la calidad hídrica de Bogotá desde el año 2003 hasta 2004 con 33 puntos, de los cuales 7 eran estaciones fijas y 26 móviles que estaban operados por comisiones. Se realizaron un total 574 muestreos y 440 aforos a los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y cuenca media del río Bogotá, y más de 17.000 análisis cubriendo 32 parámetros físicos, químicos y bacteriológicos. Todo esto con el fin de obtener el primer récord histórico de calidad de estos cuerpos de agua.

En el Convenio 017 de 2004, suscrito con la EAAB-ESP, se realizó el planteamiento de alternativas para reubicar los puntos móviles y fijos iniciales y se dejaron 32 puntos representativos en la red de acuerdo con los objetivos de la SDA. Se evaluaron diferentes índices de calidad existentes, tanto nacionales como internacionales, y se concluyó que el más representativo para calificar o determinar por norma la calidad de los ríos que atraviesan el perímetro urbano de Bogotá era el índice de calidad CCME-WQI (Canadian Council Of Ministers of the Environment Water Quality Index) creado por el Concejo Canadiense del Ministerio del Medio Ambiente de Canadá. De igual manera, se generaron los mapas de calidad con este índice para los diferentes usos según la normatividad vigente. Adicionalmente, se planteó la posibilidad de realizar un seguimiento de la calidad con un programa de monitoreo aleatorio y con parámetros que cubrieran la norma y el grado de contaminación; lo anterior, con el fin de minimizar sesgos de la calidad por jornadas, días, semanas, meses y épocas climáticas.

En el Convenio 005 de 2006, la EAAB-ESP y la SDA, implementaron el programa de monitoreo aleatorio obtenido en el Convenio 017/04 (descrito

anteriormente) con algunas modificaciones, cuyos alcances estaban orientados a utilizar el índice de calidad CCME-WQI de acuerdo con el uso y con los objetivos de calidad establecidos en la Resolución 1813 de 2006-DAMA y en el Acuerdo 43 de 2006-CAR, con el fin de establecer una línea base unificada para el saneamiento gradual del recurso hídrico de Bogotá.

Avances en relación con el plan de monitoreo anterior

Durante el Convenio 005/06 se presentaron avances frente al plan de monitoreo ejecutado en el Convenio 017/04, así:

- Se definieron nuevos puntos en la parte alta de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo, con el fin de conocer la calidad de estas corrientes a la entrada del perímetro urbano y compararla con la entrega de los mismos al río Bogotá.
- Se realizó el seguimiento en 5 fuentes superficiales, con un total de 37 puntos de monitoreo, distribuidos así: en el río Salitre 7, en Fucha otros 7, en Tunjuelo 9, en Torca 3 y en la cuenca media del río Bogotá 11 puntos.
- Inicialmente se determinó el tiempo de monitoreo por un período de 24 semanas y en el diseño se estableció para cada punto dos datos por día en las diferentes jornadas con un intervalo de tres semanas, con el fin de evaluar la calidad de los ríos en diferentes épocas climáticas. Con estos lineamientos por punto se tendrían 16 datos. En el desarrollo del monitoreo se observó que la tendencia del tiempo predominante era seco y se adicionaron tres meses, lo que representaba 4 datos más por punto, para un total de 20 datos para los 37 puntos de monitoreo, logrando así obtener 740 datos, los cuales se realizaron entre julio de 2006 y abril de 2007. Este diseño factorial está soportado por el número de factores y niveles establecidos para el monitoreo.
- El plan de monitoreo logró establecer si existían diferencias en la calidad con respecto a la jornada de muestreo (día, semana, mes y época climática), pues era necesario contar con suficientes datos para poder aplicar el diseño aleatorio y establecer la evolución de las probabilidades estadísticas del mismo.
- Para establecer los puntos definitivos de monitoreo se contemplaron los siguientes lineamientos: el recorrido del flujo de cada río, la identificación de los puntos de muestreo, el efecto de la calidad de los vertimientos que descargan al sistema hídrico y la representatividad de los mismos para verificar los objetivos de calidad establecidos por el DAMA, en la Resolución 1813/06 (para el canal Torca y los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo). Para la cuenca media del río Bogotá se tuvieron en cuenta los objetivos de calidad definidos en el Acuerdo 43 de 2006 de la CAR.

- Se correlacionó el aporte de la precipitación con los caudales y concentraciones determinados en la interpretación espacial de los datos, en cada uno de los puntos de monitoreo a lo largo de cada cauce.
- Se realizó la evaluación espaciotemporal, con la finalidad de determinar si existía alguna tendencia definida en el comportamiento de los parámetros a lo largo del tiempo de muestreo y en el espacio, en los puntos establecidos para cada cuenca.
- Se revisaron los índices de calidad, como el de CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), agencia adscrita a la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de São Paulo, Brasil, responsable del control, fiscalización, monitoreo y licenciamiento de actividades generadoras de polución, preocupada fundamentalmente por preservar y recuperar la calidad del agua, el aire y el suelo de Brasil. Otros índices estudiados fueron el de Dinius (1987), el cual estima la calidad a partir de parámetros físicoquímicos y biológicos en comparación con estándares de acuerdo al uso, y el de CCME-WQI. Por flexibilidad y representatividad se aplicó en el presente convenio este último índice para calificar la calidad del agua por cuenca según los posibles usos y la normatividad vigente aplicable a las fuentes superficiales estudiadas.
- Con los valores de los índices obtenidos por cuenca se elaboraron los mapas de calidad de agua para las mismas, utilizando la metodología geoestadística conocida como krigeaje, con el respectivo mapa de confiabilidad.

Normas de calidad hídrica y red de monitoreo

El marco normativo de evaluación de la calidad del agua está constituido por las leyes, decretos, resoluciones y acuerdos relacionados con el objeto del presente estudio. En la Tabla 3 se enumeran algunos de ellos.

TABLA 3. **Marco jurídico de la calidad hídrica de las fuentes superficiales**

Norma	Aspectos que regula
Ley 99 del 22 de diciembre de 1993	Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Decreto Ley 2811 del 18 de diciembre de 1974 -Congreso de Colombia.	Por el cual se expide el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y protección al medio ambiente. En lo concerniente a los cuerpos de agua, define los tipos de contaminación que se presentan en los mismos (física, química y biológica) y establece que es responsabilidad del Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano y demás usos, para lo cual debe: clasificar las aguas y fijar su destinación, controlar la calidad del agua mediante análisis periódicos y promover y fomentar la investigación y el análisis de las aguas.
Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 - Ministerio de Agricultura	Por el cual se reglamentan los usos del agua y residuos líquidos y se definen las normas de vertimiento y los estándares de calidad de agua con los que las autoridades ambientales deben administrar el recurso para preservar su calidad.
Decreto 3100 de octubre 30 de 2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Decreto 3440 de octubre 21 de 2004	Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones con respecto a que las autoridades ambientales locales cobrarán la tasa retributiva por los vertimientos puntuales realizados a los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción de acuerdo con los Planes de Ordenamiento del Recurso establecidos en el Decreto 1594 de 1984 o en aquellas normas que lo modifiquen o sustituyan. (Se modificó el artículo 3 del Decreto 3100/03). De igual forma se modifica el artículo 6 del Decreto 3100/03, sobre información previa al establecimiento de las metas de reducción, mediante la cual la autoridad Ambiental competente deberá documentar el estado de la cuenca, tramo o cuerpo de agua en términos de calidad, identificar a los usuarios que realizan vertimientos, determinar si tienen plan de cumplimiento o permiso de vertimientos, calcular la línea base de las cargas contaminantes y establecer objetivos de calidad de los cuerpos de agua de acuerdo a su uso conforme a los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico.
Acuerdo 43 de 2006 - Corporación Autónoma de Cundinamarca, CAR	Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020.
Resolución 1813 agosto de 2006 DAMA (hoy SDA)	Mediante la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua del perímetro urbano para el quinquenio 2006-2011 en el Distrito Capital.

Fuente: Convenio 005/2006 SDA-EEAB-ESP.

En la Tabla 4 se indican los tramos de cada uno de los principales cuerpos de agua del Distrito Capital, establecidos en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA. De igual forma, en la Tabla 5 se relacionan los valores máximos permisibles para las variables evaluadas en el seguimiento del recurso hídrico de Bogotá, con el fin de determinar los posibles usos (agrícola, pecuario y recreativo mediante contacto secundario) establecidos en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura. Asimismo, se contemplan los objetivos de calidad definidos en el Acuerdo 43 de la CAR para el río Bogotá en la cuenca media, y el Índice de Parámetros Mínimos para la Conservación de Vida Acuática (IPMCA).

TABLA 4. Resolución 1813 de 2006 del DAMA, objetivos de calidad

Cuenca	Tramo	LÍMITES		OD (mg/l)	DBO_5 (mg/l)	SST (mg/l)	pH (Und)	Sólidos flotantes	Temperatura °C	Olores agresivos
CANAL TORCA	Único	Entrada juridicción DAMA	Salida juridicción DAMA	≥ 0,3	≤ 200	≤ 250	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 15 °C	Ausentes
RIO SALITRE	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª	≥ 2	≤ 5	≤ 50	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 15 °C	Ausentes
	2	Carrera 7ª	Carrera 30	≥ 0	≤ 150	≤ 150	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 20 °C	Mínimos
	3	Carrera 30	Avenida 68	≥ 0	≤ 200	≤ 300	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 20 °C	Mínimos
	4	Avenida 68	Desembocadura río Juan Amarillo	≥ 0	≤ 150	≤ 100	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 20 °C	Mínimos
RÍO FUCHA	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª	≥ 1	≤ 100	≤ 100	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 15 °C	Ausentes
	2	Carrera 7ª	Desembocadura canal Los Comuneros	≥ 0	≤ 250	≤ 250	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 20 °C	Ausentes
	3	Desembocadura canal Los Comuneros	Avenida Boyacá	≥ 0	≤ 250	≤ 250	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 20 °C	Ausentes
	4	Avenida Boyacá	Desembocadura río Fucha	≥ 0	≤ 300	≤ 300	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 20 °C	Mínimos
RÍO TUNJUELO	1	Entrada perímetro urbano	Desembocadura quebrada Yomasa	≥ 1	≤ 100	≤ 250	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 15 °C	Ausentes
	2	Desembocadura quebrada Yomasa	Avenida Boyacá	≥ 0	≤ 110	≤ 450	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 20 °C	Ausentes
	3	Avenida Boyacá	Autopista Sur	≥ 0	≤ 110	≤ 200	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 20 °C	Ausentes
	4	Autopista Sur	Desembocadura río Tunjuelo	≥ 0	≤ 150	≤ 400	5 ≤ pH ≤ 9	Ausentes	< 20 °C	Ausentes

Fuente: Convenio 005/2006 SDA-EEAB-ESP.

TABLA 5. Valores máximos permisibles establecidos en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura, artículos 40, 41 y 43, Acuerdo 43 de 2006 de la CAR y el IPMCA

VARIABLES FISICOQUÍMICAS	Uso agrícola 1594/84	Uso pecuario 1594/84	Uso recreativo Contacto secundario 1594/84	Objetivos de calidad Acuerdo 43 CAR Clase IV	IPMCA
ARSÉNICO (mg/l)	0,1	0,2	-	-	-
CADMIO (mg/l)	0,01	0,05	-	-	0,001
COBRE (mg/l)	0,2	0,5	-	-	0,02
COLIFORMES TOTALES (NMP/100 ml)	5.000	-	5.000	20.000	-
COLIFORMES FECALES (NMP/100 ml)	1.000	-	-	-	-
CROMO + 6 (mg/l)	0,1	1	-	0,1	-
CROMO (mg/l)	-	-	-	-	0,05
DBO_5 (mg/l)	-	-	-	50	-
MANGANESO (mg/l)	0,2	-	-	0,2	-
MERCURIO (mg/l)	-	0,01	-	0,01	-
NÍQUEL (mg/l)	0,2	-	-	0,2	0,025
OD (mg/l)	-	-	-		5
pH (unidades)	4,5-9,0	-	5,0-9,0	4,5-9,0	6,0-9,0
PLOMO (mg/l)	5,0	0,1	-	0.1	0,03
SAAM (mg/l)	-	-	0,5	-	0,5
SST (mg/l)	-	-	-	40	-
ZINC (mg/l)	2	25	-	*	0,18

(*) El valor del zinc está dado en CL 96/50 y no en mg/l, por tanto no se tiene en cuenta.

Fuente: Convenio 005/2006 SDA-EEAB-ESP.

Herramientas utilizadas para el análisis de la información

Para el análisis de la información se aplicaron tres herramientas básicas: estadística descriptiva, pruebas de hipótesis y análisis por conglomerados o diagrama de cajas.

En el presente estudio también se aplicó la prueba de Tukey, ya que es un método de comparación pareada que permitió la formación de intervalos de confianza simultáneos para realizar las comparaciones por parejas; esta prueba tiene una mayor sensibilidad cuando se tienen más de 10 datos por factor.

También se analizó la información fisicoquímica y bacteriológica generada en forma espacial y temporal, la cual se representó en los mapas de calidad en forma global, en época seca y de lluvia, y por ventanas de tiempo de acuerdo con la condición temporal determinada de precipitación.

Debido a que la evaluación de calidad de los hidrosistemas tuvo por objeto contemplar los posibles usos y calificar el estado de calidad de las fuentes, de acuerdo con los impactos que generan las actividades antrópicas sobre las características de los cuerpos superficiales receptores de agua, se ha reconocido mundialmente que los factores que afectan la integridad de los hidrosistemas pueden agruparse en cuatro categorías: destrucción de los ecosistemas, alteración del hábitat físico, adiciones o remociones directas de especies y finalmente, la que concierne a este trabajo, la alteración de las características químicas del agua[8].

Los tensores de la integridad de los hidrosistemas se manifiestan con toda intensidad y magnitud en la mayoría de los sistemas urbanos. De hecho, actualmente la mayoría de las áreas urbanas de los países en vía de desarrollo poseen sistemas de tratamiento de aguas servidas insuficientes, al extremo de que sus aguas no sólo están severamente degradadas en un sentido ecológico sino que también representan serios riesgos para la salud de sus habitantes.

Las actividades urbanas afectan los hidrosistemas presentes en su área de influencia a través de dos focos: aguas servidas sin tratar y escorrentía urbana durante las precipitaciones. La magnitud de estos impactos a su vez está determinada por la infraestructura de la red de drenaje y por el nivel de impermeabilización de las cuencas (relacionado con la superficie del terreno cubierto por construcciones y vías de transporte).

El sistema hídrico de Bogotá se compone de un conjunto de sistemas naturales altamente modificados, los cuales tienen por objeto la reducción de tiempos de viaje, especialmente en época de lluvia, y la maximización en la eficiencia del transporte. Adicional a esto, los ríos reciben descargas de aguas residuales por conexiones erradas que se presentan en el sistema de alcantarillado pluvial; por esta razón, la evaluación de calidad del agua transportada por el sistema resulta ser un reto interesante al representar integralmente el estado de las fuentes superficiales en el perímetro urbano.

8 Malmqvist, B. y S., Rundle. *Threats to running water ecosystems of the world.* Environmental conservation. Cambridge University Press, 2002, pp. 134-153.

Es importante resaltar que un indicador de la calidad del agua es una característica o un conjunto de éstas que se relacionan directa o indirectamente con una propiedad del cuerpo de agua que se desea determinar. Los indicadores pueden corresponder a tres categorías: indicadores de estado, de presión o de respuesta[9].

Los primeros indicadores son aquellos que se refieren a las condiciones del sistema en estudio y sirven como marco de comparación para los otros dos tipos de indicadores. Los de presión miden las acciones generadoras de cambio en las propiedades del hidrosistema de interés, y los indicadores de respuesta están diseñados para evaluar las acciones correctivas de los efectos generados por las presiones que los afectan. Para mayor claridad en la Tabla 6 se presentan algunos ejemplos de estas experiencias en Colombia y otros países.

En relación con los enfoques con que se desarrollan los índices de calidad del agua, puede decirse que se agrupan en dos grandes categorías: la primera, el enfoque bioecológico, en el que los sistemas hídricos se conciben como fuentes naturales afectadas por impactos humanos, busca evaluar qué tan lejos se encuentran de su condición ideal; y la segunda, el enfoque normativo, que se orienta por las directrices, normas, resoluciones y/o leyes de un Estado o país. Sin embargo, en el entorno urbano las fuentes de agua adquieren una dimensión de uso, por lo que la evaluación de su condición está necesariamente ligada a los propósitos para los cuales se destina. Esto implica que la evaluación de sistemas urbanos requiere necesariamente un enfoque normativo que califique la calidad de las fuentes superficiales, de acuerdo con el posible uso según la normatividad vigente (*ver Tabla 4 y Tabla 5*).

Por otra parte, los índices que han venido siendo aplicados en diferentes estudios, tanto a nivel nacional como internacional, además de corresponder al enfoque bioecológico, se calculan con base en variables fisicoquímicas fijas a las cuales le son asignados pesos respectivos a través de la metodología Delphi, en la que los expertos definen el orden de importancia que debe tener cada variable dentro del índice de calidad. Esta metodología de asignación de pesos conlleva a que los índices no puedan ser calculados en ausencia de al menos una variable, ya que sería totalmente contradictorio asignar arbitrariamente los pesos a las variables de las que se disponga al momento de calcular tal índice.

9 Beamonte, E., J. Bermúdez, A. Casino y E. Veres. *Un indicador global para la calidad del agua*. Memorias 27° del Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, 2003, pp. 1-22.

TABLA 6. Índices de calidad del agua empleados en la evaluación del recurso hídrico a nivel nacional e internacional

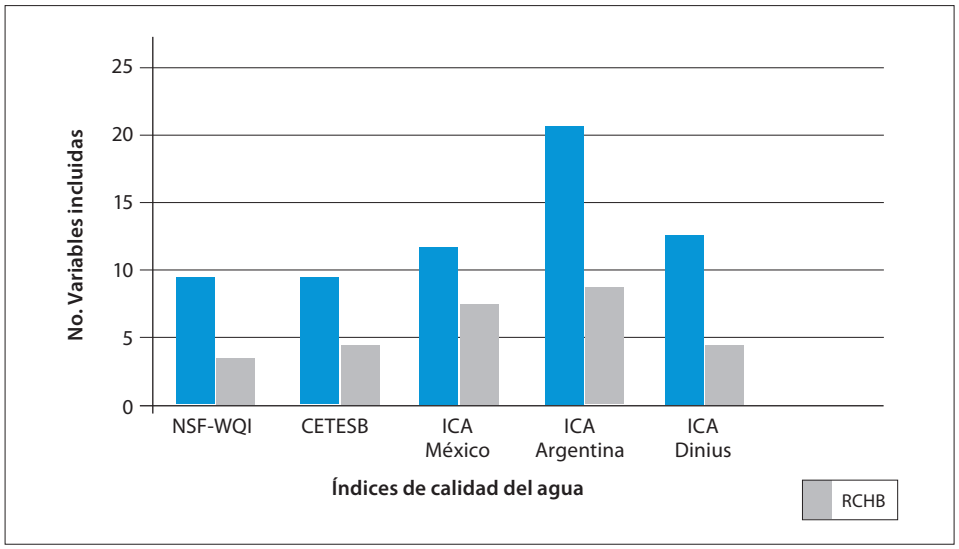
País	Objetivo/Problema	Índice empleado	Marco de referencia	Conclusiones /Observaciones	Fuente
España	Proponer un índice global para la clasificación de la calidad del agua, introduciendo la incertidumbre en el contexto de la probabilidad.	Índice estocástico de la calidad del agua.	Normativo: Confederaciones Hidrográficas, UE.	Útil en escenarios con discontinuidad en los datos.	Beamonte *et al.* 2005
Inglaterra	Evaluar niveles de polución en la cuenca de Mersey desde 1750, usando información de indicadores económicos y de población.	WPI: Water Pollution Index, calculado mediante la ponderación del efecto de las diferentes actividades productivas.	Condición esperada: impacto de las actividades sobre las fuentes hídricas.	Esta aproximación tiene el potencial para ser usada como sistema de alerta para los incrementos de polución en países en vías de industrialización.	Burton *et al.* 2003
Chile	Caracterizar la variabilidad espacio-temporal de la calidad del agua.	WQI estándar y simplificado. Ponderación de parámetros basados en condiciones locales y literatura.	Condición esperada (porcentaje de una situación óptima).	Estudios previos de WQI en Chile son inexistentes. Reducción de parámetros involucró análisis componentes principales.	Debels *et al.* 2005
Argentina	Verificar utilidad de WQIs en la evaluación de la variación espacio temporal de la calidad del agua.	WQIs subjetivo, objetivo y mínimo.	Condición esperada (porcentaje de una situación óptima).	Evaluación de la calidad del agua en períodos secos y lluviosos.	Pesce y Wunderline 2000
Taiwán	Explorar el comportamiento y las limitaciones de los métodos convencionales usados en Taiwán.	WQI (13 parámetros), análisis componentes principales y RSI: River Status Index.	Mixto: normativas Taiwán y otros estándares usados en la ponderación de parámetros.		Mey-Liou *et al.* 2003
Colombia	Evaluación y mantenimiento de la red de calidad hídrica de Bogotá.	WQI, Canadian Council of Ministers of Environment Water Quality Index, CCME-WQI y UCH.	Condición esperada, normativa nacional y estándares internacionales.	Se recomienda el uso del CCME-WQI para el monitoreo de la red de calidad hídrica de Bogotá.	García-Triana *et al.* 2005.
	Variación espacio-temporal del recurso hídrico en Bogotá.	Unidades de Contaminación Hídrica (UCH).	Normativa establecida.		IDEAM-DAMA, Alcaldía de Bogotá, 2004
	Establecer valores de bioindicación de macroinvertebrados de la sabana de Bogotá.	Índice de calidad fisicoquímica C_{fq}.	Condición esperada.	Permite el cálculo del índice con cualquier número de variables fisicoquímicas.	Riss *et al.* 2005
	Formulación de índices para la caracterización de aguas continentales y vertimientos.	ICPO, ICOTEM	Condición esperada: impacto de las actividades humanas sobre las fuentes hídricas.	Los índices no cuantifican contaminantes específicos. ICOTEM es la alternativa para evaluación de vertimientos.	Ramírez *et al.* 1999
	Formulación de índices para la caracterización de aguas continentales.	ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO	Condición esperada (porcentaje de una situación óptima).	Los índices no cuantifican contaminantes específicos. Reducción de parámetros involucró análisis componentes principales.	Ramírez *et al.* 1997
	Verificar utilidad del WQI (NSF) en la evaluación de la variación espacial de la calidad del agua.	WQI, versión multiplicativa.	Condición esperada (porcentaje de una situación óptima).	Observaron que el índice multiplicativo se ajustó a la percepción inicial que se tenía de la condición del río.	Behar *et al.* 1997

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En relación con los índices correspondientes al enfoque bioecológico se concluye que su cálculo se hace inviable debido a que no existe la información completa de las variables que éstos incorporan, ya que la normatividad nacional no lo contempla dentro de los usos.

En la Gráfica 1 se compara el número de variables fisicoquímicas incluidas en el cálculo de diferentes índices de calidad del agua a nivel internacional y las determinadas durante la operación de la RCHB que coinciden con esas. Es relevante aclarar que en ninguno de los casos se cuenta con el total de variables requeridas, ya que los índices relacionados incluyen algunas variables ecológicas diferentes a las establecidas en la normativa.

GRÁFICA 1. Comparación de parámetros establecidos en los índices relacionados



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

De los indicadores de calidad ilustrados en la Gráfica 1 se mencionan los principales criterios de cada índice de esta manera:

El NSF-WQI (National Sanitation Foundation-Water Quality Index), de Estados Unidos, califica la calidad del agua con base en la media geométrica ponderada de 9 parámetros entre fisicoquímicos y bacteriológicos. En lugar de usar un sistema de referencia, usa nomogramas para cálculos manuales[10].

El índice de Calidad del Agua (ICA) de México proporciona un valor global, incorporando valores individuales de cada una de las variables. Este índice considera entre 13 y 18 parámetros jerarquizados por su peso específico, a criterio de sus autores. La calificación de 0 a 100 determina desde muy contaminado a no contaminado.

10 León, Luis F. *Índices de Calidad del Agua (ICA)*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, 1991, p. 36.

Una desventaja de este índice es que no incluye la estimación de condiciones de contaminación por agentes tan importantes como metales pesados e hidrocarburos[11].

El índice de CETESB, 1997, utiliza 9 parámetros, a los cuales le asigna pesos específicos y califica la calidad del agua entre 0 y 100 puntos desde óptima hasta pésima. PNMA (Plan Nacional para el Manejo del Medio Ambiental) II –índices e indicadores[12].

Dinius (apud OTT, 1978) es un índice que incluye 11 párametros fisicoquímicos y bacteriológicos ponderando los pesos asignados a cada variable, no sólo por ecuaciones matemáticas sino que cada peso está basado en estudios realizados de acuerdo con la importancia en la determinación del grado de contaminación. Considera que los usos específicos del agua pueden ser interpretados según el valor del índice PNMA II – índices e indicadores[13].

El ICA de Argentina aplica los mismos principios del ICA de México, pero sólo considera parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos para calificar la calidad de acuerdo con el uso[14].

Otro criterio para la selección del índice de calidad del agua fue la adaptabilidad de los resultados del mismo para la generación de mapas de calidad. En este sentido, los resultados de la aplicación de este índice implicó la selección de aquel que recogiera la mayor cantidad de variación temporal posible, es decir, que abarcara la mayor cantidad de datos en el tiempo, sin sacrificar su variabilidad al establecer un valor promedio de los mismos.

Igualmente se revisó el estado del arte respecto a los índices utilizados a nivel nacional e internacional, para calificar la calidad de las fuentes asignando puntajes relacionados con la condición del sistema hídrico de Bogotá como lo son los índice de calidad de NSF-CCME-WQI y el de CCME-WQI, observando que este último es de mayor flexibilidad y aplicabilidad para el análisis de la información de la RCHB, porque permite tener en cuenta el tipo de enfoque en el que se sustenta el índice y las variables fisicoquímicas requeridas para su determinación. Sus resultados dentro de los rangos de clasificación facilitan su incorporación en mapas de calidad.

Es necesario recordar que la calidad del agua cambia espacial y temporalmente, y que esta variación es la que se representa en los mapas, es decir que éstos son como una "fotografía" que debe contener la mayor cantidad de información posible. Los mapas deben generar una calificación de la calidad del agua con todos los datos: el estado de la calidad y perfiles y comportamientos representativos; así, con estas herramientas se facilita la toma de decisiones.

11 Ortiz Gallarza, Silvia. "Diseño, construcción y aplicabilidad del índice de evaluación ambiental de ecosistemas acúaticos". En: *Interciencias* (IEAEA), Revista de Ciencia y Tecnología de América, vol. 30, No. 3, Caracas, 2005, pp. 126-133.

12 Programa Nacional de Medio Ambiente II. *Monitoreo como instrumento de control ambiental y gestión de recursos hídricos del estado de Pernambuco*. Brasil, mayo de 2003, p. 16.

13 *Ibid*, p. 17.

14 *Ibid*, p. 20.

El CCME-WQI incorpora tres elementos o factores relacionados con la variación de los datos alrededor de los límites establecidos por la norma usada como referencia. Estos factores son: alcance, frecuencia y amplitud, y han sido escalados en un rango entre 0 y 100, permitiendo combinarlos para crear un vector en un espacio de "excedencia" sobre el objetivo o norma. El índice es un número entre 0 (mala calidad) y 100 (excelente calidad). Por esta razón, este índice es muy versátil, pues las variables, la normatividad y el período evaluado no se especifican, dando la posibilidad de calcular el índice de acuerdo con las propias necesidades. Sin embargo, no se recomienda calcularlo cuando se dispone de menos de 4 variables determinadas, pues entre menos variables se tengan, menos representativo es el índice para calificar el estado del sistema hídrico.

A continuación se describen los factores que incorpora el índice CCME-WQI en su cálculo y la forma de obtener los puntajes correspondientes a calidad del agua, así como su respectiva correspondencia con categorías de calidad.

Alcance: hace referencia a la cantidad de variables fisicoquímicas sobre el total de medidas cuyos valores exceden aquellos estipulados por la normativa de referencia.

Frecuencia: representa el porcentaje de las mediciones individuales o datos que no cumplen con los objetivos.

Amplitud: representa la magnitud por la cual una medición individual está por fuera del valor determinado por la normativa.

Una vez ha sido determinado el valor del CCME-WQI la calidad del punto que está siendo evaluado puede calificarse de acuerdo con las categorías que se consignan en la Tabla 7.

TABLA 7. Categorías de calificación del CCME-WQI

Categorías	Rango
Excelente	95-100
Buena	80-94
Aceptable	65-79
Marginal	45-64
Pobre	0-44

Fuente: Concejo Canadiense del Ministerio del Medio Ambiente, CCME-WQI.

Un problema común en las ciencias de la tierra es que sólo se pueden tomar muestras de los fenómenos naturales en algunos puntos, debido a razones técnicas y económicas. Sin embargo, con el fin de tomar decisiones resulta necesario poder conocer el valor de las variables de interés en puntos donde no se midieron. Este problema se puede resolver mediante la utilización de técnicas

de interpolación, pero éstas tienen como desventaja que no es posible obtener una medida de confiabilidad o de error del valor interpolado, lo cual limita seriamente su aplicación en problemas prácticos.

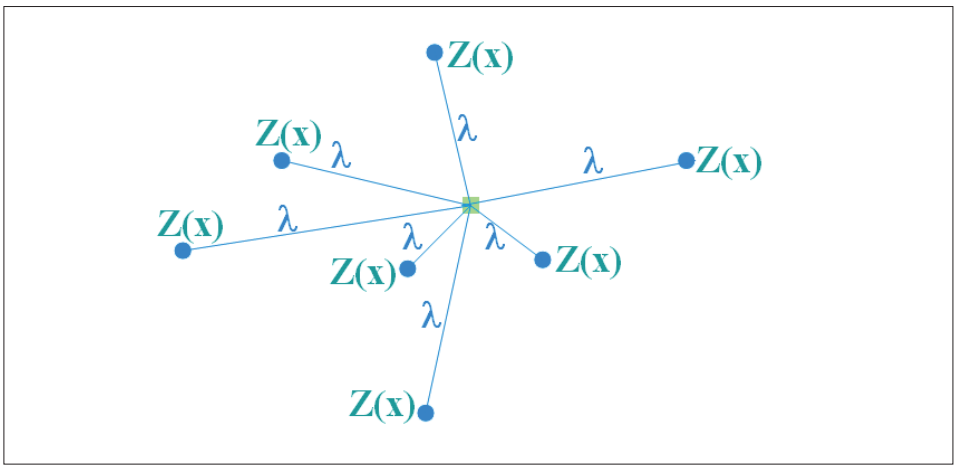
Dicha medida de confiabilidad es muy importante porque permite tomar decisiones con toda la información necesaria, ya que en muchas oportunidades la persona encargada de esta labor debe creer ciegamente en los resultados de un modelo matemático sin que se tenga la posibilidad de conocer si éste es correcto o no.

Como se dijo en páginas anteriores, el krigeaje es un método geoestadístico empleado para la obtención del valor de un atributo en un punto donde no se tiene información a partir de las mediciones realizadas en puntos cercanos (*ver Figura 1*). El valor del atributo en un punto no muestreado se puede expresar como:

$$Z^*(u) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_i$$

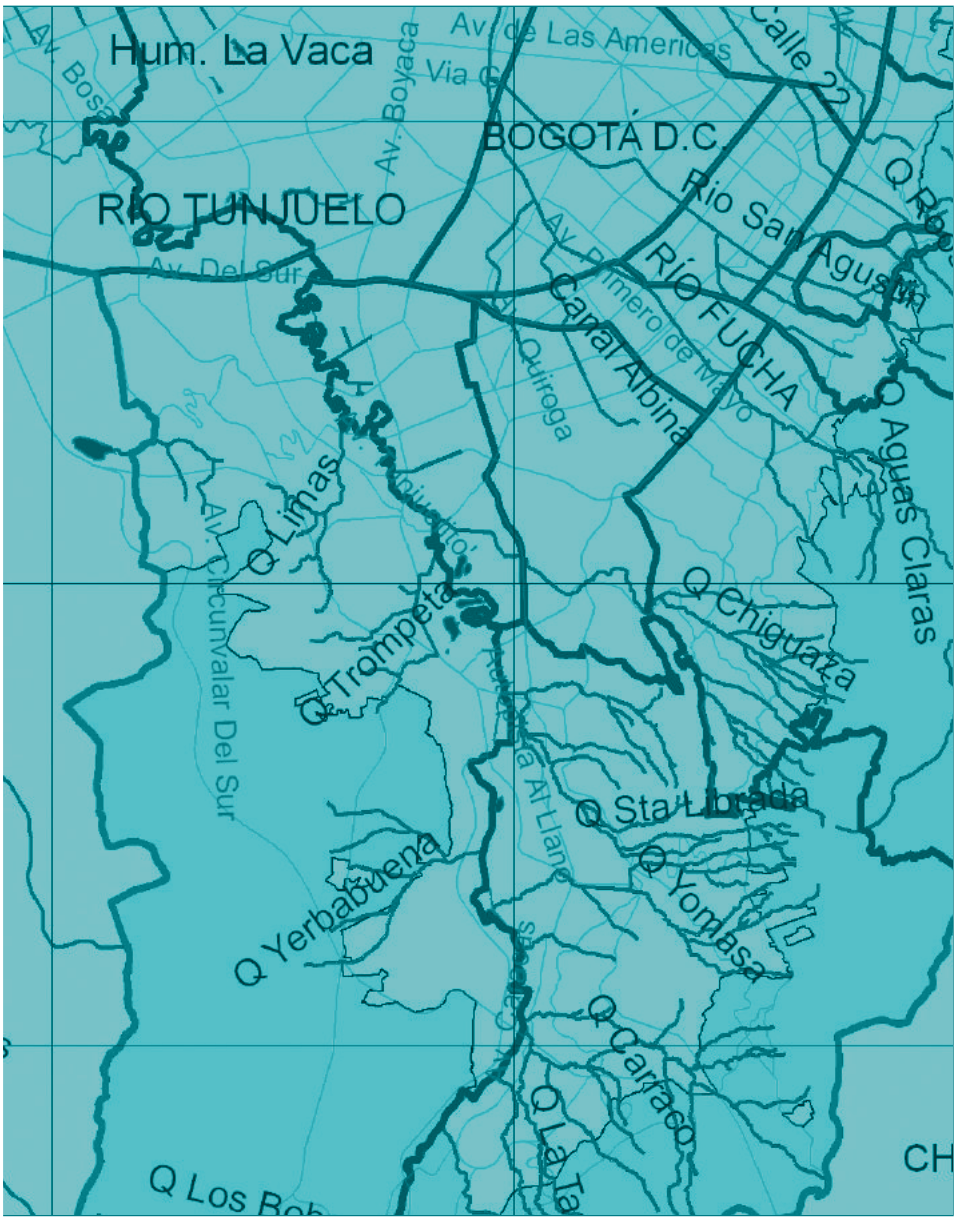
en donde λ_i corresponde a unos pesos de ponderación y Z_i a los valores medidos en los puntos cercanos a u. Estos pesos λ_i dan una mayor influencia en el valor estimado a las muestras más cercanas y en el caso del krigeaje éstos dependen tanto de la distancia de separación como de la correlación espacial, haciendo que este método tenga en cuenta particularidades del fenómeno estudiado.

FIGURA 1. El valor estimado en un punto depende de la correlación espacial



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

4 Conformación de la red



Conformación de la red

UNA RED DE CALIDAD HÍDRICA ES UN SISTEMA de puntos de monitoreo donde se determina la calidad y cantidad de los cuerpos de agua existentes en el área, la cual puede contar con puntos fijos que miden parámetros de campo y puntos móviles donde se hace el monitoreo a través de comisiones. En el caso de Bogotá, se constituye la red por un sistema mixto de las dos anteriores.

La RCH permite obtener, procesar y divulgar información de calidad de los ríos monitoreados de forma confiable, clara y oportuna, para evaluar el cumplimiento de estándares de calidad según la normatividad ambiental vigente. Asimismo, facilita generar información base produciendo un récord histórico que admite definir comportamientos y perfiles de calidad, constituyéndose en una herramienta fundamental para la toma de decisiones.

Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB)

Con el fin de realizar un seguimiento a la calidad de las fuentes superficiales monitoreadas, la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP) seleccionaron un conjunto de puntos representativos de la calidad según los afluentes que reciben, ubicación, seguridad, accesibilidad para la logística de monitoreo y tramos requeridos por la normatividad vigente ubicados sobre los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo, canal Torca y cuenca media del río Bogotá en el perímetro urbano, los cuales conforman la RCHB.

El funcionamiento de esta red permitió determinar y conocer la calidad de las fuentes superficiales al pasar los ríos por el perímetro urbano hasta su entrega al río Bogotá, durante las diferentes jornadas (mañana, tarde y noche) entre semana, fin de semana y durante nueve meses de seguimiento.

A partir del año 2006 el DAMA, hoy SDA, y la EAAB-ESP implementaron el programa de funcionamiento de la RCHB con el fin de generar información del sistema hídrico, que sea de utilidad para las dos entidades, de acuerdo con la normatividad respecto a los objetivos de calidad y al Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) que debe cumplir la EAAB-ESP sobre el sistema hídrico de Bogotá. En la actualidad, la red está conformada por 37 puntos, de los cuales 7 tienen estaciones fijas.

A continuación se presenta la ubicación de los puntos de monitoreo y su validación, los componentes de las estaciones fijas, el tiempo y la frecuencia de monitoreo, así como los parámetros analizados y los métodos analíticos empleados.

Ubicación de los puntos de monitoreo

En la Tabla 8 y en el Mapa 3 se relacionan los puntos de la RCHB con el nombre de cada punto por río, el tramo establecido de acuerdo con los objetivos de calidad según la Resolución 1813 de 2006 del DAMA. Asimismo, se registra la ubicación geográfica de los puntos monitoreados de la red a través de las coordenadas en el sistema WGS 84.

Componentes de las estaciones fijas y móviles

En el Esquema 1 y en el Esquema 2 se relacionan los elementos que componen las estaciones fijas de la RCHB.

En los puntos móviles para obtener información unificada y confiable al monitorear un punto georreferenciado y demarcado de la RCHB se requiere:

- Que el punto sea representativo para el aforo y muestreo, ya que las condiciones del mismo punto pueden variar de acuerdo con los escenarios climáticos.
- Utilizar equipos adecuados y calibrados.
- Realizar el aforo con el método correcto según el entorno hidraúlico del punto en el día de muestreo.
- Aplicación de los métodos estandarizados en la recolección y preservación de la muestra.
- Registrar todos los datos, condiciones ambientales, transporte y aceptabilidad de la muestra por parte del laboratorio.

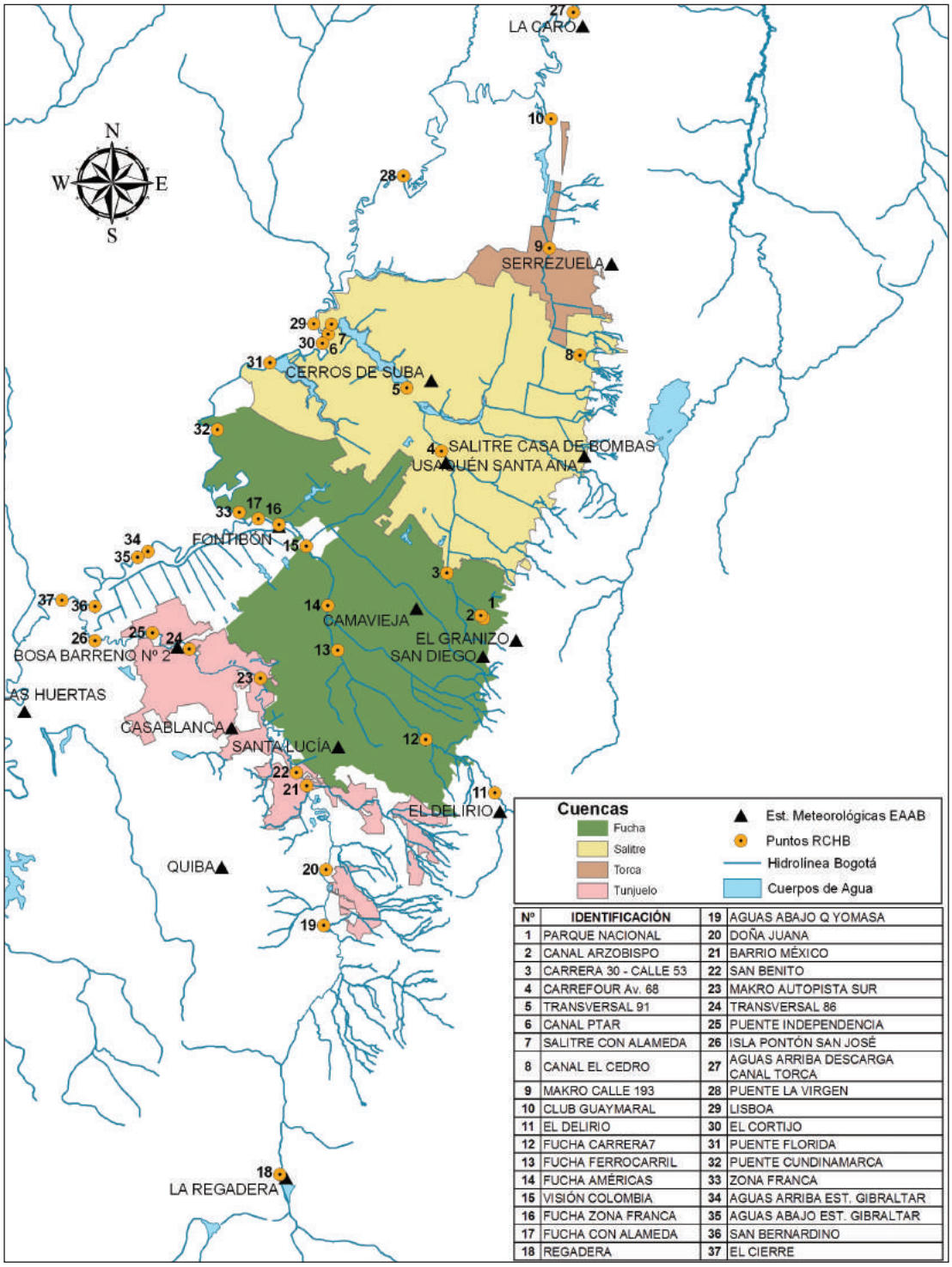
En los puntos fijos, para la medición de pH, temperatura, conductividad y Oxígeno Disuelto se necesita el mantenimiento y limpieza de las estructuras, soportes de los sensores, calibración y verificación de las sondas, comprobación del almacenamiento y captura de los datos.

TABLA 8. Puntos de la RCHB

Cuenca	Estación	Tramo fuente	Abscisado	Coordenadas geográficas WGS 84	
				Latitud	Longitud
CANAL TORCA	Canal El Cedro con carrera 12	ÚNICO	K0+000	4.4343	74.01363
	Canal Torca, Makro calle 193		K5+958	4.46146	74.02195
	Canal Torca, Club Guaymaral		K12+059	4.46398	74.02277
SALITRE	Parque Nacional	1	K0+000	4.37244	74.03212
	Carrera 7ª Arzobispo	2	K0+195	4.37324	74.03558
	Carrera 30 con calle 53 (Canal Salitre)	3	K2+828	4.38342	74.0445
	Carrefour, avenida 68	4	K8+508	4.41238	74.04487
	Transversal 91	4	K11+978	4.42578	74.05457
	Puente Alameda	4	K16+609	4.44142	74.07332
	PTAR Salitre - Canal de aguas mínimas	4	K17+342	4.44009	74.074
RÍO FUCHA	El Delirio	1	K0+000	4.33133	74.03381
	Carrera 7ª con río Fucha	2	K4+431	4.34396	74.05201
	Fucha avenida Ferrocarril	2	K10+206	4.36436	74.07198
	Avenida Las Américas	3	K12+304	4.37466	74.07341
	Visión Colombia	4	K15+559	4.38458	74.07367
	Zona Franca	4	K17+483	4.39408	74.08417
	Fucha con Alameda	4	K18+498	4.39419	74.08426
RÍO TUNJUELO	La Regadera	1	K0+000	4.24181	74.08403
	100 metros abajo de la desembocadura de la quebrada Yomasa	2	K12+881	7.30138	74.07399
	Doña Juana	2	K15+760	4.31318	74.07367
	Barrio México	3	K21+801	4.33308	74.08037
	San Benito	3	K22+652	4.33488	74.08227
	Makro Autopista Sur	4	K31+839	4.35588	74.09077
	Transversal 86	4	K36+036	4.36448	74.10487
	Puente La Independencia	4	K38+725	4.37058	74.11467
	Isla Pontón San José	4	K43+550	4.36548	74.13037
RÍO BOGOTÁ	Aguas arriba de la descarga del canal Torca (Puente del Común)	CUENCA MEDIA	K0+000	4.49179	74.02174
	Puente La Virgen		K29+467	4.47448	74.05457
	Lisboa		K45+875	4.44224	74.07505
	El Cortijo		K46+290	4.441028	74.073913
	Puente La Florida		K50+650	4.43324	74.08553
	Puente Cundinamarca		K57+111	4.41558	74.10087
	Zona Franca		K62+512	4.40007	74.0942
	100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar		K70+024	4.38566	74.10555
	100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar		K70+587	4.38522	74.11006
	San Bernardino		K76+587	4.37438	74.13067
	El Cierre		K78+360	4.37538	74.13487

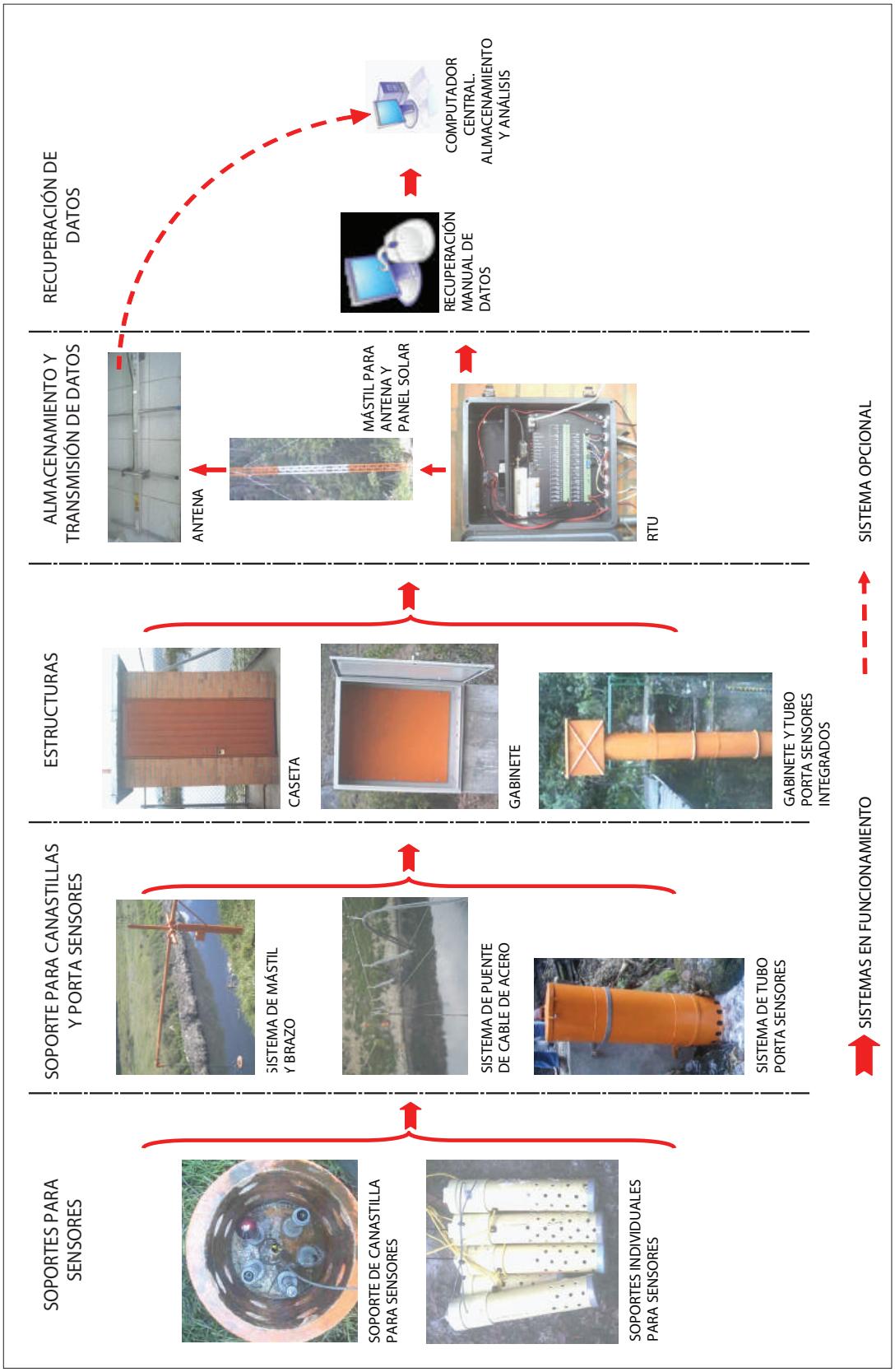
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 3. **Localización de los puntos de la RCHB**

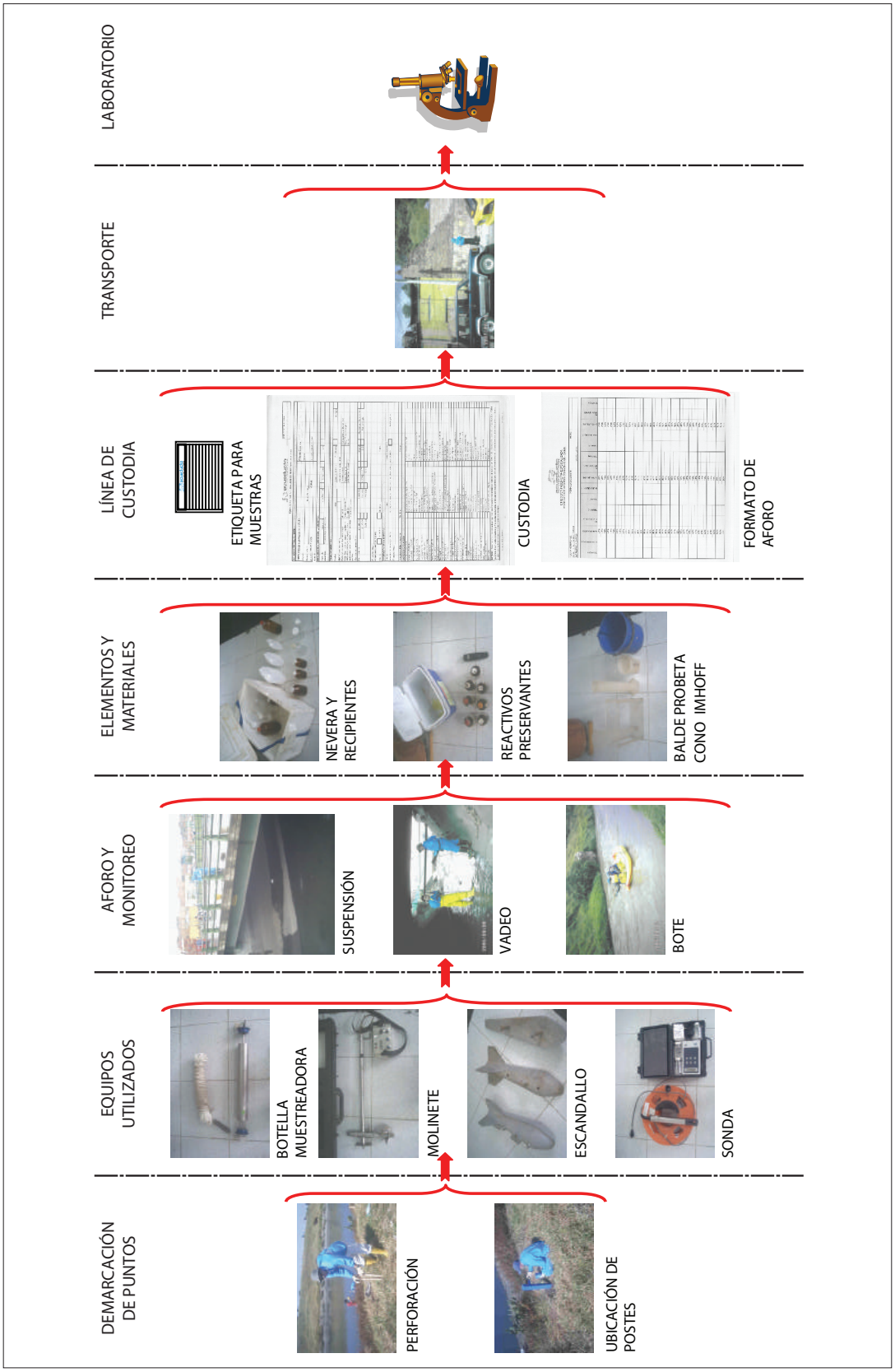


Nº	IDENTIFICACIÓN	19	AGUAS ABAJO Q YOMASA
1	PARQUE NACIONAL	20	DOÑA JUANA
2	CANAL ARZOBISPO	21	BARRIO MÉXICO
3	CARRERA 30 - CALLE 53	22	SAN BENITO
4	CARREFOUR Av. 68	23	MAKRO AUTOPISTA SUR
5	TRANSVERSAL 91	24	TRANSVERSAL 86
6	CANAL PTAR	25	PUENTE INDEPENDENCIA
7	SALITRE CON ALAMEDA	26	ISLA PONTÓN SAN JOSÉ
8	CANAL EL CEDRO	27	AGUAS ARRIBA DESCARGA CANAL TORCA
9	MAKRO CALLE 193	28	PUENTE LA VIRGEN
10	CLUB GUAYMARAL	29	LISBOA
11	EL DELIRIO	30	EL CORTIJO
12	FUCHA CARRERA7	31	PUENTE FLORIDA
13	FUCHA FERROCARRIL	32	PUENTE CUNDINAMARCA
14	FUCHA AMÉRICAS	33	ZONA FRANCA
15	VISIÓN COLOMBIA	34	AGUAS ARRIBA EST. GIBRALTAR
16	FUCHA ZONA FRANCA	35	AGUAS ABAJO EST. GIBRALTAR
17	FUCHA CON ALAMEDA	36	SAN BERNARDINO
18	REGADERA	37	EL CIERRE

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.



ESQUEMA 1. Elementos que componen los puntos fijos de la RCHB



ESQUEMA 2. Elementos que componen los puntos móviles

Metodología y validación de los puntos de monitoreo

Para la ubicación de los puntos monitoreados se tuvo en cuenta la siguiente metodología:

- Se realizó el recorrido por todos los puntos iniciales de la red y las modificaciones planteadas en la optimización de la misma, a través del Convenio 017, suscrito entre la SDA y la EAAB-ESP.
- Se cruzaron los puntos seleccionados en el recorrido de campo con los vertimientos relacionados en el PSMV de la Empresa, y tramos, según la Resolución 1813 de 2006 del DAMA. De esta manera se ubicaron puntos que brindaran información útil para la RCHB, que permitieran la verificación de los objetivos de calidad y determinaran la afectación de los vertimientos definidos en el PSMV; así dio un total de 37 puntos de monitoreo en las 5 corrientes superficiales a estudiar, 4 dentro del perímetro urbano y una por fuera de éste.
- Se hizo la georreferenciación en campo de todos los puntos sobre la RCHB y se ubicaron marcaciones con postes de madera, con el fin de mantener el monitoreo en el mismo punto.
- En el caso de las estaciones fijas nuevas se buscó que el predio donde se construyeran fueran de la Empresa y/o de entidades que tuvieran vigilancia por seguridad de los equipos que conforman la estación. También se buscó que en el sitio se tuviera otro tipo de estaciones hidroclimáticas para poder unificar en un mismo punto las mediciones de calidad, condiciones hidrometeorológicas y, de ser posible, nivel.
- Se evaluó la ubicación de los nuevos puntos fijos de la red considerando la representatividad de las características fisicoquímicas y microbiológicas del recurso hídrico del Distrito Capital a la entrada del perímetro urbano de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo, con el fin de comparar la calidad de éstos respecto a la entrega a la cuenca media del río Bogotá.

Los lineamientos generales para seleccionar los puntos definitivos de monitoreo que se consideraron fueron: recorrido del flujo de cada río, identificación en campo de los puntos de muestreo, el efecto de los vertimientos que descargan a cada uno de los ríos y la representatividad de los mismos para verificar los objetivos de calidad establecidos por el DAMA en la Resolución 1813/06. Para la cuenca media del río Bogotá se tuvieron en cuenta los objetivos de calidad definidos en el Acuerdo 43 de 2006 de la CAR.

Los nuevos puntos de monitoreo incluidos fueron:

Canal Torca: El Cedro, Makro calle 193 y Guaymaral.

Río Salitre: se adicionaron los puntos de la carrera 7ª con calle 39 y de la carrera 30 con calle 53, con el fin de verificar la calidad del cuerpo de agua

respecto a las descargas de aguas residuales que se encuentran en estos tramos.

Río Fucha: se incluyeron los puntos ubicados en la carrera 7ª con Fucha, avenida Ferrocarril y puente La Alameda los cuales están ubicados antes de la entrega al río Bogotá.

Río Tunjuelo: se ubicó el primer punto de monitoreo después del embalse de La Regadera para conocer la calidad del recurso hídrico a la entrada del perímetro urbano y se adicionó otro punto después de la entrega de la quebrada Yomasa, para conocer la afectación de la misma en la calidad del río.

Cuenca media del río Bogotá: para esta cuenca se ubicaron los puntos de manera que se pudiera establecer el efecto tanto de los vertimientos de la red de alcantarillado (estaciones de bombeo de la EAAB-ESP) como de afluencia de los principales ríos de Bogotá. Asimismo, se incluyó el primer punto aguas arriba de la descarga del canal Torca (Puente del Común) para conocer la calidad del cuerpo de agua antes de entrar al perímetro urbano de la ciudad.

Ventajas de los puntos de monitoreo

- La ubicación de los 37 puntos seleccionados en la red brindaron información útil para los diferentes proyectos y competencias de las dos entidades, la SDA y la EAAB-ESP, respecto al saneamiento gradual de los cuerpos de agua en la ciudad.
- Con el monitoreo de los puntos en la RCHB la SDA puede realizar el seguimiento al PSMV, que presentó la EAAB-ESP, y determinar el cumplimiento de los objetivos de calidad de la Resolución 1813 de 2006 del DAMA.

Los puntos establecidos en la RCHB hicieron posible evaluar la calidad del agua de cada río después de los principales vertimientos que reciben estas fuentes superficiales; por esta razón, en los diferentes cuerpos de agua se ubicaron puntos antes y después de la descarga de cada afluente del río y/o vertimientos, con el fin de valorar los cambios de calidad, cantidad y carga de cada corriente. Esta información sirvió para correlacionar el PSMV con el saneamiento gradual de la cuenca media del río Bogotá y específicamente para el caso de la cuenca media se pudo comparar y determinar si los objetivos de calidad establecidos por la CAR, en el Acuerdo 43 de 2006, podrán ser alcanzados, como se proyecta, en el año 2020.

Desventajas de los puntos de monitoreo

- En la jornada nocturna algunos puntos sobre la cuenca media del río Bogotá presentaron riesgo para el personal de monitoreo por motivos de seguridad, iluminación y condiciones físicas del punto para realizar el aforo y recolección de muestras. Por ejemplo: aguas abajo de la estación Gibraltar donde el río tiene un ancho de 40 m.
- El acceso a algunos puntos de la RCHB requirió de permisos de los propietarios de los predios por donde se debe ingresar, lo cual hizo dispendiosa la programación de logística de muestreo, especialmente los fines de semana y jornadas nocturnas; por esta razón la comisión gastó un mayor tiempo de monitoreo respecto al programado.

Parámetros analizados y métodos analíticos

Los métodos utilizados en el monitoreo desde la recolección de las muestras, la preservación, hasta el transporte de las mismas, fueron los establecidos por el método estándar AWWA, edición 20ª.

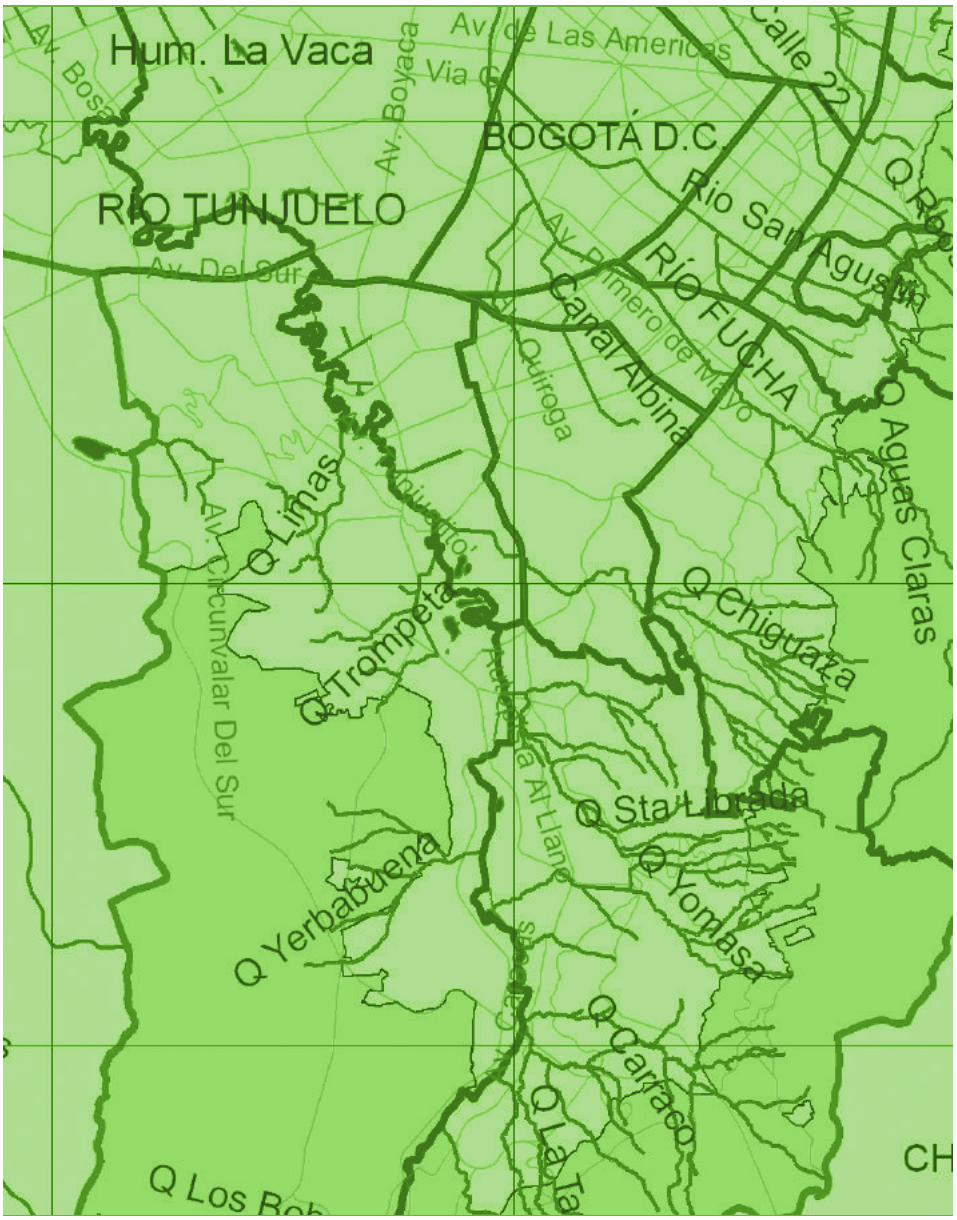
En la Tabla 9 se especifican los parámetros medidos, la unidad de concentración, el método de análisis utilizado y el límite de detección.

TABLA 9. Parámetros analizados

No.	Parámetro	Unidad	Método de análisis	Límite de detección
1	Arsénico	mg/l-As	IC Plasma 3500 As-D	0,003
2	Amonio	mg/l-N	Destilación titulación 4500-NH_3-C	0,3
3	Bario	mg/l-Ba	IC Plasma 3500 Ba-C	0,0002
4	Cadmio	mg/l-Cd	IC Plasma 3500 Cd-C	0,0002
5	Caudal	l/s	Área velocidad-Volumétrico	0,1
6	Cianuros	mg/l-CN	Destilación colorimétrico 4500-CN-C-E	0,001
7	Cobre	mg/l-Cu	IC Plasma 3500 Cu-C	0,001
8	Coliformes totales	NMP/100 ml	Sustrato definido	<1
9	Cromo hexavalente	mg/l-Cr^{+6}	Colorimétrico 3500-Cr-C	0,025
10	Cromo total	mg/l-Cr	IC Plasma 3500 Cr-C	0,001
11	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l-O_2	Electrométrico 5210-B	2
12	Demanda química de oxígeno	mg/l-O_2	Titulométrico 5220-B	5
13	E. coli	NMP/100 ml	Sustrato definido	<1
14	Fenoles totales	mg/l	Destilación colorimétrico 5530-B	0,05
15	Fósforo total	mg/l-P	Colorimétrico 4500-P-C y E	0,01
16	Grasas y Aceites	mg/l	Partición gravimetría-5520-B	10
17	Manganeso	mg/l-Mn	IC Plasma 3500 Mn-C	0,0002
18	Mercurio	mg/l-Hg	Absorción atómica 3500-Hg-B	0,00025
19	Níquel	mg/l-Ni	IC Plasma 3500 Ni-C	0,001
20	Nitrógeno total	mg/l-N	Volumétrico 4500-N-B	0,3
21	Oxígeno disuelto	mg/l-O_2	Titulométrico 4500 O-C	0,1
22	pH	Unidades	Electrométrico	0,1
23	Plomo	mg/l-Pb	IC Plasma 3500 Pb-C	0,003
24	Sólidos suspendidos totales	mg/l	Gravimetrito 2540 D	1
25	Sólidos sedimentables	ml/L-Hora	Volumétrico cono Imnoff	0,5
26	Sulfuros	mg/l-S	Titulométrico 4500-S=C-F	0,1
27	Tensoactivos (SAAM)	mg/l	Colorimétrica 5540-C	0,025
28	Temperatura	°C	Electrométrico	0,1
29	Zinc	mg/l-Zn	IC Plasma 3500 Zn-C	0,00002

Fuente: Acreditación de pruebas y ensayos. Laboratorio de Aguas. Dirección Servicios Técnicos de la EAAB-ESP.

5 Operación de la red



Operación de la red

LA OPERACIÓN DE LA RED SE IMPLEMENTÓ con el seguimiento de la calidad de los ríos a través del programa de monitoreo aleatorio, el cual permitió obtener datos con menor sesgo y un número definido de 20 datos por punto, con lo que se logró la aplicación del índice CC-WQI y la generación de mapas de calidad de acuerdo con el uso y la normatividad vigente. También facilitó construir un panorama de la variabilidad de la calidad de los sistemas hídricos en el perímetro urbano a través de la caracterización de los mismos.

Con el fin de proporcionar al modelo del diseño experimental un mayor cubrimiento y evitar los problemas de sesgo, se agruparon las variables que hacen parte del proyecto de monitoreo (localización y tiempo), resultando 18 puntos compuestos[15].

Lineamientos para la logística de muestreo

Para poder ajustar el diseño experimental se probó la logística de desplazamiento en los diferentes puntos de monitoreo, realizando un ensayo previo en el que se logró establecer los siguientes lineamientos:

Se pudo aforar y monitorear máximo 2 puntos por jornada de trabajo por comisión, agrupando los puntos de monitoreo según los tiempos de desplazamiento y, en lo posible, que fueran de fuentes superficiales diferentes, dando de esta manera como resultado 18 puntos compuestos (*ver Tabla 10*).

Tiempo del monitoreo

Definidos los 18 puntos compuestos para el monitoreo de la RCHB fue necesario establecer el manejo de las variables asociadas con los tiempos de recolección de muestra, en los cuales se establecieron las jornadas diarias, los días de la semana, las semanas y los meses del estudio (*ver Tabla 11*).

Con el diseño se distribuyeron 20 datos por punto para obtener una base final de 740 datos, los cuales ayudaron a caracterizar el comportamiento de las corrientes superficiales a nivel de los parámetros medidos (29 parámetros), como indicadores de calidad de los sistemas hídricos, de manera aleatoria y

15 Punto compuesto: dos puntos de monitoreo en ríos diferentes o en la misma corriente superficial.

equitativa. Para esto se definió un modelo de tipo factorial, donde se relacionaron las variables (factores) de localización, con las tomas (monitoreo) y los tiempos.

TABLA 10. Puntos agrupados para el monitoreo de la red hídrica de Bogotá

Punto compuesto	Río	Nombre del sitio de monitoreo
1	Canal Torca	Canal Torca, Club Guaymaral
	Río Bogotá	Puente La Virgen
	Río Salitre	PTAR Salitre Canal de aguas mínimas
2	Canal Torca	Canal Torca, Makro calle 193
	Canal Torca	Canal El Cedro con carrera 12
3	Río Salitre	Parque Nacional
	Fucha	El Delirio
4	Río Salitre	Carrera 7ª Arzobispo
	Fucha	Carrera 7ª con río Fucha
5	Río Bogotá	San Bernardino
	Río Bogotá	El Cierre
6	Río Salitre	Carrera 30 con calle 53
	Fucha	Fucha Avenida Ferrocarril
7	Río Bogotá	100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar
	Río Bogotá	100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar
8	Tunjuelo	Isla Pontón San José
	Río Bogotá	Zona Franca
9	Fucha	Visión Colombia
	Tunjuelo	Makro, Autopista Sur
10	Fucha	Avenida Las Américas
	Tunjuelo	Transversal 86
11	Fucha	Zona Franca
	Tunjuelo	Puente La Independencia
12	Fucha	Fucha con Alameda
	Río Bogotá	Puente Cundinamarca
13	Río Bogotá	Lisboa
	Río Salitre	Puente Alameda
14	Río Salitre	Transversal 91
	Río Bogotá	Puente La Florida
15	Río Bogotá	Aguas arriba de la descarga del canal Torca
	Río Bogotá	El Cortijo
16	Tunjuelo	La Regadera
	Tunjuelo	100 m abajo de la desembocadura de la quebrada Yomasa
17	Río Salitre	Carrefour avenida 68
	Tunjuelo	San Benito
18	Tunjuelo	Doña Juana
	Tunjuelo	Barrio México

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 11. Factores involucrados en el programa de monitoreo de la RCHB

Factores		Niveles
Puntos agrupados		18
Tiempo de desarrollo del estudio	Meses	9 meses
	Semanas	36
	Días por semana	7 (de lunes a domingo)
	Jornadas	Mañana, tarde y noche

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El modelo factorial más adecuado para las variables que hacen parte del estudio fue el anidado o jerárquico, en el que se relacionaron, en un primer nivel, los puntos compuestos de monitoreo con las semanas, en segundo nivel se distribuyeron estos puntos en los días de la semana y, en un tercer nivel, con las jornadas durante el día.

El primer nivel relacionó los 18 puntos compuestos en 36 semanas (9 meses) para un máximo de 20 datos por punto al final del estudio. Para la distribución de las semanas se manejó un modelo cíclico con el fin de precisar el orden y garantizar un dato cada 3 semanas. Este diseño pretendió cubrir las diferentes épocas climáticas.

En el segundo nivel se distribuyeron los días por semana para cada punto de monitoreo. Con el fin de tener un mayor cubrimiento se trabajó 2 días para el mismo punto por semana. Para intercambiar los días se desarrolló a través de un modelo cíclico.

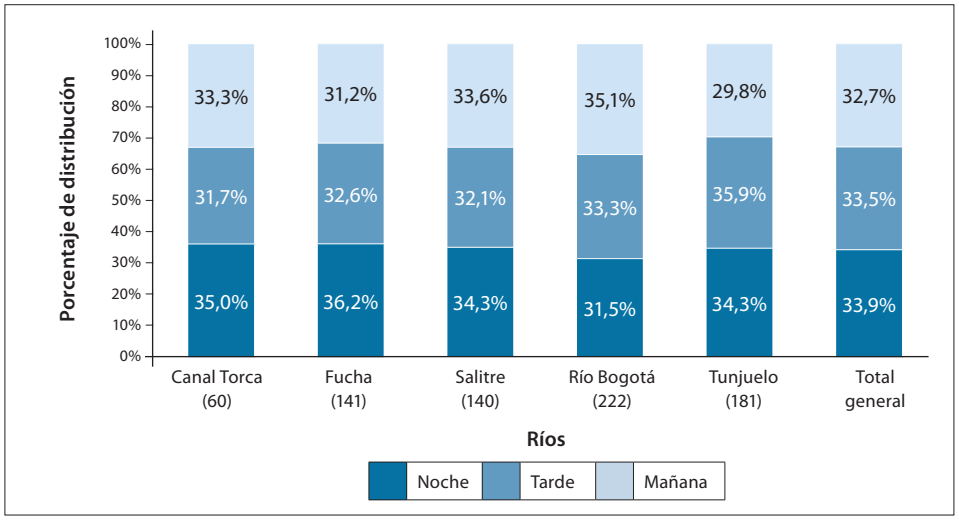
Finalmente, en el tercer nivel se distribuyeron las jornadas para toma de las muestras en el día con el mismo modelo. La primera toma se realizó en la mañana, la segunda en la tarde y la siguiente, y última, en la noche, así consecutivamente durante las tomas.

El diseño establecido permitió realizar el seguimiento en un punto compuesto por dos días intercalados, logrando así monitorear un punto compuesto 2 veces en un mismo día para obtener al final del diseño 20 datos por punto repitiendo la metodología planteada. (Ver *Tabla 10*).

Caracterización por río

Con el plan de monitoreo aleatorio se logró una distribución del muestreo en las 3 jornadas: mañana, tarde y noche. En general, la prueba del diseño mostró una distribución similar para estas jornadas, presentando un 33,9% por la mañana, 33,5% por la tarde y 32,7% por la noche, para cada una de las corrientes evaluadas. Las distribuciones obtenidas en el desarrollo del plan se observan en la Gráfica 2.

GRÁFICA 2. Distribución del muestreo por ríos en las diferentes jornadas

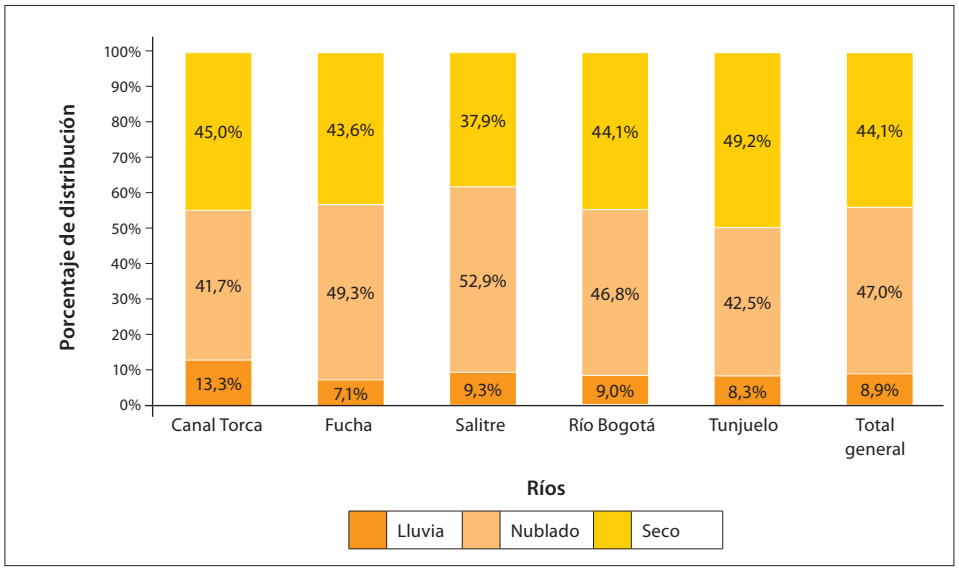


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El diseño permitió cumplir el objetivo del proyecto que era obtener 20 datos por punto, distribuidos en las diferentes jornadas.

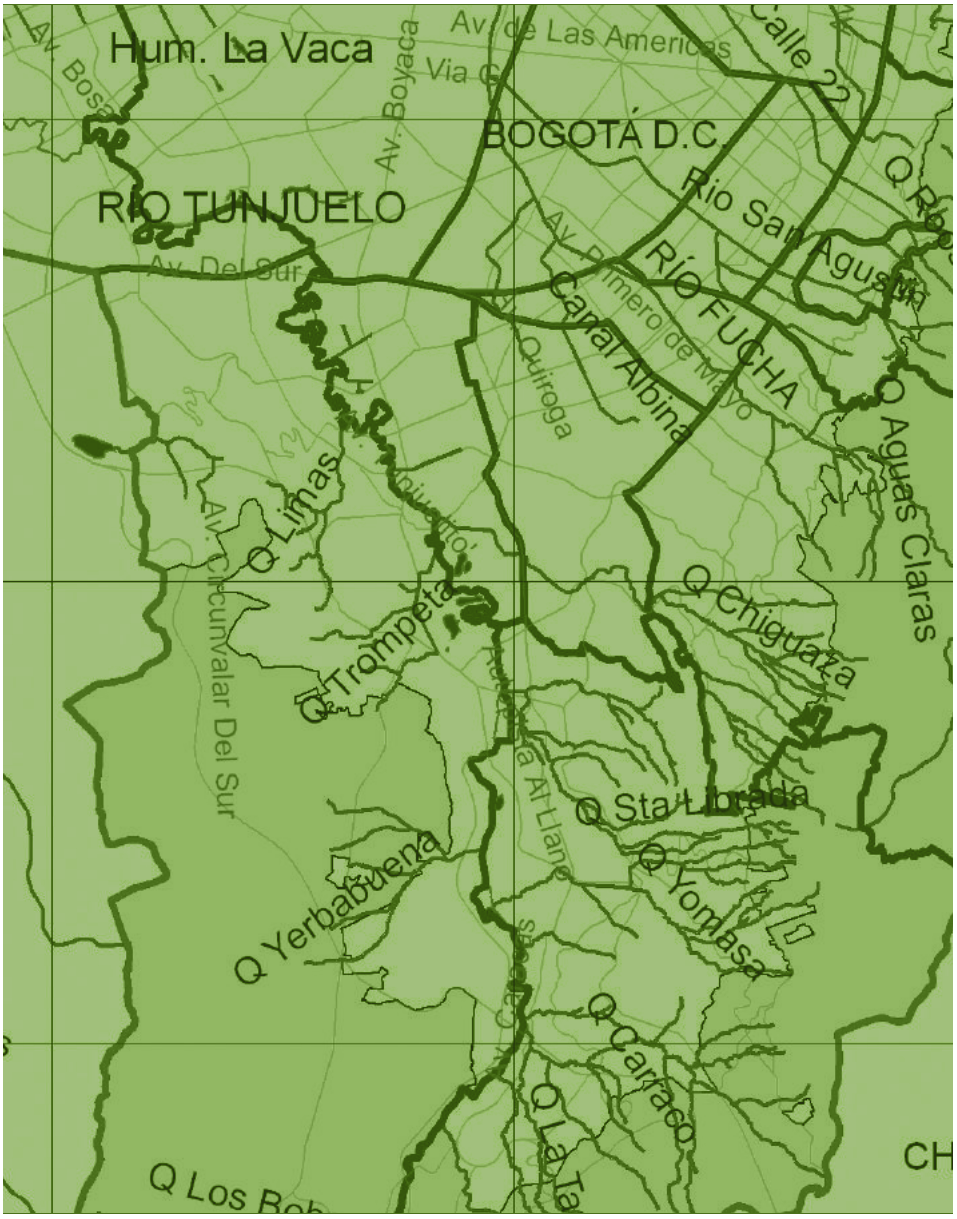
El monitoreo se realizó en nueve meses, entre julio de 2006 y abril de 2007, con el fin de cubrir, dentro de este lapso de tiempo, época seca y lluviosa. Sin embargo, predominó el tiempo seco durante todo el seguimiento efectuado; esto se corroboró con los antecedentes de precipitación registrados en el área de hidrología de la EAAB-ESP (*ver Gráfica 3*).

GRÁFICA 3. Distribución del muestreo por tipo de clima por ríos



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

6 Metodología



Metodología

EL DIAGRAMA DE FLUJO REPRESENTA las actividades desarrolladas dentro del programa de operación de la RCHB. (Ver *Figura 2*)

La metodología general de este estudio relaciona el proceso de toma de muestras, la realización de aforos y el manejo dado durante el desarrollo de la logística en las comisiones y en las estaciones fijas.

A continuación se mencionan las principales actividades realizadas durante el muestreo.

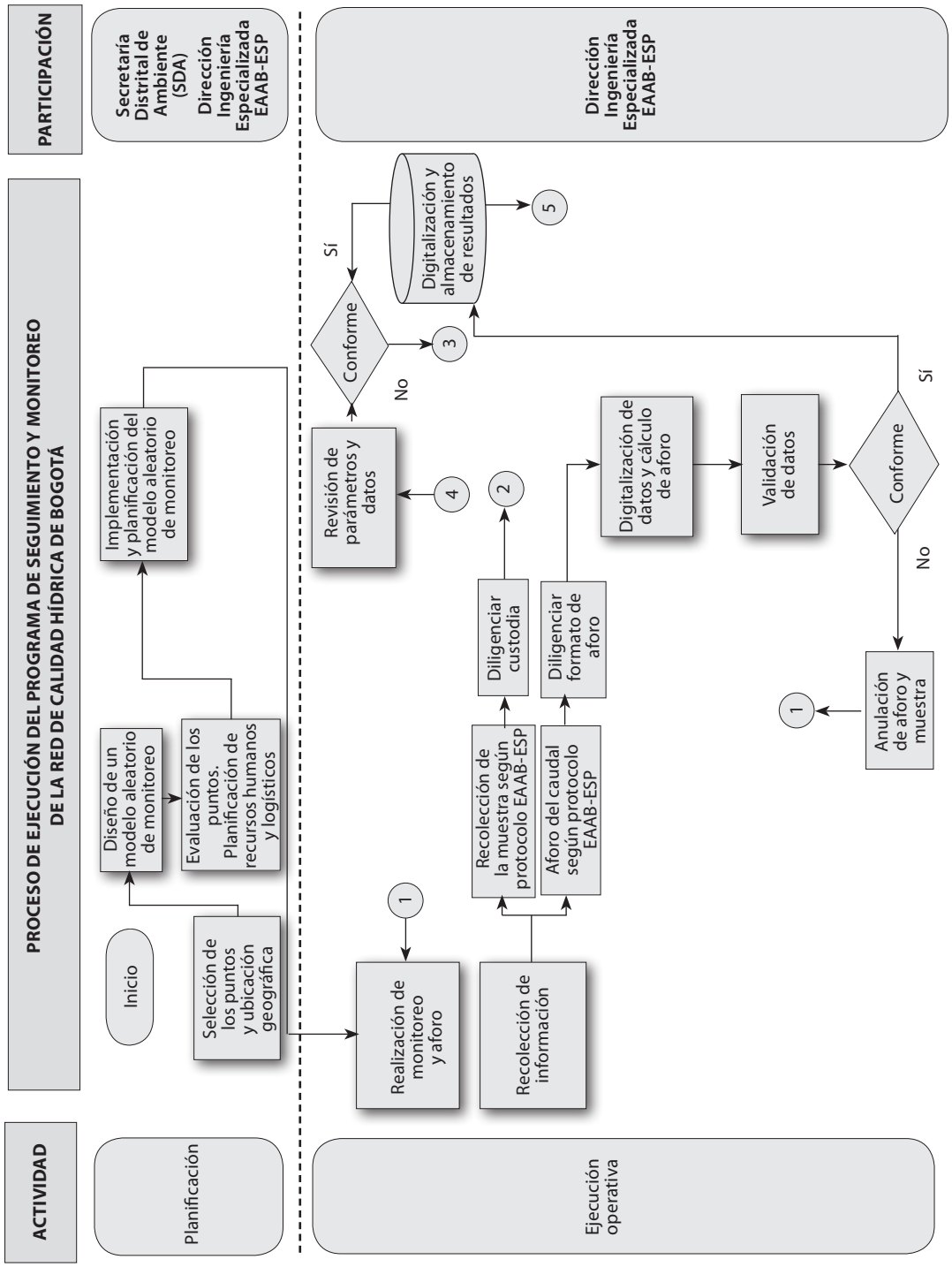
Ejecución de aforo y recolección de muestra

Como ya se ha mencionado, la RCHB cuenta con 37 puntos de monitoreo, los cuales se relacionan en la Tabla 10, en la que se puede apreciar el método utilizado para cada uno de estos puntos. Para la medición del caudal se realizaron aforos por medio del método de área velocidad; el cálculo del caudal se hizo mediante el establecimiento de la sección transversal y para ello se determinó la batimetría en cada punto; posteriormente se dividió la sección en áreas parciales, donde se midió la profundidad en cada tramo.

En los mismos sitios de medición de la profundidad se estableció la velocidad de la corriente mediante la utilización de un molinete a diferentes profundidades; de acuerdo con la profundidad de la lámina de agua y con las condiciones físicas propias de cada punto de monitoreo, en ciertos puntos se requirieron algunas estructuras para el desarrollo de la actividad, tales como puentes, tarabitas o botes.

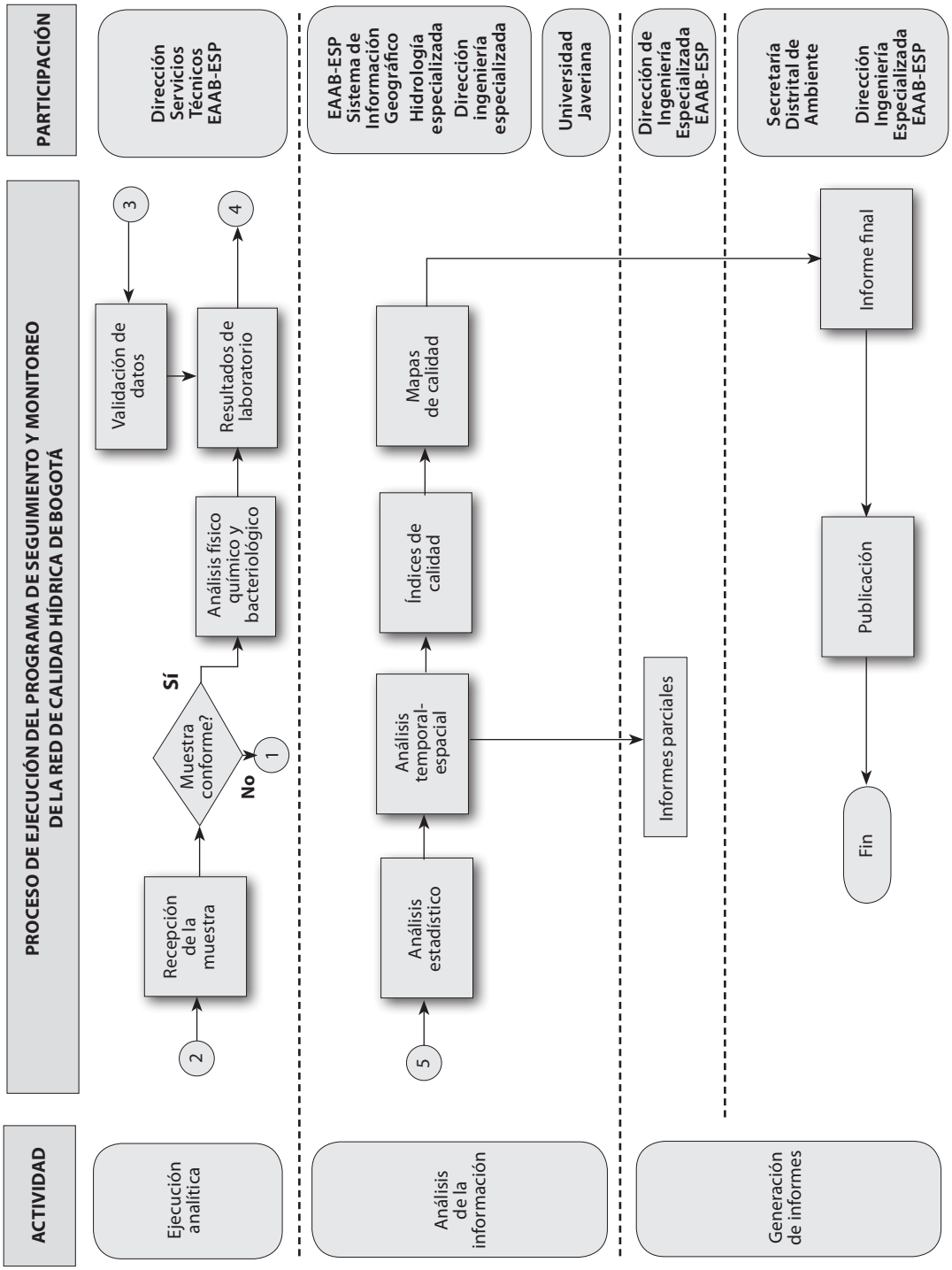
En la Tabla 12 se registran las actividades en campo según el tipo de monitoreo y aforo.

FIGURA 2. **Proceso de ejecución del programa de seguimiento y monitoreo de la red de calidad hídrica de Bogotá**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP

(CONTINUACIÓN) **FIGURA 2. Proceso de ejecución del programa de seguimiento y monitoreo de la red de calidad hídrica de Bogotá**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP

TABLA 12. **Actividades de aforos y monitoreos**

Actividades de aforo y monitoreo
Utilización de los elementos de seguridad por parte del personal (careta, gafas, overol, botas).
Medición del ancho del río.
Determinación de espaciado para aforo.
Realización de batimetría y primer aforo. Respecto a la realización de la batimetría en los puntos de suspensión, es necesario utilizar escandallo.
Consignación de datos en formato para aforo.
Determinación de espaciado y profundidad para recolección de muestra.
Purga de botella automuestreadora, baldes, y recipientes.
Recolección de muestra.
Preservación de la muestra.
Consigna de datos en la custodia de muestra.
Etiquetado de los recipientes de la muestra.
Almacenamiento refrigerado de la muestra.
Realización de los aforos restantes.

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En caso de utilizar bote, se realizan las siguientes actividades:

Inflado del bote, o transporte del bote si es fibra de vidrio. Tendido de las líneas de vida. Desinstalación de líneas de vida. Desinflado del bote.

En la Tabla 13 se relacionan los parámetros, el tipo de muestra analizada y el procedimiento de preservación para el seguimiento de la calidad a través de la operación de la RCHB.

TABLA 13. **Tipo de muestra, parámetros evaluados, recipiente y reactivo de preservación utilizado**

Tipo de muestra	Parámetro		Recipiente	Preservación
Integrada	Metales pesados	Arsénico	Ámbar de 500 ml	Ácido nítrico (HNO_3)
		Bario		
		Cadmio		
		Cobre		
		Mercurio total		
		Cromo total		
		Manganeso		
		Zinc		
		Níquel		
		Plomo		
Puntual	Bacteriológico	Coliformes totales	Frasco bacteriológico	Refrigerado
		E. Coli		
Puntual		Cianuros	Ámbar de 500 ml	Hidróxido de sodio (NaOH)
Integrada	pH ácido	DQO	Garrafa de 1 l	Ácido sulfúrico (H_2SO_4)
		Nitrógeno total		
		Fósforo total		
Integrada		Fenoles	Garrafa de 1 l	Ácido sulfúrico (H_2SO_4)
Puntual		Grasas y aceites	Frasco boca ancha de 250 ml	Ácido clorhídrico (HCl)
Puntual		Oxígeno disuelto	Botella Winkler	Alcali yoduro
				Sulfato manganoso ($MnSO_4$)
				Ácido sulfúrico (H_2SO_4)
Integrada	pH natural	SST	Garrafa de 2 l	Refrigerado
		SAAM		
		DBO_5		
		NH4+		
Integrada		Sulfuros	Frasco Ámbar 250 ml	Hidróxido de sodio y acetato de zinc ($NaOH + Zn(CH_3COO)_2$)
Compuesta		$Cromo^{+6}$	Frasco Ámbar 250 ml	Refrigerado

Fuente: Método estándar AWWA, edición 20ª.

Recolección de muestras

Antes de hacer la recolección de las muestras se procedió a hacer la purga de los recipientes, baldes y de la botella automuestreadora, para eliminar los posibles contaminantes que puedan estar en el interior de estos elementos e interferir con el resultado de los análisis fisicoquímicos en el laboratorio.

Para las muestras compuestas primero se tomaron muestras puntuales que se integraron a volúmenes iguales, cada una de éstas fue recolectada según el ancho del río. Después, para su manejo, se mezclaron en un balde previamente purgado y en seguida se transvasaron a cada uno de los frascos,

agitando la muestra contenida en el balde, de tal manera que se mantuviera homogénea.

Los procedimientos aplicados para la recolección de las muestras se hicieron según lo establecido por el Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio de Aguas y del Sistema de Normalización Interna de la EAAB-ESP.

Preservación de las muestras

Para la preservación de las muestras se tuvieron en cuenta los reactivos según el parámetro a analizar (*ver Tabla 13*). Los reactivos se deben añadir sobre la muestra, con el fin de evitar reacciones exotérmicas que puedan llegar a ocasionar fracturas del frasco o a generar salpicaduras que afecten al personal que esté realizando esta actividad, especialmente en las muestras con pH ácido.

El personal de monitoreo utilizó la dotación de seguridad industrial que establece la EAAB-ESP en la norma interna sobre requisitos mínimos de higiene y seguridad industrial para operaciones de toma de muestras.

Actividades en las estaciones fijas

En los puntos de monitoreo fijos se cuenta con los componentes descritos en el Esquema 1. A continuación se describen las actividades que se realizaron para la generación de información de calidad en tiempo real, las cuales fueron: recuperación de datos, mantenimiento y calibración de sensores.

Recuperación de datos

La recuperación de los datos medidos por los sensores y almacenados magnéticamente en la Unidad Remota de Telecontrol (RTU) se realiza actualmente en forma manual. Son recuperados directamente de cada una de las RTU a un computador portátil, esto implica el desplazamiento de una comisión hasta cada estación.

La memoria provista en las RTU tiene una capacidad para almacenar información durante 12 días. Sin embargo, se busca realizar la recuperación de los datos cada 8 días y hacer el mantenimiento preventivo o correctivo al que haya lugar aprovechando el desplazamiento de la comisión.

Mantenimiento

Esta tarea es de gran importancia pues de ésta depende la calidad de los datos recolectados por cada una de las estaciones. Las labores de mantenimiento se dividen en dos, las preventivas y las correctivas. Las primeras comprenden la revisión de conexiones eléctricas y la limpieza de las canastillas, sensores,

mástiles y casetas. Y las correctivas son para cambios de sensores, canastillas, cables acerados, poleas, brazos y mástil.

Calibración de sensores

La calibración de sensores debe realizarse como mínimo una vez cada seis meses, de esto depende la representatividad de los datos recopilados. Las actividades preliminares que se realizaron a la calibración fueron: limpieza de canastillas y sensores, retirada de sensores y lavado de los mismos con agua destilada.

Para el procedimiento de calibración se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- ***Sensor de temperatura.*** En la calibración del sensor se requiere utilizar agua a dos temperaturas constantes y conocidas, durante aproximadamente 20 minutos.
- ***Sensor de pH.*** Se necesita utilizar 3 soluciones estándar de calibración: pH 4,0; pH 7,0; pH 10,0 unidades.
- ***Sensor de turbidez.*** Se requiere usar dos soluciones patrón de formazina de 200 UNT y 1000 UNT.
- ***Sensor de Oxígeno Disuelto.*** Para la calibración se utilizan dos soluciones, una con agua destilada y la otra enriquecida con oxígeno.
- ***Sensor de conductividad.*** Se requiere utilizar dos soluciones patrón de 84 mS y 5000 mS.

Con las anteriores soluciones patrón se realizaron las respectivas curvas de calibración en cada una de las estaciones para verificar el correcto funcionamiento de estos sensores.

Análisis estadístico y validación de datos

Los datos usados en el análisis estadístico fueron inicialmente verificados y validados para garantizar la calidad de la información. En este análisis no se usaron pruebas de datos anómalos a los valores atípicos determinados en los 37 puntos de monitoreo de la RCHB, debido a que el objetivo del diseño era registrar los comportamientos variables de calidad e identificar las tendencias y la variabilidad al caracterizar el sistema hídrico de Bogotá. Por tal razón, en el análisis de la información se consideraron los 20 datos de cada punto. En la evaluación estadística por puntos, tramos y ríos no se tuvieron en cuenta los valores no detectables ya que éstos no pudieron ser cuantificados por los métodos analíticos aplicados.

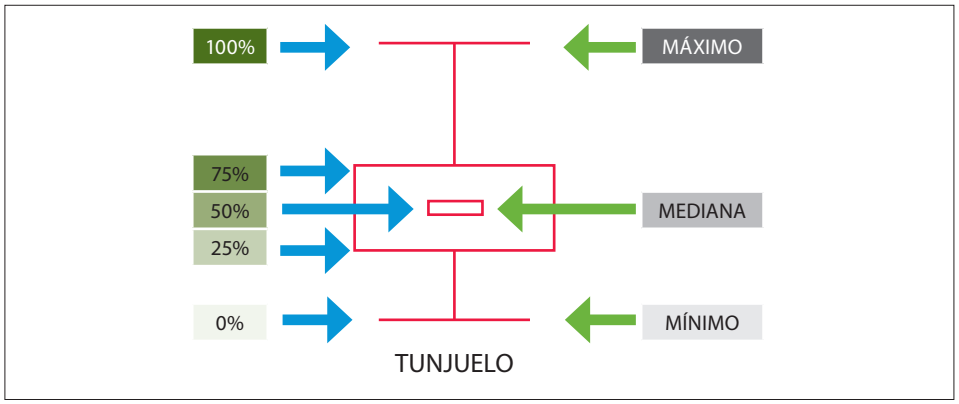
Respecto al análisis de la información, se aplicaron tres herramientas: estadística descriptiva, pruebas de hipótesis y análisis por conglomerados.

Estadística descriptiva

Se realizó la exploración de los datos obtenidos en el monitoreo de la RCHB, para conocer el comportamiento de la información, mediante la aplicación de gráficos de cajas y de dispersión, medidas de tendencia central y de dispersión de la información como rango y desviación estándar.

En la Gráfica 4 se ilustra la manera en que se llevó a cabo el análisis por cajas de los parámetros evaluados en el seguimiento de la RCHB.

GRÁFICA 4. Análisis de diagramas de cajas



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Pruebas de hipótesis

Las pruebas de hipótesis se usaron para hacer las comparaciones entre los diferentes factores usados en el modelo, tales como las corrientes, puntos monitoreados por río y tiempo (meses, semanas, días y jornadas). Para estas comparaciones se trabajó con Análisis de varianza (ANAVA) al 95% de confianza, con el fin de establecer diferencias entre los niveles de cada factor con la aplicación de pruebas de comparaciones múltiples con Tukey HSD, permitiendo detectar las diferencias significativas entre factores mediante el uso de comparaciones múltiples[16].

Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados tiene como objeto agrupar elementos en grupos homogéneos de acuerdo con las similitudes que presenten. Es un análisis usado para agrupar observaciones y variables.

Esta técnica de análisis requiere de una medida que señale el grado de similitud entre objetos y un procedimiento para la formación de los grupos. Uno

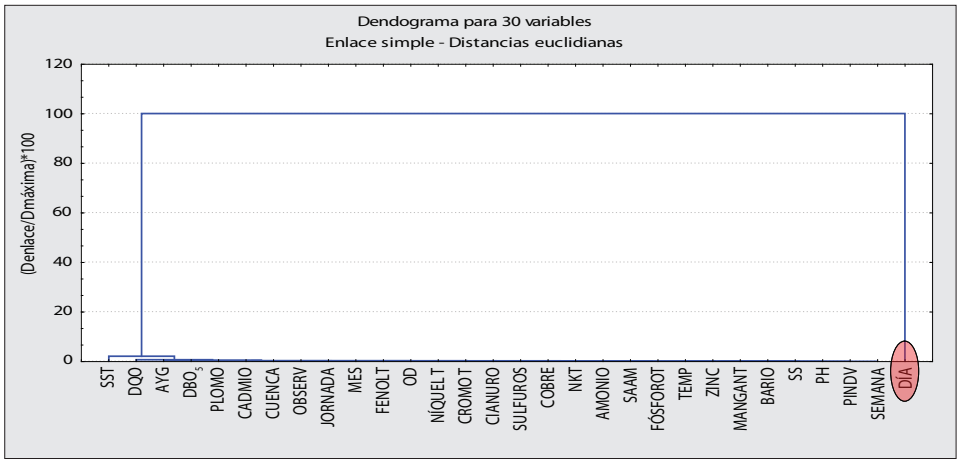
16 Alianza, F. Departamento de matemáticas y estadística, Universidad de Valencia. "Utilización de procedimientos de comparaciones múltiples en la investigación educativa en España". En: *Revista de Investigación Educativa*, No. 23, Valencia, 1994, pp. 396-404.

de los procedimientos es el jerárquico, en el que se comienza con tantas clases como elementos y luego se van agrupando en función de su cercanía formando una nueva clase. Para facilitar la visualización de los grupos que se forman se utiliza un gráfico denominado "dendograma", el cual muestra el historial de conglomeración de grupos de variables que están representados mediante trazos horizontales; las etapas en que se juntan a través de trazos verticales ayudan a evaluar la homogeneidad de los conglomerados y permite decidir sobre cuál es el número óptimo de conglomerados.

Análisis global de los datos obtenidos del monitoreo

Al estudiar las relaciones que existen entre los parámetros evaluados en el monitoreo de la RCHB se aplicó el análisis de conglomerados con el cual se obtuvo el siguiente dendograma (*ver Gráfica 5*).

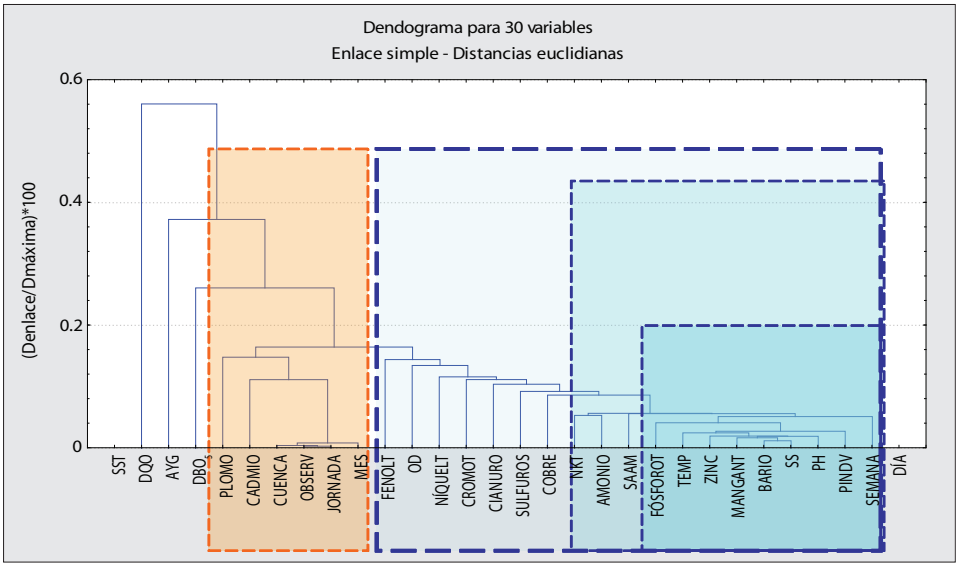
GRÁFICA 5. Dendograma completo del análisis de conglomerados por variables



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El dendograma es un método gráfico que consiste en ir agrupando pares de variables según su similitud. Se va aumentando el límite de distancia para hacer grupos. Así da diferentes agrupaciones a distintos niveles de una manera jerárquica, del grupo más pequeño al más grande o globalmente.

GRÁFICA 6. Dendograma ampliado del análisis de conglomerados por variables



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

La Gráfica 6 puede ser interpretada relacionando los grupos de izquierda a derecha así:

- En un grupo se tiene la relación entre el bario con los sólidos sedimentables y, a su vez, estos parámetros se relacionan con el manganeso, el pH, el zinc, la temperatura, el fósforo total y los puntos de muestreo individuales. A este grupo inicial se unen la variable temporal de semana y los parámetros de Nitrógeno Kjeldahl Total (NKT), amonio y tensoactivos. Luego, este grupo se amplía al relacionarse con variables como cobre, sulfuros, cianuro, cromo total, níquel, Oxígeno Disuelto (OD) y fenoles totales.
- La segunda agrupación está formada por las variables temporales de jornada, observación (tiempo climático en la toma de la muestra) y el mes. Estas variables se relacionan con los ríos evaluados; a estos parámetros se unen el cadmio y el plomo.
- Finalmente, estos dos grupos se unen relacionando las variables Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), grasas y aceites, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y, como última variable, se unen los Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Es importante tener en cuenta que esta formación de grupo se realizó con un porcentaje de distancia (Distancia enlace/Distancia máxima) del 2%.

Índices y elaboración de mapas de calidad

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos del proyecto era recolectar información representativa y flexible para poder determinar y calificar la calidad del

recurso hídrico dentro del perímetro urbano de Bogotá y, como ya se mencionó en los antecedentes, el índice seleccionado para determinar los índices de calidad fue el denominado CCME-WQI, se establecieron los objetivos de calidad o usos, basados en las directrices dadas por el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura, la Resolución 1813 de 2006 del DAMA (hoy SDA) y el Acuerdo 43 de 2006 de la CAR.

De acuerdo con este marco normativo, los análisis e interpretaciones del índice de calidad del agua que se hicieron se dividieron en dos categorías: usos y objetivos de calidad reglamentados. Además, se incluyó el aspecto de la preservación de la vida acuática, que no está incluido dentro de la normatividad ambiental colombiana, para lo cual se tomó el Reglamento de Ley 977 de 1976, aprobado por el Decreto Estatal 8468 de 1976 de Brasil, más conocido como IPMCA.

Calificación de la calidad de los sistemas hídricos

Para examinar la variación espacial y temporal de la calidad del agua respecto a cada uso relacionado anteriomente, se calculó el CCME-WQI para cada uno de los 37 puntos de la RCHB utilizando una ventana temporal cuatrimestral móvil a lo largo del período de muestreo (de julio de 2006 hasta abril de 2007). Esta ventana permitió el cálculo del índice en los períodos entre:

- Julio - octubre de 2006
- Agosto - noviembre de 2006
- Septiembre - diciembre de 2006
- Octubre de 2006 - enero de 2007
- Noviembre de 2006 - febrero de 2007
- Diciembre de 2006 - marzo de 2007
- Enero - abril de 2007
- Para los períodos de precipitación y sequía.

Las normativas no incluían la totalidad de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas determinadas ya que dependiendo del uso y la norma se establecen diferentes parámetros. En el caso de la Resolución 1813 de 2006 del DAMA, se determinó para los distintos tramos en cada cauce, únicamente los 5 parámetros establecidos para cada corriente superficial.

La variación espacial a nivel de cauces se cuantificó calculando un coeficiente de variación entre los puntajes de los índices de cada punto que hacía parte de la corriente. Este cálculo se efectuó para cada una de las ventanas temporales evaluadas. Por otro lado, se empleó como umbral para definir conjuntos homogéneos un valor para el coeficiente de variación (CV) del 33%. De acuerdo con este criterio, un CV mayor al 33% indica que hay variación significativa de la calidad en los puntos monitoreados de cada río. Por el contrario, un CV menor al 33% señala que los puntos pueden asumirse como un

conjunto relativamente homogéneo en calidad, al menos desde el punto de vista estadístico.

Esta información fue aplicada en los procedimientos geoestadísticos que se describen a continuación y que fueron la base para la generación de los mapas de calidad en los diferentes usos y ventanas temporales.

Elaboración de los mapas de calidad usando la metodología geoestadística

La metodología que comúnmente se sigue en un estudio geoestadístico desarrolla el análisis de la correlación espacial de las variables y la elaboración de mapas de índices de calidad y de factor de confiabilidad.

Análisis de correlación espacial de las variables

Para proceder con el análisis de correlación espacial de los valores de índices de calidad se partió del análisis estadístico preliminar que permitió tener un conocimiento general de las características de los datos, con lo que se aseguró la calidad de los mismos. El análisis de la correlación espacial tuvo por objeto determinar si existía dependencia entre la medición tomada en un punto particular con las estaciones cercanas. Se dice que un fenómeno presenta correlación espacial cuando las mediciones tomadas en puntos cercanos tienen valores parecidos entre sí, de tal forma que cuando la distancia de separación entre las muestras aumenta, ese grado de similitud o correlación va disminuyendo progresivamente. La correlación espacial se estudia mediante una función matemática denominada "semivariograma".

Para distancias de separación pequeñas se espera que los valores sean muy similares y, por lo tanto, el semivariograma tiende a tener valores pequeños. A medida que la distancia de separación aumenta, los valores medidos van a ser diferentes y por consiguiente el valor del semivariograma va a aumentar.

Sin embargo, hay una distancia de separación para la cual el semivariograma se estabiliza y su crecimiento cesa, la cual se denomina "el rango de influencia"; corresponde a la distancia de separación máxima para la cual existe correlación espacial entre los puntos. El valor para el cual el semivariograma se estabiliza se denomina "meseta" y, en términos generales, su valor es igual al de la varianza de los datos.

En las Figuras 3A y 3B se ilustran ejemplos del semivariograma experimental que corresponde a los puntos unidos con la línea punteada, mientras que la línea negra contínua corresponde al respectivo modelo de ajuste.

FIGURA 3A. Estructura típica de un semivariograma

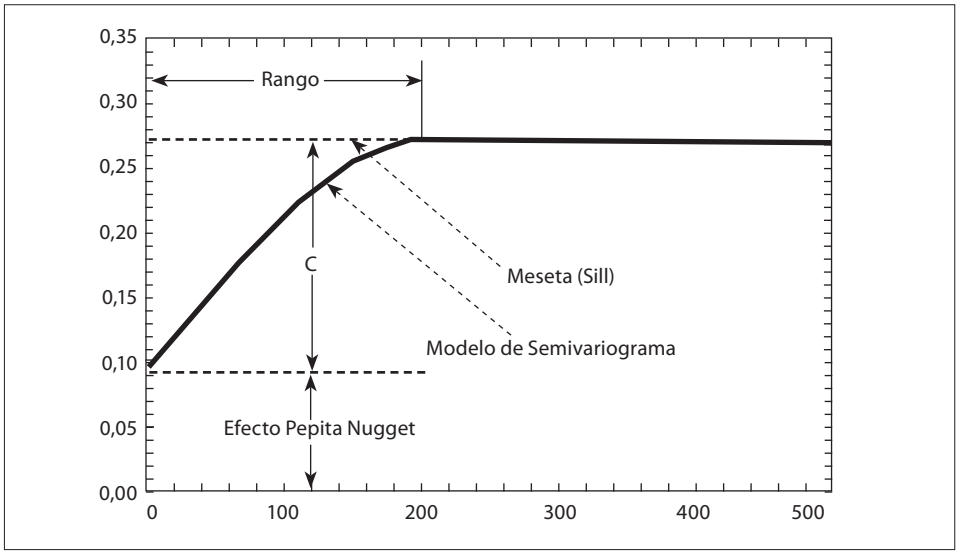
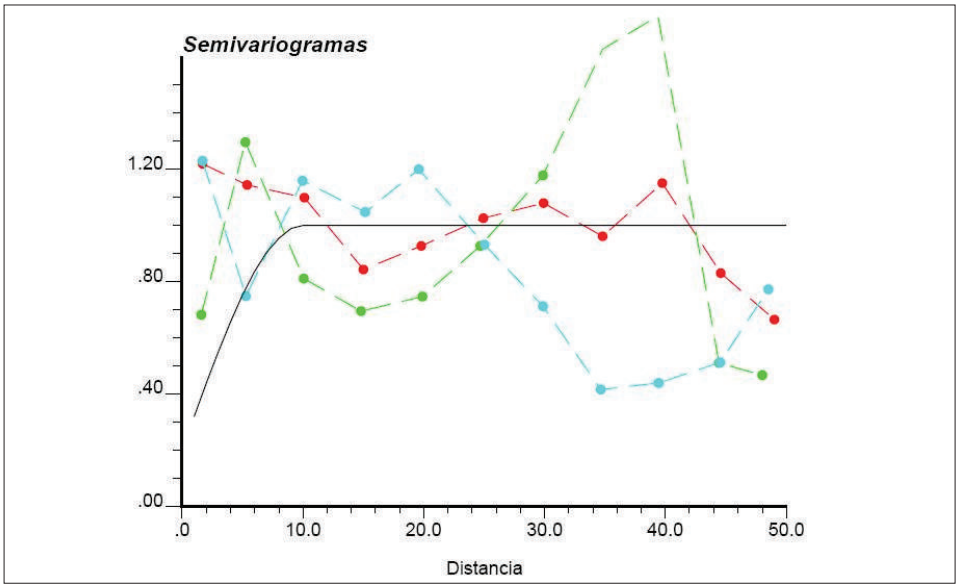


FIGURA 3B. Semivariograma experimental y modelo de ajuste



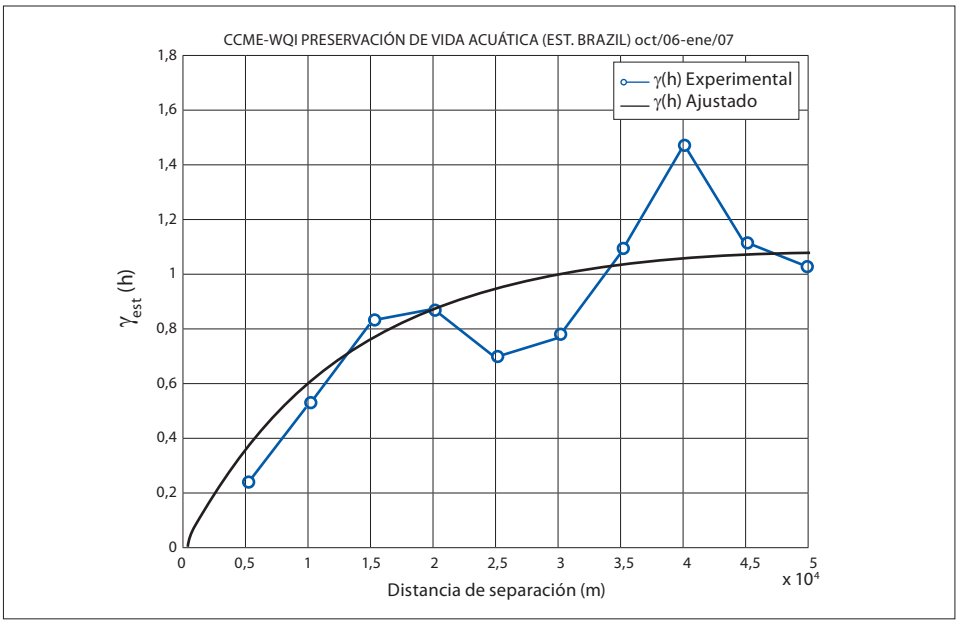
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Semivariogramas de los índices de calidad de agua

Para realizar la determinación del semivariograma experimental es necesario contar con las distancias de separación entre estaciones. La peculiaridad en este caso corresponde a que estas distancias de separación se deben medir sobre los cauces, para lo cual fue necesario emplear un Sistema de Información Geográfica (SIG), como lo es ARC-INFO (programa de información geográfico). Una vez estas distancias de separación fueron obtenidas se aplicó la ecuación

para los diferentes índices de calidad de agua determinados, con el fin de calcular y modelar el semivariograma determinado por uso o norma. Un ejemplo de los resultados obtenidos en este procedimiento se ve en la Figura 4.

FIGURA 4. Ejemplo de semivariograma experimental (líneas azules) y su correspondiente modelo de ajuste (línea negra continua) para un índice de calidad calculado a lo largo del río Bogotá



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El semivariograma de la Figura 4, presenta un comportamiento como el mencionado anteriormente, en donde es fácil determinar los parámetros de efecto pepita: el semivariograma por definición es nulo en el origen, pero en la práctica las funciones obtenidas pueden presentar discontinuidad en el origen; a esta discontinuidad se le llama "efecto de pepita", en inglés *nugget effect*. Puede ser obtenido trazando una línea recta entre los primeros puntos del semivariograma empírico y extenderla hasta que se intercepte con el eje Y. Si esta intersección ocurre por debajo de cero, el valor asumido por este efecto es cero, pues valores negativos de γ (0) no tienen significado y no son comunes.

Esto tiene implicaciones muy importantes ya que indica que los valores de los índices de calidad estudiados presentan correlación espacial y que las mediciones realizadas en las estaciones de monitoreo tienen información importante de estos índices en los puntos donde no se tomaron muestras.

Para determinar la variación de los índices de calidad se tomó todo el período monitoreado, el cual se subdividió en 7 lapsos de tiempo denominados "ventanas temporales". En cada una de estas ventanas se establecieron los diferentes índices de calidad y por lo tanto se calcularon y modelaron los semivariogramas experimentales.

Mapas del índice de calidad y factor de confiabilidad

Con el fin de realizar la reconstrucción de la variación espacial de los diferentes índices de calidad en la RCHB, fue necesario definir los puntos en donde se quiere conocer el valor de dichos índices. Para esto la cuenca media del río Bogotá fue digitalizada y discretizada en 4.983 puntos, en donde se aplicó el procedimiento de krigeaje, que consiste en efectuar una ponderación, es decir, atribuir un peso a cada valor observado. Los pesos son calculados de manera que minimicen la varianza de estimación resultante, teniendo en cuenta las características geométricas del problema. Al minimizar la varianza de estimación se garantiza el uso óptimo de la información disponible[17]; así se pudo establecer el valor de los diferentes índices de calidad empleados en este estudio, para cada uno de estos puntos. En otras palabras, conociendo los valores de los índices de calidad para los puntos monitoreados y utilizando el modelo de correlación espacial dado por el semivariograma para cada uno de los usos, se pudo estimar todos los índices de calidad para los puntos que no fueron monitoreados.

Dado que el objetivo de estos mapas es brindar herramientas que permitan tener una idea de la distribución espacial del índice de calidad, así como de la exactitud de dicho procedimiento, se optó en esta oportunidad por definir un factor de confiabilidad con que se pudiera representar la confiabilidad, confianza o seguridad que se tiene en el valor estimado. Este factor de confiabilidad se encuentra definido por:

$$FC = 1 - \sigma^2_{est}$$

donde σ^2_{est} corresponde a la varianza de estimación estandarizada obtenida del procedimiento de krigeaje. Este factor se encuentra expresado en porcentaje y tendrá un valor alto en los lugares en donde el error sea bajo y viceversa.

Factor de confiabilidad

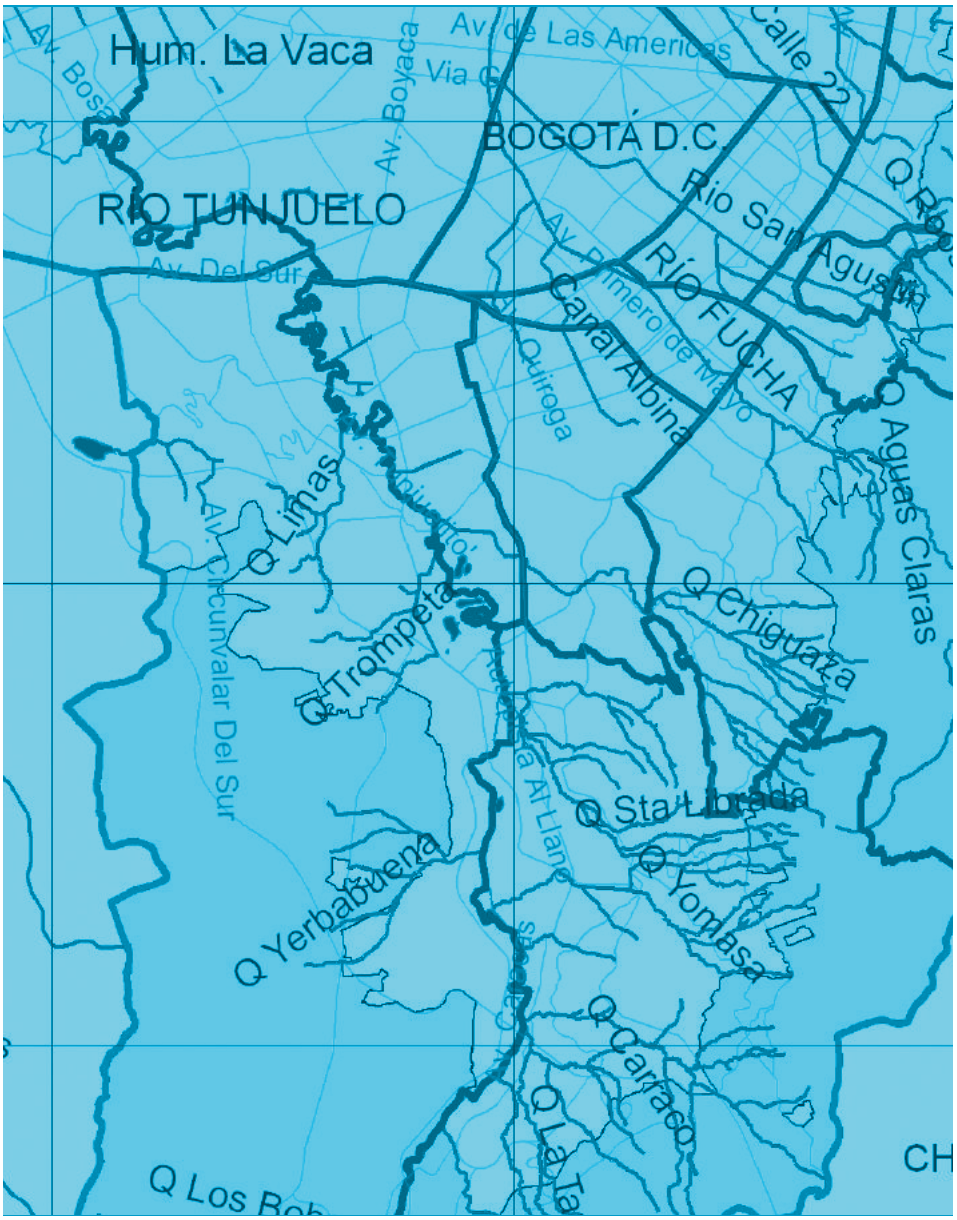
Una de las ventajas que presenta el krigeaje respecto a otros métodos de interpolación espacial consiste en la posibilidad de obtener una medida de error del valor estimado en un punto donde no se tiene información. Esta medida de error se denomina "varianza de estimación".

En el caso de que se quieran comparar las varianzas de estimación de dos variables diferentes, que por cierto es una práctica común en el modelamiento geoestadístico, se debe calcular la varianza de estimación estandarizada, la cual se obtiene cuando se emplea el semivariograma estandarizado para realizar el procedimiento de krigeaje. Esta varianza de estimación estandarizada se caracteriza por presentar un valor mínimo o igual a 0 y uno máximo igual a 1,0. Se tiene un error alto cuando la varianza de estimación es cercana a 1,0 y

17 Matheron, G. 1970, *La Théorie des Variables Regionalisées et ses Applications*. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleau. Fascicule 5, Ecole de Mines de Paris, 1970, p. 212.

no se tiene error cuando la varianza es igual a 0. Este factor se encuentra expresado en porcentaje y tendrá un valor alto en los lugares en donde el error sea bajo y viceversa.

7 Resultados y análisis



Resultados y análisis

EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, tanto espacial como temporal, realizado a algunos parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos medidos en los diferentes puntos de monitoreo sobre el canal Torca, y los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y cuenca media del río Bogotá, muestran en esencia el cambio de la calidad del recurso debido a la contaminación vertida. A continuación se realiza una síntesis de los resultados hallados para una cada una de estas corrientes.

Canal Torca

Descripción de la cuenca

La cuenca del canal Torca tiene un área de drenaje sanitario de 1.397 hectáreas y su eje principal cuenta con una longitud de 4,24 km desde el canal Serrezuela hasta el humedal Torca. Nace en los cerros orientales y desemboca al sistema humedal Torca-Guaymaral a la altura de la Autopista Norte, en cercanía a los terrenos del cementerio Jardines de Paz.

El sistema troncal de drenaje se encuentra como un sistema separado, que tiene como ejes en la zona nororiental el drenaje de lluvias, que lleva hacia los humedales de Torca y Guaymaral, y a su vez drena al norte de la cuenca media del río Bogotá.

En la zona occidental la red de alcantarillado está conformada por:

- Sistema sanitario: se basa en el interceptor del río Bogotá-Torca-Salitre, al cual llegan las aguas residuales y las conduce hasta la planta de tratamiento del Salitre.
- Sistema pluvial: en el que se encuentra el canal El Cedro (que más adelante se llama el canal Torca), que recibe los canales San Cristóbal y Serrezuela, lleva después las aguas al humedal Torca, para posteriormente entregarlas a la cuenca media del río Bogotá.

Fuentes de contaminación hídrica

La principal fuente de contaminación en el canal Torca corresponde a la red de alcantarillados (sanitarios, pluviales o ambas), cuyos vertimientos fueron identificados en la ejecución de la VII fase del programa de seguimiento y monitoreo de la calidad del recurso hídrico de Bogotá (Convenio 033/2003 SDA - EAAB-ESP) y corroborados en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de la EAAB-ESP (PSMV de 2006).

Otra fuente de contaminación son las aguas de escorrentía provenientes de las canteras ubicadas en el costado nororiental de la ciudad. Ellas arrastran una cantidad importante de sólidos que son transportados por los canales San Cristóbal (calle 161) y Serrezuela (calle 170) hasta el canal Torca.

En la Tabla 14 se especifican las descargas de origen residual, con sus respectivas coordenadas geográficas, el código de identificación, la margen de descarga y el impacto que tienen en el tramo respecto a la carga de la DBO_5 y los SST calculados a partir de la caracterización fisicoquímica de estos vertimientos.

TABLA 14. Descargas Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos en el canal Torca

Tramo único Calle 153 Cra 7ª - Calle 200 con Autopista Norte						Impacto
Identificación del punto		Coordenadas		Código	Margen descarga	
1	Calle 155 con carrera 20 B	74,01548	4,43518	CTA-01	Izquierda	Bajo
2	Calle 181 con canal Torca	74,02300	4,45289	CTA-36	Derecha	Medio
3	Calle 181 con canal Torca	74,02299	4,45292	CTA-37	Derecha	Bajo

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

Localización de los puntos de monitoreo

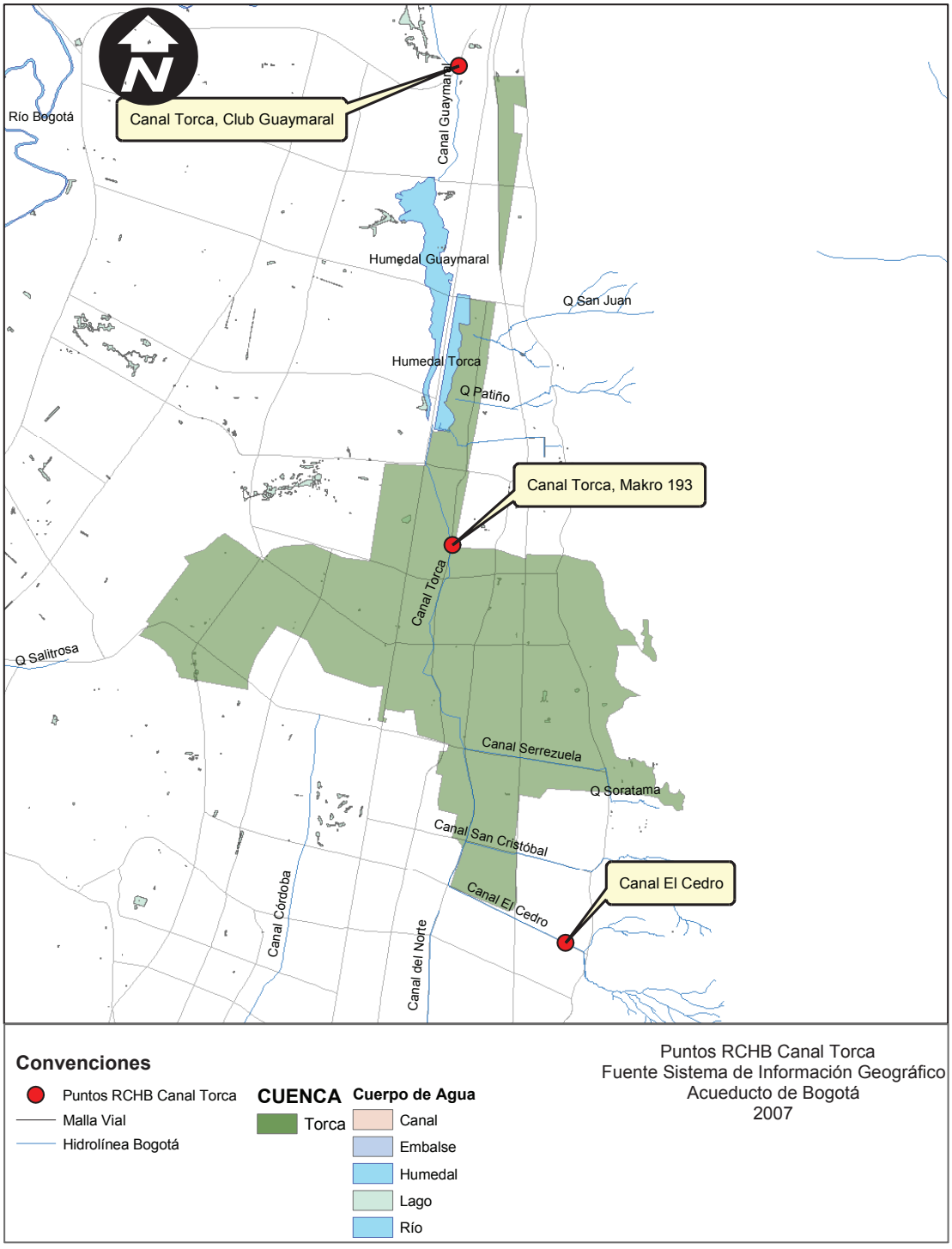
En la Tabla 15 y en el Mapa 4 se presentan los puntos de seguimiento de la RCHB en el canal Torca. Se denota el abscisado y las coordenadas en el sistema WGS 84.

TABLA 15. Puntos de monitoreo de la RCH en el canal Torca

Cuenca	Estación	Tramo fuente	Abscisado	Coordenadas geográficas WGS 84	
				Latitud	Longitud
CANAL TORCA	Canal El Cedro con carrera 12	Único	K0+000	4,4343	74,01363
	Canal Torca, Makro calle 193		K5+958	4,46146	74,02195
	Canal Torca, Club Guaymaral		K12+059	4,46398	74,02277

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

MAPA 4. **Ubicación de los puntos monitoreados de la RCH en el canal Torca**



Fuente: SIG. EAAB-ESP, 2007.

En el esquema 3 se observan los puntos de monitoreo al inicio y al final del canal Torca.

ESQUEMA 3. Puntos de monitoreo de la RCH en el canal Torca



Canal El Cedro, calle 153 con carrera 12 **Canal Torca, Club Guaymaral**

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Análisis de precipitación

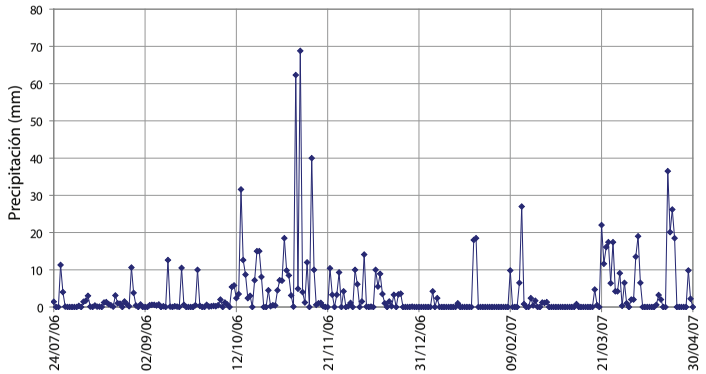
Uno de los factores influyentes en la medida de la concentración de muchos de los parámetros de calidad del agua, está correlacionado con los eventos de precipitación. Para la interpretación de tal efecto, se utilizaron los registros de las estaciones hidroclimatológicas más cercanas a los puntos de monitoreo de la red; para el canal Torca se seleccionaron dos estaciones de la EAAB-ESP, Usaquén y Serrezuela.

El comportamiento temporal de la precipitación se puede interpretar por los diagramas: histograma de frecuencias, diagrama de autocorrelación y período-grama (Análisis de Fourier). El histograma de frecuencias permite observar la probabilidad de que un valor de precipitación ocurra, y el diagrama de autocorrelación y el períodograma son análisis orientados a determinar patrones cíclicos en el comportamiento de la serie estudiada.

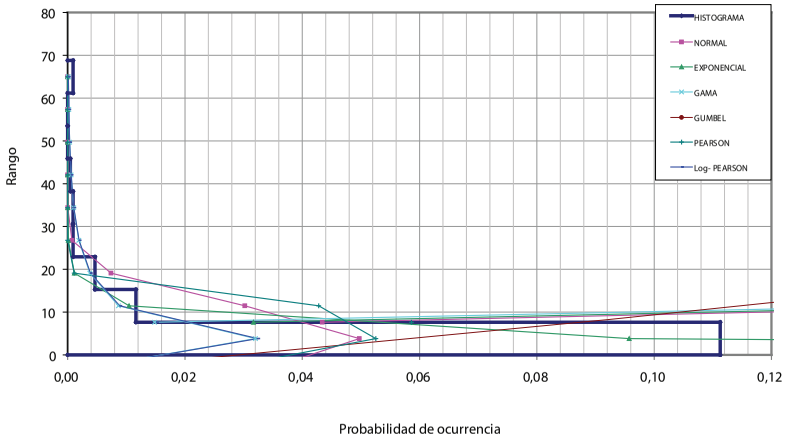
En la Gráfica 7 se ilustra el análisis lineal de la precipitación para la cuenca del canal Torca. Se observa en ella que el valor promedio de precipitación para esta cuenca es de 3,46 mm/día; a su vez el rango de precipitaciones de 0 a 10 mm tiene más probabilidad de ocurrencia según el histograma obtenido.

En el diagrama de autocorrelación de la serie se presenta un patrón dominante conocido también como memoria del proceso, que, según criterios de evaluación adoptados, se infiere que es de 5 días. Por otro lado, en el período-grama se presentan picos predominantes asociados a eventos que se pueden estar repitiendo cada 5 ó 6 meses.

GRÁFICA 7. Análisis estadístico para las estaciones pluviométricas asociadas al canal Torca



Precipitación durante el período de monitoreo en la cuenca del canal Torca



Histograma de frecuencias análisis precipitación en la cuenca del canal Torca

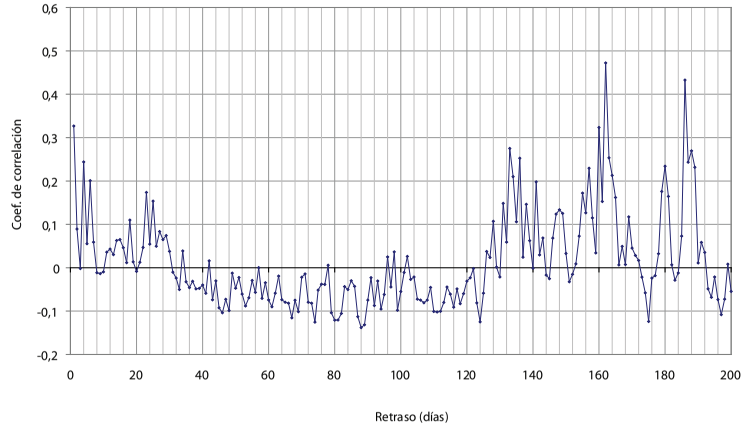
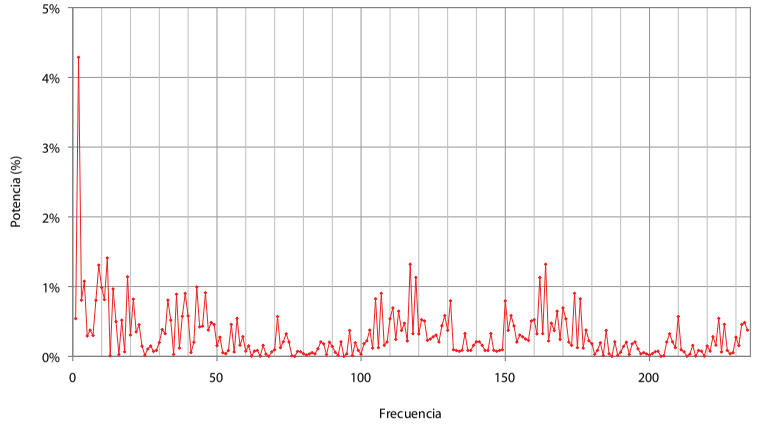


Diagrama de autocorrelación de la precipitación en la cuenca del canal Torca



Períodograma serie de precipitación cuenca del canal Torca

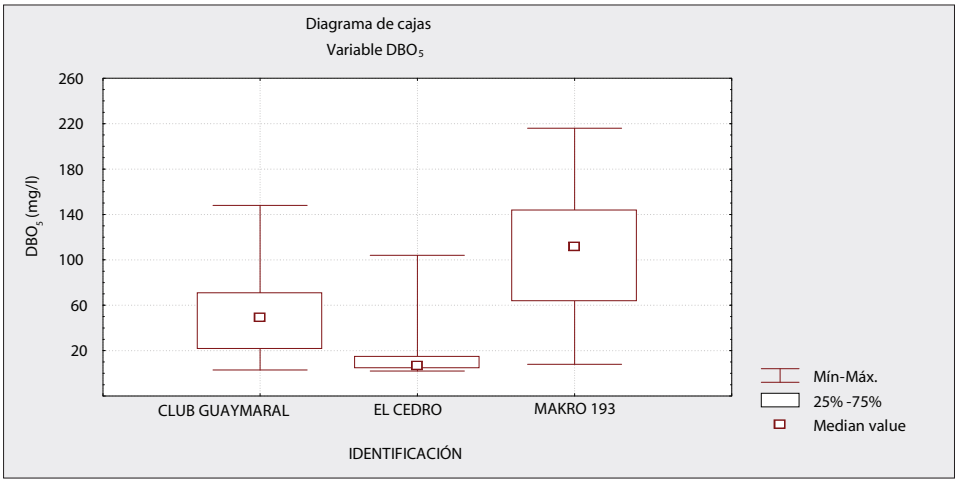
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Análisis de los parámetros evaluados

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Al realizar el análisis estadístico en los puntos del canal Torca se encontraron, al aplicar la prueba de Tukey, diferencias significativas de un 95%. Estas diferencias se localizaron específicamente en Makro calle 193, que presenta los mayores valores llegando a 220 mg/l y un valor medio alrededor de 100 mg/l, mientras que los otros puntos tienen valores medios entre 10 y 40 mg/l (*ver Gráfica 8*).

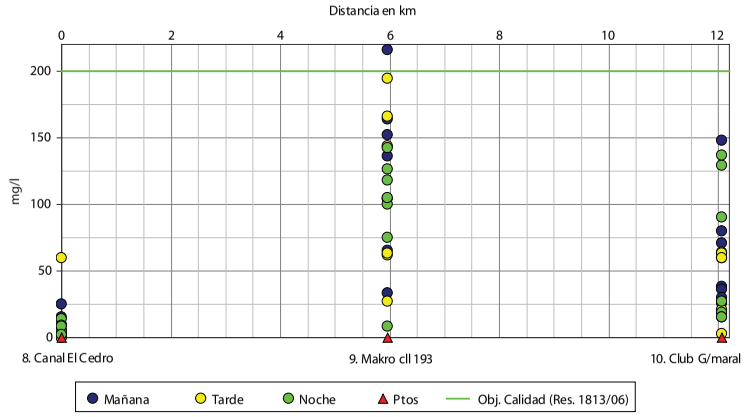
GRÁFICA 8. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos monitoreados del canal Torca



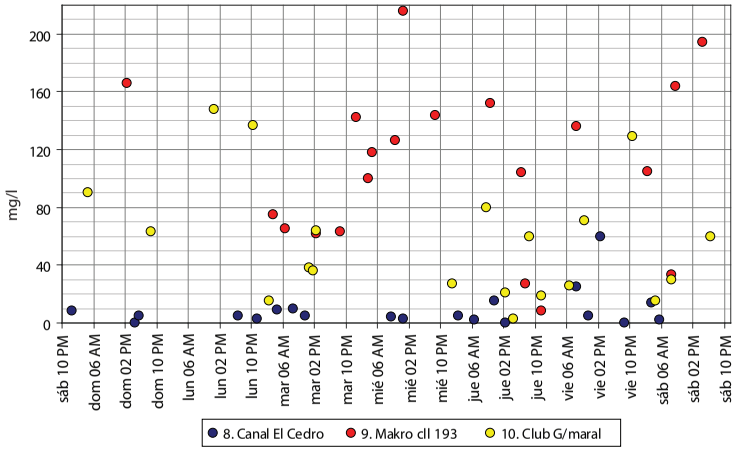
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Gráfica 9 se puede observar el comportamiento espaciotemporal de la DBO_5 en el canal Torca referente a concentraciones y cargas, mostrando el cumplimiento en promedio del objetivo de calidad para este cuerpo de agua fijado en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA. El punto que registró las concentraciones más altas fue Makro calle 193, tanto en las jornadas de la mañana como en la tarde, lo cual se asocia a la recepción de aguas residuales por conexiones erradas.

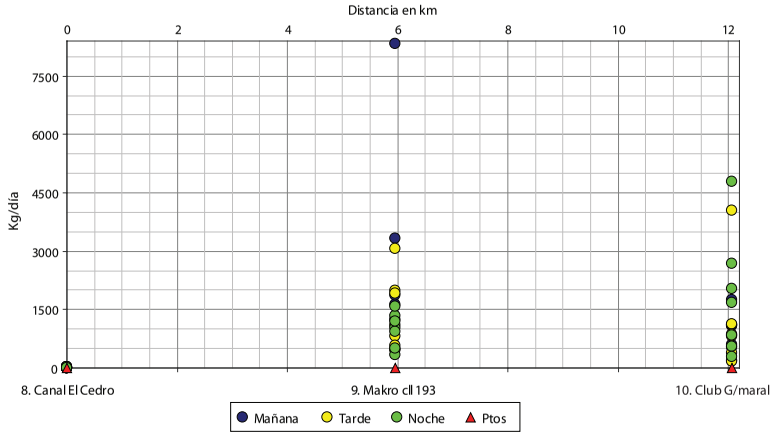
GRÁFICA 9. Concentraciones y cargas espaciales y temporales de la DBO_5 en el canal Torca



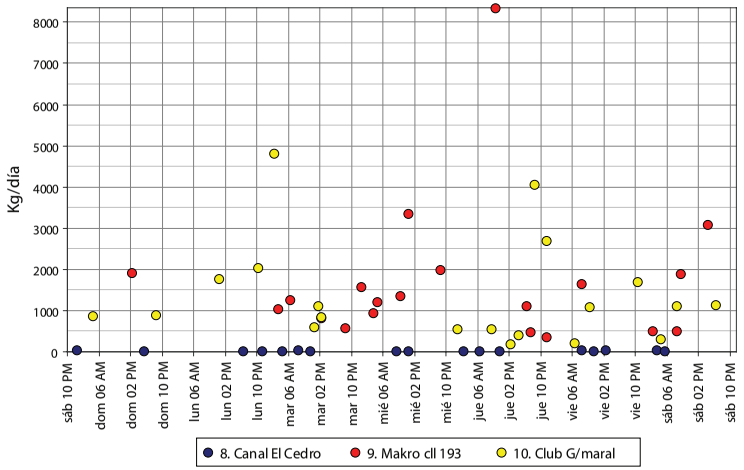
Comportamiento espacial de las concentraciones, por jornada, de DBO_5



Comportamiento temporal de la concentración de DBO_5



Comportamiento espacial de las cargas, por jornada, de la DBO_5



Comportamiento temporal de las cargas de DBO_5

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El comportamiento temporal no arrojó una tendencia definida para este parámetro en ninguno de los puntos de muestreo; sin embargo, para Makro calle 193, particularmente entre las 4 y las 6 a.m., se presentaron los mayores valores de concentración de este parámetro. Es importante destacar cómo la concentración descendió en Club Guaymaral, debido a la biodegradación natural que se genera en los humedales Torca y Guaymaral.

En la Tabla 16 y en la Tabla 17 se registran los valores promedio y mediana del comportamiento de la concentración y cargas de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el canal Torca.

TABLA 16. Concentración promedio y mediana de DBO_5 en los puntos de monitoreo en el canal Torca

Punto de monitoreo	Resolución 1813/06 del DAMA (mg/l)	Concentración de DBO_5 en el canal Torca (mg/l)	
		Valor promedio	Valor mediana
Canal El Cedro	≤200	10	5
Canal Torca, Makro calle 193	≤200	110	111
Canal Torca, Club Guaymaral	≤200	57	49

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 17. Cargas promedio y mediana de DBO_5 en los puntos de monitoreo en el canal Torca

Punto de monitoreo	Cargas de la DBO_5 en el canal Torca (Ton/día)	
	Valor promedio	Valor mediana
Canal El Cedro	0,008	0,003
Canal Torca, Makro calle 193	1,68	1,21
Canal Torca, Club Guaymaral	1,33	0,97

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 18 se registran los promedios y la mediana de los caudales evaluados en los puntos de seguimiento del canal Torca.

TABLA 18. Caudal promedio y mediana en los puntos de monitoreo en el canal Torca

Punto de monitoreo	Caudales en el canal Torca (l/s)	
	Valor promedio	Valor mediana
Canal El Cedro	11,3	10,9
Canal Torca, Makro calle 193	184,6	144,8
Canal Torca, Club Guaymaral	526,5	176,8

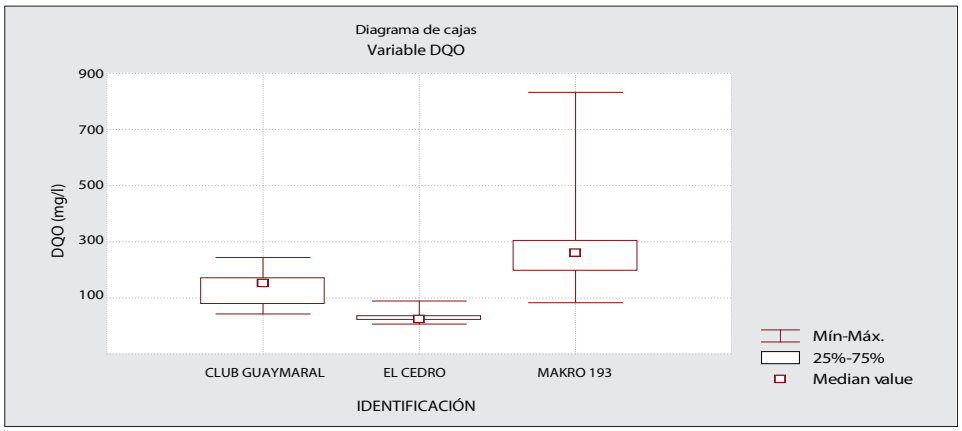
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Desde el punto de vista estadístico, para este parámetro existen diferencias significativas entre todos los puntos monitoreados. En el canal El Cedro

los datos se agrupan en valores bajos, menores a 100 mg/l; en Club Guaymaral aumentan los valores entre 50 y 250 mg/l, mientras que en Makro calle 193 la concentración es mayor tomando valores medios de 280 mg/l, hasta valores extremos de 832 mg/l. En la Gráfica 10 se presentan las diferencias significativas que se registraron en cuanto a la materia orgánica total.

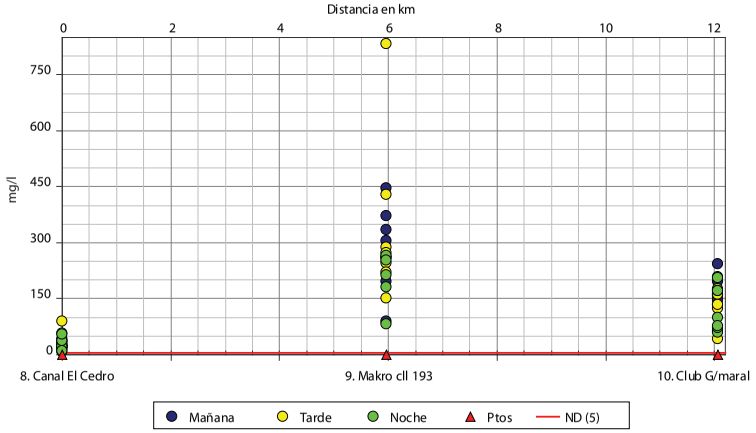
GRÁFICA 10. Comportamiento de la DQO en los puntos monitoreados en el canal Torca



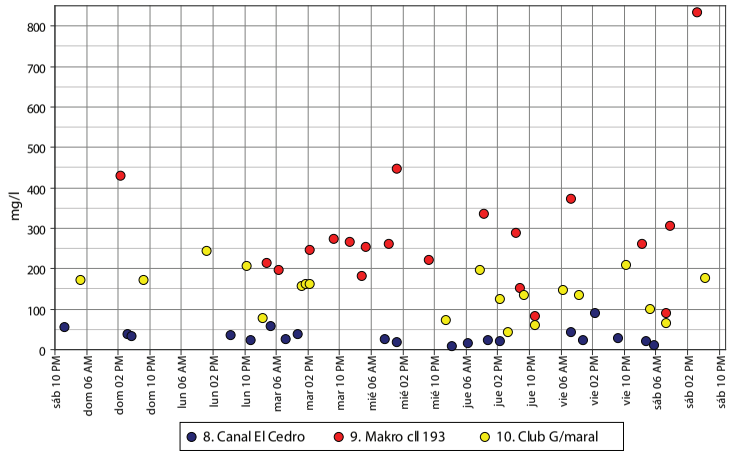
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Gráfica 11 se presenta el comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas de la DQO en el canal Torca. Los objetivos de calidad en los cuerpos de agua no fijan un valor límite para este parámetro; sin embargo, el comportamiento espacial y temporal, muestra que el valor máximo en concentración de 832 mg/l se presenta en Makro calle 193, en la jornada de la tarde. Para este punto en particular las jornadas de la mañana y noche registraron valores cercanos a la concentración promedio determinada.

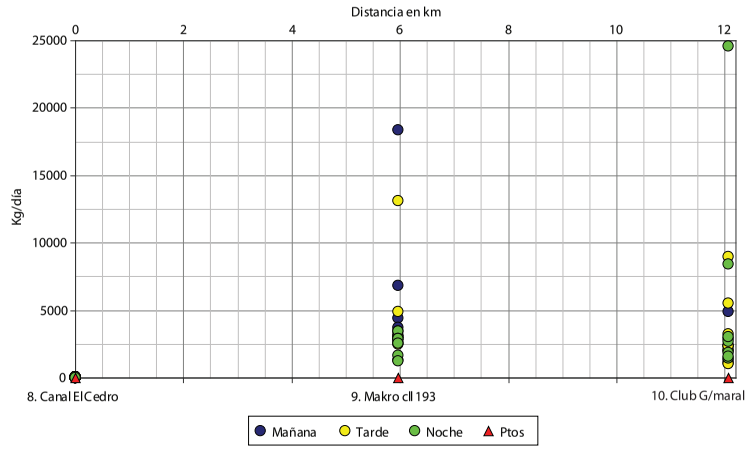
GRÁFICA 11. Concentraciones y cargas espaciales y temporales de la DQO en el canal Torca



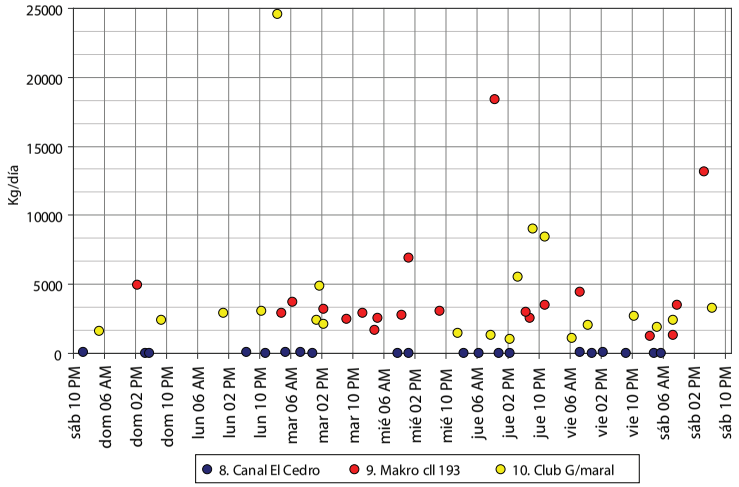
Comportamiento espacial de las concentraciones, por jornada, de DQO



Comportamiento temporal de la concentración de DQO



Comportamiento espacial de la carga, por jornada, de DQO



Comportamiento temporal de las cargas de DQO

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Los puntos canal El Cedro y Club Guaymaral no mostraron gran variabilidad en las diferentes jornadas ni tampoco en la temporalidad de las mediciones, su tendencia se halló entre valores promedio de 31 y 140 mg/l.

Al comparar las gráficas de comportamiento espacial de las concentraciones y cargas por jornada de DQO, se puede establecer que el único valor extremo por carga se registró en el Club Guaymaral por un evento de lluvia, incrementando el caudal y por tanto la carga.

El análisis realizado anteriormente y las gráficas elaboradas para la DBO_5 y la DQO permiten inferir que estos dos parámetros presentan comportamientos similares a lo largo de toda la corriente.

En las Tablas 19 y 20 se registran las concentraciones y cargas promedio de la DQO en los puntos de seguimiento del canal Torca.

TABLA 19. Concentración promedio y mediana de DQO en los puntos de monitoreo en el canal Torca

Punto de monitoreo	Concentración de DQO en el canal Torca (mg/l)	
	Valor promedio	Valor mediana
Canal El Cedro	31	24
Canal Torca, Makro calle 193	285	260
Canal Torca, Club Guaymaral	140	152

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 20. Cargas promedio y mediana de DQO en los puntos de monitoreo en el canal Torca

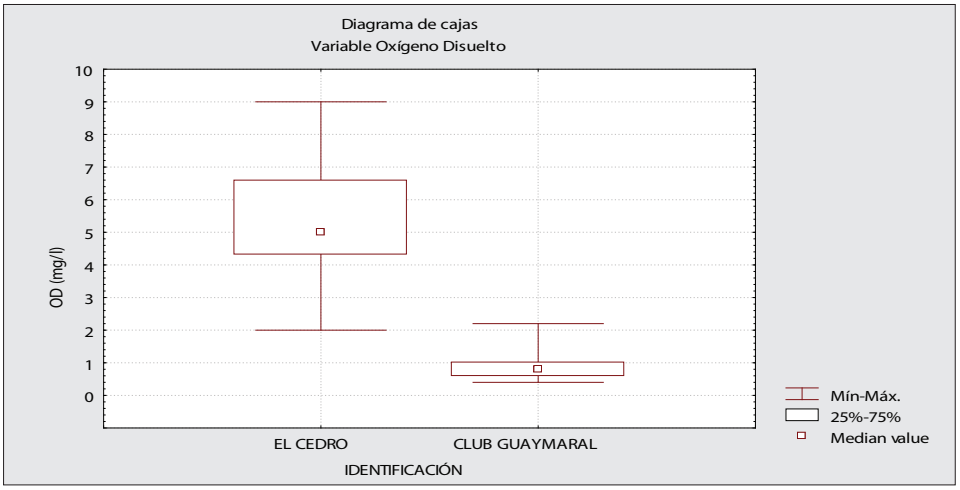
Punto de monitoreo	Cargas de la DQO en el canal Torca (Ton/día)	
	Valor promedio	Valor mediana
Canal El Cedro	0,02	0,02
Canal Torca, Makro calle 193	4,4	3,02
Canal Torca, Club Guaymaral	4,2	2,40

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Oxígeno Disuelto (OD)

De acuerdo con el análisis estadístico se observó que existe una diferencia significativa con un 95% de confianza, al aplicar la prueba de Tukey, entre los tres puntos muestreados: donde El Cedro presenta la concentración promedio de 5,09 mg/l, seguido por Makro calle 193 con 0,59 mg/l y por último el Club Guaymaral con 0,43 mg/l. (Ver *Gráfica 12*).

GRÁFICA 12. Comportamiento del OD en los puntos monitoreados del canal Torca



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En Makro calle 193 la mayoría de valores de Oxígeno Disuelto registraron concentraciones menores al límite de detección, por lo anterior no se graficaron. Los valores determinados se encontraron entre no detectable y 3,4 mg/l.

En la Tabla 21 se registran los valores promedio y mediana de la concentración de OD en los puntos de seguimiento del canal Torca.

TABLA 21. Concentración promedio y mediana del OD en los puntos de monitoreo en el canal Torca

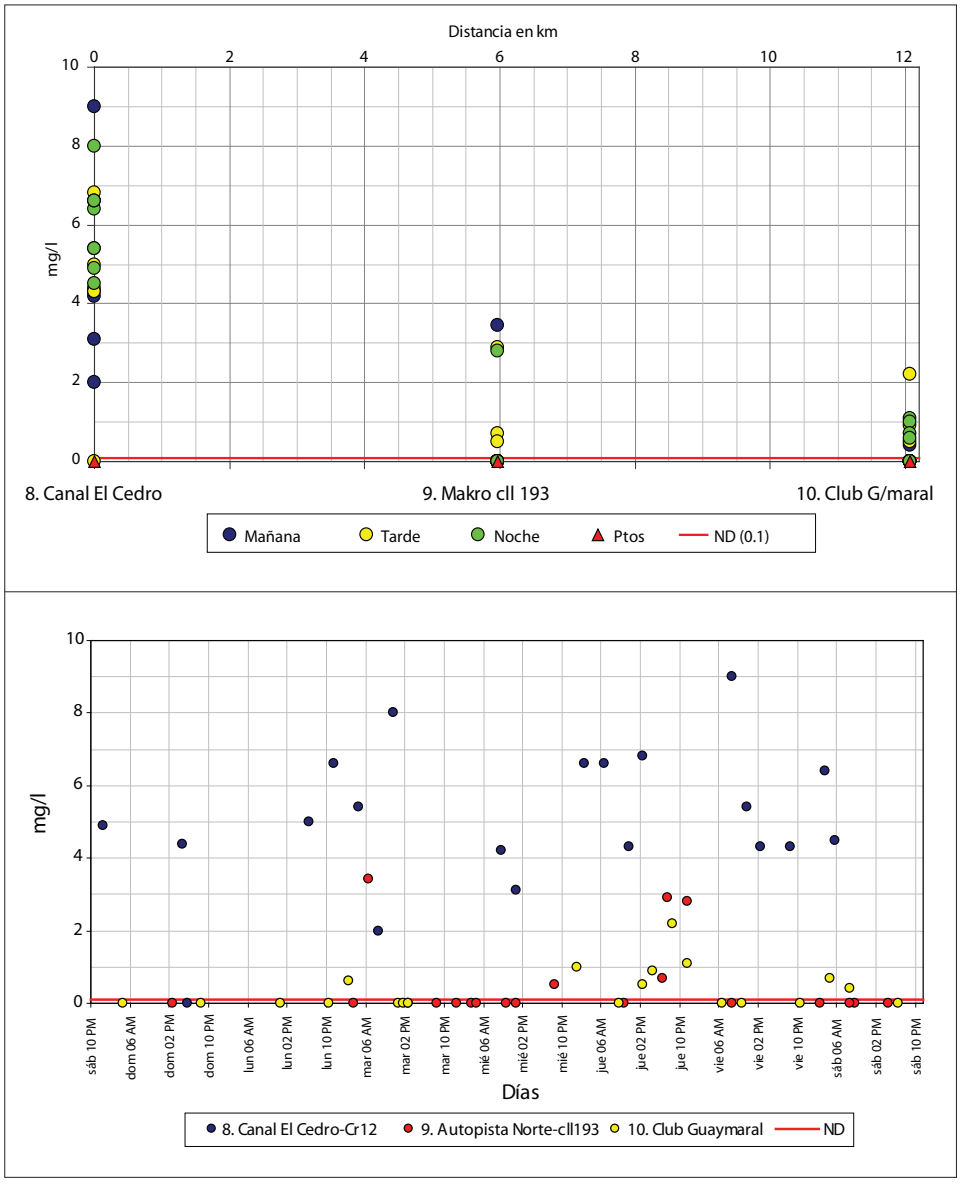
Punto de monitoreo	Resolución 1813/06 del DAMA (mg/l)	Concentración de OD en el canal Torca (mg/l)	
		Valor promedio	Valor mediana
Canal El Cedro	≥0,3	5,09	4,95
Canal Torca, Makro calle 193	≥0,3	0,59	0,10
Canal Torca, Club Guaymaral	≥0,3	0,43	0,10

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Gráfica 13 se presentan las concentraciones espaciotemporales del OD en el canal Torca que, según la Resolución 1813 de 2006 del DAMA, para este parámetro el cuerpo de agua debe ser mayor a 0,3 mg/l, y que de acuerdo con los datos reportados para El Cedro en promedio se están cumpliendo. A escala temporal en este mismo punto se puede observar que los valores presentan un rango de influencia entre 5 y 8 mg/l, particularmente en las jornadas de la tarde y la noche.

El comportamiento del OD a lo largo del cauce se reduce debido a los vertimientos que recibe este cuerpo de agua. Sin embargo, en Makro calle 193, considerado como el más crítico, se presentó una recuperación en época de lluvia generando valores entre 2,8 y 3,4 mg/l. En el Club Guaymaral se registraron los valores más bajos de concentración, incluso por debajo de 1 mg/l en promedio y un único valor extremo de 2,2 mg/l.

GRÁFICA 13. Concentraciones espaciales y temporales del Oxígeno Disuelto (OD) en el canal Torca



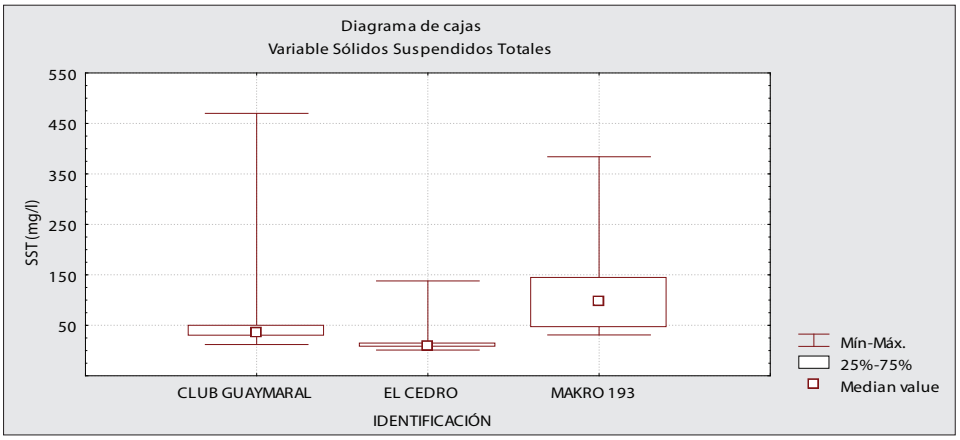
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Como se ha mencionado anteriormente, de acuerdo con el análisis estadístico efectuado, existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% entre los valores obtenidos en los 3 puntos de la cuenca. Asimismo, en Makro calle 193 se presentaron los valores promedio más altos en comparación con los otros puntos, con un máximo de 384 mg/l; Guaymaral, por su parte,

mostró un valor máximo de 470 mg/l, y El Cedro presentó menor dispersión de los datos con valores bajos menores de 150 mg/l (*ver Gráfica 14*).

GRÁFICA 14. Comportamiento de los SST en los puntos monitoreados en el canal Torca

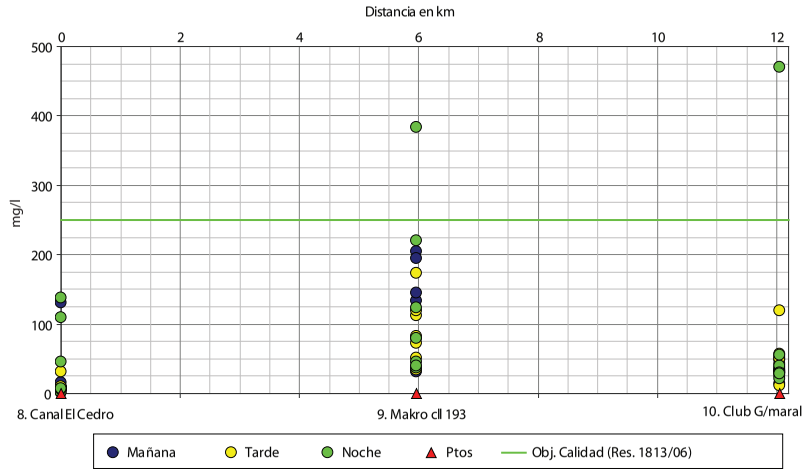


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

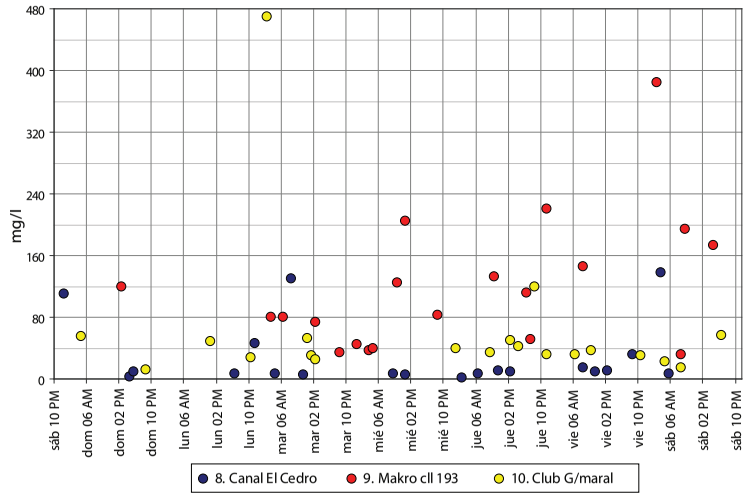
En la Gráfica 15 se presenta el comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas de los SST en el canal Torca. Este parámetro está incluido en los objetivos de calidad propuestos en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA, y, según los datos obtenidos para este parámetro, éstos no exceden el valor límite establecido en los objetivos de calidad (menor o igual a 250 mg/l). Se encontraron valores máximos registrados en la jornada de la noche, en Makro calle 193 y Club Guaymaral. Las concentraciones registradas en el canal El Cedro presentan valores bajos, ya que sólo el 20% del total de las mediciones superaron los 40 mg/l en promedio.

El comportamiento de este parámetro en la época climática monitoreada presentó una relación directa con la medición del caudal, porque tanto los valores máximos como los mínimos de carga de este parámetro se relacionan con el caudal aforado y éste, a su vez, con la precipitación. Los valores máximos de carga de SST se presentaron en el Club Guaymaral; este valor se vió influenciado en gran parte por la lluvia antecedente, que a la toma de la muestra registró un valor de 61,5 mm, con un caudal aforado de 3.692 l/s, en marzo de 2007.

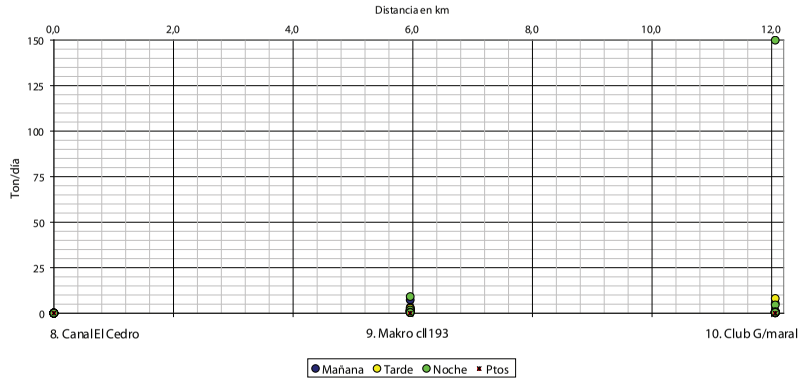
GRÁFICA 15. Concentraciones y cargas espaciales y temporales de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el canal Torca



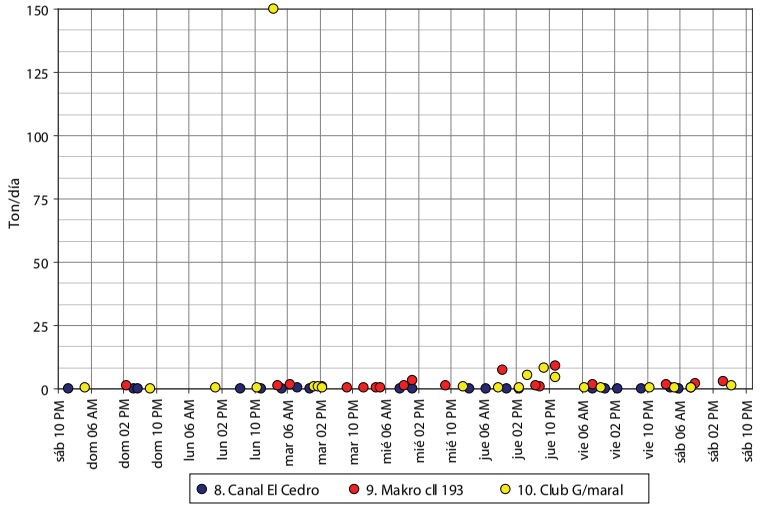
Comportamiento espacial de las concentraciones por jornada de SST



Comportamiento temporal de concentración de SST



Comportamiento espacial de las cargas por jornada de SST



Comportamiento temporal de las cargas de SST

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En las Tabla 22 y 23 se registran las concentraciones y cargas promedio de los Sólidos Suspendidos Totales en los puntos de seguimiento del canal Torca.

TABLA 22. Concentración promedio y mediana de los SST en los puntos de monitoreo en el canal Torca

Punto de monitoreo	Resolución 1813/06 del DAMA (mg/l)	Concentración de los SST en el canal Torca (mg/l)	
		Valor promedio	Valor mediana
Canal El Cedro	≤250	28	9
Canal de Torca, Makro calle 193	≤250	118	97
Canal de Torca, Club Guaymaral	≤250	62	35

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 23. Cargas promedio y mediana de los SST en los puntos de monitoreo en el canal Torca

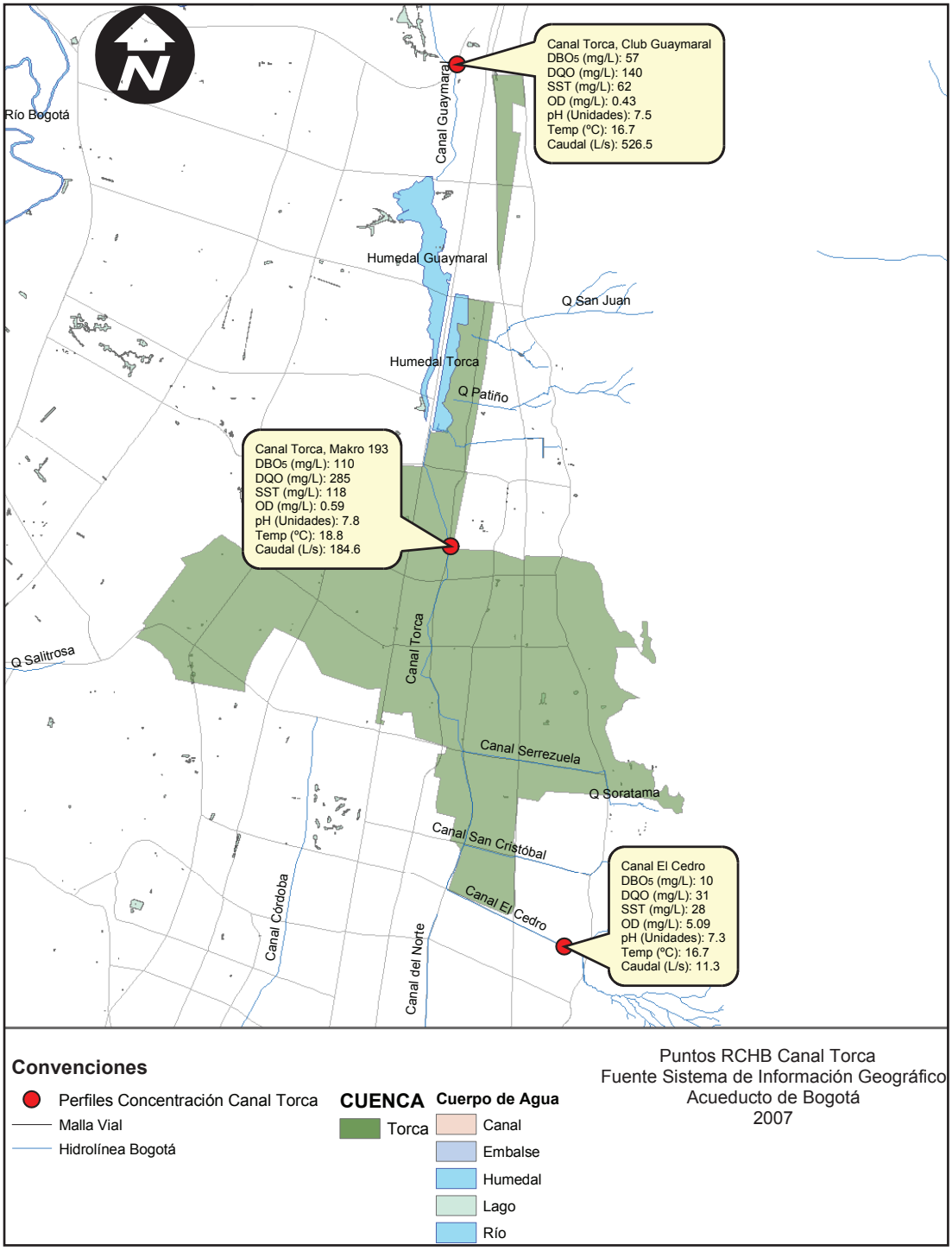
Punto de monitoreo	Cargas de los SST en el canal Torca (Ton/día)	
	Valor promedio	Valor mediana
Canal El Cedro	0,03	0,006
Canal Torca, Makro calle 193	1,97	1,25
Canal Torca, Club Guaymaral	8,81	0,53

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Mapas de concentración y carga

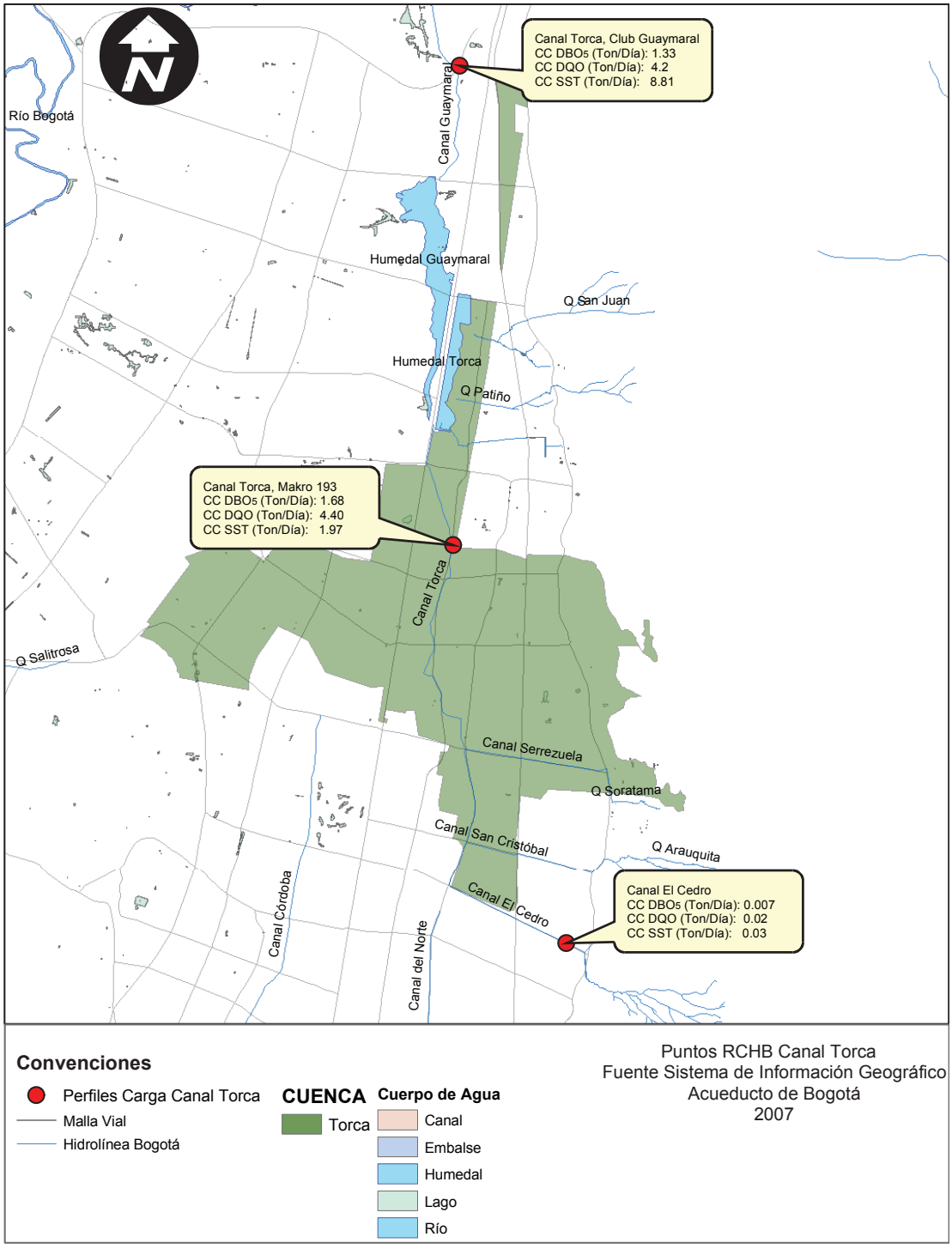
Se observan en los Mapas 5 y 6 las concentraciones y las cargas promedio de los parámetros más relevantes medidos en el canal Torca.

MAPA 5. **Concentraciones promedio de materia orgánica total y biodegradable y SST, valores promedio de OD, pH y temperatura, en el canal Torca**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 6. **Promedio de la carga de materia orgánica total y biodegradable, y SST en el canal Torca**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Índice de calidad y usos del canal Torca

Aquí se analiza de manera detallada los posibles usos que presentan las aguas en el canal Torca, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura, después de aplicarse el cálculo del índice de calidad hídrica CCME-WQI.

Uso agrícola

La calidad del agua del canal Torca para el uso agrícola fue pobre durante la mayor parte de los muestreos, desde el punto inicial de las mediciones, hasta la entrega al río Bogotá (36,5 - 41,6 puntos). Durante el período comprendido entre julio y octubre de 2006 el punto canal El Cedro presentó una calidad aceptable (66,5 puntos) y tuvo una calidad marginal durante el período de sequía (49,2 puntos), con un descenso gradual de la calidad hacia Makro calle 193.

En las ventanas temporales restantes el comportamiento del canal fue el mismo. Las variables que deterioraron la calidad en el canal Torca para su uso en actividades agrícolas, durante el período de monitoreo de julio de 2006 a abril de 2007, fueron los coliformes totales y E. Coli cuando superaron los valores límites establecidos en el Decreto 1594/84, artículo 40, del Ministerio de Agricultura, relacionados con el aporte de los vertimientos (*ver Esquema 4*), que se ubican entre el canal El Cedro y Makro calle 193.

ESQUEMA 4. Vertimientos ubicados en la calle 181 con canal Torca



Vertimiento calle 181 con canal Torca

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Uso pecuario

La calidad en el tramo comprendido entre el canal El Cedro y Makro calle 193 fue aceptable (73,1 - 77,8 puntos).

Uso recreativo mediante contacto secundario

El agua del canal Torca presentó una calidad pobre para ser usada con fines recreativos durante casi la totalidad del monitoreo; la única excepción correspondió al canal El Cedro, el cual tuvo una calidad marginal (49,6 puntos) en el período de julio-octubre de 2006. La zona crítica para la calidad se encontró alrededor de Makro calle 193 durante el período enero-abril de 2007 y en épocas de lluvia y sequía (8,3 - 9,2 puntos). Esto concuerda con el impacto sobre la corriente luego de recibir el aporte de los vertimientos que se encuentran después del primer punto de monitoreo.

Uso para la preservación de la vida acuática

La calidad del agua del canal Torca para fines de preservación de la vida acuática varió espaciotemporalmente entre pobre (22,1 puntos) y aceptable (78,8 puntos). De acuerdo con los mapas de calidad, los períodos más favorables fueron julio-octubre de 2006 (45,0 - 78,8 puntos) y la época de precipitación (43,4 - 78,8 puntos), y el período más crítico fue la época seca (22,1 - 37,2 puntos). La zona intermedia del trayecto del canal presentó los menores valores de calidad, probablemente debido a los vertimientos que descargan sobre el cauce.

Usos del recurso hídrico del canal Torca de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura

A continuación se presenta la determinación de los posibles usos del cuerpo de agua en el canal Torca en comparación con los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984, artículo 40 (uso agrícola), artículo 41 (uso pecuario) y artículo 43 (uso recreativo, mediante contacto secundario).

En la corriente están ubicados los puntos canal El Cedro (carrera 12 con calle 153), Makro calle 193 y Club Guaymaral. En el canal El Cedro se observó que sólo 2 muestras de las 20 evaluadas no exceden el valor de referencia para uso agrícola (5000 NPM/100 ml) de coliformes totales. En los otros 2 puntos en el 100% de las muestras superó el valor admisible de la normativa; para uso recreativo mediante contacto secundario el comportamiento es similar al determinado para uso agrícola.

Las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio total, zinc y cobre para los usos agrícola y pecuario en los puntos de monitoreo en el canal Torca se hallaron bajas y no sobrepasan los valores de referencia; respecto al manganeso y el níquel las concentraciones no exceden la norma para uso agrícola; el plomo sobrepasa el valor de referencia en 1 muestra, en el canal El Cedro y en Makro calle 193 respectivamente en época seca (enero de 2007); el cromo total excede el valor de referencia en 1 muestra en Makro calle 193 y en el Club Guaymaral. Estos casos puntuales se deben considerar, pero la generalidad de los

metales determinados permiten el uso para actividades agrícolas. El pH medido no restringe el uso del recurso para actividades agrícolas y pecuarias.

Los tensoactivos superaron los 0,5 mg/l establecidos para uso recreativo mediante contacto secundario en 10 muestras en el canal El Cedro, en las 20 muestras en Makro calle 193 y 19 en el Club Guaymaral, lo que indica que en el 50, 100 y 95%, respectivamente, de las concentraciones obtenidas no se puede utilizar el recurso para este uso recreativo.

Cumplimiento de los objetivos de calidad según la Resolución 1813 de 2006 del DAMA

Respecto al cumplimiento de los objetivos de calidad en los puntos de monitoreo, en el canal Torca se tiene que el pH, la temperatura, la DBO_5, el OD y los SST en promedio cumplen ampliamente con los límites establecidos en esta normativa.

Mapas de calidad y confiabilidad

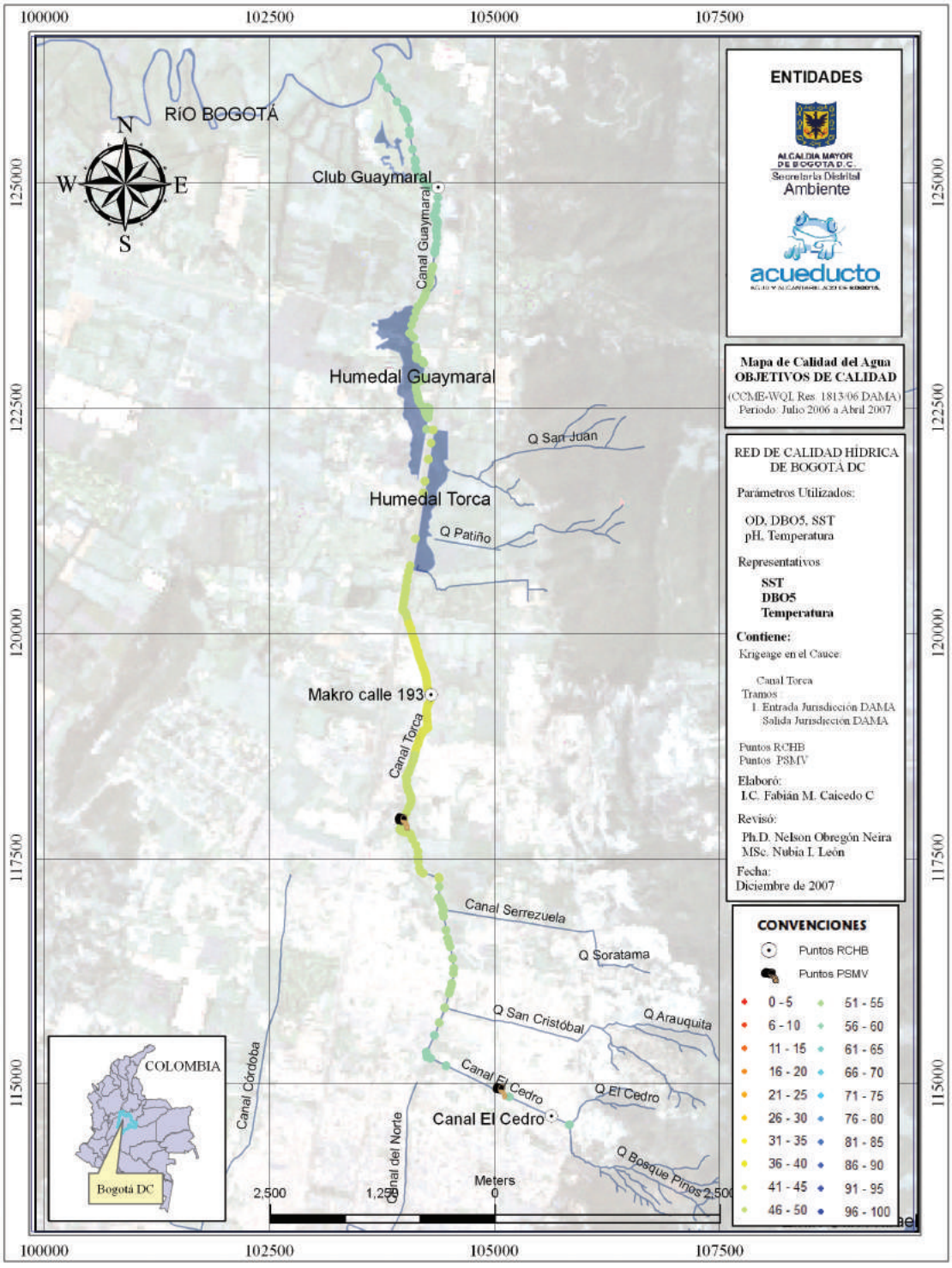
Los mapas de calidad y confiabilidad que se presentan están relacionados con los objetivos de calidad propuestos en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA y se elaboraron con los datos de los 3 puntos, en forma global y en época seca (*ver Mapas 7 y 8*).

En el Mapa 9 se ilustran los porcentajes de confiabilidad asociados al krigeaje realizado a los datos de toda la campaña del monitoreo, según el índice CCME-WQI, para el tramo único establecido en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA para el canal Torca.

Temporalmente el período que representa más variabilidad respecto al global de los datos fue la época climática categorizada como seca, antes de la entrega al río Bogotá; ahí se observó un cambio en el valor del índice.

De la misma manera en el Mapa 10 se ilustra la confiabilidad de los resultados obtenidos para la época climática seca.

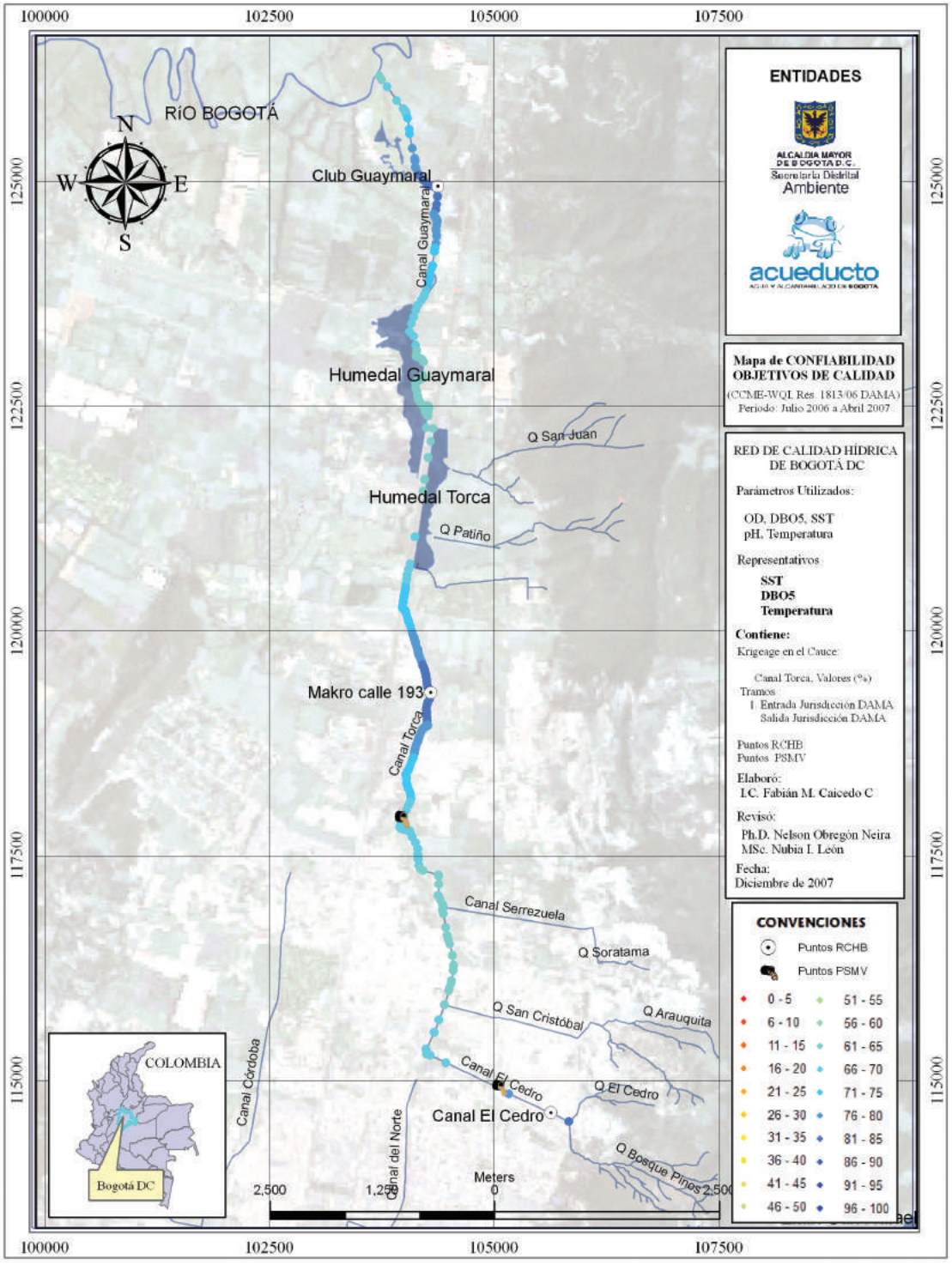
MAPA 7. Objetivos de calidad según la Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa global de los datos en el canal Torca



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

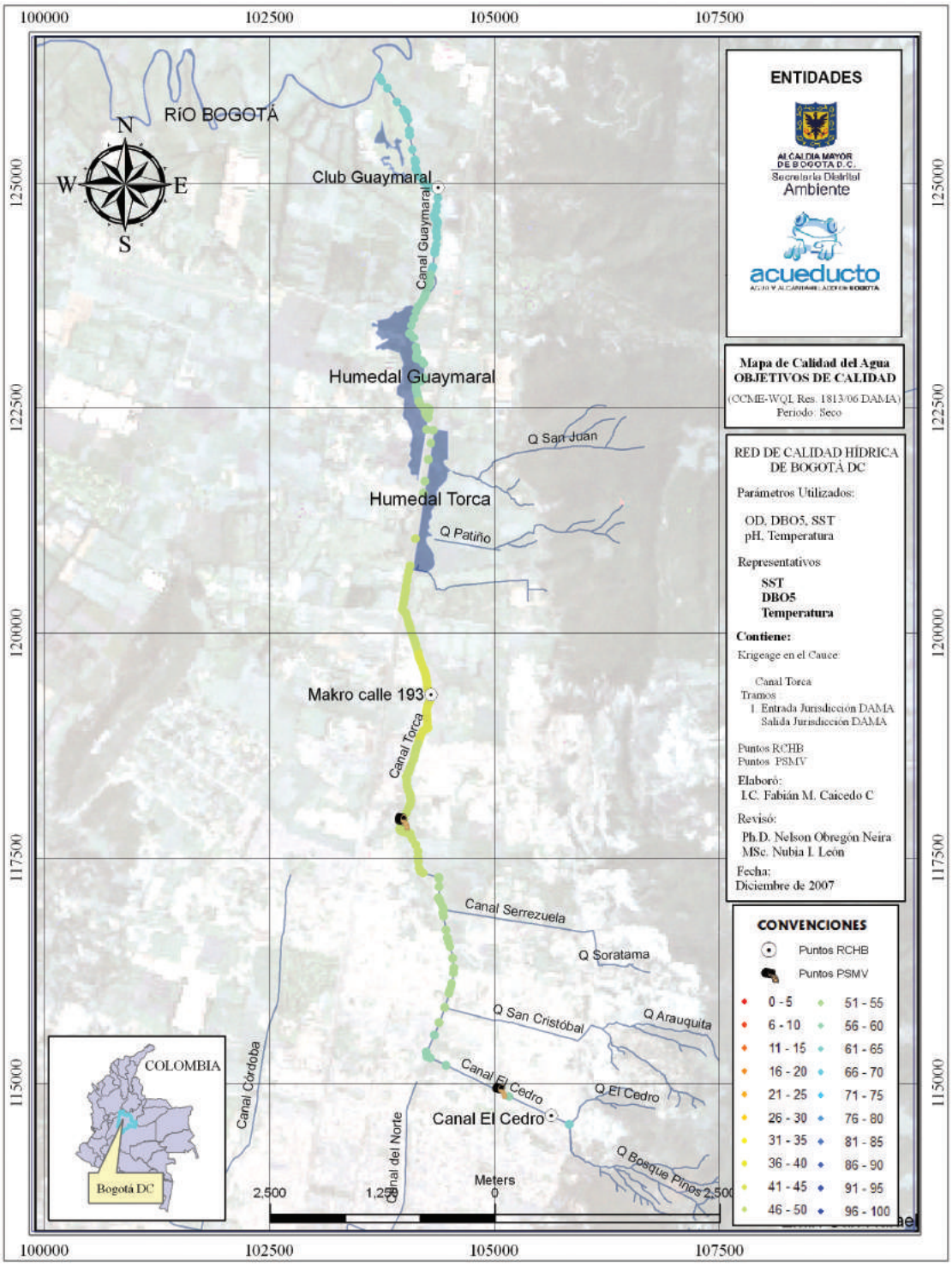
MAPA 8. **Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad para el global de los datos en el canal Torca**



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

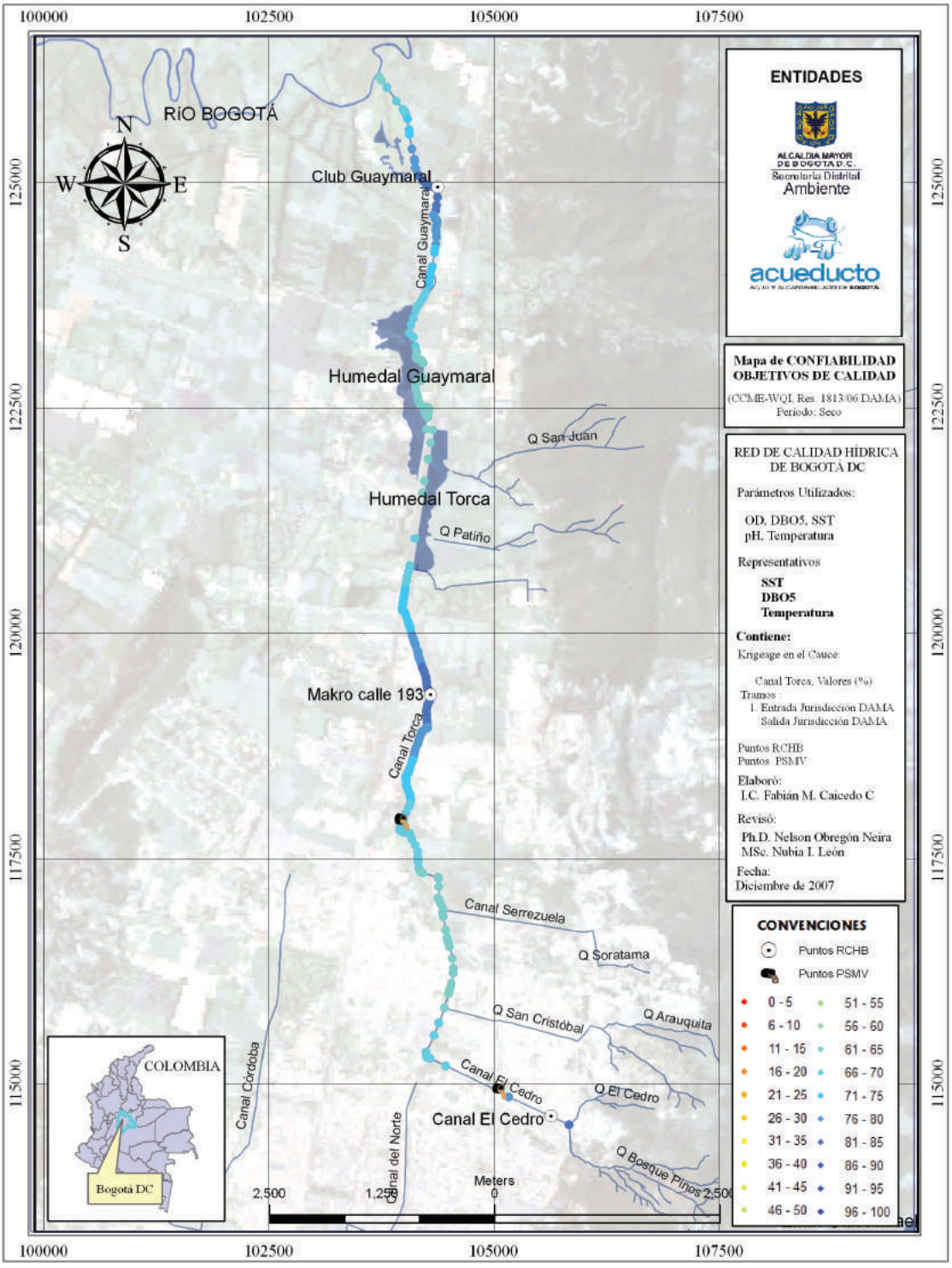
MAPA 9. Objetivos de calidad según la Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa de la época seca en el canal Torca



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 10. **Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad para la época seca en el canal Torca**



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Río Salitre o Juan Amarillo

Descripción de la cuenca

La cuenca del Salitre tiene un área de drenaje de 13.964 hectáreas[18], y está localizada en el sector centro-norte del Distrito Capital. El eje principal de esta cuenca tiene una longitud de 21,56 km y nace en los cerros orientales con el nombre de quebrada del Arzobispo. Al ingresar a la ciudad es canalizada desde el parque Nacional (calle 39 con carrera 5ª) hasta el humedal Juan Amarillo (carrera 97); corre paralelo a las avenidas 39, 40 y 22 hasta la carrera 30, luego sigue hacia el norte hasta la calle 68; continua por el antiguo cauce del río, desviándose al noroccidente hasta su desembocadura en el río Bogotá (cuenca media). Hacen parte de esta cuenca las quebradas Delicias, La Vieja, La Chorrera, Cataluña, La Cañada, Luce, Morají, Chicó, Los Cerros, Los Rosales, entre otras. También hacen parte de ella los humedales Jaboque, Santa María del Lago, Córdoba y Juan Amarillo.

Dentro de estos elementos, uno importante es el humedal de Córdoba que recibe varios cuerpos de agua tales como el canal Córdoba, el canal Molinos y el canal Contador; este último a su vez recibe las aguas generadas en las subcuencas ubicadas al nororiente de la ciudad (Norte, Camino del Contador, Callejas, Contador). En el costado final de la cuenca desembocan canales de menor envergadura como son el canal Bolivia, canal Cafam y el canal Cortijo.

Fuentes de contaminación hídrica

Las principales fuentes de contaminación de esta corriente son aguas residuales domésticas, las cuales fueron identificadas en el Programa de Seguimiento y Monitoreo de la SDA, y corroboradas por el PSMV de la EAAB-ESP. Cada uno de estos vertimientos aporta especialmente materia orgánica, Sólidos Suspendidos Totales (SST), coliformes totales y E. Coli.

De la Tabla 24 a la Tabla 27 se pueden apreciar los vertimientos con mayor impacto sobre el río en cada uno de los tramos definidos en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA.

La clasificación del impacto de los vertimientos relacionados a continuación se determinó según el porcentaje de participación de carga por tramo en la cuenca, y la calificación del impacto se hizó considerando soluciones de saneamiento a corto, mediano y largo plazo con la implementación de obras de expansión, rehabilitación de estructuras de alivio, tratamientos *in situ* y conexiones erradas, de acuerdo con el PSMV de la EAAB-ESP presentado y aprobado por la SDA.

18 IDEAM y DAMA. VI Fase de seguimiento de efluentes industriales y corrientes superficiales de Bogotá. D. C., 2003.

TABLA 24. Vertimientos tramo 1 del río Salitre

TRAMO 1 (Aguas arriba Circunvalar hasta carrera 7ª) Río Arzobispo						Impacto
Identificación del punto		Coordenadas		Código	Margen descarga	
1	Canal abierto barrio Paraíso	4,37307	74,03419	ST-1-21	Derecha	Bajo

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

TABLA 25. Vertimientos tramo 2 del río Salitre

TRAMO 2 (Carrera 7ª hasta carrera 30) Río Arzobispo						Impacto
Identificación del punto		Coordenadas		Código	Margen descarga	
1	Ubicado en la calle 45 con carrera 24, debajo del puente	4,38086	74,04355	ST-2-23	Derecha	Alto
2	Ubicado en la calle 45 con carrera 24, aguas abajo del puente	4,38085	74,04355	ST-2-24	Izquierda	Medio

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

TABLA 26. Vertimientos tramo 3 del río Salitre

TRAMO 3 (Carrera 30 hasta Av. 68) Río Salitre						Impacto
Identificación del punto		Coordenadas		Código	Margen descarga	
1	Ubicado en la calle 47 con carrera 30, frente IGAC	4,38229	74,04457	ST-3-236	Izquierda	Bajo
2	Ubicado en la NQS con calle 53A	4,38403	74,04446	ST-3-24	Derecha	Alto
3	Ubicado en la NQS con calle 68	4,39505	74,04344	ST-3-140	Derecha	Bajo
4	Ubicado en la NQS con calle 70	4,39562	74,04327	ST-3-153	Izquierda	Bajo
5	Colector La Vieja, ubicado en la carrera 38 con calle 70	4,39580	74,04333	ST-3-155	Derecha	Alto
6	Ubicado en la carrera 49 con calle 80A	4,40430	74,04354	ST-3-214	Izquierda	Bajo
7	Colector río Nuevo, ubicado en la Av. carrera 68 con calle 80 (TUGO)	4,40573	74,04258	ST-3-233	Izquierda	Alto
8	Canal Rionegro, ubicado en la Av. carrera 68 con calle 80	4,41061	74,04366	ST-3-232	Derecha	Alto

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

TABLA 27. Vertimientos tramo 4 del río Salitre

TRAMO 4 (Av. 68 hasta desembocadura río Bogotá) Río Juan Amarillo						Impacto
Identificación del punto		Coordenadas		Código	Margen descarga	
1	Río Juan Amarillo, calle 98 con carrera 91	4,42568	74,05422	ST-4-51	Izquierda	Medio
2	Carrera 95 con calle 97	4,43120	74,06007	ST-4-59	Izquierda	Medio
3	Carrera 95C con calle 92	4,43049	74,05520	ST-4-57	Izquierda	Medio
4	Carrera 95E con calle 96	4,43023	74,05453	ST-4-56	Izquierda	Medio

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

Localización de los puntos de monitoreo

En el río Salitre se ubican 7 puntos de monitoreo de la RCHB, los cuales se ilustran en la Tabla 28 y en el Mapa 11.

TABLA 28. Puntos de monitoreo de la RCH en el río Salitre

Cuenca	Estación	Tramo Fuente	Abscisado	Coordenadas geográficas WGS84	
				Latitud	Longitud
SALITRE O JUAN AMARILLO	Parque Nacional	1	K0+000	4,37244	74,03212
	Carrera 7ª Arzobispo	2	K0+195	4,37324	74,03558
	Calle 53 carrera 30	3	K2+828	4,38342	74,04450
	Carrefour, avenida 68	4	K8+508	4,41238	74,04487
	Transversal 91	4	K11+978	4,42578	74,05457
	Puente Alameda	4	K16+609	4,44142	74,07332
	PTAR Salitre - Canal de aguas mínimas	4	K17+342	4,44009	74,07400

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el esquema 5 se observan los puntos de monitoreo al inicio y al final del río Salitre.

ESQUEMA 5. Puntos de monitoreo de la RCH en el río Salitre



Río Arzobispo, Parque Nacional



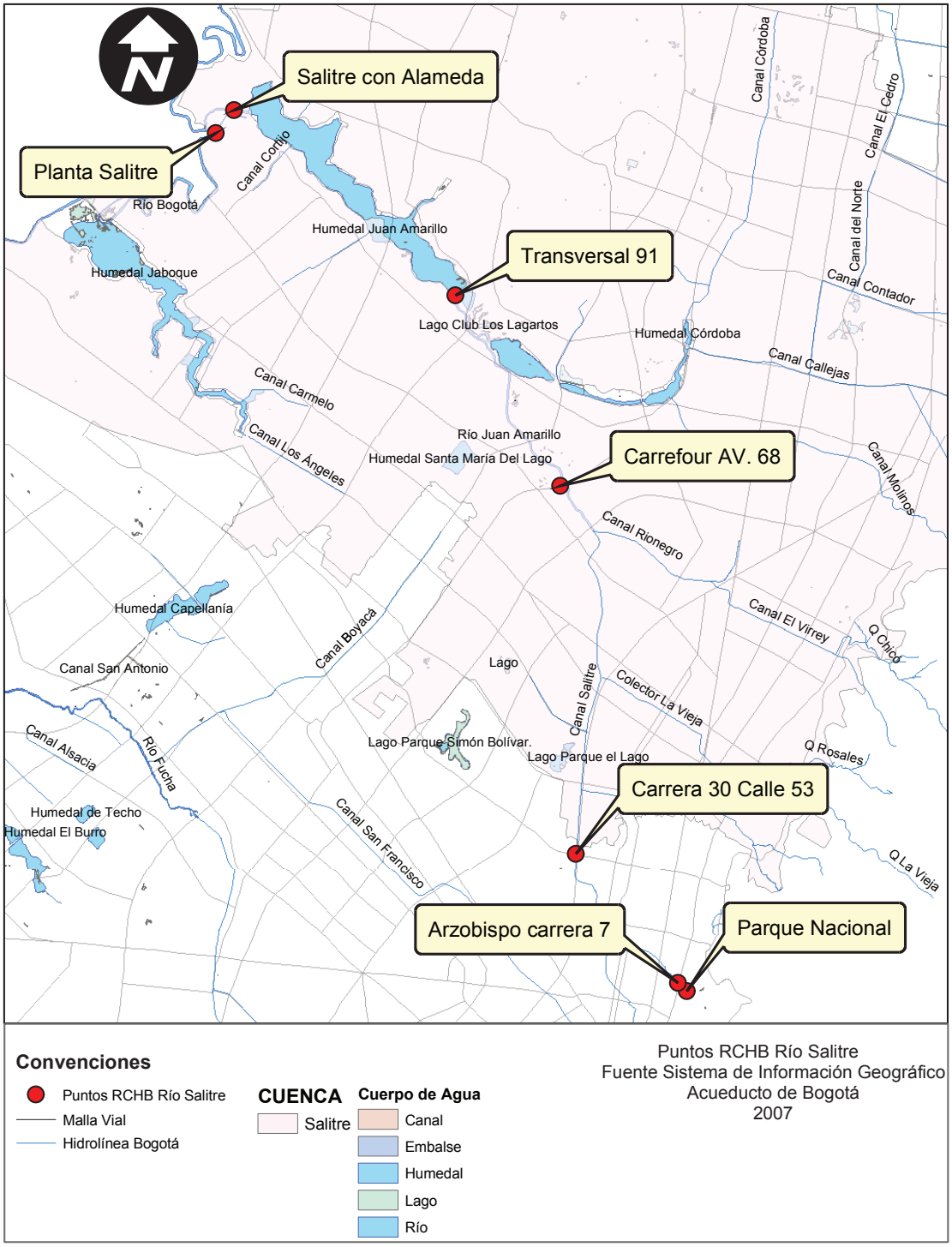
Río Salitre Puente Alameda

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Análisis de precipitación

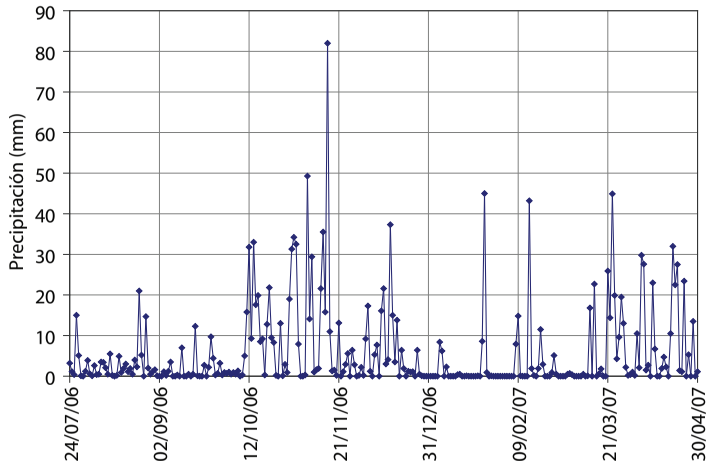
De acuerdo con los registros de precipitación de las estaciones hidroclimatológicas de la EAAB-ESP denominadas Granizo, San Diego, Casa Bombas, Cama Vieja y Cerro Suba, se pudo establecer el comportamiento de la precipitación en la cuenca del Salitre (*ver Gráfica 16*). Según los análisis efectuados en el presente estudio los rangos de precipitación estuvieron entre 793 y 944 mm/año, con variabilidad interanual relativamente alta, determinando así un régimen de lluvias bimodal, con dos períodos lluviosos y dos secos, intercalados. Los primeros van desde mediados del mes de marzo a junio y desde mediados de septiembre hasta diciembre de 2006, con lluvias máximas en los meses de abril y octubre del mismo año. Para los períodos secos se encontró que para mediados del año (julio y agosto de 2006) es ligeramente más seco.

MAPA 11. Ubicación de los puntos de monitoreo de la RCH en el río Salitre

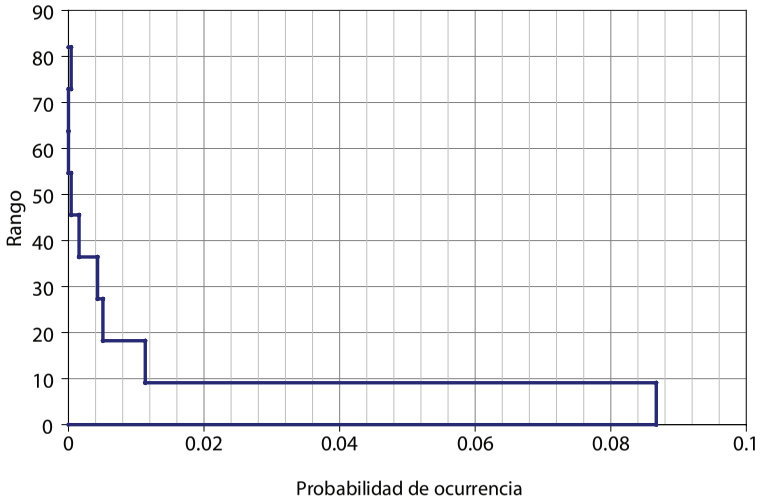


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

GRÁFICA 16. **Análisis lineal de la serie de precipitación para la cuenca del Salitre**



Precipitación durante el período de monitoreo en la cuenca del Salitre



Histograma de frecuencias análisis precipitación en la cuenca del Salitre

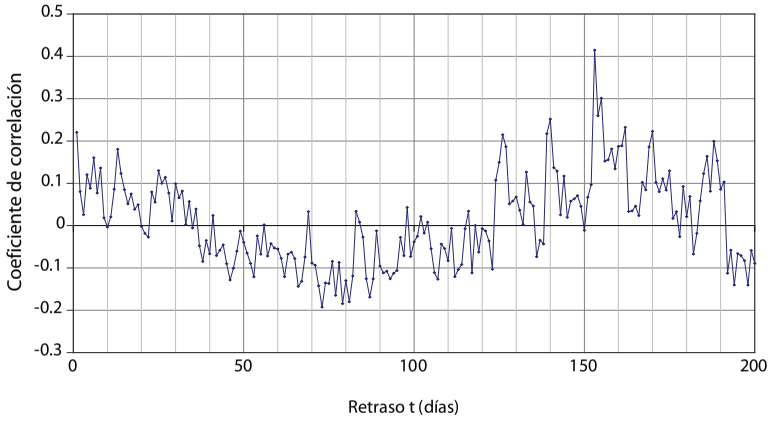
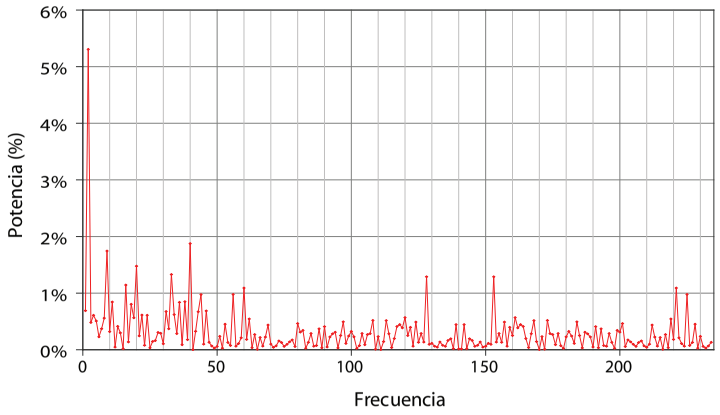


Diagrama de autocorrelación de la precipitación en la cuenca del Salitre



Períodograma serie de precipitación cuenca del Salitre

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

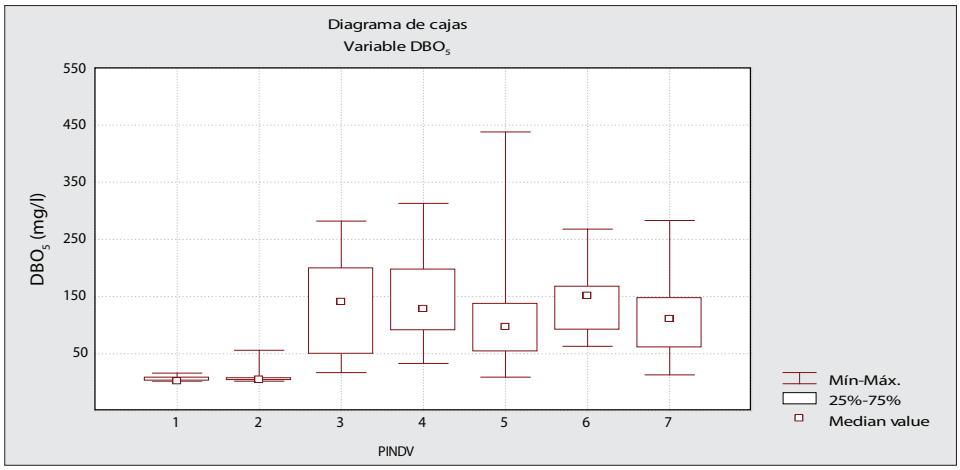
Análisis de los parámetros evaluados

A continuación se realiza el análisis estadístico de las variables más relevantes en la corriente evaluada, como son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Oxígeno Disuelto (OD) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Desde el punto de vista estadístico, al aplicar la prueba de Tukey en los puntos de monitoreo, se encuentran diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% (*ver Gráfica 17*), específicamente a partir de la carrera 30 con calle 53. En los primeros puntos de la RCHB para esta corriente se presentan valores de 6 mg/l y aumenta la concentración en especial en la carrera 30 con calle 53 con valores medios de 150 mg/l; en todo el seguimiento se observa un valor extremo (438 mg/l) en la transversal 91.

GRÁFICA 17. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos monitoreados en el río Salitre



Codificación de los puntos de monitoreo

1 Parque Nacional	3 Carrera 30 calle 53	5 Transversal 91	7 Salitre con Alameda
2 Arzobispo carrera 7ª	4 Carrefour Av. 68	6 Planta Salitre	

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el Parque Nacional, el 85% de las muestras evaluadas presentaron DBO_5 no detectables con un valor máximo de 16 mg/l, el cual se registró en la jornada de la noche. Asimismo, en la carrera 7ª Arzobispo en el 35% de las muestras evaluadas no se detectó la presencia de materia orgánica biodegradable.

Como ya se mencionó, y se corrobora con los análisis espaciales y temporales efectuados, la DBO_5 en los puntos iniciales de la RCHB en el río Salitre presentaron valores bajos y se incrementaron a partir de la carrera 30 con calle 53; los valores máximos en este punto se registraron en las horas de la mañana y en la tarde (*ver Tabla 29*).

En Carrefour avenida 68 el comportamiento de concentración de este parámetro es similar al de la carrera 30 con calle 53, lo que muestra la influencia de las descargas de la carrera 30 con calle 53A, Colector La Vieja, canal Rionegro y la estructura de alivio Rionuevo.

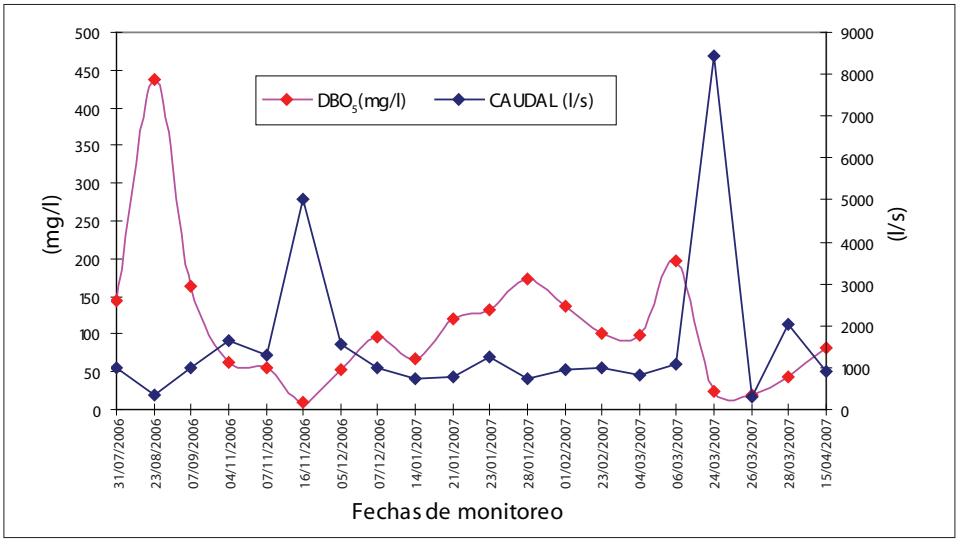
TABLA 29. Comportamiento de la DBO_5 en el río Salitre

Punto de monitoreo	No. de tramo	Resolución 1813/06 del DAMA (mg/l)	Concentración de DBO_5 (mg/l) en el río Salitre			
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Parque Nacional	1	≤5	2	16	3	2
Carrera 7ª Arzobispo	2	≤150	2	56	7	3
Carrera 30 calle 53	3	≤200	17	282	134	141
Carrefour avenida 68	4	≤150	33	313	144	129
Transversal 91	4	≤150	9	438	111	97
Puente Alameda	4	≤150	13	283	108	111
PTAR Salitre - Canal de aguas mínimas	4	≤150	63	268	144	152

Fuente: Convenio 005/2006 SDA y EAAB-ESP.

En la transversal 91 la máxima concentración se registró en tiempo seco y en la jornada de la tarde. En la Gráfica 18 se aprecia el comportamiento del caudal y la concentración de la DBO_5 en este punto sobre el río Salitre.

GRÁFICA 18. Relación de la concentración DBO_5 vs. caudal en la transversal 91 sobre el río Salitre



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En Puente Alameda la fuente superficial transporta toda la carga orgánica biodegradable y total que recibe a lo largo de su trayectoria; es decir, ya en este punto la fuente superficial ha recibido todos los vertimientos y las llegadas de cuerpos de agua, como lo son el canal Rionegro y el humedal Córdoba, principalmente. La mayor concentración en este sitio se presentó en una lámina de agua baja en tiempo seco en la jornada de la mañana.

En los escenarios donde el río presenta bajo caudal se observa que hay un incremento de la concentración de materia orgánica biodegradable, y cuando hay antecedentes y eventos de lluvia se presentan concentraciones bajas de la DBO_5 por efecto de dilución.

En el Parque Nacional la mayor carga se registró por concentración, en la jornada de la tarde en marzo de 2007; se asoció esta concentración a un antecedente de lluvia reportado por la estación El Granizo, que pudo repercutir en el arrastre de materia orgánica biodegradable a la fuente superficial.

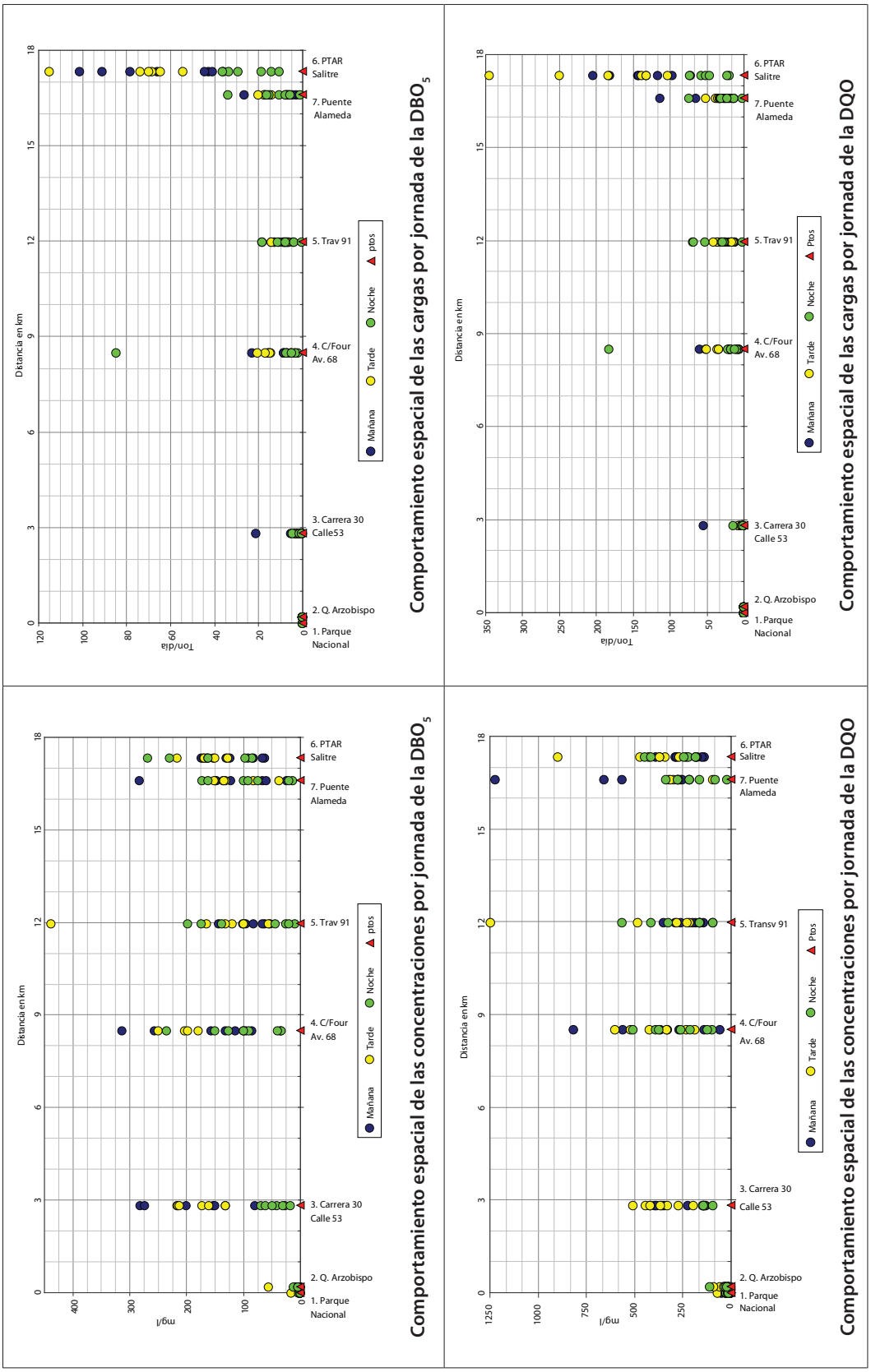
En el punto carrera 7ª Arzobispo, la mayor carga se reportó por concentración y por un antecedente de lluvia, lo cual correlaciona la presencia de material orgánico biodegradable. Este evento se registró el 25 de enero de 2007 en la jornada de la tarde.

En la carrera 30 con calle 53, en agosto 9 de 2006, se registró la mayor carga contaminante asociada al caudal por un antecedente de lluvia en la cabecera del río, como lo registraron las estaciones hidrometeorológicas San Diego y El Granizo.

En Carrefour avenida 68 se presentó el mayor valor de carga debido a una alta precipitación el 21 de marzo de 2007, por lo que se incrementó el caudal en 4.168 l/s. Adicionalmente, en este punto se tuvo en cuenta la afluencia de los canales Rionegro y la estructura de alivio Rionuevo, los cuales aportan cargas contaminantes de aguas residuales.

En Puente Alameda la mayor carga se halló en la jornada de la noche y se debe al aporte por precipitación, así como lo registró la estación hidrometeorológica de Cerro Suba el 26 de marzo de 2007. Se midió un caudal de 5.323 l/s, lo cual incrementó el valor de la carga contaminante en este punto.

El valor más alto de carga contaminante se presentó en el canal de aguas mínimas después de la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Salitre (PTAR Salitre), lo que muestra la incidencia de concentración de la DBO_5 y de caudal; este evento se presentó en enero 31 de 2007. En la Gráfica 19 se presenta el comportamiento espacial de las concentraciones y cargas de la DBO_5 y de la DQO.



GRÁFICA 19. Concentraciones y cargas espaciales de la DBO_5 y DQO en el río Salitre

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

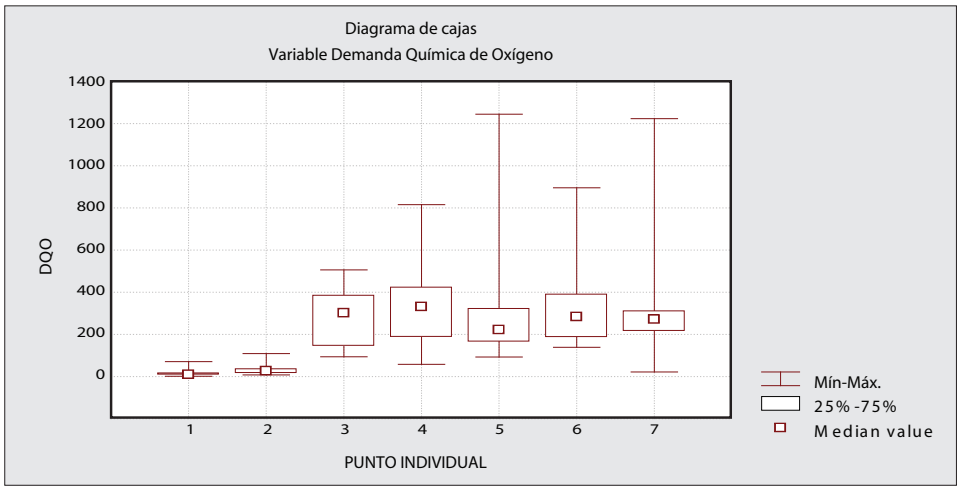
Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se observó un aumento en la DQO al avanzar en el recorrido de la corriente, pasando de valores promedios, de 16 a 32 mg/l en los 2 primeros puntos de monitoreo, seguidos de valores medios entre los 279 y 339 mg/l, entregando al río Bogotá con una concentración promedio de 316 mg/l.

En este parámetro existen diferencias significativas con un 95% de confianza al aplicar la prueba de Tukey entre los puntos Parque Nacional y Arzobispo carrera 7ª en relación con los siguientes puntos de monitoreo.

En la Gráfica 20 se observan estas diferencias significativas respecto a las concentraciones de la DQO en los puntos de monitoreo de la RCHB en el río Salitre.

GRÁFICA 20. Comportamiento de la DQO en los puntos monitoreados en el río Salitre



Codificación de los puntos de monitoreo

1 Parque Nacional	3 Carrera 30 calle 53	5 Transversal 91	7 Salitre con Alameda
2 Arzobispo carrera 7ª	4 Carrefour Av. 68	6 Planta Salitre	

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Respecto a la DQO en la carrera 7ª Arzobispo, en la jornada de la noche se registró la mayor concentración (109 mg/l) y a partir de la carrera 30 con calle 53 el incremento de la materia orgánica total en la fuente superficial se debió a la afluencia de descargas de origen residual doméstico presentes en la calle 45 con carrera 24 y en la calle 47 con carrera 30.

En Carrefour avenida 68, el río presentó características de aguas residuales diluidas, reportando valores entre los 58 y 815 mg/l (evento de precipitación). En la transversal 91 la variación fue entre 93 y 1.244 mg/l (tiempo seco), en Puente Alameda entre 22 y 1.223 mg/l (tiempo seco) y en la PTAR Salitre canal de aguas mínimas entre 139 y 895 mg/l.

En general, la DQO en el río Salitre reporta valores promedio de 16 mg/l en el Parque Nacional y de 316 mg/l en Puente Alameda, lo que muestra una

variación de materia orgánica total que indica influencia antrópica en el cuerpo de agua por descargas de tipo residual doméstico.

En cuanto a las cargas contaminantes evaluadas se observó que éstas se incrementaron al igual que las concentraciones a partir de la carrera 30 con calle 53 por la afluencia de aguas residuales al canal. En la calle 45 con carrera 24 y calle 47 con carrera 30, la mayor carga se presentó en tiempo seco (agosto 9 de 2006) y está dada por caudal (1.625 l/s), por concentración (393 mg/l), en la jornada de la mañana en la carrera 30 con calle 53.

Como ya se mencionó, en Carrefour avenida 68 el incremento en las cargas contaminantes es debido a las descargas de la carrera 30 con calle 53A, el colector La Vieja, el canal Rionegro y la estructura de alivio Rionuevo.

En la transversal 91 se suma a la carga de contaminantes que trae el río la aportada por el humedal Córdoba, el cual recibe los canales Córdoba y Molinos que a su vez captan descargas de origen residual y fuentes superficiales en su recorrido; la carga total de contaminantes recolectada y transportada por el río en todo su paso por la ciudad se determina en Puente Alameda. En la Tabla 30 se reportan los resultados obtenidos de la DQO en el río Salitre.

Por lo anterior, los valores promedio de DQO total se mantienen por encima de 200 mg/l a partir de la carrera 30 con calle 53 hasta la entrega al río Bogotá (*ver Tabla 30*).

TABLA 30. Comportamiento de la DQO en el río Salitre

Punto de monitoreo	No. de tramo	Concentración de DQO (mg/l) en el río Salitre			
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Parque Nacional	1	2	71	16	10
Carrera 7ª Arzobispo	2	5	109	32	26
Carrera 30 con calle 53	3	94	506	279	301
Carrefour avenida 68	4	58	815	339	331
Transversal 91	4	93	1.244	300	221
Puente Alameda	4	22	1.223	316	271
PTAR Salitre - Canal de aguas mínimas	4	139	895	324	283

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El comportamiento del caudal medido en cada uno de los puntos de monitoreo en el río Salitre se reporta en la Tabla 31.

TABLA 31. Comportamiento del caudal en el río Salitre

Punto de monitoreo	No. de tramo	Caudal (l/s) en el río Salitre			
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Parque Nacional	1	5	90	30,7	23,4
Carrera 7ª Arzobispo	2	12	107	40,6	36,3
Carrera 30 con calle 53	3	30	1.625	261,5	137,9
Carrefour avenida 68	4	548	4.168	1.020,8	834,6
Transversal 91	4	302	8.416	1.590,8	1.005,3
Puente Alameda	4	368	6.337	1.670,3	1.187,3
PTAR Salitre - Canal de aguas mínimas	4	1.021	7.773	4.666	4.833,4

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 32 se reportan las cargas contaminantes por DBO_5 y DQO en el río Salitre.

TABLA 32. Comportamiento de la cargas de la DQO y de la DBO_5 en el río Salitre

Punto de monitoreo	DBO_5 (Ton/día)			DQO (Ton/día)		
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
Parque Nacional	0,001	0,033	0,006	0,001	0,208	0,039
Carrera 7ª Arzobispo	0,002	0,165	0,025	0,011	0,387	0,103
Calle 53 carrera 30	0,089	21,34	2,84	0,423	55,18	6,45
Carrefour avenida 68	2,28	84,63	13,78	6,3	183	32
Transversal 91	0,52	18,28	9,44	2,45	69,67	29
Puente Alameda	1,12	34	12,17	1,9	113,8	34,57
PTAR Salitre - Canal de aguas mínimas	10,6	114,9	54,5	19,3	344,6	125,68

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Oxígeno Disuelto (OD)

A diferencia de los otros parámetros se observó disminución en la concentración del OD presentando valores promedios entre 6,5 y 6,7 mg/l al inicio de la corriente, y disminuye aún más durante el recorrido del río; en otras palabras, la tendencia del comportamiento de este parámetro es la reducción a medida que se avanza en el recorrido por la ciudad, debido al consumo del mismo por la materia orgánica presente en el cuerpo de agua.

Al realizar el análisis temporal se observó que en horas de la noche el cuerpo de agua presenta valores más altos de OD, lo que indica que la disminución de aguas residuales hace que el río responda y trate de recuperarse. Adicional a esto, se notó la recuperación de la fuente superficial en épocas de lluvia, ya que se generaron efectos de dilución de la materia orgánica y se incrementaron los niveles de oxigenación en la misma.

De las 140 muestras evaluadas en el río Salitre no se detectó OD en el 39,2%, es decir, en 55 muestras, que en su mayoría corresponden a los puntos

a partir de Carrefour avenida 68, debido a que la pendiente y las velocidades son bajas y las descargas de aguas residuales que se vierten al río hacen que se consuma el oxígeno presente en la columna de agua.

De acuerdo con los datos reportados se puede concluir que en la actualidad los valores de OD que tiene la fuente superficial en cada uno de los tramos del cuerpo de agua no exceden las concentraciones admisibles, según la Resolución 1813 de 2006 del DAMA. La tendencia del OD es de reducción a medida que se avanza en el abscisado, esto debido al consumo de la materia orgánica presente en la fuente superficial por efecto de la presencia de aguas residuales en los diferentes tramos. En la Tabla 33 se presenta el comportamiento del OD en los puntos de seguimiento en el río Salitre.

TABLA 33. Comportamiento del OD en el río Salitre

Punto de monitoreo	No. de tramo	Resolución 1813/06 del DAMA (mg/l)	Concentración de OD (mg/l) en el río Salitre			
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Parque Nacional	1	≥2,0	1,6	8,9	6,53	7,55
Carrera 7ª Arzobispo	2	≥0,0	2,5	8,7	6,72	7,30
Carrera 30 con calle 53	3	≥0,0	0,9	6,8	1,86	0,95
Carrefour avenida 68	4	≥0,0	ND	4,60	0,60	0,10
Transversal 91	4	≥0,0	ND	3,46	0,40	0,10
Puente Alameda	4	≥0,0	ND	1,0	0,23	0,10
PTAR Salitre - Canal de aguas mínimas	4	≥0,0	ND	4,9	2,0	2,10

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

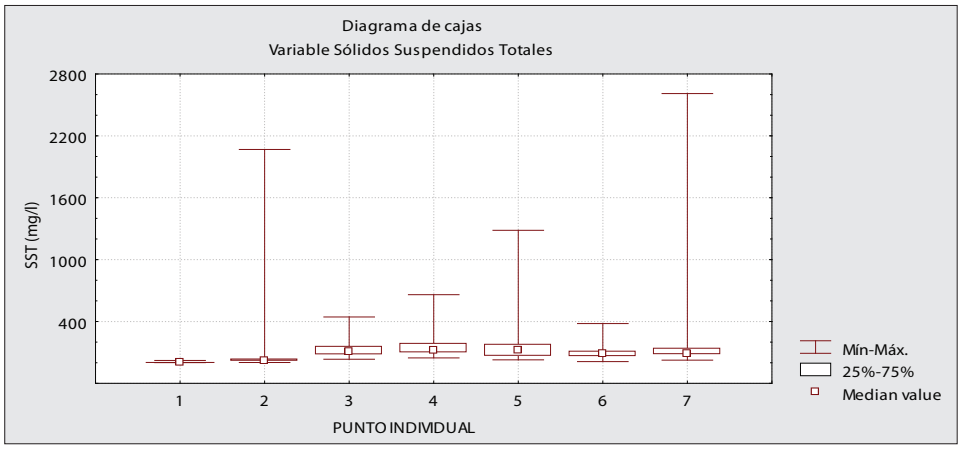
De acuerdo con el análisis estadístico se presentan diferencias significativas entre el Parque Nacional y Puente Alameda (*ver Gráfica 21*). En los otros puntos el comportamiento es similar. Los valores extremos se presentaron en carrera 7ª Arzobispo (2.068 mg/l) y en Puente Alameda (2.610 mg/l).

Los SST registraron en la carrera 7ª Arzobispo un valor atípico (2.068 mg/l), ya que en los dos primeros puntos de la RCHB las características fisicoquímicas son buenas. Lo anterior se asocia a la condición climática presente durante la jornada de monitoreo, según datos registrados por la estación pluviométrica El Granizo el 25 de enero de 2007, que reportó una precipitación de 24,6 mm, lo que evidencia un antecedente de lluvia en la cabecera, presentándose de esta manera lavado de la superficie y arrastre de partículas sólidas, como sedimentos y arenas.

En la carrera 30 con calle 53 la máxima concentración se presentó en tiempo seco, en la jornada de la mañana, y se debió a las obras civiles que se estaban realizando en el canal para el refuerzo del puente vehicular en esta zona.

En Carrefour avenida 68 por las bajas velocidades aumenta la sedimentación, es por esto que la concentración de los SST fluctuó entre 47 y 660 mg/l. En cuanto a la transversal 91 y puente Alameda, se reportaron los valores máximos de carga de SST durante las jornadas de la noche y la mañana respectivamente.

GRÁFICA 21. Comportamiento de los SST en los puntos monitoreados en el río Salitre



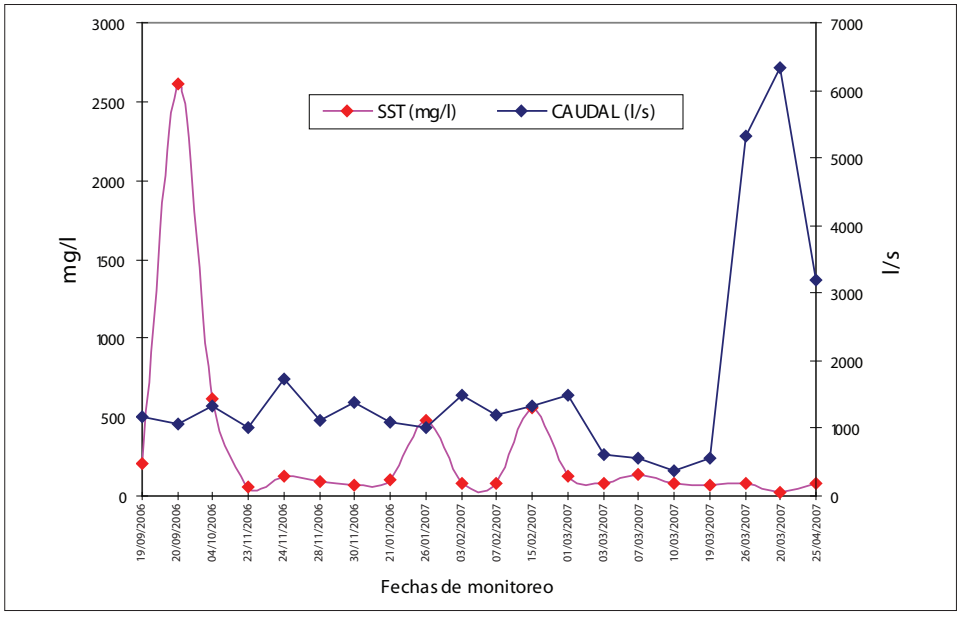
Codificación de los puntos de monitoreo

1 Parque Nacional	3 Carrera 30 calle 53	5 Transversal 91	7 Puente Alameda
2 Arzobispo carrera 7ª	4 Carrefour Av. 68	6 Planta Salitre	

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la PTAR Salitre - canal de aguas mínimas, los valores más elevados de carga de SST estuvieron influenciados principalmente por su concentración, ya que estos valores se registraron en tiempo seco. Opuesto a este comportamiento, en la transversal 91 los mayores valores de carga estuvieron relacionados directamente con el caudal; caso puntual de esto fue el del 24 de marzo de 2007, en el que se presentó una precipitación de 10,3 mm (registrada por la estación pluviométrica Casa Bombas), lo cual elevó el caudal a 8.416 l/s y consecuentemente los valores de carga calculados.

GRÁFICA 22. Puente Alameda, relación de concentración de SST vs. caudal



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la gráfica anterior se observa que en láminas bajas de agua se incrementa la sedimentación debido a las mínimas velocidades que lleva la fuente superficial en este punto.

Ahora, en Carrefour avenida 68 el comportamiento es similar al encontrado en la transversal 91 el 21 de marzo de 2007; ese día se registraron dos valores altos de precipitación en las estaciones El Granizo (23,1 mm) y Cerro Suba (25,9 mm). Este escurrimiento en la cuenca repercutió en el cálculo de la carga contaminante para los SST, ya que se incrementa el flujo de caudal. De la misma manera, el aporte de caudal y concentración del canal Rionegro y la estructura de alivio Rionuevo influyen sobre la carga evaluada en este punto.

En la carrera 30 con calle 53 el mayor valor de carga se debió a un evento de lluvia registrado el 13 de octubre de 2006, en la jornada de la noche, lo cual incrementó el caudal y la concentración de los SST.

En la carrera 7ª Arzobispo la mayor carga se registró por un valor atípico de los SST por un antecedente de lluvia, como se comentó al inicio de este ítem. En el Parque Nacional, el mayor valor de carga estuvo representado tanto por caudal como por concentración, ya que fueron los mayores valores que se reportaron en el punto durante el seguimiento y corresponden a 90 l/s y 22 mg/l.

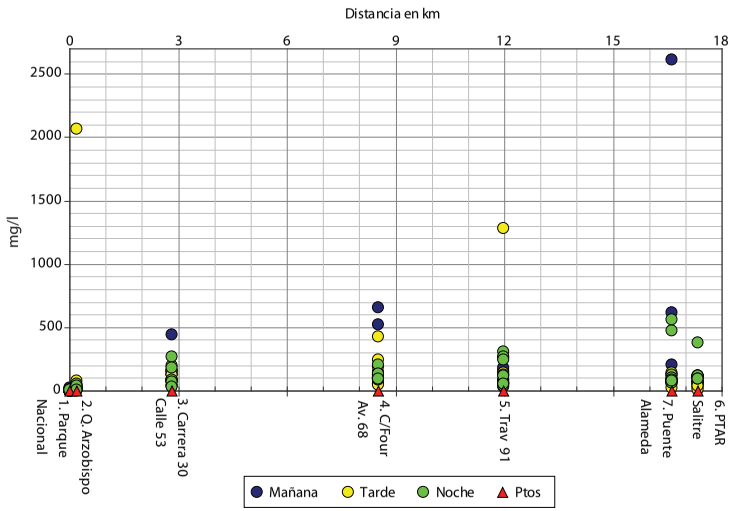
En la Tabla 34 se muestran las concentraciones mínimas, máximas, promedio y mediana de los SST en el río Salitre, y en la Gráfica 23, se ilustra el comportamiento de la concentración y carga espacial de los SST y del OD.

TABLA 34. Comportamiento de los SST en el río Salitre

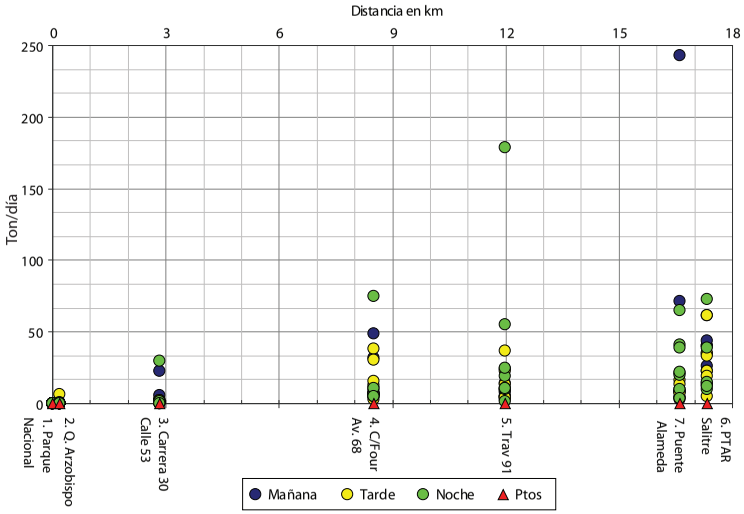
Punto de monitoreo	No. de tramo	Resolución 1813/06 del DAMA (mg/l)	Concentración de SST (mg/l) en el río Salitre			
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Parque Nacional	1	≤50	1	22	4	3
Carrera 7ª Arzobispo	2	≤150	2	2.068	126	18
Carrera 30 con calle 53	3	≤300	34	444	132	106
Carrefour avenida 68	4	≤100	47	660	184	120
Transversal 91	4	≤100	28	1.284	188	121
Puente Alameda	4	≤100	25	2.610	288	87
PTAR Salitre - Canal de aguas mínimas	4	≤100	11	380	94	88

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

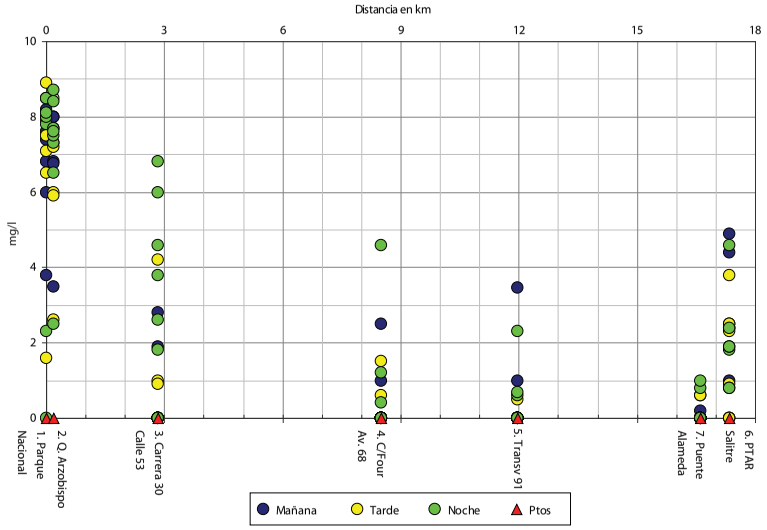
GRÁFICA 23. Concentraciones y cargas espaciales de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y del Oxígeno Disuelto (OD) en el río Salitre



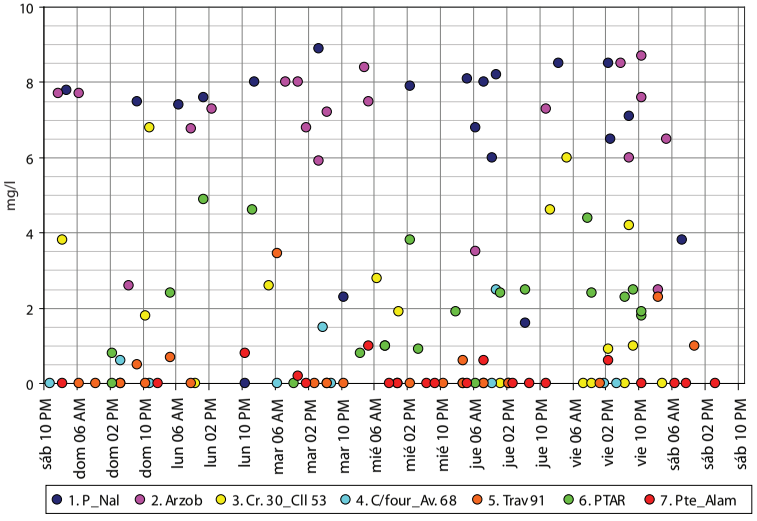
Comportamiento espacial de las concentraciones por jornada de los SST



Comportamiento espacial de las cargas por jornada de los SST



Comportamiento espacial de las concentraciones por jornada del OD



Comportamiento temporal de concentración del OD

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 35 se registran las cargas contaminantes por SST en el río Salitre.

TABLA 35. Comportamiento de la cargas de los SST en el río Salitre

Punto de monitoreo	No. de tramo	Concentración de SST (Ton/día) en el río Salitre			
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Parque Nacional	1	0,001	0,17	0,014	0,005
Carrera 7ª Arzobispo	2	0,0054	6,09	0,388	0,05
Calle 53 carrera 30	3	0,168	29,47	3,87	1,37
Carrefour avenida 68	4	2,70	74,91	16,85	7,76
Transversal 91	4	1,12	178,88	22,92	10,35
Puente Alameda	4	2,63	242,86	30,90	11,75
PTAR Salitre - Canal de aguas mínimas	4	4,74	72,90	31,08	29,58

Fuente: Convenio 005/2006 SDA y EAAB-ESP.

En el Esquema 6 se observa la apariencia física del cuerpo de agua en su inicio y algunas de las descargas en los diferentes tramos del río.

ESQUEMA 6. Registro fotográfico de los puntos sobre el cauce y descargas en los diferentes tramos en el río Salitre



Arzobispo, inicio tramo 1



Carrera 7ª Arzobispo, inicio tramo 2



Descarga calle 45 con carrera 24, tramo 2



Descarga carrera 30 con calle 53, tramo 3

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

continuación **ESQUEMA 6. Registro fotográfico de los puntos sobre el cauce y descargas en los diferentes tramos en el río Salitre**



Descarga colector La Vieja, tramo 3



Entrega del canal Rionegro al canal Salitre, tramo 3



Descarga calle 98 con carrera 91, tramo 4



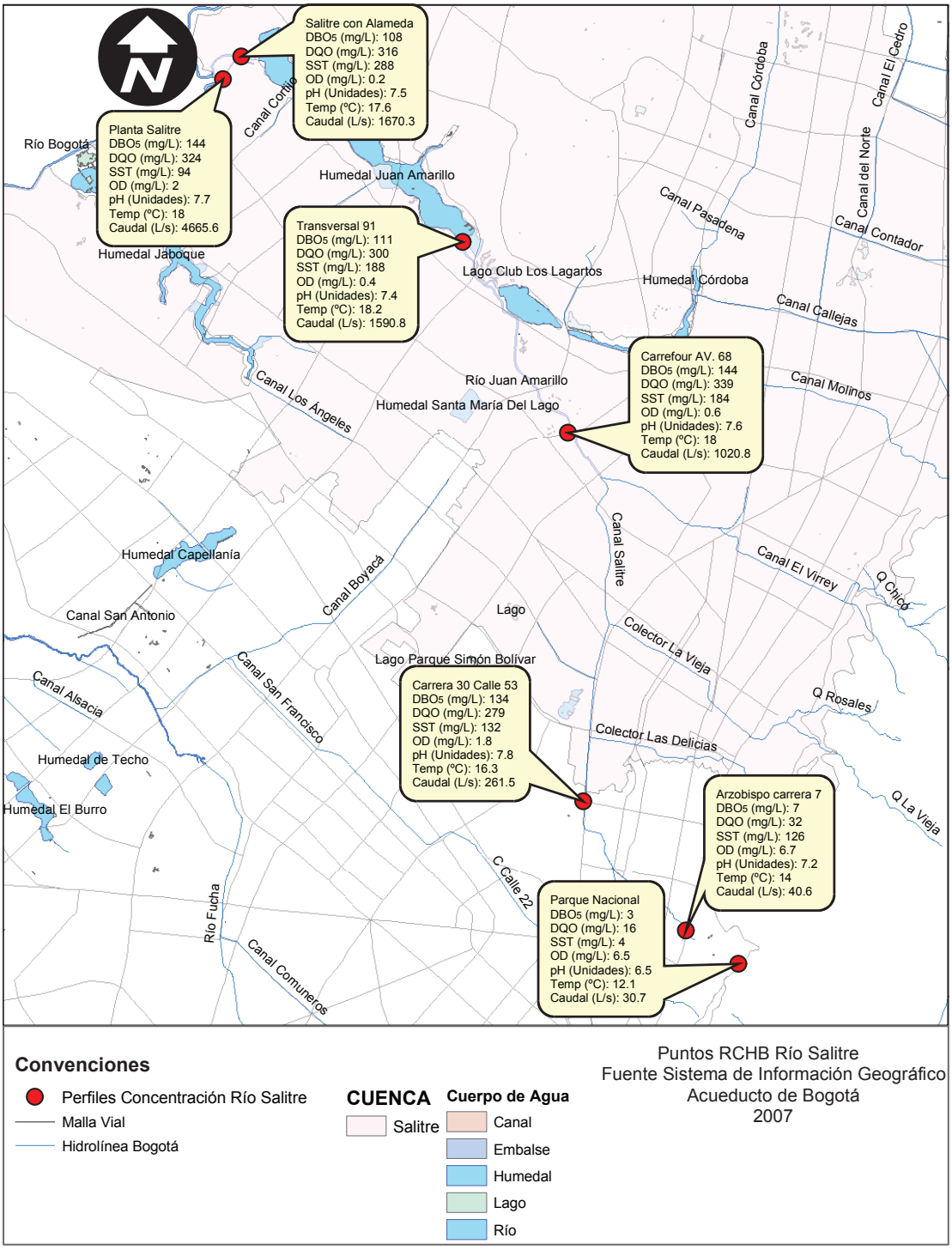
Descarga al río Salitre, tramo 4, margen izquierda

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Mapas de concentración y carga

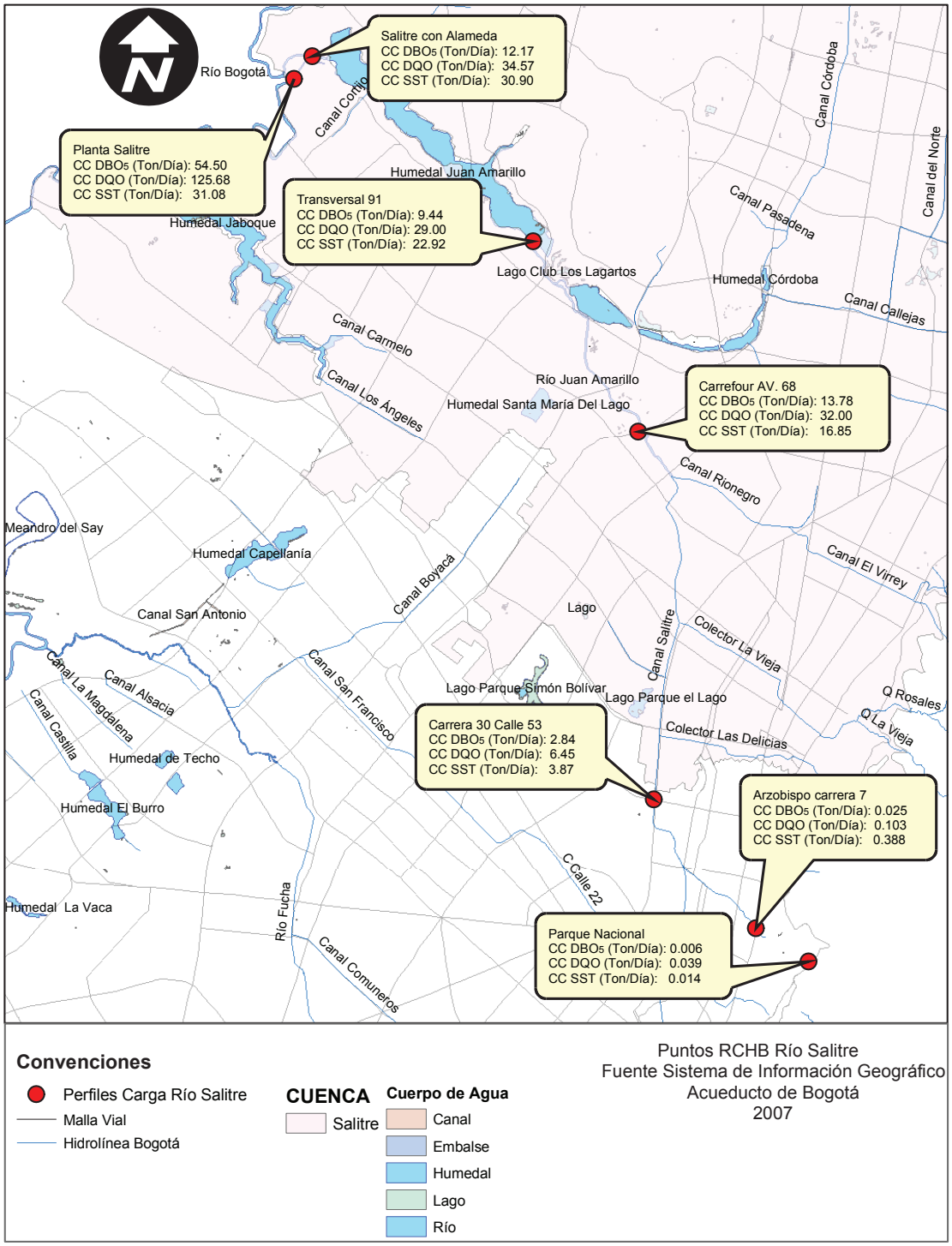
En los Mapas 12 y 13 se presentan los promedios de las concentraciones y de las cargas de los parámetros más relevantes medidos en el río Salitre.

MAPA 12. Concentraciones promedio de materia orgánica total y biodegradable, y Sólidos Suspendidos Totales (SST), valores promedio de OD, pH y temperatura en el río Salitre



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 13. **Promedio de la carga de materia orgánica total y biodegradable, y Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el río Salitre**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Índice de calidad y usos del recurso hídrico

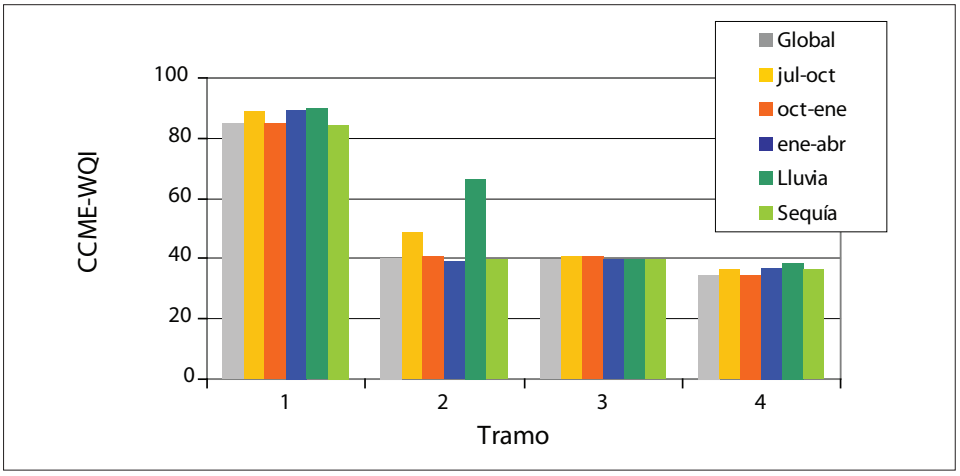
La variación de los índices de calidad en cada uno de los tramos del río Salitre y de los usos del recurso hídrico establecidos en el Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura se presenta a continuación.

Uso agrícola

La calidad del agua para uso agrícola cambió abruptamente entre el primer tramo y los tres restantes, pasando de buena, e incluso excelente calidad (84,2 - 89,0 puntos), a pobre, en prácticamente todas las ventanas temporales (34,5 - 40,8 puntos). La excepción a este comportamiento se vió en la carrera 7ª Arzobispo, el cual presentó una calidad marginal en el período de julio a octubre de 2006 (48,8 puntos) y aceptable (66,4 puntos) durante el período de precipitación (*ver Gráfica 24)*.

A partir de la carrera 7ª Arzobispo, la calidad del río Salitre para uso agrícola es pobre. Las variables que estuvieron más relacionadas con la calidad del río Salitre para este uso fueron coliformes totales y E. Coli, que presentaron un incremento importante a partir del tramo 3.

GRÁFICA 24. Variación de la calidad del agua para uso agrícola en el río Salitre



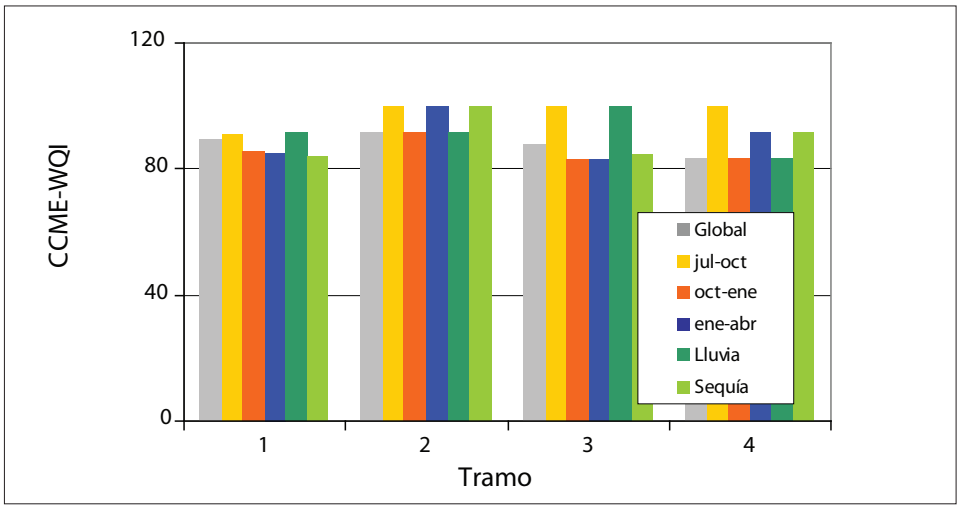
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Uso pecuario

Aun cuando se tomaron todos los datos de la RCHB en conjunto, el coeficiente de variación que se obtuvo (6,6%) sugiere que todos los puntos monitoreados conforman un conjunto estadístico bastante homogéneo. En la gráfica por tramos para el río Salitre (*ver Gráfica 25*), se observa que los puntajes de calidad están siempre por encima de 80 puntos, lo que indica que la calidad del agua es apta para este uso y que la diferencia entre las barras que represen-

tan las ventanas de tiempo empleadas es reducida. De la misma manera, en los mapas de calidad se muestra poca variación en la distribución cromática (o de los colores) entre los puntos monitoreados sobre el río y entre las ventanas temporales, por tanto, la calidad para este uso pecuario es clasificada como buena.

GRÁFICA 25. Variación de la calidad del agua para uso pecuario en el río Salitre

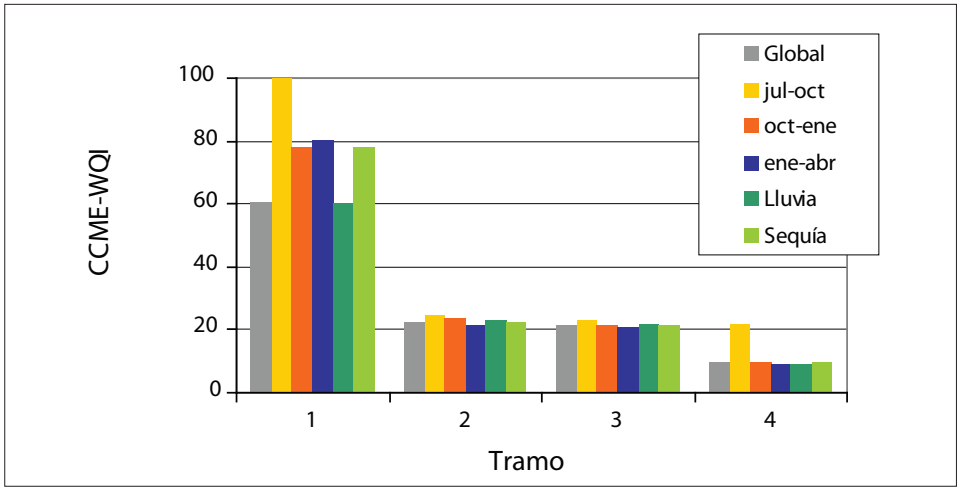


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Uso recreativo mediante contacto secundario

La calidad del río Salitre para uso recreativo mediante contacto secundario fue pobre en casi la totalidad de su recorrido (7,8 - 24,4 puntos), exceptuando el primer tramo donde está ubicado el Parque Nacional (*ver Gráfica 26*).

GRÁFICA 26. Variación de la calidad del agua para uso recreativo mediante contacto secundario en el río Salitre



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el Parque Nacional, cuando se analizó la totalidad de los datos (ventana global) la calidad del agua registró una clasificación marginal (60 puntos); en julio-octubre de 2006 fue excelente (100 puntos), en las ventanas temporales entre octubre-enero de 2007, enero-abril de 2007 y tiempo seco, la calidad estuvo entre aceptable y buena, mientras que en época de lluvia fue marginal. La variabilidad en el tramo 1 se debe en general a la fluctuación que registraron los coliformes totales.

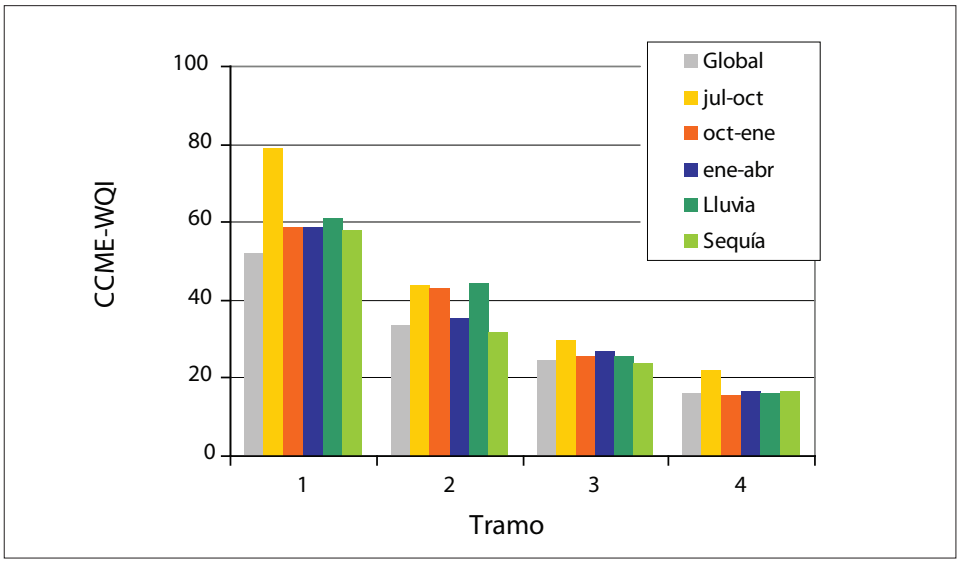
La zona más preocupante, en cuanto a calidad para uso recreativo, inicia a partir del tramo 2, observando una mejora en el período entre julio-octubre de 2006 (20 puntos) pero conservando su calidad pobre.

Las variables relacionadas con el comportamiento de la calidad para uso recreativo - contacto secundario fueron coliformes totales y tensoactivos (SAAM).

Uso para la preservación de la vida acuática

La calidad del río Salitre para la preservación de la vida acuática tuvo una oscilación espaciotemporal entre buena y pobre (79,7 - 17,1 puntos). El análisis por tramos reveló una tendencia decreciente a lo largo del transcurso del cauce (*ver Gráfica 27*), aunque en los dos primeros tramos la variación temporal fue más pronunciada.

GRÁFICA 27. Variación de la calidad del agua para preservación de la vida acuática en el río Salitre



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el primer tramo (Parque Nacional) alcanzó el máximo valor de calidad durante el período de julio-octubre de 2006 (79,7 puntos), lo que clasificó el agua de calidad aceptable. En los períodos restantes la calidad del agua se de-

terminó marginal (52,0 - 60,3 puntos). En el tramo 2 aunque la calidad es pobre, se observa una mejora en las ventanas de julio-octubre de 2006, octubre-enero de 2007 y en época de lluvia; en general la calidad estuvo entre 32 y 44 puntos.

Siguiendo el recorrido en el tramo 3, el río registra valores entre 23 y 30 puntos observando una mejora en la calidad en julio-octubre de 2006; por último el tramo 4 registra valores entre 17 y 21 puntos entregando al río Bogotá con una calidad pobre.

Usos del recurso hídrico de la cuenca del Salitre de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura

A continuación se presenta la determinación de los posibles usos del cuerpo de agua por tramos del río Salitre en comparación con los límites establecidos por el Decreto 1594 de 1984, artículo 40 (uso agrícola), artículo 41 (uso pecuario), artículo 43 (uso recreativo mediante contacto secundario) del Ministerio de Agricultura.

Tramo 1 (entrada al perímetro urbano hasta la carrera 7ª)

En este tramo se encuentra el Parque Nacional. Los valores obtenidos en este punto inicial de la RCHB en el río Salitre se comparan con los parámetros establecidos en la legislación aplicable comentada en el capítulo 2.

Respecto al arsénico, cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo, no exceden en un 100% las concentraciones obtenidas con los valores límite establecidos en la normatividad vigente, por lo anterior no se restringe el uso de la fuente para actividades agrícolas y pecuarias. Únicamente la concentración de manganeso sobrepasa el valor de referencia en 1 muestra puntual de las 20 recolectadas, asimismo el pH medido no restringe el uso del recurso para actividades agrícolas y pecuarias.

Los tensoactivos (SAAM) superaron los 0,5 mg/l establecidos para uso recreativo mediante contacto secundario en 1 muestra puntual, lo que indica que en el 95% de las concentraciones obtenidas se puede utilizar el recurso hídrico para este uso.

Los coliformes totales superan los 5.000 NMP/100 ml establecidos como valor de referencia para uso agrícola y recreativo, mediante contacto secundario, en 6 de las 20 muestras recolectadas, lo que corresponde a un 30%, que restringe el uso del recurso.

Tramo 2 (desde la carrera 7ª hasta la carrera 30)

En este tramo se encuentra el punto carrera 7ª Arzobispo. Al igual que el tramo anterior se comparan las concentraciones obtenidas con los parámetros aplicables de la normatividad.

El arsénico, cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo no sobrepasan los valores de referencia y no restringen el uso de la fuente para actividades agrícolas y pecuarias. La concentración de manganeso excede el valor de referencia en 1 muestra puntual de las 20 recolectadas, lo que corresponde a un 5% que restringe el uso del recurso hídrico para actividad agrícola. El pH medido no restringe el uso del recurso para actividades agrícolas y pecuarias.

Los tensoactivos (SAAM) superaron los 0,5 mg/l establecidos como valor de referencia para uso recreativo mediante contacto secundario en 5 muestras puntuales, mostrando así que en el 75% de las concentraciones obtenidas se puede utilizar el recurso hídrico para este uso.

Los coliformes totales sobrepasaron los 5.000 NMP/100 ml establecidos como referencia para uso agrícola y recreativo en 17 de las 20 muestras recolectadas, correspondiendo a un 85% que restringe el uso del recurso.

Tramo 3 (carrera 30 hasta la avenida 68)

En este tramo se ubica el punto de la carrera 30 con calle 53. Allí se incrementan tanto los coliformes totales como los E. Coli, restringiendo en un 100% el uso del recurso hídrico para actividades agrícolas y recreativas mediante contacto secundario.

En cuanto al pH, este superó el límite superior (9,0 U) establecido como valor de referencia para uso agrícola y recreativo en 1 muestra puntual, lo que indica que en el 95% de las concentraciones obtenidas se puede utilizar el recurso para estos usos.

Los tensoactivos (SAAM) se hallaron menores a 0,5 mg/l en 1 muestra puntual de las 20 recolectadas, señalando de esta forma que en el 95% no se puede utilizar la fuente para uso recreativo mediante contacto secundario.

Las concentraciones de metales, como el arsénico, cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel, plomo y manganeso, no restringen la utilización del recurso para actividades agrícolas y pecuarias.

Tramo 4 (avenida 68 hasta la desembocadura del río Juan Amarillo, o Salitre, a la cuenca media del río Bogotá)

En este tramo se ubican los puntos Carrefour avenida 68, transversal 91, Puente Alameda y el canal de aguas mínimas de la PTAR Salitre.

Los valores de coliformes totales y E. Coli restringen el uso del recurso hídrico para actividades agrícolas y recreativas mediante contacto secundario en todos los puntos del tramo, ya que superan los valores de referencia establecidos en la normatividad.

El pH se halló por encima de los 9,0 U en 1 muestra puntual en Carrefour avenida 68 y en Puente Alameda, y en 2 muestras en la transversal 91. En general, evaluando los 4 puntos de monitoreo en el tramo, no se restringe el uso agrícola y recreativo en un 95%.

Al igual que el tramo anterior, los tensoactivos en Carrefour avenida 68, transversal 91, Puente Alameda y PTAR Salitre canal de aguas mínimas, restringen el uso recreativo mediante contacto secundario del recurso hídrico, superando los 0,5 mg/l.

En cuanto a los metales, el comportamiento para la determinación de los usos fue el siguiente: el arsénico, cadmio, zinc, cobre, cromo y níquel no restringen la utilización del recurso hídrico para actividades agrícolas y pecuarias respectivamente. Únicamente el manganeso superó los 0,2 mg/l en Carrefour avenida 68 en 1 muestra; en la transversal 91, Puente Alameda y PTAR Salitre en 2 muestras de las 20 evaluadas; para el plomo se superaron los 0,1 mg/l para uso pecuario, en Carrefour avenida 68, y transversal 91 en 1 muestra y en Puente Alameda en 2 muestras de las analizadas.

Cumplimiento de los objetivos de calidad según la Resolución 1813 de 2006 del DAMA

El cumplimiento de los objetivos de calidad en los puntos de monitoreo en el río Salitre respecto al pH, la temperatura, la DBO_5 y el OD, en promedio cumplen con los valores admisibles establecidos en estos.

En cuanto a los SST, en el tramo 4 se presentaron concentraciones que sobrepasan los valores promedio establecidos (100 mg/l).

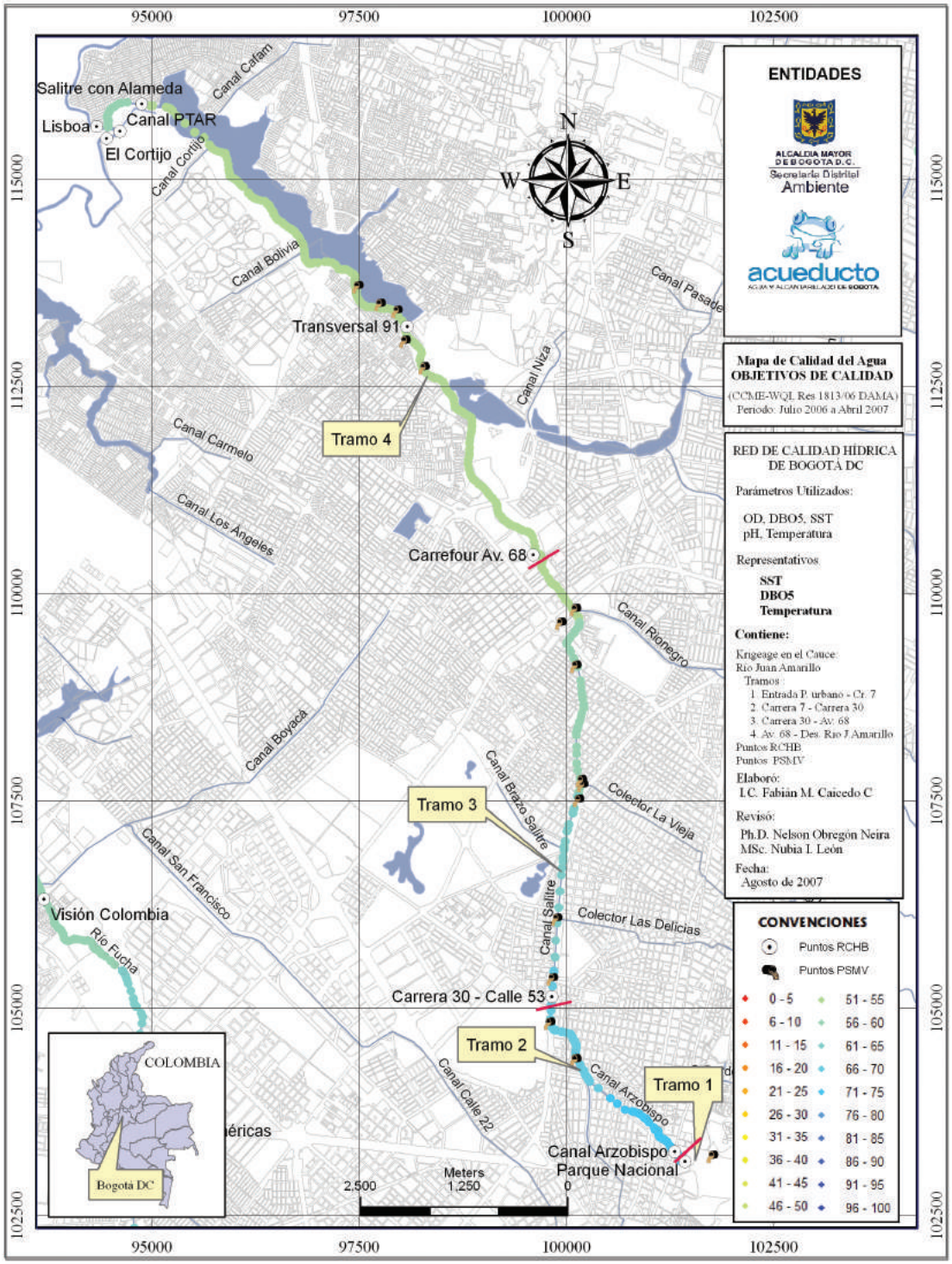
Mapas de calidad y confiabilidad

Los mapas de calidad y confiabilidad que se presentan a continuación están relacionados con los objetivos de calidad propuestos en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA, para el río Salitre en dos de los períodos más representativos del análisis: el global de los datos y la época de lluvia.

En el Mapa 14 se observa la calidad del agua según el índice CCME-WQI, evaluando los objetivos de calidad para el río Salitre.

En el Mapa 15 se ilustra la confiabilidad de estos resultados para el total de los datos del monitoreo.

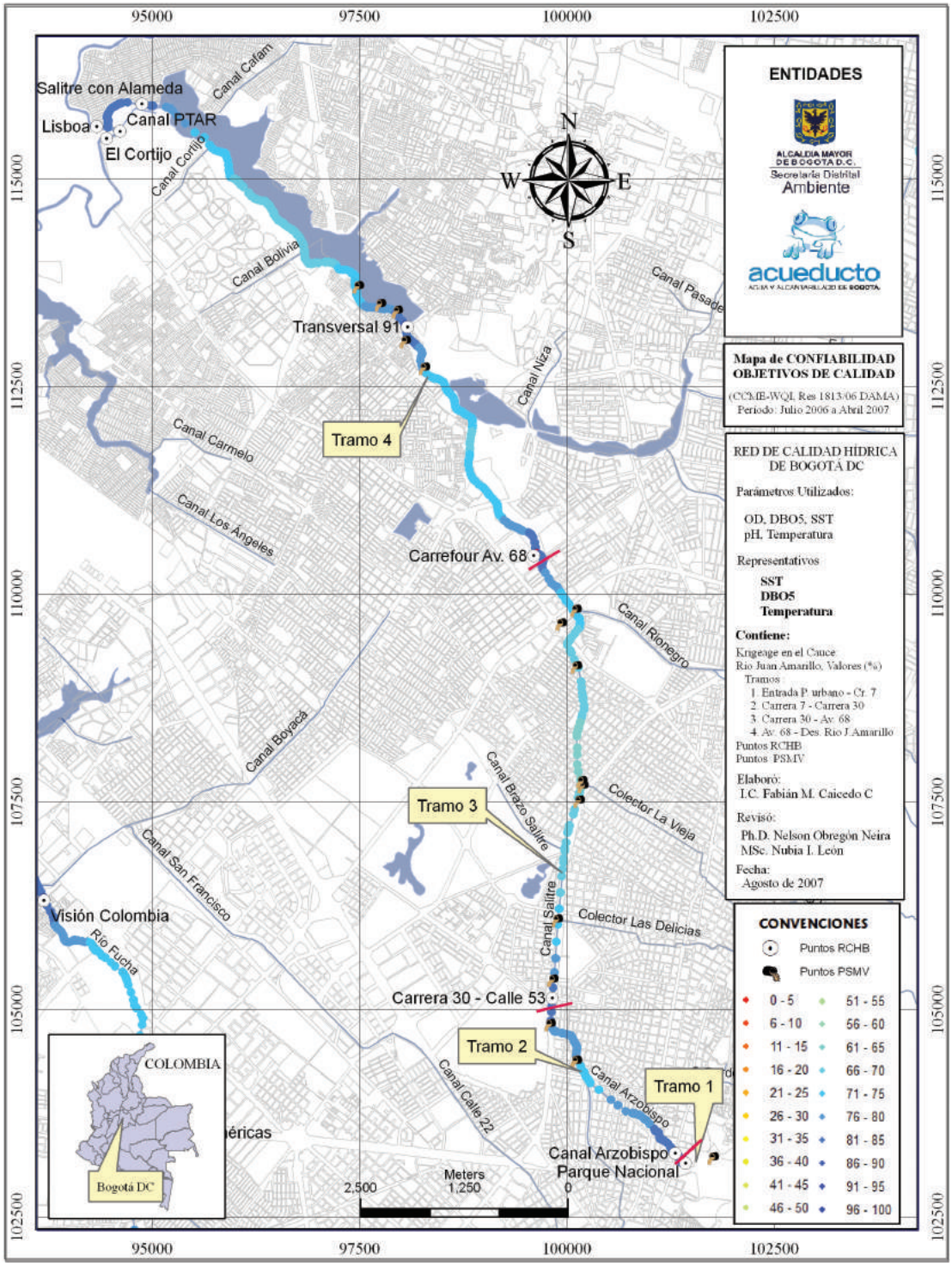
MAPA 14. Objetivos de calidad según la Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa global de los datos en el río Salitre



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 15. **Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad. Mapa global de los datos en el río Salitre**

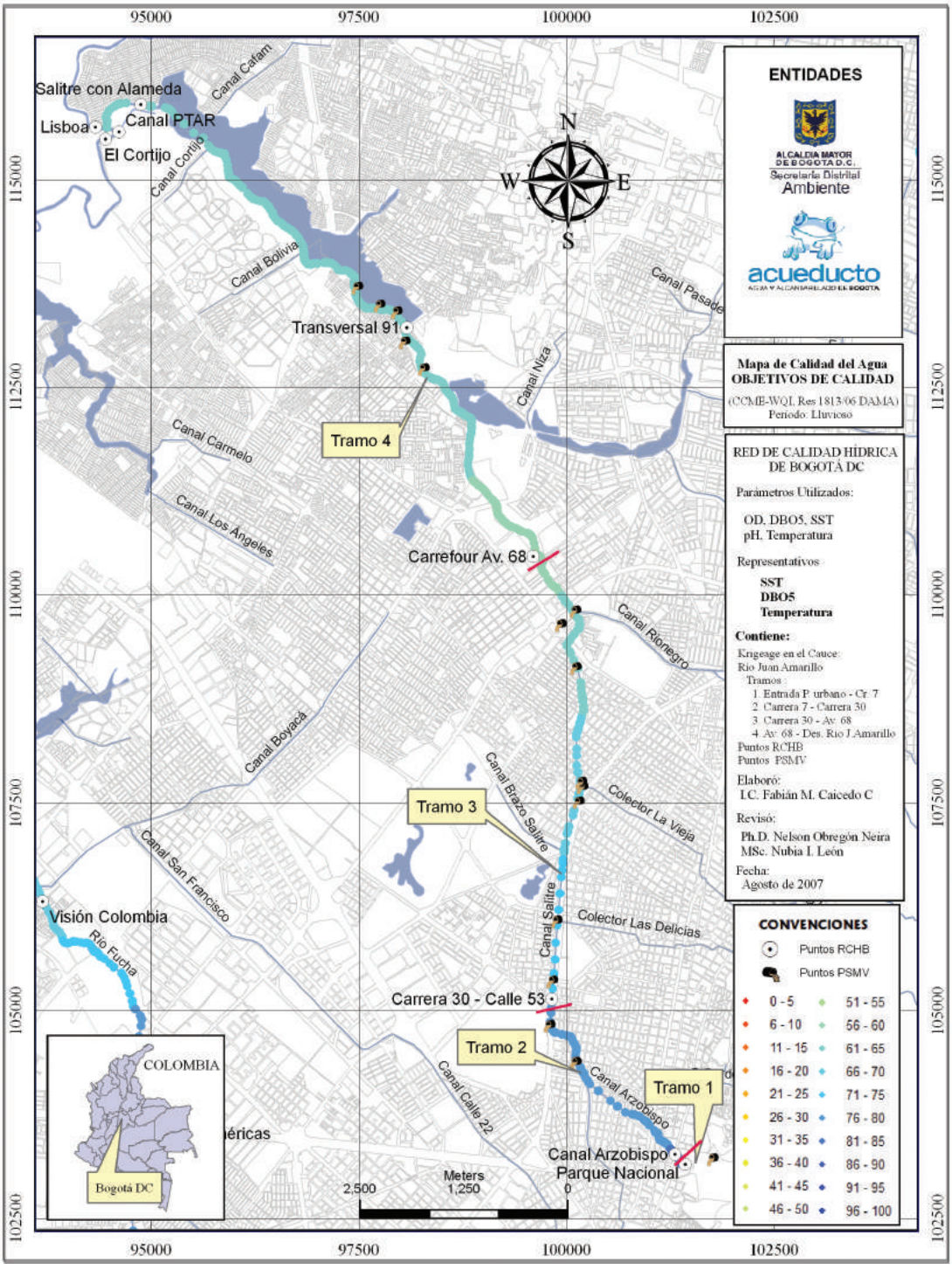


Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

La discretización temporal en todo el período de monitoreo mostró similitud entre las ventanas estudiadas. En el Mapa 16 se presenta el comportamiento de la calidad del agua en la época lluviosa.

MAPA 16. Objetivos de calidad según la Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa época lluviosa en el río Salitre

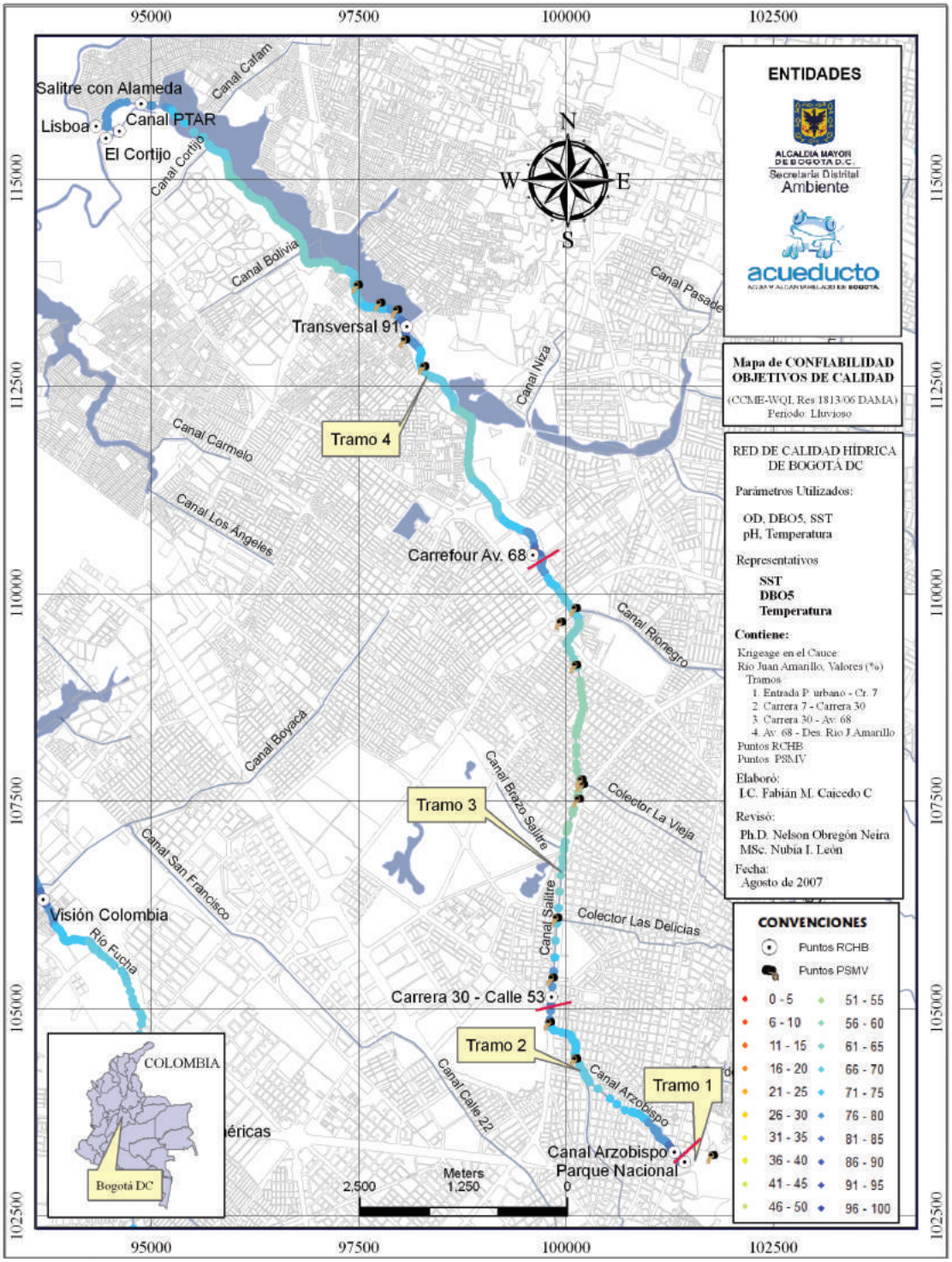


Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el Mapa 17 se presenta la confiabilidad porcentual de los valores obtenidos para la calidad del agua en el período considerado como lluvioso.

MAPA 17. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad. Mapa época lluviosa en el río Salitre



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Río Fucha

Descripción de la cuenca

La cuenca del río Fucha comprende un área de 12.991 hectáreas urbanas y 4.545 hectáreas en la parte rural (correspondiente a los cerros orientales). Está localizada en el sector centro-sur del Distrito Capital, y drena las aguas de oriente a occidente para finalmente entregarlas al río Bogotá. Presenta pendientes pronunciadas que oscilan entre 5,4% y 0,04%.

El eje principal de drenaje de la cuenca tiene una longitud total de 24,34 km, inicia en la zona suroriental de la misma donde recibe el nombre de río San Cristóbal. A partir de la carrera 10ª con calle 11 sur sigue su recorrido con un alineamiento en sentido suroriente-noroccidente hasta el cruce con la avenida Boyacá. Desde la carrera 7ª con calle 11 sur se encuentra canalizada con una sección trapezoidal revestida en concreto hasta la avenida Boyacá. En este punto se encuentra con su cauce natural que toma dirección oriente-occidente, hasta desembocar en el río Bogotá, en inmediaciones de la Zona Franca de Fontibón.

Hace parte de esta cuenca los canales San Blas, Los Comuneros, Albina, Río Seco y las quebradas Finca, San José, La Peña, Los Laches, San Cristóbal, San Francisco, Santa Isabel, Honda, entre otras. Como ecosistemas asociados se encuentran los humedales de Techo, El Burro, La Vaca, Capellanía y Meandro del Say.

La red de alcantarillado de esta cuenca consta de tres sistemas (combinado, pluvial y sanitario) con una longitud existente de 1.787 km. La red combinada está localizada al oriente de la cuenca y drena, a través de los respectivos canales e interceptores, hacia un área donde el sistema está separado (pluvial y sanitario).

La parte más antigua de la cuenca tiene un sistema combinado, conformado por las subcuencas Universidad Nacional, calle 22, San Francisco, San Agustín, transversal 19, Los Comuneros y El Ejido. En las partes más nuevas de este sector (San Blas, Fucha Alto, Albina, Río Seco en su parte sur) se drena sus aguas por medio de interceptores que cuentan con estructuras de alivio, las cuales descargan a un sistema pluvial de canales cuando se presentan eventos de lluvia. Al occidente del sistema combinado se construyeron redes de tipo separado, constituidos por las subcuencas de los canales Boyacá, San Francisco, Los Comuneros, Fucha Bajo, Albina bajo y Río Seco bajo. El esquema según el cual se concibieron todos estos sistemas consiste en un eje central de drenaje conformado por un canal destinado a transportar las aguas lluvias, acompañado, a cada lado, por un interceptor paralelo encargado de drenar las aguas residuales.

Fuentes de contaminación hídrica

Las principales fuentes de contaminación en el río Fucha corresponden a los vertimientos que fueron identificados en la ejecución de la fase VII del Programa de Seguimiento y Monitoreo de la calidad del recurso hídrico (Convenio 033 de 2003) y corroborados en el PSMV de 2006 de la EAAB-ESP (*ver de la Tabla 36 a la Tabla 39*).

TABLA 36. Vertimientos tramo 1 río Fucha

TRAMO 1 (Entrada perímetro urbano hasta carrera 7ª)						Impacto
Identificación del punto		Coordenadas		Código	Margen descarga	
1	Ubicado en la carrera 5A Este, calle 12 Sur	4,34280	74,04496	FT-1-16	Derecha	Alto
2	Canal San Blas ubicado en la carrera 4ª, calle 13 Sur	4,34222	74,04536	FT-1-21	Izquierda	Alto

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

TABLA 37. Vertimientos tramo 2 río Fucha

TRAMO 2 (Carrera 7ª hasta desembocadura canal Los Comuneros)						Impacto
Identificación del punto		Coordenadas		Código	Margen descarga	
1	Frente al CASD río Fucha, carrera 8ª diagonal 13 Sur	4,34484	74,05247	FT-2-10	Derecha	Alto
2	Ubicado en la carrera 10ª con calle 13 Sur, 20 metros aguas abajo	4,34436	74,05156	FT-2-13	Izquierda	Bajo
3	Ubicado en la carrera 10ª con calle 13 Sur, 20 metros aguas abajo	4,34472	74,05251	FT-2-09	Derecha	Alto
4	Canal Albina, calle 17B Sur carrera 39	4,36052	74,06586	FT-2-64	Izquierda	Alto
5	Diagonal 17 carrera 41C Sur	4,36119	74,07029	FT-2-73	Derecha	Bajo
6	Canal Río Seco diagonal 17 Sur	4,36261	74,0710	FT-2-87	Izquierda	Bajo
7	Avenida carrera 46 diagonal 17 Sur	4,36241	74,07093	FT-2-84	Derecha	Bajo
8	Transversal 48A No. 17 Sur	4,36294	74,07116	FT-2-89	Izquierda	Bajo
9	Transversal 56 diagonal 1	4,36587	74,07272	FT-2-123	Izquierda	Bajo
10	Canal Los Comuneros diagonal 3A por carrera 68B Bis	4,37308	74,07355	FT-2-149	Derecha	Alto

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

TABLA 38. Vertimientos tramo 3 río Fucha

TRAMO 3 (Desembocadura canal Los Comuneros hasta Av. Boyacá)						Impacto
Identificación del punto		Coordenadas		Código	Margen descarga	
1	Carrera 68B Bis calle 4	4,37335	74,07354	FT-3-01	Izquierda	Bajo
3	100 metros aprox. aguas abajo del puente de la avenida de Las Américas	4,37584	74,07326	FT-3-20	Derecha	Bajo
4	Costado oriental del Fucha a 200 metros aprox. aguas abajo del puente de Las Américas	4,37477	74,07335	FT-3-18	Derecha	Bajo
5	Frente a la Clínica La Paz	4,38275	74,07261	FT-3-46	Derecha	Alto
6	Costado norte del Fucha 500 metros aprox. aguas arriba del puente avenida Boyacá con el Fucha	4,38501	74,07436	FT-3-48	Derecha	Alto
7	Al norte 60 metros de la calle 11 costado oriental del Fucha	4,38104	74,07284	FT-3-32	Derecha	Bajo
8	Costado norte del Fucha 300 metros aprox. aguas arriba de la interseccion de la avenida Boyacá	4,38441	74,07341	FT-3-50	Derecha	Bajo

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

TABLA 39. Vertimientos tramo 4 río Fucha

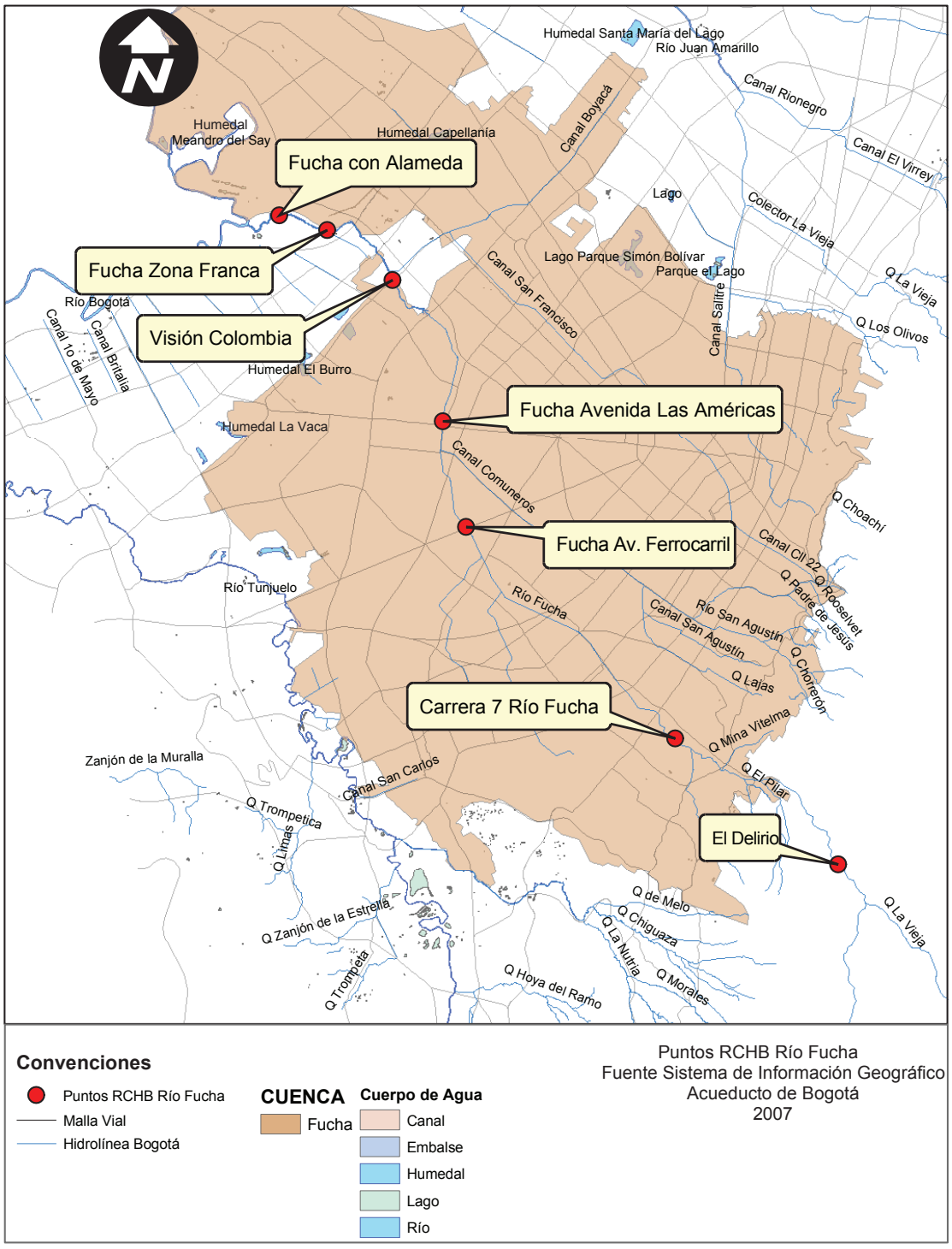
TRAMO 4 (Av. Boyacá hasta desembocadura río Bogotá)						Impacto
Identificación del punto		Coordenadas		Código	Margen descarga	
1	Interceptor Boyacá - 30 metros aguas abajo del Fucha con la Av. Boyacá	4,38538	74,07448	FT-4-01	Derecha	Alto
2	Interceptor Fucha a 100 metros aguas abajo de Fucha con la Av. Boyacá	4,38554	74,07461	FT-4-02	Izquierda	Alto
3	Situado en la carrera 75 con Fucha costado Sur	4,39092	74,08019	FT-4-11	Derecha	Bajo
4	Interceptor del Sur	4,38551	74,07542	FT-4-03	Izquierda	Alto
5	Estación de Bombeo el Vergel - Río Fucha con avenida Ciudad de Cali	4,39284	74,08131	FT-4-25	Izquierda	Bajo
6	Interceptor Kennedy, a 50 metros aguas abajo del Fucha con la carrera 78	4,39137	74,08046	FT-4-15	Izquierda	Alto
7	Carrera 79 con río Fucha	4,39007	74,0758	FT-4-06	Izquierda	Bajo
8	Carrera 79A río Fucha	4,39071	74,08009	FT-4-09	Derecha	Bajo
9	Carrera 79B calle 76D	4,39095	74,08025	FT-4-12	Derecha	Bajo
10	Carrera 81G y 82A	4,39244	74,08096	FT-4-22	Izquierda	Bajo
11	Estación de bombeo Fontibón	4,39432	74,08497	FT-4-42	Izquierda	Alto

Fuente: PSMV. EAAB-ESP, 2006.

Localización de los puntos de monitoreo

El río Fucha se dividió en cuatro tramos, y de esta forma se determinaron los objetivos de calidad en el cuerpo de agua citados en la legislación aplicable (Resolución 1813/06 del DAMA). El cauce del río Fucha se encuentra monitoreado en 7 puntos, en los cuales se analizaron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos (*ver Mapa 18 y Tabla 40*).

MAPA 18. **Ubicación de los puntos monitoreados de la RCHB en el río Fucha**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 40. **Puntos de monitoreo de la red de calidad hídrica en el río Fucha**

Cuenca	Estación	Tramo Fuente	Abscisado	Coordenadas geográficas WGS84	
				Latitud	Longitud
RÍO FUCHA	El Delirio	1	K0+000	4,33133	74,03381
	Carrera 7ª río Fucha	2	K4+431	4,34396	74,05201
	Fucha avenida Ferrocarril	2	K10+206	4,36436	74,07198
	Avenida Las Américas	3	K12+304	4,37466	74,07341
	Visión Colombia	4	K15+559	4,38458	74,07367
	Zona Franca	4	K17+483	4,39408	74,08417
	Fucha con Alameda	4	K18+498	4,39419	74,08426

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el Esquema 7 se observan los puntos de monitoreo al inicio y al final del río Fucha.

ESQUEMA 7. **Puntos de monitoreo de la RCH en el río Fucha**



Río Fucha, El Delirio



Río Fucha con Alameda

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Análisis de precipitación

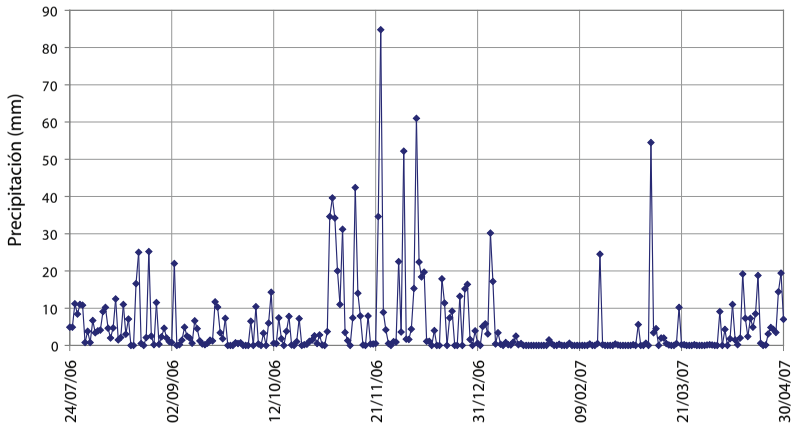
Para el estudio de los eventos de precipitación y la correlación con los valores de concentración de los diferentes parámetros medidos, se utilizaron los registros de las estaciones hidroclimatológicas de la EAAB-ESP más cercanas a los puntos de monitoreo de la red; para el río Fucha se seleccionaron tres estaciones: Fontibón, El Delirio y Santa Lucía.

En la Gráfica 28 se ilustra el análisis lineal de la serie precipitación para la cuenca del río Fucha. Se observa en la gráfica que el valor promedio de precipitación para esta cuenca es de 5,72 mm, así como también puede observarse que el rango de precipitaciones, de 0 a 10 mm, tiene mayor probabilidad de ocurrencia según el histograma obtenido.

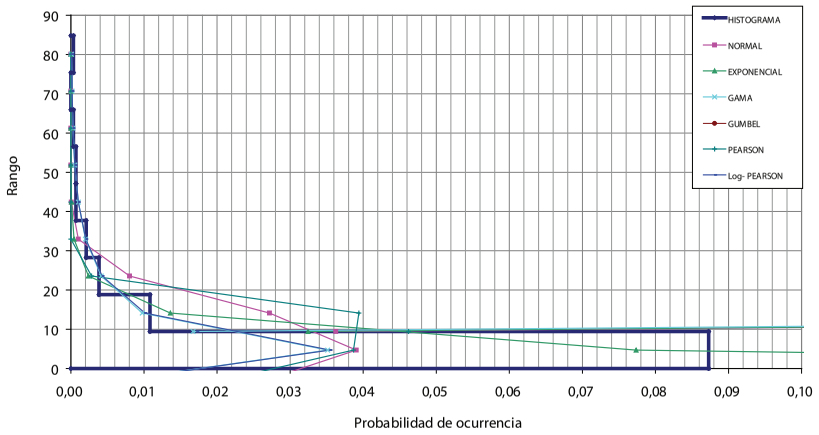
Por otro lado, el diagrama de autocorrelación de la serie presenta una relación o un patrón dominante conocido también como memoria del proceso, el cual, según criterios de evaluación adoptados, permite inferir que se tiene aún correlación con la lluvia caída 5 días antes. En el períodograma se presentan picos predominantes asociados a eventos de ocurrencia periódica, pero el más representativo puede estarse repitiendo cada 120 días en promedio.

El comportamiento de la precipitación en esta cuenca se asemeja a la del río Salitre.

GRÁFICA 28. Análisis lineal de la serie de precipitación para la cuenca del río Fucha



Precipitación durante el período de monitoreo en la cuenca del río Fucha



Histograma de frecuencias análisis de precipitación cuenca del río Fucha

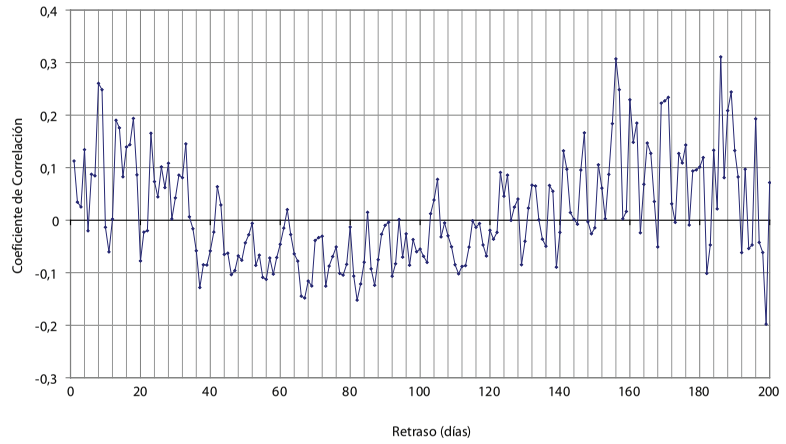
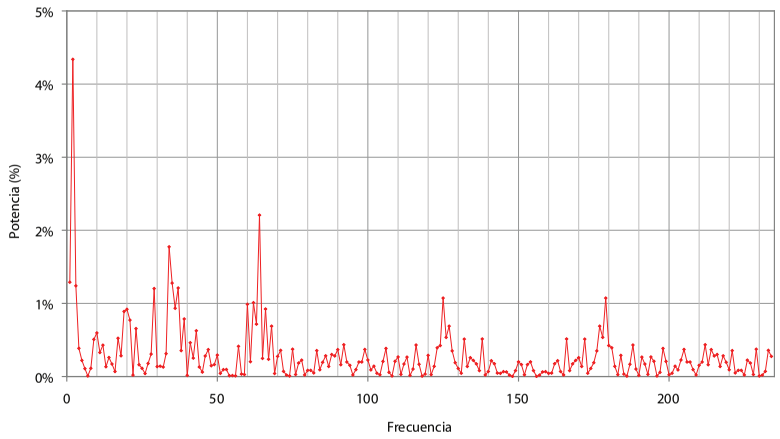


Diagrama de autocorrelación de la precipitación en la cuenca del río Fucha



Períodograma serie de precipitación cuenca del río Fucha

Fuente: Convenio 05/2006 SDA - EAAB-ESP.

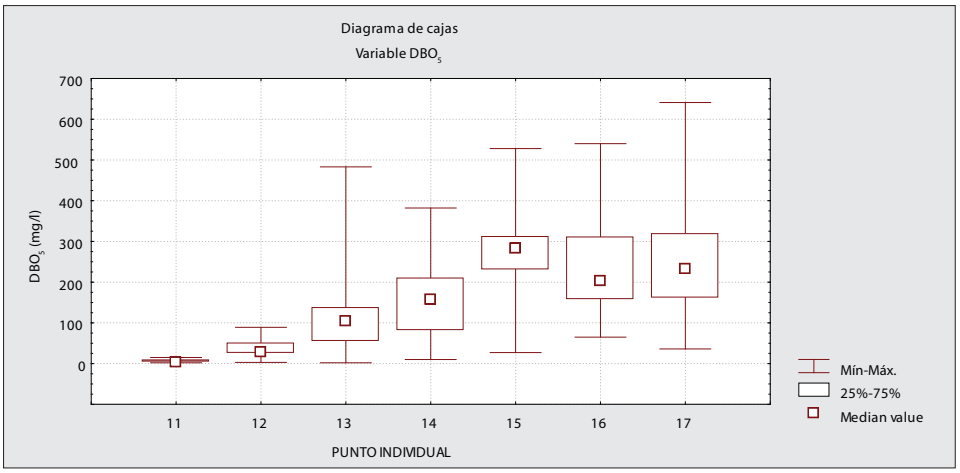
Análisis de los parámetros evaluados

A continuación se realizan los comentarios de los resultados obtenidos en los parámetros evaluados en el río Fucha.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

De acuerdo con el análisis estadístico, el comportamiento de la concentración de la DBO_5 en los puntos monitoreados en el río Fucha, ilustran un aumento en la concentración a medida que el río recorre la ciudad, llegando a valores de 243 mg/l. En la Gráfica 29 se observa que estos aumentos en la concentración generan diferencias significativas al aplicar la prueba de Tukey entre los primeros puntos de la corriente El Delirio, carrera 7ª río Fucha y Fucha avenida Ferrocarril, con los puntos Visión Colombia, Zona Franca y Fucha con Alameda.

GRÁFICA 29. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos monitoreados en el río Fucha



Codificación de los puntos de monitoreo

11 Delirio	13 Avenida Ferrocarril	15 Visión Colombia	17 Fucha con Alameda
12 Carrera 7 río Fucha	14 Fucha Avenida Las Américas	16 Fucha Zona Franca	

Fuente: Convenio 05/2006 SDA - EAAB-ESP.

Entre El Delirio y carrera 7ª río Fucha, hay varias descargas de origen residual doméstico, ya que en esta zona el alcantarillado es combinado. Asimismo se encuentra la entrega del canal San Blas que también lleva consigo materia orgánica biodegradable (*ver Esquema 8*).

ESQUEMA 8. Primer punto de la RCHB sobre el río Fucha y canal San Blas



Punto El Delirio



Canal San Blas

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el cuerpo de agua, en forma similar entre carrera 7ª río Fucha y Fucha avenida Ferrocarril se encuentran varios vertimientos de origen doméstico. Aguas abajo de la carrera 10ª en las dos márgenes, también hay dos descargas que aportan caudal y concentración al cuerpo de agua, así como las afluencias de los canales Albina y río seco.

Entre las avenidas Ferrocarril y Las Américas, en el canal del Fucha, se encuentra la entrega del canal Los Comuneros el cual en su trayecto recibe varias descargas de origen doméstico e industrial.

En el tramo entre avenida Las Américas y Visión Colombia, correspondiente al tramo 4, descargan al cuerpo de agua vertimientos de origen residual industrial del sector de Montevideo y los interceptores Fucha, Boyacá y el Sur, siendo catalogados estos aportes como las cargas contaminantes más representativas en el cauce.

Las descargas entre Visión Colombia y Zona Franca son el interceptor Kennedy, la estación de bombeo El Vergel, el canal San Francisco y la descarga del frigorífico San Martín, aguas abajo de la avenida Ciudad de Cali.

Finalmente, en el tramo entre Zona Franca y Alameda se encuentra el aporte de la estación de bombeo Fontibón.

ESQUEMA 9. Algunos vertimientos identificados en el PSMV de la EAAB-ESP en el trayecto del río Fucha



Canal Albina (calle 17B sur con carrera 39)



Interceptor Fucha izquierdo

continúa

continuación **ESQUEMA 9. Algunos vertimientos identificados en el PSMV de la EAAB-ESP en el trayecto final del río Fucha**



Descarga interceptor Kennedy



Estación de bombeo Fontibón

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El incremento de la materia orgánica biodegradable en los diferentes puntos de la RCHB en el río Fucha está relacionado con el aporte de las diferentes descargas ubicadas a lo largo del cauce. El valor máximo que se registró para este parámetro fue de 641 mg/l en Fucha con Alameda, de acuerdo con la Resolución 1813/06 del DAMA. Este valor se registró en marzo de 2007, al inicio del período de lluvia. Sin embargo, el promedio mayor para este parámetro se presentó en Visión Colombia (283 mg/l) y los valores mínimos se registraron en los 3 primeros puntos de monitoreo (2 mg/l). En El Delirio se presentaron los menores valores en promedio para la DBO_5 (3 mg/l); a partir de la avenida Las Américas los valores máximos se registraron en el período de la noche.

En general, se observó una tendencia creciente para este parámetro a lo largo del recorrido del río. La variabilidad temporal entre jornadas también aumentó hacia los últimos puntos evaluados. De este modo, mientras que en El Delirio podría ser necesario una sola medición para representar un día, en otros como Fucha con Alameda podría requerirse un mayor número de mediciones en el aspecto temporal diario.

En la Tabla 41 se registra el comportamiento de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

Los valores máximos de la DBO_5 se deben al arrastre de material en tiempo de lluvia. Así fue como pasó en El Delirio, en marzo 18 de 2007 se registró en 15 mg/l y en la carrera 7ª río Fucha en abril 2 de 2007 se reportó un valor de 89 mg/l, lo cual se relaciona con el reporte de la estación hidrometeorológica El Delirio la cual registró antecedentes de lluvia para estos días.

En Fucha avenida Ferrocarril, en la jornada de la tarde, se presentó el mayor valor en condiciones secas, lo que se asocia a las descargas de aguas residuales.

En la avenida Las Américas, en la jornada de la noche y en condiciones secas, se presentó la mayor concentración en la jornada del 12 de marzo de 2007. Es de anotar que en este punto se evidencia el aporte del canal Los Comu-

neros, el cual recibe vertimientos de origen residual en su trayectoria antes de entregar al río Fucha.

TABLA 41. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Fucha

Punto de monitoreo	Objetivos de Calidad Resolución1813/06 del DAMA (mg/l)	No. de tramo	Concentración de la DBO_5 en el río Fucha (mg/l)			
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
El Delirio	<100	1	2	15	3	2
Carrera 7ª río Fucha	<250	2	2	89	36	28
Fucha avenida Ferrocarril	<250	2	2	483	126	104
Avenida Las Américas	<250	3	10	382	156	157
Visión Colombia	<300	4	27	528	283	283
Zona Franca	<300	4	65	540	235	202
Fucha con Alameda	<300	4	36	641	243	232

Fuente: Convenio 005/2006 SDA y EAAB-ESP.

En los puntos del tramo 4 (Visión Colombia, Zona Franca y Fucha con Alameda) las mayores concentraciones en la fuente superficial se detectaron en la jornada de la noche, lo que se asocia a las descargas de los interceptores del Sur, Boyacá, Fucha y Kennedy y de la estación de bombeo Fontibón. Adicional a estas descargas, en este tramo hay influencia de descargas que no son de la EAAB-ESP y que se relacionan con el sector productivo, el cual aporta una cantidad considerable de materia orgánica biodegradable al cuerpo receptor.

En promedio las concentraciones no exceden los valores establecidos en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA.

En la Tabla 42 se presenta el comportamiento del caudal en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

TABLA 42. Comportamiento del caudal en los puntos de monitoreo en el río Fucha

Punto de monitoreo	Caudal (l/s) en los puntos de monitoreo en el río Fucha			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
El Delirio	24	4297	387	119
Carrera 7ª río Fucha	205	2402	635	451,5
Fucha Avenida Ferrocarril	225	16634	1599	579,2
Avenida Las Américas	421	9553	1944	955,1
Visión Colombia	2968	15440	5738	5068,5
Zona Franca	2304	15168	6575	6272
Fucha con Alameda	3314	43813	9168,6	6583,2

Fuente: Convenio 005/2006 SDA y EAAB-ESP.

Las cargas máximas de DBO_5 y DQO (349,09 y 2389,59 Ton/día respectivamente) se presentaron en Fucha con Alameda durante noviembre de 2006, que corresponde al período de lluvias. Las cargas mínimas (DBO_5, 0,004 Ton/día y DQO 0,011 Ton/día) se registraron en El Delirio durante enero de 2007, correspondiente al período seco.

En la Tabla 43 se presenta el comportamiento de la carga de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

TABLA 43. Comportamiento de la carga de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Fucha

Punto de monitoreo	No. del tramo	Carga DBO_5 en el río Fucha (Ton/día)		
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
El Delirio	1	0,004	1,114	0,088
Carrera 7ª río Fucha	2	0,069	5,396	1,499
Fucha avenida Ferrocarril	2	0,065	44,45	9,517
Avenida Las Américas	3	0,503	141,02	21,77
Visión Colombia	4	28,49	238,88	122,61
Zona Franca	4	19,92	343,20	130,36
Fucha con Alameda	4	25,81	349,09	151,96

Fuente: Convenio 005/2006 SDA y EAAB-ESP.

Las mayores cargas contaminantes en El Delirio, carrera 7ª, avenida Las Américas y Fucha con Alameda se reportaron por caudal y en Fucha avenida Ferrocarril, Visión Colombia y Zona Franca por concentración.

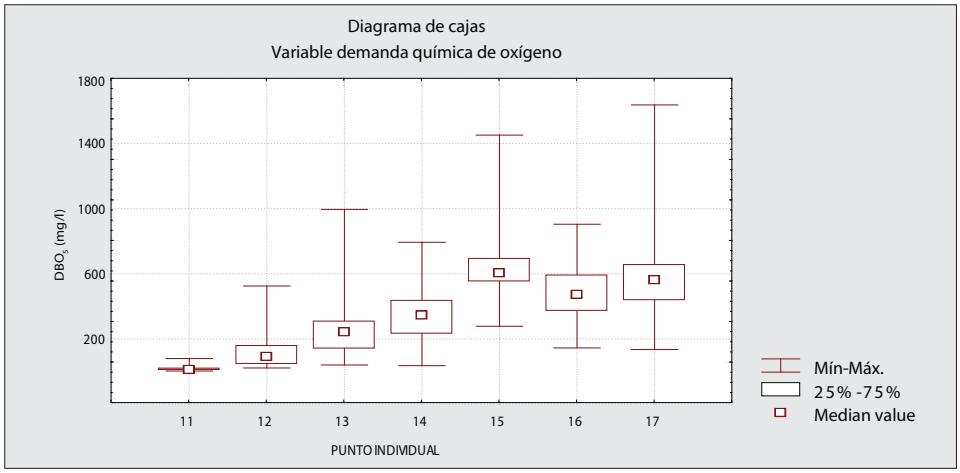
Espacialmente los puntos que reflejan los mayores aportes de carga contaminante son los de Visión Colombia, con 238,8 Ton/día, Zona Franca con 343,2 Ton/día y Fucha con Alameda con 349 Ton/día. En este último tramo se realiza las descargas de los interceptores Fucha, Boyacá, Sur y Kennedy, además la estación de bombeo Fontibón.

En Fucha avenida Ferrocarril, el aporte es de 44,45 Ton/día, generadas por las descargas presentes en la carrera 10ª (ambos márgenes), establecidas en el PSMV de la EAAB-ESP. En la avenida Las Américas las cargas contaminantes se deben al aporte del canal Los Comuneros.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la Gráfica 30 se observa un aumento en la concentración a medida que se avanza en el recorrido del río, llegando a un valor promedio de 621 mg/l. Debido a estos aumentos en la concentración, cuando se compararon estadísticamente los primeros puntos de la corriente (El Delirio y carrera 7ª río Fucha) con los puntos Fucha avenida Ferrocarril, Visión Colombia, Zona Franca y Fucha con Alameda, se encontraron diferencias significativas con un 95% de confianza. También se presentaron diferencias entre Fucha avenida Ferrocarril con Visión Colombia y Fucha con Alameda.

GRÁFICA 30. Comportamiento de la DQO en los puntos monitoreados en el río Fucha



Codificación de los puntos de monitoreo

11 El Delirio	13 Avenida Ferrocarril	15 Visión Colombia	17 Fucha con Alameda
12 Carrera 7ª río Fucha	14 Fucha Avenida Las Américas	16 Fucha Zona Franca	

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 44. Concentraciones de la DQO en los puntos monitoreados en el río Fucha

Punto de monitoreo	No. del tramo	Concentración de la DQO en el río Fucha (mg/l)			
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
El Delirio	1	3	80	17	9
Carrera 7ª río Fucha	2	22	525	125	90
Fucha Avenida Ferrocarril	2	40	995	299	242
Avenida Las Américas	3	36	793	359	345
Visión Colombia	4	278	1.451	645	604
Zona Franca	4	145	904	499	471
Fucha con Alameda	4	135	1.636	621	561

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Se observó un incremento de las concentraciones de la DQO a medida que el río hace su recorrido de oriente a occidente. Igualmente, existe una tendencia al aumento en valores máximos en horario nocturno y a su disminución en las horas de la mañana.

En El Delirio el mayor valor de la DQO se registró en tiempo seco, en la jornada de la noche, y en la carrera 7ª río Fucha fue en tiempo seco durante la jornada de la tarde; en este punto se tiene la influencia del canal San Blas y de la descarga identificada en el primer tramo.

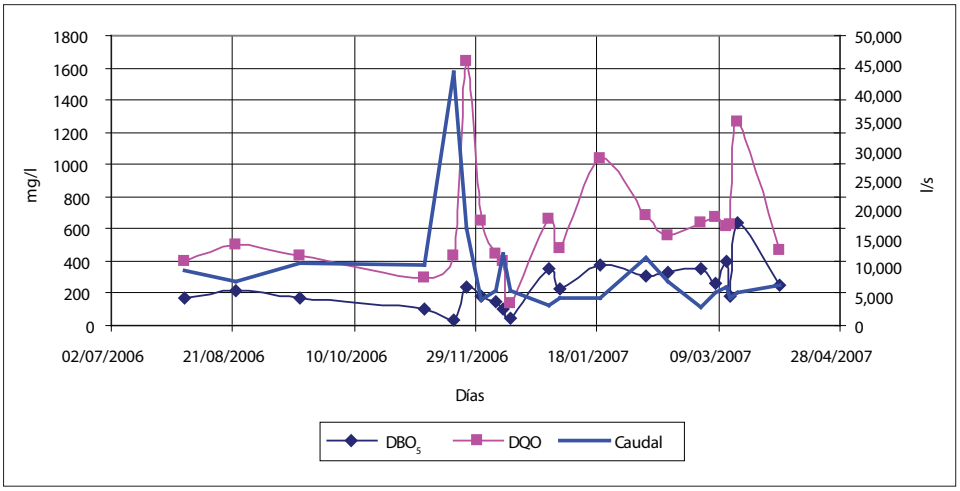
En Fucha avenida Ferrocarril, en la misma jornada donde se presentó el mayor valor de la DBO_5, se registró el mayor valor de la DQO, lo que muestra la influencia de los vertimientos de la carrera 10ª en ambas márgenes. Se obtuvo un valor de 995 mg/l por fuera de la tendencia anteriormente registrada en este punto.

En la avenida Las Américas, en condiciones de tiempo seco y durante la jornada de la tarde, fue donde se presentó la mayor concentración de la DQO.

En los puntos de Visión Colombia y Zona Franca durante la jornada de la noche se evaluaron las mayores concentraciones. En Fucha con Alameda se registraron dos valores de 1.039 y 1.636 mg/l, los cuales se desvían de la tendencia temporal general que se presentó; dichos valores fueron obtenidos en las jornadas de la tarde y noche, respectivamente.

Según el comportamiento de la DBO_5, la DQO y el caudal en Fucha con Alameda, se puede inferir que la conducta de los valores picos registrados está relacionada con el aumento del caudal del río en época de lluvia, que corresponde a noviembre de 2006 (*ver Gráfica 31*).

GRÁFICA 31. Relación de la DBO_5, la DQO y el caudal en Fucha con Alameda



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 45 se presenta el comportamiento de las cargas contaminantes de la DQO en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

TABLA 45. Comportamiento de la carga de la DQO en los puntos de monitoreo en el río Fucha

Punto de monitoreo	No. del tramo	Carga DQO en el río Fucha (Ton/día)		
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
El Delirio	1	0,011	2,59	0,355
Carrera 7ª río Fucha	2	1,02	33,20	5,711
Fucha avenida Ferrocarril	2	1,29	159,52	26,08
Avenida Las Américas	3	2,26	382,79	52,40
Visión Colombia	4	153,33	519,57	293,60
Zona Franca	4	64,32	579,25	283,32
Fucha con Alameda	4	68,31	2.389,59	486,44

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En El Delirio se registró baja carga contaminante; el mayor valor se determinó debido a un antecedente de lluvia, lo que representó que la carga fue por caudal, mas no por concentración. En este punto de monitoreo las condiciones fisicoquímicas son óptimas porque se encuentra en una parte protegida y no hay influencia antrópica en el cuerpo de agua.

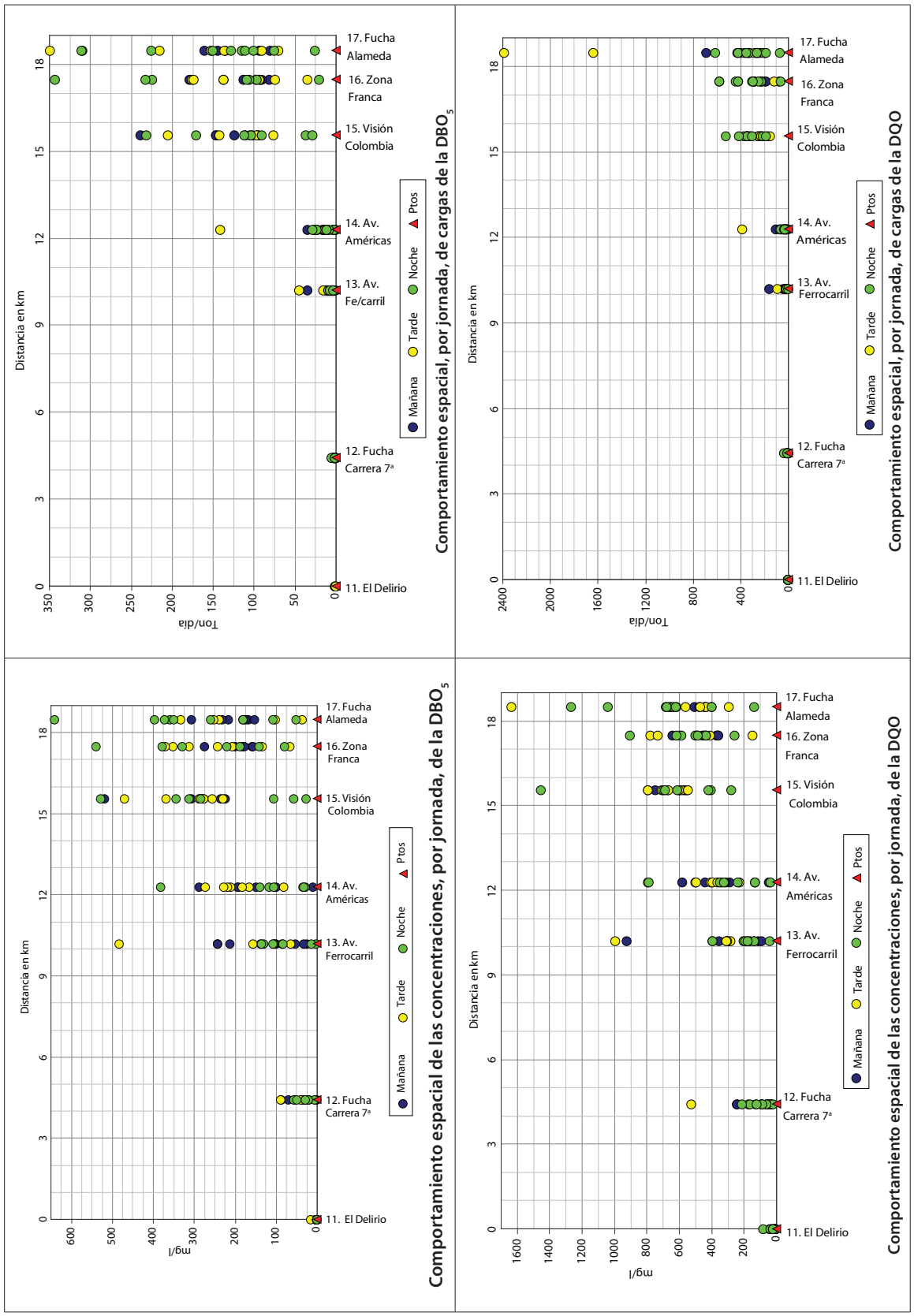
En la carrera 7ª río Fucha la mayor carga también se registró por caudal y se relacionó con un antecedente de lluvia, como lo reporta la estación hidrometeorológica El Delirio.

En la Gráfica 32 se observa el comportamiento temporal de las cargas de la DBO_5 y la DQO en el río Fucha.

En Fucha avenida Ferrocarril la mayor carga contaminante se presentó durante la jornada de la mañana debido a un evento de lluvia en el monitoreo, con un caudal de 16.634 l/s y una concentración de 111 mg/l el 13 de octubre de 2006.

En la avenida Las Américas la carga contaminante más alta se registró por caudal (8.969 l/s) y por concentración (494 mg/l) en la jornada de la tarde.

En Visión Colombia y Zona Franca, en la jornada de la noche, se registraron los valores más altos de carga representados por concentración y caudal (antecedente de lluvia) respectivamente.



GRÁFICA 32. Concentraciones y cargas espaciales de la DBO_5 y la DQO en el río Fucha

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Oxígeno Disuelto (OD)

La concentración de OD fue en promedio mayor en El Delirio, teniendo en cuenta que en este punto de monitoreo no hay influencia antrópica. La presencia de rocas grandes y medianas (lecho rocoso) favorecen las condiciones de oxigenación en la fuente hasta la carrera 7ª río Fucha.

La disponibilidad de OD en la fuente superficial va disminuyendo a medida que se avanza en el abscisado, debido a la influencia de los vertimientos en cada uno de los tramos que se especifican en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA.

TABLA 46. Comportamiento del OD en el río Fucha

Punto de monitoreo	Objetivos de calidad Resolución 1813 de 2006 del DAMA (mg/l)	No. del tramo	Concentración OD en el río Fucha (mg/l)		
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
El Delirio	≥1,0	1	5,90	10,10	7,9
Carrera 7ª río Fucha	≥0	2	3,20	8,70	5,8
Fucha avenida Ferrocarril	≥0	2	0,40	6,60	1,51
Avenida Las Américas	≥0	3	0,10	6,50	0,90
Visión Colombia	≥0	4	0,10	1,30	0,16
Zona Franca	≥0	4	NO DETECTABLE		
Fucha con Alameda	≥0	4	NO DETECTABLE		

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

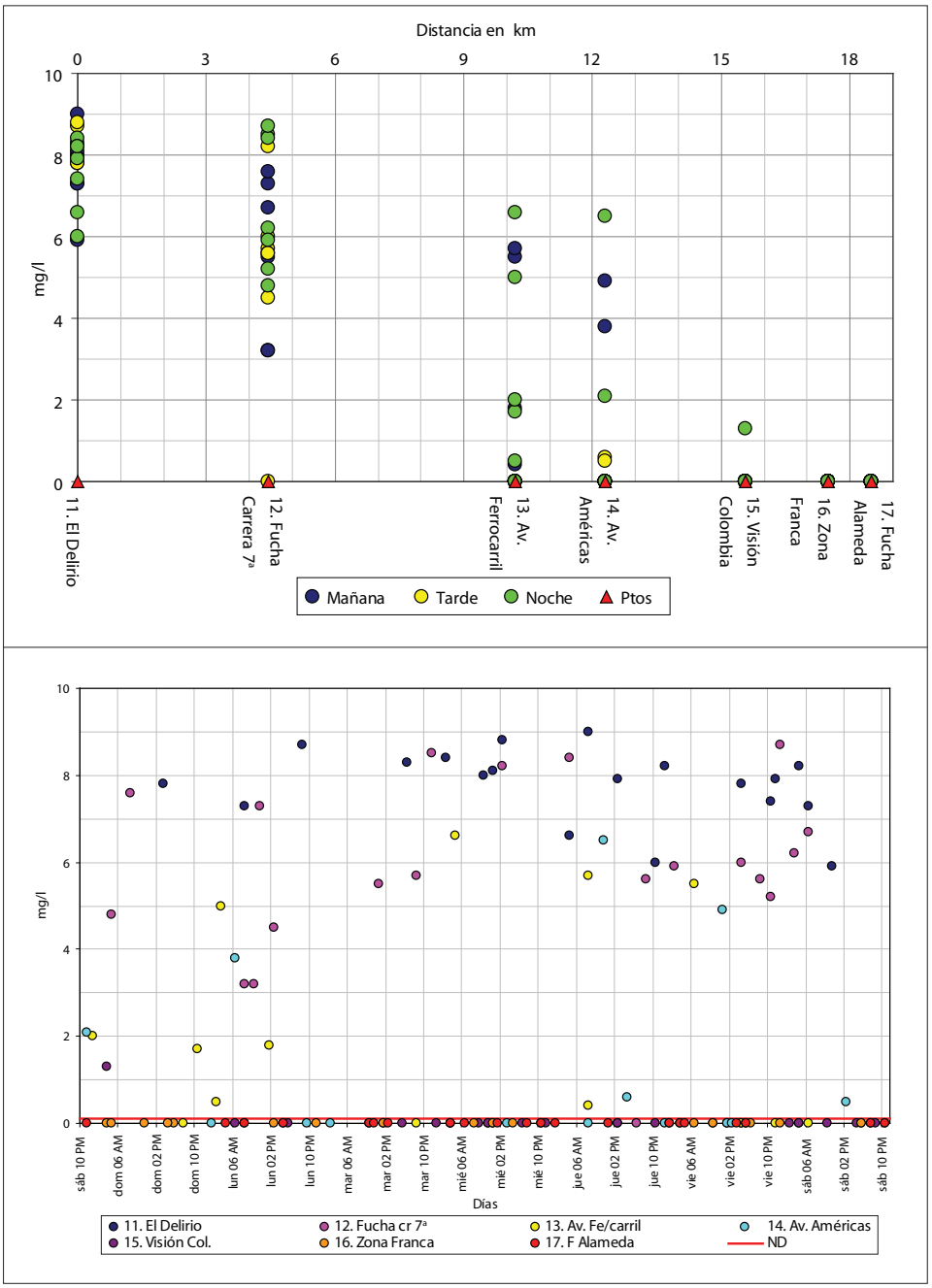
En El Delirio se registró en promedio un valor de 7,9 mg/l; en carrera 7ª río Fucha y Fucha avenida Ferrocarril las concentraciones de OD en promedio fueron 5,8 y 1,5 mg/l, respectivamente. Esta disminución se asocia a la presencia de materia orgánica (aguas residuales) que consume el oxígeno presente en el agua.

En la Gráfica 33 se observa el comportamiento espaciotemporal del OD en los puntos monitoreados en esta fuente superficial.

Espacialmente, este parámetro disminuyó hacia el final del recorrido del río Fucha y no fue detectado en las estaciones Zona Franca y Fucha con Alameda en ninguno de los muestreos. En los fines de semana se observó la tendencia hacia menores concentraciones de OD en carrera 7ª río Fucha y Fucha avenida Ferrocarril.

En la avenida Las Américas se observó que en horas de la noche y comienzo de la mañana el río recupera oxígeno, registrando así valores de 4,9 y 6,5 mg/l. Sin embargo, es relevante aclarar que de 20 muestras evaluadas se obtuvieron 14 como No Dectectables (ND), situación que se asocia a la influencia del canal Los Comuneros. El promedio en este punto se halló en 0,90 mg/l.

GRÁFICA 33. Comportamiento espaciotemporal del Oxígeno Disuelto (OD) en el río Fucha



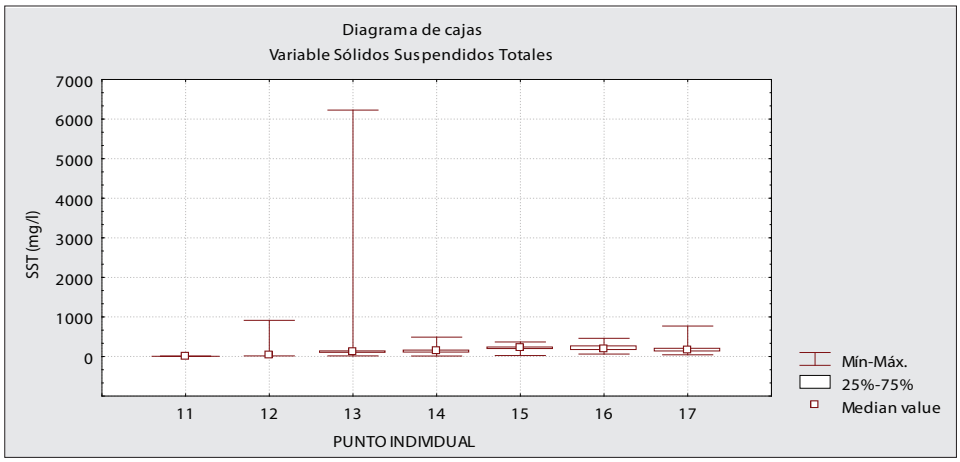
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En Visión Colombia y Fucha con Alameda se presentan condiciones anóxicas debido al aporte de vertimientos de interceptores y de la estación de bombeo de Fontibón.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Al realizar el análisis estadístico las concentraciones promedios están entre 4 y 445 mg/l, (*ver Gráfica 34*). Hubo un valor extremo de 6.228 mg/l en Fucha avenida Ferrocarril y al aplicar las pruebas estadísticas no se encontraron diferencias para este parámetro en los puntos monitoreados del río Fucha.

GRÁFICA 34. Comportamiento de los SST en los puntos monitoreados en el río Fucha



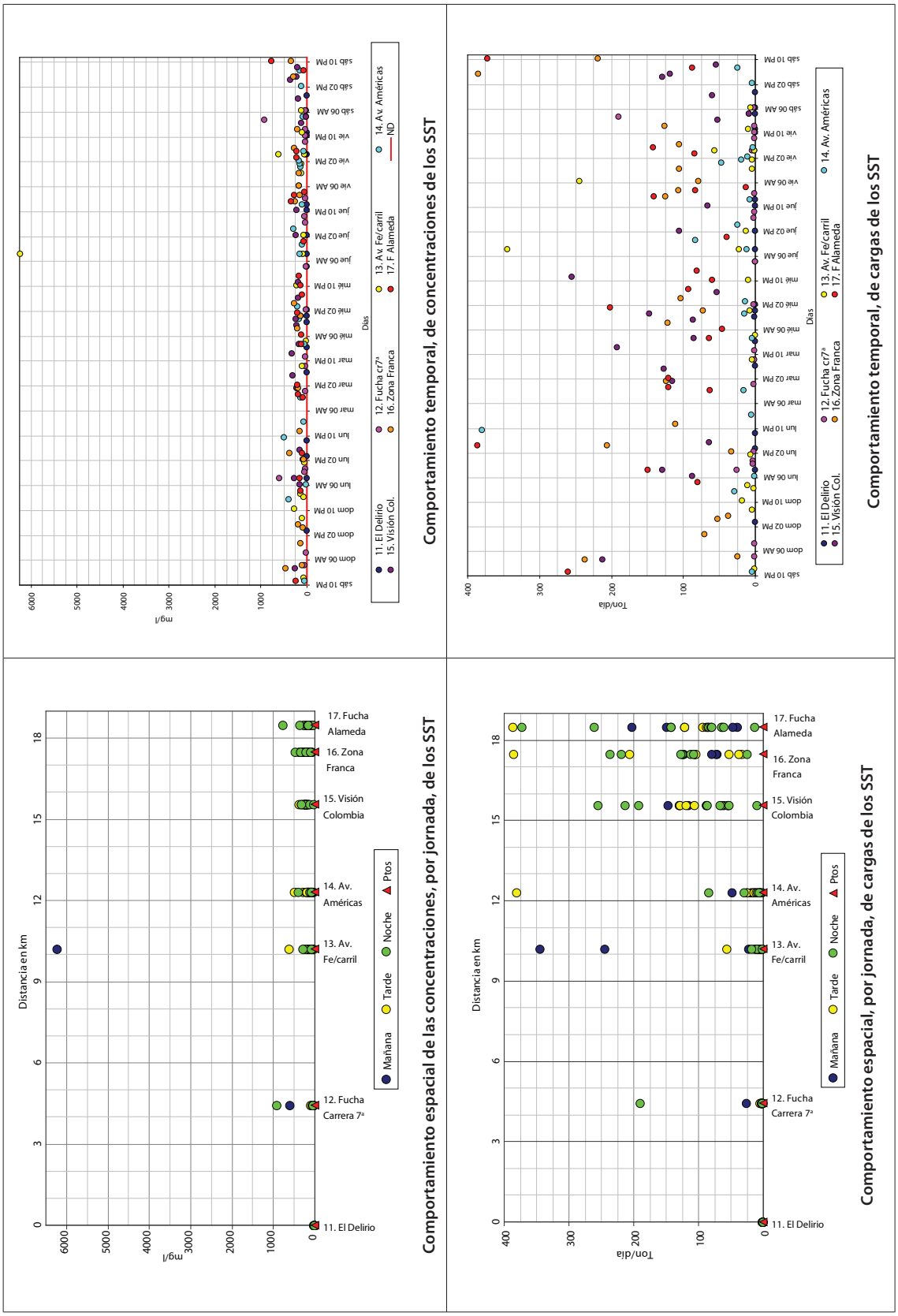
Codificación de los puntos de monitoreo

11 Delirio	13 Avenida Ferrocarril	15 Visión Colombia	17 Fucha con Alameda
12 Carrera 7ª río Fucha	14 Fucha avenida Las Américas	16 Fucha Zona Franca	

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Gráfica 35 se presenta el comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas de los SST en el río Fucha.

GRÁFICA 35. Concentraciones y cargas espaciotemporales de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el río Fucha



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Las concentraciones máximas y mínimas de los SST se registraron en el período de lluvia de marzo de 2007. En promedio, el valor más alto correspondió a Fucha avenida Ferrocarril (445 mg/l). El valor mínimo se presentó en El Delirio (1,0 mg/l) y el máximo se reportó en Fucha avenida Ferrocarril (6.228 mg/l), valor bastante alejado del promedio, el cual se registró en un evento de lluvia el 29 de marzo de 2007. De igual manera, se registraron picos en los puntos carrera 7ª río Fucha (914 mg/l), el 2 de diciembre de 2006, y en Fucha con Alameda (770 mg/l), el 17 de marzo de 2007 en las jornadas de la noche, con antecedentes de lluvia.

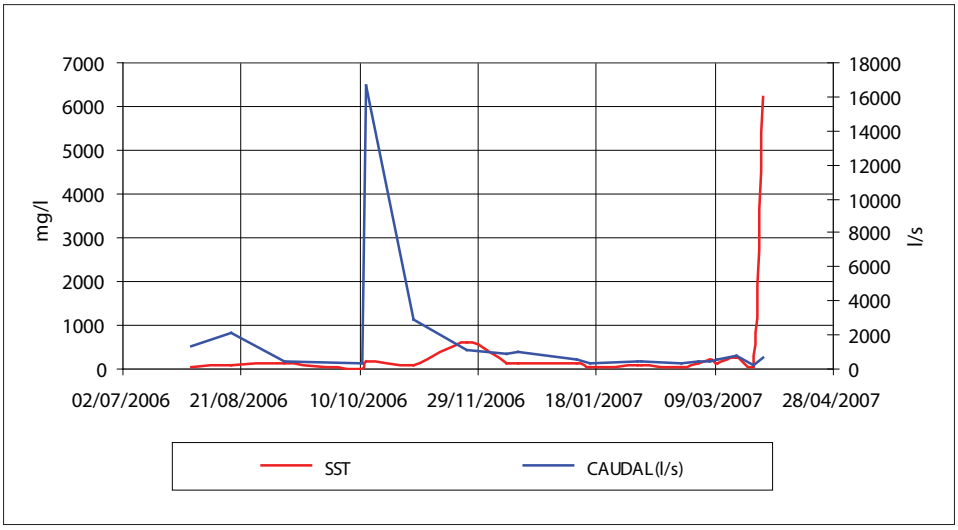
TABLA 47. Comportamiento de los SST en los puntos de monitoreo en el río Fucha

Punto de monitoreo	Objetivos de calidad Resolución 1813 de 2006 del DAMA (mg/l)	No. del tramo	Concentración de SST en el río Fucha (mg/l)			
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
El Delirio	<100	1	1	12	4	3
Carrera 7ª río Fucha	<250	2	16	914	110	35
Fucha avenida Ferrocarril	<250	2	15	6.228	445	118
Avenida Las Américas	<250	3	12	490	156	140
Visión Colombia	<300	4	25	367	215	220
Zona Franca	<300	4	62	460	210	187
Fucha con Alameda	<300	4	44	770	189	162

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En cuanto al horario, se observó cierta tendencia a la disminución de la concentración en horas de la mañana, especialmente a partir de la avenida Las Américas. En la Gráfica 36 se muestra la relación de este parámetro con el caudal en Fucha avenida Ferrocarril, ya que en éste se registró un valor atípico y puntual el 29 de marzo de 2007, el cual correspondió a la época de lluvia y que a su vez se puede atribuir a la acumulación de sedimentos en este tramo del río.

GRÁFICA 36. Relación de los SST vs. caudal en el punto Fucha con avenida Ferrocarril



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Comparando los valores promedio y de la mediana con los objetivos de calidad (Resolución 1813 de 2006 del DAMA) para cada tramo, se observó que en El Delirio las concentraciones fueron bajas y acordes con la calidad física de la fuente superficial, así no se excedieron los valores de referencia establecidos en los objetivos de calidad. En la carrera 7ª río Fucha el valor máximo se debe a un antecedente de lluvia y registró un valor promedio menor al límite establecido por la normatividad vigente (250 mg/l).

En Fucha avenida Ferrocarril el valor máximo, que fue atípico, se debió a un evento de lluvia donde se presentó arrastre de sólidos, e incidió en el valor promedio sobrepasando el límite en el tramo 2; sin embargo, la mediana fue menor al límite establecido en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA.

En la avenida Las Américas, en la jornada de la tarde del 26 de marzo de 2007, se registró la mayor concentración asociada a un evento de lluvia registrado por la estación hidrometeorológica de Santa Lucía (4,9 mm); en promedio los valores determinados fueron menores a los establecidos en los objetivos de calidad para el tramo 3.

En el tramo 4 se reportaron valores puntuales que superaron los 300 mg/l establecidos para Visión Colombia, Zona Franca y Fucha con Alameda; sin embargo, en promedio se cumple con la normativa. Las mayores concentraciones de los SST se reportaron en: Visión Colombia, en período seco en la jornada de la tarde, asimismo en Zona Franca y Fucha con Alameda en eventos y antecedentes de lluvia respectivamente en la jornada de la noche.

Respecto a las cargas contaminantes de los SST en el río Fucha, la variación se va incrementando en promedio a medida que se avanza en el abscisado de la corriente superficial.

Los valores máximos de cargas se relacionaron con antecedentes de lluvia en la mayoría de los puntos de monitoreo; en El Delirio el 26 de julio de 2006

en la jornada de la mañana se presentó un valor de 4.297 l/s y se relacionó con antecedentes de lluvia dos días antes de la toma de la muestra.

En la carrera 7ª río Fucha el 2 de diciembre de 2006 se registró una concentración alta (914 mg/l) con un caudal de 2.402 l/s, asociado a un antecedente de lluvia del día anterior y registrado por la estación hidrometeorológica El Delirio (13,2 mm).

En Fucha avenida Ferrocarril pasó algo similar a lo ocurrido en la carrera 7ª río Fucha: se registró un valor de 6.228 mg/l, algo atípico ya que la tendencia no fue generalizada en las 20 muestras evaluadas. La carga se asocia a un antecedente de lluvia en la cabecera y se reportó por la estación hidrometeorológica El Delirio (18,8 mm) el 28 de marzo de 2007, un día antes a la toma de muestra.

En la avenida Las Américas la carga contaminante se registró por concentración (490 mg/l) y caudal (8.969 l/s) y se asocia a un evento de lluvia del 26 de marzo de 2007 en la jornada de la tarde.

En la Tabla 48 se muestra el comportamiento de las cargas de los SST en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

TABLA 48. Comportamiento de las cargas de los SST en el río Fucha

Punto de monitoreo	No. del tramo	Carga de SST en el río Fucha (Ton/día)		
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
El Delirio	1	0,0042	1,113	0,136
Carrera 7ª río Fucha	2	0,4841	189,67	12,23
Fucha avenida Ferrocarril	2	0,485	344,49	38,47
Avenida Las Américas	3	0,604	379,69	35,64
Visión Colombia	4	8,95	254,79	107,54
Zona Franca	4	24,21	385,29	122,16
Fucha con Alameda	4	12,59	386,11	128,05

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En Visión Colombia la carga contaminante se registró por caudal (15.440 l/s) en la jornada de la noche, asociada a un antecedente de lluvia registrado en la estación hidrometeorológica de Fontibón (25,5 mm), el 9 de noviembre de 2006. La concentración obtenida fue de 191 mg/l.

En Zona Franca la carga contaminante se representó más por caudal que por concentración. En la jornada de la tarde del 18 de noviembre de 2006 se halló en 15.168 l/s con una concentración de 294 mg/l y se relacionó con un antecedente de lluvia del día anterior, el cual se registró en la estación hidrometeorológica de Santa Lucía (19,7 mm).

En Fucha con Alameda, en la jornada de la tarde del 20 de noviembre de 2006, se registró la mayor carga contaminante por caudal. Se registraron niveles de precipitación de 7,4 mm en estación hidrometeorológica El Delirio, 6,1 mm en la estación Santa Lucía y 5,6 mm en la estación de Fontibón. El caudal medido fue de 43.813 l/s y la concentración de 102 mg/l.

En general, las cargas contaminantes máximas se registraron en noviembre de 2006 que corresponde a un período lluvioso.

Metales pesados

Al analizar el comportamiento espaciotemporal de los metales en los puntos de monitoreo en el río Fucha, se encontró que éstos comparten características comunes, lo que permite establecer dos grupos; por este motivo su descripción se hará para cada uno de éstos.

Un grupo está conformado por el cadmio, el cobre, el níquel y el bario, los cuales presentaron concentraciones máximas durante la época de lluvia y por tanto su comportamiento pudo estar relacionado con procesos de lavado de la cuenca y aportes por vertimientos.

Cadmio y cobre

En la Tabla 49 se muestra el comportamiento de las concentraciones de cadmio y cobre.

TABLA 49. Comportamiento de las concentraciones de cadmio y cobre en los puntos de monitoreo en el río Fucha

Punto de monitoreo	Cadmio (mg/l)				Cobre (mg/l)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana
El Delirio	0,0002	0,0020	0,00048	0,002	0,0010	0,0330	0,0071	0,0025
Carrera 7ª río Fucha	0,0002	0,0100	0,00109	0,002	0,0010	0,0640	0,0121	0,0090
Fucha avenida Ferrocarril	0,0002	0,0010	0,00028	0,002	0,0008	0,1760	0,0355	0,0265
Avenida Las Américas	0,0002	0,0070	0,00074	0,002	0,0010	0,1440	0,0473	0,0415
Visión Colombia	0,0002	0,0040	0,00065	0,002	0,0060	0,2280	0,0843	0,0700
Zona Franca	0,0002	0,0490	0,00386	0,002	0,0010	0,1160	0,0606	0,0600
Fucha con Alameda	0,0002	0,0740	0,00418	0,002	0,0050	0,3270	0,0755	0,0610

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Respecto al comportamiento espacial de estos metales, en el 80% de las muestras de El Delirio no se detectó la presencia de cadmio, lo que indica que no hay incidencia antrópica en este punto.

En la carrera 7ª río Fucha la mayor concentración se registró en la jornada de la noche con tiempo seco el 2 de diciembre de 2006, influenciado por un antecedente de lluvia del día anterior registrado por la estación pluviométrica de El Delirio (13,2 mm), asociado a procesos de lavado de la cuenca.

En Fucha avenida Ferrocarril, en el 90% de las muestras analizadas no se detectó cadmio, y en las muestras restantes los valores hallados son bajos. De igual forma, en la avenida Las Américas en el 85% de las muestras no se determinó cadmio y la mayor concentración se registró en un evento de lluvia en la jornada de la mañana del 28 de julio de 2006.

En Visión Colombia no se encontró cadmio en el 80% de las muestras analizadas, la mayor concentración se asoció a tiempo seco el 11 de enero de 2007, en la jornada de la tarde.

En Zona Franca y Fucha con Alameda no se detectó cadmio en el 70 y 75% de las muestras analizadas respectivamente. Las mayores concentraciones se asociaron a un evento y un antecedente de lluvia durante la toma de la muestra, el 1 de diciembre de 2006, indicando el lavado de la cuenca. Temporalmente las mayores concentraciones de cadmio se presentaron en la jornada de la noche y en la tarde (*ver Gráfica 37*).

Respecto al cobre, en El Delirio no se detectó su presencia en el 45% de las muestras, el mayor valor se registró en la jornada de la noche en tiempo seco el 17 de marzo de 2007. En la carrera 7ª río Fucha el mayor valor se asoció a un antecedente de lluvia en la cabecera de la cuenca el 1 de diciembre de 2006. En Fucha avenida Ferrocarril el 24 de noviembre de 2006 en la jornada de la tarde se registró el mayor valor el cual se relaciona con tiempo seco; en forma similar en avenida Las Américas la mayor concentración se presentó en la jornada de la noche.

En Visión Colombia, en la jornada de la noche en época seca, se reportó la mayor concentración y se asoció con la descarga de los interceptores Fucha, Boyacá y del Sur, los cuales reciben las aguas residuales de varios sectores productivos, entre ellos el de metalmecánica.

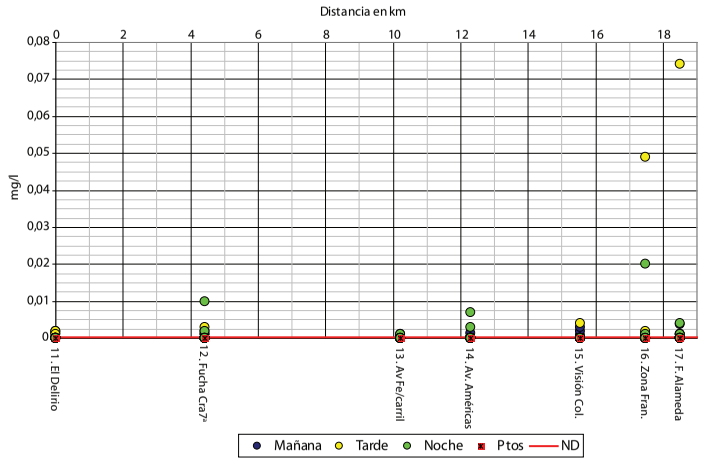
En Zona Franca, el 1 de diciembre de 2006 se presentó el mayor valor de cobre en un evento de lluvia en la jornada de la tarde; en Fucha con Alameda, en tiempo seco, se registró el mayor valor de toda la corriente en la jornada de la noche, asociado con las descargas que recibe en el tramo 4.

El cobre se caracterizó por una tendencia hacia el aumento en su variabilidad a nivel horario a medida que el río se acerca a su desembocadura (*ver Gráfica 37*). En cuanto a las tendencias a lo largo de los puntos de monitoreo, se observó que el cadmio y el plomo se caracterizaron por poca variación espacial (*ver Gráfica 39*).

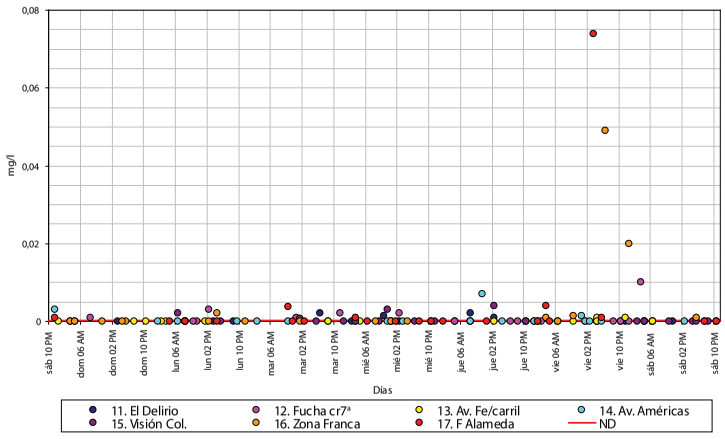
Relacionado con lo espacial, Fucha con Alameda se caracterizó porque presentó los máximos valores de concentración de cuatro metales: cadmio, cobre, níquel y zinc, de los 8 metales evaluados.

En la Gráfica 37 se ilustra el comportamiento espaciotemporal de las concentraciones de cadmio y de cobre en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

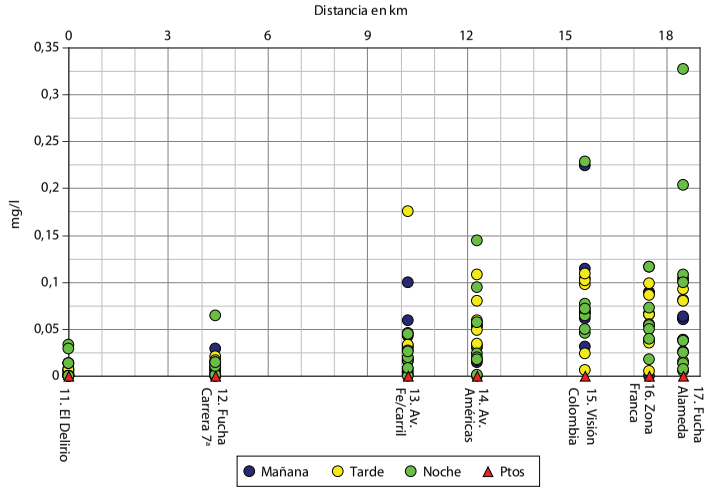
GRÁFICA 37. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones del cadmio y cobre en el río Fucha



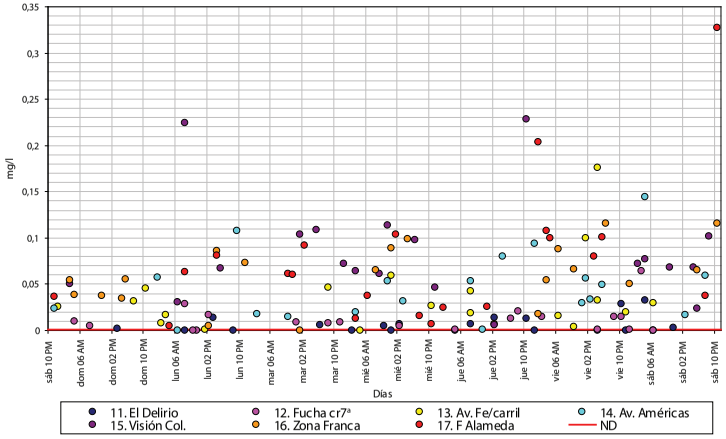
Comportamiento espacial de las concentraciones de cadmio



Comportamiento temporal, de concentración de cadmio



Comportamiento espacial de las concentraciones de cobre



Comportamiento temporal, de concentración de cobre

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Níquel y bario

En la Tabla 50 se presenta el comportamiento de las concentraciones de níquel y bario en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

TABLA 50. Comportamiento de las concentraciones de níquel y bario en los puntos de monitoreo en el río Fucha

Punto de monitoreo	Níquel (mg/l)				Bario (mg/l)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana
El Delirio	0,0010	0,0520	0,0085	0,001	0,007	0,122	0,030	0,027
Carrera 7ª río Fucha	0,0010	0,0450	0,0086	0,003	0,020	0,210	0,049	0,031
Fucha avenida Ferrocarril	0,0010	0,1280	0,0155	0,002	0,026	0,173	0,067	0,049
Avenida Las Américas	0,0010	0,1100	0,0288	0,022	0,019	0,151	0,057	0,049
Visión Colombia	0,0010	0,1320	0,0533	0,0455	0,039	0,099	0,066	0,064
Zona Franca	0,0010	0,1410	0,0343	0,0220	0,042	0,102	0,067	0,066
Fucha con Alameda	0,0100	0,2360	0,0473	0,0340	0,027	0,172	0,069	0,063

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Espacialmente, el níquel se incrementa a medida que se avanza en el abscisado del río Fucha. En El Delirio el níquel no se detectó en el 55% de las muestras evaluadas; el mayor valor se asoció a un antecedente de lluvia el cual se registró en la estación hidroclimatológica El Delirio (0,5 mm) en la jornada de la tarde. En la avenida Las Américas se presentó un comportamiento similar en la jornada de la mañana.

En tiempo seco los mayores valores se registraron en la carrera 7ª río Fucha en la jornada de la noche el 9 de marzo de 2007; en Fucha avenida Ferrocarril el 6 de febrero de 2007 en la jornada de la tarde; en Visión Colombia en la jornada de la tarde, y en Zona Franca en la jornada de la noche, ambos el 20 de enero de 2007, lo que se asoció en estos dos puntos a la descarga de los interceptores en el tramo 4. De igual manera, este comportamiento de las mayores concentraciones se relaciona con bajas láminas de agua y con la influencia del sector metalmecánico. En Fucha con Alameda se registró un comportamiento similar en la jornada de la noche el 17 de marzo de 2007.

Refiriéndose a lo temporal, las mayores concentraciones se hallaron en la jornada de la noche de los sábados, en general, en los dos últimos puntos de monitoreo, situación que se asoció a mantenimientos de fin de semana en industrias de galvanoplastia y electroquímica.

Respecto al bario, las máximas concentraciones se presentaron en eventos o antecedentes de lluvia en la carrera 7ª río Fucha durante la jornada de la noche el 2 de diciembre de 2006, asociadas a la lluvia del día anterior y registradas por la estación hidroclimatológica El Delirio (13,2 mm), lo que muestra arrastre de material. Igualmente, en Fucha avenida Ferrocarril en la jornada de la tarde se reportó un antecedente de lluvia en la estación Santa Lucía (4,9 mm) el día 26 de marzo de 2007. En Visión Colombia se presentó lluvia durante la

toma de muestra con un valor de precipitación de 30,2 mm registrado en la estación hidroclimatológica El Delirio el 13 de diciembre de 2006.

En período seco el bario reportó los mayores valores en la jornada de la tarde en El Delirio y en Fucha avenida Ferrocarril los días 4 y 5 de febrero de 2007, respectivamente. De la misma manera, en la jornada de la noche en Zona Franca y Fucha con Alameda el 24 de febrero y el 17 de marzo de 2007. En la Gráfica 38 se ilustra el comportamiento espaciotemporal de níquel y bario en el río Fucha.

El segundo grupo de metales corresponde a plomo, manganeso, zinc y cromo total que registraron concentraciones máximas en sequía y cuyo comportamiento pudo estar relacionado con procesos de dilución o concentración.

Plomo y manganeso

En la Tabla 51 se presenta el comportamiento de las concentraciones de estos dos elementos en el río Fucha.

TABLA 51. Comportamiento de las concentraciones de plomo y manganeso en los puntos de monitoreo en el río Fucha

Punto de monitoreo	Plomo (mg/l)				Manganeso (mg/l)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana
El Delirio	0,001	1,789	0,1075	0,0030	0,002	0,611	0,037	0,009
Carrera 7ª río Fucha	0,0030	0,300	0,0283	0,0030	0,005	0,176	0,057	0,048
Fucha avenida Ferrocarril	0,002	0,066	0,0130	0,0030	0,030	0,267	0,077	0,054
Avenida Las Américas	0,003	2,607	0,141	0,0030	0,020	0,140	0,074	0,067
Visión Colombia	0,003	0,632	0,068	0,0150	0,056	0,242	0,138	0,125
Zona Franca	0,002	0,087	0,0218	0,0105	0,074	0,530	0,155	0,142
Fucha con Alameda	0,003	0,106	0,0202	0,0030	0,024	0,497	0,162	0,143

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En su mayoría, los valores más altos de plomo se detectaron en condiciones de sequía; es así como en El Delirio se registró un valor atípico en la jornada de la noche, porque en este primer punto no hay influencia alguna de industrias químicas ni metalúrgicas. En el 70% de las muestras evaluadas no se detectó la presencia de este metal.

En la carrera 7ª río Fucha el 2 de diciembre de 2006 se reportó la mayor concentración asociada a un antecedente de lluvia registrado el día anterior; en el 60% de las muestras evaluadas no se detectó la presencia de este metal.

En Fucha avenida Ferrocarril el 10 de marzo de 2007 en la jornada de la mañana se registró el mayor valor de plomo y en el 70% de las muestras evaluadas no se detectó la presencia de este metal.

En la avenida Las Américas se registró la mayor concentración sobre el cauce el 11 de enero de 2007 en la jornada de la tarde, con tiempo seco, asociada a la descarga del canal Los Comuneros, el cual recibe descargas de aguas residuales que pueden provenir del sector La Estanzuela, donde se comercializan repuestos de vehículos que son lavados con gasolina y de industrias artesanales de baterías ubicadas en el sector. Asimismo, se observó que este evento afectó la calidad en Visión Colombia el mismo día. En la avenida Las Américas no se detectó plomo en el 55% de las muestras evaluadas.

En Fucha con Alameda y Zona Franca los días 19 y 20 de enero de 2007, en la jornada de la noche, se presentaron los mayores valores en concentración.

Relacionado con lo temporal, en la jornada de la tarde se presentaron las mayores concentraciones de plomo en el río.

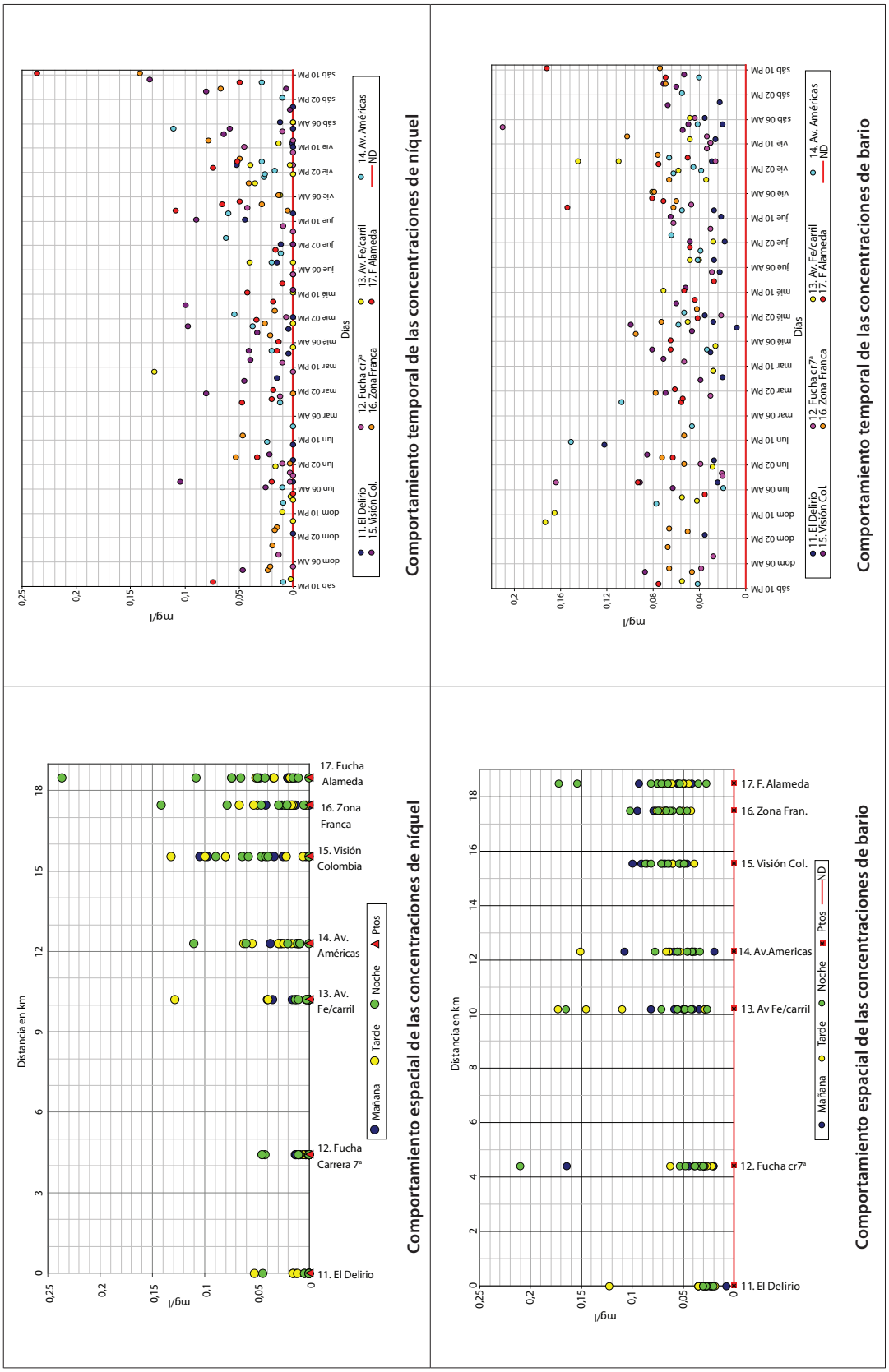
En la Gráfica 39 se ilustra el comportamiento espaciotemporal de plomo y manganeso en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

El manganeso presentó las concentraciones máximas en épocas secas en la jornada de la tarde, el 19 diciembre de 2006 en El Delirio; en Fucha avenida Ferrocarril el 24 de noviembre de 2006, y en Zona Franca el 20 de diciembre de 2006.

En eventos de lluvia, en la jornada de la mañana, se registraron los mayores valores asociados a arrastre de material: en la carrera 7ª río Fucha, el 18 de septiembre de 2006, con un valor de precipitación de 14,3 mm reportado por la estación hidroclimatológica El Delirio; en Visión Colombia, el 11 de diciembre de 2006, con un valor de precipitación de 5,8 mm registrado por la estación hidroclimatológica Fontibón; y en Fucha con Alameda, el 13 de diciembre de 2006, con un valor de precipitación de 30,2 mm reportado por la estación hidroclimatológica de Santa Lucía.

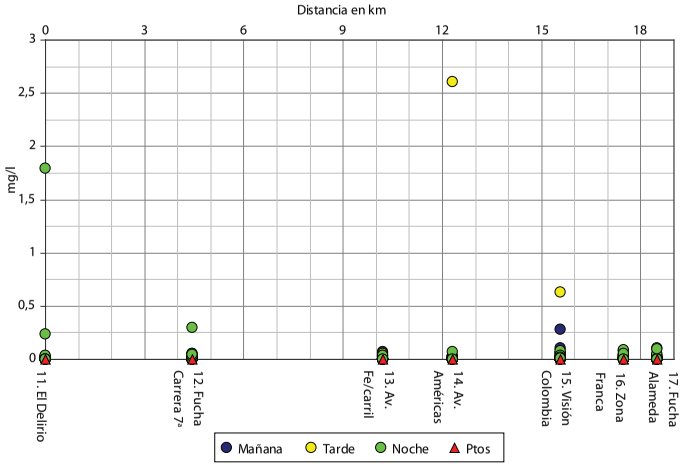
En la avenida Las Américas en la jornada de la tarde, el 26 de marzo de 2007, se presentó la mayor concentración de manganeso y se relacionó con un antecedente de lluvia registrado por la estación hidroclimatológica de Santa Lucía (4,9 mm).

GRÁFICA 38. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones de níquel y bario en el río Fucha

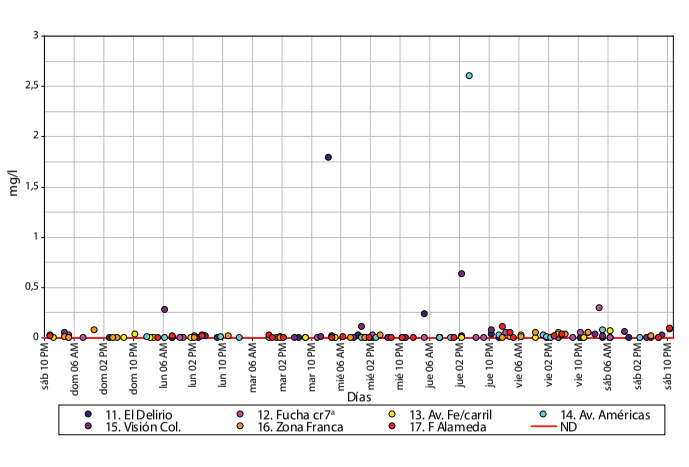


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

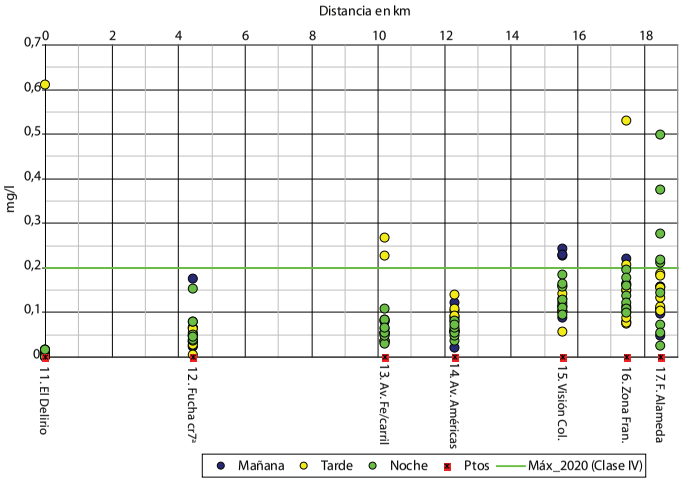
GRÁFICA 39. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones de plomo y manganeso en el río Fucha



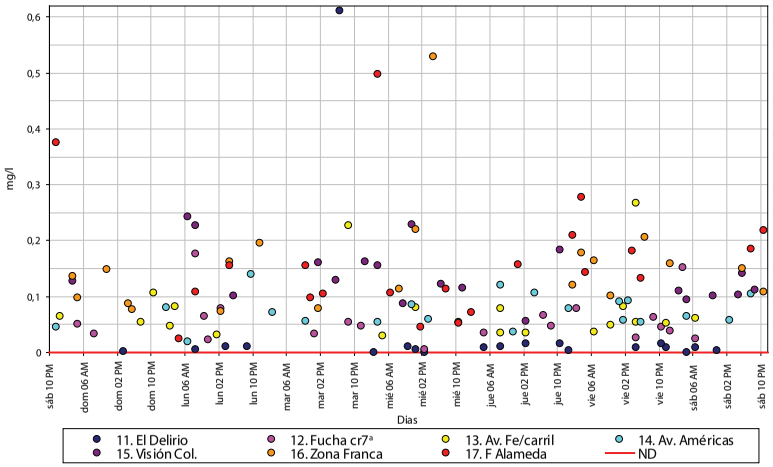
Comportamiento espacial de las concentraciones de plomo



Comportamiento temporal de las concentraciones de plomo



Comportamiento espacial de las concentraciones de manganeso



Comportamiento temporal de las concentraciones de manganeso

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Zinc y cromo total

En la Tabla 52 se presenta el comportamiento de las concentraciones de estos elementos en el río Fucha.

TABLA 52. Comportamiento de las concentraciones de zinc y cromo total en los puntos de monitoreo en el río Fucha

Punto de monitoreo	Zinc (mg/l)				Cromo total (mg/l)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana
El Delirio	0,0114	0,118	0,0475	0,0450	0,001	0,102	0,0113	0,0045
Carrera 7ª río Fucha	0,036	0,335	0,1111	0,0715	0,001	0,015	0,0056	0,0015
Fucha avenida Ferrocarril	0,066	0,606	0,1696	0,1315	0,001	0,033	0,0065	0,0025
Avenida Las Américas	0,075	1,244	0,2474	0,1702	0,001	0,581	0,0784	0,0440
Visión Colombia	0,006	1,380	0,4410	0,3502	0,001	0,201	0,0803	0,0670
Zona Franca	0,053	1,307	0,4795	0,4255	0,001	1,541	0,2043	0,0685
Fucha con Alameda	0,005	3,318	0,6420	0,4820	0,001	0,314	0,0776	0,0500

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Tanto el zinc como el cromo total y el níquel en todas las estaciones (exceptuando Visión Colombia) se caracterizaron por una tendencia hacia el aumento de las concentraciones los fines de semana (*ver Gráficas 39 y 40*). Este comportamiento también se observó en el manganeso, pero en este caso sólo se presentó en Fucha con Alameda.

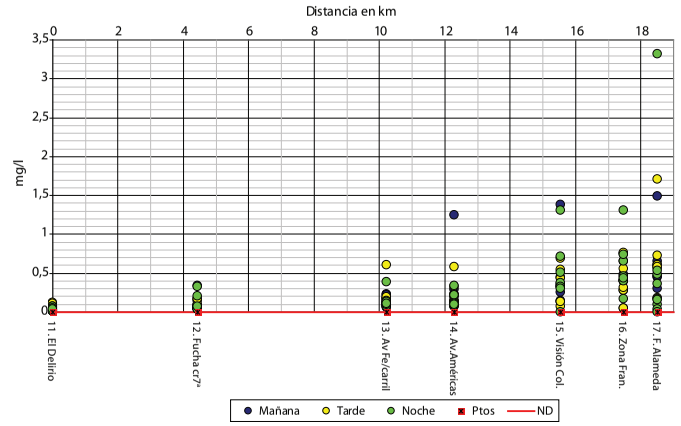
En la jornada de la noche se registró la mayor concentración de zinc en el río en Fucha con Alameda en tiempo seco, el 19 de enero de 2007, seguida por Visión Colombia, el 11 de septiembre de 2006, en la jornada de la mañana; valores asociados a la influencia del sector productivo metalmecánico en procesos de galvanoplastia (zincado) y que se presentan en el cuerpo de agua por la descarga de los interceptores Fucha, Boyacá, del Sur, Kennedy y la estación de bombeo Fontibón (*ver Gráfica 40*).

En la jornada de la tarde en tiempo seco se reportaron las mayores concentraciones de zinc en El Delirio, el 3 de noviembre de 2006; en Fucha avenida Ferrocarril el 24 de noviembre de 2006. De igual forma, en la jornada de la mañana en la avenida Las Américas.

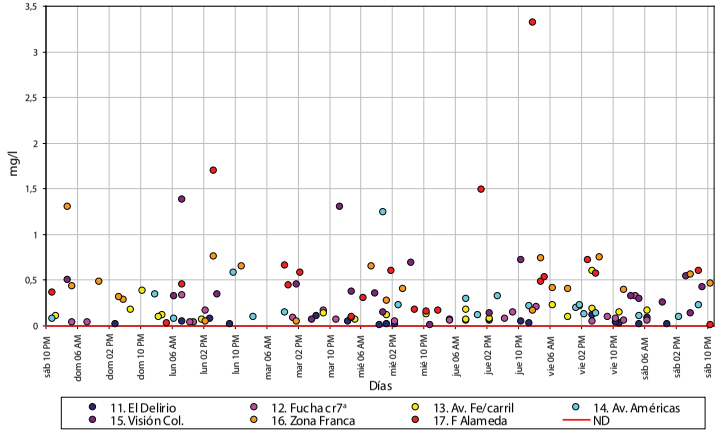
En eventos de lluvia se evaluaron las mayores concentraciones de zinc en la carrera 7ª río Fucha, el 18 de septiembre de 2006 en la jornada de la mañana, y en Zona Franca el 12 de noviembre de 2006 en la jornada de la noche.

En Zona Franca se registró la mayor concentración de cromo total, el 24 de febrero de 2007 en la jornada de la noche en tiempo seco (1,5 y 1,3 mg/l), asociada con la descarga de los interceptores en el tramo 4 que recogen aguas residuales de varios sectores productivos, entre ellos el de metalmecánica y químico.

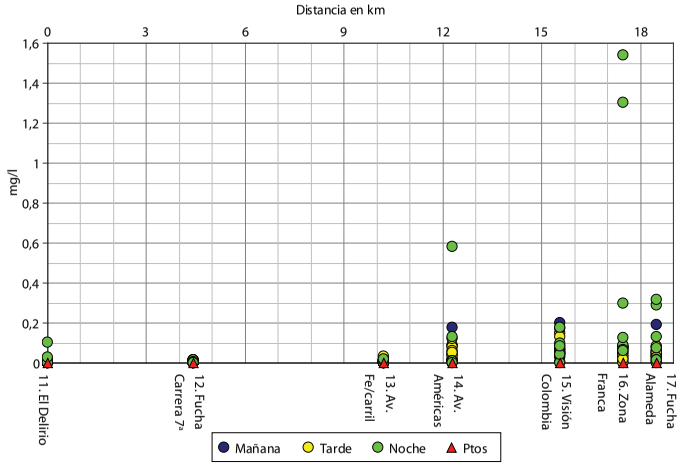
GRÁFICA 40. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones de zinc y cromo total en el río Fucha



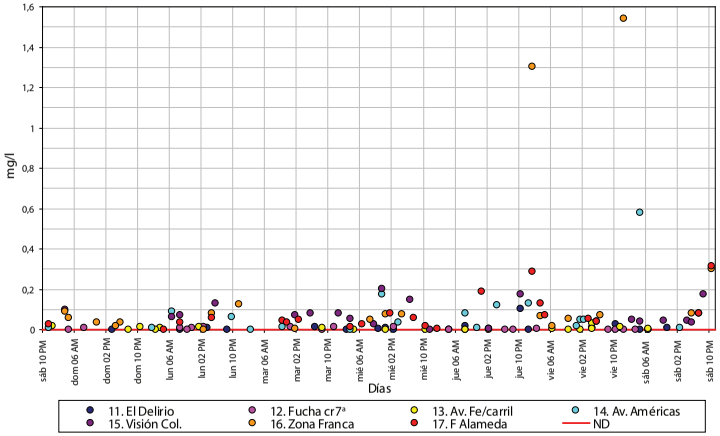
Comportamiento espacial de las concentraciones de zinc



Comportamiento temporal de concentración de zinc



Comportamiento espacial de las concentraciones de cromo total



Comportamiento temporal de concentración de cromo total

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la avenida Las Américas y en Fucha con Alameda, el 17 de marzo de 2007 en la jornada de la noche, se reportaron valores de tendencia alta que se asocian a la descarga del canal Los Comuneros y de los interceptores presentes en este trayecto.

En El Delirio no se detectó la presencia de cromo total en el 40% de las muestras evaluadas.

En la carrera 7ª río Fucha y en Fucha avenida Ferrocarril se encontraron las mayores concentraciones en tiempo seco en la jornada de la noche. De las muestras evaluadas no se detectó cromo total en el 45 y 35%, respectivamente.

En Visión Colombia, en la jornada de la mañana, se presentó la mayor concentración en un evento de lluvia reportado por la estación hidroclimatológica de Santa Lucía (30,2 mm).

En lo temporal, la tendencia de la cuenca registra las mayores concentraciones de cromo total durante la jornada de la noche.

En cuanto a los elementos cobre, níquel, bario y zinc, se caracterizaron, en general, por una mayor variabilidad en los últimos puntos de la RCHB del río Fucha.

Ahora, en lo que se refiere a las cargas de cadmio, cobre, plomo, manganeso, níquel, bario, zinc y cromo total, en las tablas (de la 53 a la 56) y en las gráficas (de la 41 a la 44) se observa el comportamiento registrado por los puntos de seguimiento en la RCHB en el río Fucha.

De igual forma, como se relacionó en las concentraciones, a continuación se describen las variaciones de carga de los metales evaluados en la RCHB durante el período comprendido entre julio de 2006 y abril de 2007.

Los metales que presentaron valores máximos de carga durante los períodos de lluvia fueron cobre, manganeso, níquel, bario y zinc y en el período seco fueron cadmio, plomo y cromo total.

En Fucha con Alameda se presentaron las cargas máximas de la mayoría de los metales: cadmio, cobre, manganeso, níquel, bario y zinc. El plomo registró su carga máxima en Visión Colombia, y el cromo total en Zona Franca.

Vale la pena resaltar que los valores máximos registrados correspondieron en la mayoría de los casos a cargas muy alejadas del conjunto global de los datos y podrían considerarse como eventos atípicos dentro del conjunto muestreado. Si se exceptúan estos valores, la tendencia espacial de las cargas de metales fue creciente desde el inicio, en El Delirio (punto en donde siempre se registraron los valores mínimos), hasta Fucha con Alameda.

A nivel temporal, los eventos de carga máxima de la mayoría de los metales se presentaron en la jornada de la tarde, con excepción del cromo total, para el cual la carga máxima se registró en la jornada de la noche. Relacionado con el comportamiento temporal se encontró que las cargas de manganeso, níquel y bario tendieron a ser mayores en los días entre semana (de lunes a viernes) que en los fines de semana.

Cargas cadmio y cobre

En la Tabla 53 se presenta el comportamiento de las cargas de estos dos metales en el río Fucha.

TABLA 53. Comportamiento de las cargas de cadmio y cobre en el río Fucha

Punto de monitoreo	Cadmio (Ton/día)				Cobre (Ton/día)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana
El Delirio	4,21E-07	0,00051	0,000031	0,000003	2,17E-06	0,00185	0,000150	0,00004
Carrera 7ª río Fucha	3,53E-06	0,00207	0,00136	0,000011	2,20E-05	0,01328	0,00097	0,00028
Fucha avenida Ferrocarril	3,891E-06	2,87E-04	3,4E-05	0,00001	3,23E-05	0,02299	0,00338	0,00139
Avenida Las Américas	7,28E-06	0,00577	0,00034	0,000001	5,0E-05	0,08368	0,00836	0,00334
Visión Colombia	5,12E-05	0,00187	0,00033	0,000090	0,00262	0,10330	0,03811	0,02987
Zona Franca	3,98E-05	0,01893	0,00183	0,000126	0,00064	0,08518	0,03419	0,03767
Fucha con Alameda	0,00005	0,02869	0,00179	0,00018	0,00284	0,30662	0,05600	0,0390

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En los primeros puntos de monitoreo las cargas contaminantes de cadmio fueron bajas. En El Delirio y en la carrera 7ª río Fucha se generaron por caudal y no por concentración, lo cual se registró el 26 de julio y 2 de diciembre de 2006, respectivamente. En Fucha avenida Ferrocarril el comportamiento fue similar, la mayor carga se determinó el 13 de octubre de 2006. Las cargas contaminantes se presentaron más por concentración que por caudal. En la avenida Las Américas, el 26 de marzo de 2007; Visión Colombia, el 13 de diciembre de 2006; Zona Franca y Fucha con Alameda, el 1 de diciembre de 2006.

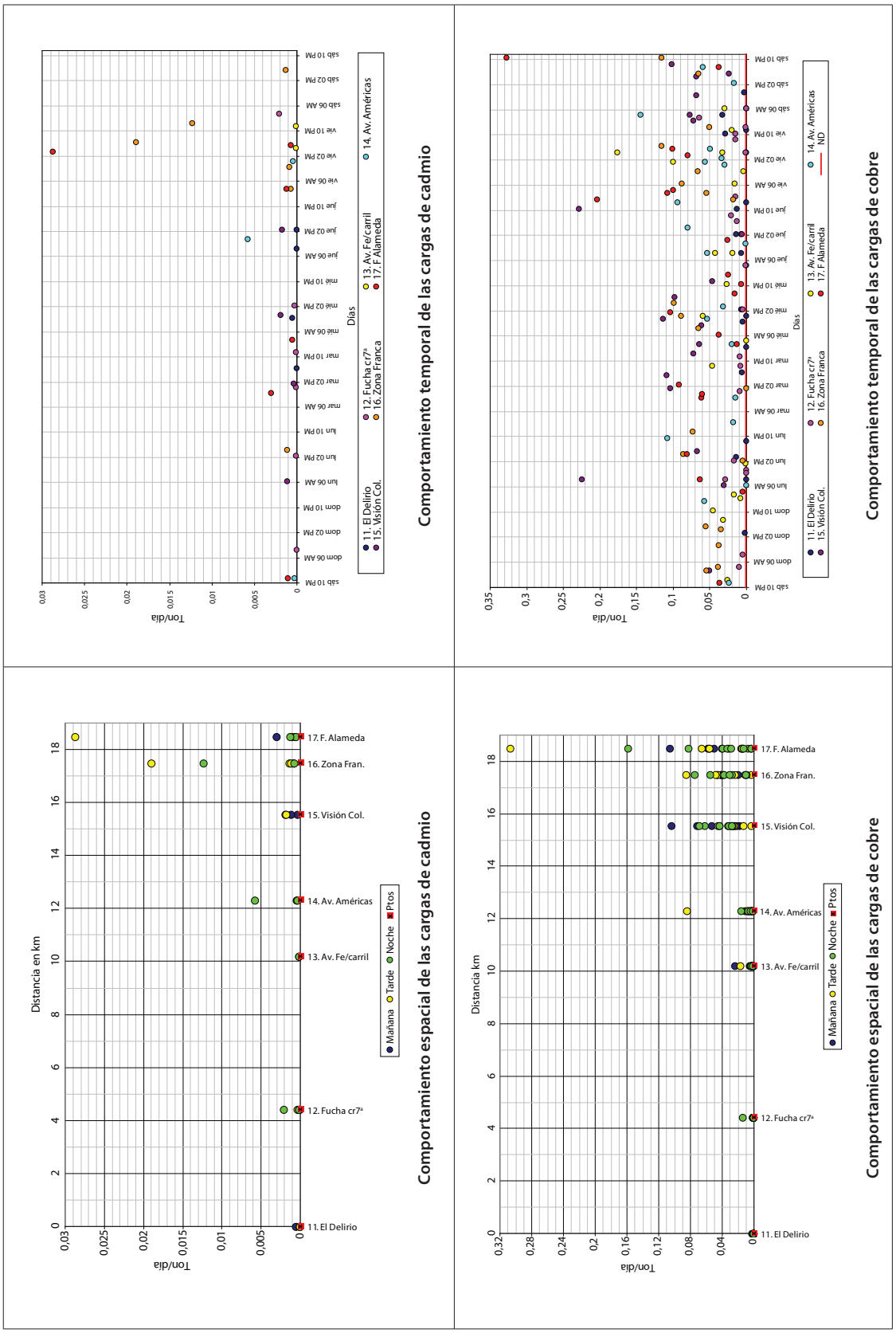
Refiriéndose a lo temporal, las mayores cargas se registraron en la jornada de la tarde en los dos últimos puntos de monitoreo, debido a la descarga de los interceptores en el tramo 4 (*ver Gráfica 41*).

Respecto al cobre, en los primeros 4 puntos el comportamiento fue similar al cadmio; en las mismas jornadas se registraron las mayores cargas contaminantes, es decir que la carga está representada por caudal.

En Visión Colombia la carga, registrada el 11 de septiembre de 2006, está constituída más por concentración que por caudal, en parte por la descarga de los interceptores Fucha, Boyacá y del Sur.

En los puntos Zona Franca y Fucha con Alameda, en época húmeda, se determinaron los valores más altos debido al aporte de caudal por antecedentes de lluvia los días 18 y 20 de noviembre de 2006.

GRÁFICA 41. Comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes de cadmio y cobre en el río Fucha



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Cargas níquel y bario

En la Tabla 54 se presenta el comportamiento de las cargas contaminantes de estos dos metales en el río Fucha.

TABLA 54. Comportamiento de las cargas de níquel y bario en el río Fucha

Punto de monitoreo	Níquel (Ton/día)				Bario (Ton/día)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana
El Delirio	4,33E-06	0,00424	0,00033	0,00001	5,5E-05	0,00270	0,00056	0,0002
Carrera 7ª río Fucha	1,94E-05	0,00207	0,00036	0,00015	0,00055	0,04357	0,00380	0,0011
Fucha avenida Ferrocarril	3,1E-05	0,01724	0,00169	0,00017	0,00084	0,11641	0,00977	0,0030
Avenida Las Américas	7,80E-05	0,01859	0,00411	0,00246	0,00095	0,11700	0,01220	0,0041
Visión Colombia	4,37E-04	0,06070	0,0229	0,02215	0,01358	0,07447	0,03308	0,0292
Zona Franca	6,49E-04	0,08961	0,02192	0,01241	0,01314	0,09042	0,03853	0,0370
Fucha con Alameda	5,68E-04	0,12492	0,0335	0,0180	0,01327	0,23848	0,05211	0,0360

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el río la carga contaminante de níquel se encuentra representada por caudal más que por concentración, es decir, que se presentaron eventos y antecedentes de lluvia previos al monitoreo. Este comportamiento fue similar en los puntos carrera 7ª río Fucha, avenidas Ferrocarril y Las Américas.

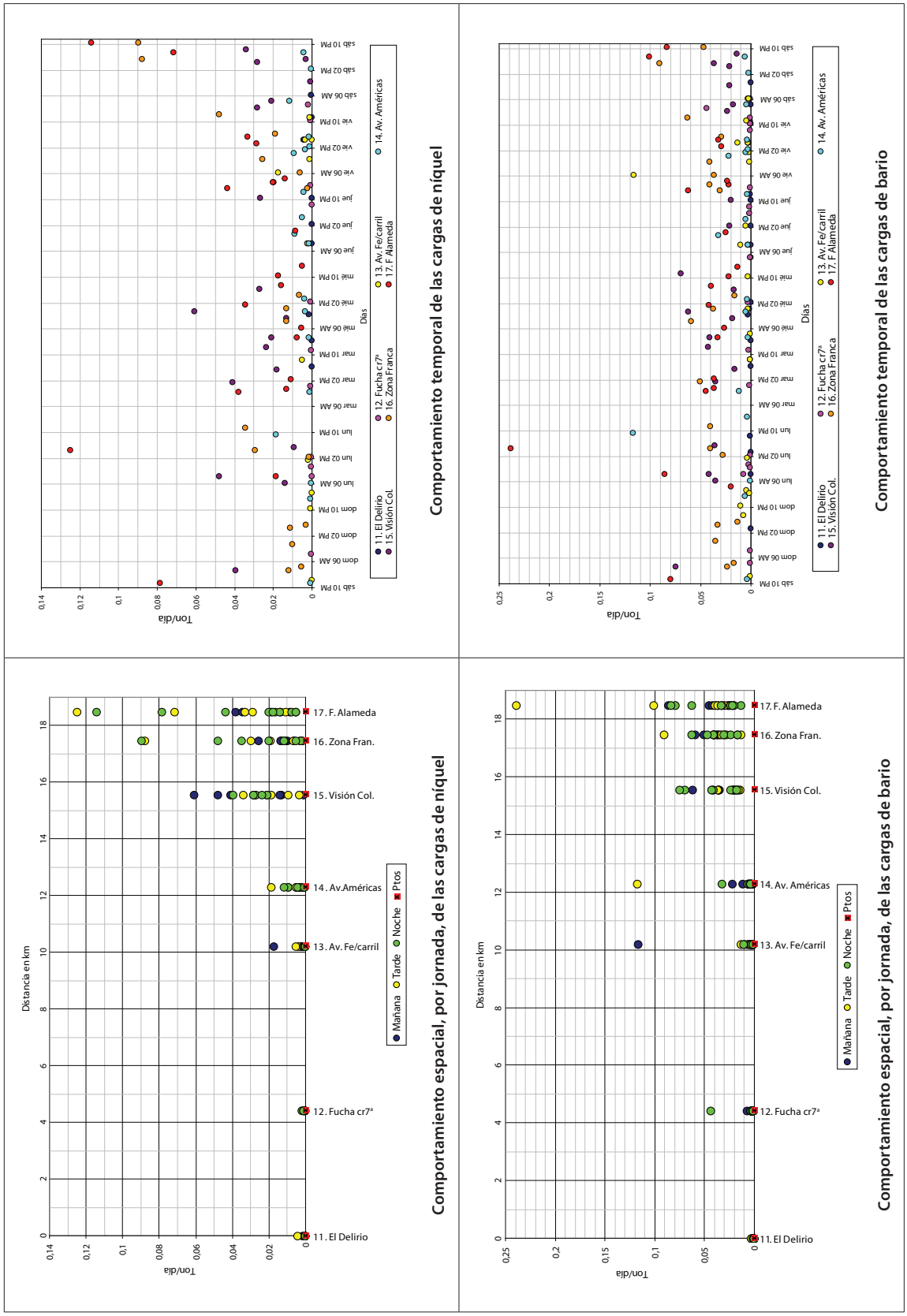
En El Delirio el mayor valor se presentó por concentración más que por caudal; en Visión Colombia se registró un evento de lluvia el 13 de diciembre de 2006, el cual incrementó el caudal; en Zona Franca la carga contaminante máxima se representó por concentración en tiempo seco, el 20 de enero de 2007, y se asoció al aporte de los interceptores en este tramo.

En Fucha con Alameda el mayor valor de carga contaminante se debió al caudal medido (43.813 l/s) por un antecedente de lluvia el día 20 de noviembre de 2006. En lo temporal, las mayores cargas contaminantes de níquel se registraron en las jornadas de la tarde y noche (*ver Gráfica 42*).

Las cargas contaminantes por bario en el río Fucha durante el desarrollo del presente estudio registraron tendencia similares a los parámetros anteriores, es así como en época de lluvia (noviembre de 2006) se dieron los mayores valores, como se observó en Zona Franca y Fucha con Alameda. De igual forma, en Fucha avenida Ferrocarril el 13 de octubre de 2006, la carga se incrementó debido a valores de precipitación de 24,2 mm reportados por la estación hidroclimatológica de Santa Lucía. Este mismo comportamiento se registró en El Delirio el 26 de julio de 2006.

En la carrera 7ª río Fucha y avenida Las Américas las mayores cargas contaminantes se calcularon por las dos variables, caudal y concentración.

En relación con lo temporal se observó que las mayores cargas contaminantes por bario se registraron en la jornada de la tarde.



GRÁFICA 42. Comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes de níquel y bario en el río Fucha

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Cargas plomo y manganeso

En la Tabla 55 se presenta el comportamiento de las cargas contaminantes de plomo y manganeso en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

TABLA 55. Comportamiento de las cargas de plomo y manganeso en el río Fucha

Punto de monitoreo	Plomo (Ton/día)				Manganeso (Ton/día)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana
El Delirio	4,5898E-06	0,0081668	0,0008429	0,00004	4,210E-07	0,00585209	0,00058593	0,00007
Carrera 7ª río Fucha	5,47E-05	0,06225628	0,0036087	0,00022	0,0006818	0,03154318	0,00344829	0,00143
Fucha avenida Ferrocarril	5,83E-05	0,03449215	0,0024537	0,00016	0,00097044	0,0531754	0,007450979	0,00401
Avenida Las Américas	1,09E-04	0,2187200	0,01279165	0,0005	0,00100691	0,1084837	0,013682189	0,00609
Visión Colombia	0,00105508	0,27643823	0,0324494	0,0064	0,02449453	0,15341184	0,069910295	0,05398
Zona Franca	0,00050449	0,05529404	0,013026	0,0063	0,01533105	0,20561791	0,086205467	0,07316
Fucha con Alameda	8,58E-04	0,06435283	0,013387	0,0036	0,01365104	0,58674639	0,127452548	0,08500

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En tiempo seco, en los puntos avenida Las Américas y Visión Colombia, el 11 de enero de 2007, y Zona Franca el 20 de enero de 2007, se observó que la carga contaminante se registró por concentración, lo que muestra la incidencia del canal Los Comuneros, así como la descarga de los interceptores Boyacá, Fucha, del Sur y Kennedy en los puntos respectivos.

En Fucha con Alameda el caudal de 43.813 l/s incrementó las cargas en todos los parámetros evaluados en este punto de monitoreo.

En El Delirio, carrera 7ª río Fucha, avenidas Ferrocarril, Las Américas, Visión Colombia y Fucha con Alameda, la carga contaminante, más que por concentración, se dio por caudal y se asocia a eventos y antecedentes de lluvia que se registraron en las mismas jornadas de los parámetros anteriores.

Respecto al manganeso, en El Delirio el valor máximo de carga contaminante se reportó por concentración mas no por caudal, el 19 de diciembre de 2006, lo cual se asocia a un período seco y muestra mayor concentración de este metal en este punto.

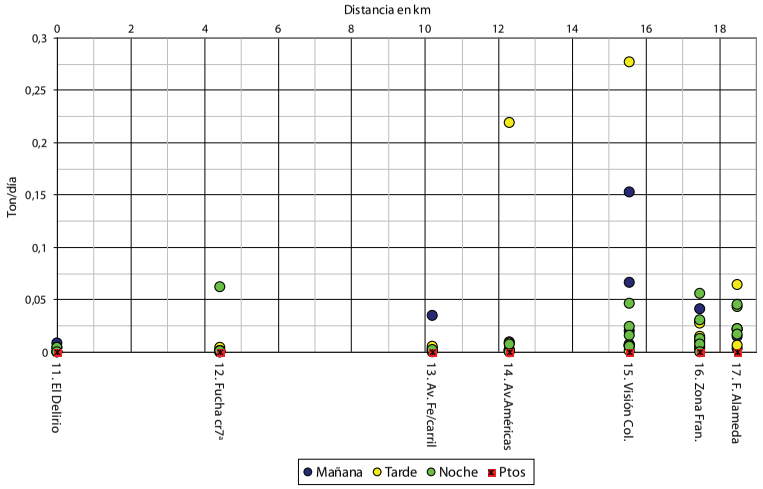
En Zona Franca, el 20 de diciembre de 2006, se registró la mayor carga contaminante de manganeso asociada a concentración (0,53 mg/l).

Es de anotar que en Fucha con Alameda se registraron las mayores cargas contaminantes asociados a tiempos secos, en diciembre de 2006, debido al aporte de los interceptores en este trayecto.

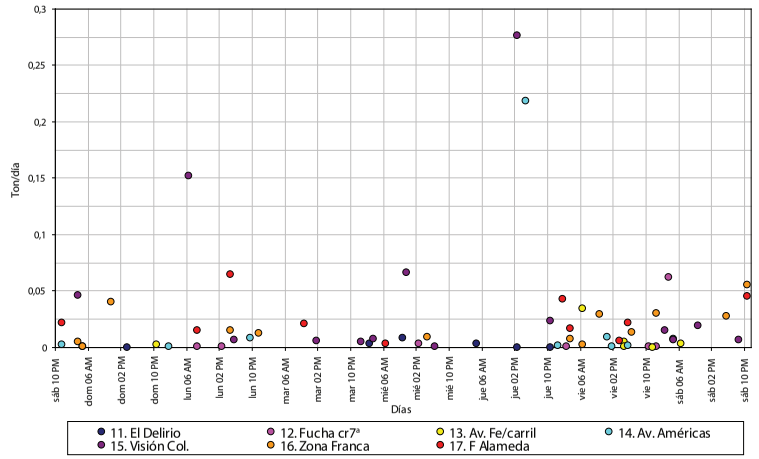
En lo temporal, en las jornadas de la tarde y la noche se presentaron las mayores cargas contaminantes de manganeso.

En la Gráfica 43 se ilustra el comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes de plomo y manganeso en el río Fucha.

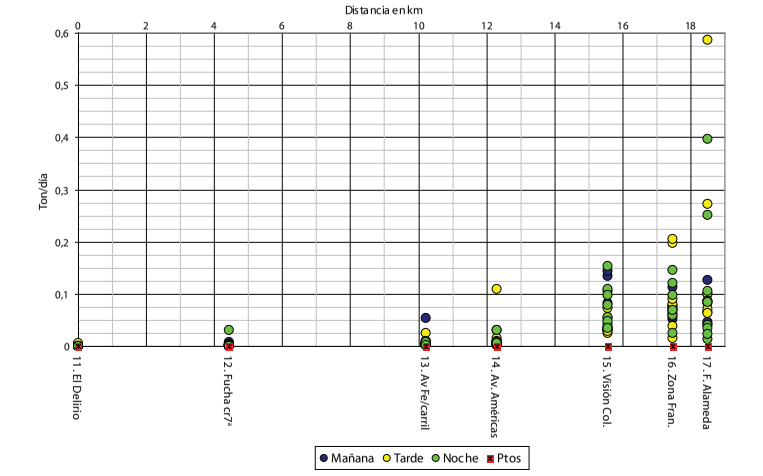
GRÁFICA 43. Comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes de plomo y manganeso en el río Fucha



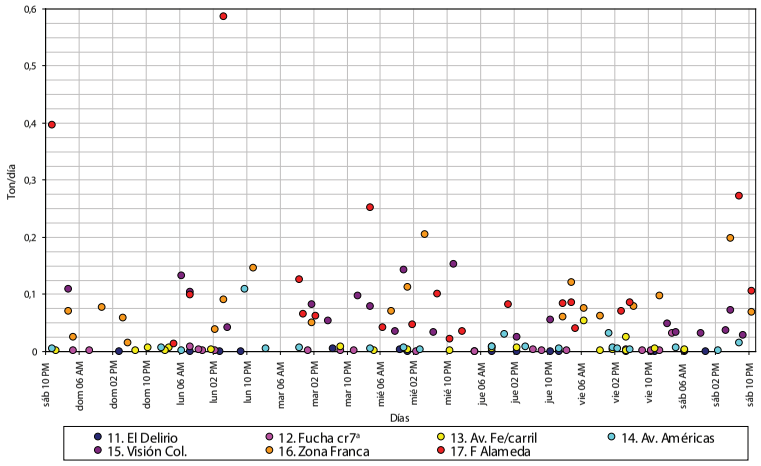
Comportamiento espacial, por jornada, de las cargas de plomo



Comportamiento temporal de las cargas de plomo



Comportamiento espacial, por jornada, de las cargas de manganeso



Comportamiento temporal de las cargas de manganeso

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Cargas zinc y cromo total

En la Tabla 56 se presenta el comportamiento de las cargas contaminantes de estos dos metales en los puntos de monitoreo en el río Fucha.

TABLA 56. Comportamiento de las cargas de zinc y cromo total en el río Fucha

Punto de monitoreo	Zinc (Ton/día)				Cromo total (Ton/día)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana
El Delirio	9,06E-05	0,00962	0,00118	0,0004	4,21E-06	0,00148	0,000195	0,00005
Carrera 7ª río Fucha	0,00070	0,06848	0,00705	0,0034	1,82E-05	0,00210	0,00036	0,00009
Fucha avenida Ferrocarril	0,00204	0,33054	0,02689	0,0080	3,14E-05	0,00718	0,00082	0,00019
Avenida Las Américas	0,00364	0,45253	0,04857	0,0155	7,80E-05	0,06162	0,00988	0,0051
Visión Colombia	0,00800	0,78356	0,20217	0,1435	0,00131	0,12579	0,03586	0,0333
Zona Franca	0,02791	0,73782	0,27910	0,2477	5,26E-04	0,94520	0,11707	0,0316
Fucha con Alameda	0,00241	6,44285	0,64270	0,2960	5,68E-04	0,22712	0,05422	0,0300

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En El Delirio la mayor carga contaminante de zinc se presentó por concentración el 3 de noviembre de 2006. En la avenida Las Américas, Visión Colombia y Fucha con Alameda las cargas contaminantes se calcularon por caudal y por concentración, lo que muestra la influencia del sector productivo metalmecánico en el canal Los Comuneros y en los interceptores que se descargan en el tramo 4.

En la Zona Franca el mayor aporte de carga contaminante se debió a antecedentes de lluvia registrados el 18 de noviembre de 2006.

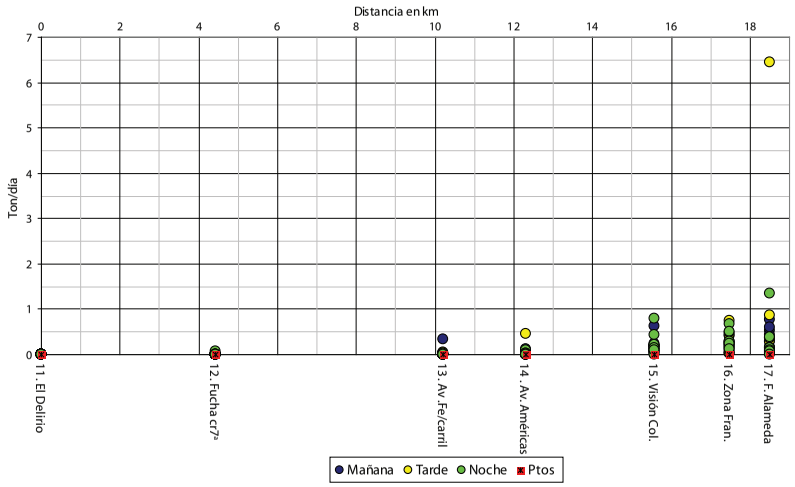
Respecto al cromo total, se registraron las máximas cargas contaminantes en la avenida Las Américas el 17 de marzo de 2007 y en Zona Franca el 24 de febrero de 2007, asociadas a la concentración y a tiempo seco; esto demuestra la influencia de sectores productivos como el químico y el metalmecánico en estos puntos.

Las cargas máximas relacionadas con eventos de lluvia se registraron en los puntos El Delirio y la carrera 7ª río Fucha el 26 de julio de 2006, en Fucha avenida Ferrocarril el 13 de octubre de 2006, en Visión Colombia el 13 de diciembre de 2006 y en Fucha con Alameda el 20 de noviembre del mismo año.

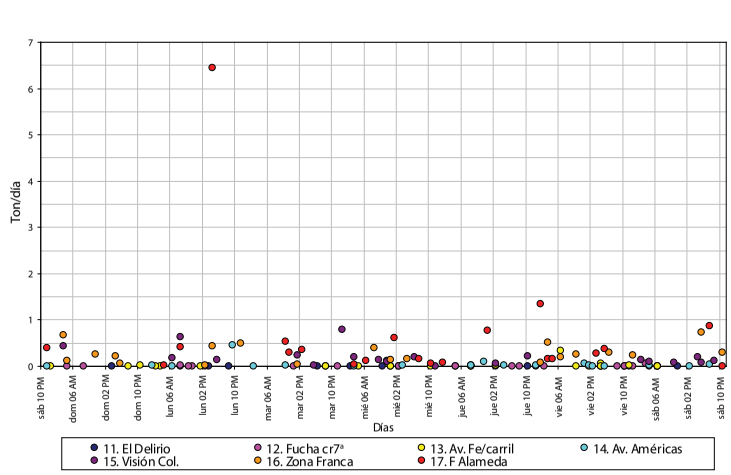
En Zona Franca se registraron las mayores cargas contaminantes en la jornada de la noche y se asociaron a tiempos secos (enero de 2007) donde se concentra más este metal por las descargas de los interceptores Fucha, Boyacá, del Sur y Kennedy.

En la Gráfica 44 se ilustra el comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes del zinc y del cromo total en los puntos de monitoreo del río Fucha.

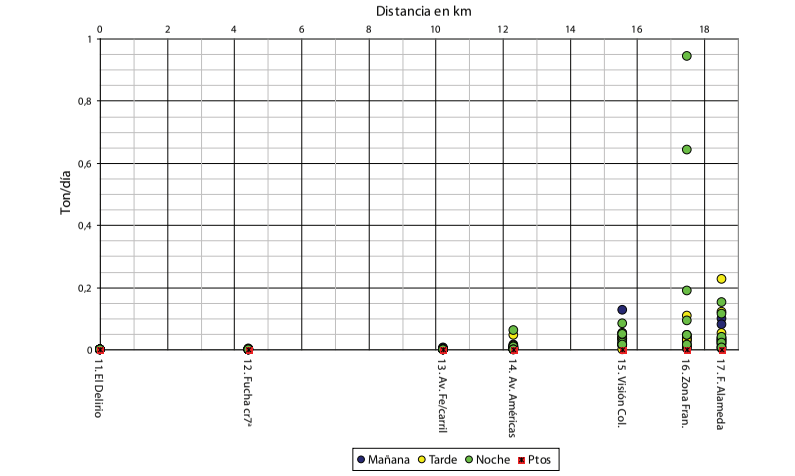
GRÁFICA 44. Comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes de zinc y cromo total en el río Fucha



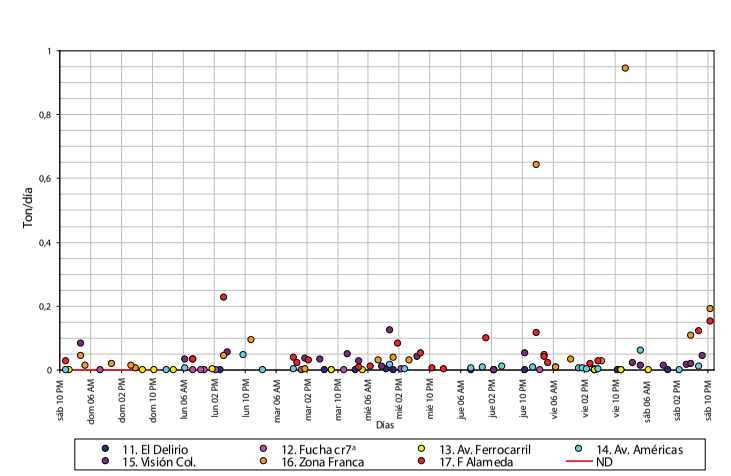
Comportamiento espacial, por jornada, de las cargas de zinc



Comportamiento temporal de las cargas de zinc



Comportamiento espacial, por jornada, de las cargas de cromo total



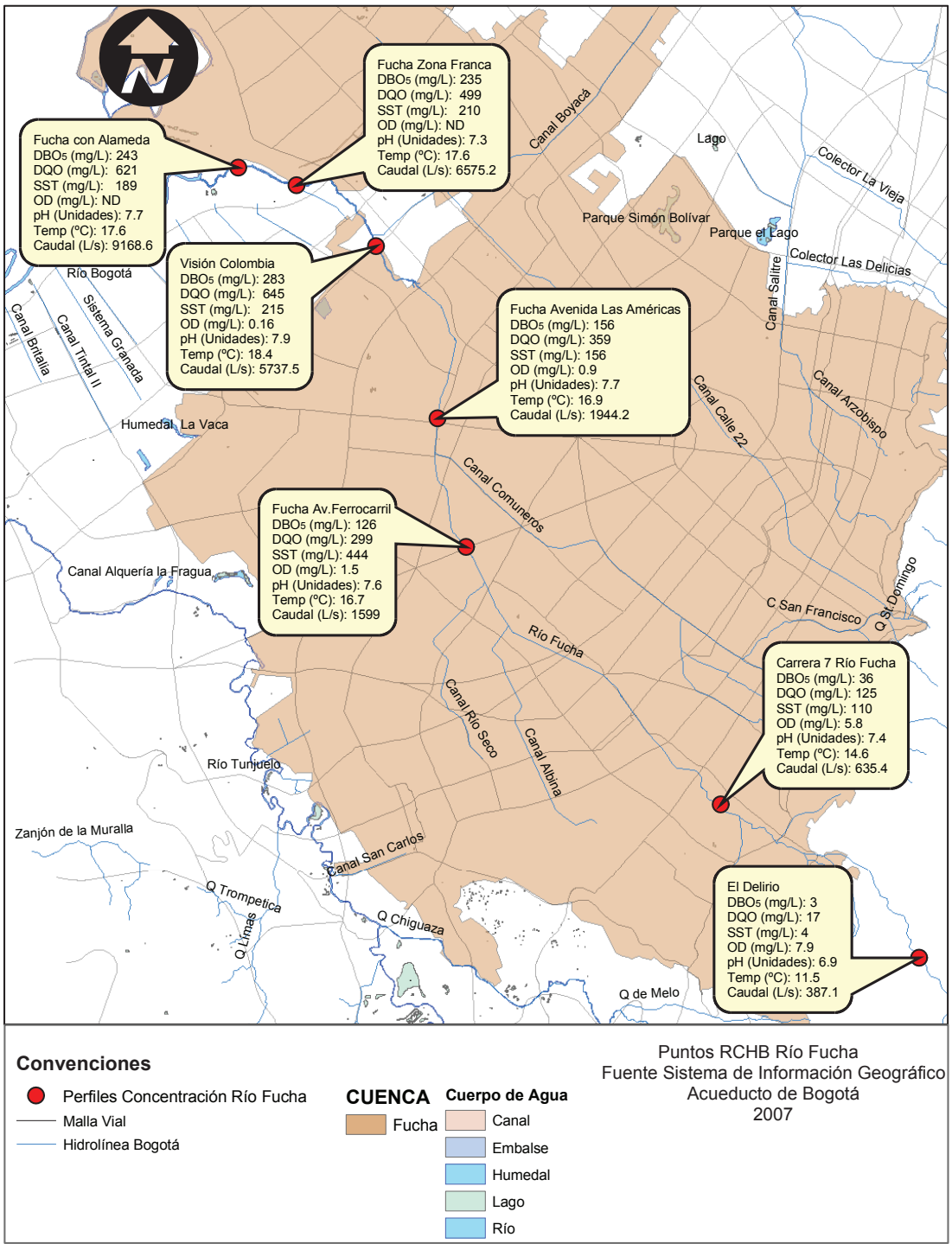
Comportamiento temporal de las cargas de cromo total

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Mapas de concentración y carga

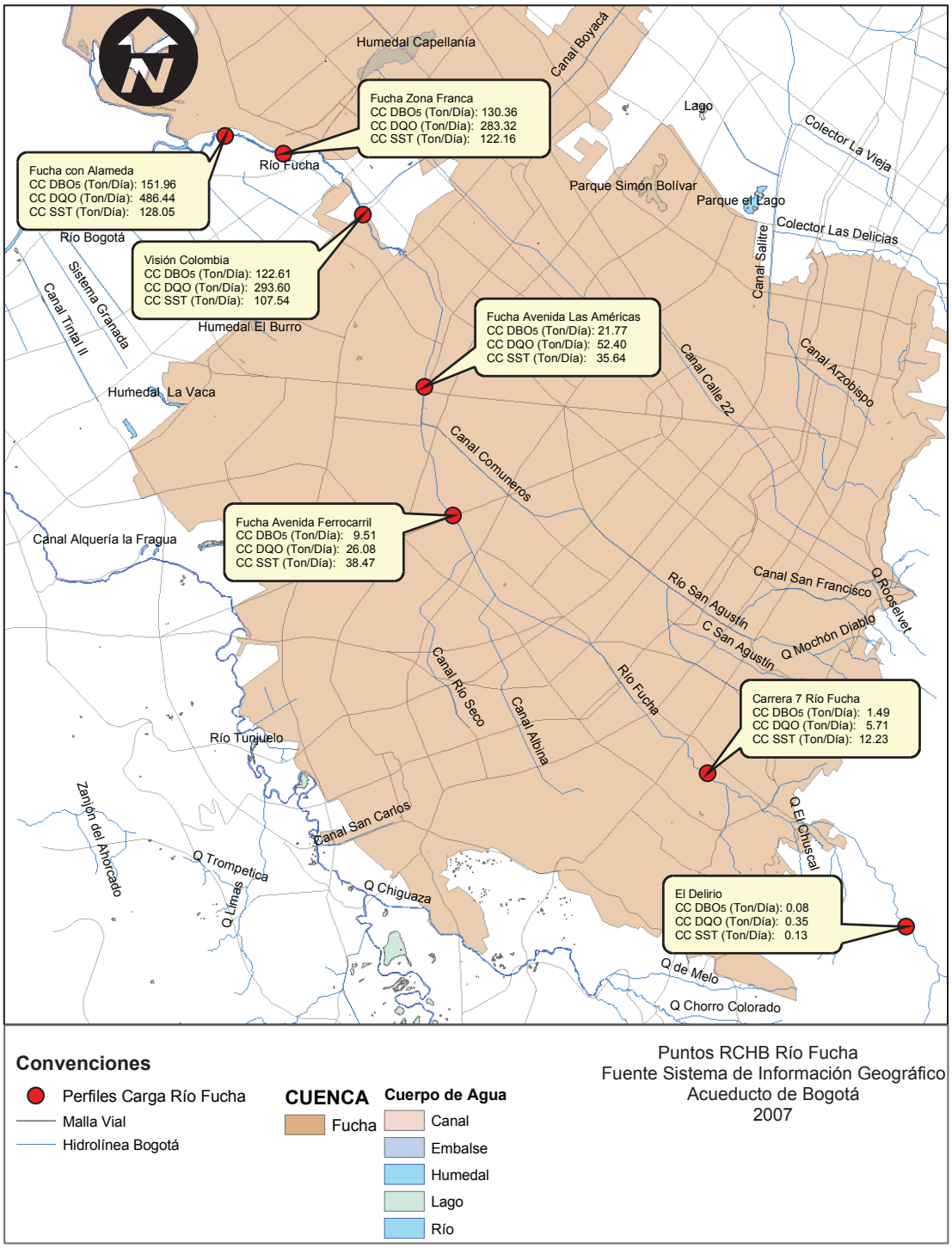
En los Mapas 19 y 20 se presentan los promedios de las concentraciones y cargas de los parámetros más relevantes medidos en el río Fucha.

MAPA 19. Concentraciones promedio de materia orgánica total y biodegradable y Sólidos Suspendidos Totales (SST), valores promedio de OD, pH y temperatura y caudal en el río Fucha



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 20. **Promedio de la carga de materia orgánica total y biodegradable y SST en el río Fucha**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Índice de calidad y usos del recurso hídrico

A continuación se presenta con un mayor grado de resolución espacial, los cambios que ocurren en la calidad del agua en el río Fucha, analizando cada uno de los 4 tramos que lo componen, respondiendo a los usos del recurso hídrico establecidos en el Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura y mediante el cálculo del índice CCME-WQI.

Uso agrícola

El análisis por tramos reveló la degradación de la calidad del agua para uso agrícola en el río Fucha a partir del segundo tramo. También se observó poca variación temporal de las condiciones del sistema a lo largo de las ventanas de tiempo evaluadas (*ver Gráfica 45*). Este mismo comportamiento se presentó cuando el análisis se realizó a nivel de los puntos de monitoreo.

Entre el trayecto que recorre desde la carrera 7ª río Fucha hasta el punto de entrega en la cuenca media del río Bogotá, correspondiente a Fucha con Alameda, la calidad del agua del río Fucha para su uso en actividades agrícolas fue pobre. Es en este mismo trayecto en el que recibe todos los aportes de vertimientos por parte del distrito. Llama la atención que en Fucha con Alameda, el río adquiere condiciones de calidad pobre, con puntajes que oscilan entre 26,8 y 34,2 puntos en la mayoría de las ventanas temporales examinadas, excepto en el período julio-octubre de 2006, en el cual se obtuvo una calificación de 38,2 puntos.

Es importante resaltar que entre El Delirio y carrera 7ª río Fucha, la calidad del agua se degradó progresivamente desde una categoría buena hacia pobre.

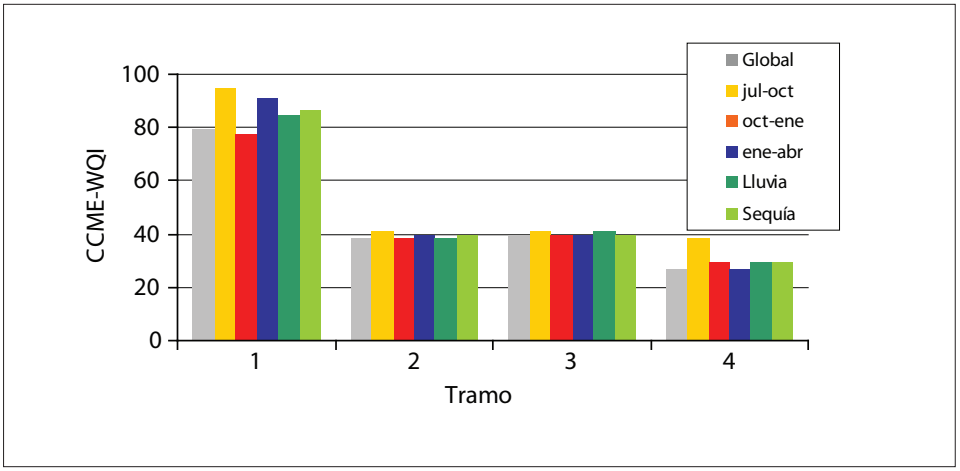
Entre las variables de incumplimiento respecto a la normativa para uso agrícola se destacan: coliformes totales, E. Coli, manganeso y plomo. De forma similar a lo que sucede en el río Salitre, las concentraciones de coliformes se inclinan por seguir una tendencia exponencial, que se relaciona con el comportamiento del índice para el río Fucha.

Uso pecuario

La calidad del agua para uso pecuario en todas las fuentes evaluadas presentó la menor variación espaciotemporal en comparación con los demás usos abordados. Los puntajes de calidad están siempre por encima de los 80 puntos y la diferencia entre las barras que representan las diferentes ventanas de tiempo empleadas es reducida.

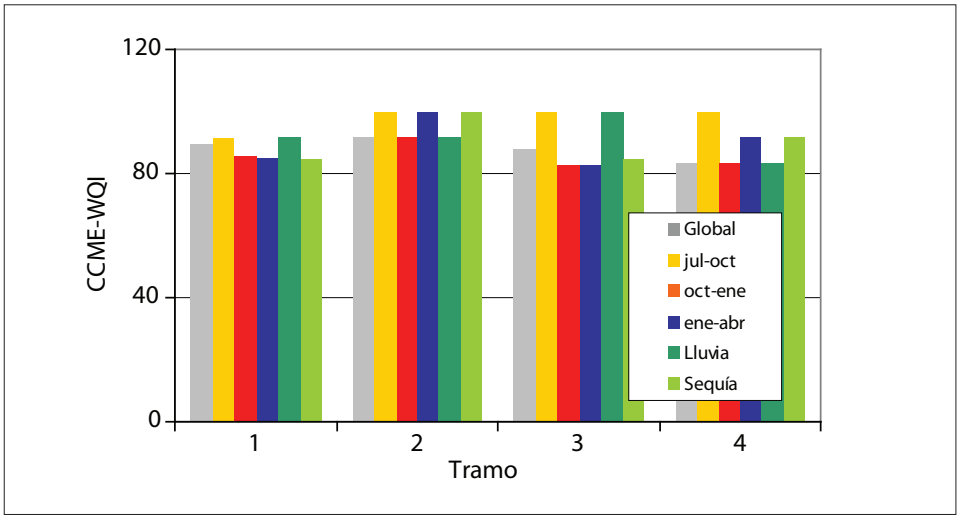
En la Gráfica 46 se observa el comportamiento de la calidad para este uso, asumiendo como réplicas para cada tramo, las mediciones de calidad del agua efectuadas en los puntos correspondientes a cada uno de ellos según el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura.

GRÁFICA 45. **Variación de la calidad del agua para uso agrícola en el río Fucha**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

GRÁFICA 46. **Variación de la calidad del agua para uso pecuario en el río Fucha**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Uso recreativo mediante contacto secundario

La calidad del río Fucha para uso recreativo mediante contacto secundario fue pobre durante todo el período de monitoreo, a partir de la carrera 7ª río Fucha que da inicio al segundo tramo. De esta manera, el análisis por tramos refleja adecuadamente el comportamiento del cauce (*ver Gráfica 47*).

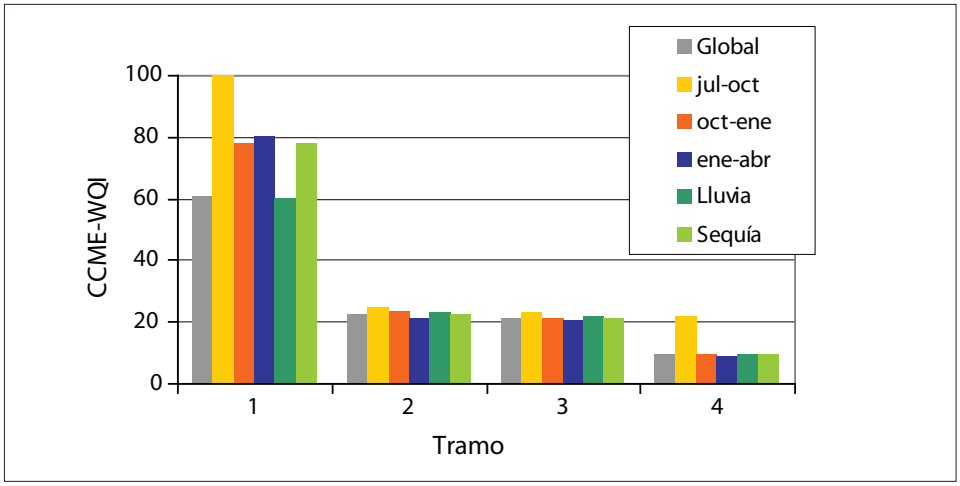
La calidad del agua en El Delirio varía en el tiempo, alcanzando el valor máximo del índice en el período de julio-octubre de 2006 (100 puntos). Fue buena en el período de enero-abril de 2007 (80,5 puntos), aceptable en el período octubre-enero (78,2 puntos) en la época seca, y marginal durante la

época de precipitación (60,1 puntos). Desde la carrera 7ª río Fucha hasta Fucha con Alameda la calidad del agua es pobre.

En el último tramo del río, a partir de Visión Colombia, se determinaron los puntajes de calidad más bajos de todo el cauce (7,9 - 9,3 puntos). Hubo una ligera recuperación de la calidad hacia la Zona Franca (23,6 puntos), para decaer finalmente, antes de entregar sus aguas a la cuenca media del río Bogotá, a la altura de Fucha con Alameda (20,7 puntos).

Las variables más relacionadas con la calidad del agua para uso recreativo, dado su comportamiento espacial, fueron coliformes totales y tensoactivos (SAAM). Ambas presentaron una tendencia de incremento, a partir de la carrera 7ª río Fucha (tramo 2).

GRÁFICA 47. Variación de la calidad del agua para uso recreativo en el río Fucha

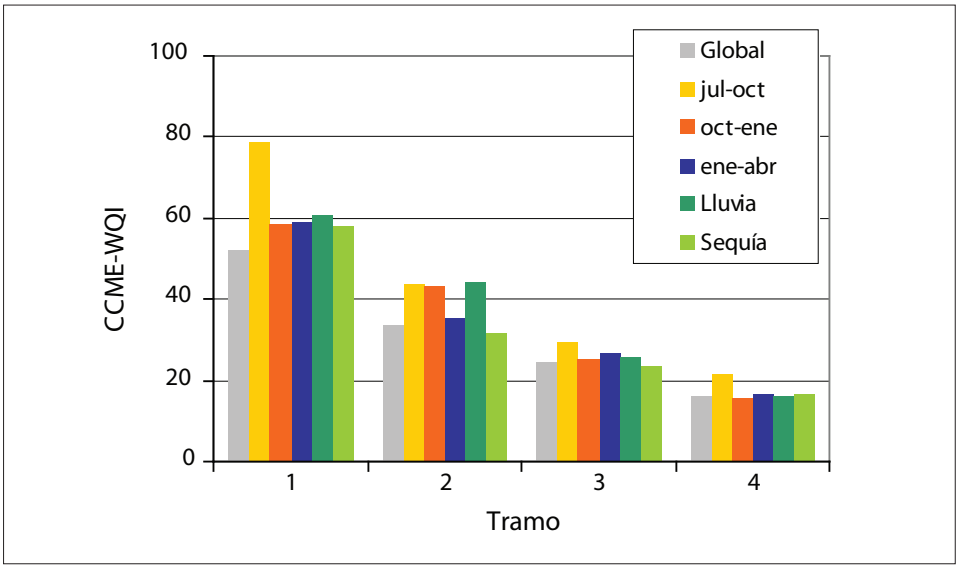


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Uso para la preservación de la vida acuática

El río Fucha presentó valores de calidad entre pobre (14,6 puntos) y aceptable (78,7 puntos) en cuanto a su uso para preservación de la vida acuática. Del análisis por tramos fue notorio un gradiente espacial de calidad en todas las ventanas temporales examinadas, con disminución de la calidad a medida que el río se aproxima a descargar sus aguas en la cuenca media del río Bogotá (*ver Gráfica 48*), tal como se observa más adelante en los mapas de calidad.

GRÁFICA 48. Variación de la calidad del agua para la preservación de la vida acuática en el río Fucha



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El tramo 4 del río comprendido entre Visión Colombia y Fucha con Alameda, en donde se registraron los puntajes de calidad más bajos para la corriente (14,6 y 21,0 puntos, respectivamente), debido a que en estos puntos más del 55% de las mediciones excedieron los límites normativos.

El período más crítico para la calidad del río Fucha con fines de preservación de la vida acuática fue la época seca (14,6 - 59,7 puntos) y el más favorable fue el período entre julio y octubre (21,0 - 78,7 puntos).

Usos del recurso hídrico de la cuenca del Fucha de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura

A continuación se determinan los posibles usos del cuerpo de agua por tramos de la cuenca del río Fucha en comparación con los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura, artículo 40 (uso agrícola), artículo 41 (uso pecuario), artículo 43 (uso recreativo mediante contacto secundario).

Tramo 1 (entrada perímetro urbano hasta la carrera 7ª)

En este tramo se encuentra El Delirio. Los valores obtenidos en este punto inicial del río Fucha se comparan con los parámetros establecidos en la legislación aplicable descrita anteriormente.

Respecto al arsénico, cadmio, zinc, cobre, cromo hexavalente y níquel, las concentraciones obtenidas no sobrepasan el valor de referencia, y no restringe el uso de la fuente para actividades agrícolas y pecuarias. Las concentraciones de manganeso y plomo sobrepasan en 1 muestra puntual de las 20 recolectadas el valor límite de la normatividad, lo que habilita el uso del recurso para la actividad agrícola y pecuaria, en un 95%.

El pH medido no restringe el uso del recurso para actividades agrícolas y pecuarias.

Los tensoactivos (SAAM) superan los 0,5 mg/l establecidos para uso recreativo mediante contacto secundario en una muestra puntual, indicando de esta forma que en el 95% de las concentraciones obtenidas se puede utilizar el recurso para este uso.

Los coliformes totales superan los 5.000 NMP/100 ml establecidos para uso agrícola y recreativo mediante contacto secundario en 1 de las 20 muestras recolectadas.

Tramo 2 (desde la carrera 7ª hasta la desembocadura del canal Los Comuneros)

Respecto a las concentraciones de arsénico, cadmio, zinc, níquel y cobre, en la carrera 7ª río Fucha, estas no sobrepasan los valores fijados en la legislación para uso agrícola y pecuario. En cuanto al plomo, únicamente excede el valor de referencia en 1 muestra de las 20 evaluadas.

En la carrera 7ª río Fucha, el 100% de las muestras superan los 5.000 NMP/100 ml de coliformes totales para uso agrícola y recreativo.

Los tensoactivos superan los 0,5 mg/l establecidos para uso recreativo en el 65% de las muestras recolectadas en la la carrera 7ª río Fucha, y en un 90% en Fucha avenida Ferrocarril.

El pH se halló dentro del rango normativo en el 100% de las muestras de la la carrera 7ª río Fucha y en Fucha avenida Ferrocarril.

El manganeso supera los 0,2 mg/l establecidos para uso agrícola en 2 muestras en Fucha avenida Ferrocarril. Los otros metales evaluados para este punto no sobrepasan los valores de referencia para uso agrícola y pecuario.

En Fucha avenida Ferrocarril los coliformes totales superaron los 5.000 NMP/100 ml establecidos para uso agrícola y recreativo mediante contacto secundario en todas las muestras evaluadas.

Tramo 3 (desde la desembocadura del canal Los Comuneros hasta la avenida Boyacá)

En la avenida Las Américas la contaminación bacteriológica restringe en un 100% el uso del recurso para actividades agrícolas y recreativas mediante contacto secundario.

El pH se halló dentro del rango establecido en la normatividad para los usos agrícolas y recreativos.

Los tensoactivos se reportaron menores a 0,5 mg/l en 2 muestras, lo que indica que en el 90% de las muestras evaluadas, se excede el valor de referencia.

Las concentraciones de metales como arsénico, zinc, cadmio, cobre, cromo, níquel y manganeso no restringen la utilización del recurso para actividades agrícolas y pecuarias. El plomo supera en 1 muestra los 0,1 mg/l establecido para el uso pecuario.

Tramo 4 (desde la avenida Boyacá hasta la desembocadura del río Fucha en el río Bogotá)

En este tramo se ubican los puntos Visión Colombia, Zona Franca y Fucha Alameda.

Los valores de coliformes totales restringen el uso del recurso hídrico para actividades agrícolas y recreativas mediante contacto secundario en todos los puntos de este tramo. El pH registró valores por encima de las 9,0 unidades en 3 muestras en Visión Colombia y en una de Fucha con Alameda, de esta forma se restringe en promedio el uso agrícola y recreativo mediante contacto secundario en un 6,6% en este tramo.

En Zona Franca se determinó en una muestra tensoactivos con un valor menor de 0,5 mg/l, por evento de lluvia. En el resto de las muestras y en los puntos Visión Colombia y Fucha con Alameda se supera el valor admisible de referencia, restringiendo así el uso recreativo mediante contacto secundario en estos casos puntuales.

En cuanto a los metales zinc, cobre, arsénico y mercurio total, no restringen la utilización del recurso hídrico para actividades agrícolas y pecuarias respectivamente, ya que los valores medidos son menores a los de referencia.

El manganeso supera los 0,2 mg/l en los puntos Visión Colombia y Zona Franca en 3 de sus muestras, y en Fucha con Alameda en 5 muestras.

Respecto al cadmio, se superan los 0,1 mg/l en Visión Colombia y en Fucha con Alameda en 2 muestras respectivamente. De la misma manera el plomo los sobrepasa en 3 muestras en Visión Colombia y en una en Fucha con Alameda; y el níquel en una muestra en Fucha con Alameda. Estos casos son puntuales e indican el efecto de las aguas residuales industriales sobre la corriente.

Cumplimiento de los objetivos de calidad, Resolución 1813 de 2006 del DAMA

En promedio, las concentraciones de la DBO_5 y el OD en el río son menores a los valores establecidos en cada uno de los tramos.

Únicamente en Fucha avenida Ferrocarril los SST superan los 250 mg/l establecidos en la normativa debido a un evento de lluvia que los incrementa

a 6.228 mg/l, por lo tanto, el promedio supera el valor límite solamente para el tramo 2.

Los valores promedio de pH y temperatura cumplieron con los límites establecidos en la norma citada en este aparte.

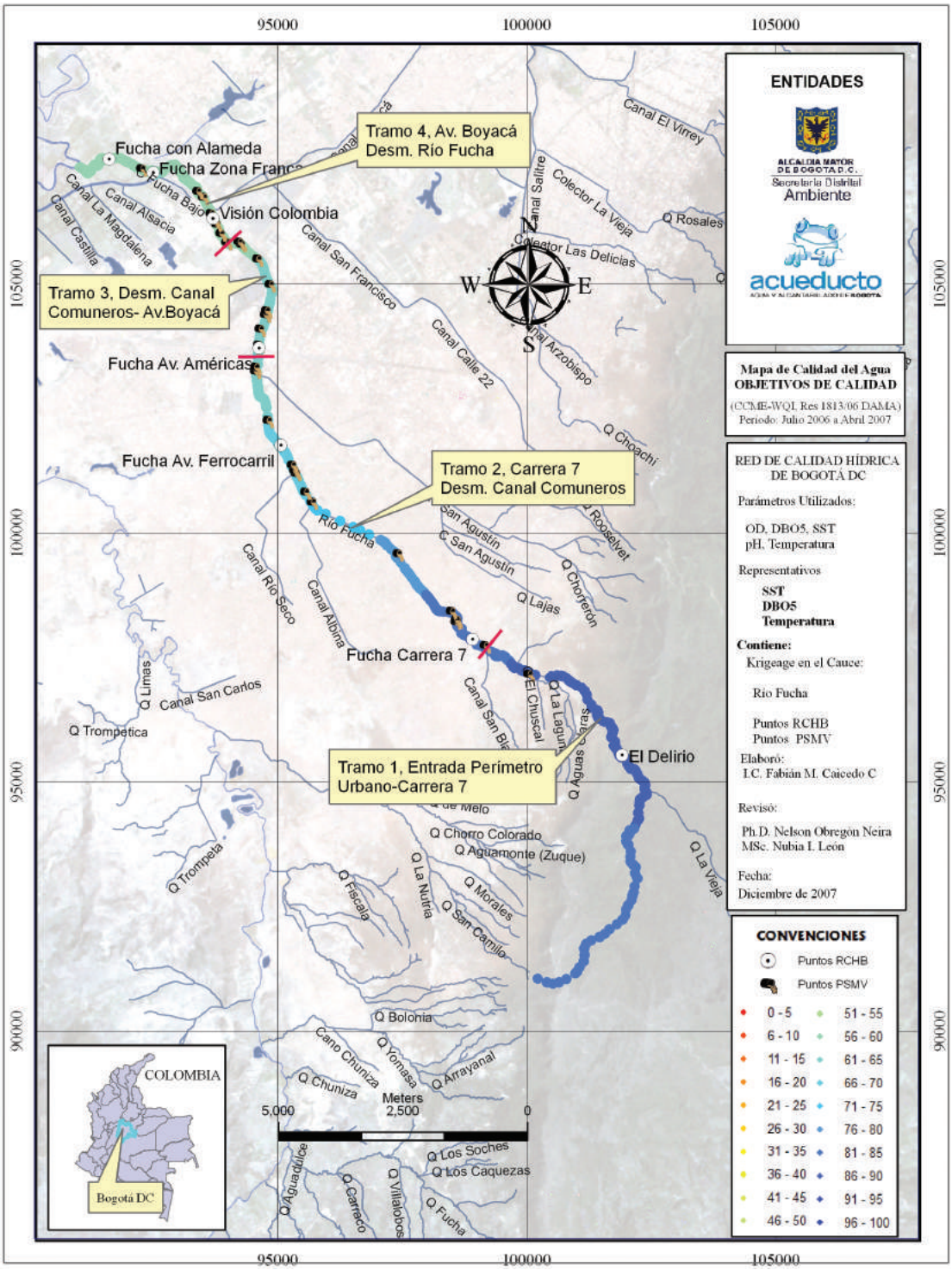
Mapas de calidad y confiabilidad

Los mapas de calidad y confiabilidad que se presentan a continuación están relacionados con los objetivos de calidad propuestos en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA para el río Fucha en sus 4 tramos, para dos de los períodos más representativos del análisis correspondientes al global de los datos y a las condiciones climáticas de lluvia.

Se presenta en el Mapa 21 la calidad del agua en todo el cauce y la demarcación de los 4 tramos que componen esta fuente. La confiabilidad del análisis global de la información se muestra en el Mapa 22, dejando ver en el primer tramo una baja confiabilidad por la ausencia de puntos de muestreo antes de la entrada al perímetro urbano.

La calidad del agua para la época de lluvia se ilustra en el Mapa 23 y la confiabilidad porcentual de estos valores en el Mapa 24.

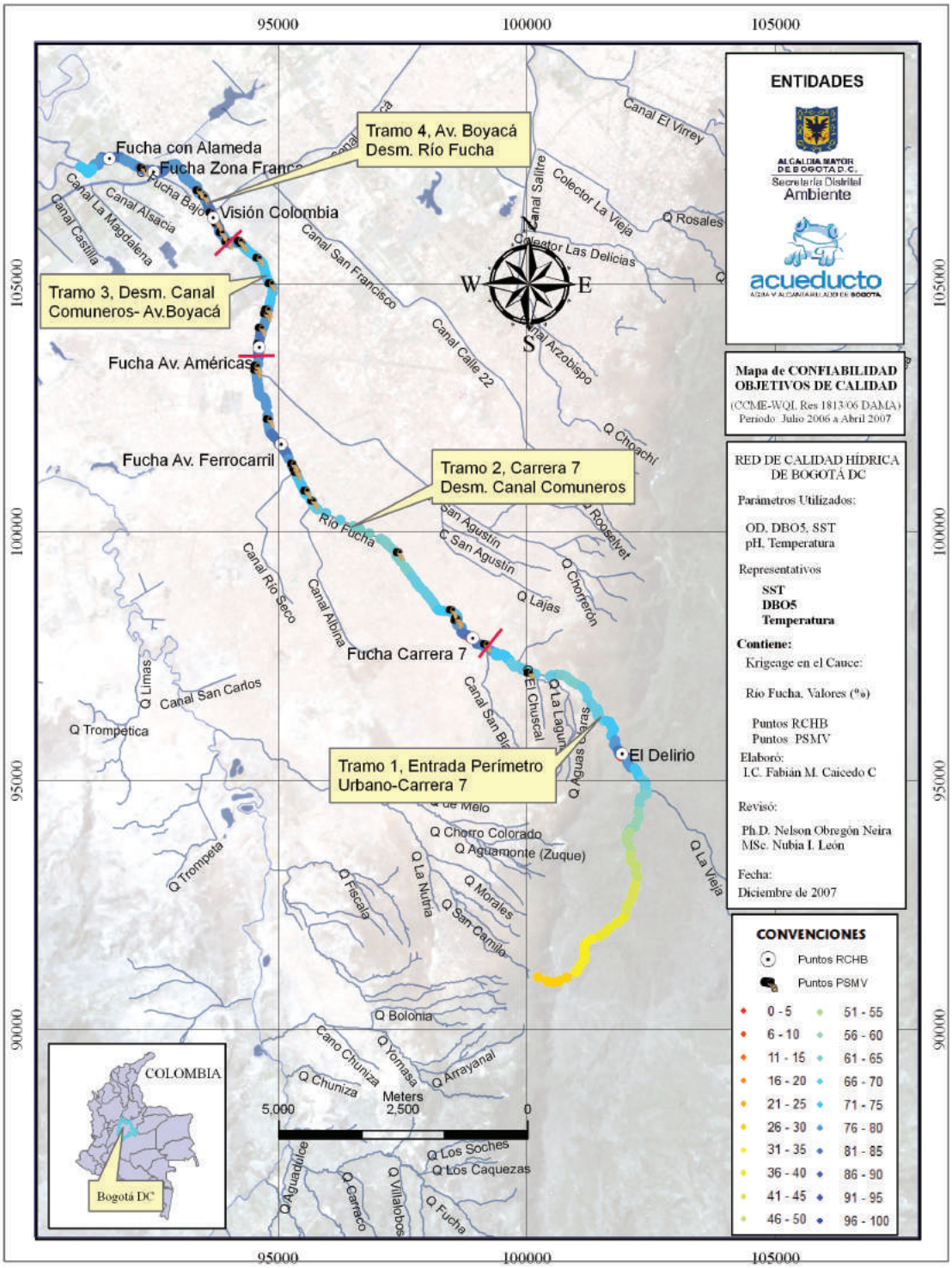
MAPA 21. Objetivos de calidad según Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa global de los datos en el río Fucha



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

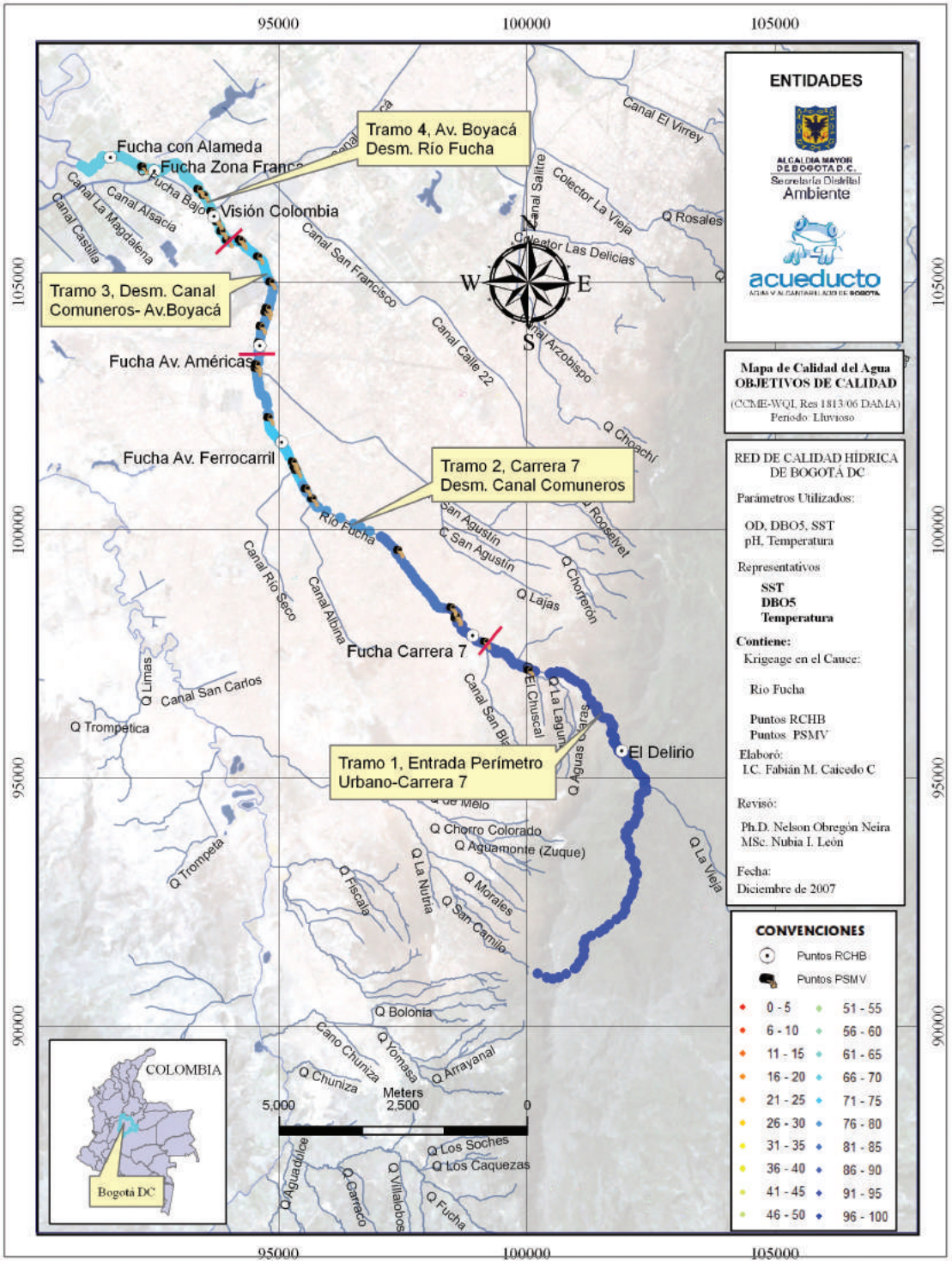
MAPA 22. **Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad global de los datos en el río Fucha**



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

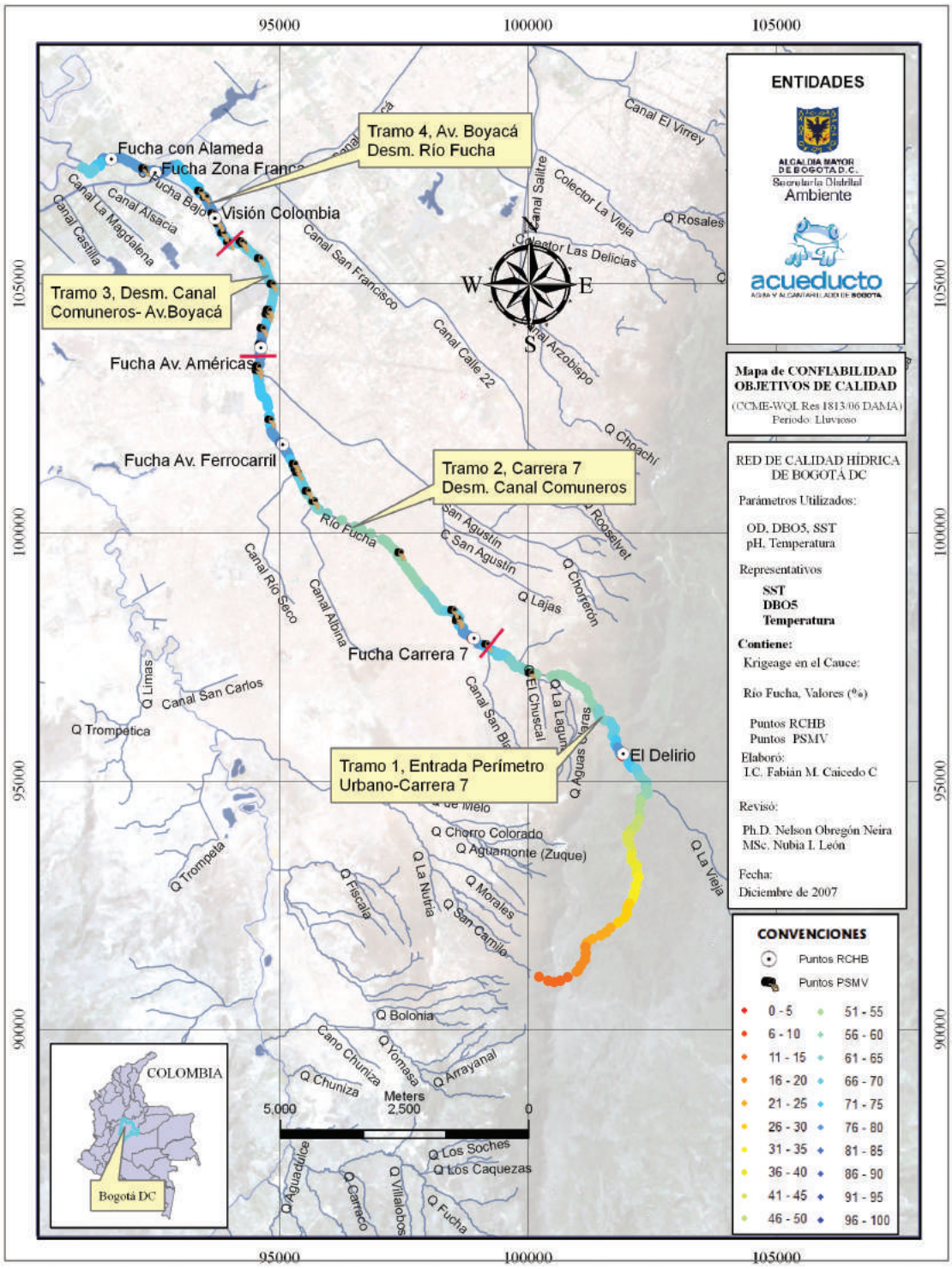
MAPA 23. Objetivos de calidad según Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa época lluviosa en el río Fucha



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 24. **Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad en época lluviosa en el río Fucha**



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Río Tunjuelo

Descripción de la cuenca

El río Tunjuelo nace en el páramo de Sumapaz por encima de los 3.700 msnm, a partir de tres cauces principales relativamente paralelos que fluyen en dirección predominante de sur a norte, correspondientes a los ríos Chisacá, Mugroso y Curubital, que al unirse conforman el río Tunjuelo propiamente dicho, el cual continúa en similar dirección hasta la parte baja de la cuenca, donde gira su curso en dirección occidente hasta desembocar en el río Bogotá, a una cota aproximada de 2.570 msnm. El río Tunjuelo drena la zona sur de la ciudad hacia el río Bogotá, con una extensión de 28,27 km, siendo su área de drenaje urbana 41.427 hectáreas y 4.237 hectáreas rurales.

Se divide en dos zonas: la occidental que corresponde a la parte plana, comprende lo que se conoce comúnmente como Tunjuelo Medio y Bajo, y la sur oriental que corresponde a la parte montañosa que a su vez es Tunjuelo Alto. La zona occidental es la más desarrollada, pero sus orígenes fueron como asentamientos informales, lo que ha dado lugar a desarrollos residenciales estratos 1, 2 y 3 y al desarrollo de un sector industrial. La zona sur oriental corresponde al sector de Ciudad Bolívar, Usme y los cerros sur orientales; allí predominan las viviendas estratos 1 y 2, y se encuentran eventualmente sectores residenciales estrato 3.

El río Tunjuelo drena hacia el río Bogotá, siendo la subcuenca de mayor extensión (390 km^2); en ella se asienta una proporción muy importante de la población total de la ciudad, aproximadamente un 30%, y es quizás la de mayor deterioro desde el punto de vista de erosión, particularmente por el intenso uso extractivo de materiales para la construcción y por el inadecuado desarrollo habitacional que caracteriza esta cuenca. Todo esto incide en el comportamiento del río Tunjuelo y, por supuesto, del río Bogotá, la principal arteria fluvial de la ciudad.

El sistema sanitario está compuesto principalmente por los interceptores Tunjuelo Medio –primera etapa, Comuneros– Lorenzo Alcatrúz y Limas; las estaciones de bombeo Grancolombiano, Cartagenita e Isla Pontón San José que descargan al río Tunjuelo; en un futuro, entregarán al interceptor Tunjuelo-Canoas con descarga final a la planta de tratamiento de aguas residuales de Canoas (proyectada).

El sistema pluvial del río Tunjuelo lo constituyen las quebradas Chiguaza, Limas, Yomasa, El Triángulo, El Zuque, Santa Librada, Juan Rey, La Pichosa, Moralvia, Nueva Delhi, Gaviotas, Zanjón de la Estrella y Trompeta; canales como San Carlos, San Vicente I y II; el sistema de amortiguación de crecientes (cuencas altas rural y urbana hasta San Benito) y la presa de Cantarana.

Fuentes de contaminación hídrica

La principal fuente de contaminación en el río Tunjuelo es el vertido de aguas residuales, las cuales fueron identificadas en la ejecución del Convenio 033/2003 SDA - EAAB-ESP y establecidas como base para la formulación del PSMV por parte de la EAAB-ESP.

A continuación se reseñan algunas de las fuentes de contaminación del río, desde la descarga de fondo del embalse La Regadera hasta la desembocadura al río Bogotá.

Desde La Regadera hasta la quebrada Yomasa el río Tunjuelo recibe los aportes en su mayoría de aguas servidas de los barrios altos de la localidad de Usme, especialmente las descargas de las quebradas Fucha y Yomasa, que a su vez en su recorrido reciben las descargas de origen residual doméstico. De igual manera, descargan los lixiviados de la planta de tratamiento del relleno sanitario Doña Juana y de las canteras que son explotadas cerca de las rondas del río que generan grandes aportes de sólidos.

A partir de la avenida Boyacá hasta la Autopista Sur descargan las quebradas Chiguaza y Limas, a las cuales confluyen vertimientos de origen residual de los barrios ubicados en las zonas aferentes. Asimismo, recibe las descargas de las quebradas y vertimientos directos de los barrios en desarrollo del sector de Ciudad Bolívar y Tunjuelito.

Siguiendo el recorrido desde la Autopista Sur hasta la desembocadura al río Bogotá, es el sector con mayor número de descargas de agua residual directas. En este sector en el margen izquierdo descarga el interceptor Tunjuelo Medio, que transporta las aguas servidas interceptadas desde antes de la avenida Boyacá, recaudando a su vez las aguas servidas domésticas e industriales del sector de curtiembres de San Benito.

Desde el barrio México hasta San Benito el río recibe la quebrada Chiguaza, la cual lleva vertimientos de origen residual doméstico y gran cantidad de sólidos de las actividades de trituración y molienda de agregados que se desarrollan en el margen izquierdo de la quebrada.

Entre San Benito y Makro Autopista Sur el río recibe las quebradas Limas y Trompeta, que incrementan la materia orgánica biodegradable y total en el río.

A partir de Makro Autopista Sur hasta la transversal 86 el río recibe la descarga del interceptor Tunjuelo Medio, el cual transporta las aguas servidas industriales y domésticas de un gran sector del sur de Bogotá y las aguas del sector de San Benito.

Localización de los puntos de monitoreo

En la Tabla 57 y en el Mapa 25 se presentan los puntos de monitoreo de la RCHB en el río Tunjuelo. Sobre el cauce se cuenta con un total de 9 puntos de monitoreo, de los cuales 2 también son puntos fijos.

TABLA 57. **Puntos de seguimiento de la RCH en el río Tunjuelo**

Cuenca	Puntos de monitoreo	Tramo Fuente	Abscisado	Coordenadas geográficas WGS84	
				Latitud	Longitud
RÍO TUNJUELO	La Regadera	1	K0+000	4,24181	74,08403
	100 metros aguas abajo después de la quebrada Yomasa	2	K12+881	7,30138	74,07399
	Doña Juana	2	K15+760	4,31318	74,07367
	Barrio México	3	K21+801	4,33308	74,08037
	San Benito	3	K22+652	4,33488	74,08227
	Makro, Autopista Sur	4	K31+839	4,35588	74,09077
	Transversal 86	4	K36+036	4,36448	74,10487
	Puente Independencia	4	K38+725	4,37058	74,11467
	Isla Pontón San José	4	K43+550	4,36548	74,13037

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el Esquema 10 se observa la apariencia física del río Tunjuelo en el puente de la Universidad Antonio Nariño en Usme y en Isla Pontón San José.

ESQUEMA 10. **Puntos sobre el río Tunjuelo**



Río Tunjuelo, puente Universidad Antonio Nariño **Río Tunjuelo, Isla Pontón San José**

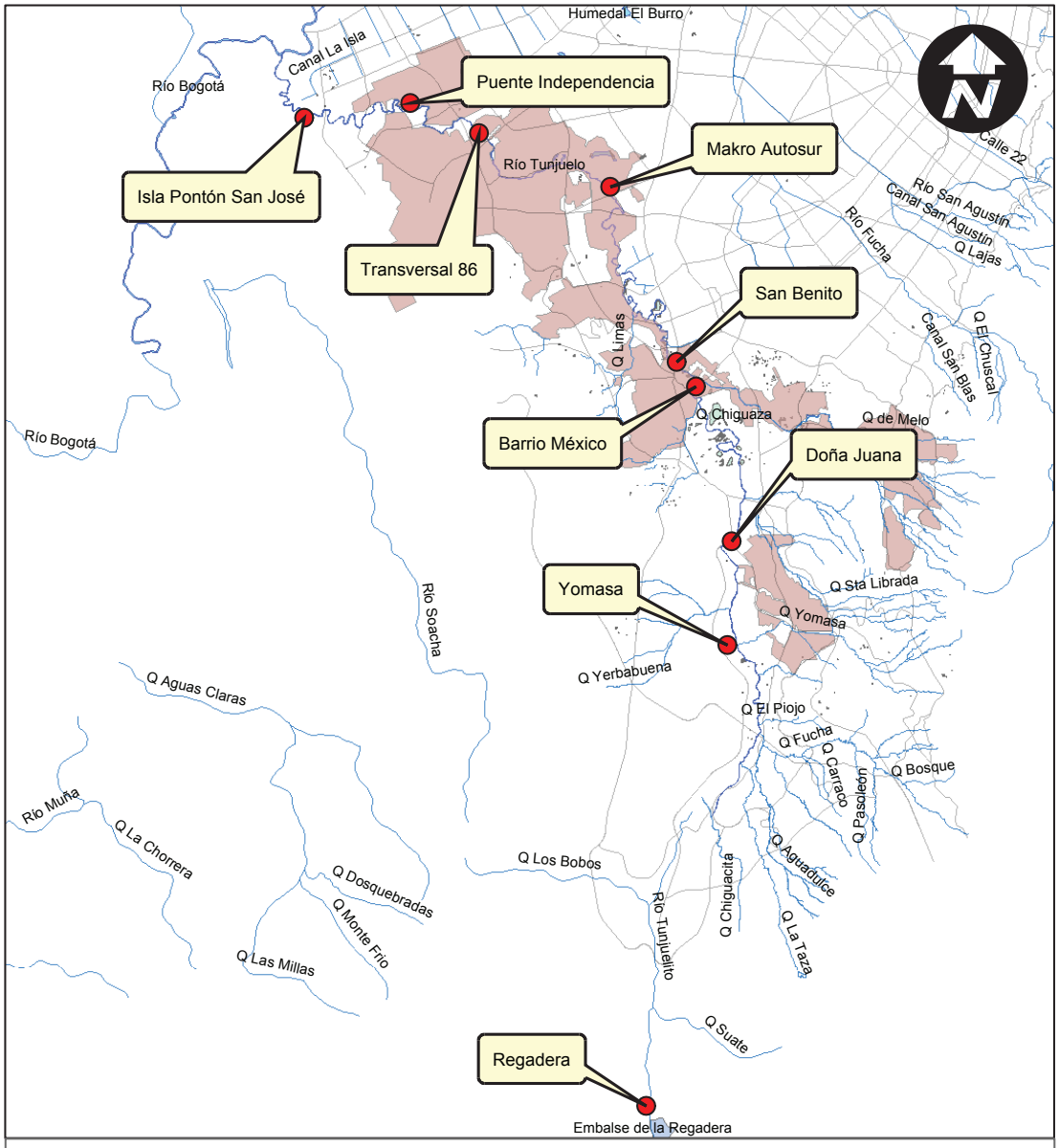
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Análisis de precipitación

Dada la relevancia que adquieren las precipitaciones en los fenómenos de arrastre de materiales y los efectos en la concentración, se recolectaron los registros de las estaciones hidroclimatológicas de la EAAB-ESP Casa Blanca, La Regadera, Santa Lucía, Bosa Barreno No. 2 y Quiba; esto con el fin de evaluar el comportamiento de las lluvias en la cuenca del río Tunjuelo.

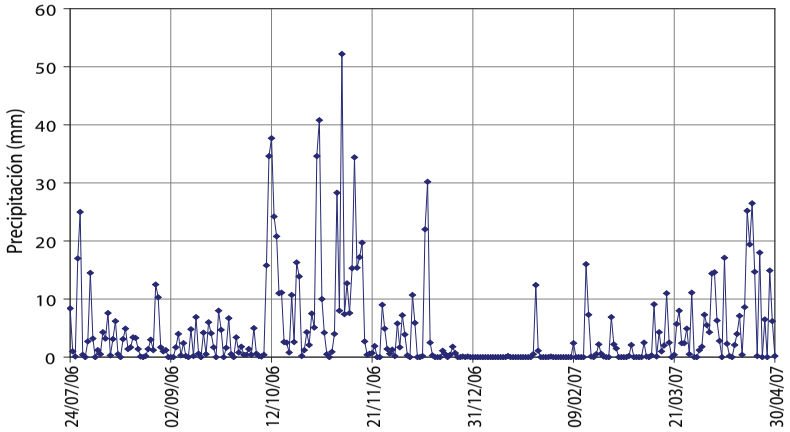
En la Gráfica 49 se presenta el análisis estadístico realizado a los datos capturados en las estaciones. En ésta se puede observar que la correlación tiene un valor medido que oscila entre 5 a 12 días. También se puede observar que el río Tunjuelo presenta una correlación de 5 días y su valor medio de precipitación para el período analizado es de 4,41 mm /día.

MAPA 25. Ubicación de los puntos de la RCHB en el río Tunjuelo

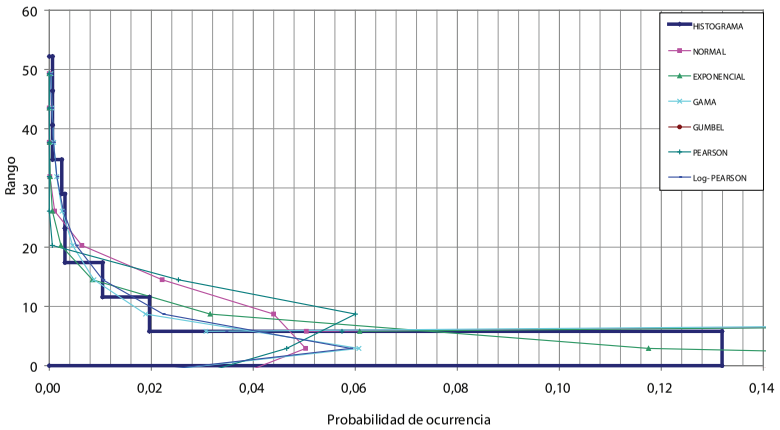


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

GRÁFICA 49. Análisis lineal de la serie de precipitación para la cuenca del río Tunjuelo



Precipitación durante el período de monitoreo en la cuenca del río Tunjuelo



Histograma de frecuencias análisis de precipitación cuenca del río Tunjuelo

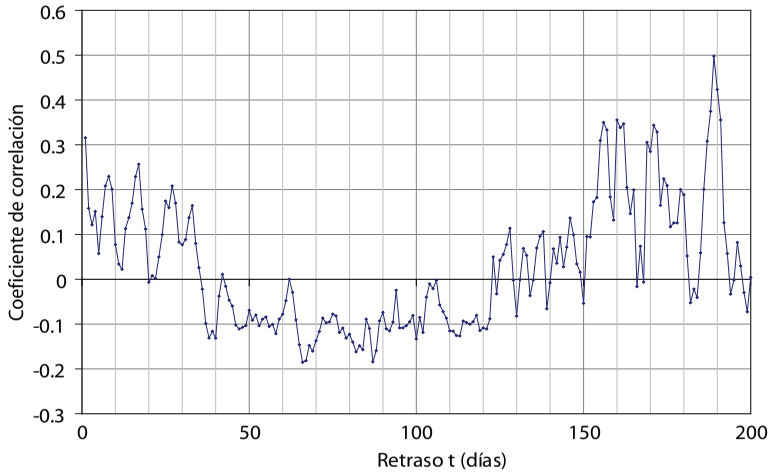
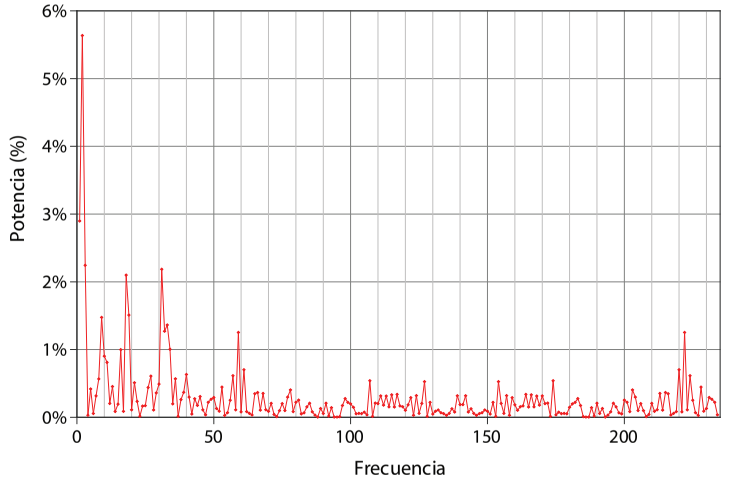


Diagrama de autocorrelación de la precipitación en la cuenca del río Tunjuelo



Períodograma serie de precipitación cuenca del río Tunjuelo

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

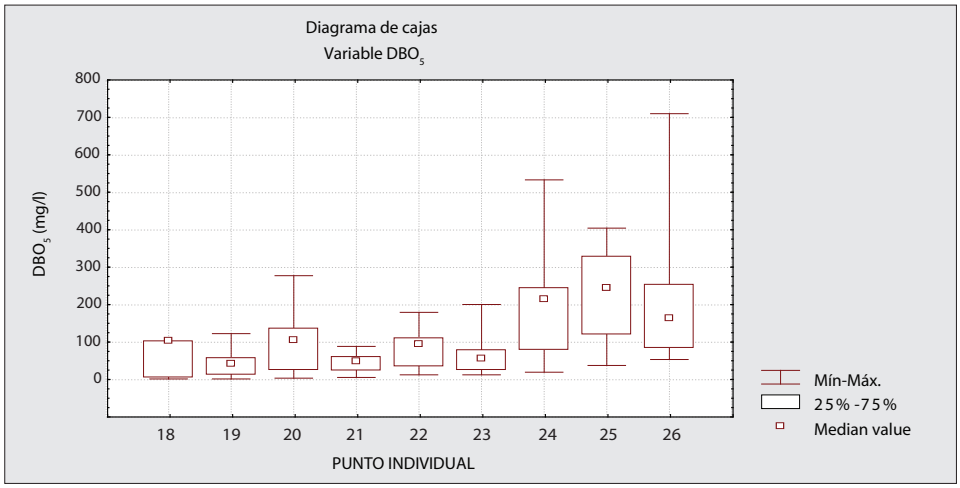
Análisis de los parámetros evaluados

A continuación se realiza un análisis de los resultados obtenidos de los parámetros evaluados en el río Tunjuelo.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Según el análisis estadístico se ve que este parámetro presenta diferencias significativas entre dos grupos de puntos de monitoreo; el primero, conformado por La Regadera, 100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa, Doña Juana, Barrio México, San Benito y Makro Autopista Sur, y el segundo, por la transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José. El primer grupo registró valores promedio de DBO_5 por debajo de los 100 mg/l, y el segundo reportó valores más elevados (233 mg/l) (*ver Gráfica 50 y Tabla 58*).

GRÁFICA 50. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Codificación de los puntos de monitoreo

18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En La Regadera no se detectó materia orgánica biodegradable en el 75% de las muestras evaluadas. El mayor valor registrado fue de 4 mg/l en época seca, el 22 de diciembre de 2006, en la jornada de la mañana. Las concentraciones determinadas no exceden los valores fijados en los objetivos de calidad para el tramo 1.

En el Esquema 11 se observa la apariencia física del río Tunjuelo en el predio de la Universidad Antonio Nariño y en una de las descargas del tramo 1.

ESQUEMA 11. Puntos sobre el río Tunjuelo en el tramo 1



Río Tunjuelo, puente Universidad Antonio Nariño, tramo 1

Descarga valla Universidad Antonio Nariño, tramo 1

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el tramo 2 del río Tunjuelo se encuentran los puntos aguas abajo de la quebrada Yomasa y Doña Juana. En el primero se registró una concentración promedio de 43 mg/l y un valor máximo de 123 mg/l el cual se reportó el 9 de octubre de 2006 en condiciones nubladas en la jornada de la mañana.

En Doña Juana, después de la descarga de la planta de tratamiento de lixiviados, se incrementa la DBO_5 a valores promedio de 100 mg/l debido al aporte de aguas residuales y de origen industrial provenientes de algunos predios donde se desarrollan actividades extractivas y de recuperación de materiales. La mayor concentración (278 mg/l) se reportó en la jornada de la tarde en condiciones secas.

Para este tramo los valores promedio no superan el límite establecido por la Resolución 1813 de 2006 del DAMA.

En el Esquema 12 se observa el sistema de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Doña Juana y la desembocadura de la quebrada Limas al río Tunjuelo.

ESQUEMA 12. Planta de tratamiento de lixiviados Doña Juana y desembocadura de la quebrada Limas



Vista de la planta de tratamiento de lixiviados Doña Juana



Descarga quebrada Limas, tramo 3

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el Barrio México se ve un descenso en el parámetro de DBO_5 cuyo valor promedio se encuentra en 45 mg/l asociado con los procesos de degradación y sedimentación que ocurren en las canteras inundadas Sánchez González, Pozo Azul y Santa María. Es importante señalar que antes del ingreso del río a la zona de canteras inundadas, éste recibe la descarga de la quebradas Santa Librada y Hoya del Ramo las cuales contienen aguas residuales.

En el tramo 3 se encuentran los puntos de monitoreo Barrio México y San Benito. En Barrio México el 100% de las muestras analizadas no sobrepasan el valor establecido en los objetivos de calidad (110 mg/l) propuestos para este tramo. El valor más bajo (6 mg/l) se registró en un evento de lluvia con un caudal de 15.024 l/s, mostrando una dilución de la materia orgánica biodegradable.

Entre Barrio México y San Benito el río recibe a la quebrada Chiguaza, la cual lleva vertimientos de origen residual doméstico. También lleva los aportes de sedimentos y sólidos finos de las actividades de trituración y molienda de agregados, que se desarrollan en el margen izquierdo de la quebrada finalizando en la entrega al río Tunjuelo; de igual forma, ambos márgenes del río reciben descargas de otras industrias extractivas.

En cuanto a San Benito el valor promedio de la DBO_5 fue de 88 mg/l; la mayor concentración (180 mg/l) se presentó en la jornada de la mañana en tiempo seco, el 14 de septiembre de 2006. En el Esquema 13 se presentan dos descargas en los tramos 3 y 4.

En el tramo 4 se encuentran los puntos de monitoreo Makro Autopista Sur, transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José.

En Makro Autopista Sur se tiene la influencia de las quebradas Limas y Trompeta, las cuales reciben descargas de origen residual doméstico en su recorrido y de las descargas establecidas en el PSMV de la EAAB-ESP, presentando un valor promedio de 66 mg/l. La mayor concentración (201 mg/l) se registró en la jornada nocturna y en época seca, el 17 de febrero de 2007, lo que se asocia a

mayor concentración de materia orgánica biodegradable en épocas secas donde se presentan bajos niveles de agua en la fuente superficial.

ESQUEMA 13. Descargas al río Tunjuelo en los tramos 3 y 4



Descarga costado norte de la avenida Gaitán, tramo 3

Descarga de vertimiento que no pertenece a la EAAB-ESP, tramo 4

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la transversal 86 se observó el incremento de la DBO_5, debido a la descarga del interceptor Tunjuelo Medio, el cual transporta las cargas contaminantes de un gran sector del sur de Bogotá y las aguas del sector de San Benito; adicionalmente, recibe descargas de origen residual doméstico e industrial de varios sectores productivos ubicados en el sector de Cazucá. El menor valor (20 mg/l) está asociado a antecedentes de lluvia del 28 de noviembre de 2006 en la cabecera del río. La mayor concentración (534 mg/l) se relaciona con el período seco el 18 de enero de 2007 en la jornada de la noche. En promedio se reportó un valor de 213 mg/l, el cual supera el valor establecido en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA (150 mg/l) para este tramo.

En el tramo comprendido entre la transversal 86 y Puente Independencia el río recibe varias descargas de los barrios ubicados en ambos márgenes y de la estación de bombeo Xochimilco. Finalmente, entre los puntos Puente Independencia e Isla Pontón San José se encuentran las descargas de las estaciones de bombeo Grancolombiano, Cartagenita y La Isla.

En el Esquema 14 se presentan 2 descargas ubicadas dentro del tramo 4 en el río Tunjuelo, de igual forma se observa el río Tunjuelo en la estación Isla Pontón San José.

En este trayecto se observa que en promedio se sobrepasa el límite establecido de la DBO_5 en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA, a excepción de Makro Autopista Sur (ver *Tabla 58*).

En Puente Independencia la menor concentración se relaciona con eventos de precipitación y con la apertura de la válvula de fondo del embalse La Regadera, el 18 de noviembre de 2006 en la jornada de la tarde, con un caudal de 20.753 l/s; el mayor valor de DBO_5 se asocia con tiempo seco y con bajos nive-

les de agua en la fuente superficial, donde hay mayor concentración de material biodegradable por acción de las descargas.

ESQUEMA 14. Descargas al río Tunjuelo de las estaciones Grancolombiano y Cartagenita y punto de monitoreo Isla Pontón San José



Descarga estaciones Grancolombiano y Cartagenita, EAAB, tramo 4

Isla Pontón San José, tramo 4

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En Isla Pontón San José en promedio el incremento de la materia orgánica biodegradable se debe a la afluencia de las estaciones de bombeo Grancolombiano y Cartagenita; se presentó un valor atípico en la jornada de la noche (711 mg/l), debido a valores bajos de caudal. La menor concentración se debió a eventos de precipitación y aperturas de la válvula de fondo en el embalse La Regadera, el 23 de octubre de 2006, en la jornada de la mañana, donde se apreciaron incrementos de caudal y dilución de la materia orgánica.

En general, las mayores concentraciones para la DBO_5 en el río Tunjuelo se presentaron en épocas de sequía, entre diciembre de 2006, enero y parte de marzo de 2007.

En la Tabla 58 se presenta el comportamiento de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

TABLA 58. **Comportamiento de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo**

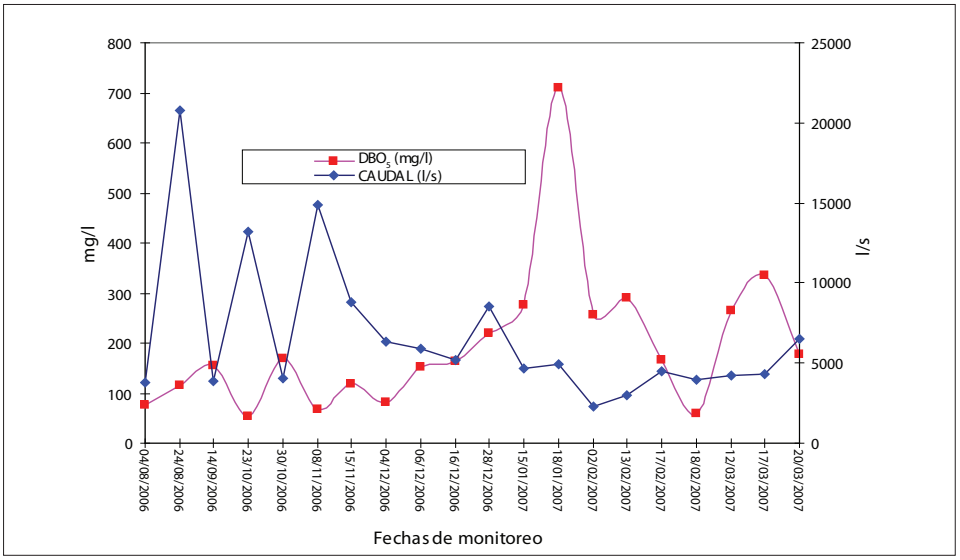
Punto de monitoreo	No. del tramo	Resol. 1813/06 del DAMA (mg/l)	Concentración de DBO_5 en el río Tunjuelo (mg/l)			
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
La Regadera	1	≤100	2	4	2	2
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2	≤110	2	**123**	43	43
Doña Juana	2	≤110	4	**278**	100	106
Barrio México	3	≤110	6	89	45	49
San Benito	3	≤110	13	**180**	88	95
Makro Autopista Sur	4	≤150	13	**201**	66	57
Transversal 86	4	≤150	20	**534**	**213**	**215**
Puente Independencia	4	≤150	38	**405**	**233**	**245**
Isla Pontón San José	4	≤150	54	**711**	**195**	**164**

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Nota. Los números de otro color que aparecen en esta Tabla, corresponden a los valores que sobrepasan los límites establecidos por la norma.

En la Gráfica 51 se ilustra el comportamiento del caudal y la DBO_5 en Isla Pontón San José, el cual presentó el mayor valor en épocas de sequía; de la misma manera en los antecedentes de lluvia se presentaron valores bajos de concentración de materia orgánica biodegradable por la dilución.

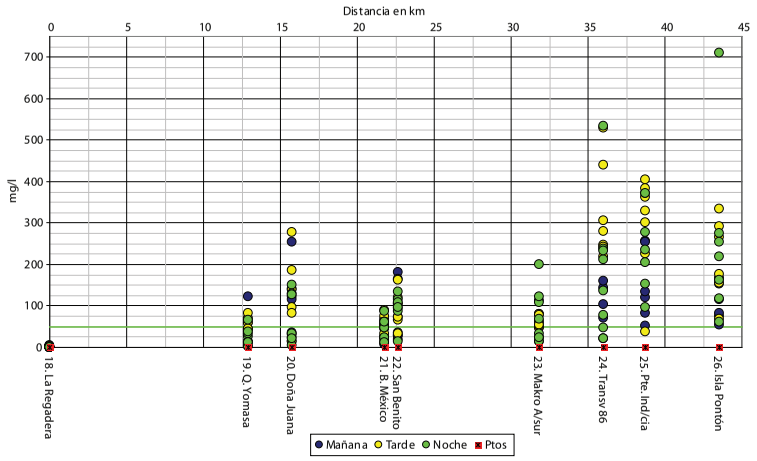
GRÁFICA 51. **Relación de la DBO_5 vs. caudal en Isla Pontón San José**



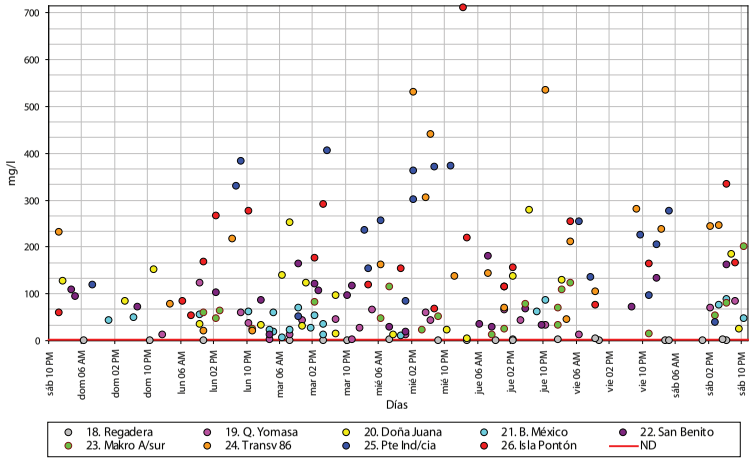
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Gráfica 52 se aprecia la variación espaciotemporal de las concentraciones y de la carga contaminante de la DBO_5 en los diferentes puntos de la RCHB en el río Tunjuelo.

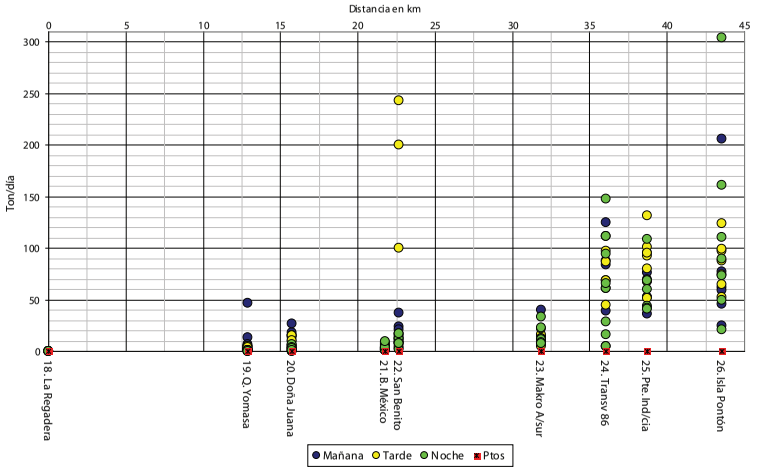
GRÁFICA 52. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas contaminantes de la DBO_5 en el río Tunjuelo



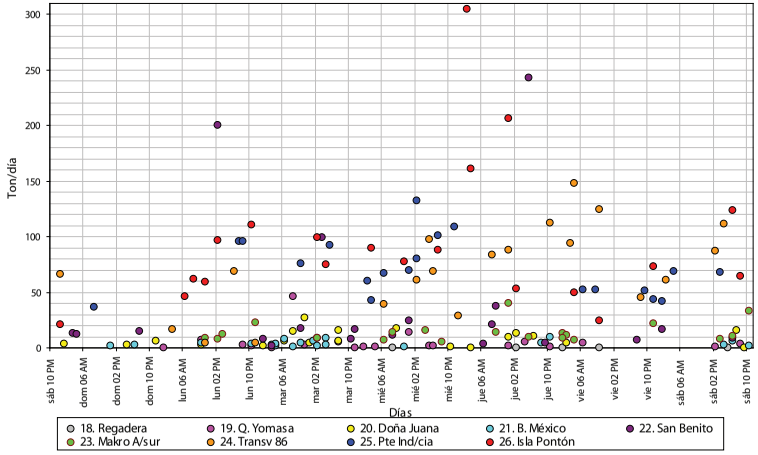
Comportamiento espacial de las concentraciones, por jornada, de DBO_5



Comportamiento temporal de la concentración de la DBO_5



Comportamiento espacial de las cargas por jornada de la DBO_5



Comportamiento temporal de cargas de la DBO_5

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 59 se presentan los valores de caudal medidos en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

TABLA 59. Comportamiento del caudal en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo

Punto de monitoreo	No. del tramo	Valores de caudal (l/s) en el río Tunjuelo			
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
La Regadera	1	2	300	26,5	11,5
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2	135	44.702	3.481	454,7
Doña Juana	2	207	15.751	2.450,1	585,7
Barrio México	3	317	15.024	1.902,8	771,9
San Benito	3	624,1	42.000	6.162,3	1.477,6
Makro Autopista Sur	4	676	19.436	4.696	1.665,5
Transversal 86	4	1339	23.686	5.518,3	3.130,4
Puente Independencia	4	2352	20.753	5.160	3.173,8
Isla Pontón San José	4	2252	20.748	6.686	4.802,5

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El comportamiento del caudal en el río Tunjuelo fluctuó por factores climáticos y por el manejo operativo en el embalse La Regadera.

En la Tabla 60 se presentan los valores calculados de la carga contaminante por la DBO_5 en los puntos de seguimiento en el río Tunjuelo.

TABLA 60. Comportamiento de la carga contaminante por la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo

Punto de monitoreo	No. del tramo	Carga contaminante de la DBO_5 en el río Tunjuelo (Ton/día)		
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
La Regadera	1	0,00028	0,05190	0,00469
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2	0,06414	46,34	5,04
Doña Juana	2	0,234	27,12	8,07
Barrio México	3	0,63	9,88	3,79
San Benito	3	1,90	243,13	37,65
Makro Autopista Sur	4	5,19	40,30	13,99
Transversal 86	4	4,58	147,71	70,54
Puente Independencia	4	36,58	131,93	71,80
Isla Pontón San José	4	20,57	304,38	94,22

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el tramo 1, en La Regadera, la carga es baja, mostrando así poca intervención por materia orgánica biodegradable en este punto. La mayor carga se representa por caudal más que por concentración, ya que se presentó en un

evento de lluvia el 25 de agosto de 2006, registrado en la estación hidrometeorológica de La Regadera.

En el tramo 2, el mayor valor de carga para aguas abajo de la quebrada Yomasa se encontró influenciado por el caudal generado por un evento de lluvia el 17 de octubre de 2006. Para el punto Doña Juana se presentó una apertura de la válvula de fondo en el embalse La Regadera el 22 de agosto de 2006, lo que influyó en el caudal y a su vez en la carga contaminante; es de anotar que el tiempo predominante fue seco.

En el tramo 3 se puede apreciar un descenso en la carga contaminante al paso por las cárcavas Sánchez González, Pozo Azul y Santa María. Las mayores cargas en el Barrio México se registraron en tiempo seco. San Benito se encontró influenciado por el caudal en un evento de lluvia el 16 de noviembre de 2006, donde se midió un caudal de 42.000 l/s.

En el tramo 4, en Makro Autopista Sur y en la transversal 86, la mayor carga contaminante está representada por el caudal mas no por la concentración, lo cual se asoció a la apertura de válvula de fondo del embalse La Regadera, el 17 de agosto de 2006, y a un antecedente de lluvia del día anterior en la transversal 86, el 15 de febrero de 2007.

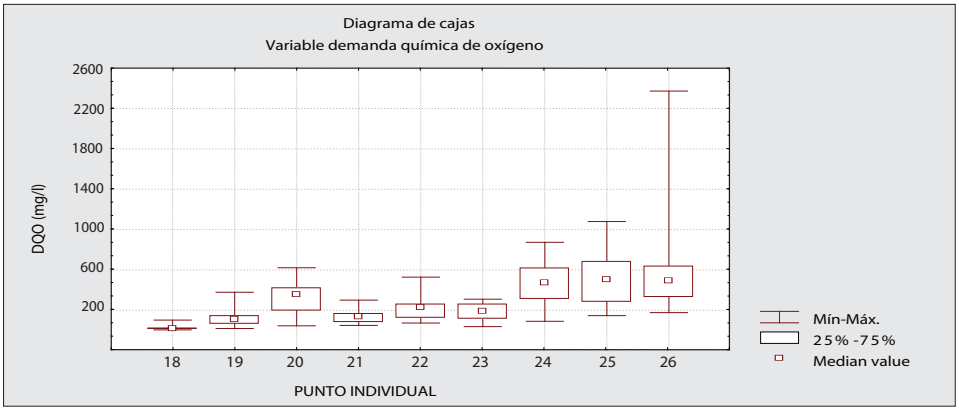
En Puente Independencia la mayor carga está constituída por la concentración (362 mg/l), el 13 de septiembre de 2006, en la jornada de la tarde en tiempo seco. En Isla Pontón San José se presentó un máximo de 304 Ton/día asociado a una descarga aguas arriba en las horas de la noche, que incrementó, en forma atípica, la DBO_5 (711 mg/l).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Al hacer el análisis estadístico, el comportamiento presentado por la DQO es similar a la DBO_5, ya que ambas presentan diferencias significativas con un 95% de confianza entre dos grupos. El primero conformado por La Regadera, 100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa, Barrio México, San Benito y Makro Autopista Sur, que registró bajas concentraciones, mientras que el segundo grupo, constituido por transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José, reportó concentraciones mayores con valores promedio entre 470 mg/l y 569 mg/l.

En la Gráfica 53 se observa el incremento de este parámetro a medida que se avanza en el abscisado, teniendo valores medios en los primeros puntos de 19 mg/l, y en las últimas con valores de 569 mg/l. También se observa en la gráfica la reducción de este parámetro en el río luego de su paso por las canteras inundadas.

GRÁFICA 53. Comportamiento de la DQO en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Codificación de los puntos de monitoreo

18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 61 se registran los valores de la DQO en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

TABLA 61. Comportamiento de la DQO en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo

Punto de monitoreo	No. del tramo	Concentración de la DQO en el río Tunjuelo (mg/l)			
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
La Regadera	1	5	52	19	17
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2	19	378	117	110
Doña Juana	2	45	621	324	356
Barrio México	3	49	300	134	135
San Benito	3	73	528	227	227
Makro Autopista Sur	4	37	309	184	190
Transversal 86	4	90	873	470	471
Puente Independencia	4	146	1.079	518	504
Isla Pontón San José	4	176	2.372	569	492

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En algunos puntos, considerando la jornada y el día, las características son típicas de agua residual doméstica diluida en cuanto a la DQO se refiere[19].

En la transversal 86 y en Puente Independencia se hicieron monitoreos los días 18 y 20 de enero de 2007, respectivamente, pero no se obtuvieron valo-

19 Para aguas de este tipo la concentración media oscila entre 350 y 750 mg/l. (Fuente**:** Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. *Seminario-Taller Diseño de alcantarillados de alta tecnología*. Bogotá, mayo de 2002).

res tan altos de DQO como los registrados en Isla Pontón San José; esto muestra que se realizó una descarga en las horas de la noche a la fuente superficial.

En Isla Pontón San José se registró un valor atípico de 2.372 mg/l, asociado de igual forma al valor de 711 mg/l (DBO_5), en la jornada de la noche en tiempo nublado, lo que evidencia una descarga puntual con alta carga orgánica.

En la jornada de la tarde y en condiciones secas se presentaron los mayores valores de la DQO en Puente Independencia y en la transversal 86. En el primero se presentó un máximo de 1.079 mg/l, el 6 de febrero de 2007, y en el segundo se determinó un máximo de 873 mg/l, el 6 de septiembre de 2006.

En Makro Autopista Sur, en la jornada de la noche, se presentó la mayor concentración de DQO, asociada a una baja lámina de agua y a condiciones secas, el 23 de marzo de 2007.

En San Benito, en la jornada de la tarde del 24 de febrero de 2007, se reportó un valor de 528 mg/l en condiciones secas. Es de anotar que no se registró apertura en la válvula de fondo del embalse La Regadera, ni antecedentes de lluvia, indicando así mayor concentración de materia orgánica total, debido al aporte de la quebrada Chiguaza y a la influencia de las descargas de aguas residuales en el trayecto de esta fuente superficial. También, en Barrio México, el 2 de enero de 2007, se registró el mayor valor (300 mg/l) en condiciones secas en la jornada de la tarde.

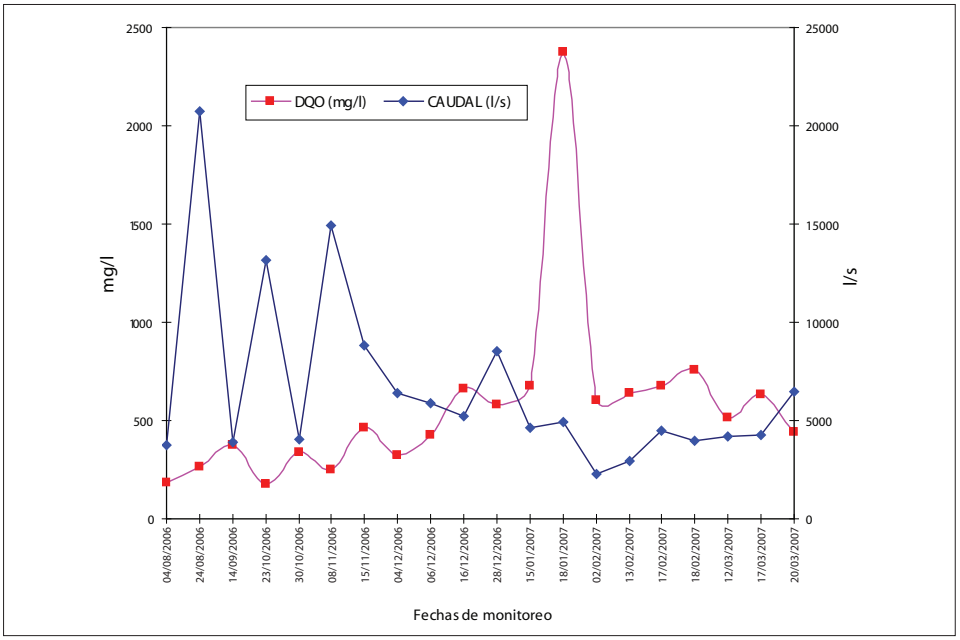
Respecto a la DQO en el punto Doña Juana, se registró el 14 de enero de 2007 en la jornada de la tarde la mayor concentración (621 mg/l), en condiciones secas. De igual forma, aguas abajo de la quebrada Yomasa, en la jornada de la mañana del 9 de octubre de 2006, se observó la mayor concentración de DQO (378 mg/l)que se relaciona con el aporte de la quebrada Yomasa, la cual en su recorrido recibe descargas de origen residual.

En La Regadera, en la jornada de la tarde en época de sequía, se registró la mayor concentración (52 mg/l) de la DQO en el inicio del río Tunjuelo.

En la Gráfica 54 se ilustra el comportamiento del caudal y la DQO en Isla Pontón San José, punto en el cual se presentó el mayor valor en el río Tunjuelo. En este punto el comportamiento es similar a la materia orgánica biodegradable, presentando mayor concentración en épocas de menor precipitación como se ilustra en la gráfica.

En la Tabla 62 se presentan los valores calculados de la carga contaminante por la DQO en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 54. Relación de la DQO vs. caudal en Isla Pontón San José



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 62. Comportamiento de la carga contaminante por la DQO en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo

Punto de monitoreo	No. del tramo	Carga contaminante de la DQO en el río Tunjuelo (Ton/día)		
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
La Regadera	1	0,00114	0,20758	0,02597
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2	0,609	123,59	16,20
Doña Juana	2	3,42	107,5	26,10
Barrio México	3	2,82	71,39	13,87
San Benito	3	10,14	395,96	83,69
Makro Autopista Sur	4	18,05	137,13	42,61
Transversal 86	4	57,78	329,56	161,14
Puente Independencia	4	59,33	322,74	169,82
Isla Pontón San José	4	59,66	1015,4	277,48

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Regadera, la carga contaminante está constituída por el caudal más que por la concentración; el valor máximo de carga se registró en un evento de lluvia el 25 de agosto de 2006 en la estación hidrometeorológica La Regadera (2,5 mm).

En el punto ubicado después de la quebrada Yomasa, el máximo de carga contaminante de la DQO se debe a un evento de lluvia del 17 de octubre de

2006 y a la apertura de la válvula de fondo del embalse La Regadera, lo cual se reflejó en el caudal medido en este punto (44.702 l/s).

En el punto Doña Juana, durante la jornada de la mañana del 2 de agosto de 2006, se registró un evento de precipitación (3,2 mm) reportado por la estación hidrometeorológica La Regadera; adicionalmente hubo apertura de la válvula de fondo en el embalse y se midió un caudal de 15.751 l/s, esto indica que la carga contaminante está figurada por caudal más no por concentración.

En el Barrio México la mayor carga contaminante de la DQO se reportó en un evento de lluvia el 8 de agosto de 2006. En la estación hidroclimatológica de La Regadera (7,6 mm) también se presentó apertura de la válvula de fondo en el embalse y se midió un caudal de 15.024 l/s.

Algo similar sucedió en San Benito: en época de lluvia, el 14 de noviembre de 2006, se presentó un antecedente reportado por las estaciones hidroclimatológicas La Regadera y Santa Lucía (34,4 y 25,7 mm respectivamente), que se asocia a incrementos de caudal en la fuente superficial, y que a su vez aumenta la carga contaminante en este punto de monitoreo.

En Makro Autopista Sur, en la jornada de la noche del 18 de noviembre de 2006, se presentó el mayor valor de carga contaminante relacionado con la apertura de la válvula de fondo, determinando un caudal puntual de 17.066 l/s.

En la transversal 86, en época seca en la jornada de la noche, el 16 de febrero de 2007, se reportó la carga contaminante más alta representada por caudal (8.064 l/s) y por concentración (473 mg/l), asociada a la descarga del interceptor Tunjuelo Medio; vale aclarar que en este punto la DQO fluctuó entre 90 y 873 mg/l.

En Puente Independencia, el aporte de carga contaminante más alto se relacionó con la apertura de la válvula de fondo del embalse La Regadera, en la jornada de la tarde del 18 de noviembre de 2006, registrando un caudal de 20.753 l/s.

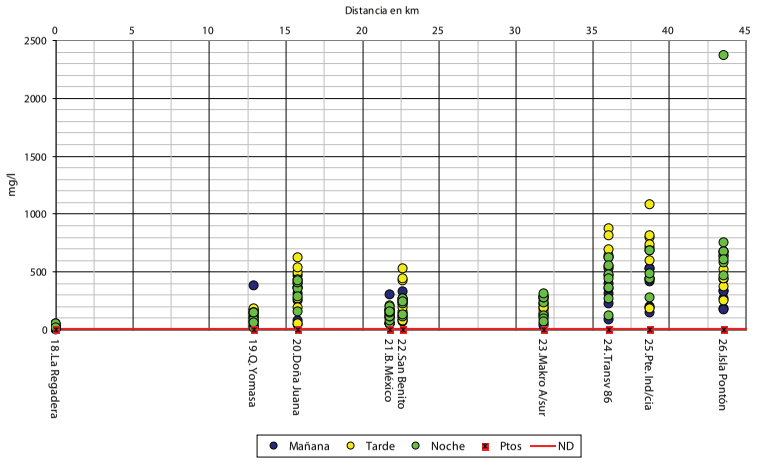
En Isla Pontón San José, en la jornada de la noche en época seca, el 18 de enero de 2007, se observó una concentración alta (2.372 mg/l) asociada a las descargas que recibe el río antes de entregar al río Bogotá.

En su mayoría, el aporte máximo de cargas contaminantes estuvo relacionado con eventos de precipitación y con el manejo operativo que se realiza en el embalse La Regadera.

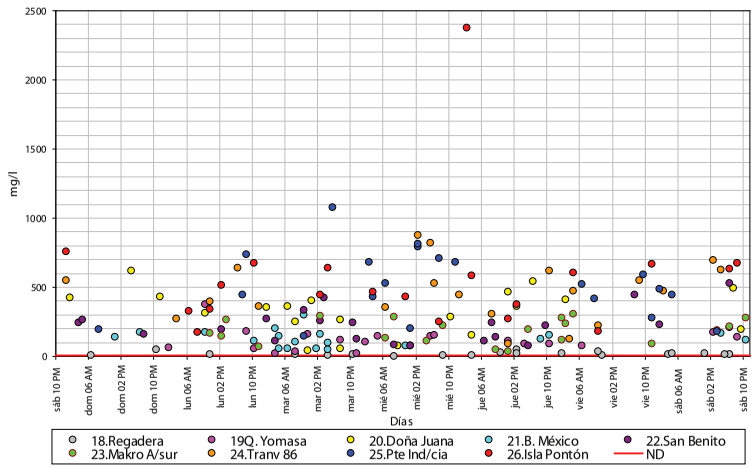
En cuanto a lo temporal, las mayores concentraciones se registraron en las jornadas de la tarde y en la noche, en los puntos transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José. Respecto a las cargas se reportaron los mayores valores asociados a antecedentes de lluvia y a la apertura de la válvula de fondo del embalse La Regadera. En la transversal 86 y en Isla Pontón San José las mayores cargas se relacionan con períodos secos.

En la Gráfica 55 se ilustra el comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas de la DQO en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

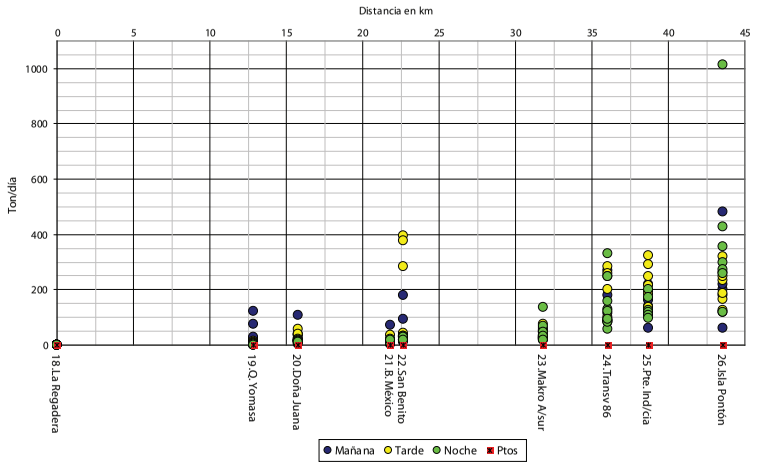
GRÁFICA 55. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas contaminantes de la DQO en el río Tunjuelo



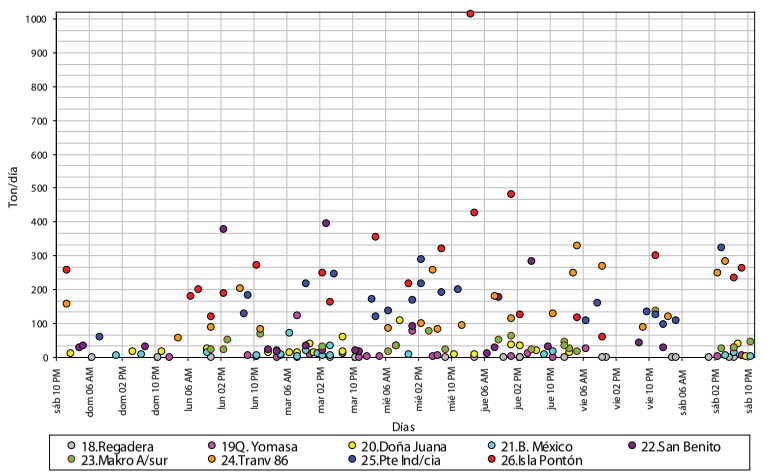
Comportamiento espacial de las concentraciones, por jornada, de la DQO



Comportamiento temporal de concentraciones de la DQO



Comportamiento espacial de las cargas, por jornada, de la DQO



Comportamiento temporal de cargas de la DQO

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Oxígeno Disuelto (OD)

La tendencia del OD en el cauce es de reducción a medida que el río Tunjuelo avanza hacia la desembocadura al río Bogotá; esto se debe al consumo que se presenta en la oxidación de materia orgánica aportada por las aguas residuales que descargan en su trayecto.

El comportamiento temporal del OD en las diferentes jornadas y días de monitoreo mostró valores altos, entre 10,5 y 8 mg/l, que corresponden a los tres primeros puntos de monitoreo en las jornadas de la tarde, noche y mañana respectivamente. Para el primer punto el máximo de disponibilidad de OD se halló en un evento de lluvia, el 28 de marzo de 2007; en el segundo punto el máximo se midió en época de lluvia el 28 noviembre de 2006, y en el tercer punto en un evento de la apertura de válvula de fondo donde las condiciones en la fuente superficial mejoran por efecto de dilución.

En Barrio México, después de las canteras inundadas Sánchez González, Pozo Azul y Santa María, el descenso de OD se acentúa en todas las jornadas. Sin embargo, temporalmente se observó su recuperación por eventos de lluvia, a causa de la dilución que se produce en el cuerpo de agua.

En promedio, la concentración de OD se halló entre 6,98 mg/l, en La Regadera, y 0,1 mg/l en Isla Pontón San José.

En la Tabla 63 se presenta el comportamiento de OD en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

TABLA 63. Comportamiento de OD en el río Tunjuelo

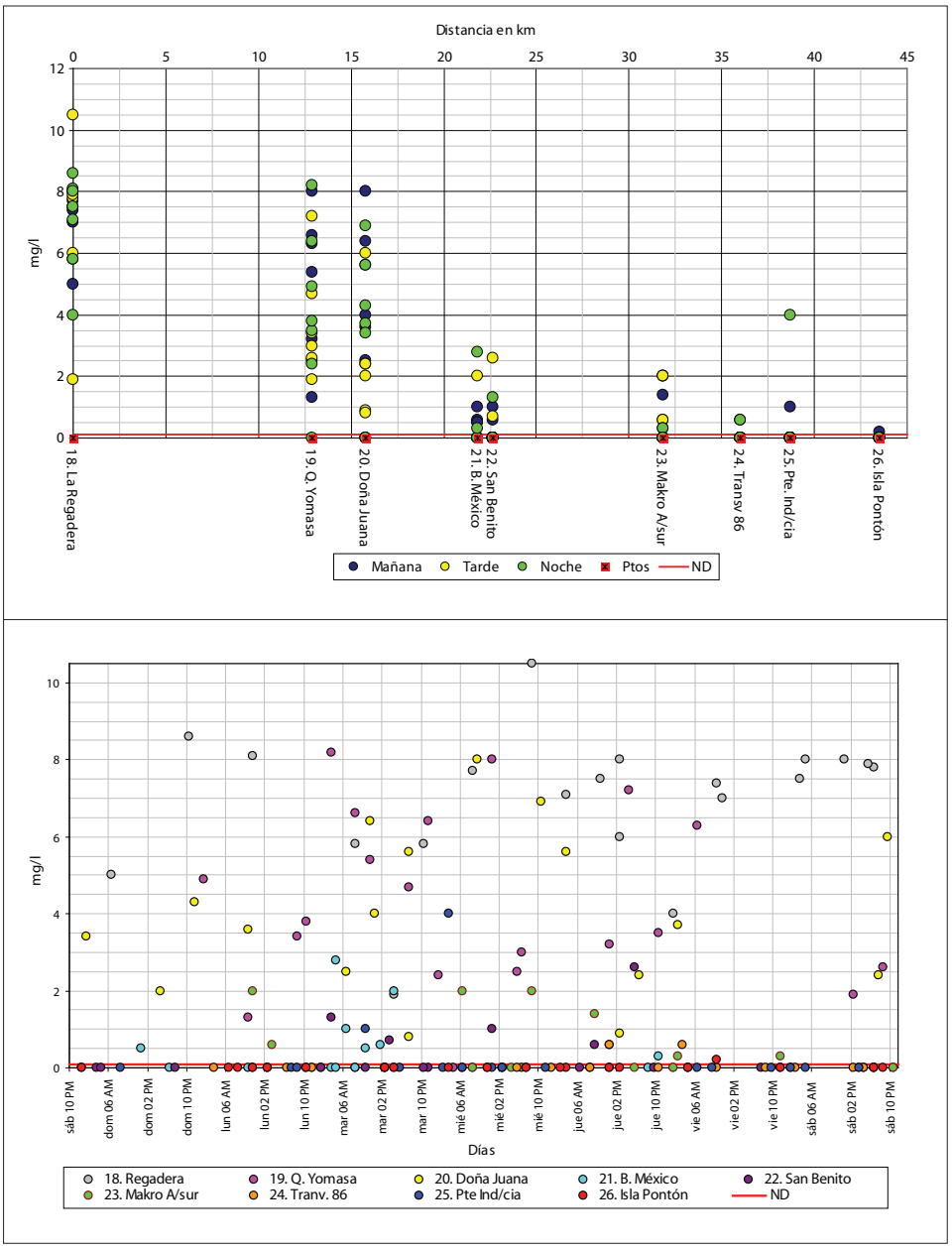
Punto de monitoreo	No. del tramo	Resol. 1813/06 del DAMA (mg/l)	Concentración de OD en el río Tunjuelo (mg/l)			
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
La Regadera	1	≥1	1,90	10,50	6,98	6,50
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2	≥0	ND	8,20	4,27	3,65
Doña Juana	2	≥0	ND	8,00	3,44	3,40
Barrio México	3	≥0	ND	2,80	0,45	0,10
San Benito	3	≥0	ND	2,60	0,37	0,10
Makro Autopista Sur	4	≥0	ND	2,00	0,52	0,10
Transversal 86	4	≥0	ND	0,60	0,15	0,10
Puente Independencia	4	≥0	ND	4,00	0,34	0,10
Isla Pontón San José	4	≥0	ND	0,20	0,10	0,10

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En Puente Independencia, en la jornada de la noche, se reportó el mayor valor de OD en época seca, el 6 de diciembre de 2006, como valor atípico, pues la tendencia fue de anoxia en este punto.

En la Gráfica 56 se ilustra el comportamiento espaciotemporal del OD en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 56. Comportamiento espaciotemporal del OD en el río Tunjuelo

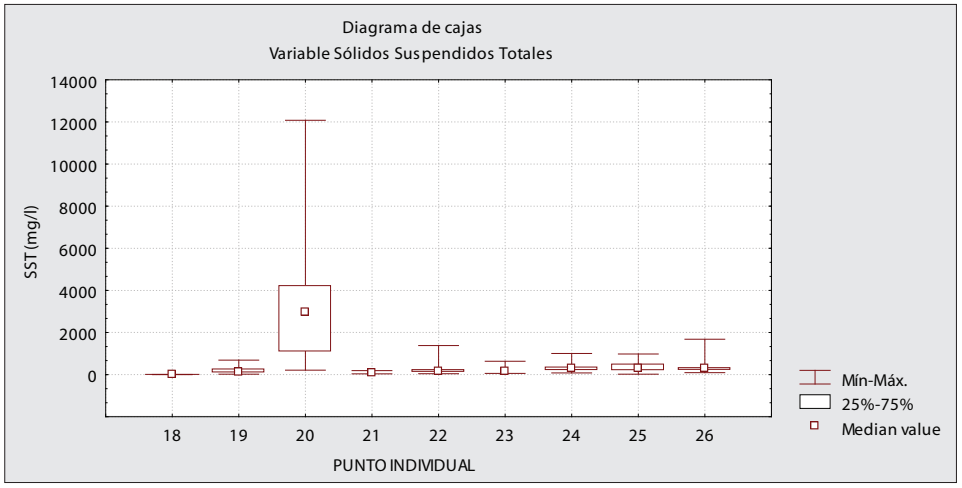


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los SST en el río Tunjuelo presentan diferencias significativas con un 95% de confianza entre el punto Doña Juana y los otros puntos de monitoreo (*ver Gráfica 57*). Este comportamiento obedece al vertimiento de aguas de las actividades de minería y agregados, llegando a valores extremos de 12.080 mg/l.

GRÁFICA 57. Comportamiento de los SST en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Codificación de los puntos de monitoreo

18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 64 se presenta el comportamiento de los SST en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

TABLA 64. Comportamiento de los SST en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo

Punto de monitoreo	No. del tramo	Resol. 1813/06 del DAMA (mg/l)	Concentración de los SST en el río Tunjuelo (mg/l)			
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
La Regadera	1	≤250	1	10	5	5
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2	≤450	22	688	199	114
Doña Juana	2	≤450	214	12.080	3.369	2.959
Barrio México	3	≤200	36	190	79	74
San Benito	3	≤200	45	1.380	250	155
Makro Autopista Sur	4	≤400	58	635	176	149
Transversal 86	4	≤400	82	1.005	312	292
Puente Independencia	4	≤400	23	980	342	294
Isla Pontón San José	4	≤400	93	1.680	346	290

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En La Regadera y después de la quebrada Yomasa las mayores concentraciones se asociaron a antecedentes de lluvia durante la toma de las muestras, como se registró el 28 de marzo de 2007 en la jornada de la tarde.

Los valores determinados para este parámetro en el punto Doña Juana registraron un valor promedio de 3.369 mg/l y una mediana de 2.959 mg/l. La

mayor concentración se reportó en un evento de lluvia en la jornada de la mañana del 2 de abril de 2007, como lo registró la estación hidroclimatológica de La Regadera (7,3 mm). El 6 de marzo de 2007 se presentó un valor de 8.290 mg/l relacionado con una baja lámina de agua, lo que a su vez mostró condiciones de mínima velocidad y alta sedimentación debido al aporte de la industria extractiva asentada en la zona. El menor valor se reportó en condiciones de alto caudal, debido a la apertura de la válvula de fondo y al antecedente de lluvia en la cabecera, el 2 de agosto de 2006; esto incrementó el caudal (15.751 l/s), arrastrando y diluyendo en gran parte la concentración de los SST.

Luego del paso del río por las canteras inundadas Sánchez González, Pozo Azul y Santamaría, los SST se redujeron en un 97,6% en promedio debido a la sedimentación. En el Barrio México, en la jornada de la tarde en condiciones secas, se halló la mayor concentración (190 mg/l).

En cuanto al punto de San Benito, la mayor concentración se asoció a un evento de lluvia, el 14 de noviembre de 2006 en la jornada de la tarde, que se registró en las estaciones hidroclimáticas La Regadera y Santa Lucía, con precipitaciones de 34,4 y 25,7 mm, respectivamente. Además, de nuevo el incremento se relacionó por causa de actividades de extracción, trituración y molienda de agregados sobre la ribera del río y la quebrada Chiguaza. Los vertimientos generados por este tipo de actividad es el problema más crítico en esta parte del río desde el punto de vista de los SST.

En Makro Autopista Sur, la máxima concentración se reportó en un evento de lluvia el 10 de noviembre de 2006, generando arrastre de material hacia el río Tunjuelo.

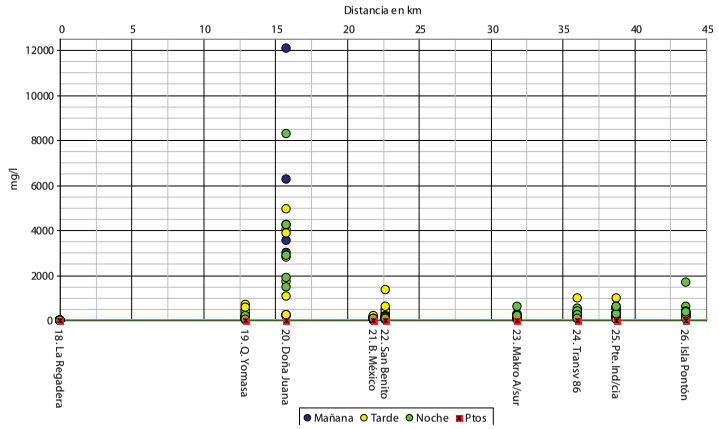
En la transversal 86 y Puente Independencia, las máximas concentraciones se reportaron en condiciones secas durante la jornada de la tarde, el 6 de septiembre de 2006 y el 12 de marzo de 2007, respectivamente. Éstas se asociaron a caudales bajos, lo cual se relaciona con el aporte de la descarga del interceptor Tunjuelo Medio y a las descargas establecidas en el PSMV de la EAAB-ESP.

En Isla Pontón San José, el 18 de enero de 2007, en la jornada de la noche en época seca, se reportó la mayor concentración puntual relacionada con las descargas de aguas residuales.

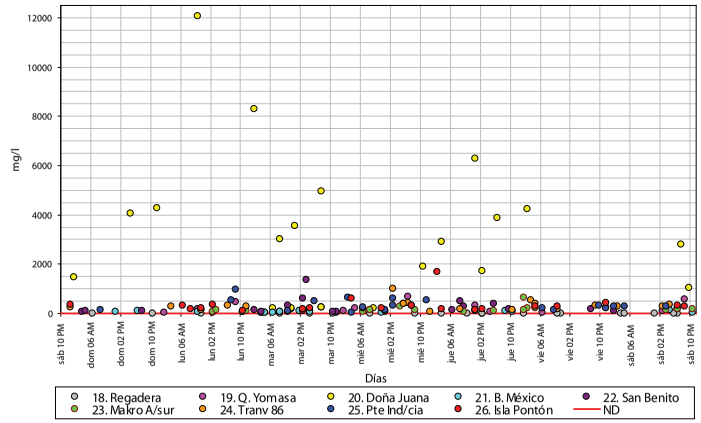
En el tramo 4, en Makro, el promedio se determinó en 176 mg/l; en la transversal 86, 312 mg/l; en Puente Independencia, 342 mg/l, y en Isla Pontón San José, en 346 mg/l. Lo anterior indica que en promedio no se sobrepasó el valor establecido en los objetivos de calidad dados por la Resolución 1813 de 2006 del DAMA, donde se fija un valor límite de 400 mg/l para este tramo.

En la Gráfica 58 se ilustra el comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas contaminantes de los SST en el río Tunjuelo.

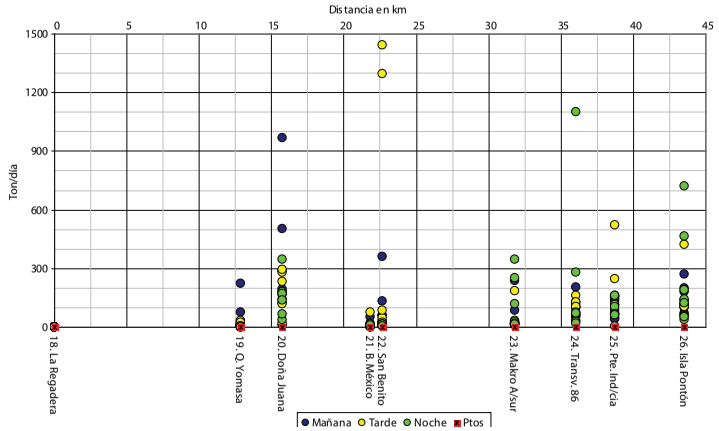
GRÁFICA 58. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas contaminantes de los SST en el río Tunjuelo



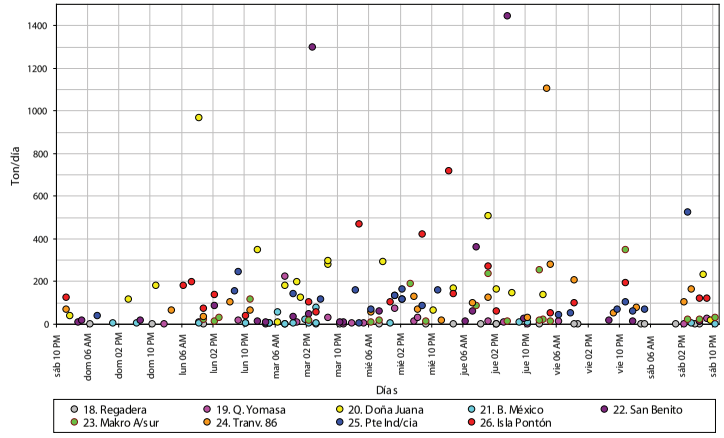
Comportamiento espacial, por jornada, de las concentraciones de los SST



Comportamiento temporal de las concentraciones de los SST



Comportamiento espacial, por jornada, de las cargas de los SST



Comportamiento temporal de las cargas de los SST

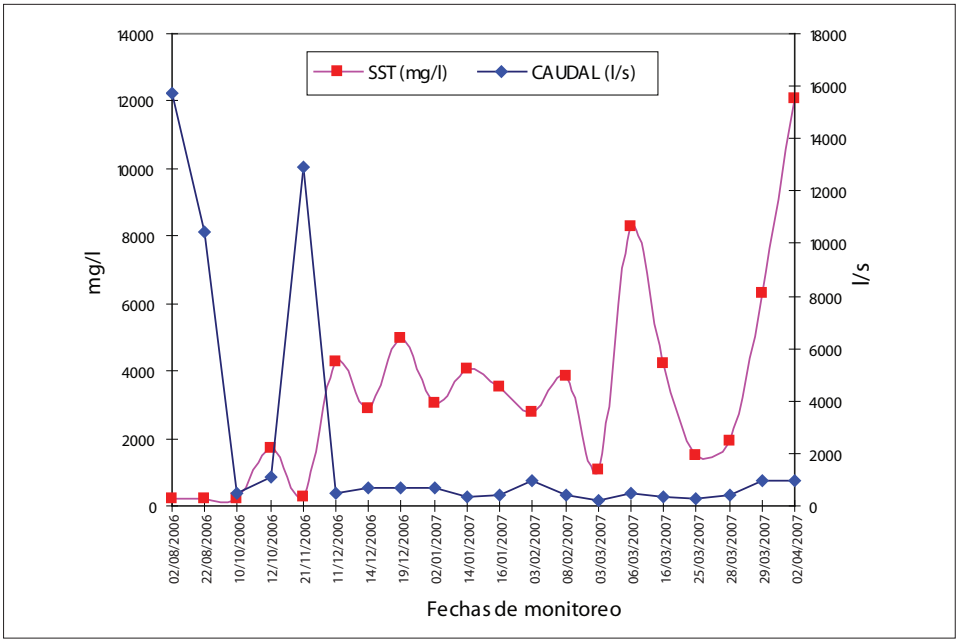
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el comportamiento temporal se observa que en el punto Doña Juana se hallaron concentraciones altas en las tres jornadas de monitoreo, debido al aporte de la industria extractiva.

En su mayoría, los máximos valores de carga contaminante de los SST en los puntos de monitoreo se presentaron en época de lluvia (noviembre de 2006) acompañados por la apertura de la válvula de fondo del embalse La Regadera, lo que influyó en el incremento de caudal en el punto Doña Juana, San Benito, Makro Autopista Sur, transversal 86 y Puente Independencia.

En la Gráfica 59 se ilustra la correlación entre la concentración de los SST y el caudal en el punto Doña Juana; en ésta se puede observar que en el período seco de láminas bajas de agua se incrementó la concentración de los SST.

GRÁFICA 59. Relación de los SST vs. caudal en el punto Doña Juana



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 65 se presentan las cargas contaminantes de los SST en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

En La Regadera y después de la quebrada Yomasa, la carga contaminante está representada más por caudal que por concentración; los mayores valores se presentaron en eventos de lluvia el 25 de agosto y el 17 de octubre de 2006, respectivamente. Asimismo, en esta última fecha se presentó la apertura de la válvula del embalse La Regadera, lo cual incrementó el caudal a 44.702 l/s.

La carga de los SST para el río Tunjuelo en la parte alta está influenciada por la actividad minera y extractiva que se realiza en su área de influencia, es así como entre aguas abajo de Yomasa y Doña Juana se registró un incremento alrededor de 200 Ton/día de los SST en promedio.

TABLA 65. **Cargas contaminantes de los SST en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo**

Punto de monitoreo	No. del tramo	Carga contaminante de los SST en el río Tunjuelo (Ton/día)		
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
La Regadera	1	0,00069	0,2335	0,0162
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2	0,491	224,01	24,07
Doña Juana	2	9,61	968,9	223,3
Barrio México	3	1,26	76.79	11,68
San Benito	3	6,71	1.444,2	175,4
Makro Autopista Sur	4	7,94	346,5	74,17
Transversal 86	4	17,39	1.103	147,8
Puente Independencia	4	6,37	523,56	125,39
Isla Pontón San José	4	37,36	719,21	183,67

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Posteriormente se presentó un descenso muy importante en Barrio México, donde el valor promedio de la carga transportada disminuyó a 11,68 Ton/día; esto indica que más del 95% de los SST están siendo retenidos en este tramo. Después de San Benito, se presentó un incremento de carga hasta un valor promedio de 175,4 Ton/día.

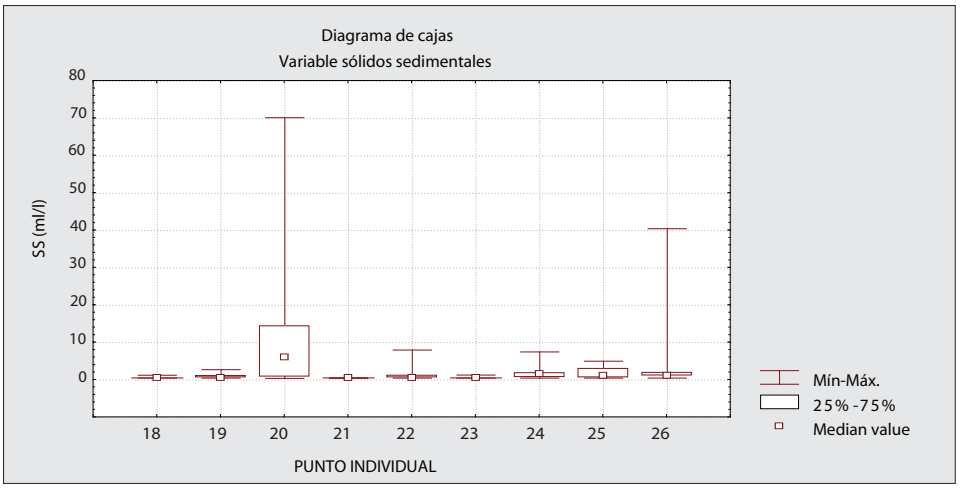
Sólidos sedimentables

Al igual que para los SST, los sólidos sedimentables estadísticamente presentaron una diferencia significativa del 95% de confianza en el punto Doña Juana, respecto a los otros sitios de monitoreo sobre el río. En éste se registraron valores máximos de 70,25 ml/l-hora, siendo muy superiores a los encontrados en los demás y teniendo como explicación las mismas causas que se presentaron para los SST (*ver Gráfica 60*).

En Isla Pontón San José se reportó un valor atípico de 40,5 ml/l-hora, posiblemente por una descarga puntual de aguas residuales que se realizó en la fuente y alteró la calidad del agua el 18 de enero de 2007 en condiciones secas.

En la Gráfica 61 se ilustra el comportamiento espacial de los sólidos sedimentables en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 60. Comportamiento de los sólidos sedimentables en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo

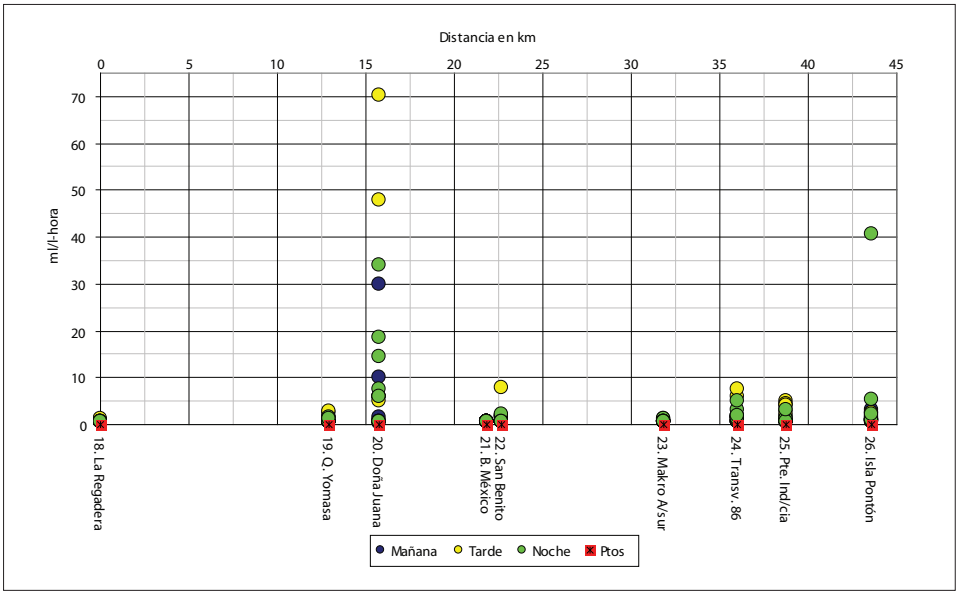


Codificación de los puntos de monitoreo

18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

GRÁFICA 61. Comportamiento espacial de los sólidos sedimentables en el río Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

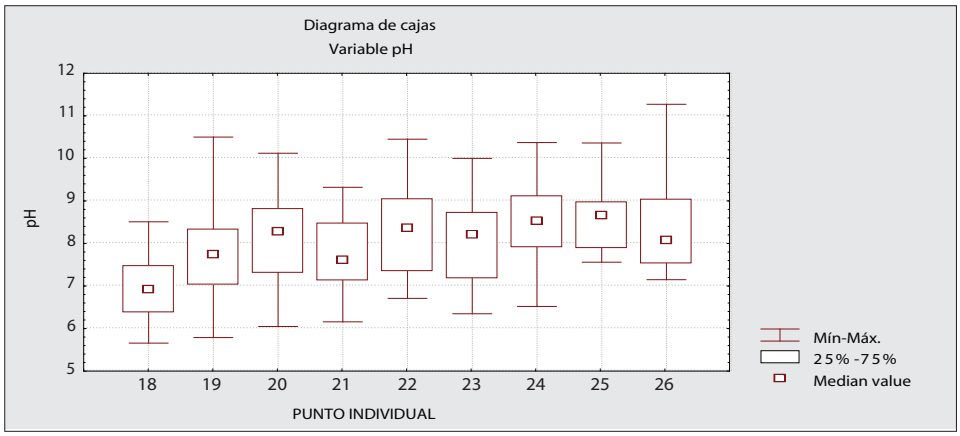
En San Benito la mayor concentración reportada se relacionó con un evento de lluvia el 14 de noviembre de 2006, el cual quedó registrado en las estaciones hidroclimatológicas de La Regadera y Santa Lucía.

En la transversal 86 se reportó un valor de 7,5 ml/l-hora en la jornada de la tarde en tiempo seco, el 24 de enero de 2007, relacionado con bajos niveles de agua y con los sólidos sedimentables que son aportados por la descarga del interceptor Tunjuelo Medio.

pH

El pH en el río Tunjuelo presenta diferencias significativas con un 95% de confianza entre La Regadera, que registró valores cercanos a 7 unidades comparado con los puntos Makro Autopista Sur, transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José, que presentaron valores entre 8,0 y 9,0 und. (*ver Gráfica 62*).

GRÁFICA 62. Comportamiento del pH en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Codificación de los puntos de monitoreo

18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

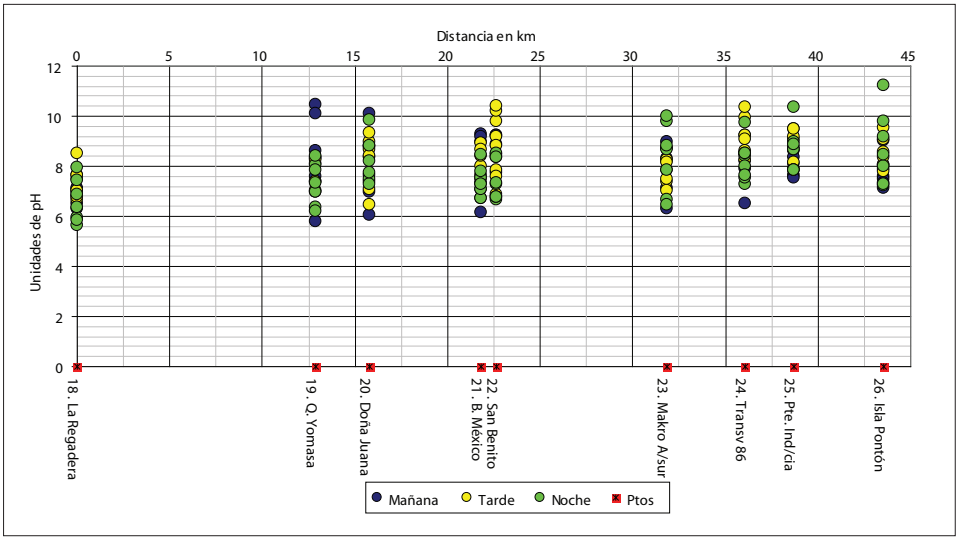
En promedio, los pH medidos en el río Tunjuelo no sobrepasan el rango determinado en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA, aunque se presentan algunos valores puntuales por encima de las 9 unidades, especialmente en San Benito, transversal 86 e Isla Pontón San José (*ver Tabla 66*). El incremento progresivo de los valores de pH indica una marcada influencia de las descargas procedentes de diferentes sectores productivos.

TABLA 66. Comportamiento del pH en el río Tunjuelo

Punto de monitoreo	No. del tramo	Resol. 1813/06 del DAMA (Und)	Valores de pH en el río Tunjuelo (Und)			
			Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
La Regadera	1	5,0 - 9,0	5,64	8,49	6,93	6,90
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2	5,0 - 9,0	5,77	10,48	7,78	7,72
Doña Juana	2	5,0 - 9,0	6,03	10,10	8,12	8,00
Barrio México	3	5,0 - 9,0	6,14	9,30	7,80	7,59
San Benito	3	5,0 - 9 0	6,69	10,43	8,30	8,14
Makro Autopista Sur	4	5,0 - 9,0	6,33	9,98	8,04	7,92
Transversal 86	4	5,0 - 9,0	6,50	10,35	8,50	8,50
Puente Independencia	4	5,0 - 9,0	7,54	10,34	8,57	8,40
Isla Pontón San José	4	5,0 - 9,0	7,13	11,25	8,36	8,05

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

GRÁFICA 63. Comportamiento espacial del pH en el río Tunjuelo

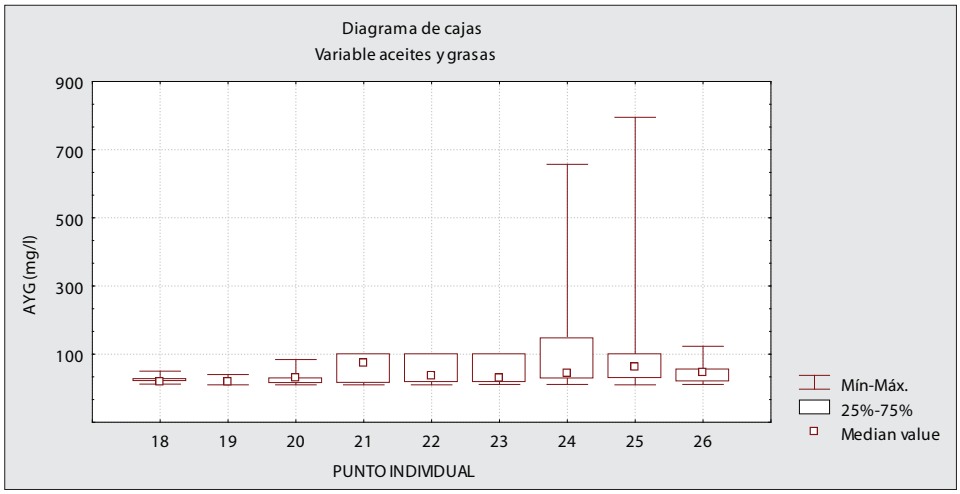


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Grasas y aceites

Estadísticamente, la presencia de grasas y aceites en el río Tunjuelo es similar durante todo su trayecto (*ver Gráfica 64*). Al hacer las pruebas estadísticas se presentaron diferencias significativas con un 95% de confianza entre Puente Independencia e Isla Pontón San José, donde se encontraron los mayores valores durante las campañas de monitoreo.

GRÁFICA 64. Comportamiento de grasas y aceites en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Codificación de los puntos de monitoreo

18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

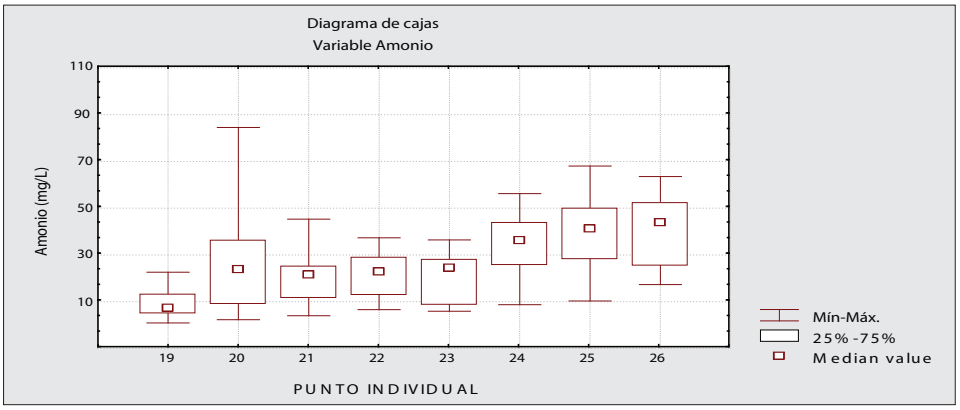
Los valores máximos de grasas y aceites se registraron en tiempo seco, no se detectaron en el 55% de las muestras evaluadas en el tramo 1 (La Regadera); igualmente, no se detectaron en el tramo 2 (entre los puntos después de la quebrada Yomasa y Doña Juana) en el 52,5% de las muestras; en el tramo 3 (Barrio México y San Benito) en un 47,5%, y en el tramo 4 (Makro Autopista Sur, transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José) en un 16,5%.

La mayor carga contaminante por grasas y aceites se presentó en los tres últimos puntos del tramo 4.

Amonio

El río Tunjuelo en La Regadera registró un valor promedio de 0,47 mg/l de amonio y entrega al final del recorrido al río Bogotá con 40,7 mg/l. La concentración más alta se registró en el punto Doña Juana con un valor extremo de 84 mg/l (*ver Gráfica 65*).

GRÁFICA 65. Comportamiento del amonio en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Codificación de los puntos de monitoreo

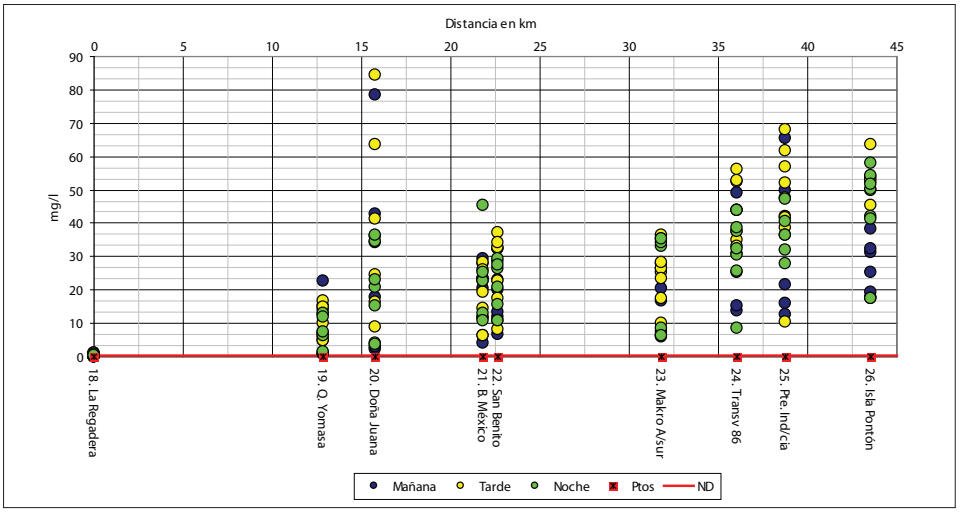
18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el tramo 1 (punto La Regadera) no era acentuada la presencia de nitrógeno amoniacal, pero en el tramo 2 este compuesto se incrementó por la descarga de la planta de tratamiento de lixiviados de Doña Juana y la afluencia de la quebrada Yomasa, la cual tiene una alta intervención antrópica en su recorrido antes de descargar al río Tunjuelo.

Desde la transversal 86 en adelante se incrementan las concentraciones de amonio en el río, especialmente en períodos secos, indicando de esta manera mayor concentración de materia orgánica por las descargas de aguas residuales. En la Gráfica 66 se ilustra la variación espacial del amonio.

GRÁFICA 66. Comportamiento espacial de la concentración del amonio en el río Tunjuelo



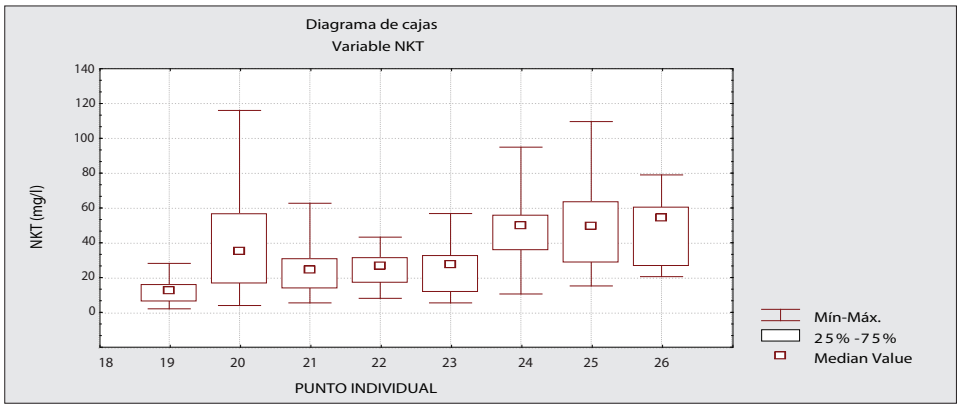
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Nitrogeno Kjeldahl Total (NKT)

Al avanzar en el recorrido del río se observó un aumento de la concentración de NKT. Los datos registrados presentaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% entre dos grupos: el primero, conformado por La Regadera y 100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa, con valores máximos de 3,0 y 28,5 mg/l, y el segundo constituido por los puntos Doña Juana (116 mg/l), Barrio México (62,9 mg/l), San Benito (43,5 mg/l), Makro Autopista Sur (57 mg/l), transversal 86 (95 mg/l), Puente Independencia (109,6 mg/l) e Isla Pontón San José (79,1 mg/l), que presentaron mayores concentraciones.

Es de especial interés el fuerte cambio en la concentración de NKT en el río luego de la recepción de los vertimientos de la planta de tratamiento de lixiviados en el punto Doña Juana.

GRÁFICA 67. Comportamiento del NKT en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Codificación de los puntos de monitoreo

18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

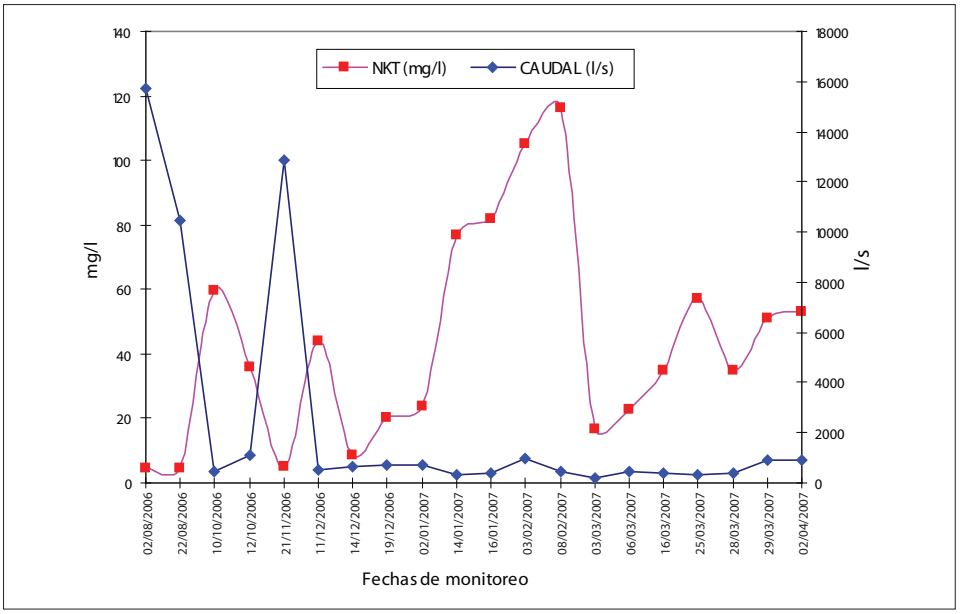
En el río Tunjuelo la fluctuación de NKT en promedio se encontró entre 1,46 mg/l (La Regadera) y 51,38 mg/l (Puente Independencia). En la Tabla 67 se presentan las concentraciones de NKT y amonio en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

TABLA 67. Concentraciones de NKT y amonio en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo

Punto de monitoreo	NKT (mg/l)				Amonio (mg/l)			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
La Regadera	0,3	3,0	1,46	1,45	0,3	1,10	0,47	0,3
100 m aguas abajo de la quebrada Yomasa	2,50	28,5	13,1	12,9	0,90	22,60	9,0	7,3
Doña Juana	4,4	116	42,81	35,45	2,30	84,50	29,59	23,8
Barrio México	5,90	62,9	25,19	24,75	4,00	45,3	19,65	21,5
San Benito	8,50	43,50	26,31	27,00	6,60	37,30	22,0	22,8
Makro Autopista Sur	5,9	57,0	25,64	27,85	5,9	36,40	21,60	24,4
Transversal 86	11,0	95,0	47,78	50,10	8,70	56,20	35,29	36,2
Puente Independencia	15,6	109,6	51,38	49,85	10,30	68,0	40,31	41,2
Isla Pontón San José	20,90	79,10	48,12	54,60	17,30	63,50	40,76	43,8

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

GRÁFICA 68. Relación de NKT vs. caudal en el punto Doña Juana



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

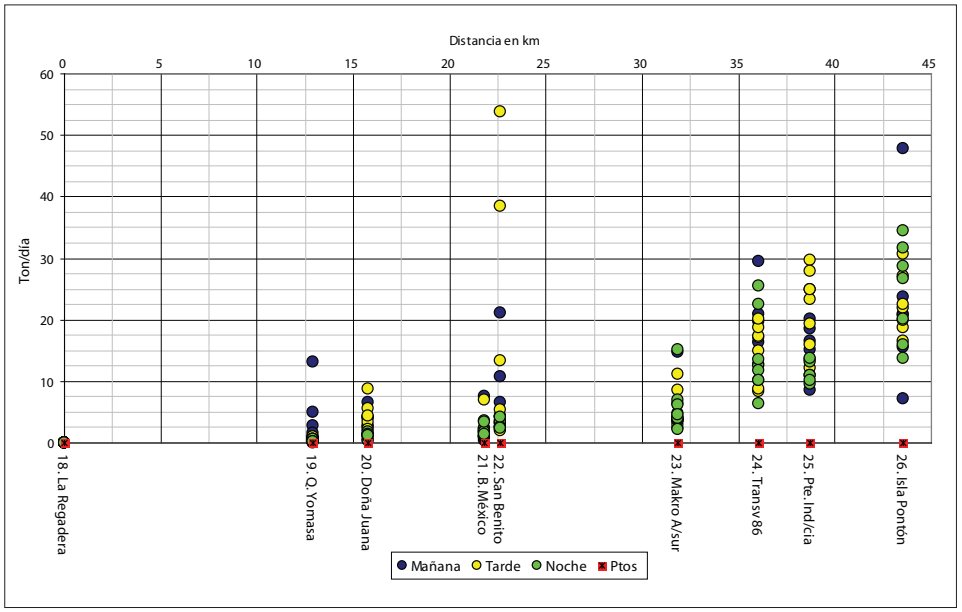
La tendencia para este parámetro fue de incremento a lo largo de la cuenca debido al aporte de aguas residuales. En promedio, en el tramo 4 se reportaron los valores más altos sobre el río desde Makro Autopista Sur hasta el punto Isla Pontón San José.

Las cargas más altas de NKT y de amonio se registraron en el tramo 4, en especial por la recepción de descargas de origen residual doméstico e industrial desde algunos puntos como el interceptor Tunjuelo Medio y las estaciones de bombeo Grancolombiano, Cartagenita, Xochimilco y La Isla.

El punto de la RCHB sobre el río Tunjuelo que registró los cambios más significativos en la carga de NKT transportada fue San Benito debido al incremento de caudal por antecedentes de lluvia, en la jornada de la tarde.

En la Gráfica 69 se ilustra el comportamiento espacial de las cargas contaminantes de NKT en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 69. Comportamiento espacial de las cargas de NKT en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

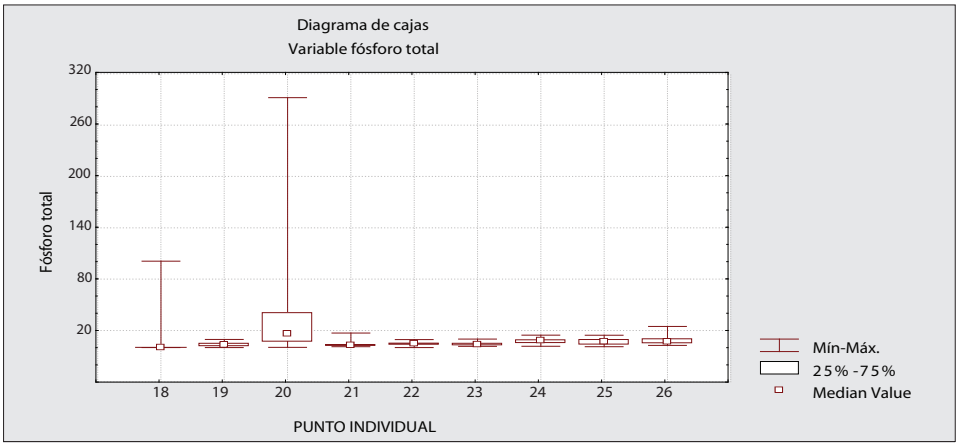
Fósforo total

Existen diferencias con un nivel de confianza del 95% en la concentración del fósforo total entre el punto Doña Juana y los demás puntos monitoreados en el río Tunjuelo. En Doña Juana las concentraciones se encuentran entre 0,28 y 292 mg/l (*ver Gráfica 70*).

En La Regadera la presencia de fósforo total es típica de aguas naturales con una baja afectación. Las concentraciones más elevadas en todo el cauce se presentaron luego de la descarga de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Doña Juana en el punto de monitoreo denominado Doña Juana, teniendo en cuenta que el contenido de fósforo en agua residual doméstica es en promedio de 15 mg/l y en agua lluvia se encuentra entre 0,02 a 4,3 mg/l[20]. Los valores determinados indican que el río en el punto Doña Juana recibe descargas con características de aguas residuales industriales.

20 *Ibid*, p. 331.

GRÁFICA 70. Comportamiento del fósforo total en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Codificación de los puntos de monitoreo

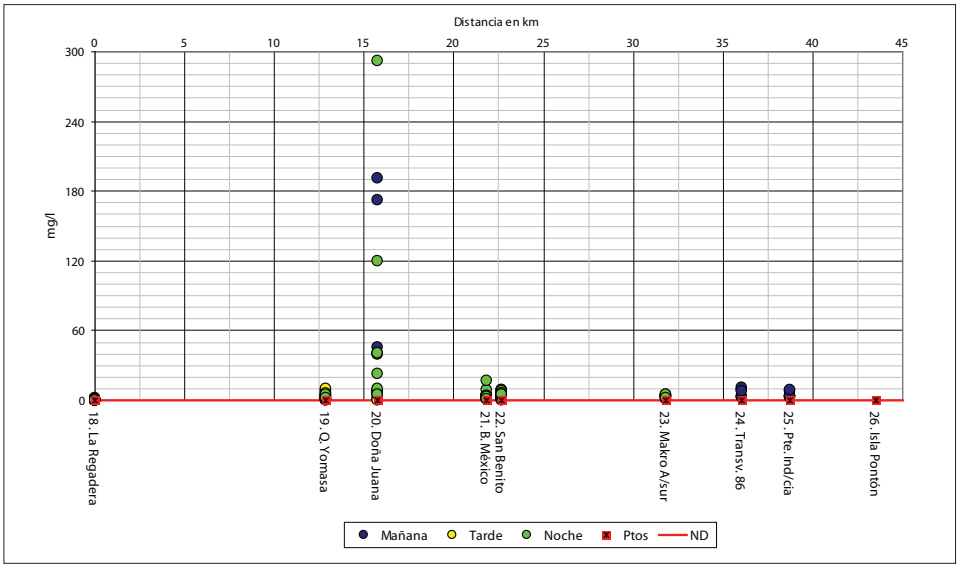
18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el tramo 3, en Barrio México y San Benito se observó una recuperación del río en cuanto a fósforo total se refiere, condición relacionada con procesos de sedimentación.

En el tramo 4, el fósforo total fluctuó entre 4,07 mg/l (Makro Autopista Sur) y 7,94 mg/l (Isla Pontón San José), y las concentraciones máximas entre 9,93 mg/l y 24,75 mg/l, respectivamente. En la Gráfica 71 se ilustra el comportamiento espacial del fósforo total en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 71. Comportamiento espacial de las concentraciones del fósforo total en el río Tunjuelo



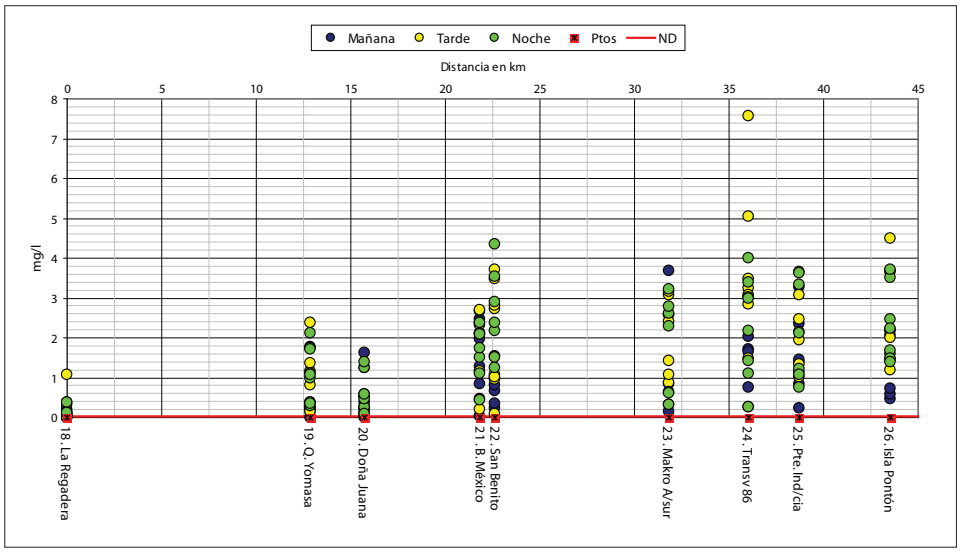
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

Las SAAM, o tensoactivos, presentaron un comportamiento similar a la mayoría de parámetros analizados en el cauce. Las concentraciones determinadas aumentaron a medida que se avanza en el río. Estos valores se estabilizaron en los tres últimos puntos de monitoreo en donde, para las condiciones monitoreadas, se observó la incidencia de las aguas residuales vertidas; evidencia de lo anterior son los valores reportados de tensoactivos (SAAM) los cuales se encuentran alrededor de 4 mg/l.

En la Gráfica 72 se ilustra el comportamiento espacial de los tensoactivos en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 72. Comportamiento espacial de las concentraciones de tensoactivos en el río Tunjuelo



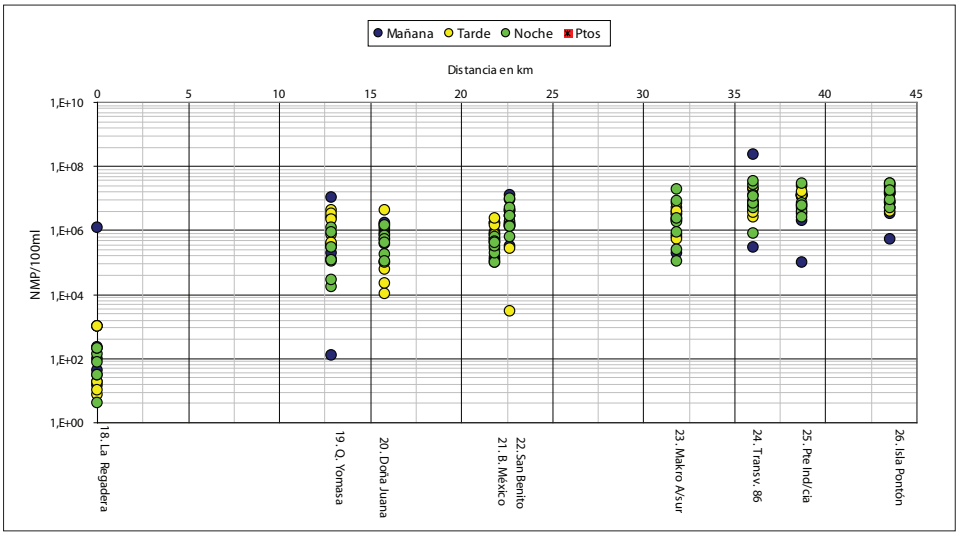
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Coliformes totales y E. Coli (NMP/100 ml)

Los resultados obtenidos en el análisis de las muestras de agua recolectadas en el río indican, en todo su recorrido, una elevada afectación por aguas residuales, las cuales presentan valores entre 1 x 10^3 NMP/100 ml en La Regadera y 1 x 10^7 NMP/100 ml en los otros puntos de monitoreo, tanto para coliformes totales como para E. Coli.

En la Gráfica 73 se ilustra el comportamiento espacial de E. Coli en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 73. Comportamiento espacial de los valores de E. Coli en el río Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

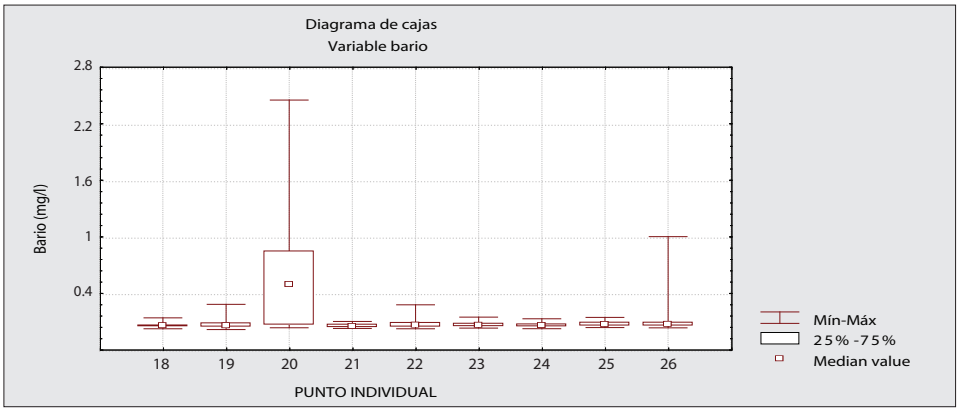
Metales pesados

El arsénico presentó las mayores concentraciones en el punto Doña Juana (0,15 mg/l) y en Makro Autopista Sur (0,146 mg/l). En el 84% de las muestras recolectadas se determinó como No Detectable (ND).

De igual forma, al analizar el comportamiento del bario se presentó un incremento en la concentración por los aportes realizados por los vertimientos de la industria extractiva en el punto Doña Juana, y en Isla Pontón San José, donde se registraron valores extremos de 2,5 mg/l y 1 mg/l respectivamente.

En la Gráfica 74 se ilustran las diferencias significativas del bario entre los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 74. Comportamiento del bario en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



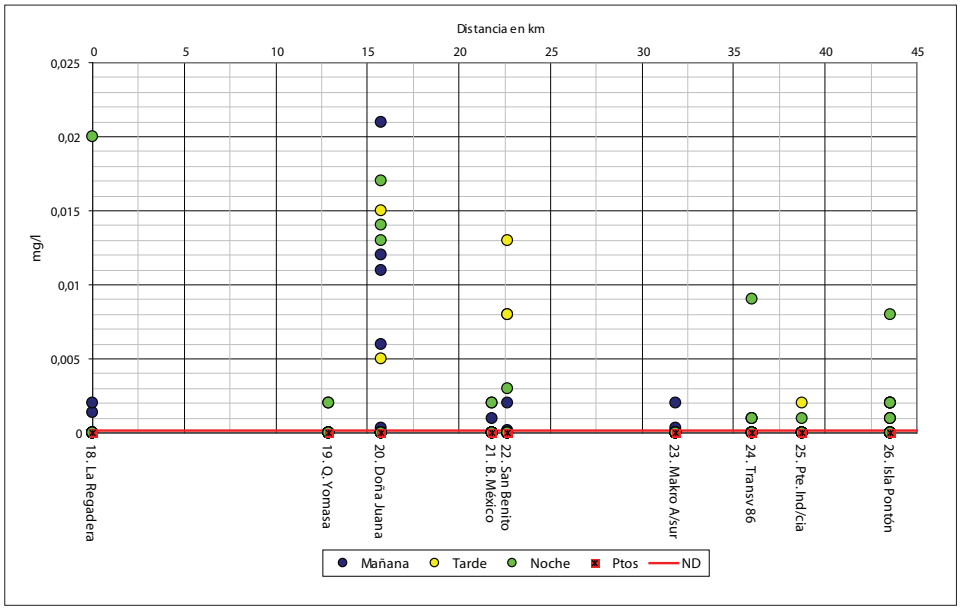
Codificación de los puntos de monitoreo

18 Regadera	21 Barrio México	24 Transversal 86
19 Yomasa	22 San Benito	25 Puente Independencia
20 Doña Juana	23 Makro Autosur	26 Isla Pontón San José

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Respecto al cadmio, en el punto Doña Juana se observó el mismo comportamiento que para el bario, reportando valores significativos en 10 de las 20 muestras analizadas. El comportamiento espacial del cadmio en el río se ilustra en la Gráfica 75.

GRÁFICA 75. Comportamiento espacial de las concentraciones de cadmio en el río Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

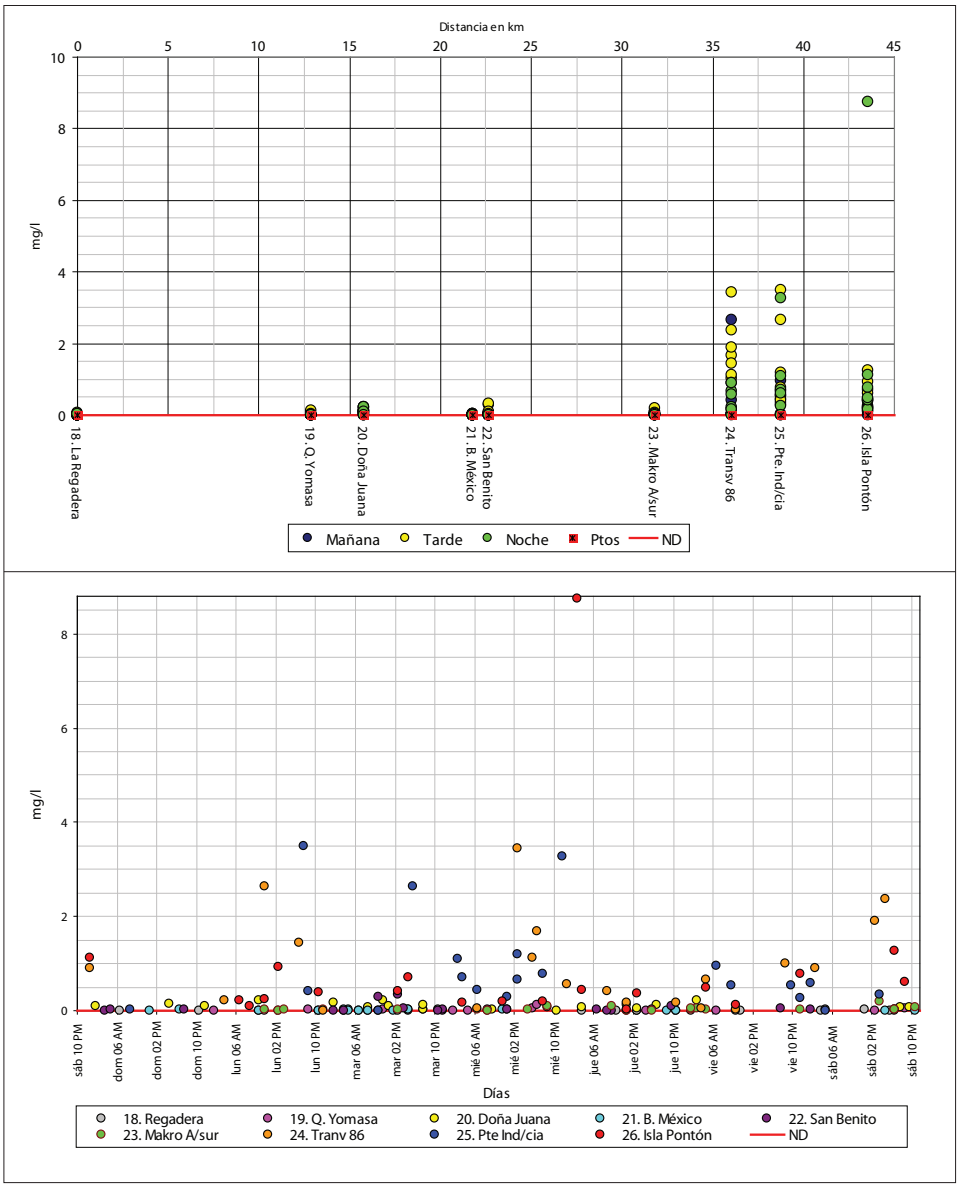
El mayor valor de la carga contaminante en el río Tunjuelo se halló en San Benito; se observó que en lo temporal las mayores cargas contaminantes por cadmio se originan en las jornadas de la tarde y la noche.

El comportamiento de las concentraciones de cromo total es similar al que se registró en níquel. En La Regadera se reportó un valor promedio de 0,011 mg/l. A partir de aguas abajo de la quebrada Yomasa hasta Makro Autopista Sur se determinaron valores promedio entre 0,017 y 0.039 mg/l. Igualmente, las mayores concentraciones en las diferentes jornadas se presentaron desde la transversal 86 hasta Isla Pontón San José con valores promedio entre 0,987 y 0,914 mg/l (*ver Gráfica 76*).

En cuanto a lo temporal, la mayor concentración de cromo total (8,74 mg/l) se registró en la jornada de la noche en el último punto de monitoreo, Isla Pontón San José, en período seco el 18 de enero de 2007, valor atípico asociado a una descarga puntual de agua residual. En la transversal 86 y Puente Independencia, las altas concentraciones de cromo total (3,44 y 3,49 mg/l, respectivamente) se relacionaron con la influencia del interceptor Tunjuelo Medio en las tres jornadas. En la Gráfica 76 se observa que las concentraciones de cromo total presentaron tendencia baja hasta Makro Autopista sur.

No se detectó la presencia de cromo hexavalente en ninguno de los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 76. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones de cromo total en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



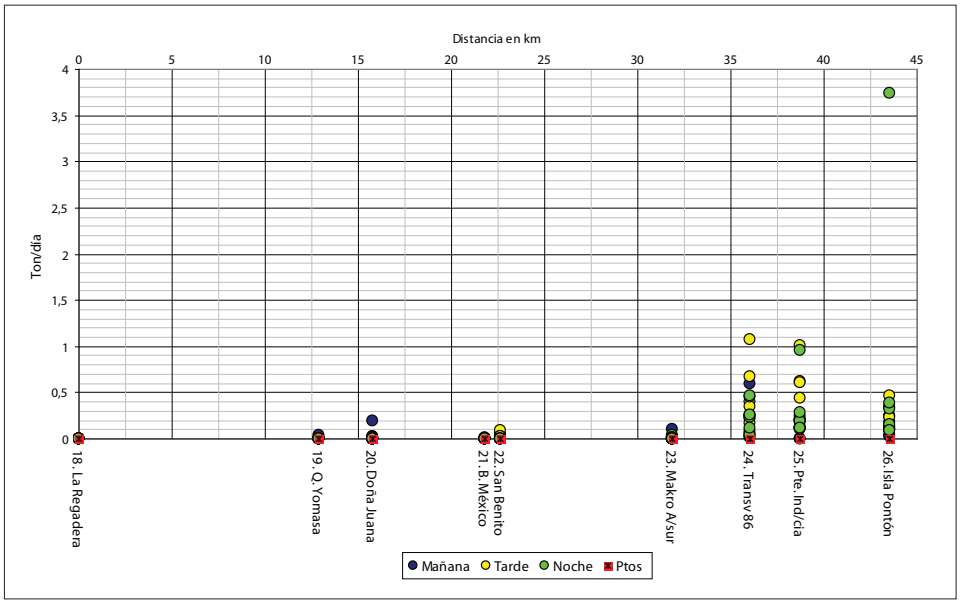
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Respecto a las cargas contaminantes de cromo total, el mayor valor se registró en Isla Pontón San José, el 18 de enero de 2007 (3,74 Ton/día), seguida por la reportada en la transversal 86 en la jornada de la tarde del 11 de noviembre de 2006 (1,01 Ton/día), relacionada con un caudal bajo (5.256 l/s) y una concentración de 2,36 mg/l. Una tendencia similar también se registró en Puente Independencia (1,07 Ton/día).

En el punto Doña Juana la mayor carga se asoció a la apertura de la válvula del embalse La Regadera el 22 de agosto de 2006; esto demuestra que se

debe más a caudal que a concentración. En los demás puntos de seguimiento las cargas contaminantes de cromo total fueron bajas (*ver Gráfica 77*).

GRÁFICA 77. Comportamiento espacial de las cargas contaminantes del cromo total en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



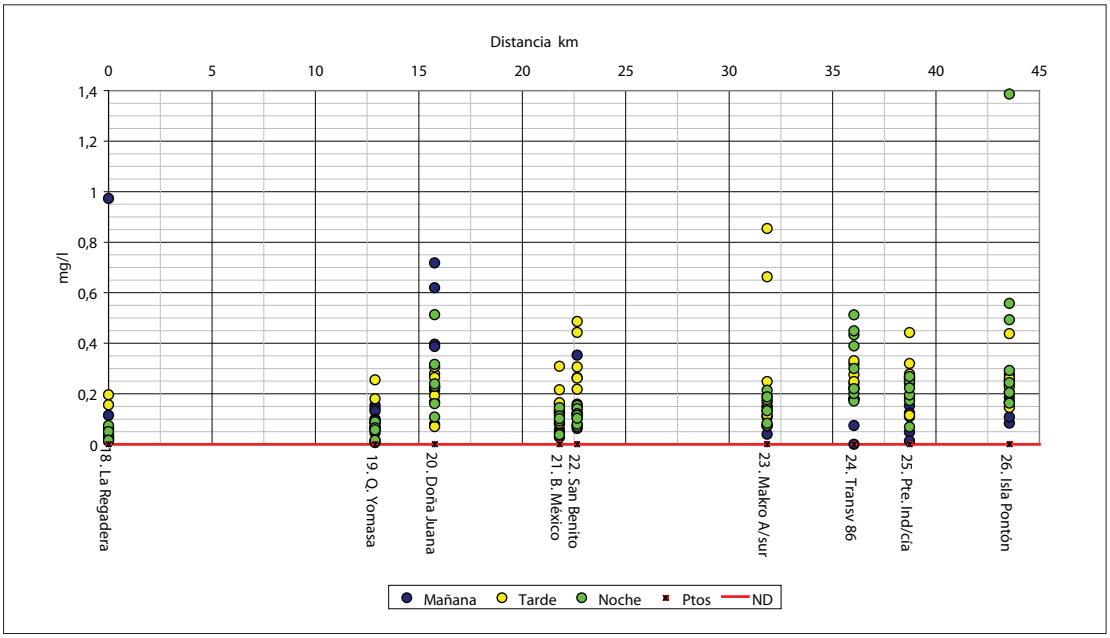
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El plomo en el punto La Regadera no se detectó en el 70% de las muestras evaluadas, lo mismo sucedió en Barrio México y San Benito. En los puntos ubicados entre aguas abajo de la quebrada Yomasa y Doña Juana no se detectó plomo en un 42,5% de las muestras, y a partir de Makro Autopista Sur hasta Isla Pontón San José en un 41,25%. En toda la corriente, en general, se registraron valores promedio de plomo entre 0,008 (aguas abajo de la quebrada Yomasa) y 0,157 mg/l (Barrio México).

El zinc no presentó diferencias entre los puntos monitoreados con un nivel de confianza del 95%; las concentraciones medias oscilaron entre 0,1 y 0,3 mg/l, llegando a valores máximos de 1,4 mg/l (*ver Gráfica 78*).

En la Tabla 68 se registran los valores promedios de cargas de los metales evaluados en cada uno de los puntos de la RCHB en el río Tunjuelo.

GRÁFICA 78. Comportamiento de las concentraciones de zinc en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 68. Comportamiento de las cargas promedios contaminantes del cadmio, arsénico, plomo, cobre, níquel, zinc, manganeso y cromo total en el río Tunjuelo

Punto de monitoreo	(Ton/día)							
	Cadmio	Arsénico	Plomo	Cobre	Níquel	Zinc	Manganeso	Cromo Total
La Regadera	0.000001	0.000008	0.0000171	0.0000104	0.000006	0.00010	0.000153	1.26E-05
100 m abajo de la desembocadura de la quebrada Yomasa	0.0000680	0.000954	0.001057	0.000656	0.001329	0.02151	0.017238	0.00365
Doña Juana	0.00036872	0.001444	0.0059606	0.005254	0.006382	0.05066	0.031833	0.01619
Barrio México	0.00005068	0.000513	0.0013154	0.001059	0.000745	0.01170	0.020038	0.00130
San Benito	0.00195863	0.001651	0.0084572	0.007292	0.006789	0.11500	0.056871	0.01454
Makro Autopista Sur	0.00010187	0.004191	0.0028055	0.004273	0.004824	0.04829	0.043633	0.01386
Transversal 86	0.00105081	0.001674	0.0093395	0.012318	0.004866	0.09699	0.055334	0.286
Puente Independencia	0.00012702	0.001338	0.0035339	0.010836	0.003730	0.07175	0.064124	0.287
Isla Pontón San José	0.00061493	0.002188	0.0109866	0.024457	0.046078	0.15933	0.088845	0.374

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Asimismo, el cobre presentó valores menores a 0,2 mg/l, excepto en la transversal 86 (0,21 mg/l) y en Isla Pontón San José (0,272 mg/l). Ambas muestras fueron recolectadas el mismo día en la jornada de la noche y en tiempo seco. En Doña Juana se presentaron concentraciones mayores a 0,05 mg/l en la jornada de la mañana y la tarde (*ver Gráfica 79*).

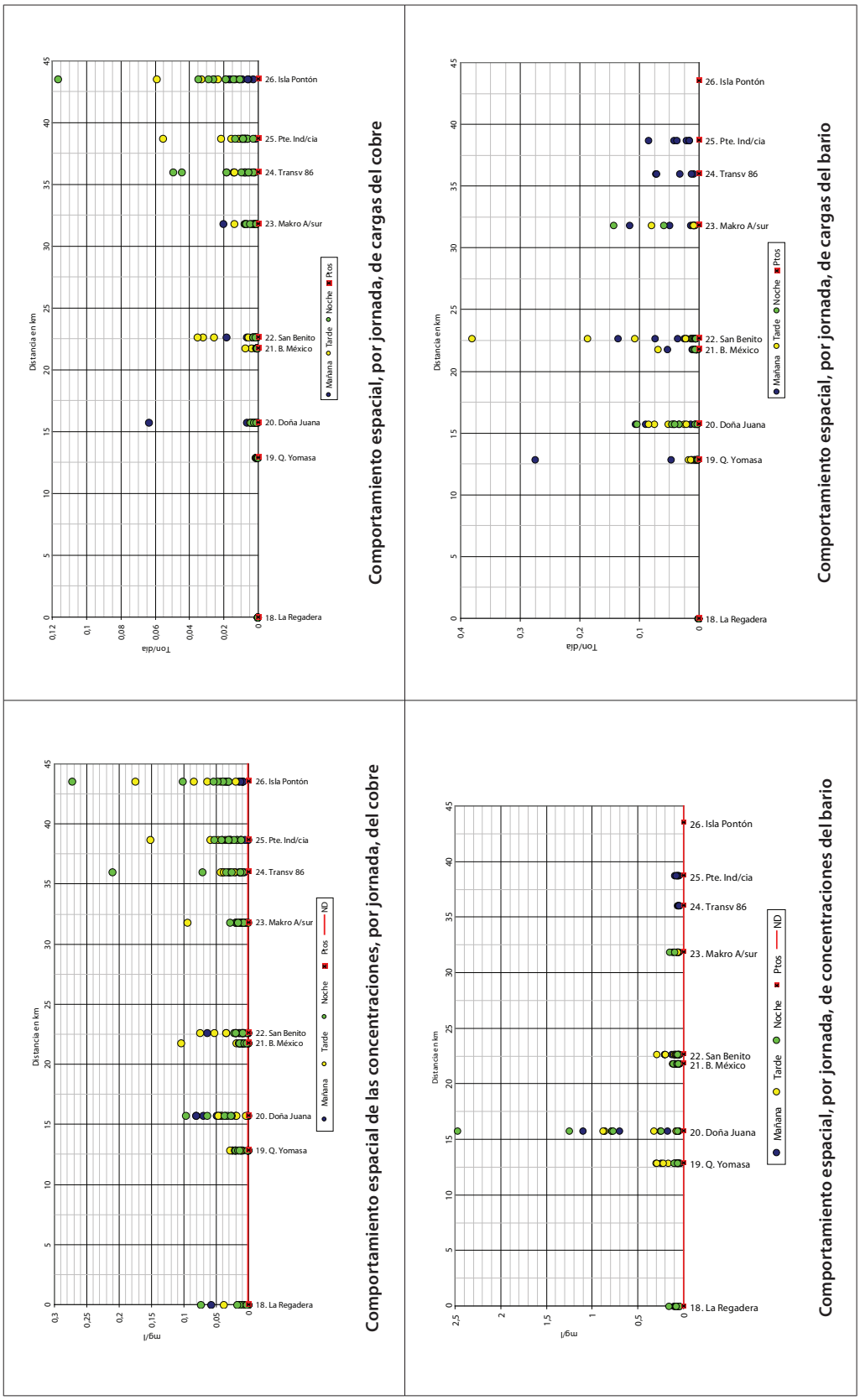
Las mayores cargas contaminantes de cobre se registraron en Isla Pontón San José durante la jornada de la noche, y en Doña Juana en la jornada de la mañana. Al igual que los

otros metales evaluados en el río, se registraron trazas con un valor promedio de carga de 7,35 kg/día.

Al analizar el níquel se presentaron diferencias significativas con un 95% de confianza entre La Regadera y los demás puntos de monitoreo en la cuenca. Además, Doña Juana reportó la mayor concentración comparada con las registradas aguas abajo de la quebrada Yomasa. La concentración de este parámetro presentó su mayor valor en Isla Pontón San José con una concentración de 1,01 mg/l, el 15 de noviembre de 2006 en la jornada de la noche (*ver Gráfica 80*).

En promedio, el río Tunjuelo presentó una carga de níquel de 8,3 kg/día. Temporalmente el comportamiento es bajo (0,00006 y 0,16 Ton/día) en las tres jornadas evaluadas, y únicamente se registró un valor atípico en Isla Pontón San José con un valor de 776 kg/día, el 15 de noviembre de 2006, día en el que se presentaron antecedentes de lluvia en la cabecera y la apertura de la válvula de fondo del embalse La Regadera.

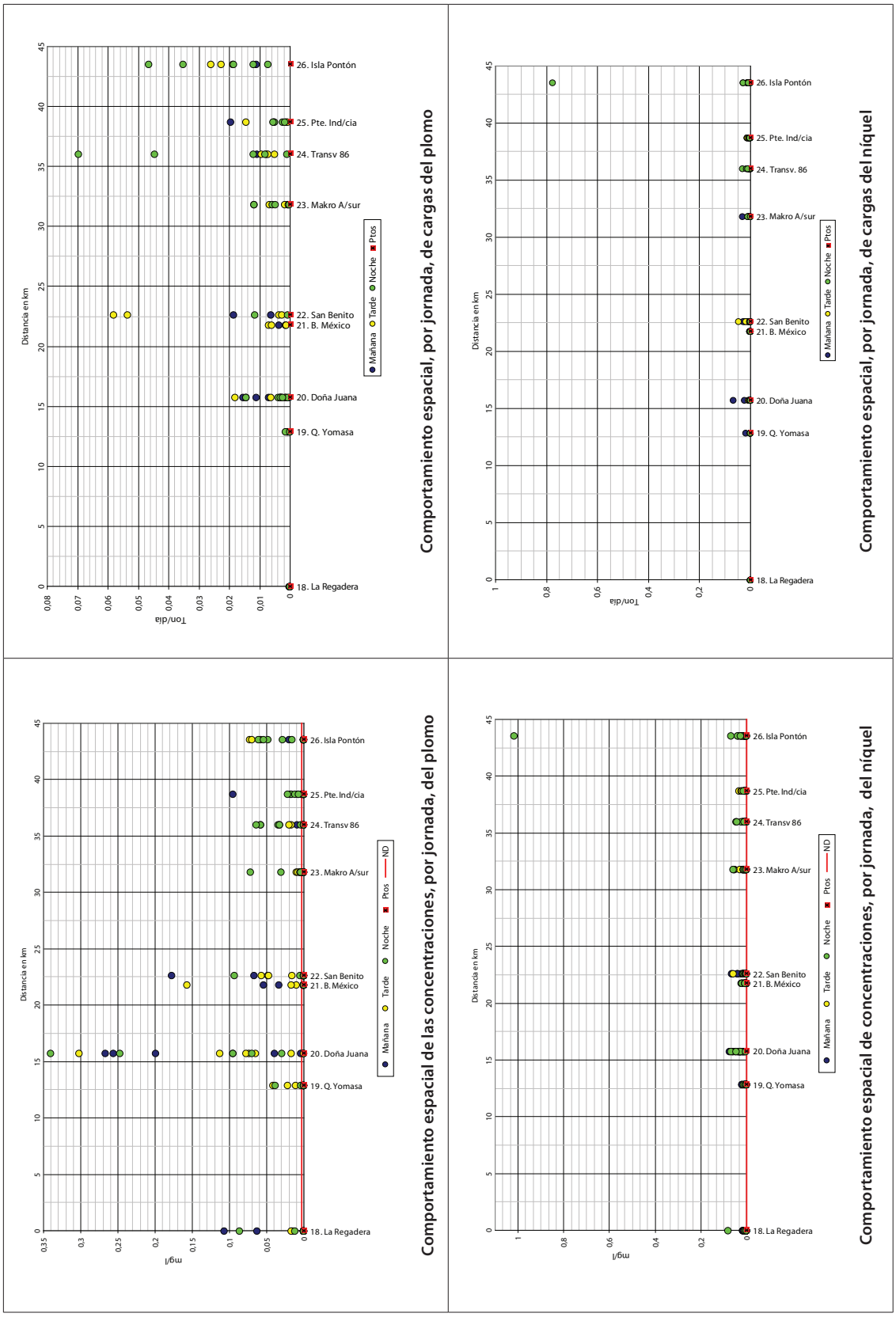
En las Gráficas 79 y 80 se ilustra el comportamiento espacial de las concentraciones y cargas de algunos metales como cobre, bario, plomo y níquel.



GRÁFICA 79. Concentraciones y cargas espaciales del cobre y bario en el río Tunjuelo

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

GRÁFICA 80. Concentraciones y cargas espaciales del plomo y níquel total en el río Tunjuelo

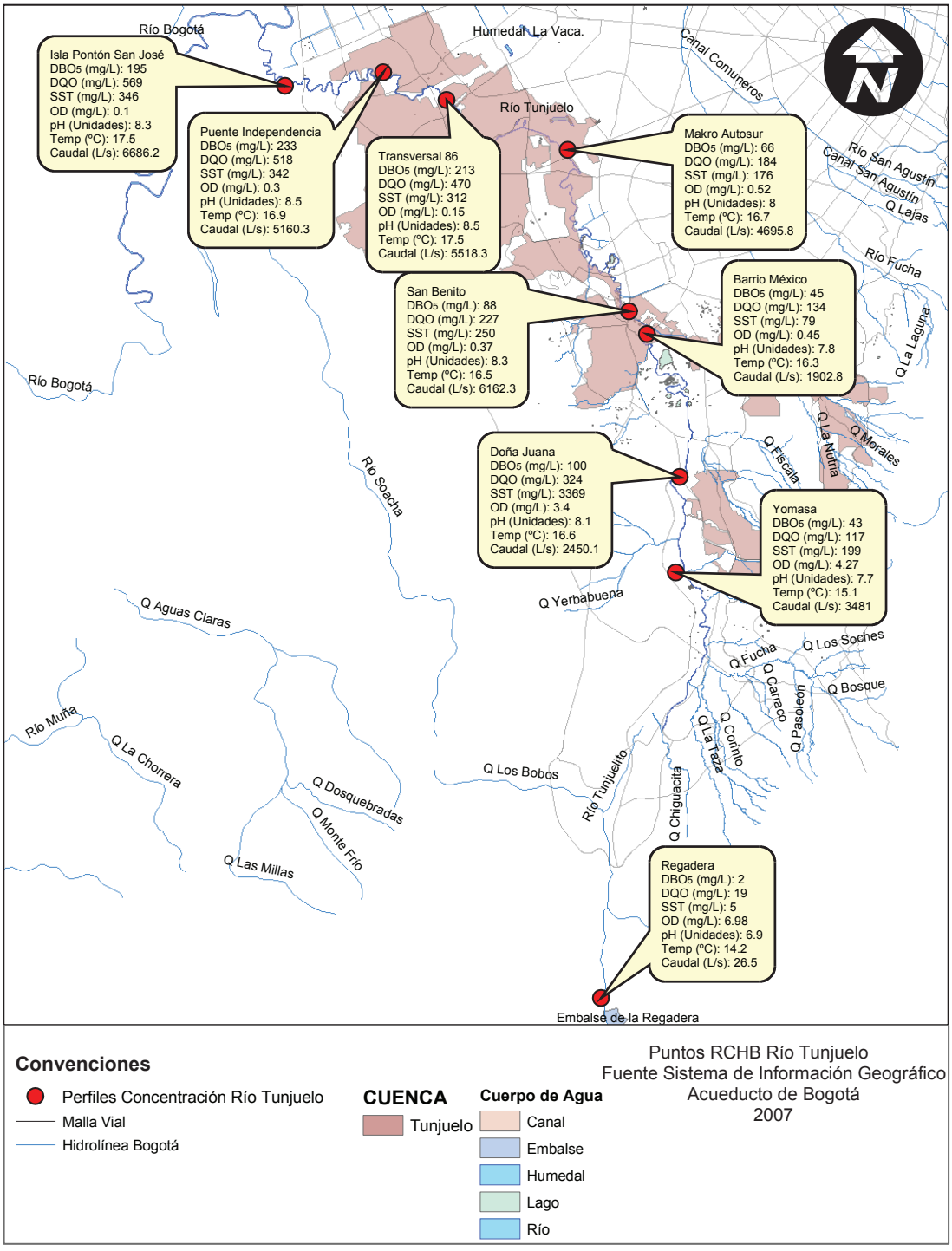


Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Mapa de concentración y carga

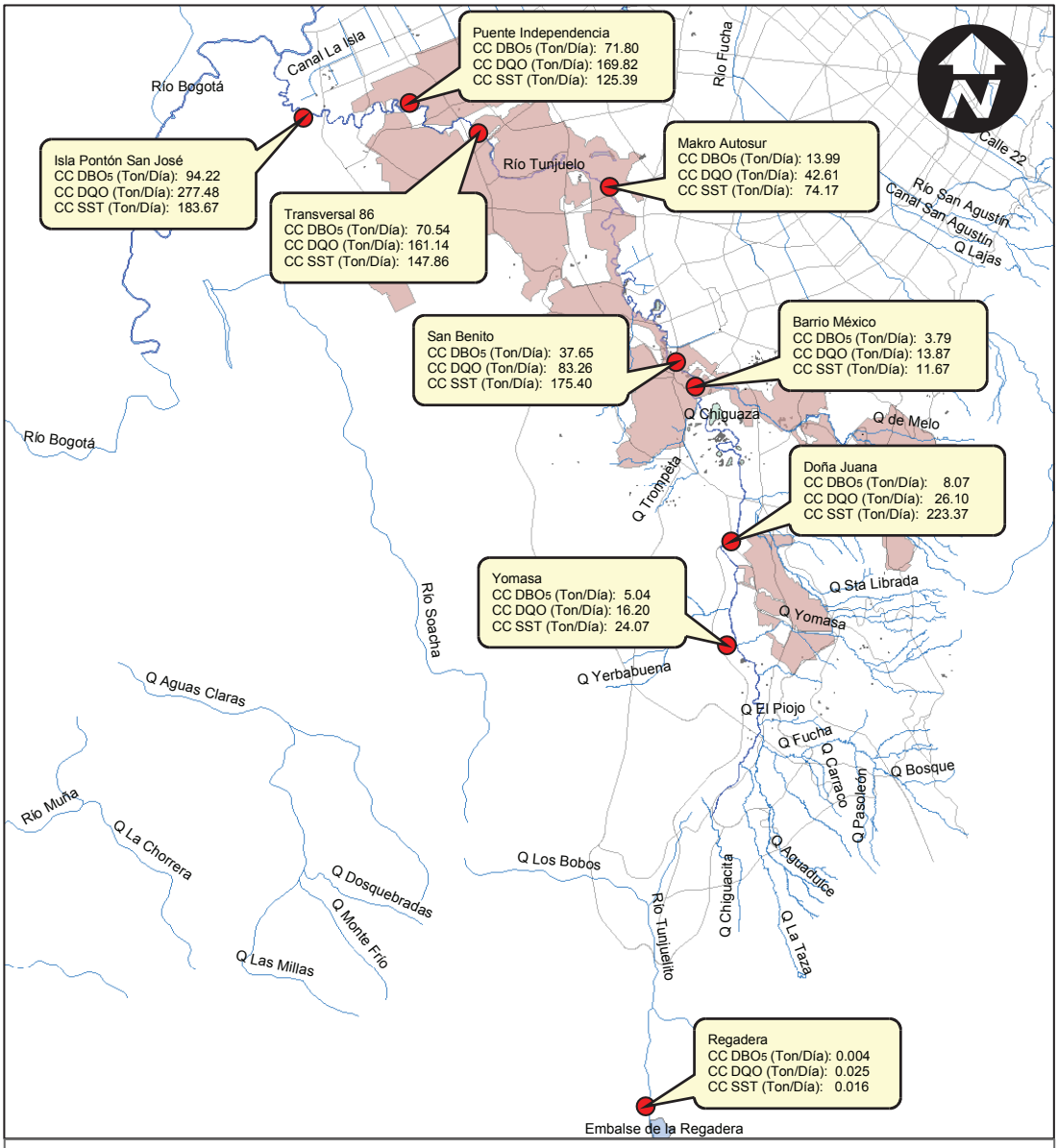
En los Mapas 26 y 27 se presentan los promedios de las concentraciones y las cargas de algunos parámetros de interés en los puntos de la RCHB ubicados en el río Tunjuelo.

MAPA 26. Concentraciones promedio de materia orgánica total y biodegradable, Sólidos Suspendidos Totales (SST), valores promedio de OD, pH, temperatura y caudal en el río Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 27. **Promedio de la carga de materia orgánica total y biodegradable y Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el río Tunjuelo**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Índice de calidad y usos del recurso hídrico

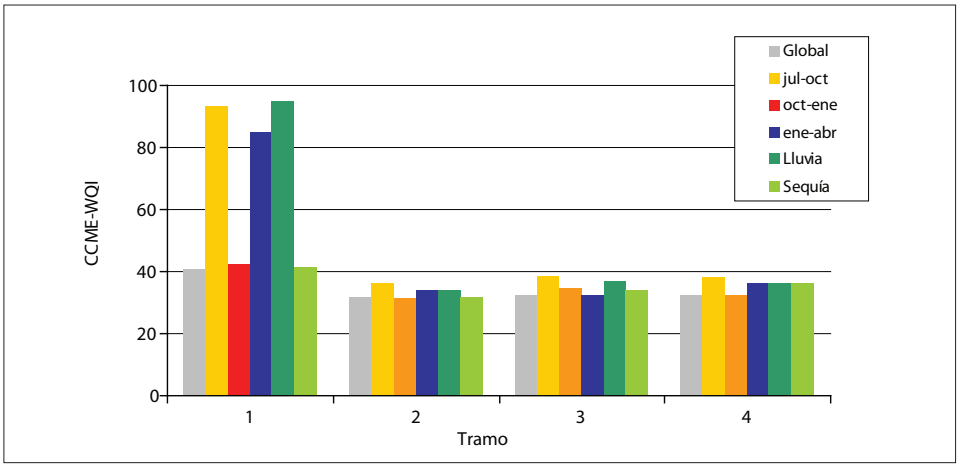
Analizando cada uno de los tramos del río Tunjuelo, se presenta con un mayor grado de resolución espacial los cambios que ocurren en la calidad de la fuente superficial y que componen los usos del recurso hídrico establecidos en el Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura y mediante el cálculo del índice CCME WQI. A continuación se evalúa el cauce respecto a los usos.

Uso agrícola

Para uso agrícola la calidad del agua del río Tunjuelo fue pobre desde el inicio de su recorrido. Sólo en las ventanas de tiempo, julio-octubre de 2006, enero-abril de 2007 y la correspondiente al período de lluvia, clasificaron el agua como buena en el punto La Regadera durante los dos primeros períodos (84,8 - 93,2 puntos), y excelente (95,1 puntos) en el período de lluvia (*ver Gráfica 81*).

Vale la pena resaltar que los resultados obtenidos en el análisis por tramos representan adecuadamente la condición que se observa en los mapas por la disminución gradual de la calidad del agua entre La Regadera e Isla Pontón San José en todas las ventanas temporales para este uso.

GRÁFICA 81. Variación de la calidad del agua para uso agrícola en el río Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

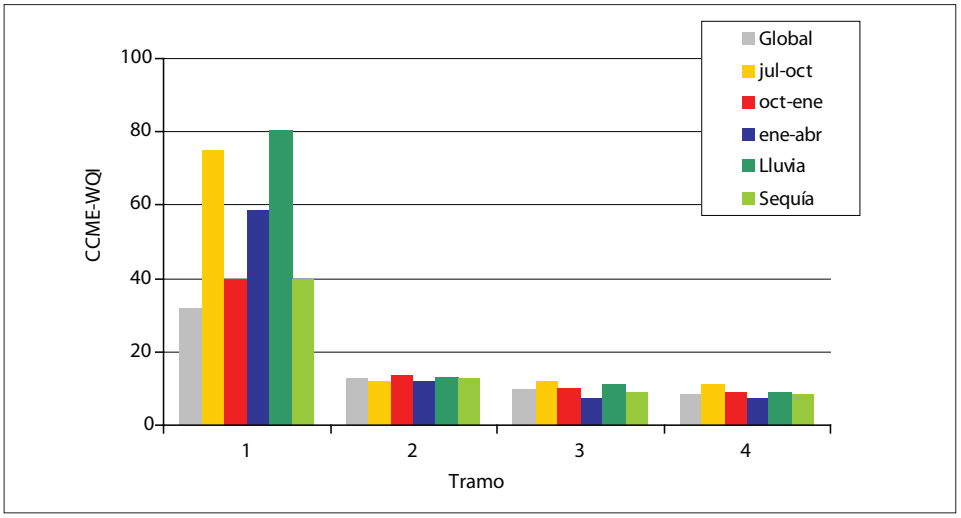
Los coliformes totales fueron las variables que excedieron la normatividad en el mayor número de datos, afectando la calidad del agua para el uso agrícola. El incremento de estos parámetros bacteriológicos se observó después de La Regadera y se mantuvo en el orden de 10^6 - 10^8 NMP/100 ml hasta Isla Pontón San José.

Uso recreativo mediante contacto secundario

La máxima categoría de calidad para uso recreativo se obtuvo en La Regadera y correspondió a un valor de 80 puntos durante la época de lluvia

(*ver Gráfica 82*). En este mismo punto, la calidad del agua fue aceptable en el período de julio-octubre de 2006 (75,1 puntos) y marginal entre enero-abril de 2007 (58,5 puntos). En los períodos restantes, la calidad del agua fue pobre (menor de 10 puntos), al igual que los demás tramos sobre el cauce.

GRÁFICA 82. Variación de la calidad del agua para uso recreativo en el río Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Uso para la preservación de la vida acuática

Las variables que estuvieron más relacionadas con los perfiles de calidad del agua para preservación de la vida acuática fueron el OD y los tensoactivos (SAAM), dada la frecuencia con la que excedieron el estándar normativo. El OD disminuyó durante el recorrido del cauce hasta que alcanzó condiciones de anoxia en los últimos puntos de monitoreo de la RCHB.

Los tensoactivos (SAAM) siguieron una tendencia de incremento desde el punto ubicado aguas abajo de la quebrada Yomasa y se estabilizaron en los últimos puntos, entre 1,73 y 2,13 mg/l.

Para la preservación de la vida el río Tunjuelo presentó una calidad excelente en La Regadera.

El análisis por tramos permitió evidenciar un gradiente espacial de calidad del agua en la corriente, con tendencia a la degradación a medida que se avanza en el recorrido desde el punto inicial hasta el río Bogotá.

Usos del recurso hídrico de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura

A continuación se presentan los posibles usos del cuerpo de agua por tramos en el río Tunjuelo en comparación con los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura, artículo 40 (uso agrícola), artículo 41 (uso pecuario), artículo 43 (uso recreativo mediante contacto secundario).

Tramo 1 (entrada al perímetro urbano hasta la desembocadura de la quebrada Yomasa)

En este tramo se encuentra La Regadera. Los valores obtenidos en este punto inicial del río Tunjuelo se compararon con los parámetros establecidos en la legislación aplicable citada anteriormente.

Los metales arsénico, zinc, cobre, cromo hexavalente, níquel y plomo no sobrepasaron los valores admisibles establecidos y las concentraciones obtenidas, no restringen el uso de la fuente para actividades agrícolas y pecuarias. Las concentraciones de manganeso, cadmio y plomo sobrepasaron el valor de referencia en 1 muestra puntual de 20 recolectadas, lo que indica que en general el recurso se puede utilizar para la actividad agrícola y pecuaria en un 95%.

Los tensoactivos (SAAM) excedieron los 0,5 mg/l establecidos para uso recreativo mediante contacto secundario en 1 muestra puntual, indicando así que en el 95% de las concentraciones obtenidas se puede utilizar el recurso para este uso.

Los coliformes totales sobrepasaron los 5.000 NMP/100 ml establecidos para uso agrícola y recreativo mediante contacto secundario en 4 de las 20 muestras recolectadas, esto indica que en el 80% de los resultados no se restringe el uso del recurso.

Tramo 2 (desembocadura quebrada Yomasa hasta la avenida Boyacá)

En este tramo se encuentran los puntos ubicados aguas abajo de la quebrada Yomasa y Doña Juana. Al igual que el tramo anterior se compararon las concentraciones obtenidas con los parámetros aplicables de la normatividad vigente.

Las concentraciones de arsénico, cadmio, zinc, níquel y cobre registradas aguas abajo de la quebrada Yomasa no sobrepasaron los valores de referencia de la normatividad respecto al uso agrícola y pecuario.

En el punto Doña Juana, el arsénico excedió el valor de referencia en 1 muestra puntual con respecto al límite establecido en la normatividad para uso agrícola; el cadmio superó los 0,01 mg/l para el uso agrícola en 7 de las 20 muestras analizadas; el plomo sobrepasó los 0,1 mg/l para el uso pecuario en 7 de las 20 muestras evaluadas.

En los puntos ubicados aguas abajo de la quebrada Yomasa y Doña Juana el zinc, el cromo hexavalente, el níquel y el cobre no excedieron los límites establecidos para uso agrícola y pecuario. La concentración de manganeso sobrepasó el valor de referencia en 5 y 14 muestras de las 20 recolectadas respectivamente, correspondiendo a un 25% y 70% que restringe el uso del recurso para actividad agrícola.

El pH excedió en 2 muestras en cada uno de los puntos del tramo 2, lo que indica que la generalidad de los valores de este parámetro permite el uso del recurso para actividades agrícolas y pecuarias.

En estos puntos los tensoactivos (SAAM) superaron los 0,5 mg/l establecidos para el uso recreativo mediante contacto secundario en 11 y 8 muestras puntuales, lo que muestra que el 55% y 40% de las concentraciones obtenidas no permiten utilizar el recurso para este uso.

Los coliformes totales sobrepasaron los 5.000 NMP/100 ml establecidos para uso agrícola y recreativo mediante contacto secundario en todas las muestras después de Yomasa y Doña Juana, restringiendo el uso del recurso hídrico.

Tramo 3 (desde la avenida Boyacá hasta la Autopista Sur)

En este tramo se ubican los puntos Barrio México y San Benito. Para empezar, la contaminación bacteriológica en la fuente restringe en un 100% el uso del recurso para actividades agrícolas y recreativas mediante contacto secundario.

En cuanto al pH en estos dos puntos, los datos registrados superaron el límite superior (9,0 U) establecido para el uso agrícola y recreativo mediante contacto secundario en 2 y 6 muestras respectivamente, lo que indica, en promedio, que en el 80% de las concentraciones obtenidas se puede utilizar el recurso para estos usos.

Los tensoactivos (SAAM) reportaron datos menores a 0,5 mg/l en el 15% de las muestras recolectadas en los dos puntos del tramo 3, esto significa que en el 85% no se puede utilizar la fuente para uso recreativo mediante contacto secundario.

Las concentraciones de metales como arsénico, zinc, cobre, cromo, níquel y manganeso no restringen la utilización del recurso para actividades agrícolas y pecuarias en los puntos de este tramo.

En cuanto al cadmio, sobrepasó el valor de referencia en 1 muestra en San Benito para el uso agrícola; el plomo, en cada punto, superó los 0,1 mg/l para el uso pecuario en 1 muestra, y respecto al manganeso, sobrepasó los 0,2 mg/l en este tramo en promedio en un 25% para uso agrícola.

Tramo 4 (desde la Autopista Sur hasta la desembocadura del río Tunjuelo en el río Bogotá)

En este tramo se ubican los puntos Makro Autopista Sur, transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José. Para iniciar el análisis, los valores de coliformes totales restringen el uso del recurso hídrico para actividades agrícolas y recreativas mediante contacto secundario en todos los puntos del tramo.

Los datos de pH se hallaron por encima de los 9,0 U en 2 muestras de Makro Autopista Sur, en 6 de la transversal 86 e Isla Pontón San José, y en 5 de Puente Independencia. Esto restringe el uso agrícola y recreativo mediante contacto secundario, en promedio, en un 23,7% para este último tramo.

Los tensoactivos (SAAM) en su mayoría, en los cuatro puntos monitoreados, restringen el uso recreativo, mediante contacto secundario, del recurso

hídrico; en promedio, para este tramo se presenta un 90% de datos que sobrepasan la concentración admisible de 0,5 mg/l permitidos.

En cuanto a los metales, el comportamiento para la determinación de los usos fue el siguiente: el cadmio, el zinc, el cromo y el plomo no restringen la utilización del recurso para actividades agrícolas y pecuarias; sin embargo, el manganeso superó los 0,2 mg/l en 1 muestra de Makro Autopista Sur y Puente Independencia y en 4 muestras en Isla Pontón San José, restringiendo de esta manera la utilización del recurso para el uso agrícola.

Para el níquel se sobrepasaron los 0,2 mg/l para el uso agrícola en Isla Pontón San José en 1 muestra; de igual forma, para el cobre se superaron los 0.2 mg/l en 1 muestra de la transversal 86 e Isla Pontón San José, de las 20 muestras evaluadas en cada punto.

Cumplimiento de los objetivos de calidad, Resolución 1813 de 2006 del DAMA

En el río Tunjuelo en general los valores de la DBO_5 no excedieron los límites establecidos en los objetivos de calidad en los tramos 1, 2 y 3. En el tramo 4 (a excepción de Makro Autopista Sur), en promedio los valores superaron los 150 mg/l establecidos en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA. El OD, el pH y la temperatura registraron valores menores que los requeridos por la norma.

En el tramo 2, los SST en promedio superaron los 450 mg/l establecidos en los objetivos de calidad para el año 2011 y en especial en el punto Doña Juana, principalmente por las descargas de la industria extractiva ubicada en esta zona.

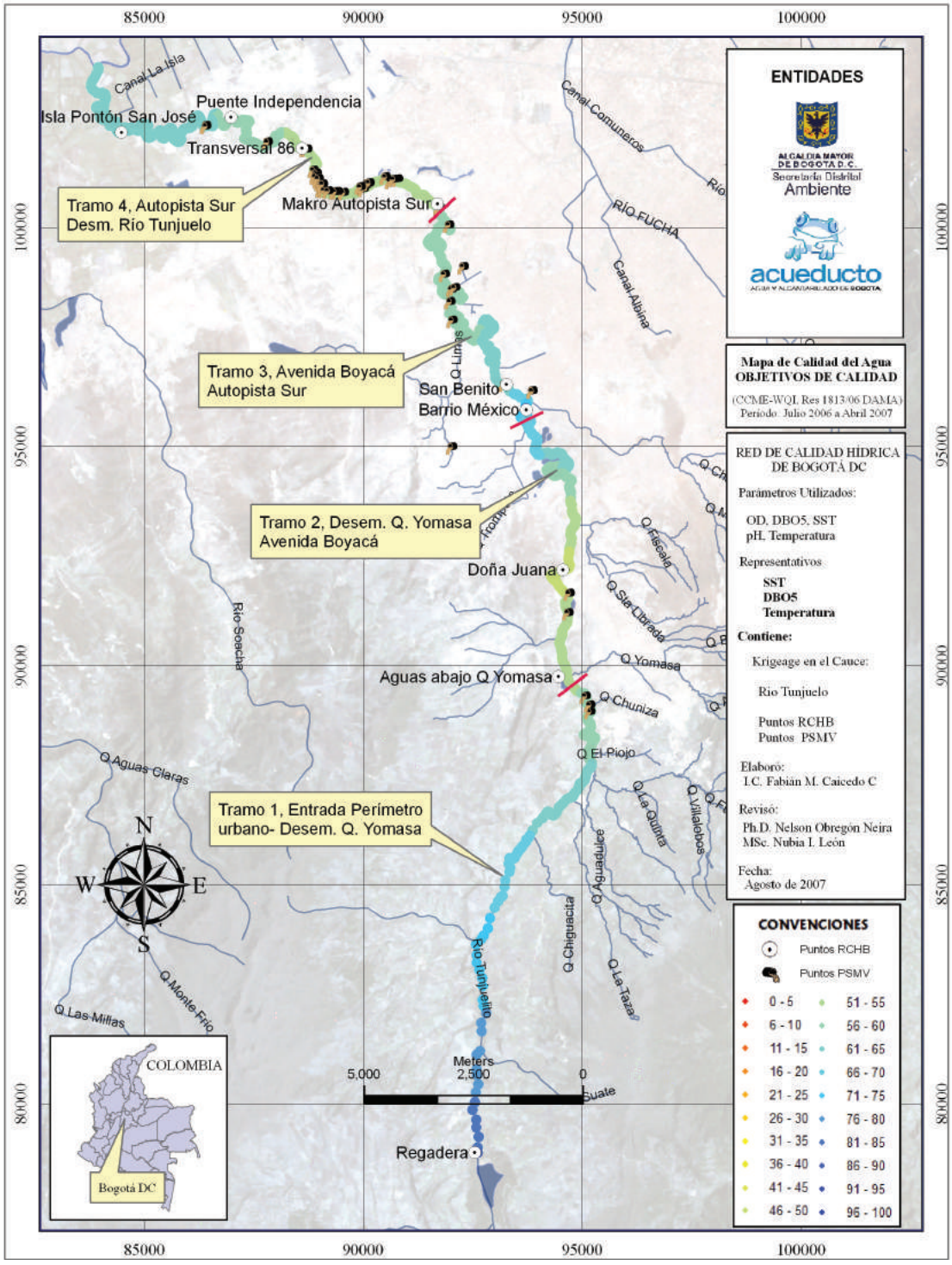
Mapas de calidad y confiabilidad

Los mapas de calidad y confiabilidad que se presentan a continuación están relacionados con los objetivos de calidad propuestos en la Resolución 1813 de 2006 del DAMA para el río Tunjuelo en sus cuatro tramos. Sólo se ilustra el comportamiento de la calidad del agua para el total de los datos (180), ya que tanto para las ventanas temporales como para las diferentes épocas climáticas no se presentó variabilidad cromática debido a que a partir del tramo 2 la calidad para la mayoría de los usos es pobre.

En el Mapa 28 se ilustra la calidad del agua con todos los datos respecto a los objetivos de calidad, y en él se muestra la confiabilidad en términos porcentuales para estos valores.

En el tramo 1 del cauce se presentó una confiabilidad entre el 45 y el 50%. El motivo de esto es que en La Regadera no existe un punto de referencia aguas arriba, por el contrario, los otros puntos aguas abajo siempre tienen referencia en el trayecto del río. Por lo anterior, los demás tramos presentaron confiabilidades entre el 60 y 70%.

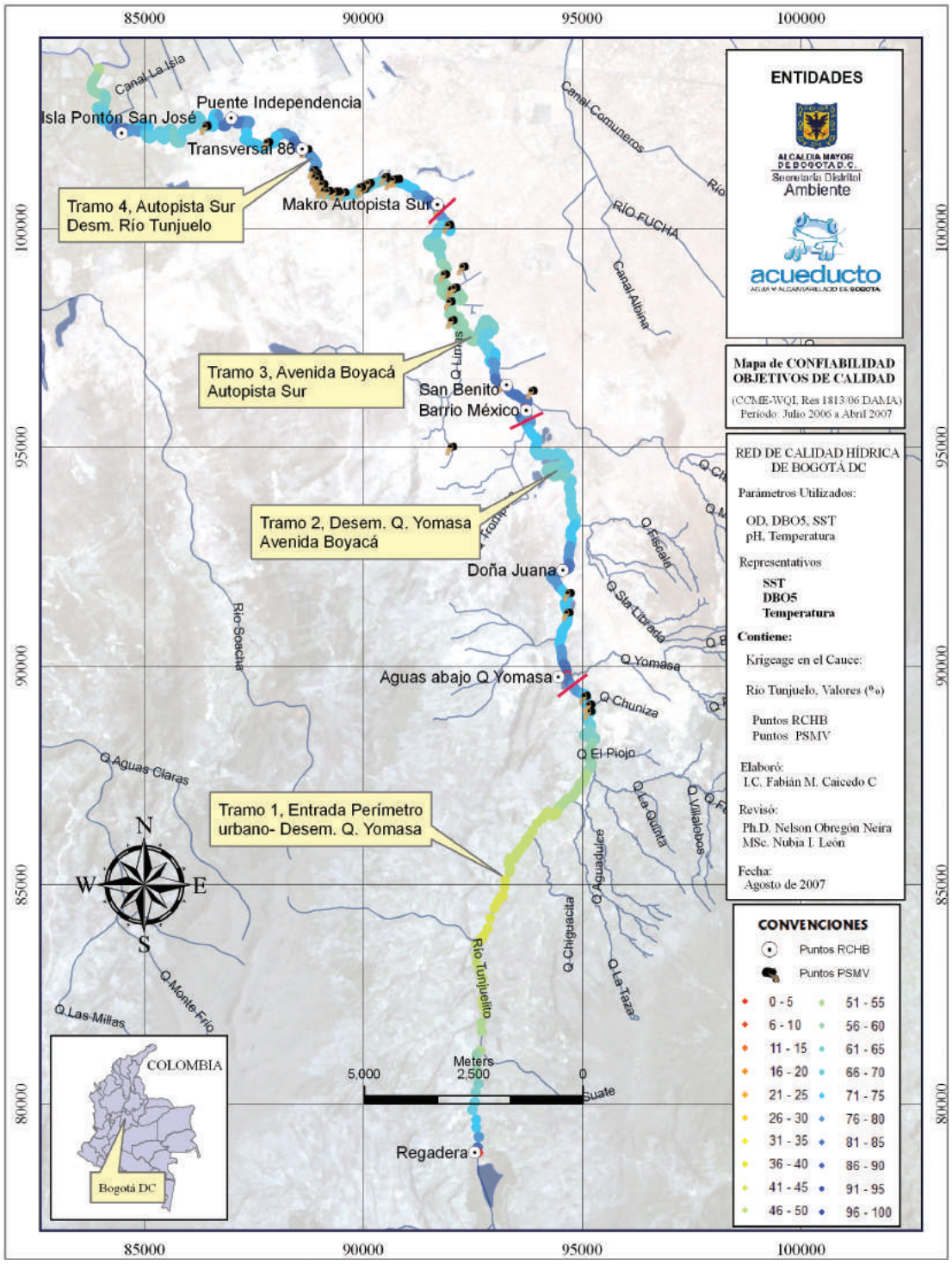
MAPA 28. Objetivos de calidad según Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa global con todos los datos en el río Tunjuelo



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 29. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad. Mapa global con todos los datos en el río Tunjuelo



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Cuenca media del río Bogotá

Descripción de la cuenca

La cuenca del río Bogotá está ubicada en el centro del país, en el departamento de Cundinamarca, sobre la cordillera Oriental. Nace en la región nororiental de Cundinamarca, en un sitio conocido como el páramo de Guacheneque de la laguna del Valle. Desde su nacimiento en el municipio de Villapinzón hasta su desembocadura en Girardot, el río Bogotá alcanza una longitud de 380 km, divididos en tres tramos: cuenca alta 170 km, cuenca media 90 km y cuenca baja 120 km[21]. Recorre la provincia de Almeidas y la Sabana de Bogotá de norte a sur, pasando por los municipios de Villapinzón, Chocontá, Suesca, Sesquilé, Gachancipá, Tocancipá, Cajicá, Chía, Cota, Funza, Mosquera y Soacha, además de Bogotá, donde recibe las aguas del canal Torca, los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo.

El río Bogotá es el eje fundamental y principal elemento del sistema hídrico del Distrito Capital; también actúa como límite occidental de la ciudad y como articulador entre las áreas urbana y rural de la sabana. Si bien no atraviesa el casco urbano, es el receptor de todas las aguas que circulan por el Distrito Capital[22].

Desde su nacimiento, en el municipio de Villapinzón el río Bogotá recibe la contaminación proveniente de varias curtiembres artesanales que arrojan sus desechos al río.

Esta cuenca a su paso por la Sabana de Bogotá se utiliza para riego de pastos, cultivos y para actividades pecuarias en general. En este tramo recibe tres de sus principales afluentes, las cuales, a su vez, transportan las aguas residuales provenientes del Distrito Capital: los ríos Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo[23].

Sobre el río Bogotá, entre el Cortijo y Puente Cundinamarca, se presentan condiciones anóxicas, y a partir de este punto hasta El Cierre no se detecta OD (Oxígeno Disuelto). Esta situación crítica se debe a la descarga de aguas residuales tanto domésticas como industriales en este trayecto.

La mayor parte de los planes de descontaminación del río Bogotá se centran en la cuenca media, principalmente en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la ciudad, las cuales son arrojadas al sistema fluvial (que desemboca en su totalidad en el río Bogotá) o al sistema de alcantarillado.

Si bien el sistema fluvial de Bogotá debe recolectar sólo aguas lluvias, la falta de concientización de la ciudadanía hace que se utilicen los canales como botaderos de desechos sólidos. De igual manera, la industria artesanal (como las curtiembres) y algunos sectores industriales vierten sus desechos, tanto tra-

21 Estos datos y mayor información se pueden encontrar en www.redbogota.com/endatos/htm.

22 Jarro Fajardo, Edna Carolina. *Guía técnica para la restauración de áreas de ronda y nacederos del Distrito Capital*. Primera edición. Bogotá, mayo de 2004.

23 Esta información está disponible en es.wikipedia.org/wiki/Río_Bogotá.

tados como sin tratar, a los afluentes del río Bogotá, contaminando de esta forma a los afluentes y al propio río.

El sistema de alcantarillado de Bogotá transporta las aguas residuales, teniendo en cuenta que sólo una parte de ellas son tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre. La red de alcantarillado está conformado por:

- Sistema sanitario: compuesto principalmente por las estaciones de bombeo Villa Gladys, Rivera, Navarra, Gibraltar, El Recreo y el interceptor La Perla (interceptor Engativá Cortijo).
- Sistema pluvial: en el que se encuentra la estación de bombeo de aguas lluvias Alameda.

La cuenca media comprende desde la estación hidrometeorológica La Virgen hasta las compuertas Alicachín, en las inmediaciones del embalse del Muña. Con el fin de evaluar la influencia del canal Torca se ubicó un punto fuera del perímetro urbano, aguas arriba de la descarga de este canal.

En el Salto del Tequendama el río Bogotá abandona la sabana y entra en la provincia cundinamarquesa Tequendama. La oxigenación que recibe en esta catarata permite que el río recupere parte de la vida macrobiótica. Igualmente, el río Bogotá en su parte baja recibe las aguas de varios ríos más limpios que, junto con un discurrir más rápido, diluyen el nivel de contaminación. El Bogotá aún recibe la carga contaminante de los alcantarillados de los municipios aledaños a su trayecto, pero por el bajo desarrollo industrial de los municipios de las provincias de Tequendama y el Alto Magdalena (en contraste con los municipios de las zonas sabana central y sabana de occidente en la cuenca media), su cauce es mucho menos contaminado.

El río Bogotá ingresa al perímetro urbano por el costado del barrio Lisboa, en el noroccidente de Bogotá, y termina en Bosa; vale aclarar que el margen izquierdo es el que corresponde a la jurisdicción de la SDA.

Fuentes de contaminación hídrica

En el Acuerdo 43 de 2006 de la CAR se cita la división del río Bogotá en cinco tramos, que son:

1. Cuenca alta superior, sector comprendido entre Villapinzón y Tibitoc.
2. Cuenca alta inferior, entre Tibitoc y la estación hidrometeorológica La Virgen.
3. Cuenca media, desde la estación hidrometeorológica La Virgen hasta las compuertas de Alicachín, en inmediaciones del embalse del Muña.
4. Cuenca baja superior, entre el embalse del Muña y la descarga del río Apulo.
5. Cuenca baja inferior, desde la descarga del río Apulo hasta la desembocadura del río Bogotá en el Magdalena.

En los dos primeros tramos hay influencia sobre el cuerpo de agua en Villapinzón, por las descargas de las curtiembres ubicadas en esta zona; adicionalmente recibe las descargas de varios sistemas de tratamiento de aguas residuales de Gachancipá, Tocancipá y Chía, así como de varios sectores productivos ubicados en el área aferente al río. Esto indica que el río Bogotá, antes de su ingreso al perímetro del Distrito Capital, viene con cargas contaminantes de materia orgánica total y biodegradable, así como de nutrientes y trazas de metales pesados.

Los vertimientos sobre el río y las cargas aportadas por los ríos que atraviesan la ciudad aportan, desde la entrada del perímetro urbano hasta el sector de Alicachín, materia orgánica, sólidos, contaminación bacteriológica, entre otros contaminantes. Otra fuente de contaminación es la originada por las actividades agrícolas y de pastoreo que se desarrollan en la ronda del río.

En la Tabla 69 se mencionan las fuentes superficiales y descargas que tienen influencia en la cuenca media del río Bogotá.

TABLA 69. Salidas del perímetro urbano a la cuenca media del río Bogotá

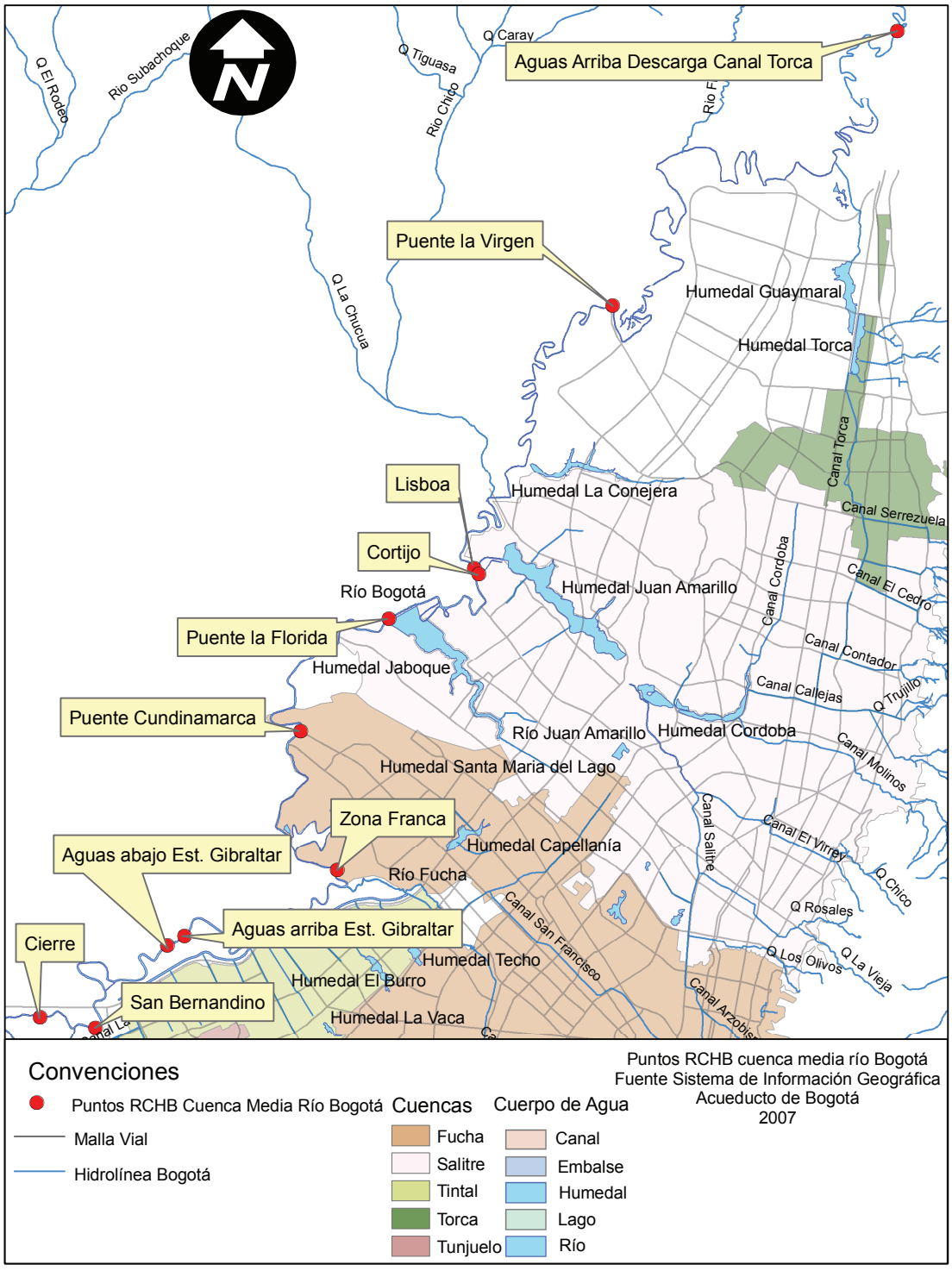
Punto de monitoreo	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Descarga canal Torca	4,49588	74,02382
Río Salitre o Juan Amarillo	4,44159	74,07380
Descarga PTAR Salitre	4,44185	74,07301
Humedal Jaboque	4,43369	74,08462
Estación Villa Gladys	4,43325	74,08546
Estación Navarra	4,40337	74,10244
Estación Rivera	4,40032	74,09495
Río Fucha	4,39465	74,09324
Estación Gibraltar	4,29292	74,01301
Río Tunjuelo	4,37453	74,13208

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Localización de los puntos de monitoreo

La localización de los 11 puntos de monitoreo de la RCHB en la cuenca media del río Bogotá se reportan en la Tabla 70 y se ilustran en el Mapa 30.

MAPA 30. Ubicación de los puntos monitoreados de la RCHB en la cuenca media del río Bogotá



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 70. Puntos de seguimiento de la RCHB en la cuenca media del río Bogotá

Cuenca	Estación	Tramo fuente	Abscisado	Coordenadas geográficas WGS 84	
				Latitud	Longitud
RÍO BOGOTÁ	Aguas arriba de la descarga del canal Torca	CUENCA MEDIA	K0+000	4,49179	74,02174
	Puente La Virgen		K29+467	4,47448	74,05457
	Lisboa		K45+875	4,44224	74,07505
	El Cortijo		K46+290	4,441028	74,073913
	Puente La Florida		K50+650	4,43324	74,08553
	Puente Cundinamarca		K57+111	4,41558	74,10087
	Zona Franca		K62+512	4,40007	74,0942
	100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar		K70+024	4,38566	74,10555
	100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar		K70+587	4,38522	74,11006
	San Bernardino		K76+587	4,37438	74,13067
	El Cierre		K78+360	4,37538	74,13487

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el Esquema 15 se observa la apariencia física de la cuenca media del río Bogotá aguas arriba del canal Torca y en El Cierre.

ESQUEMA 15. Puntos sobre la cuenca media del río Bogotá



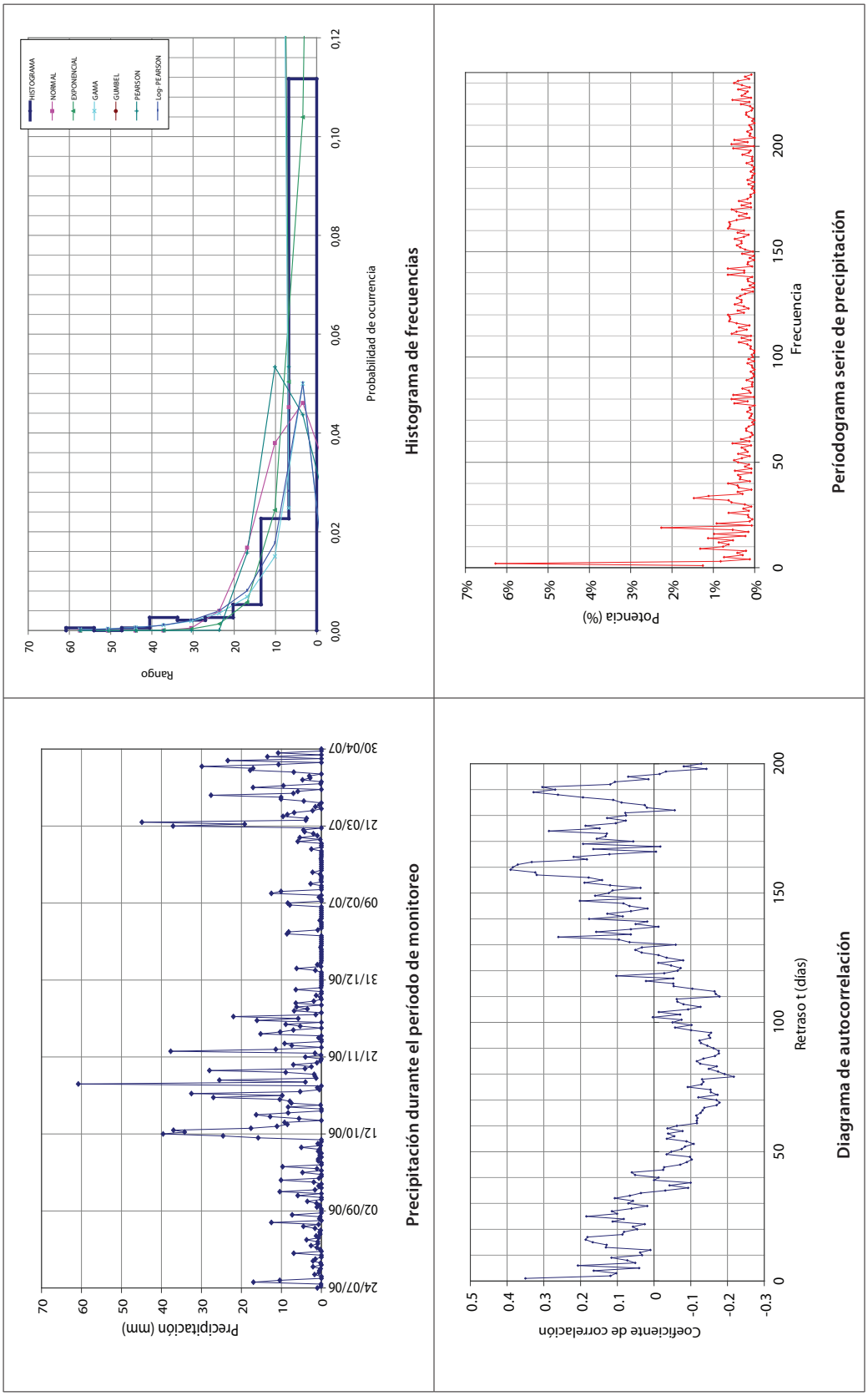
Aguas arriba del canal Torca **El Cierre**

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Análisis de precipitación

Para determinar la correlación temporal en concentración y carga de los diferentes parámetros medidos en la cuenca, se utilizaron los registros de precipitación de las estaciones hidroclimatológicas de la EAAB-ESP más cercanas a los puntos de monitoreo de la RCHB sobre el río Bogotá en la cuenca media, tales como: La Caro, Cerros de Suba, Fontibón, Bosa Barreno No. 2 y Las Huertas. De acuerdo con los registros se estableció el comportamiento de la precipitación en la cuenca media del río Bogotá (*ver Gráfica 83*).

Según los análisis efectuados en el presente estudio, el rango de precipitaciones en la cuenca media del río fue de 0 a 7 mm en el histograma obtenido, y el valor promedio determinado fue de 4,67 mm/día.



GRÁFICA 83. Análisis lineal de la serie de precipitación para la cuenca media del río Bogotá

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Asimismo, el diagrama de autocorrelación de la serie presenta una relación o patrón dominante conocido también como memoria del proceso, que para esta cuenca se determinó que es de 12 días, y en el períodograma se presentaron los patrones cíclicos en el comportamiento de la serie, donde el más representativo se repitió en promedio cada 160 días.

Análisis de los parámetros evaluados

A continuación se hace un análisis de los parámetros evaluados en la cuenca media del río Bogotá.

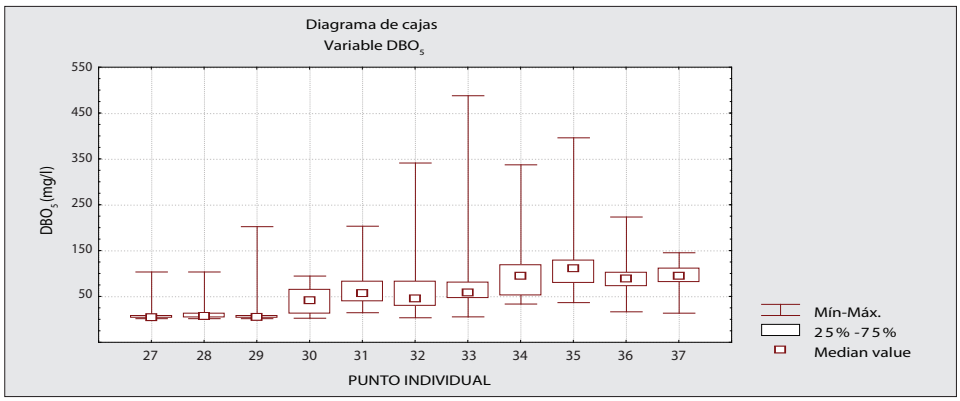
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Según el análisis estadístico la oscilación de la DBO_5 en el primer punto de la RCHB (aguas arriba de la descarga del canal Torca) en la cuenca media fue entre 2 y 21 mg/l; este último valor se registró en la jornada de la mañana el 12 de diciembre de 2006.

En ese mismo punto se presentó un valor promedio de 5 mg/l y en Puente La Virgen de 11 mg/l; este incremento fue por la descarga de los afluentes de los municipios de Tabio y Cajicá. Igualmente, en Puente La Virgen se presentó el valor máximo de 40 mg/l en la jornada de la noche en tiempo seco, el 13 de marzo de 2007.

Al analizar los 11 puntos sobre la cuenca se encontraron diferencias significativas según la prueba de Tukey entre los tres primeros puntos, con valores promedios entre 5 y 18 mg/l, y a partir de Cortijo aumentó a 43 mg/l (*ver Gráfica 84*).

GRÁFICA 84. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos monitoreados de la cuenca media del río Bogotá



Codificación de los puntos de monitoreo

27 Aguas arriba descarga canal Torca	30 El Cortijo	33 Zona Franca	36 San Bernardino
28 Puente la Virgen	31 Puente La Florida	34 100 antes Gibraltar	37 El Cierrre
29 Lisboa	32 Puente Cundinamarca	35 100 después Gibraltar	

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

A la salida del perímetro urbano la DBO_5 registró un valor promedio de 97 mg/l en El Cierre. De igual manera, en el diagrama de cajas se observó un valor máximo de 489 mg/l en Zona Franca, valor que se registró en tiempo seco, en marzo de 2007.

En la Tabla 71 se presenta el comportamiento de la DBO_5 en la cuenca media del río Bogotá.

TABLA 71. Comportamiento de las concentraciones de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá

Punto de monitoreo	Objetivos de calidad para el año 2020 Acuerdo 43 de octubre 2006 de la CAR (mg/l)	Concentración de DBO_5 (mg/l) en la cuenca media del río Bogotá			
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	50	2	21	5	4
Puente La Virgen	50	2	40	11	6
Lisboa	50	2	203	18	5
El Cortijo	50	3	95	43	42
Puente La Florida	50	15	104	60	57
Puente Cundinamarca	50	4	342	67	46
Zona Franca	50	6	489	87	59
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	50	34	338	102	95
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	50	37	397	119	112
San Bernardino	50	17	224	95	89
El Cierre	50	14	146	97	100

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

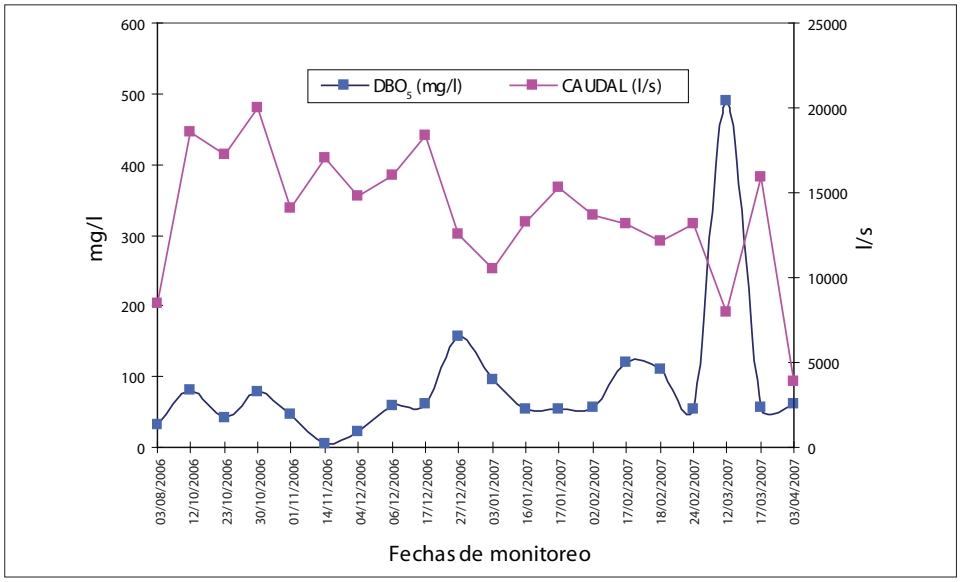
En Lisboa la DBO_5 se incrementó por la descarga del río Chicú, el cual, a su vez, ha recibido la descarga de aguas residuales domésticas que son vertidas en su trayecto; por esto, en este punto aumentó la materia orgánica biodegradable en el río, en un valor promedio de 18 mg/l. Se pudo observar en el perfil espacial un valor máximo de 203 mg/l en la jornada de la mañana, el 15 de abril de 2007.

Avanzando en el trayecto del río, en El Cortijo se observó la influencia de la entrega del río Salitre y del canal de aguas mínimas (el cual contiene el efluente de la planta El Salitre), ya que la concentración de DBO_5 registró un valor promedio de 43 mg/l y un valor máximo de 95 mg/l en la jornada de la noche, el 14 de marzo de 2007.

En Puente La Florida la concentración de la DBO_5 reportó un valor promedio de 60 mg/l y máximo de 104 mg/l, debido a las descargas del interceptor Engativá Cortijo, el humedal Jaboque y la estación Villa Gladys.

Entre Puente Cundinamarca y Zona Franca se presentaron valores promedio de la DBO_5 de 67 y 87 mg/l, respectivamente; en este trayecto el río recibe las descargas de las estaciones de bombeo Navarra y Rivera, y la entrega del río Fucha. En Zona Franca, el rango fluctuó entre 6 y 489 mg/l; el valor mínimo de concentración obedeció a un evento de precipitación en la jornada de la noche, el 14 de noviembre de 2006, y el máximo se registró en la jornada de la tarde del 12 de marzo de 2007 en época de sequía. En la Gráfica 85 se observa la variación de la DBO_5 en comparación con el caudal medido durante las jornadas de monitoreo en el punto Zona Franca.

GRÁFICA 85. Relación de la DBO_5 vs. caudal en Zona Franca



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En los puntos ubicados aguas arriba y abajo de la descarga de la estación Gibraltar se presentaron valores promedio de 102 y 119 mg/l; las mayores concentraciones se registraron en tiempo seco en la jornada de la tarde, el 2 de marzo de 2007. Los valores promedio de estos puntos fueron los más altos de la cuenca y el incremento entre los dos se debe a la descarga de la estación de bombeo Gibraltar. El menor valor (37 mg/l) se reportó el 31 de julio de 2006.

Entre los puntos San Bernardino y El Cierre se encuentra la entrega del río Tunjuelo. Respecto a la concentración de la DBO_5 estos puntos presentaron valores promedio de 95 y 97 mg/l, respectivamente.

Según el comportamiento espaciotemporal de las concentraciones determinadas para la DBO_5, se observó que en promedio éstas superan el valor de 50 mg/l establecido en la normatividad (Acuerdo 43 del 17 de octubre de 2006 de la CAR) aplicable para una fuente tipo IV a partir del punto Puente La Florida.

El comportamiento de los caudales medidos en los puntos de monitoreo de la cuenca media del río Bogotá se reporta en la Tabla 72.

TABLA 72. Comportamiento del caudal en los puntos de monitoreo de la cuenca media del río Bogotá

Punto de monitoreo	Caudal (l/s) en la cuenca media del río Bogotá			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	7.203	23.955,5	12.766	12.433,4
Puente La Virgen	7.096	34.455	14.584	12.320,3
Lisboa	3.734	24.554	10.989	8.498,9
El Cortijo	9.646	43.706	19.660	16.801,6
Puente La Florida	1.840	33.208	16.635	15.329,1
Puente Cundinamarca	6.013	35.214	19.504	18.249,7
Zona Franca	3.833	19.980	13.796	13.859,7
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	11.490	38.016	22.524	20.896,4
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	10.196	36.780	22.680	21.323
San Bernardino	10.329,4	44.660,3	22.720,6	20.216,9
El Cierre	11.611,9	84.005,54	31.239,3	26.275,2

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 73 se registran las cargas contaminantes por materia orgánica biodegradable en los puntos de seguimiento en la cuenca media del río Bogotá.

TABLA 73. Comportamiento de la carga de la DBO_5 en los puntos de monitoreo de la cuenca media del río Bogotá

Punto de monitoreo	Cargas de DBO_5 (Ton/día) en la cuenca media del río Bogotá			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	1,40	18,63	5,51	3,70
Puente La Virgen	1,40	46,79	12,62	6,62
Lisboa	1,00	147,07	13,93	4,38
El Cortijo	4,44	143,05	64,66	63,77
Puente La Florida	12,08	157,62	80,30	82,92
Puente Cundinamarca	2,08	548,16	105,98	72,76
Zona Franca	8,84	336,33	91,49	75,33
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	93,50	434,74	175,69	151,07
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	74,88	565,16	214,50	198,10
San Bernardino	65,59	480,23	170,07	155,32
El Cierre	82,26	454,68	232,31	227,02

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Como se observa en la tabla anterior, las cargas de DBO_5 se incrementan a medida que se avanza en el abscisado de la cuenca media, por causa de la recepción de aguas residuales domésticas y por la llegada de las corrientes superficiales que atraviesan el Distrito Capital. El río Bogotá entra al perímetro urbano con una carga de DBO_5 de 5,51 Ton/día y sale del perímetro con 232,31 Ton/día.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La tendencia de la DQO, según el comportamiento espacial, inició con valores promedio de 33 mg/l aguas arriba de la descarga del canal Torca y se mantuvo hasta 77 mg/l en Lisboa; a partir del Cortijo se incrementó a 114 mg/l y continuó en este rango hasta Zona Franca, con un valor de 199 mg/l, y en aguas arriba de Gibraltar registró un valor promedio de 233 mg/l. En El Cierre el río presentó una concentración promedio de 291 mg/l.

En la Tabla 74 se registra el comportamiento de las concentraciones de la DQO en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá.

TABLA 74. Comportamiento de las concentraciones de la DQO en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá

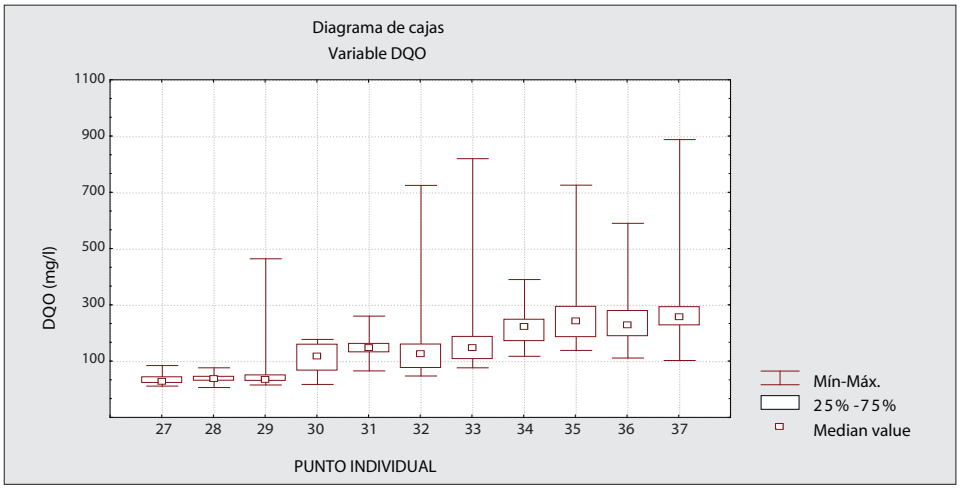
Punto de monitoreo	Concentraciones de DQO (mg/l) en la cuenca media del río Bogotá			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	13	86	33	28
Puente La Virgen	8	78	41	38
Lisboa	17	466	77	35
El Cortijo	19	179	114	118
Puente La Florida	67	262	154	148
Puente Cundinamarca	49	727	165	127
Zona Franca	78	822	199	148
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	119	392	233	224
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	140	728	275	243
San Bernardino	113	592	254	229
El Cierre	104	890	291	258

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

La DQO en los puntos ubicados aguas arriba de la descarga del canal Torca, Puente La Virgen y Lisboa, presentó valores promedio menores de 100 mg/l; a partir de El Cortijo hasta El Cierre se incrementó hasta 291 mg/l a la salida del perímetro urbano. Lo anterior refleja el efecto de las descargas que recibe el río en el trayecto.

Al realizar el análisis estadístico en la Gráfica 86 se observa un comportamiento similar para la DQO en los dos primeros puntos de monitoreo de la cuenca. Al avanzar en el recorrido se presentan diferencias a partir del punto Lisboa con un valor promedio de 77 mg/l y luego van aumentado hasta llegar a valores promedio de 291 mg/l en El Cierre, con valores puntuales extremos en puente Cundinamarca (728 mg/l) y El Cierre (890 mg/l).

GRÁFICA 86. Comportamiento de la DQO en los puntos monitoreados de la cuenca media del río Bogotá



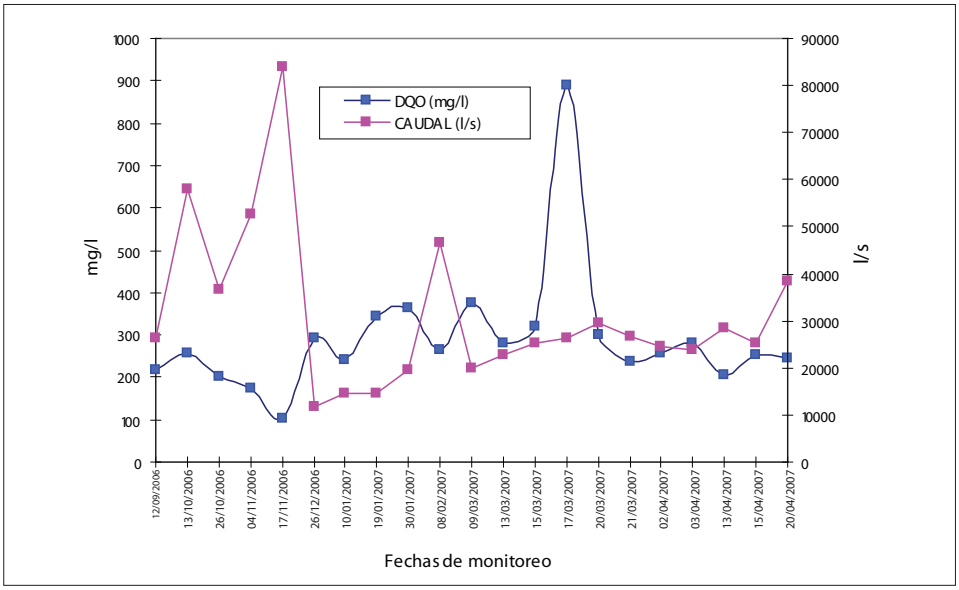
Codificación de los puntos de monitoreo

27 Aguas arriba descarga canal Torca	30 El Cortijo	33 Zona Franca	36 San Bernardino
28 Puente la Virgen	31 Puente La Florida	34 100 antes Gibraltar	37 El Cierrre
29 Lisboa	32 Puente Cundinamarca	35 100 después Gibraltar	

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Gráfica 87 y en la Tabla 75 se representa el comportamiento de la DQO y el caudal para El Cierre. Se observa en general que a valores altos de caudal hay una disminución de la concentración de la materia orgánica total. Para la jornada de la noche del 17 de marzo de 2007 se registró un valor extremo (890 mg/l) en tiempo seco para la DQO.

GRÁFICA 87. Relación DQO vs. caudal en El Cierre



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 75. Comportamiento de las cargas de la DQO en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá

Punto de monitoreo	Cargas de DQO (Ton/día) en la cuenca media del río Bogotá			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	8,9	95,2	38,4	31,1
Puente La Virgen	7,2	125,0	52,0	44,8
Lisboa	10,9	241,8	63,0	29,5
El Cortijo	28,1	407,0	181,5	181,0
Puente La Florida	17,7	341,0	210,7	204,4
Puente Cundinamarca	34,8	1.165,2	270,0	189,3
Zona Franca	49,0	565,3	222,1	176,2
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	231,4	663,5	427,0	407,0
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	177,9	1.373,0	512,7	476,9
San Bernardino	275,7	1.184,3	464,6	445,7
El Cierre	291,9	2.020,0	710,0	620,6

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En cuanto a las cargas de la DQO en la cuenca media el río Bogotá en el punto aguas arriba de la descarga del canal Torca, se registró un valor promedio de 38,4 Ton/día; este valor se incrementó progresivamente hasta El Cierre (710 Ton/día); el valor calculado para El Cortijo fue de 181,5 Ton/día; Puente Cundinamarca 270 Ton/día y Zona Franca 222 Ton/día. En el punto 100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar se presentó un incremento con un

valor de 427 Ton/día, debido a la descarga del río Fucha y de las estaciones de bombeo Navarra y Rivera.

De la misma manera, se observó en el comportamiento espacial que las mayores cargas puntuales se registraron en Puente Cundinamarca, con un valor de 1.165 Ton/día, el 15 de enero de 2007, en la jornada de la tarde en tiempo seco. En el punto de 100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar, con una carga de 1.373 Ton/día, el 26 de enero de 2007 en la jornada de la noche, y en El Cierre se presentó un valor de 2.020 Ton/día, el 17 de marzo de 2007 en la jornada de la noche.

En la Gráfica 88 se ilustra el comportamiento espacial de la concentración y la carga para los parámetros DBO_5 y DQO en los puntos de seguimiento en la cuenca media del río Bogotá.

Oxígeno Disuelto (OD)

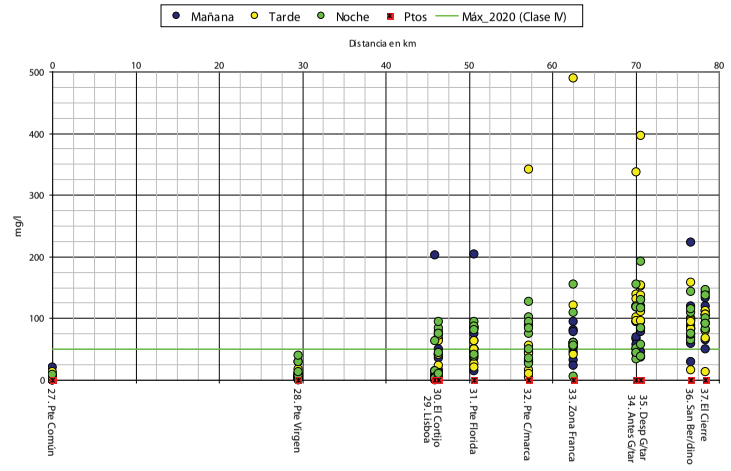
En el punto aguas arriba de la descarga del canal Torca el río Bogotá entra al perímetro urbano con un valor promedio de 1,92 mg/l de OD. Siguiendo el trayecto entre Puente La Virgen y El Cortijo se presentaron valores promedio de 1,27 mg/l y 1,26 mg/l respectivamente; a partir de Puente Florida se observó una reducción de OD, debido a su consumo por la degradación de la materia orgánica presente en el río, hasta un valor de 0,40 mg/l en Zona Franca. Desde los 100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar hasta El Cierre no se detectaron valores de OD. En la Tabla 76 se observa el comportamiento de las concentraciones de OD en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá.

TABLA 76. Comportamiento de las concentraciones de OD en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá

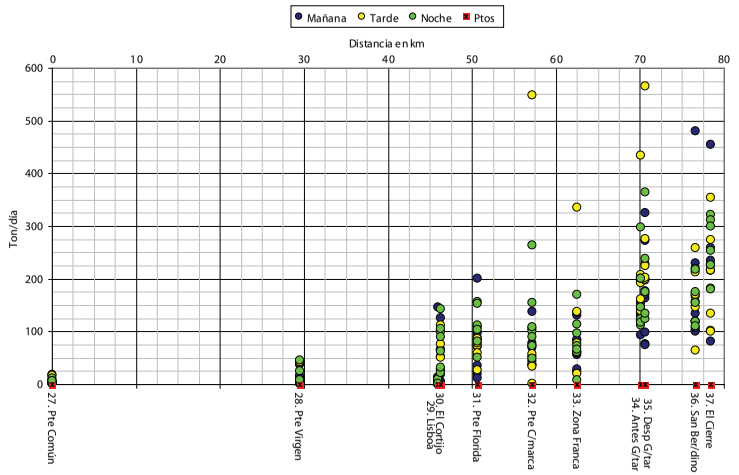
Punto de monitoreo	Concentraciones de OD (mg/l) en la cuenca media del río Bogotá			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	ND	3,50	1,92	1,90
Puente La Virgen	ND	3,00	1,27	1,15
Lisboa	0,20	2,80	1,26	1,15
El Cortijo	0,30	3,90	0,85	0,80
Puente La Florida	ND	3,00	0,40	0,10
Puente Cundinamarca	ND	2,50	0,56	0,10
Zona Franca	ND	1,50	0,40	0,10
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	ND	ND	ND	ND
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	ND	0,6	*	*
San Bernardino	ND	0,9	*	*
El Cierre	ND	ND	ND	ND

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

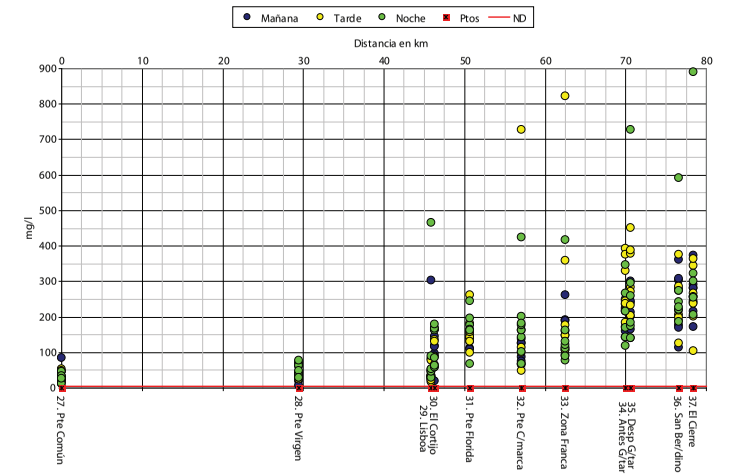
GRÁFICA 88. Concentraciones y cargas espaciales de la DBO_5 y la DQO en la cuenca media del río Bogotá



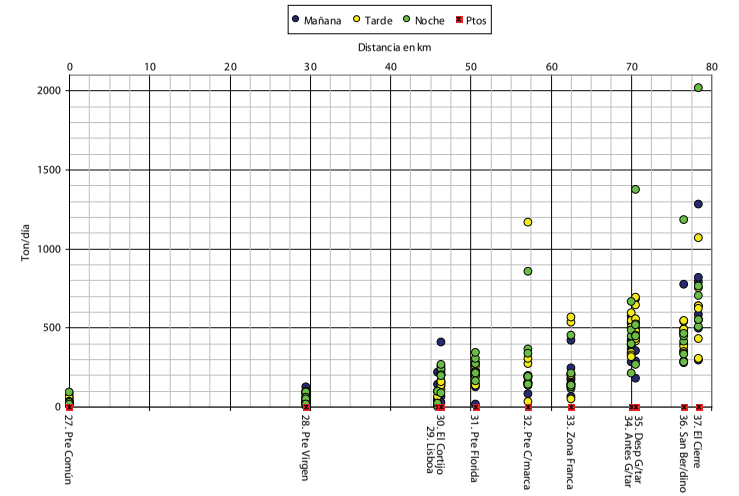
Comportamiento espacial de las concentraciones, por jornada, de DBO_5



Comportamiento espacial, por jornada, de cargas de la DBO_5



Comportamiento espacial de las concentraciones, por jornada, de la DQO



Comportamiento espacial, por jornada, de cargas de la DQO

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

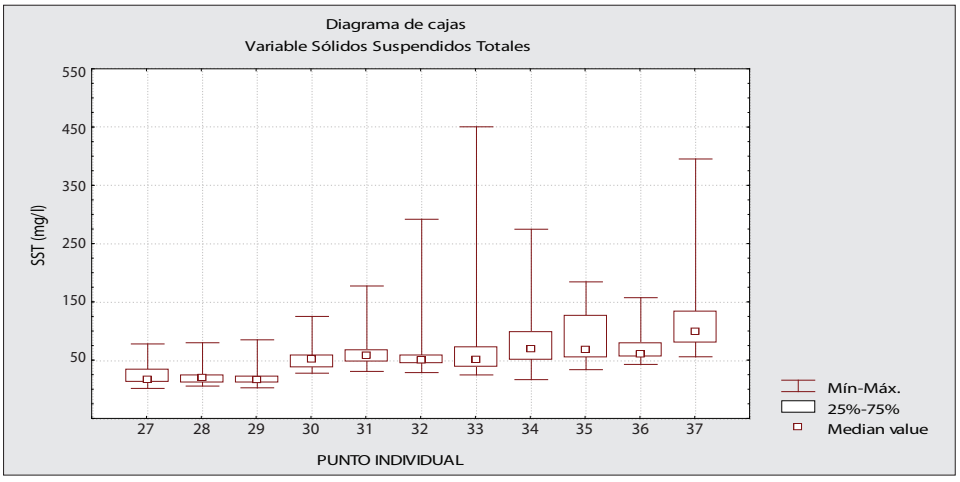
En la Gráfica 91 se observa el comportamiento espacial del OD en las diferentes jornadas y días de monitoreo, donde se ilustra que el valor más alto se presentó en el punto El Cortijo (3,9 mg/l), en la jornada de la mañana del día 11 de agosto de 2006, el cual se relaciona con un antecedente de precipitación de acuerdo con los registros reportados por la estación meteorológica La Caro (6,9 mm). De igual forma, en Puente La Virgen y Puente La Florida se presentó un valor de 3 mg/l en marzo y febrero de 2007, respectivamente.

Es importante resaltar que se observó un incremento en la concentración de OD luego de algunos eventos de precipitación; sin embargo, en los cuatro últimos puntos de la RCHB de la cuenca media del río Bogotá las condiciones son anóxicas en todas las jornadas realizadas (mañana, tarde y noche), lo que muestra el consumo del OD por la materia orgánica presente en el mismo.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Según el análisis estadístico, se sigue presentando el mismo comportamiento de los otros parámetros en esta cuenca, donde los tres primeros puntos de monitoreo tienen características similares y se observa un incremento de los SST entre El Cortijo y Puente Cundinamarca. Asimismo se registró un aumento de concentración de los SST entre Zona Franca y El Cierre, (*ver Gráfica 89 y Tabla 77*), cuyos valores máximos correspondieron a 450 mg/l y 395 mg/l, respectivamente.

GRÁFICA 89. Comportamiento de los SST en los puntos monitoreados de la cuenca media del río Bogotá



Codificación de los puntos de monitoreo

27 Aguas arriba descarga canal Torca	30 El Cortijo	33 Zona Franca	36 San Bernardino
28 Puente la Virgen	31 Puente La Florida	34 100 antes Gibraltar	37 El Cierrre
29 Lisboa	32 Puente Cundinamarca	35 100 después Gibraltar	

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 77. Comportamiento de las concentraciones de los SST en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá

Punto de monitoreo	Concentraciones de los SST (mg/l) en la cuenca media del río Bogotá			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	3	79	26	18
Puente La Virgen	7	81	24	21
Lisboa	4	86	23	18
El Cortijo	29	126	53	53
Puente La Florida	32	178	68	59
Puente Cundinamarca	30	292	65	51
Zona Franca	26	450	94	52
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	18	275	85	70
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	35	185	95	69
San Bernardino	44	158	74	61
El Cierre	57	395	124	71

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En los tres primeros puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá se registraron valores promedio entre 23 y 26 mg/l de los SST, pero entre El Cortijo y El Cierre se presentó un aumento de concentraciones promedio, desde 53 mg/l hasta 124 mg/l. Sin embargo, en 100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar y San Bernardino, por efecto de los procesos de sedimentación y debido a las bajas velocidades del río, se registró en el comportamiento espacial una disminución en la concentración a 85 mg/l y 74 mg/l respectivamente.

En el punto aguas arriba de la descarga del canal Torca el mayor valor de los SST registrado fue de 79 mg/l, por un antecedente de precipitación, el 12 de diciembre de 2006 en la jornada de la mañana. De igual forma, entre Puente La Virgen y Lisboa se presentaron, en tiempo seco y durante las jornadas de la tarde y la mañana, concentraciones promedio cercanas a 24 mg/l con valores máximos de 81 y 86 mg/l, respectivamente. En El Cortijo se incrementó la concentración de los SST registrando valores que fluctuaban entre 29 y 126 mg/l, con un valor promedio de 53 mg/l.

Siguiendo el trayecto, en Puente La Florida aumentó a un valor promedio de 68 mg/l, presentando su máximo valor en tiempo seco en la jornada de la tarde, con una concentración de 178 mg/l y un caudal de 12 m^3/s. Continuando el recorrido, en Puente Cundinamarca se registró una concentración promedio similar al punto anterior (65 mg/l), con un rango entre 30 y 292 mg/l, y en Zona Franca se reportó un incremento llegando a un valor de 94 mg/l y presentando el mayor valor de toda la cuenca (450 mg/l) en tiempo seco con un caudal bajo de 7.961 l/s en la jornada de la tarde del 12 de marzo de 2007.

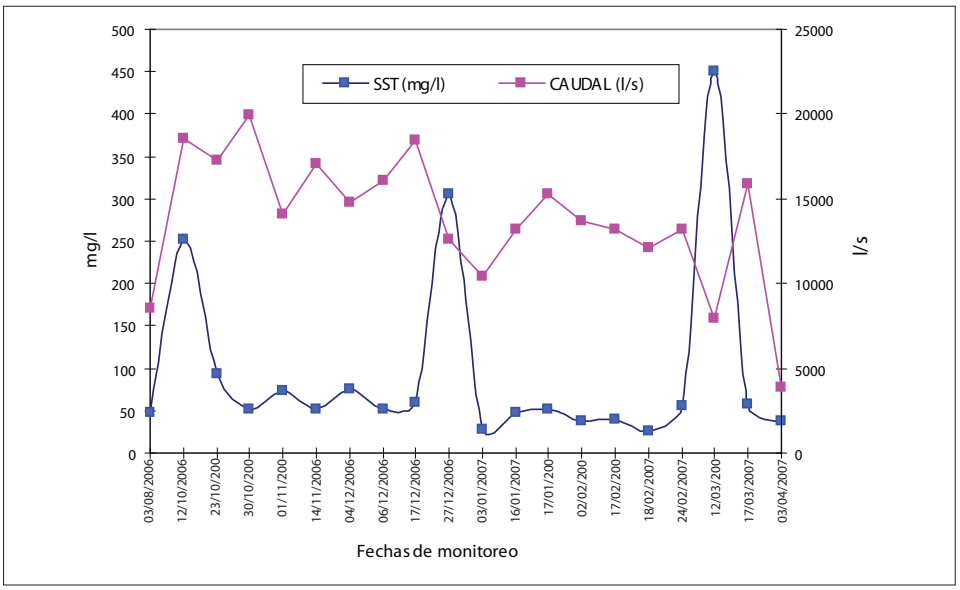
En los puntos 100 m aguas arriba y 100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar se presentó una concentración con valores promedio entre 85 y 95 mg/l respectivamente. El leve incremento entre estos puntos se debió a la descarga de la estación de bombeo Gibraltar.

Finalizando el trayecto, en San Bernardino, se reportó una disminución en la concentración promedio de los SST con un valor de 74 mg/l, lo cual se relaciona con las velocidades bajas del río y el proceso de sedimentación; en El Cierre se registró un incremento del valor promedio hasta 124 mg/l debido a la influencia de la desembocadura del río Tunjuelo. En este último punto la máxima concentración fue de 395 mg/l, asociada a eventos de precipitación (12,2 mm), en la estación meteorológica de Bosa. El caudal medido fue de 57.830 l/s.

Para la cuenca media del río Bogotá se cumple el valor límite de la normatividad vigente (40 mg/l) hasta Lisboa; entre El Cortijo y El Cierre se supera este límite definido por la CAR (Acuerdo 43 de 2006). En promedio, se registraron entre 53 mg/l (El Cortijo) y 124 mg/l (El Cierre).

En la Gráfica 90 se ilustra el comportamiento del caudal contra las concentraciones de los SST reportados en Zona Franca, mostrando el mayor valor de este parámetro.

GRÁFICA 90. Relación de los SST vs. caudal en Zona Franca



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Las cargas contaminantes por los SST calculadas en los puntos de seguimiento en la cuenca media del río Bogotá registraron el comportamiento que se presenta en la Tabla 78.

TABLA 78. Comportamiento de las cargas de los SST en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá

Punto de monitoreo	Cargas de los SST (Ton/día) en la cuenca media del río Bogotá			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio	Valor mediana
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	3,24	86,92	29,11	17,45
Puente La Virgen	6,13	100,89	31,35	20,51
Lisboa	2,97	118,80	24,37	13,89
El Cortijo	33,15	475,80	99,70	70,52
Puente La Florida	9,85	197,97	95,20	88,22
Puente Cundinamarca	31,17	468,02	106,00	84,31
Zona Franca	12,25	404,22	107,60	73,67
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	26,17	577,94	166,39	135,38
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	62,79	456,11	178,31	162,83
San Bernardino	51,76	609,66	156,33	124,70
El Cierre	57,18	1973,63	389,90	218,26

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el comportamiento espacial se observa que, respecto a las cargas de los SST, los puntos aguas arriba del canal Torca, Puente La Virgen y Lisboa, presentaron cargas con valores promedio de 29,1 Ton/día, 31,3 Ton/día, 24,3 Ton/día, respectivamente.

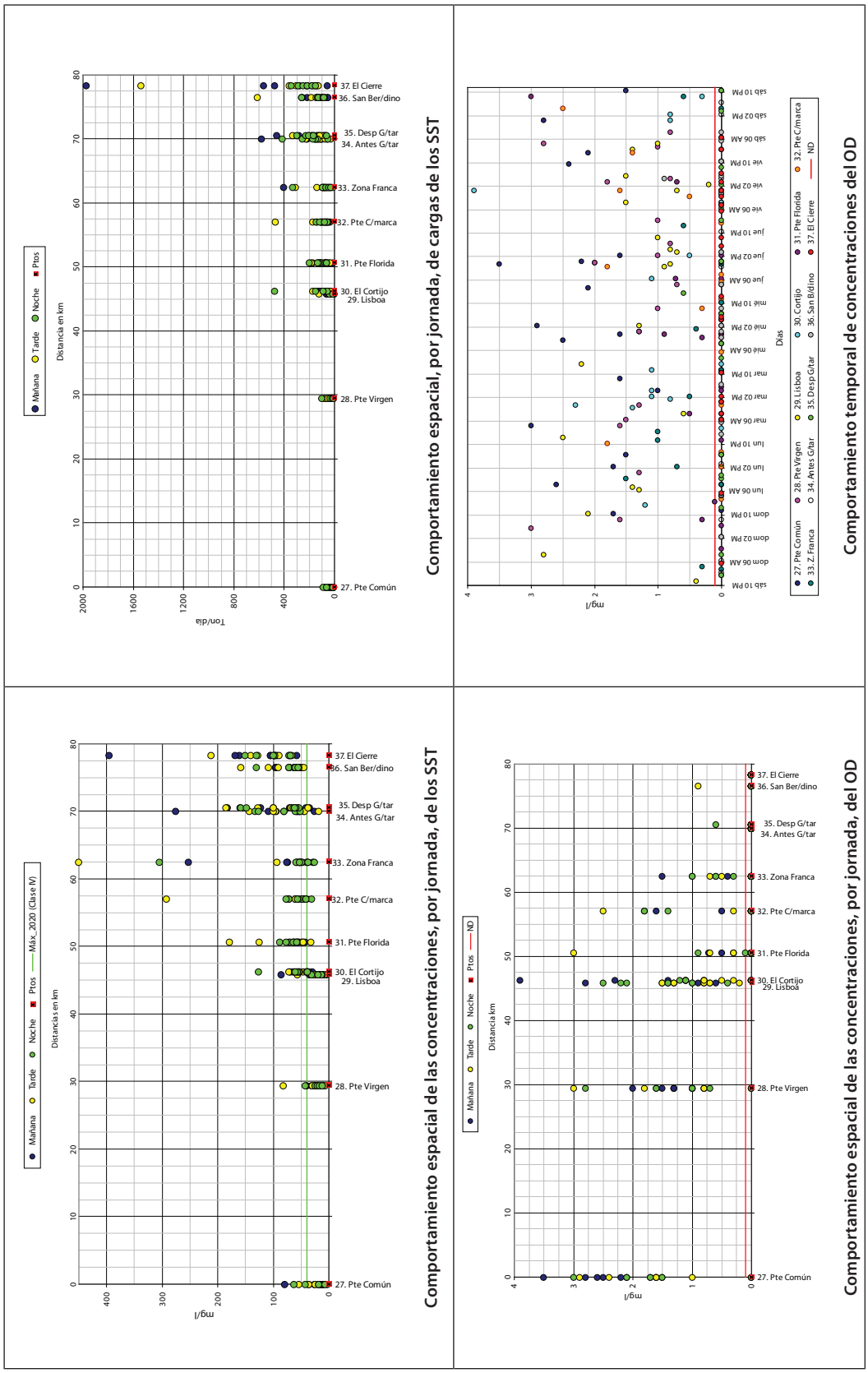
En El Cortijo se determinó la carga promedio de 99,7 Ton/día; en el Puente La Florida la carga reportó un valor promedio de 95,2 Ton/día, mientras que en Puente Cundinamarca y Zona Franca se presentó un incremento con valores similares de carga promedio entre 106 y 107,6 Ton/día, respectivamente.

Asimismo, la carga promedio de los SST en Gibraltar (aguas arriba y aguas abajo) pasó de 166 Ton/día a 178,3 Ton/día, correspondientemente, esto fue debido a la influencia de la descarga de la estación de bombeo Gibraltar.

En San Bernardino disminuyó la carga hasta 156,3 Ton/día, debido a las bajas velocidades que presenta el río en este punto, y, al finalizar la cuenca, en El Cierre se observó un aumento de la carga, por el aporte del río Tunjuelo al río Bogotá, llegando hasta 389,9 Ton/día. En general, la cuenca media del río Bogotá registró una carga promedio por los SST de 66 Ton/día.

En la Gráfica 91 se ilustra el comportamiento de las concentraciones y cargas de los SST; también el comportamiento espaciotemporal de la disponibilidad OD en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá.

GRÁFICA 91. Concentraciones y cargas espaciotemporales de los SST y del OD en la cuenca media del río Bogotá



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Metales pesados

Los valores mínimos, máximos y promedios de los metales que presentaron mayor relevancia en los puntos de seguimiento en la cuenca media del río Bogotá se registran en las Tablas 79 y 80.

TABLA 79. Comportamiento de la concentración del cobre y cromo total en los puntos de seguimiento de la cuenca media del río Bogotá

Punto de monitoreo	Cobre(mg/l)			Cromo total (mg/l)		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	0,001	0,588	0,040	0,001	0,091	0,013
Puente La Virgen	0,001	0,09	0,014	0,001	0,101	0,015
Lisboa	0,001	0,406	0,031	0,001	0,049	0,007
El Cortijo	0,001	0,026	0,011	0,001	0,07	0,014
Puente La Florida	0,001	0,088	0,022	0,001	0,097	0,012
Puente Cundinamarca	0,001	0,075	0,018	0,001	0,136	0,021
Zona Franca	0,002	0,094	0,023	0,001	0,098	0,018
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	0,015	0,239	0,048	0,001	0,068	0,018
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	0,001	0,13	0,037	0,001	0,058	0,020
San Bernardino	0,013	0,548	0,059	0,001	0,115	0,025
El Cierre	0,014	0,075	0,033	0,001	0,119	0,063

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 80. Comportamiento de la concentración del manganeso y zinc en los puntos de seguimiento de la cuenca media del río Bogotá

Punto de monitoreo	Manganeso (mg/l)			Zinc (mg/l)		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	0,02	0,57	0,145	0,006	0,3	0,08
Puente La Virgen	0,02	0,41	0,10	0,02	0,64	0,11
Lisboa	0,03	2,78	0,24	0,02	0,78	0,09
El Cortijo	0,04	0,63	0,16	0,02	1,6	0,16
Puente La Florida	0,05	0,19	0,1	0,05	0,74	0,16
Puente Cundinamarca	0,04	0,48	0,13	0,02	1,55	0,2
Zona Franca	0,05	0,45	0,137	0,002	0,58	0,16
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	0,07	0,21	0,12	0,01	0,99	0,26
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	0,08	0,24	0,13	0,07	1,37	0,34
San Bernardino	0,05	0,21	0,12	0,1	0,82	0,24
El Cierre	0,05	0,19	0,11	0,09	0,52	0,25

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En los puntos ubicados aguas arriba del canal Torca y San Bernardino se reportaron las mayores concentraciones de cobre (0,588 mg/l y 0,548 mg/l), en la jornada de la noche y en tiempo seco. En San Bernardino ya se tienen los aportes de varias estaciones de bombeo (Villa Gladys, Navarra, Rivera y Gibraltar) y de corrientes superficiales como el Fucha, los cuales a su vez reciben aguas residuales provenientes de sectores productivos tales como el metalmecánico (galvanoplastia).

En Lisboa se presentó la tercera mayor concentración de cobre con un valor de 0,406 mg/l, condición asociada a un período seco, el 17 de enero de 2007 en la jornada de la mañana, seguido por un valor de 0,239 mg/l reportado aguas arriba de la estación de Gibraltar. No se detectó cobre en un 10% de las muestras analizadas en la cuenca media del río Bogotá.

Respecto al cromo total en los puntos de seguimiento en la cuenca media del río Bogotá, no se detectó en un 21,8% de las muestras evaluadas (220 datos).

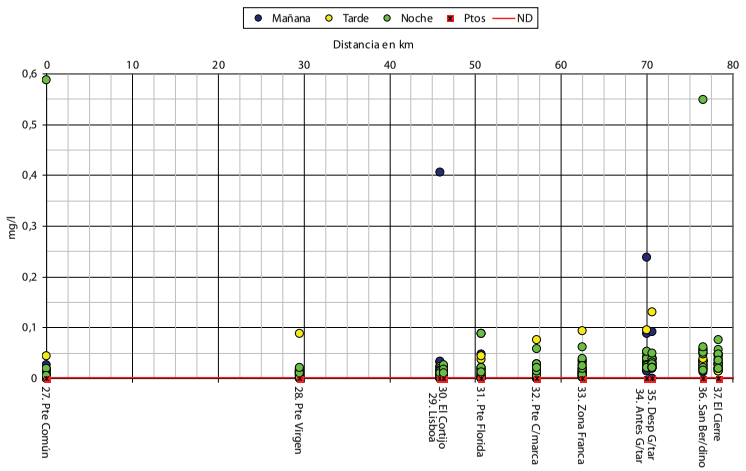
El manganeso, en todos los puntos de seguimiento, presentó valores puntuales que superaron los 0,2 mg/l que establece el Acuerdo 43 de 2006 de la CAR y el artículo 40 del Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura.

Las concentraciones de manganeso fluctuaron entre 0,021 mg/l (aguas arriba de la descarga del canal Torca) y 2,78 mg/l (Lisboa), asociados a eventos secos para el primer punto y a antecedentes de precipitación para el segundo.

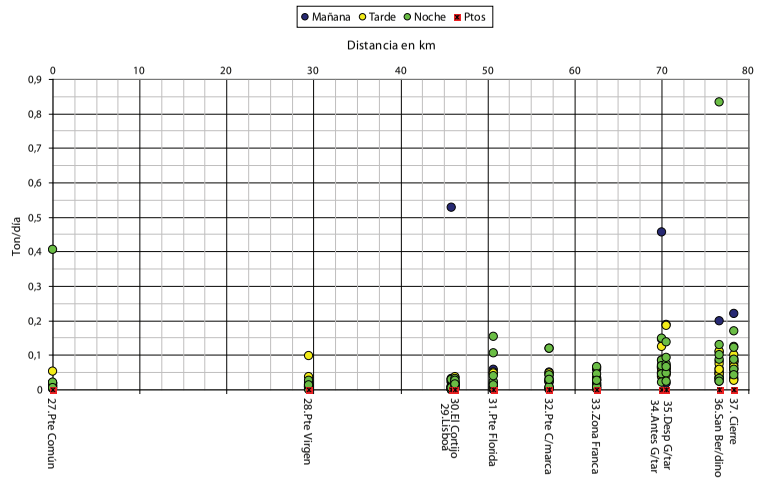
En cuanto al zinc, presentó el valor más alto en concentración en el punto de El Cortijo (1,6 mg/l), el 16 de febrero de 2007 en la jornada de la noche; el menor valor se registró aguas arriba del canal Torca.

En las Gráficas 92 y 93 se presenta el comportamiento espacial de las concentraciones y cargas por jornada de los metales cobre, cromo total, manganeso y zinc, en la cuenca media del río Bogotá.

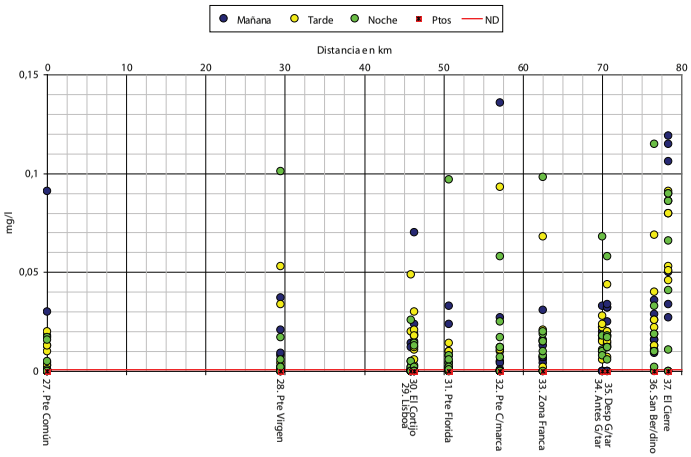
GRÁFICA 92. Concentraciones y cargas espaciales del cobre y cromo total en la cuenca media del río Bogotá



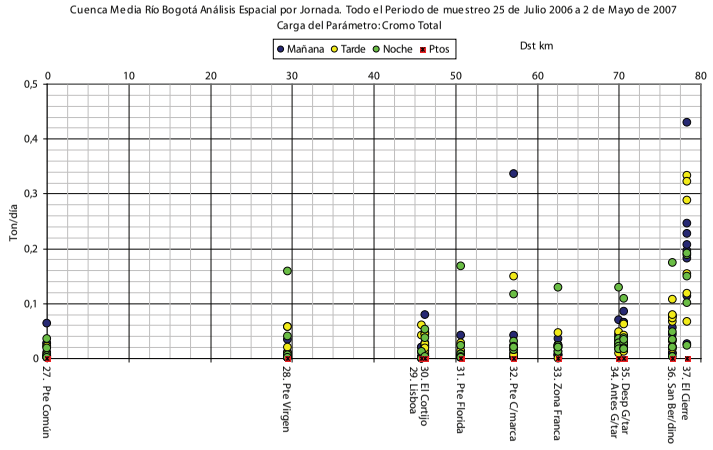
Comportamiento espacial, por jornada, de las concentraciones del cobre



Comportamiento espacial, por jornada, de cargas del cobre



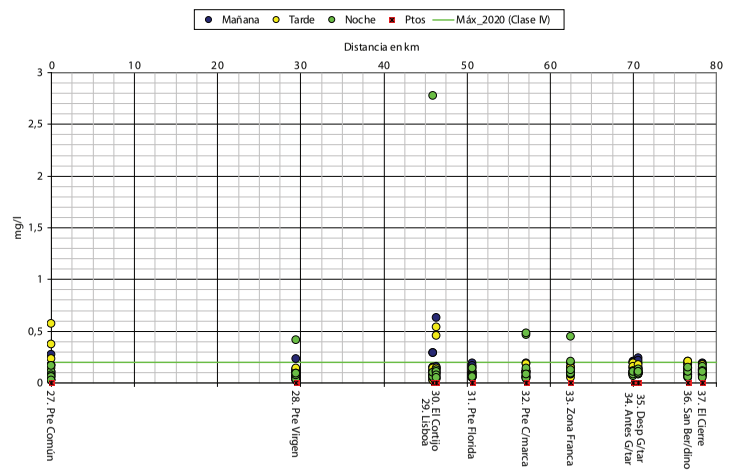
Comportamiento espacial, por jornada, de concentraciones del cromo total



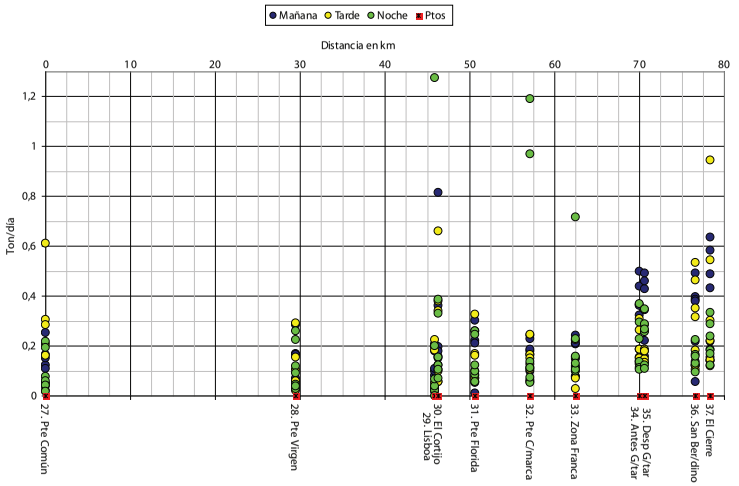
Comportamiento espacial, por jornada, de cargas del cromo total

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

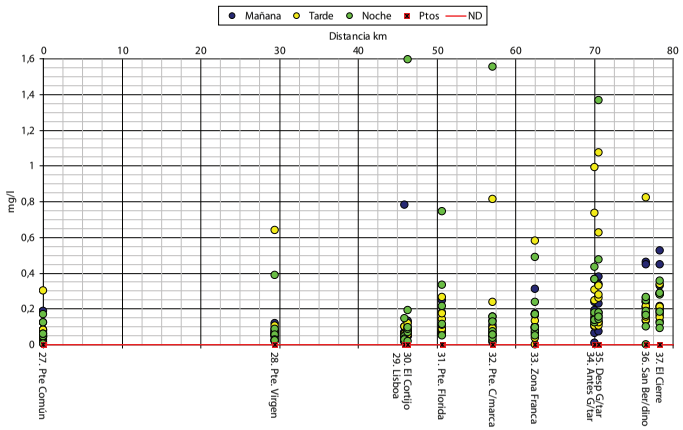
GRÁFICA 93. Concentraciones y cargas espaciales del manganeso y zinc en la cuenca media del río Bogotá



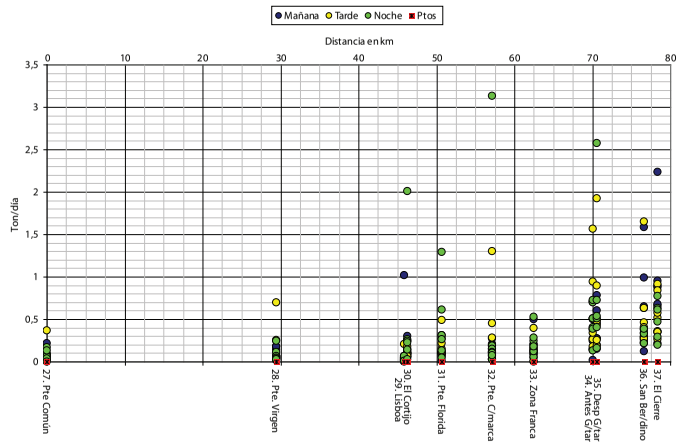
Comportamiento espacial, por jornada, de las concentraciones del manganeso



Comportamiento espacial, por jornada, de cargas del manganeso



Comportamiento espacial, por jornada, de las concentraciones del zinc



Comportamiento espacial, por jornada, de las cargas del Zinc

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 81 se reportan las cargas contaminantes promedio del cobre, cromo total, manganeso y zinc en los puntos de seguimiento de la cuenca media del río Bogotá.

TABLA 81. Comportamiento promedio de las cargas contaminantes del cobre, cromo total, manganeso y zinc en los puntos de seguimiento de la cuenca media del río Bogotá

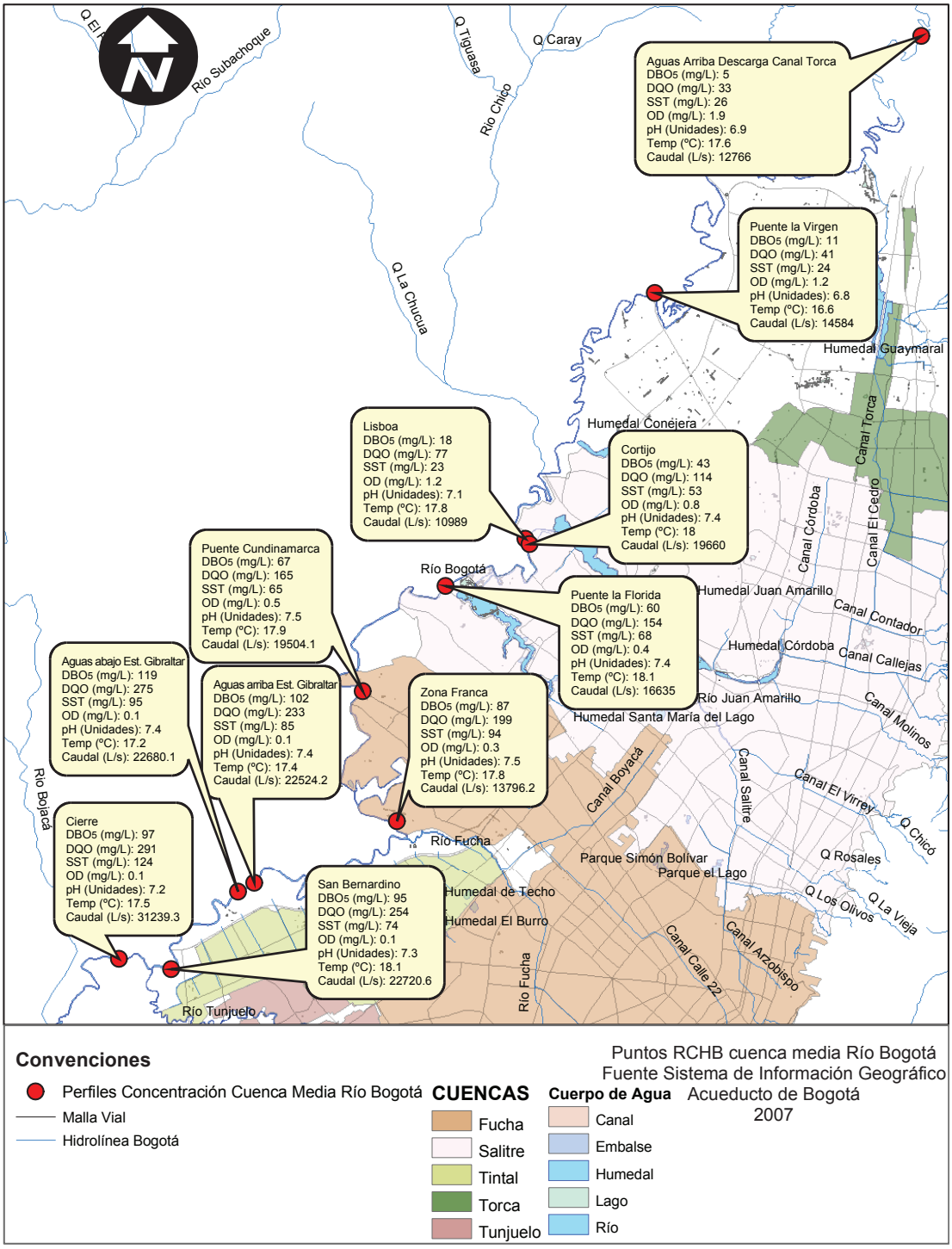
Punto de monitoreo	(Ton/día)			
	Cobre	Cromo total	Manganeso	Zinc
Aguas arriba de la descarga del canal Torca	0,0315	0,0128	0,157	0,0901
Puente La Virgen	0,0159	0,0209	0,1212	0,1202
Lisboa	0,0364	0,0089	0,1642	0,0948
El Cortijo	0,0171	0,0228	0,2426	0,2342
Puente La Florida	0,0304	0,0173	0,1479	0,2466
Puente Cundinamarca	0,0304	0,0400	0,2331	0,3536
Zona Franca	0,0252	0,0210	0,1715	0,1834
100 m aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	0,0895	0,0318	0,2442	0,4540
100 m aguas abajo de la descarga de la estación Gibraltar	0,070	0,0370	0,250	0,6162
San Bernardino	0,1056	0,0481	0,2457	0,4928
El Cierre	0,0830	0,1701	0,3140	0,6515

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Mapas de concentración y carga

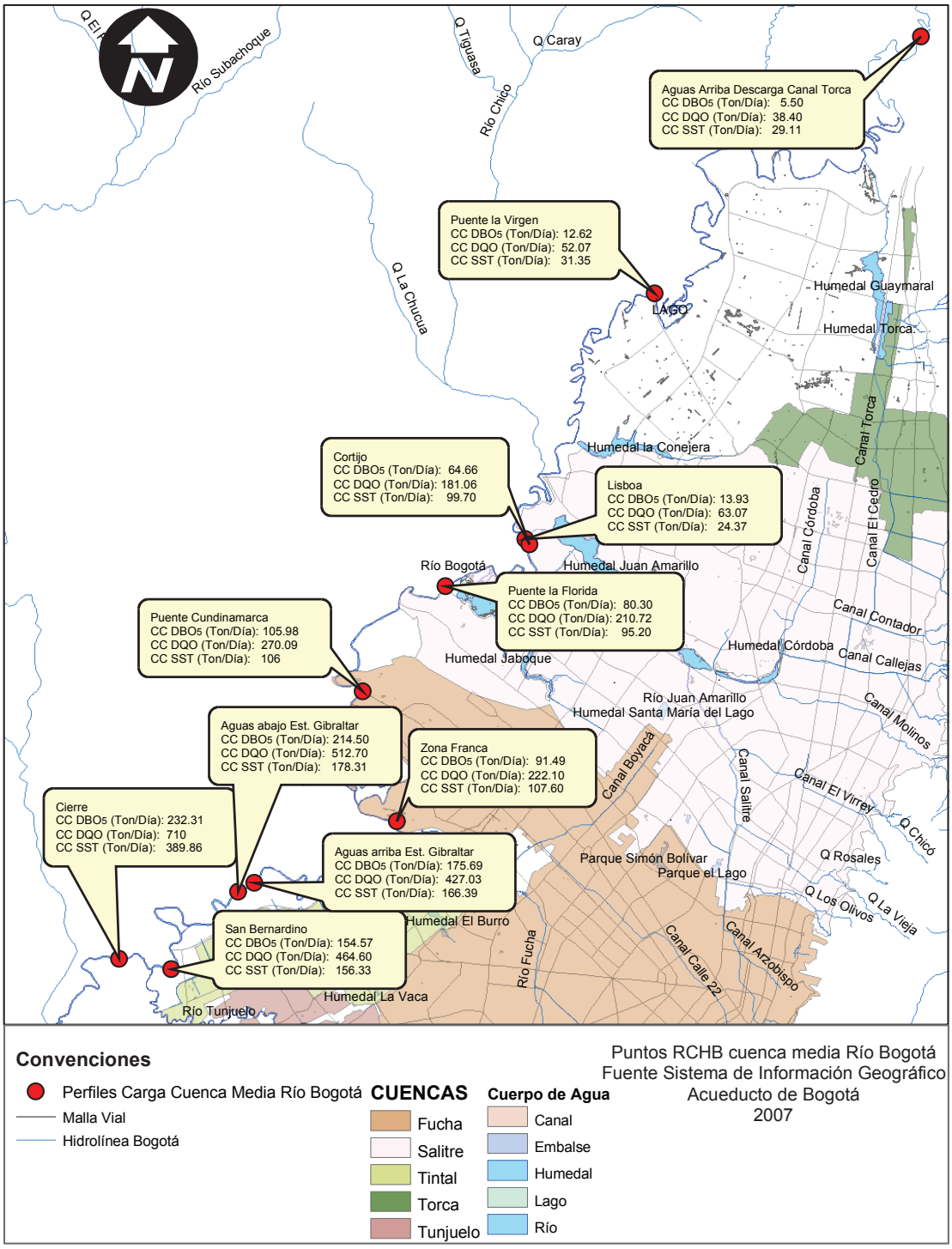
En los Mapas 31 y 32 se presentan las concentraciones y cargas promedio de los parámetros más relevantes en los puntos de monitoreo de la RCHB en la cuenca media del río Bogotá.

MAPA 31. **Concentración promedio de la materia orgánica total y biodegradable, Sólidos Suspendidos Totales (SST), valores promedio de OD, pH, temperatura y caudal en la cuenca media del río Bogotá**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 32. **Promedios de carga de materia orgánica total y biodegradable y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en la cuenca media del río Bogotá**



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Índice de calidad y usos del recurso hídrico

Mediante el índice CCME WQI se calificó la calidad del agua en los 11 puntos de monitoreo evaluando los diferentes usos en la cuenca media del río Bogotá, de acuerdo con los estándares establecidos en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura, como se presenta a continuación.

Uso agrícola

Según los resultados obtenidos en el seguimiento realizado en la cuenca media del río Bogotá se observó que la calidad es pobre para el uso agrícola. Sin embargo, se pueden diferenciar dos zonas o sectores con calidad marginal y pobre. El primer sector comprende el recorrido entre los puntos de monitoreo de aguas arriba de la descarga del canal Torca hasta Lisboa, y el segundo sector va desde El Cortijo hasta El Cierre.

En el primer sector se observaron cambios temporales en el perfil de calidad del agua, específicamente en las ventanas temporales correspondientes al período de julio - octubre de 2006, octubre de 2006 - enero de 2007 y la época de sequía. En los primeros 3 puntos de monitoreo se encontraron puntajes de calidad que oscilaban entre pobre (39 puntos) y aceptable (66,6 puntos); esta calificación fue influenciada especialmente por los coliformes totales y E. Coli. En cuanto al segundo trayecto, la calidad fue sólo pobre en todas las ventanas temporales evaluadas.

Uso pecuario

La calidad del agua para uso pecuario en cada una de las ventanas temporales analizadas para esta fuente es aceptable. Este uso presentó la menor variación espaciotemporal en comparación con los demás usos evaluados. Los puntajes de calidad estuvieron siempre por encima de 80 puntos, lo que califica la calidad del agua como buena. Es importante resaltar que esta calificación se dio por lo que la normatividad vigente no contempla el aspecto bacteriológico para este uso.

Uso recreativo mediante contacto secundario

La cuenca media del río Bogotá presentó una calidad pobre para este uso en todo su trayecto. Sólo se registraron dos excepciones a la altura aguas arriba del canal Torca y Puente La Virgen, en los cuales la calidad fue marginal en el período de julio - octubre de 2006 (48,7 y 45,4 puntos). El tramo más crítico fue entre Puente Cundinamarca y San Bernardino (6,9 -26 puntos), debido a la presencia de coliformes totales, con valores del orden 10^7 NMP/100 ml en los dos puntos.

Uso para la preservación de la vida acuática

La calidad de la cuenca media del río Bogotá para uso en preservación de la vida acuática varió desde buena (80,7 puntos) en aguas arriba de la descarga del canal Torca, punto inicial de monitoreo, hasta pobre (19,8 puntos) en San Bernardino. En este uso se observó la separación de los dos sectores de calidad que se generan antes y después de la descarga del río Salitre. A partir de El Cortijo el uso para la prevención de la vida acuática se ve limitado por el contenido de metales pesados (cadmio, zinc, cobre, cromo total, níquel y plomo), pH, tensoactivos (SAAM) y Oxígeno Disuelto.

Usos del recurso hídrico de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura y en el Acuerdo 43 de octubre de 2006 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)

A continuación se presenta la determinación de los posibles usos del cuerpo de agua en la cuenca media del río Bogotá en comparación con los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984, artículo 40 (uso agrícola), artículo 41 (uso pecuario), artículo 43 (uso recreativo mediante contacto secundario).

Respecto al arsénico, el zinc y el cromo hexavalente y total no excedieron con los límites establecidos para los usos agrícolas y pecuarios, según la norma.

El cobre sobrepasó los límites de 0,2 mg/l (uso agrícola) y 0,5 mg/l (uso pecuario) en muestras puntuales en aguas arriba del canal Torca (0,588 mg/l), Lisboa (0,406 mg/l), aguas arriba de la estación Gibraltar (0,239 mg/l) y San Bernardino (0,548 mg/l).

El níquel superó el límite de los 0.2 mg/l (uso agrícola) en muestras puntuales de Zona Franca (1,01 mg/l) y aguas arriba de la estación Gibraltar (0,69 mg/l).

El plomo excedió el valor de referencia para uso pecuario en los puntos El Cortijo y Zona Franca en muestras puntuales.

El mercurio presentó un valor de 0,017 mg/l en Zona Franca, sobrepasando los 0,01 mg/l establecidos por la norma para uso pecuario.

En cuanto al manganeso en todos los puntos de seguimiento, excepto en Puente La Florida y El Cierre, reportó valores puntuales que superan los 0,2 mg/l que establece la normatividad para uso agrícola.

Los coliformes totales superaron los 20.000 NMP/100 ml en todas las muestras recolectadas a partir del Puente La Florida, lo que evidencia la presencia de aguas residuales en la fuente superficial. Los valores determinados no sobrepasan el límite establecido para uso agrícola y pecuario (20.000 NMP/100 ml) en 6 muestras aguas arriba de la descarga del canal Torca y Puente La Virgen; en 7 muestras de Lisboa y en 2 muestras de Cortijo. Los demás puntos de monitoreo superan el valor de referencia de la normatividad (Acuerdo 43 de 2006-CAR).

Respecto al uso recreativo mediante contacto secundario, por los coliformes totales se restringen su aplicación para este uso debido a que se determinaron valores mayores a 5.000 NMP/100 ml en 17 muestras de aguas arriba de la descarga del canal Torca, en 19 de Puente La Virgen, 18 muestras de Lisboa y en 19 de El Cortijo de las 20 muestras evaluadas en cada punto.

Los E. Coli presentaron en los 11 puntos ubicados en la cuenca media del río Bogotá valores entre 10^4 y 10^8 NMP/100 ml.

El pH registrado en los 11 puntos de la cuenca media, en general, se encontró dentro del rango establecido (5,0 - 9,0 U) en los objetivos de calidad.

Los tensoactivos (SAAM) superaron el valor de referencia en el 78,6% de los datos evaluados en la cuenca media del río Bogotá, respecto al límite establecido (0,5 mg/l) para el uso recreativo mediante contacto secundario.

Mapas de calidad y confiabilidad

Los mapas de calidad y confiabilidad que se presentan a continuación están relacionados con los objetivos de calidad propuestos en el Acuerdo 43 de 2006 de la CAR para la cuenca media del río Bogotá, que corresponden a una fuente superficial clase IV.

Para este documento se ilustran los mapas de los períodos más representativos del análisis: el global de los datos y al período climático seco.

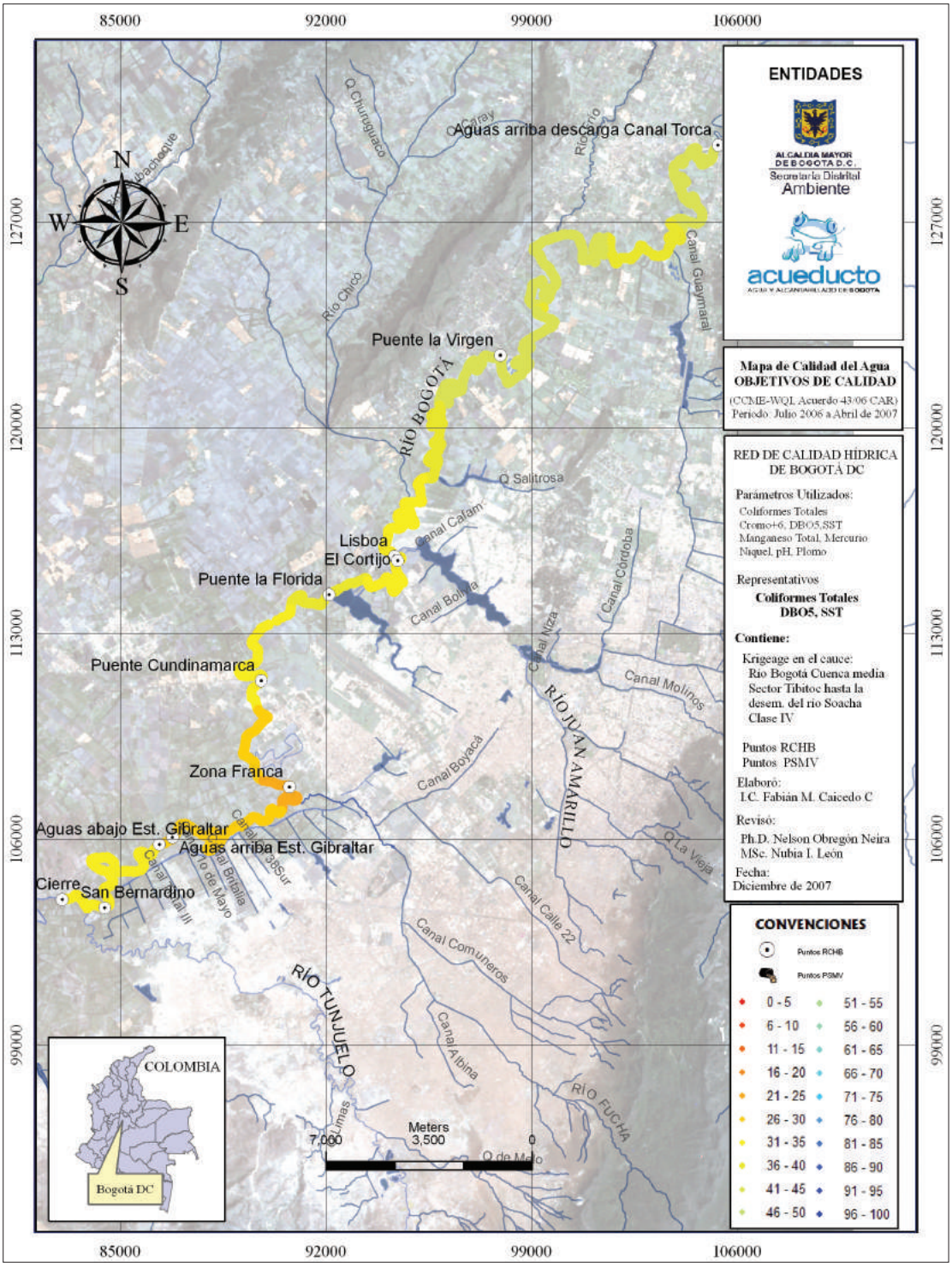
En el Mapa 33 se presenta la calidad del agua evaluada en la cuenca media del río Bogotá según el índice CCME WQI, siguiendo los lineamientos de los objetivos de calidad propuestos para el año 2020. La menor confiabilidad (20%) se obtuvo aguas arriba de la descarga del canal Torca sobre el río Bogotá, lo que se debió a que éste no tiene punto de referencia aguas arriba.

El Mapa 34 ilustra la confiabilidad de los valores globales en la cuenca media del río Bogotá.

En el Mapa 35 se muestra la calidad del agua en el cauce durante el período seco, que fue el que más variabilidad mostró aguas arriba de la descarga del río Salitre, con una calidad aceptable (61 a 69 puntos).

La confiabilidad de los valores del punto de monitoreo aguas arriba de la descarga del canal Torca, en promedio, fue menor al 30% hasta la descarga del río Salitre, y después de éste la confiabilidad aumentó hasta el 70%, situación que se debió a los requerimientos del método geoestadístico (krigeaje), el cual requiere un punto de referencia anterior al que se esté evaluando y no al grado de confiabilidad de la información (*ver Mapa 36*).

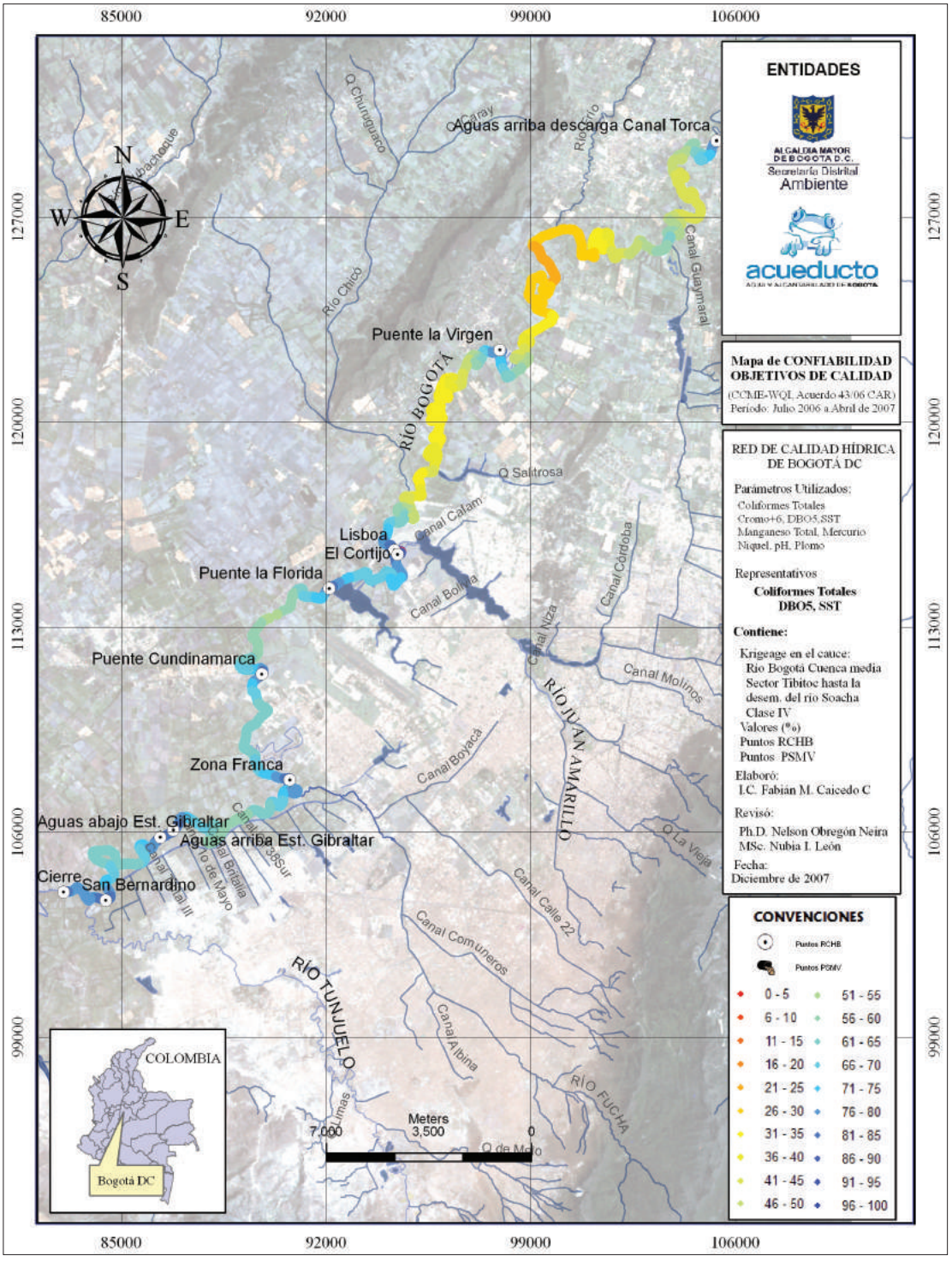
MAPA 33. Objetivos de calidad según Acuerdo 43/06 de la CAR. Mapa global de los datos en la cuenca media del río Bogotá



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

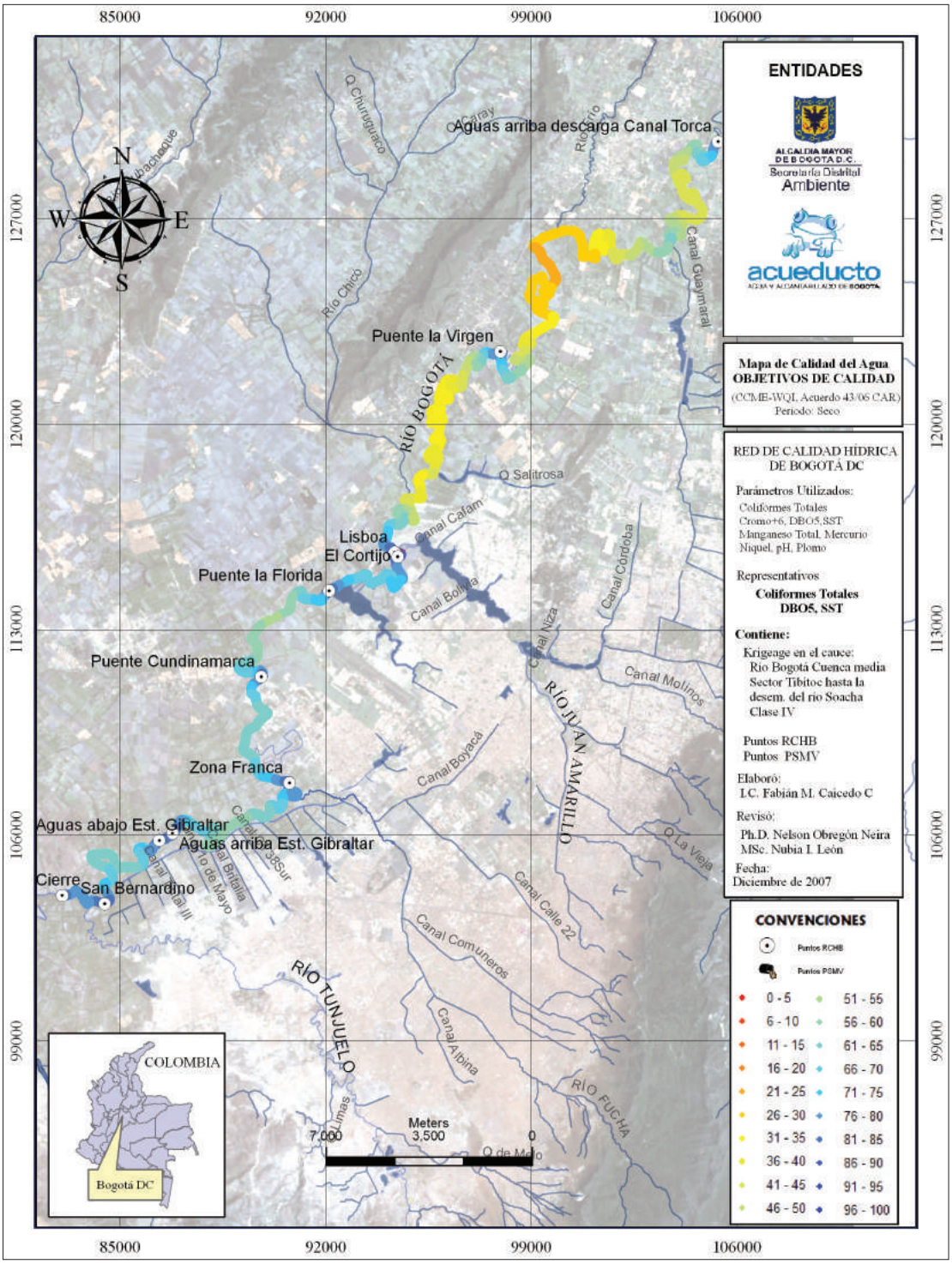
MAPA 34. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad global de los datos en la cuenca media del río Bogotá



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

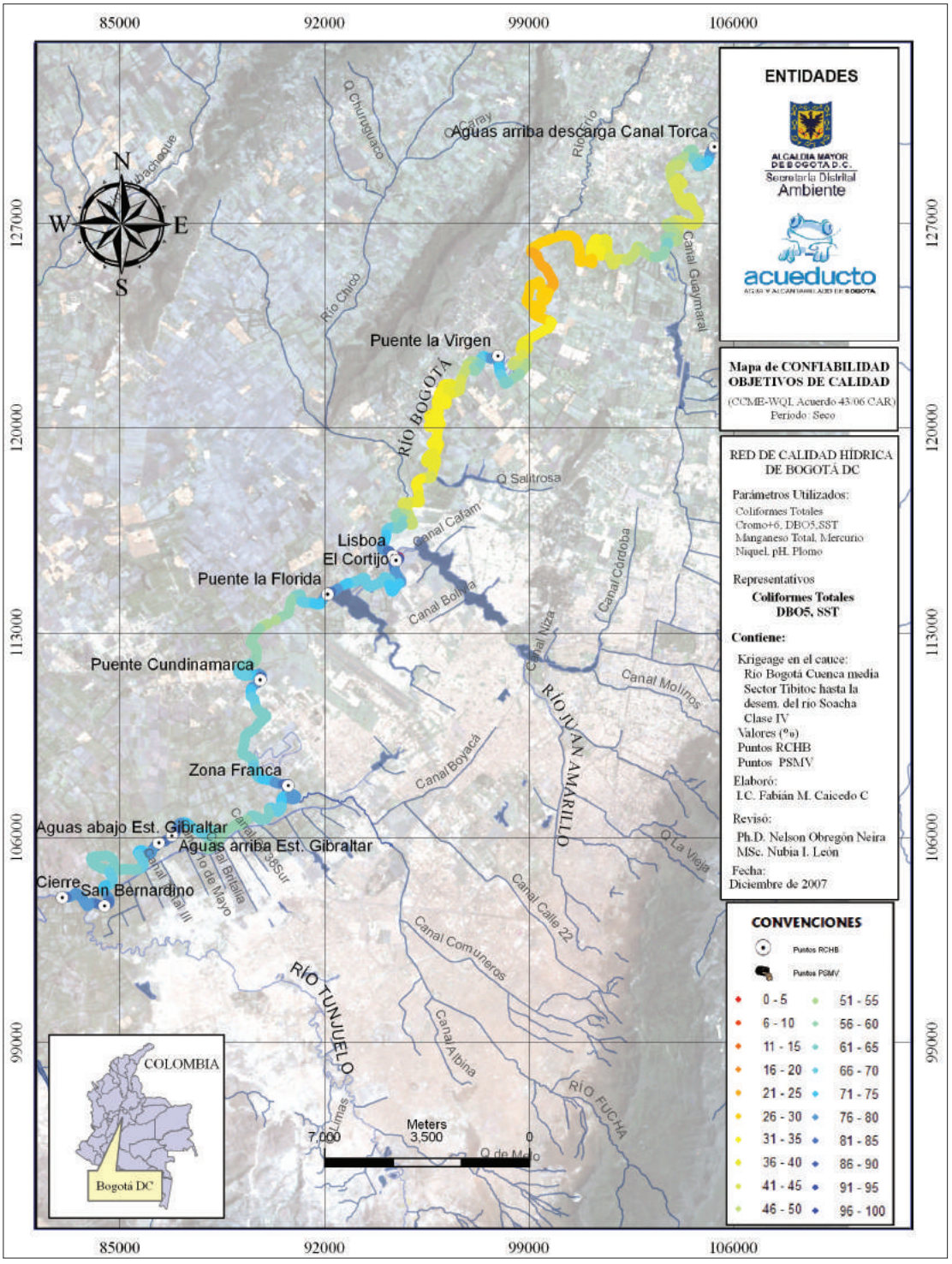
MAPA 35. Objetivos de calidad según Acuerdo 43/06 de la CAR. Época seca en la cuenca media del río Bogotá



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

MAPA 36. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad. Época seca en la cuenca media del río Bogotá



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

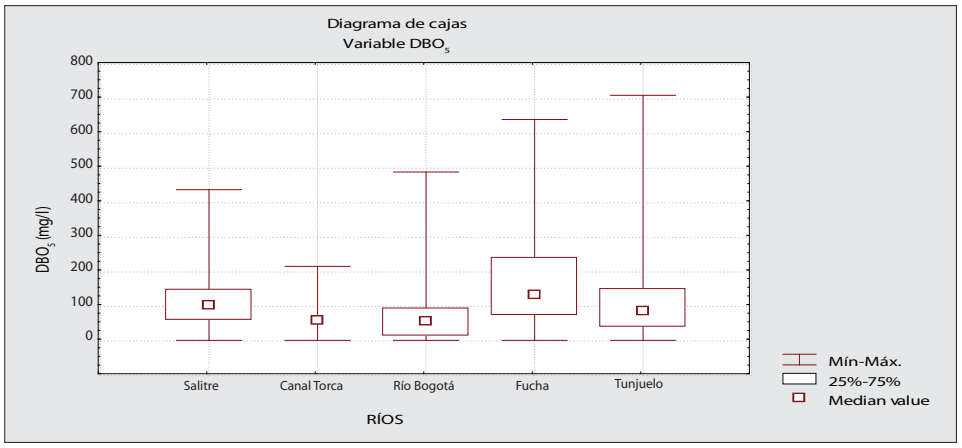
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Comparación de los ríos evaluados

Análisis de comparación de la DBO_5 en concentración y carga en los ríos

Cuando se aplica la prueba de Tukey para comparar los 5 cauces, se observan diferencias significativas en las concentraciones de la DBO_5, especialmente entre el río Fucha y los demás, ya que éste fue el que presentó las mayores concentraciones y más dispersión entre los datos (*ver Gráfica 94*).

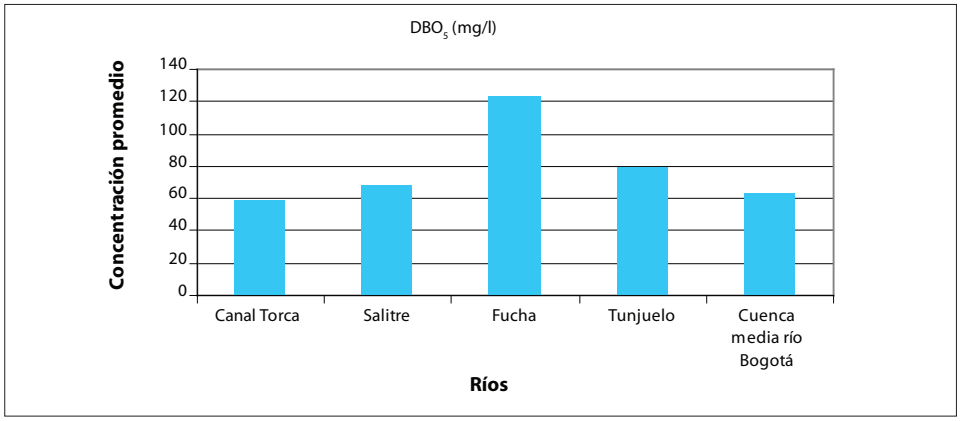
GRÁFICA 94. Comportamiento de la DBO_5 en los ríos monitoreados



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Tal como se ilustra en la Gráfica 95 y en la Tabla 82, el río Fucha registró el mayor valor promedio para el parámetro DBO_5 (120 mg/l); esto se debió a que a partir de el punto Visión Colombia el río recibe las descargas de los interceptores Boyacá, Fucha, del Sur, Kennedy y de la estación de bombeo Fontibón, que colectan gran parte de las aguas residuales de la ciudad.

GRÁFICA 95. Concentración promedio de DBO_5 en los ríos



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 82. Valores promedio de la DBO_5 en los ríos evaluados

Río	No. del tramo	DBO_5 (mg/l)	Porcentaje de participación (%)
Canal Torca	Único	59	100
Salitre	Tramo 1	1	0,37
	Tramo 2	9	3,31
	Tramo 3	134	49,26
	Tramo 4	128	47,06
Fucha	Tramo 1	7	1,41
	Tramo 2	81	16,30
	Tramo 3	156	31,39
	Tramo 4	253	50,91
Tunjuelo	Tramo 1	3	0,94
	Tramo 2	72	22,57
	Tramo 3	67	21,00
	Tramo 4	177	55,49
Media río Bogotá	Único	64	100

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

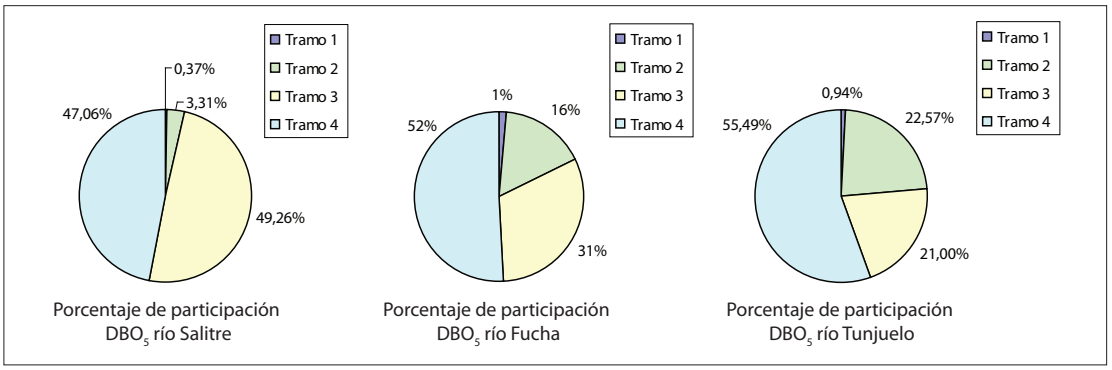
En segundo lugar se encuentra el río Tunjuelo, donde a partir del punto de la transversal 86 se registraron las mayores concentraciones promedio, a causa de las descargas del interceptor Tunjuelo Medio y las estaciones de bombeo Grancolombiano, Cartagenita y La Isla.

Para el río Salitre los mayores valores promedio de DBO_5 se presentaron a partir de la carrera 30 con calle 53 por la recepción de las descargas de este mismo punto, del colector La Vieja, del canal Rionegro y la estructura de alivio Rionuevo.

Asimismo, se puede observar que el canal Torca y la cuenca media del río Bogotá presentaron concentraciones promedio similares de 59 y 64 mg/l (*ver Tabla 82*).

En la Gráfica 96 se muestra que en los primeros tramos de cada una de las corrientes superficiales los porcentajes de participación son menores al 2%, indicando que la afectación antrópica sobre las fuentes fue mínima. De la misma forma, en el tercer y cuarto tramo se observan los mayores aportes de DBO_5, llegando hasta el 55,5%.

GRÁFICA 96. Porcentajes de participación de la DBO_5 en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 83 se registran también los valores promedios de carga contaminante de la DBO_5 en cada río y tramo específico. En los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo se determinaron las mayores cargas en el tramo 4, bien fuera por caudal o por concentración.

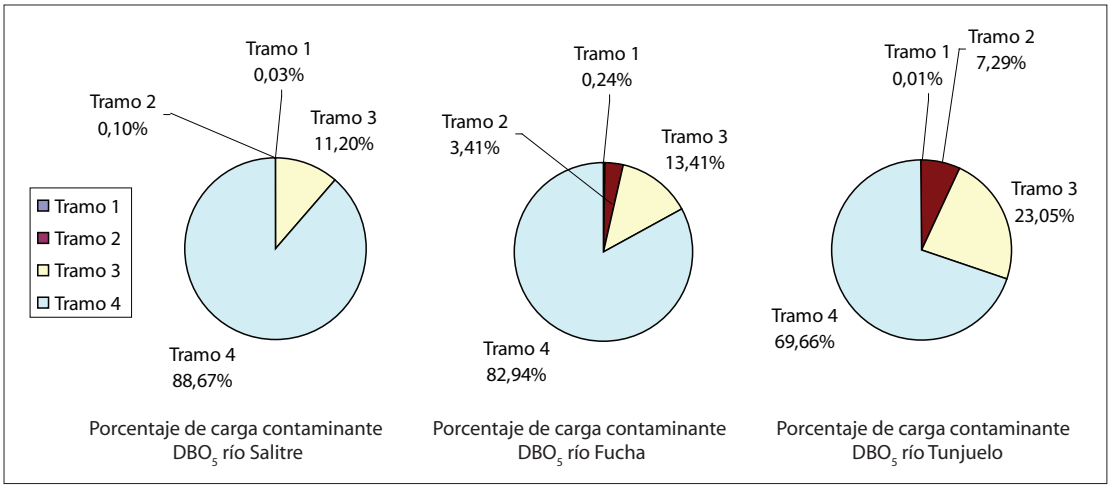
TABLA 83. Cargas promedio de DBO_5 en los ríos evaluados

Río	No. del tramo	Carga promedio DBO_5 (Ton/día)	Porcentaje participación (%)
Canal Torca	Único	1,007	100
Salitre	Tramo 1	0,007	0,03
	Tramo 2	0,026	0,10
	Tramo 3	2,84	11,20
	Tramo 4	22,48	88,67
Fucha	Tramo 1	0,397	0,24
	Tramo 2	5,54	3,41
	Tramo 3	21,774	13,41
	Tramo 4	134,71	82,94
Tunjuelo	Tramo 1	0,00469	0,01
	Tramo 2	6,555	7,29
	Tramo 3	20,72	23,05
	Tramo 4	62,63	69,66
Media río Bogotá	Único	106,4	100

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Gráfica 97 se presentan los porcentajes de participación de la carga contaminante por materia orgánica biodegradable en las corrientes evaluadas.

GRÁFICA 97. Porcentajes de participación de la carga contaminante de la DBO_5 en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el río Salitre se observa que los tramos 1 y 2 aportan un valor menor al 0,1% de la carga total de los cauces, y para el tramo 3 el aporte de carga es del 11,2% de la DBO_5, esto se debió a las descargas de la carrera 30 con calle 53, del colector La Vieja, del canal Rionegro y la estructura de alivio Rionuevo. En cuanto al tramo 4, el valor que aporta la carga correspondió al 88,6%, por las 4 descargas del PSMV, ubicadas en la calle 98 con carrera 91, carrera 95 con calle 97, carrera 95C con calle 92 y carrera 95E con calle 96.

En el río Fucha, en el tramo 2 se registró un porcentaje de carga contaminante de la DBO_5 de 3,41%, por el aporte de descargas de aguas residuales; el 13,41% en el tramo 3, por la desembocadura del canal Los Comuneros y los aportes de las descargas de origen residual industrial del sector de Montevideo, y el 82,9% en el tramo 4, a partir de Visión Colombia, por la descarga de los interceptores.

En el río Tunjuelo el aporte fue del 7,2% en el tramo 2, esto se debió a las descargas de la quebrada Yomasa y a los vertimientos de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Doña Juana. En el tramo 3 el aporte de la carga de DBO_5 fue del 23%, debido a la afluencia de las quebradas Limas y Trompeta y a los vertimientos establecidos en el PSMV, y en el tramo 4 fue del 69,6%, principalmente por la influencia del interceptor Tunjuelo Medio y de las estaciones de bombeo Gran Colombiano, Cartagenita y La Isla.

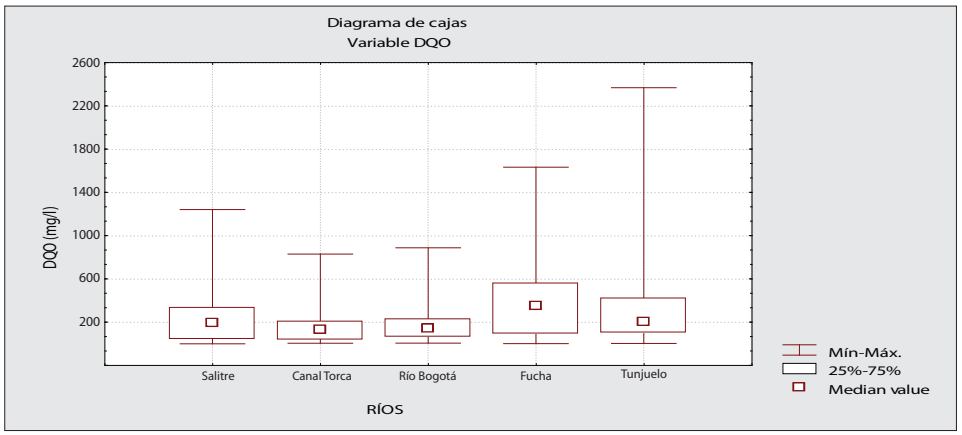
En el canal Torca, el porcentaje de carga contaminante durante el trayecto evaluado fue el determinado en los 3 puntos, el cual representa el 100%; por lo anterior no se ilustra en la gráfica de concentración ni de carga ya que se considera como un tramo único en los objetivos de calidad.

De igual forma, para el río Bogotá, antes de ingresar al perímetro urbano la fuente ya viene intervenida, el 100% de la carga contaminante presente en la cuenca media se debió a la materia orgánica biodegradable generada por los diferentes vertimientos que recibe antes de ingresar al perímetro urbano y al paso por la ciudad por las descargas de aguas residuales de las estaciones de bombeo tales como Villa Gladys, Navarra, Rivera, Gibraltar y El Recreo, así como del canal de aguas mínimas del interceptor Salitre y de las entregas de los ríos Chicú, Salitre, Fucha, Tunjuelo y el canal Torca.

Análisis de comparación de la DQO en concentración y carga en los ríos

Cuando se aplica la prueba de Tukey para comparar las cinco corrientes evaluadas se observan grandes diferencias en las concentraciones de la DQO, especialmente entre el río Fucha y las demás, porque presenta las mayores concentraciones (*ver Gráfica 98*).

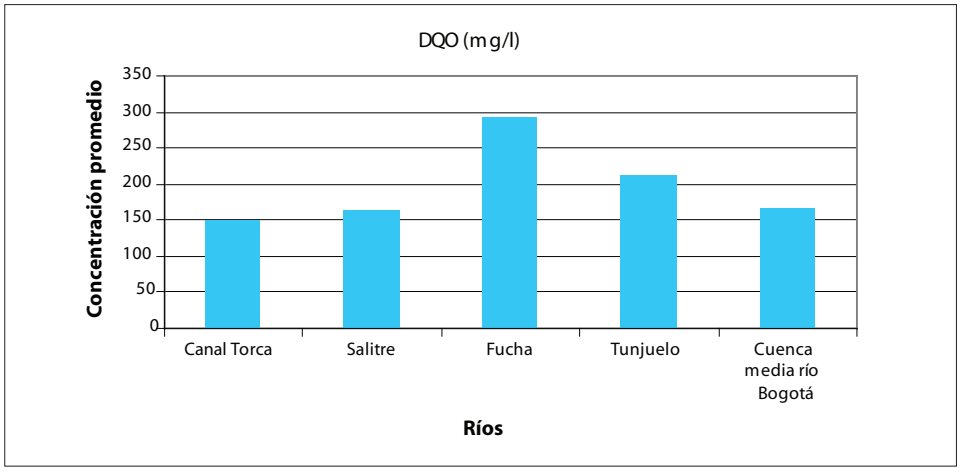
GRÁFICA 98. Comportamiento de la DQO en los ríos monitoreados



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Al comparar las corrientes se observa que el canal Torca (152 mg/l) y el río Salitre (163 mg/l) registraron los menores valores de DQO, mientras que el río Fucha reportó las mayores concentraciones promedio de DQO (294 mg/l), seguida por el río Tunjuelo (214 mg/l) (*ver Gráfica 99*).

GRÁFICA 99. Concentración promedio de la DQO en los ríos



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Igualmente, en la Tabla 84 se reportan las concentraciones promedio analizadas en cada una de las corrientes superficiales evaluadas. Este análisis permite concluir que la DQO presentó un comportamiento similar a la DBO_5.

TABLA 84. Valores promedio de la DQO en los ríos evaluados

Río	No. del tramo	DQO (mg/l)	Porcentaje participación (%)
Canal Torca	Único	152	100
Salitre	Tramo 1	16	2,45
	Tramo 2	33	5,05
	Tramo 3	279	42,73
	Tramo 4	325	49,77
Fucha	Tramo 1	17	1,45
	Tramo 2	212	18,04
	Tramo 3	358	30,47
	Tramo 4	588	50,04
Tunjuelo	Tramo 1	19	2,22
	Tramo 2	220	25,67
	Tramo 3	181	21,12
	Tramo 4	437	50,99
Media río Bogotá	Único	167	100

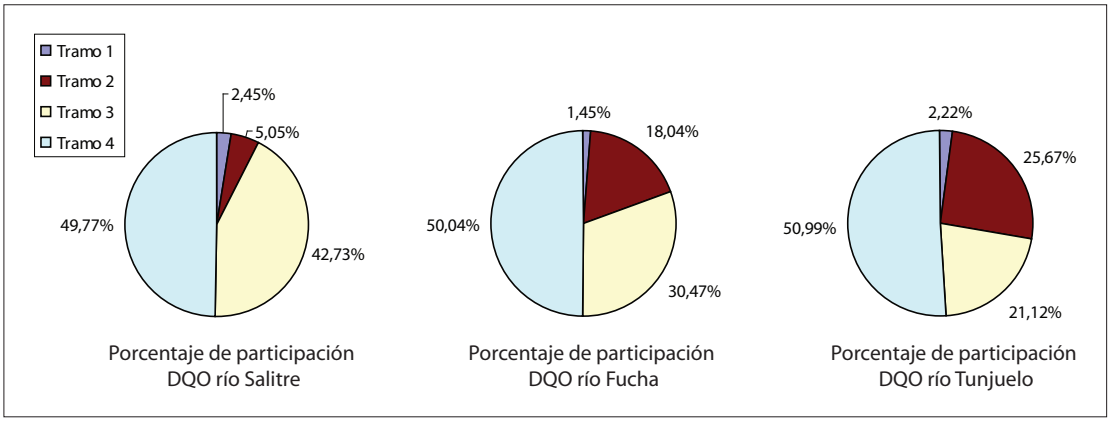
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Al comparar los ríos Salitre y Fucha se observa que las concentraciones promedios de la DQO en el primer tramo entre estas corrientes fueron similares, y a partir del segundo tramo el río Salitre registró las menores concentraciones.

En los ríos Tunjuelo y Fucha el comportamiento de la DQO es similar a la DBO_5 en los dos primeros tramos; sin embargo, al compararlas, en los últimos tramos del río Fucha es la que presenta las mayores concentraciones promedios.

El canal Torca presentó, en promedio, una concentración de la DQO de 152 mg/l y de 167 mg/l en la cuenca media del río Bogotá.

GRÁFICA 100. Porcentajes de participación de la DQO en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

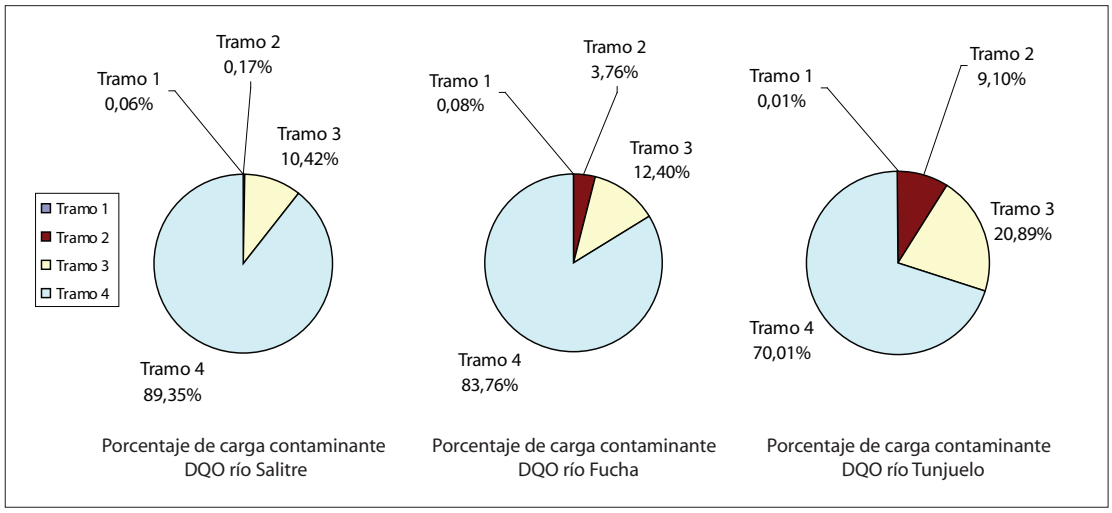
En la Gráfica 101 y la Tabla 85 se presentan los valores y porcentajes de participación de carga contaminante reportados en las corrientes superficiales estudiadas. Al comparar la carga contaminante de la DQO se observa el mismo comportamiento que la que presenta con la DBO_5. En todas las corrientes en el primer tramo se determinó que el aporte fue menor al 0,1 %; para el tramo 2 el aporte de carga se determinó entre 0,17 y 9,1%, siendo éste último el mayor porcentaje para el río Tunjuelo.

Para el tramo 3 se incrementó el aporte de carga contaminante de la DQO con porcentajes entre 10,42 y 20,89%, presentándose el mayor porcentaje en el río Tunjuelo. En el tramo 4, los porcentajes son similares entre los ríos Salitre y Fucha con valores entre el 84 y 89%, y para el río Tunjuelo fue del 70%.

Para el canal Torca la carga contaminante corresponde a 2,87 Ton/día y en la cuenca media del río Bogotá de 287,5 Ton/día de DQO (*ver Tabla 85*).

En promedio, la corriente que mayor aporte de carga contaminante de DQO realizó al río Bogotá durante el estudio fue la del río Fucha (105,67 Ton/día) seguida por la del río Tunjuelo (58,12 Ton/día), luego la del río Salitre (15,47 Ton/día) y por último la del canal Torca (2,87 Ton/día).

GRÁFICA 101. Porcentajes de participación de carga contaminante de la DQO en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 85. Cargas promedio de la DQO en los ríos evaluados

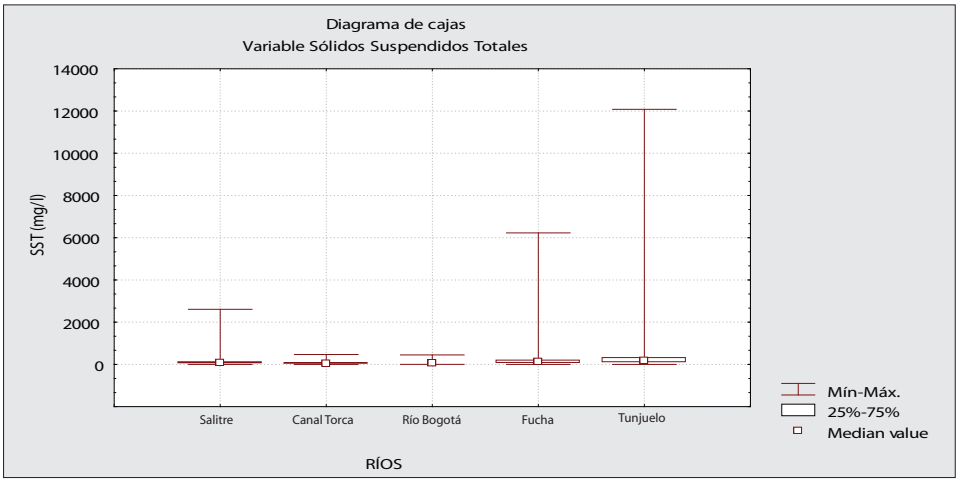
Río	No. del tramo	Carga promedio de la DQO (Ton/día)	Porcentaje participación (%)
Canal Torca	Único	2,87	100
Salitre	Tramo 1	0,04	0,06
	Tramo 2	0,103	0,17
	Tramo 3	6,45	10,42
	Tramo 4	55,32	89,35
Fucha	Tramo 1	0,3545	0,08
	Tramo 2	15,9	3,76
	Tramo 3	52,4	12,40
	Tramo 4	354,05	83,76
Tunjuelo	Tramo 1	0,0259	0,01
	Tramo 2	21,15	9,10
	Tramo 3	48,56	20,89
	Tramo 4	162,76	70,01
Media río Bogotá	Único	287,51	100

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Análisis de comparación de los SST en concentración y carga en los ríos

Los SST presentaron diferencias significativas entre las corrientes superficiales con un 95% de confianza. Estas diferencias se encontraron entre el río Tunjuelo y las demás corrientes, debido a que presenta los mayores valores (*ver Gráfica 102*).

GRÁFICA 102. Comportamiento de los SST en los ríos monitoreados



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Tabla 86 se reportan las concentraciones promedios analizadas en cada una de las corrientes superficiales y en cada uno de los tramos, específicamente en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo.

TABLA 86. Valores promedio de los SST en los ríos evaluados

Río	No. del tramo	SST (mg/l)	Porcentaje participación (%)
Canal Torca	Único	69	100
Salitre	Tramo 1	4	0,88
	Tramo 2	126	27,88
	Tramo 3	132	29,20
	Tramo 4	190	42,04
Fucha	Tramo 1	4	0,62
	Tramo 2	277	43,15
	Tramo 3	156	24,30
	Tramo 4	205	31,93
Tunjuelo	Tramo 1	5	0,22
	Tramo 2	1.784	79,32
	Tramo 3	165	7,34
	Tramo 4	295	13,12
Media río Bogotá	Único	66	100

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

El río Tunjuelo presenta las mayores concentraciones promedios de SST en el tramo 2 (1.784 mg/l), relacionadas con la recepción de descargas provenientes de la industria extractiva ubicada en el sector y la descarga de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Doña Juana. En el tramo 3 se observa la influencia de los vertimientos del PSMV, así como de las quebradas Trompeta y Limas; de igual manera, en el tramo 4 se aprecia la influencia del interceptor Tunjuelo Medio y de las estaciones de bombeo Grancolombiano, Cartagenita y La Isla.

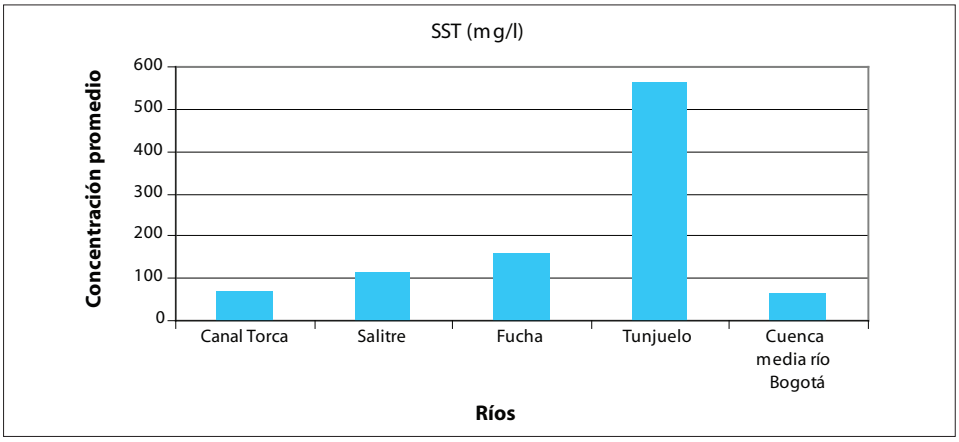
En el río Fucha, en el tramo 2 se reportó un valor promedio de tendencia alta, debido a que en el punto avenida Ferrocarril se registró un evento de lluvia que incrementó la concentración de los SST en este punto. En el tramo 3 se aprecia la incidencia del canal Los Comuneros y de los vertimientos de agua residual industrial en este trayecto, como el ubicado en la Clínica de la Paz. En el tramo 4 el valor promedio se asoció a las descargas de los interceptores Boyacá, Fucha, del Sur, Kennedy y de la estación de bombeo Fontibón.

En el río Salitre, en el tramo 2 se tiene la influencia de las descargas de la calle 45; en el tramo 3 el colector La Vieja, carrera 30 con calle 53A y del canal Rionegro, y la estructura de alivio Rionuevo; el tramo 4 tiene la afluencia del humedal Córdoba (por efecto sifón), el agua de exceso del lago del Club Los Lagartos, los canales de aguas lluvias de Bolivia y de la ciudadela Colsubsidio, y de los vertimientos establecidos en el PSMV.

El río Tunjuelo aportó la mayor concentración promedio con un valor de 562 mg/l y las menores concentraciones se registraron en el canal Torca y la cuenca media del río Bogotá, con valores promedio de 69 y 66 mg/l, respectivamente.

En la Gráfica 103 se presenta el comportamiento promedio de los SST analizados en las corrientes superficiales evaluadas.

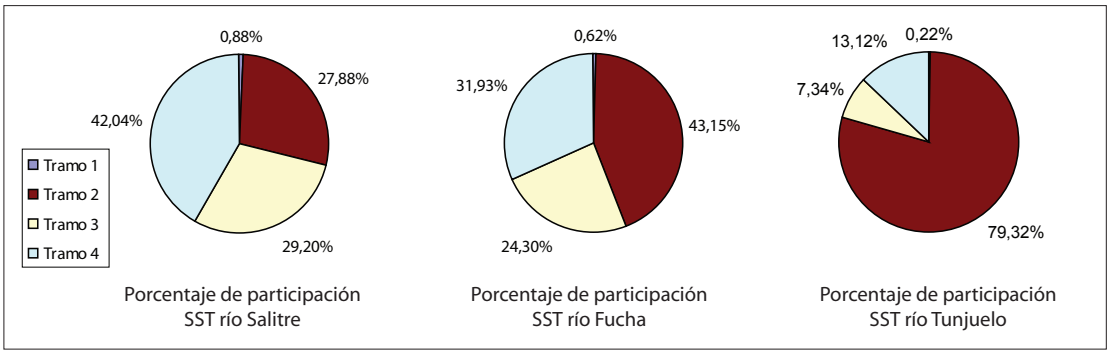
GRÁFICA 103. Concentraciones promedio de los SST en los ríos evaluados



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el río Salitre la mayor participación se presentó en el tramo 4 con un 42,0%; en este tramo se evaluaron los puntos Carrefour avenida 68, transversal 91 y Salitre con Alameda, que presentaron valores altos atípicos debido a las velocidades bajas del río, bajas láminas de agua y procesos de sedimentación. Igualmente, se presentó para los tramos 2 y 3 una participación similar con el 27,8 y 29,2%, relacionada posiblemente por las descargas de la carrera 24 con calle 45, la de la carrera 30 con calle 53 y el colector La Vieja, por la afluencia del canal Rionegro y la estructura de alivio Rionuevo. En la Gráfica 104 se ilustran los tramos que presentan mayor participación en los cauces monitoreados.

GRÁFICA 104. Porcentaje de participación de los SST en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el río Fucha, el tramo 2 presentó un aporte del 43,1%, debido especialmente al valor máximo atípico registrado en la fuente superficial (6.228 mg/l). En el tramo 4 el aporte de participación de SST fue del 32%, por las descargas de los interceptores del Sur, Fucha, Boyacá y Kennedy y la estación de bombeo Fontibón. Igualmente, en el tramo 3 el aporte fue del 24% por la afluencia del canal Los Comuneros.

En el río Tunjuelo, en el tramo 2 se registró el mayor aporte de SST con un porcentaje del 80%, por causa de las descargas de la industria extractiva que están ubicadas en la zona aferente al río. En el tramo 3 se reportó un porcentaje del 7% y para el tramo 4 un porcentaje del 13%.

Respecto a las cargas contaminantes por los SST, el mayor valor promedio se presentó en el río Tunjuelo, en el tramo 4, con un valor de 132,75 Ton/día, por los caudales medidos en los puntos Makro Autopista Sur, transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José. En el tramo 2 las cargas contaminantes se representaron por la concentración obtenida en el punto Doña Juana debido a las descargas de la industria extractiva ubicada en la zona. En cuanto al tramo 3 la carga contaminante se presentó por el aporte de la quebrada Chiguaza y por los vertimientos de la industria extractiva ubicada en el área.

Para el canal Torca, la carga contaminante se asoció a los tres vertimientos contemplados en el PSMV de la EAAB-ESP, asimismo a las canteras ubicadas en el costado nororiental que, por aguas de escorrentía, aportaron a los canales (Serrezuela y San Cristóbal) y éstos a su vez al cuerpo de agua.

Para el río Bogotá, el aporte de carga contaminante de SST se relacionó con las descargas de las estaciones de bombeo, así como con la entrega de los cuerpos de agua que atraviesan el Distrito Capital, adicional a la carga que lleva el río debido a la influencia en la cuenca alta superior y alta inferior. Los promedios de las cargas contaminantes se reportan en la Tabla 87.

Respecto a las cargas contaminantes de SST se observa que en los tramos 2, 3 y 4 del río Tunjuelo se registraron valores más altos que en el río Fucha; en el río Tunjuelo se tiene la influencia de descargas de la industria extractiva y del manejo operativo del embalse La Regadera, con lo cual se incrementan los caudales y, por tanto, la carga contaminante. Para el río Fucha se observa que en el tramo 4 se tiene la influencia de los interceptores comentados anteriormente. El río Salitre presentó cargas contaminantes bajas en comparación con los ríos Fucha y Tunjuelo en los cuatro tramos analizados.

El tramo 4 del río Salitre presentó una tendencia similar al tramo 2 del río Fucha. La carga contaminante, en promedio, que transporta el río Bogotá a su paso por el Distrito Capital presentó una tendencia similar al tramo 4 de los ríos Fucha y Tunjuelo. El canal Torca presentó un valor similar al tramo 3 del río Salitre.

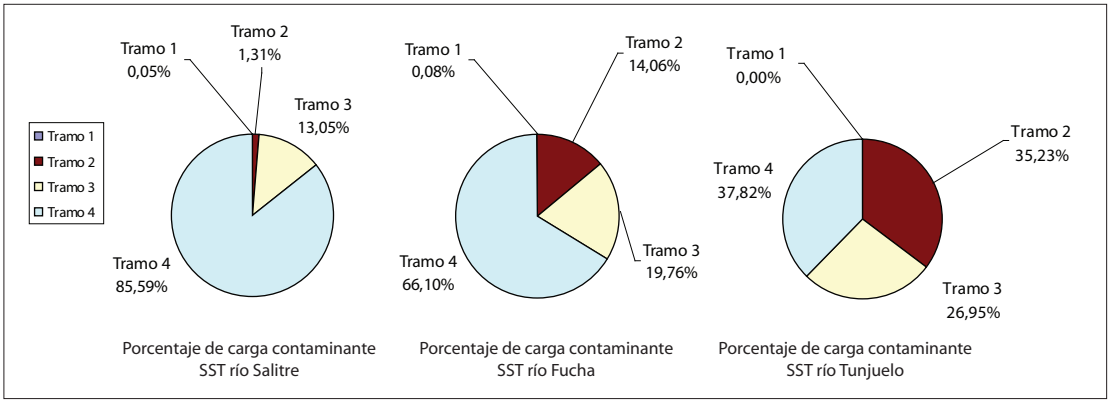
TABLA 87. Cargas contaminantes por SST en los ríos evaluados

Río	No. del tramo	Carga de los SST (Ton/día)	Porcentaje participación (%)
Canal Torca	Único	3,61	100
Salitre	Tramo 1	0,014	0,05
	Tramo 2	0,39	1,31
	Tramo 3	3,88	13,05
	Tramo 4	25,44	85,59
Fucha	Tramo 1	0,1369	0,08
	Tramo 2	25,37	14,06
	Tramo 3	35,64	19,76
	Tramo 4	119,25	66,10
Tunjuelo	Tramo 1	0,0162	0,005
	Tramo 2	123,68	35,23
	Tramo 3	94,59	26,95
	Tramo 4	132,75	37,82
Media río Bogotá	Único	126,6	100

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Gráfica 105 se ilustra el comportamiento de las cargas contaminantes en cada uno de los tramos de todas las corrientes superficiales estudiadas.

GRÁFICA 105. Porcentajes de participación de carga por los SST en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo



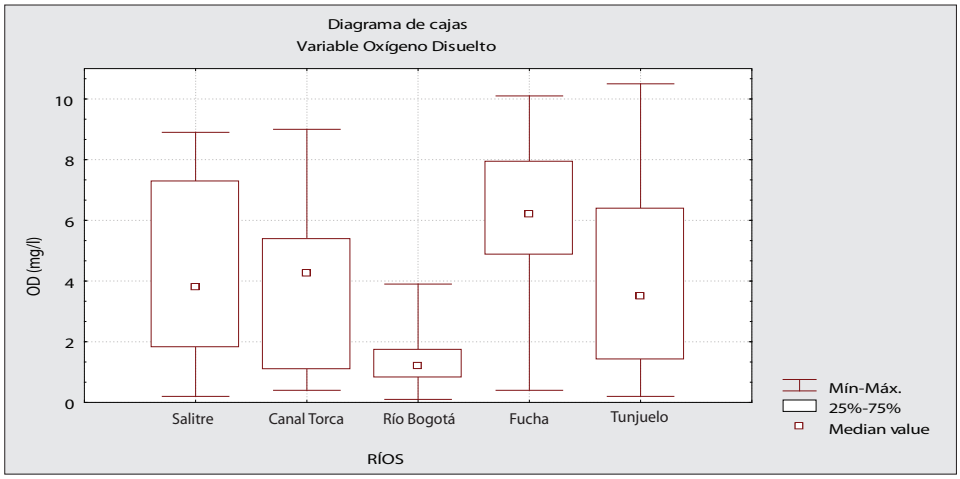
Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Análisis de comparación de la concentración de OD en los ríos

La disponibilidad de OD evaluada en las corrientes indica que las menores concentraciones se presentaron en la cuenca media del río Bogotá, con un valor promedio de 0,82 mg/l (*ver Gráfica 106*).

Asimismo, se observa la variabilidad de este parámetro en todas las corrientes superficiales, y al realizar la comparación estadística se determinó que existen diferencias significativas entre todas, porque, al no haber intervención en los cuerpos de agua por descargas de origen residual doméstico, en los puntos iniciales de cada río se registraron las mayores concentraciones de OD.

GRÁFICA 106. Comportamiento del OD en los ríos monitoreados



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En el canal Torca el valor promedio registrado fue de 2,8 mg/l, el valor máximo fue de 9 mg/l en el canal El Cedro y el mínimo de 0,4 mg/l, que se presentó en el Club Guaymaral.

En el río Salitre se encontró que el 75% de los datos se ubicaron entre 6,8 y 6,7 mg/l en los primeros tramos, y de 1,55 mg/l a la entrega al río Bogotá, con un valor promedio de 4,6 mg/l para toda la corriente superficial.

En el río Fucha se presentó una concentración máxima, promedio, de 7,9 mg/l para el primer tramo y una mínima de 0,4 mg/l para el último tramo, con un valor promedio para toda la corriente de 4 mg/l.

En el río Tunjuelo se reportó un valor máximo, promedio, de 6,98 mg/l para el primer tramo y un mínimo de 1,1 mg/l para el último tramo, con un promedio de 3,4 mg/l para la corriente superficial completa.

En la Tabla 88 se reportan los valores promedios de OD evaluado en los cuerpos de agua del Distrito Capital.

TABLA 88. Concentración promedio de OD en los ríos evaluados

Río	No. del tramo	OD (mg/l)
Canal Torca	Único	2,8
Salitre	1	6,87
	2	6,72
	3	3,31
	4	1,55
Fucha	1	7,9
	2	4,6
	3	3,1
	4	0,4
Tunjuelo	1	6,98
	2	4,26
	3	1,17
	4	1,1
Media río Bogotá	Único	0,82

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

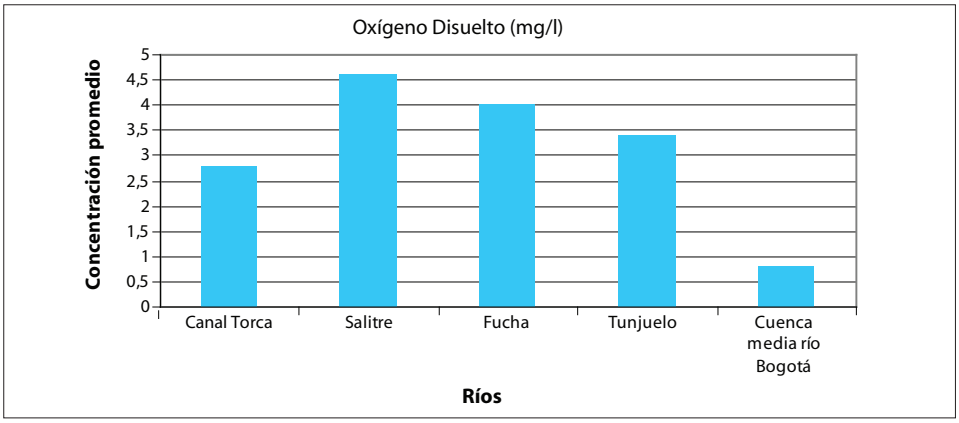
Con la tabla anterior se concluye que en los tramos 1 y 2 de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo se presentaron los valores promedios más altos, lo que se asoció con la baja intervención antrópica en las fuentes por descargas de aguas residuales. En el tramo 1 se registraron concentraciones promedio entre 6,8 y 7,9 mg/l y en el tramo 2 entre 4,2 y 6,7 mg/l. En el tramo 3 las cuencas reportaron valores promedio entre 1,17 y 3,3 mg/l, y para el último tramo, el 4, entre 0,4 y 1,5 mg/l.

En el canal Torca, la disponibilidad de OD en promedio reportó un valor de 2,8 mg/l. El descenso en la concentración de este parámetro se debió a las descargas contempladas en el PSMV, ubicadas en la calle 155 con carrera 20B y en la calle 181 con canal Torca.

En el ingreso del río Bogotá al perímetro urbano se registró un valor promedio de 2 mg/l y por la recepción de los cuerpos de agua y de las estaciones de bombeo Villa Gladys, Rivera, Navarra, El Recreo y Gibraltar al paso por el Distrito Capital se reportaron valores No Detectables (ND) de OD a la salida del perímetro urbano (*ver Gráfica 107*).

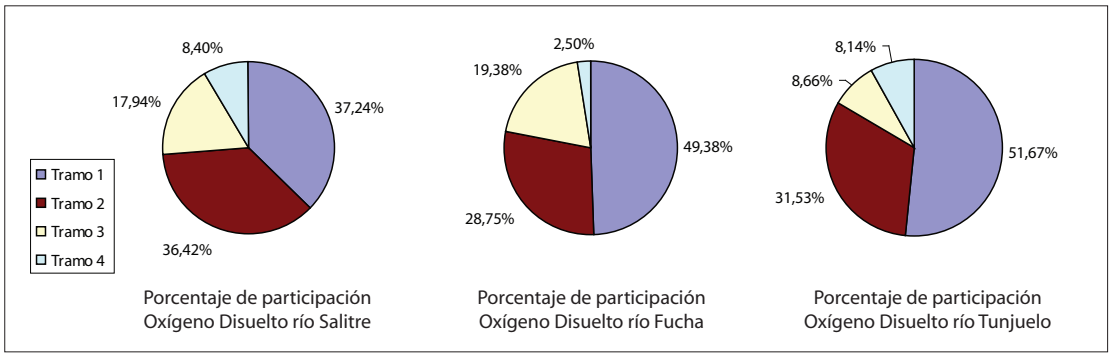
En la Gráfica 108 se ilustran los porcentajes de la disponibilidad de OD en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo. Los mayores porcentajes se presentaron en los dos primeros tramos de estos cauces, especialmente en el río Tunjuelo con un aporte del 51% en el tramo 1; también se observa en esta gráfica que en los tres ríos, para el tramo 2, la influencia de las aguas residuales fue similar y la concentración de oxígeno disminuyó, presentando porcentajes entre el 32 y 36%.

GRÁFICA 107. Concentraciones promedio del OD en los ríos evaluados



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

GRÁFICA 108. Porcentaje de participación del OD en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Para los últimos tramos se observa que el río que presentó las menores concentraciones en promedio fue el Tunjuelo con porcentajes del 9 y 8%, mientras que los otros registraron porcentajes entre el 18 y 8%.

Análisis de comparación de la concentración de metales pesados en las cuencas

Para empezar, en el canal Torca se observó que el plomo presentó la mayor concentración promedio (0,5 mg/l) respecto a las otras corrientes superficiales, debido a un evento atípico puntual que se presentó en el canal El Cedro (7,9 mg/l). Asimismo, se registró la presencia de zinc, manganeso y cromo total en valores bajos (trazas) que no superaron los límites establecidos por la normatividad para los objetivos de calidad y usos (Acuerdo 43 de 2006 de la CAR y Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura).

En el río Salitre el zinc registró la mayor concentración promedio (0,23 mg/l) con relación a los otros metales, y en el último tramo se presentó una concentración promedio (0,23 mg/l) que superó el valor referenciado para la

preservación de la vida acuática (0,18 mg/l). Un comportamiento similar tuvo el cobre, con un valor promedio mayor (0,037 mg/l) que el límite establecido para el mismo uso (0,02 mg/l). Los otros metales presentaron concentraciones promedio de trazas que cumplen con la normatividad para todos los usos y para los objetivos de calidad.

En el río Fucha, el plomo presentó la mayor concentración promedio respecto a los otros metales estudiados; esta tendencia se registró en todos los tramos y los valores superaron el límite establecido por la normatividad para uso y preservación de la vida acuática (IPMCA). Las concentraciones promedio de cobre registraron mayores valores en los tres últimos tramos del río, respecto al límite referenciado para el uso de IPMCA (0,02 mg/l).

Asimismo, al comparar las concentraciones promedio de los metales se concluye que en esta corriente se presentaron las mayores concentraciones de zinc (0,23 mg/l), lo cual se asoció al sector productivo de metalmecánica (procesos de galvanoplastia, zincado de piezas metálicas).

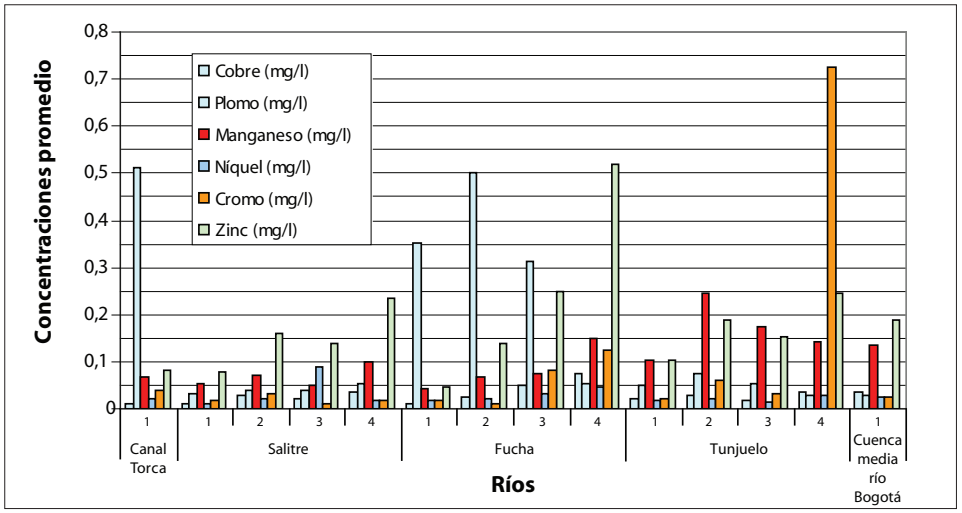
En el río Tunjuelo, el cromo total presentó la mayor concentración promedio (0,2 mg/l) respecto a las otras corrientes superficiales y a los otros metales estudiados, ésto debido a la presencia de curtiembres, las cuales se ubican en el tramo 4 donde descarga el interceptor Tunjuelo Medio que recoge las aguas residuales de San Benito.

Los metales que registraron concentraciones mayores fueron el zinc y manganeso (0,17 mg/l), siendo el primero utilizado en la industria de recubrimientos metálicos y el segundo asociado a los residuos de la industria extractiva y de triturados para agregados. Además, se observa que la concentración promedio de manganeso fue mayor en el río Tunjuelo y que los otros metales estudiados mostraron valores menores de 0,2 mg/l.

En la cuenca media del río Bogotá el zinc y el manganeso presentaron las mayores concentraciones promedio (0,19 y 0,13 mg/l, respectivamente); estos metales tienen origen en las aguas residuales generadas por el sector galvánico, de pinturas, entre otros. En relación con el manganeso, este metal puede estar presente en el río por la descarga de las aguas residuales de la industria química y por el uso de fertilizantes a base de sulfato de manganeso en cultivos de papa, en sectores por donde pasa la fuente superficial. Para los otros metales se registraron valores menores de 0,1 mg/l.

En la Gráfica 109 y en la Tabla 89 se ilustra la comparación de las concentraciones promedio de los metales pesados que fueron determinados en los cauces analizados, tales como cobre, plomo, manganeso, níquel, cromo total y zinc.

GRÁFICA 109. Concentración promedio de metales en los ríos evaluados



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

TABLA 89. Concentraciones promedio de cobre, plomo, manganeso, níquel, cromo y zinc en los ríos evaluados

Río	No. del tramo	Cobre (mg/l)	Plomo (mg/l)	Manganeso (mg/l)	Níquel (mg/l)	Cromo total (mg/l)	Zinc (mg/l)
Canal Torca	Único	0,012	0,511	0,069	0,0207	0,04	0,082
Salitre	1	0,011	0,033	0,052	0,010	0,018	0,077
	2	0,03	0,040	0,070	0,020	0,031	0,160
	3	0,02	0,040	0,050	0,090	0,009	0,140
	4	0,037	0,054	0,099	0,019	0,017	0,234
Fucha	1	0,0121	0,351	0,044	0,018	0,018	0,048
	2	0,0256	0,501	0,067	0,021	0,009	0,140
	3	0,0497	0,312	0,074	0,030	0,082	0,247
	4	0,0745	0,055	0,151	0,048	0,126	0,520
Tunjuelo	1	0,022	0,050	0,102	0,017	0,021	0,102
	2	0,03	0,075	0,245	0,021	0,060	0,188
	3	0,0195	0,055	0,174	0,015	0,033	0,154
	4	0,0357	0,030	0,142	0,030	0,727	0,245
Media río Bogotá	Único	0,037	0,027	0,135	0,025	0,024	0,187

Fuente: Convenio 005/2006 SDA- EAAB-ESP.

En la Tabla 90 se registran los valores promedios de las cargas contaminantes de los metales estudiados en las corrientes superficiales evaluadas.

En el canal Torca y en el río Salitre, se aprecian los menores valores de carga contaminante de los metales analizados, y en los ríos Fucha y Tunjuelo se observa la influencia de diferentes sectores productivos ubicados en las áreas aferentes, tales como metalmecánica, químicas y curtiembres, respectivamente.

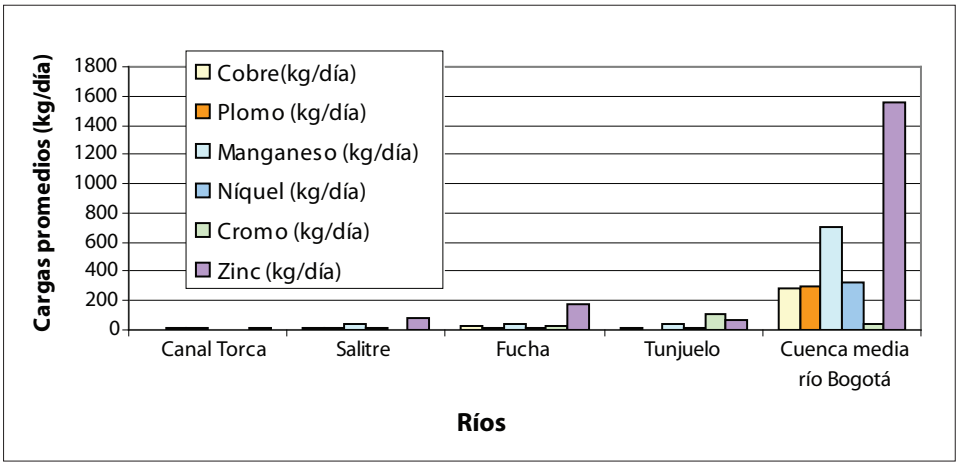
TABLA 90. Carga promedio de metales en los ríos evaluados

Río	Cobre (kg/día)	Plomo (kg/día)	Manganeso (kg/día)	Níquel (kg/día)	Cromo (kg/día)	Zinc (kg/día)
Canal Torca	2,53	8,82	9	1,34	0,16	13,9
Salitre	12,3	9,24	38,66	8,59	1,33	81,5
Fucha	20,54	19,67	44,11	13,18	32,91	172,5
Tunjuelo	7,35	4,83	42	8,3	110,5	63,9
Media río Bogotá	282	300	699	321	39,01	1.552

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

En la Gráfica 110 se ilustra que en la cuenca media del río Bogotá está constituída la carga de metales por caudal, no por concentración.

GRÁFICA 110. Cargas promedio de metales en los ríos evaluados



Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Índice de calidad y usos del recurso hídrico entre los cauces analizados

Uso agrícola

En los mapas para uso agrícola se observa que la calidad del recurso hídrico es pobre (36-40 puntos) para todas las corrientes, excepto en el primer tramo de los ríos Salitre y Fucha, donde la calidad es aceptable (66-70 puntos). Esta tendencia es similar para el tiempo seco, situación causada posiblemente por el alto contenido bacteriológico que reciben las fuentes superficiales al pasar por el perímetro urbano. En el río Tunjuelo se presentó una calidad pobre en todo su trayecto debido a que desde el primer punto se registraron valores mayores al límite establecido por la normatividad (Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura).

Para el uso agrícola se ilustran los mapas de las ventanas de tiempo donde se presentan las variabilidades de calidad en las corrientes superficiales, tales como el mapa global con todos los datos (740) en 37 puntos (*ver Mapa 37*) y para el período seco (*ver Mapa 38*).

En el Mapa 37 se muestra el comportamiento de los ríos para uso agrícola con todos los datos durante el período julio de 2006 - abril de 2007. Se observa que los puntos iniciales de los ríos Salitre (Parque Nacional y carrera 7ª) y Fucha (El Delirio y carrera 7ª) presentaron una calidad aceptable, entre 65 y 79 puntos, debido a la calidad bacteriológica determinada. En el canal Torca, específicamente aguas abajo del punto calle 153 con carrera 12 y en la cuenca media del río Bogotá, entre aguas arriba del canal Torca y aguas abajo de Puente La Virgen, se halló una calidad de agua marginal, es decir entre 45 y 64 puntos. En los otros puntos se halló una categoría de calidad de agua pobre.

En el Mapa 38 se representa la situación en tiempo seco para uso agrícola y se aprecia que el comportamiento es similar al evaluado para todo el período.

Uso pecuario

Para el uso pecuario, se encontró que la calidad del agua de las fuentes superficiales respecto a la normatividad es buena (91 - 95 puntos), esto debido a que la normatividad vigente no contempla el aspecto bacteriológico, únicamente contempla los metales pesados (*ver Mapa 39*).

Uso recreativo con contacto secundario

Para el uso recreativo con contacto secundario, se observa variabilidad entre los puntos de monitoreo de la RCHB y entre las cuencas (*ver Mapa 40*). De acuerdo con esto, se ve que en el canal Torca se presentó una calidad pobre (5 - 20 puntos). Vale aclarar que aunque los humedales mejoran la calidad del agua, la calificación de la calidad continua en el mismo rango. En el Mapa 40 se ilustra que todas las corrientes tienen tendencia de calidad pobre, debido a que el uso recreativo mediante contacto secundario contempla los coliformes totales, los tensoactivos y el pH, siendo los más representativos los dos primeros parámetros por la descarga de las aguas residuales. En el río Fucha, se presentó una excepción en el tramo 1, en El Delirio (51 - 55 puntos) con una calidad marginal, desde de la carrera 7ª río Fucha hasta la desembocadura al río Bogotá en Fucha con Alameda. La tendencia de calidad es pobre.

En el río Tunjuelo, se observó una calidad pobre en todo su trayecto. En La Regadera y aguas arriba de la quebrada Yomasa se reportó una calificación entre 26 a 30 puntos; de igual forma, se presentó un tramo en aguas arriba de la quebrada Yomasa con una calificación de 16 a 20 puntos. Para el resto del cauce la calificación estuvo entre 0 y 5 puntos para uso recreativo mediante contacto secundario.

Preservación de la vida acuática

Para el uso de preservación de la vida acuática se determinó que la calidad del agua es pobre para todo el río Fucha, exceptuando el tramo 1, en el cual se registró un rango entre 45 - 60 puntos, con una calificación marginal.

En el río Tunjuelo, en los tramos 1 y 2, donde se ubican La Regadera, aguas abajo de la quebrada Yomasa y Doña Juana, la calificación del agua se encontró entre 36 y 40 puntos. En el tramo 3 (Barrio México y San Benito) la calificación fue entre 16 y 20 puntos, en Makro Autopista Sur entre 11 y 15 puntos y en los demás puntos del tramo 4, se registró entre 0 y 5, indicando en general que la calidad del agua tiene una categoría pobre.

Para el río Salitre, en los puntos Parque Nacional, Arzobispo carrera 7ª, carrera 30 con calle 53 y Puente Alameda, la calidad del agua se halló entre 31 y 35 puntos. En Carrefour avenida 68 y transversal 91 fue entre 11 y 15 puntos. Así, en general, esta cuenca tiene una categoría pobre en cuanto a la calidad del agua para la preservación de la vida acuática.

En el canal Torca la calidad del agua es pobre para este uso; en la calle 153 con carrera 12 y en Guaymaral la calidad se determinó entre 41 y 45 puntos, de igual forma, en la calle 193 con Makro la calidad se encontró entre 16 y 20 puntos.

En la cuenca media del río Bogotá, la calidad del agua es pobre para la preservación de la vida acuática. Entre aguas arriba de la descarga del canal Torca y El Cortijo se halló entre 36 y 40 puntos; en Puente La Florida entre 16 y 20 puntos y en Puente Cundinamarca, Zona Franca, Gibraltar (aguas arriba y abajo), San Bernardino y El Cierre entre 11 y 15 puntos.

Época seca para el uso de preservación de la vida acuática

En tiempo seco, la calidad del agua en el canal Torca es pobre. En la calle 153 con carrera 12 y en Guaymaral la calidad del agua se halló entre 31 y 35 puntos y en Makro calle 193 se encontró entre 11 y 15 puntos para la preservación de la vida acuática (*ver Mapa 42)*.

En el río Salitre, en los puntos Parque Nacional y carrera 7ª la calidad del agua presentó una categoría marginal (46 y 50 puntos). A medida que se avanza en el abscisado de la cuenca se fue reduciendo a pobre, es así como en la carrera 30 con calle 53 se halló entre 31 y 35 puntos, en Carrefour avenida 68 entre 6 y 10 puntos y en la transversal 91 entre 11 y 15 puntos. En puente Alameda se recupera el cuerpo de agua, ya que se halló entre 31 y 35 puntos, lo cual es posible por la baja velocidad que lleva el río y por los procesos de sedimentación.

En el río Fucha se vio una mejoría en El Delirio donde se determinó la calidad del agua entre 51 y 55 puntos (calidad marginal), en la carrera 7ª entre 46 y 50 puntos (calidad marginal), en la avenida Ferrocarril entre 41 y 45 puntos (calidad pobre) y en la avenida Las Américas entre 16 y 20 (calidad pobre). Para los puntos de monitoreo del tramo 4 la calidad del agua se halló entre 0 y 5

puntos; esta disminución se asoció a la descarga de los interceptores Boyacá, Fucha, del Sur, Kennedy y de la estación de bombeo Fontibón.

Respecto a la calidad del agua evaluada en el río Tunjuelo en tiempo seco para uso de preservación de la vida acuática, se observó también un incremento en el puntaje en relación con el mapa global; en La Regadera se determinó entre 56 y 60 puntos, aguas abajo de la quebrada Yomasa entre 51 y 55 puntos, lo que muestra que la categoría es marginal. A partir del punto Doña Juana hasta Isla Pontón San José la calidad fue pobre.

En el río Bogotá, la calidad del agua es pobre. Se encontró que entre el tramo aguas arriba de la descarga del canal Torca y el parque La Florida la calidad del agua presentó un puntaje entre 35 y 40, en Puente Cundinamarca entre 26 y 30 puntos y en Zona Franca, Gibraltar (aguas arriba y abajo), en El Cierre y en San Bernardino entre 16 y 20 puntos.

Época de lluvia para el uso de preservación de la vida acuática

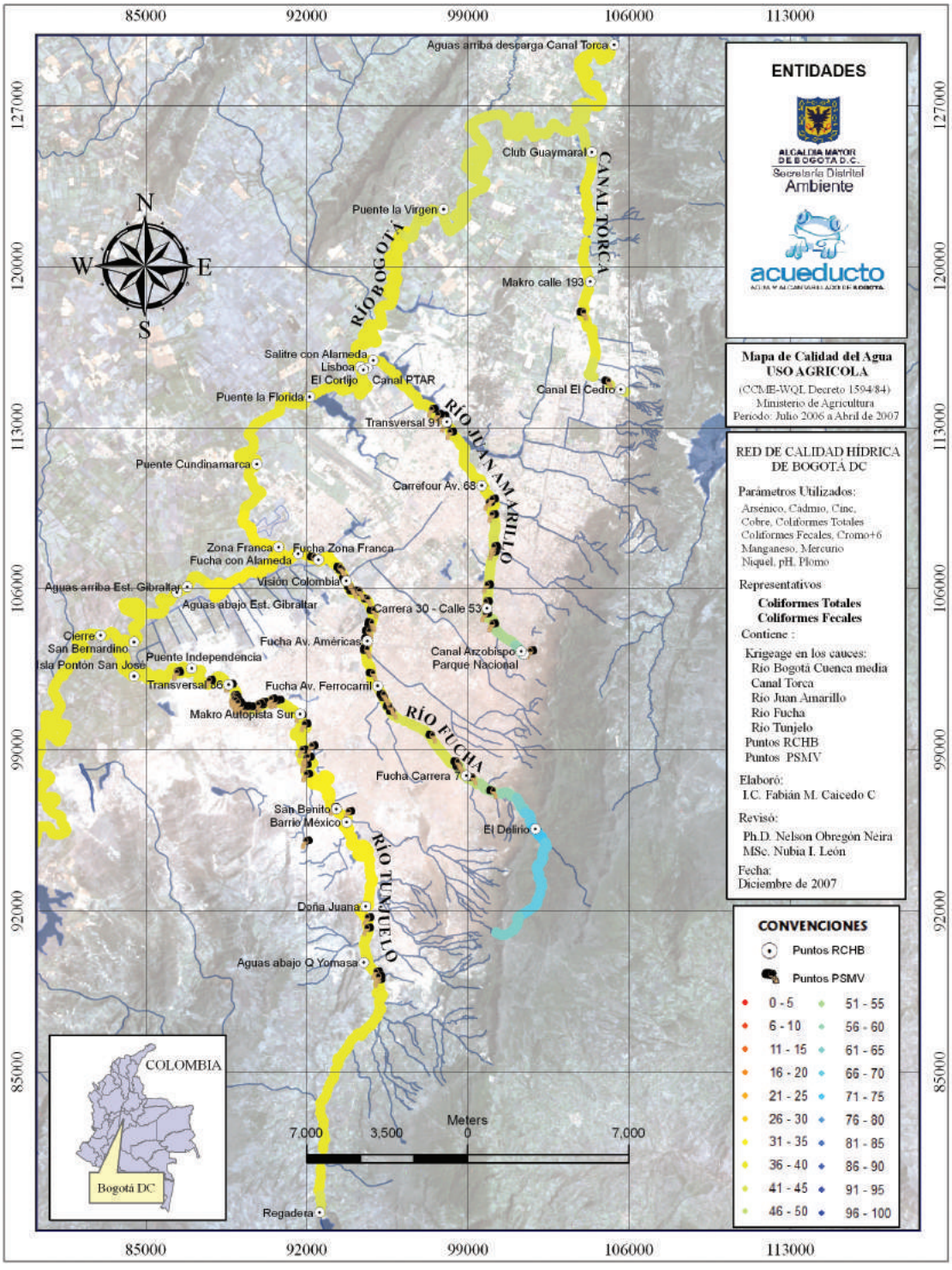
En tiempo de lluvia la calidad del agua en las corrientes evaluadas mejoró notablemente en comparación con el global de los datos y con el tiempo seco. De esta forma, en el canal Torca, en El Cedro, se reportó una categoría de agua aceptable para la preservación de la vida acuática, se halló entre 66 y 70 puntos; en Makro calle 193 entre 51 y 55 puntos y en Club Guaymaral entre 46 y 50 puntos. En estos dos últimos se determinó una categoría marginal (*ver Mapa 43*).

En el río Salitre, en el Parque Nacional y carrera 7ª Arzobispo, se determinó una categoría aceptable; en la carrera 30 con calle 53 entre 51 y 55 categoría marginal, y en los puntos Carrefour avenida 68, transversal 91 y Puente Alameda, categoría pobre. En el río Fucha, en el punto El Delirio en la carrera 7ª río Fucha categoría marginal. A partir de la avenida Ferrocarril el río continuó con la categoría pobre.

En forma similar, para el río Tunjuelo, en el punto La Regadera la calidad del agua fue marginal, después de la quebrada Yomasa continuó en la categoría marginal; en Doña Juana, Barrio México y San Benito se determinó en categoría pobre y en el resto del río continuó con esta misma clasificación hasta la entrega al río Bogotá.

En el río Bogotá, en el tramo entre aguas arriba de la descarga del canal Torca y Puente La Virgen la calidad se encontró en categoría marginal, y a partir de Lisboa hasta El Cierre, la categoría fue pobre.

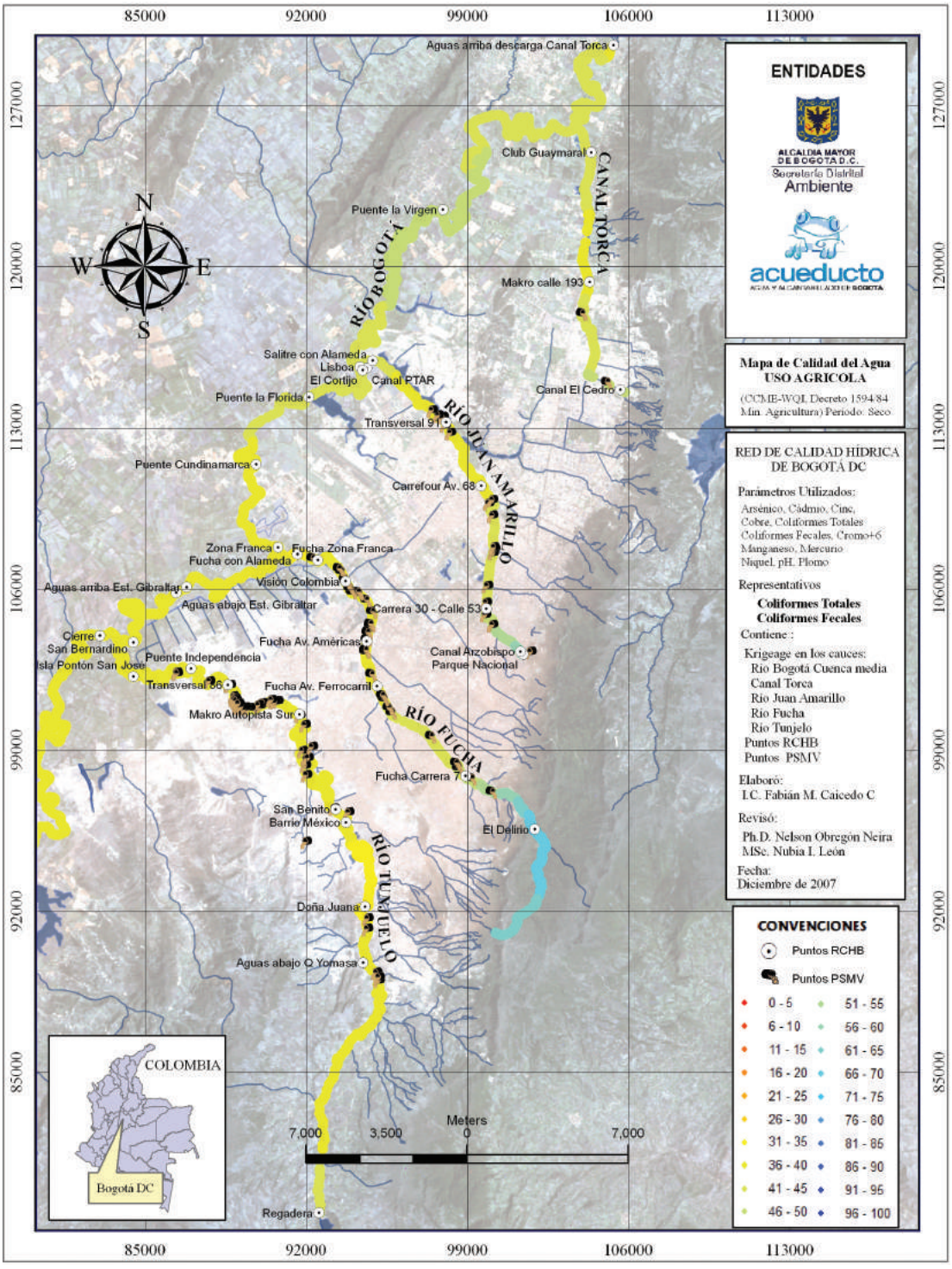
MAPA 37. **Uso agrícola para todos los ríos en estudio. Mapa global**



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

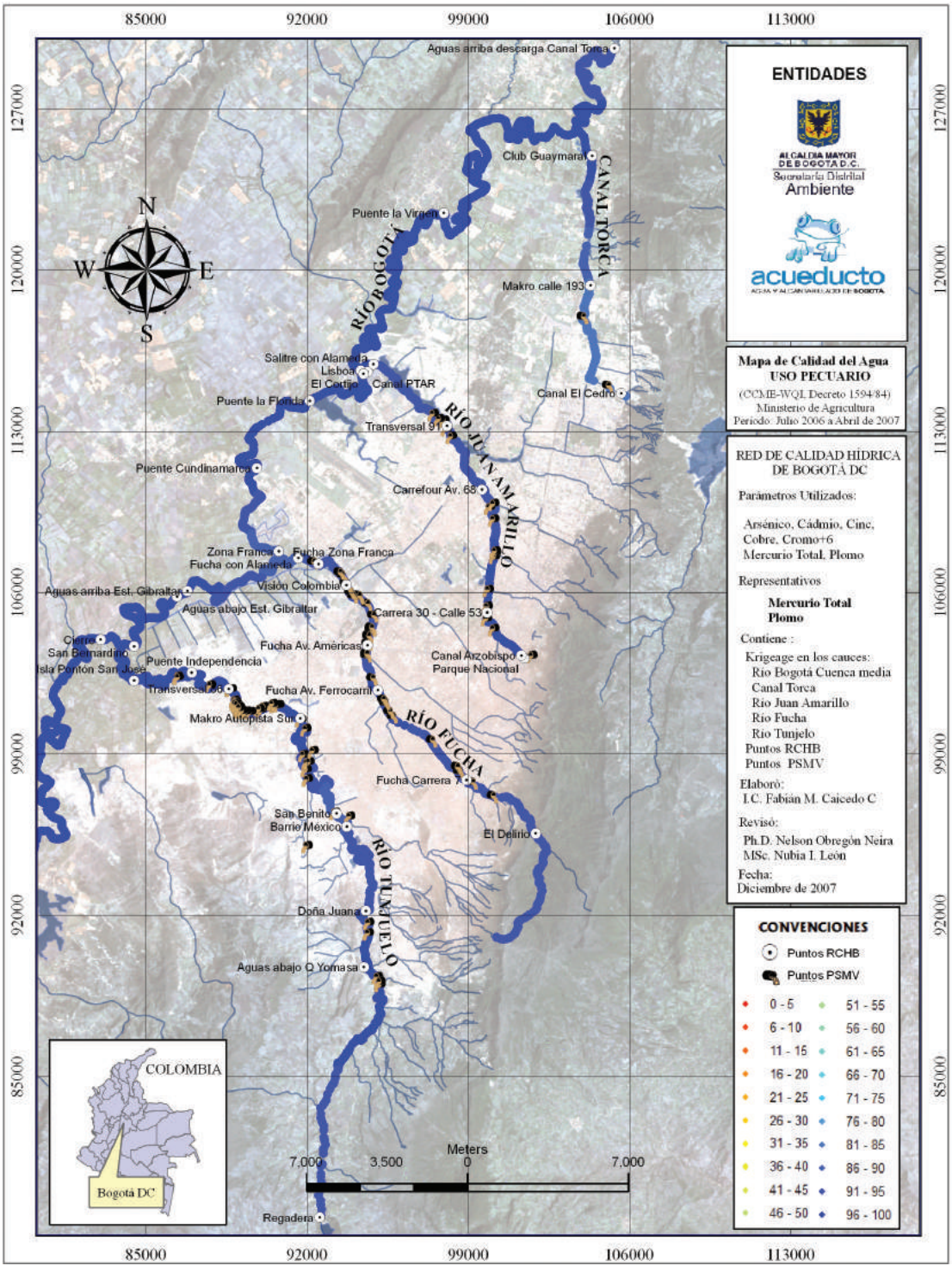
MAPA 38. **Uso agrícola para todos los ríos en estudio. Período seco**



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

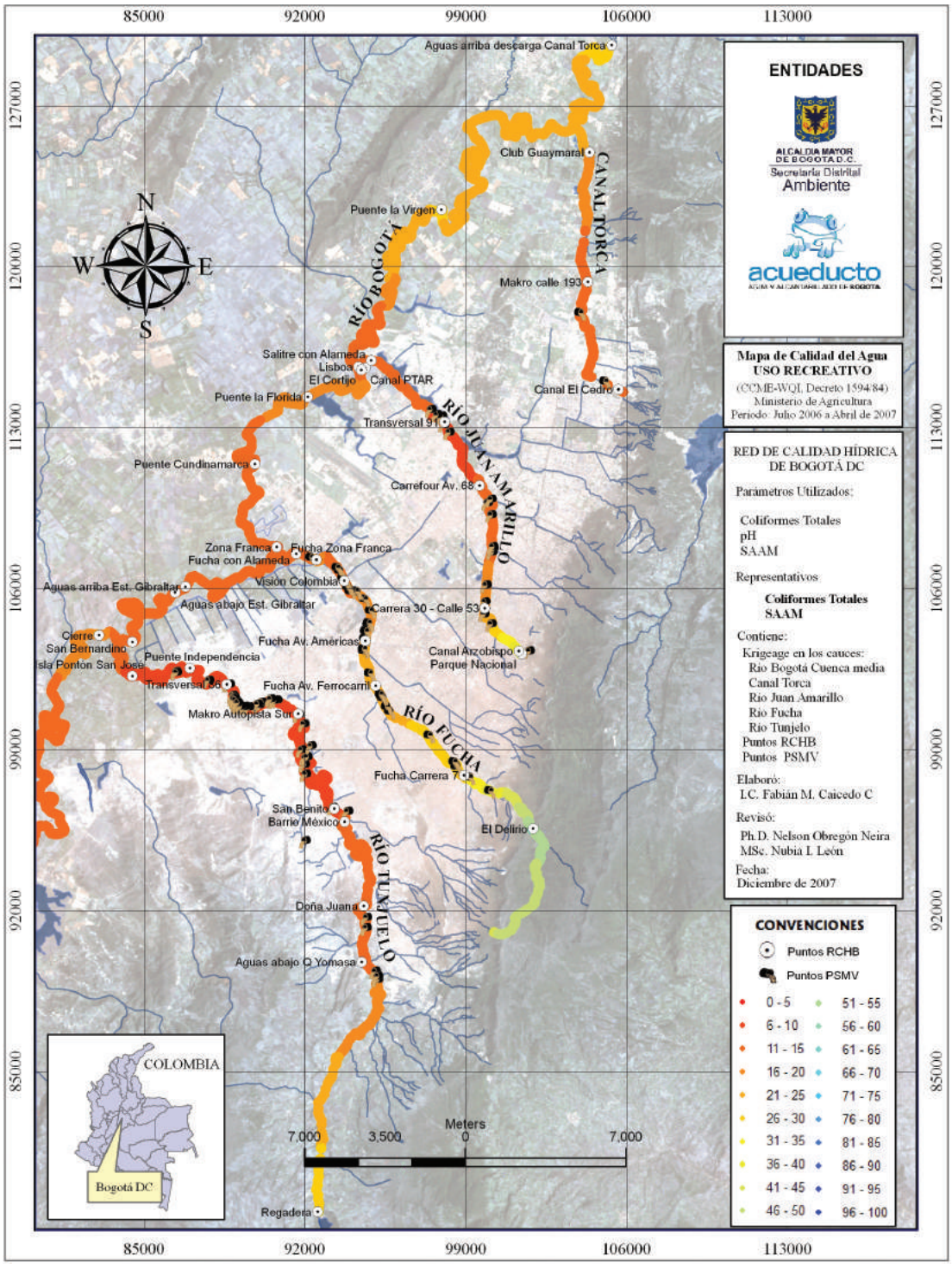
MAPA 39. Uso pecuario para todos los ríos en estudio. Mapa global



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

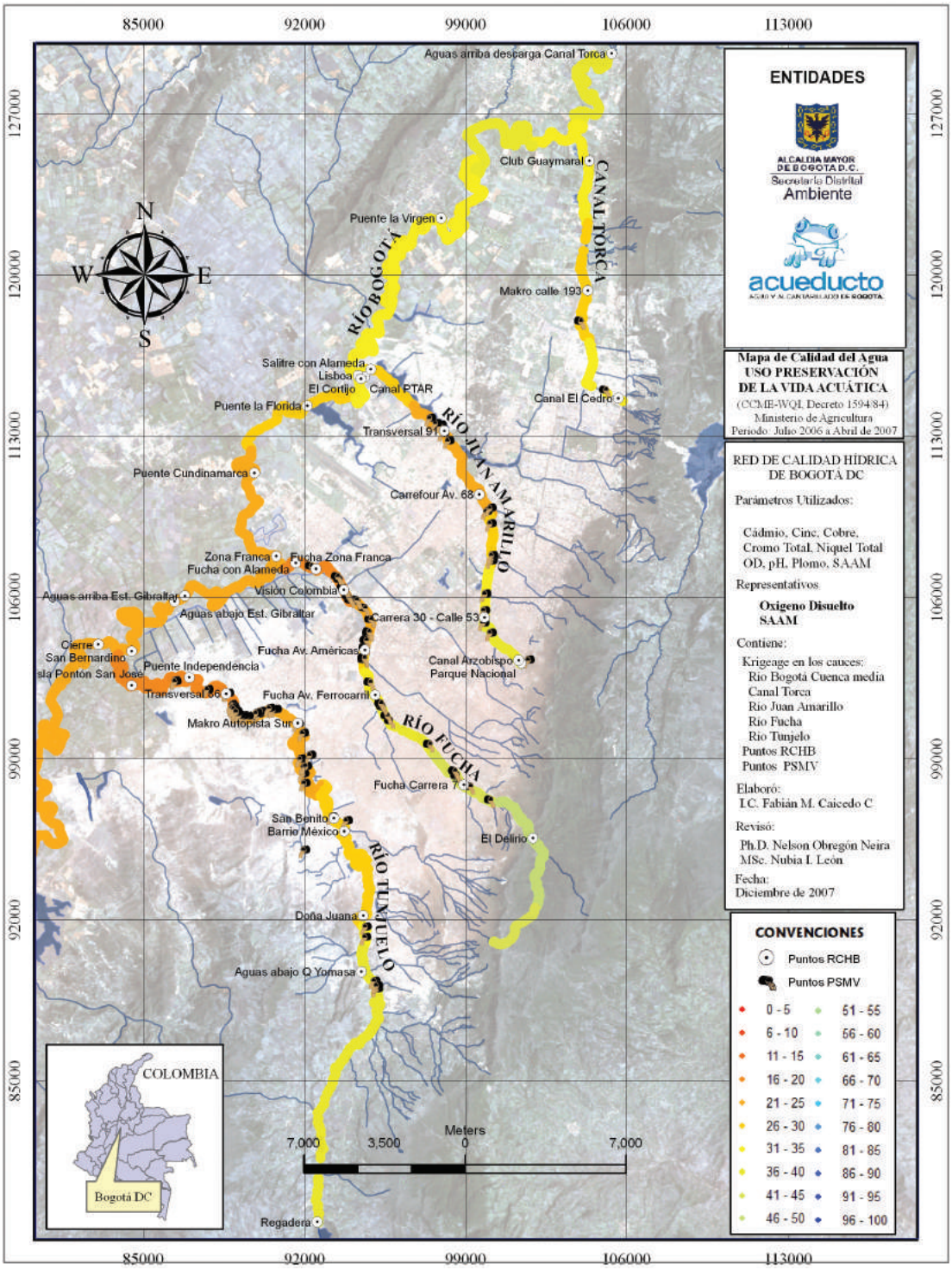
MAPA 40. Uso recreativo mediante contacto secundario para todos los ríos en estudio. Mapa global



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

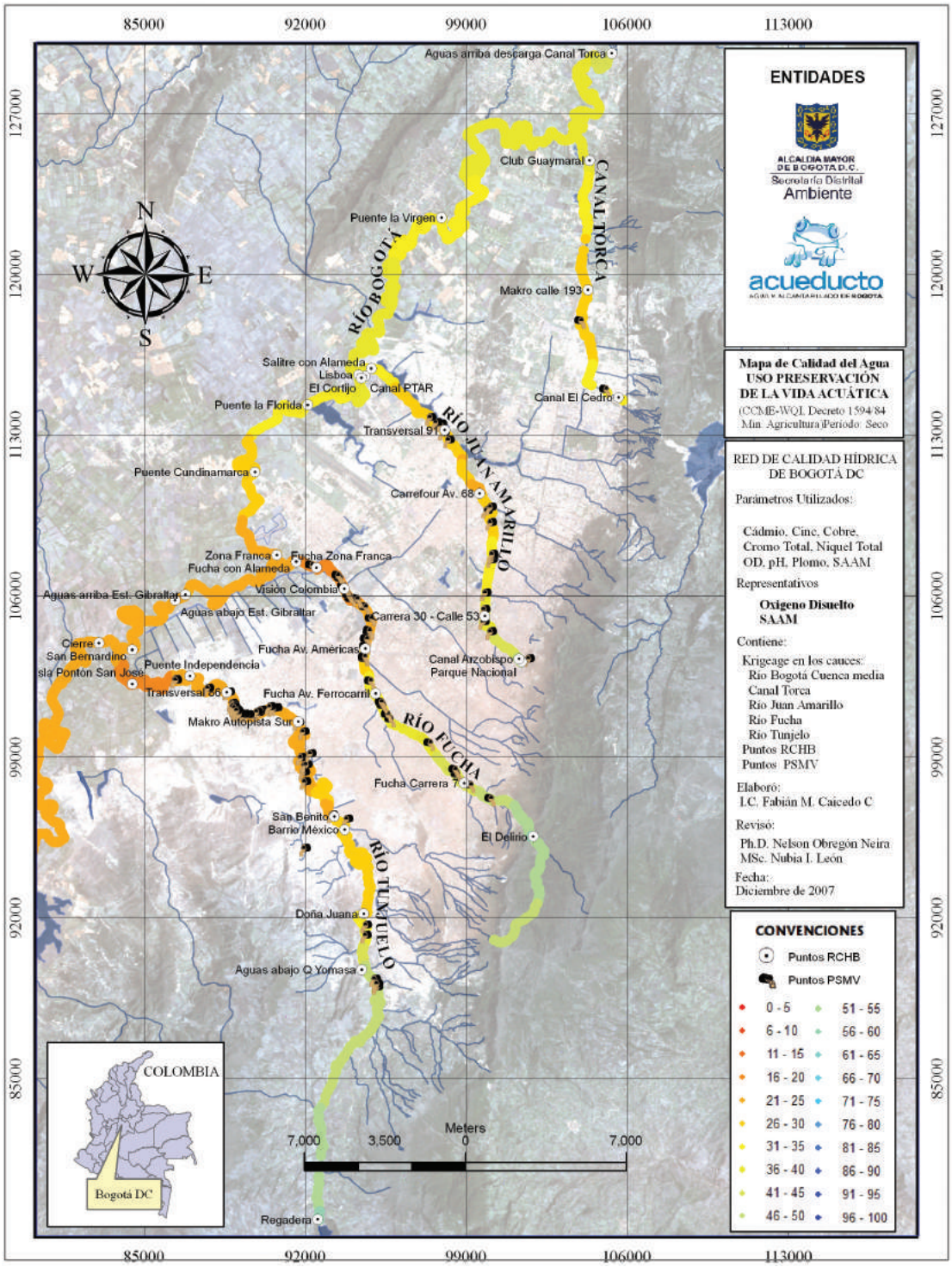
MAPA 41. Uso para la preservación de la vida acuática para todos los ríos en estudio. Mapa global



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

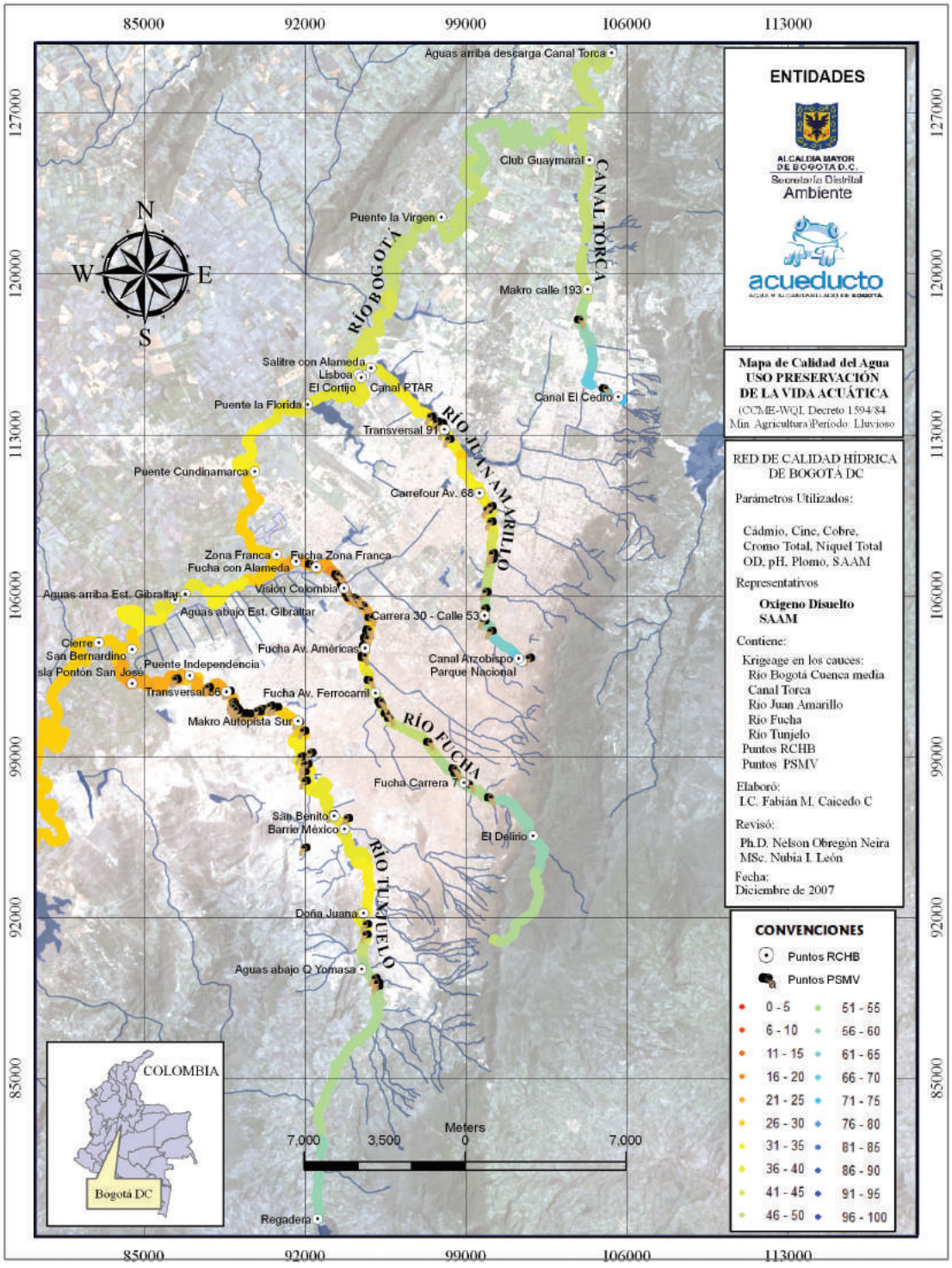
MAPA 42. Uso para la preservación de la vida acuática para todos los ríos en estudio. Período seco



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP..

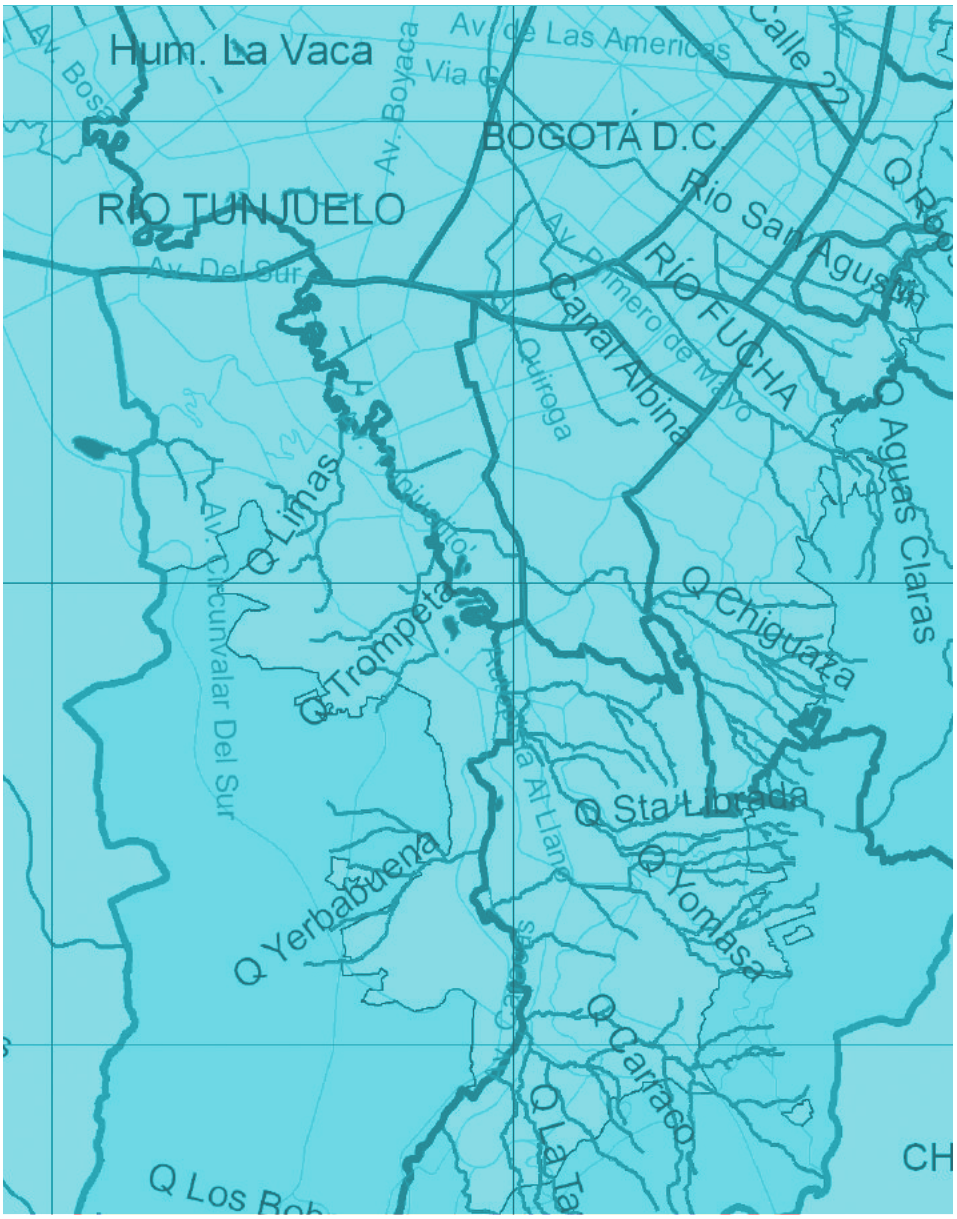
MAPA 43. Uso para la preservación de la vida acuática para todos los ríos en estudio. Período lluvioso



Nota: Categoría de clasificación es excelente (95-100), buena (80-94), aceptable (65-79), marginal (45-64) y pobre (0-44).

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

8 Consideraciones



Consideraciones

Consideraciones generales

En esta publicación se generó el comportamiento de concentración y carga en los trayectos del canal Torca y de los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y cuenca media del río Bogotá, determinando 20 datos por punto en 37 totales evaluados durante 36 semanas de monitoreo.

El diseño de monitoreo aleatorio aplicado permitió realizar una logística flexible y representativa en la evaluación del Sistema Hídrico de Bogotá, logrando cubrir todas las variables y factores relacionados con el monitoreo en cada río.

Al evaluar estadísticamente las variables del diseño de monitoreo se determinó que el día es la variable que presenta la menor incidencia en los resultados del monitoreo y que las variabilidades se presentan especialmente en las diferentes jornadas, en los puntos intermedios y últimos de los ríos evaluados.

En el análisis estadístico básico aplicado a la información generada en la RCHB se usaron tres herramientas: estadística descriptiva, pruebas de hipótesis y análisis por conglomerados, esto permitió comparar el comportamiento de cada parámetro entre los ríos evaluados y observar en forma integral en cuáles se presentaban comportamientos extremos atípicos y en qué rango de concentraciones se encontraba el 75% de los datos por punto sobre cada fuente superficial.

El análisis espacial de la información en cada río permitió establecer si existían diferencias significativas en concentraciones y cargas por jornadas, y establecer en cuáles puntos era importante realizar el monitoreo en diferentes jornadas.

El análisis espacial de los valores en carga para cada punto por parámetro y río permitió determinar cuál era el factor que tenía mayor efecto, si la concentración o el caudal, o en algunos casos las dos variables.

El análisis temporal de los datos de calidad y caudal en cada río posibilitó establecer las tendencias que se podían presentar en el seguimiento en las diferentes jornadas durante la semana, con lo que se pudo observar entre qué

rangos de concentración se encontraba el río a través de su recorrido respecto a los 29 parámetros determinados (fisicoquímicos y bacteriológicos).

Especialmente, en el río Fucha se presentaron mayores concentraciones y cargas desde la avenida Las Américas el día sábado; esto se puede asociar a las actividades productivas y de mantenimiento que realiza el sector productivo ubicado en esta zona.

Al combinar la información generada en el seguimiento de la RCHB y la información hidrológica que tiene la EAAB-ESP, se logró establecer correlaciones y corroborar el efecto de la precipitación sobre la dilución o arrastre de material en algunos puntos evaluados en los ríos en estudio.

Según el análisis de conglomerados, se observó que el comportamiento de la temperatura sobre los cauces evaluados está en un rango entre 14 y 19 °C, con valores mínimos extremos de 8 °C en El Delirio, sobre el río Fucha, y máximos de 23 °C en todos los ríos. Estas variaciones se deben a las condiciones climáticas donde están ubicados los 37 puntos de la RCHB, presentándose de esta manera las mínimas en los puntos iniciales sobre los ríos, los cuales están localizados en zonas naturales de bosque.

Al realizar un análisis integral del pH en las corrientes estudiadas, se observó estadísticamente que los ríos registraron el 75% de los valores entre 6,8 y 8,7 unidades y que el río Tunjuelo presentó en general valores promedio mayores a 8 unidades. Este comportamiento se observó a partir del punto Doña Juana. Uno de los principales factores que pudo promover esta condición son las descargas de la industria extractiva ubicada en la zona aferente del río Tunjuelo.

Respecto a los sólidos sedimentables, en la comparación del diagrama de cajas se observó que el canal Torca, río Salitre y la cuenca media del río Bogotá, registraron valores menores a 2,5 ml/l; los ríos Fucha y Tunjuelo presentaron el 75% de los valores entre 0,5 y 10,4 ml/l, con una excepción de un valor atípico de 70 ml/l en Doña Juana (río Tunjuelo). Este valor se debió a velocidades bajas y a la descarga de la industria extractiva ubicada aguas arriba del punto en mención.

El análisis estadístico, a través del diagrama de cajas, ilustró que las concentraciones de OD presentaron los menores valores en la cuenca media del río Bogotá respecto a las evaluadas, registrando el 75% de los valores entre 1,3 y 2 mg/l. Lo anterior se presentó porque el río Bogotá al entrar al perímetro urbano ya ha recibido el efecto de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y los vertimientos puntuales difusos que se generan por las actividades antrópicas en la parte alta del río.

Los resultados estadísticos indicaron que entre los ríos existen diferencias significativas en los valores de la DQO y la DBO_5, presentándose diferencias entre el río Fucha y los demás ríos. El río Fucha registró el 75% de los datos en un rango entre 100 y 250 mg/l de la DBO_5 respecto a los otros, que presentaron concentraciones sólo hasta 140 mg/l.

En cuanto a la DQO el comportamiento entre los ríos es similar a la DBO_5, donde el río Fucha presentó las mayores concentraciones con el 75% de los datos entre 100 y 500 mg/l respecto a los otros, que reportaron un rango entre 100 y 400 mg/l. Esto se presentó porque en el río Fucha existe la mayor densidad del sector productivo y los mayores receptores de las descargas de aguas residuales.

Según la evaluación estadística de la RCHB, el parámetro de grasas y aceites no presentó variación significativa entre los ríos, sólo se determinaron valores puntuales extremos en el río Fucha, en el río Bogotá en la cuenca media y en el río Tunjuelo según los resultados. Los valores promedio oscilaron entre 13 y 237 mg/l.

En la comparación con el diagrama de cajas se observó que los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo presentaron el 75% de los valores promedio de amonio entre 10 y 40 mg/l; el canal Torca entre 10 y 30 mg/l y la cuenca media del río Bogotá entre 10 y 20 mg/l.

Los ríos Salitre, Tunjuelo y Fucha registraron las mayores concentraciones de amonio, al compararlas con el canal Torca y la cuenca media del río Bogotá, puesto que las primeras son las receptoras de la mayoría de las descargas de aguas residuales que genera la ciudad. En las segundas, por el contrario, se generan procesos de desnitrificación por el paso de los humedales en el canal Torca y por las condiciones anóxicas en el río Bogotá en la cuenca media[24].

En el análisis de comparación de fósforo total entre los ríos se presentaron diferencias significativas, especialmente entre el río Tunjuelo y los demás. En el río Tunjuelo se reportaron valores extremos máximos en Doña Juana, con valores entre 0,3 mg/l hasta 292 mg/l, y valores promedio de 53 mg/l; esto se asoció al aporte de las descargas aguas arriba (industria extractiva y lixiviados tratados del relleno sanitario Doña Juana).

En la evaluación de la RCHB no hubo diferencias significativas entre las cinco fuentes evaluadas en los valores encontrados de tensoactivos (SAAM). Se hallaron valores promedio entre 2,1 y 2,8 mg/l, con valores máximos hasta de 7 mg/l en los ríos Fucha y Tunjuelo, valores que son representativos de un agua residual doméstica[25].

El análisis estadístico del cianuro en todos los puntos evaluados sobre los cauces mostró que no existen diferencias significativas en concentración entre ellos. Las trazas que se registraron estuvieron entre No Detectable (ND) y 0,075 mg/l.

Según la comparación estadística integral se observó que no existen diferencias significativas en los valores de fenoles totales entre los ríos evaluados, en general, se determinaron entre No Detectable (ND) y 1,7 mg/l.

Respecto a los metales como el cobre, el níquel, el manganeso, el plomo y el zinc, se determinó que no hay diferencias significativas en las concentracio-

24 Universidad Autónoma de Madrid, disponible en www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/mn.html, p. 1.

25 Klockmann, F. y P. Ramdohr. Tratado de mineralogía. Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1955, p. 716.

nes determinadas en las fuentes evaluadas; solamente se registraron eventos puntuales con valores extremos en manganeso en todos los ríos, excepto en el canal Torca. Lo anterior se debe a que este metal está presente en la estratificación del suelo como pirolusita, en la industria metalúrgica, en la fabricación de baterías secas, en usos químicos (fertilizantes), en la producción de acero, entre otros[26].

En los 37 puntos de la RCHB se observó, al comparar los ríos, que la concentración del bario no presentó diferencias significativas, aunque se hallaron valores extremos en los ríos Salitre, en el punto Arzobispo (por evento de lluvia), y en el Tunjuelo, específicamente en Doña Juana (posiblemente por la industria extractiva ubicada aguas arriba del punto de monitoreo). En general, los ríos presentaron valores entre 0,08 y 0,6 mg/l.

En el seguimiento de los ríos se observó que, incluso a la entrada del perímetro urbano, los sistemas ya tienen un grado de contaminación bacteriológica de hasta 10^4 NMP/100 ml, y a la salida del perímetro urbano entre 10^6 y 10^8 NMP/100 ml.

Canal Torca

En el canal Torca se evaluó la calidad y la cantidad del río a través de su recorrido en tres puntos denominados canal El Cedro, Makro calle 193 y Club Guaymaral.

La temperatura en general se registró, en promedio, entre los 16 y los 18 °C, situación acorde con las condiciones climáticas presentes durante las jornadas de monitoreo. Asimismo el pH osciló entre 7,3 y 7,9 unidades en los tres puntos analizados de la RCHB sobre el canal, y el comportamiento generalizado de los sólidos sedimentables fue menor a 0,5 ml/l-hora, excepto en una muestra puntual en Makro calle 193 que se determinó en 4,5 ml/l-hora.

La DBO_5 en el punto Makro calle 193 presentó los mayores valores llegando a 220 mg/l y un valor promedio de 110 mg/l, mientras que los otros dos puntos tienen valores promedio entre 11 mg/l (en el canal El Cedro) y 57 mg/l (en el Club Guaymaral a la entrega al río Bogotá). Según los resultados, el humedal funciona como un sistema de tratamiento natural, removiendo el 52% de la materia orgánica biodegradable. Igualmente, se observó que los valores promedio de la DBO_5 determinados no sobrepasan el valor de referencia (valor 200 mg/l, Resolución 1813 de 2006 del DAMA).

El comportamiento de la DQO en el recorrido presentó valores promedio de 31 mg/l en el punto El Cedro y 140 mg/l, en el Club Guaymaral. En Makro calle 193 la concentración de materia orgánica fue mayor a los otros puntos, con un valor promedio de 285 mg/l y un valor extremo de 832 mg/l, en la jornada de la tarde en tiempo seco.

26 Esta información se encuentra en http://www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/mn.html y en www.pdvsa.com/lexico/museo/minerales/manganeso.htm

En el canal El Cedro, en promedio, los SST se determinaron en 28 mg/l. En Makro calle 193 también se presentó el mayor valor promedio de SST (118 mg/l) por el aporte de las aguas residuales domésticas. Al igual que la materia orgánica, los sólidos presentaron una disminución por sedimentación cuando el río pasa por los humedales y de esta manera vierte al río Bogotá en promedio 62 mg/l. Lo anterior indica que los humedales Torca y Guaymaral funcionan como sistemas de tratamiento natural que aportan remoción de algunos componentes tales como materia orgánica, sólidos y nutrientes.

De los 3 puntos evaluados en el canal, Makro calle 193 registró las mayores concentraciones por la DQO, la DBO_5, los SST y los nutrientes, lo cual índica que este punto fue el que presentó el mayor grado de contaminación por las descargas de aguas residuales que recibe el cauce.

En el canal El Cedro se registraron valores promedio de OD de 5 mg/l, y en Makro calle 193 se registraron las mayores concentraciones de materia orgánica y nutrientes, consumiéndose así la mayor parte del oxígeno, por eso mostró valores promedio de 2 mg/l y luego, al pasar el río por los humedales, entrega al río Bogotá con valores promedio de 0,9 mg/l.

En cuanto a los nutrientes, en el canal El Cedro se presentó un valor promedio de fósforo y nitrógeno total de 1,2 y 4 mg/l respectivamente; al paso por el punto Makro calle 193 aumentó la concentración de éstos a 4,5 y 32 mg/l. En los humedales Torca y Guaymaral, estos sistemas utilizan parte de los nutrientes en procesos metabólicos y benefician al río en el canal Torca reduciéndolos a la entrega del río Bogotá a valores promedio de 3,3 y 20,2 mg/l respectivamente.

Al evaluar los metales en los 3 puntos sobre el canal, según los resultados, se observó que los metales presentaron trazas que oscilaban de la siguiente manera: el bario entre 0,06 y 0,071 mg/l, el cobre entre 0,01 y 0,018 mg/l, el manganeso desde 0,05 hasta 0,09 mg/l, el plomo desde 0,03 hasta 1,3 mg/l, y el zinc entre 0,06 y 0,10 mg/l. Estos valores de metales totales cumplieron los límites permisibles para el uso agrícola, pecuario y los establecidos en las sustancias de interés sanitario, excepto un valor en el canal El Cedro que presentó una concentración puntual atípica de 7,8 mg/l de plomo (Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura, artículos 40 y 41).

Aunque el uso pecuario se consideró como el más viable de todos los estudiados en la cuenca, se debe resaltar que se presentaron dos eventos puntuales que tienen como particularidad que se registraron en enero de 2007 en diferentes jornadas, en el canal El Cedro y en Makro calle 193 reportando concentraciones de plomo mayores a las establecidas en la norma (artículo 41, Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura).

El canal El Cedro presentó variabilidades extremas respecto a algunos parámetros fisicoquímicos, tales como pH, grasas y aceites, amonio, trazas de bario, cadmio, cianuro, cobre, cromo, zinc, níquel, un valor extremo de plomo (7,8 mg/l), sólidos suspendidos (138 mg/l), fósforo, coliformes totales, E. Coli y mercurio. Todo esto indica que aguas arriba y en las cercanías de este punto

se están desarrollando actividades diferentes a las domésticas y que la zona aferente a este mismo punto requiere de una inspección de las actividades que se realizan actualmente y que están generando aguas residuales con características industriales.

El comportamiento temporal analizado en el punto Club Guaymaral permitió inferir que no hay variabilidad en las jornadas, pero los mayores valores en carga y concentración se presentaron entre semana.

Río Salitre

En general, la evaluación espacial en los 7 puntos sobre el río Salitre, refleja que los primeros puntos Parque Nacional y Arzobispo carrera 7ª no presentaron diferencias en concentración y carga por jornada; el comportamiento fue similar entre el fin de semana y semana en la mayoría de los parámetros determinados, excepto en los valores bacteriológicos.

Igualmente, se analizó que a partir de la carrera 30 con calle 53 la calidad fisicoquímica y bacteriológica de la corriente registró variabilidad por jornada, y temporalmente se observó que las mayores concentraciones y cargas se presentaron entre semana.

El punto denominado planta Salitre, que corresponde al canal de aguas mínimas, presentó variabilidad por jornadas y temporalmente se observó el mismo comportamiento entre semana que en fin de semana. En la mayoría de parámetros fisicoquímicos este punto presentó concentraciones y cargas mayores a los puntos determinados sobre el río Juan Amarillo antes de descargar al río Bogotá.

Las consideraciones de este río empiezan con la temperatura que, en promedio, fluctuó entre 12,1°C, en el Parque Nacional, y 17,6ºC, en Salitre con Alameda. Igualmente el pH registró en promedio entre 6,51 unidades en Parque Nacional, y 7,55 unidades en Puente Alameda. Asimismo los sólidos sedimentables variaron entre 0,5, también en Parque Nacional, y 2,50 ml/l-hora, en Puente Alameda, esto asociado a bajas velocidades y a la sedimentación en este punto.

La DQO al inicio del río pasó de valores promedio de 16 mg/l, en el primer punto de monitoreo, a valores promedio de 316 mg/l, a la descarga al río Bogotá. Estos valores son característicos, en general, por la presencia de aguas residuales y por su influencia especialmente a partir de la carrera 30 con calle 53 (rango entre 350 a 750 mg/l, valores medios de 550 mg/l[27]).

La DBO_5 al inicio de la corriente pasó de valores promedio entre 7 mg/l, en el Parque Nacional, y fue aumentando, desde la carrera 30 con calle 53, a valores promedio de 134 mg/l a la entrega al río Bogotá. Estos valores son ca-

27 Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. *Seminario-Taller Diseño de alcantarillados de alta tecnología*. Bogotá, mayo de 2002, pp. 330-334.

racterísticos de aguas residuales (rango entre 200 a 400 mg/l, valores medios de 330 mg/l[28]).

En el río el punto que registró las mayores concentraciones promedio de materia orgánica (DQO y DBO_5), nutrientes y sólidos fue el de Carrefour avenida 68, ya que este punto lleva las mayores cargas generadas por los vertimientos identificados en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV del 2006 de la EAAB-ESP).

Los SST en promedio fueron bajos en el Parque Nacional; en general, se presentaron valores altos en algunos de los puntos, asociados a eventos y antecedentes de lluvia, lo que indica el arrastre de material al cauce por escorrentía. En promedio, al inicio de la corriente se determinaron 3 mg/l y a la entrega al río Bogotá se registraron en 288 mg/l.

Para uso agrícola la generalidad de los metales totales (arsénico, cadmio, zinc, cobre, manganeso, níquel y plomo) determinados sobre el cauce, no sobrepasan los límites establecidos. Los únicos parámetros que sobrepasaron para este uso son los valores bacteriológicos en toda la corriente (coliformes totales y E. Coli).

Respecto al uso pecuario la generalidad de los metales totales (arsénico, cadmio, zinc, cobre, mercurio y plomo) determinados en el recorrido del río no sobrepasaron los valores establecidos en la normatividad vigente. Es importante resaltar que para este uso la norma no incluye los aspectos bacteriológicos.

Al comparar los resultados determinados en el trayecto del río respecto a las sustancias de interés sanitario, se observó que no sobrepasaron los valores admisibles en el arsénico, el bario, el cadmio, el cromo hexavalente, el cobre, el mercurio, el plomo y el cianuro (Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura).

Al comparar los objetivos de calidad proyectados en el río Salitre para el 2011 con los valores promedios obtenidos de la la DBO_5, se observó que en el tramo 1 por efectos puntuales en época de lluvia, las concentraciones pueden sobrepasar el valor establecido en la normatividad, ya que el valor promedio obtenido fue de 7 mg/l, con un valor extremo de 16 mg/l. Los valores promedio de los otros tramos no exceden los límites establecidos, según la Resolución 1813/2006 del DAMA.

Los resultados promedio de OD y pH en la fuente superficial no sobrepasan los valores límites establecidos en los objetivos de calidad.

Ahora, respecto a los SST se observó que para el tramo 4, desde Carrefour avenida 68 hasta Salitre con Alameda, se excede el valor establecido de 100 mg/l. El resto de tramos del río no sobrepasan los valores admisibles establecidos en la norma.

28 *Ibídem.*

Río Fucha

En el inicio de la cuenca, en El Delirio, se registraron los valores más bajos de temperatura en comparación con los otros puntos de la RCHB. Debido a la ubicación en zona boscosa, los valores fluctuaron, en promedio, entre 11,5 °C (El Delirio) y 17,6 ºC (La Alameda, a la entrega del río Bogotá). Igualmente, el pH, en promedio, varió entre 6,92 unidades (El Delirio) y 7,72 unidades (La Alameda), y los sólidos sedimentables reportaron valores promedios entre 0,5 y 2,24 ml/l-hora a la entrega al río Bogotá.

Esta corriente, en El Delirio, presentó valores promedio de 17 mg/l de la DQO y 7 mg/l de la DBO_5; desde la carrera 7ª río Fucha se observó el aumento de concentración de la materia orgánica por las descargas que recibe, tales como el canal Los Comuneros y los interceptores Fucha, Boyacá, el Sur y Kennedy, y las descargas industriales que llegan cerca a la Clínica de la Paz, aumentando de esta manera las concentraciones en la entrega del río Bogotá a 621 mg/l de la DQO y 243 mg/l de la DBO_5. El seguimiento permitió observar que en el río se presentaron las mayores concentraciones respecto a materia orgánica total y biodegradable a partir del punto Visión Colombia hasta Fucha con Alameda, a la entrega del río Bogotá.

Los SST reportaron a la entrada del perímetro urbano el mismo comportamiento de la materia orgánica. A la entrada del perímetro urbano con un valor promedio de 4 mg/l y a la entrega al río Bogotá se determinó una concentración promedio de 189 mg/l. Igualmente, se registraron las mayores concentraciones a partir de Visión Colombia. El valor extremo de los SST se presentó en la avenida Ferrocarril (6.228 mg/l), debido a un antecedente de lluvia, según el récord histórico de precipitación[29].

Respecto a los nutrientes, en El Delirio se presentaron valores promedio de fósforo total de 0,06 mg/l y en Fucha con Alameda de 8,1mg/l a la entrega en el río Bogotá. El nitrógeno total estuvo entre 1,3 y 47 mg/l, observando que a partir de Visión Colombia el río presenta características de aguas residuales domésticas.

Con base en los resultados obtenidos de los metales en el río Fucha, se observó que los rangos de concentración que se registraron fueron: el bario entre 0,03 y 0,07 mg/l, el cobre desde 0,012 hasta 0,076 mg/l, el manganeso entre 0,04 y 0,2 mg/l, el plomo entre 0,04 y 0,06 mg/l con un valor extremo de 1,79 mg/l en la jornada de la noche del 10 de enero de 2007, y el zinc osciló entre 0,05 y 0,64 mg/l. Las concentraciones determinadas en los metales relacionados no exceden los límites permisibles para uso agrícola, pecuario y los establecidos para sustancias de interés sanitario (Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura).

En el seguimiento de los 7 puntos se determinó que el río Fucha registró los mayores valores por concentración y caudal a partir de Visión Colombia; esto debido a que desde este punto el río ha recibido el 80% de la carga en SST

29 EAAB-ESP. *Área de hidrología*. Bogotá, 2007.

y DBO_5 respecto a todo el trayecto del río, según lo registrado en el PSMV de la EAAB-ESP de 2006.

En el análisis general y espacial del río Fucha se observó en los puntos El Delirio y carrera 7ª río Fucha que no se presentaron variabilidades en el comportamiento de la concentración y carga por jornada, y temporalmente presentaron valores similares entre semana y fin de semana, en la mayoría de parámetros determinados.

A partir de la avenida Ferrocarril se registró una variabilidad en el perfil de concentración y carga en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos determinados, y en lo temporal se presentaron las mayores concentraciones y cargas el día sábado, especialmente en Fucha Zona Franca y Fucha Alameda, en relación con la DBO_5, los SST (valor extremo de 1.000 mg/l), el bario, el manganeso, el níquel y el zinc.

Según los resultados bacteriológicos y la normatividad vigente solamente el primer punto del río es apto para los usos agrícola, pecuario y recreación mediante contacto secundario; el resto de puntos, por los valores de coliformes totales y E. Coli (10^4 a 10^8 NMP/100 ml), son aptos sólo para uso pecuario, ya que este uso en la normatividad vigente no contempla el aspecto bacteriológico (Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura).

Al analizar espacialmente la cuenca se observó que las cargas presentaron comportamientos similares entre los puntos El Delirio y Fucha carrera 7ª, luego, entre avenida Ferrocarril y Fucha avenida Las Américas, y los últimos 3 puntos desde Visión Colombia hasta Fucha con Alameda, donde aumentaron las cargas y concentraciones en la mayoría de los parámetros determinados por la recepción de las descargas de los interceptores.

En el río Fucha se observó temporalmente que las mayores concentraciones, o valores extremos, se reportaron el día sábado en lo concerniente al bario, el cobre, el níquel, el nitrógeno total, los sulfuros, la DBO_5 y la DQO.

Según los resultados obtenidos en el río Fucha se determinó que en El Delirio (tramo 1) no se sobrepasaron los valores límites establecidos en los objetivos de calidad (Resolución 1813/2006 del DAMA).

En el tramo 2 de esta corriente, en la carrera 7ª río Fucha la calidad no supera los límites establecidos en los objetivos de calidad. Sin embargo, en la avenida Ferrocarril se registraron concentraciones de SST entre 15 y 6.228 mg/l, con un valor medio de 445 mg/l, siendo este punto y parámetro el único que sobrepasa la normatividad vigente (valor norma 250 mg/l. Resolución 1813/2006 del DAMA).

Después de analizar cada una de las jornadas se concluyó que para la cuenca del río Fucha en particular los valores más altos en carga y concentración fueron obtenidos en la jornada de la tarde y el día sábado.

Río Tunjuelo

En el análisis espacial del cauce se determinó que el único punto que presentó concentraciones y cargas, sin diferencias significativas entre los datos de carga y concentración, fue La Regadera. El resto de puntos presentaron variabilidad en las diferentes jornadas de muestreo.

En el análisis temporal de la calidad del río Tunjuelo se evaluó que la variabilidad de concentraciones y carga entre semana son similares a las que se determinaron en el fin de semana.

La temperatura en el río Tunjuelo, en promedio, fluctuó entre los 14,2 ºC (La Regadera) y los 17,5 ºC (Isla Pontón San José). En cuanto al pH varió entre 6,93 unidades (La Regadera) y 8,36 unidades (en la entrega al río Bogotá). En este parámetro se determinó que a medida que el río avanza en el abscisado se incrementa la tendencia del pH hasta llegar a valores básicos, esto se asoció a la descarga del interceptor Tunjuelo Medio que recibe los vertimientos de origen industrial y doméstico del área aferente, incluyendo los generados por las curtiembres del barrio San Benito. Los sólidos sedimentables fluctuaron entre 0,5 (La Regadera) y 3,51 ml/l-hora (Isla Pontón San José) registrando, en promedio, el mayor valor en el punto denominado Doña Juana (13,3 ml/l-hora), relacionado con las descargas de la industria extractiva.

En el río Tunjuelo, al analizar el perfil de la de la DBO_5 y la DQO, se observaron diferencias significativas entre dos grupos de puntos: el primero, conformado por La Regadera, Yomasa, Doña Juana, Barrio México, San Benito y Makro Autopista Sur, grupo que se diferenciaba por tener los menores valores en concentración en comparación con el segundo grupo, éste último constituido por transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José.

En cuanto a la DBO_5 se refiere, el comportamiento al inicio de la corriente fue, en promedio, de 2 mg/l y a la entrega al río Bogotá de 195 mg/l. De forma similiar ocurrió con la DQO, al inicio se determinó en promedio en 19 mg/l y al final de la cuenca en 568 mg/l.

La mayor concentración de la DBO_5 y la DQO se presentó en el punto Isla Pontón San José, asociada a bajas velocidades, en tiempo seco y en la jornada de la noche. Es de anotar que en este mismo sitio se presentó una descarga puntual que incrementó varios parámetros (cobre, cromo total, SST y sulfuros), lo que se relacionó con una descarga intermitente con características de agua residual industrial.

En el punto Doña Juana se registraron las mayores concentraciones promedio de Sólidos Suspendidos Totales (3.369 mg/l) y de sólidos sedimentables debido al aporte de los vertimientos que no son de la EAAB-ESP y a las bajas velocidades del flujo que se presentaron en el trayecto aguas arriba de la descarga de la planta de tratamiento de lixiviados de Doña Juana.

El OD presentó un valor promedio de 6,98 mg/l en La Regadera, y a medida que avanza el recorrido del río se apreció la decadencia de este parámetro. A partir de Barrio México se registraron valores menores de 1 mg/l y No Detectables (ND). Sin embargo, las concentraciones promedio determinadas con

respecto a los objetivos de calidad establecidos para todo el río no exceden los límites de la normatividad vigente (valor mayor o igual a 1 mg/l, según la Resolución 1813/2006 del DAMA).

Los coliformes totales y los E. Coli se incrementaron a lo largo del río Tunjuelo, indicando el estado de la calidad bacteriológica por el flujo de descargas de aguas residuales domésticas al cuerpo de agua. En el primer punto del cauce (La Regadera) se hallaron valores del orden de 10^1 llegando a 10^9NMP/100ml en una muestra puntual. En la descarga del río Bogotá en el punto Isla Pontón San José se determinaron valores de 10^8NMP/100 ml.

En el río Tunjuelo se observó la influencia de la descarga de San Benito a través del interceptor Tunjuelo Medio en la transversal 86, pues a partir de este punto se observaron las mayores concentraciones promedio de cromo total, con valores de 1,04 mg/l.

Respecto a los metales analizados en trayecto de la corriente, no se detectó la presencia de cromo hexavalente en ninguno de los puntos de monitoreo; tampoco se detectó mercurio total en el 98,8% de las muestras evaluadas; se hallaron trazas en 2 datos de los 180 analizados.

En el Barrio México el comportamiento espacial ilustró una disminución en concentración y carga de los Sólidos Suspendidos Totales. Esta reducción se debió a las cárcavas inundadas ubicadas en la zona que favorecen la sedimentación.

Desde la entrada al perímetro urbano hasta la quebrada Yomasa el río presentó un aporte de carga contaminante en relación con los Sólidos Suspendidos Totales, materia orgánica y contaminación bacteriológica, especialmente por los vertimientos que descarga la localidad de Usme, dentro de los cuales se consideraron los del matadero y vertimientos puntuales domésticos en cercanías a este tramo.

Igualmente, se observó en el análisis espacial de esta cuenca que las mayores cargas por la Demanda Química de Oxígeno, la Demanda Bioquímica de Oxígeno y los Sólidos Suspendidos Totales se presentaron en los puntos San Benito, transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José. En San Benito el efecto se debió a la afluencia de la quebrada Chiguaza y a la industria extractiva; en la transversal 86 la influencia fue por las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, especialmente las que transporta el interceptor Tunjuelo Medio, y en Isla Pontón San José fue debido a la recepción de las estaciones de bombeo Grancolombiano, Cartagenita y La Isla.

El río Tunjuelo entre la quebrada Yomasa y avenida Boyacá, recibe los vertimientos que provienen de la industria minera (extractiva) y de la planta de tratamiento de lixiviados que se generan en el relleno sanitario Doña Juana. Al final del tramo se encuentran las canteras Sánchez González, Pozo Azul y Santa María, que en gran parte mejoran las características por la degradación anaeróbica de materia orgánica y sedimentación de Sólidos Suspendidos Totales.

El último tramo del río Tunjuelo recibe descargas tales como el interceptor Tunjuelo Medio y las descargas de las estaciones de bombeo Grancolombiano,

Cartagenita, Xochimilco y La Isla, así como vertimientos que no son de la EAAB-ESP y los registrados en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV); este tramo se considera importante porque recibe 36 vertimientos, entre la Autopista el Sur y la descarga al río Bogotá.

La descarga del interceptor Tunjuelo Medio recoge vertimientos de varios sectores productivos, siendo el más importante el de curtiembres en el sector de San Benito, lo cual se refleja en el río en la transversal 86, con registros mayores de valores de Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, cromo total y variabilidad de pH.

La presencia de materia orgánica biodegradable en La Regadera no se detectó en el 75% de las muestras recolectadas, el mayor valor fue de 4 mg/l, el cual no excede el límite de 100 mg/l que establece la Resolución 1813 de 2006 del DAMA, para el inicio del primer tramo de la corriente.

El río Tunjuelo registró concentraciones menores de Sólidos Suspendidos Totales con respecto a los valores admisibles establecidos en los objetivos de calidad para el tramo 1 del río, el cual está representado por el primer punto evaluado (La Regadera). En cuanto al tramo 2, se observaron valores mayores al límite establecido, por la influencia de las descargas de la industria extractiva y la descarga de lixiviados provenientes de la planta de tratamiento en el relleno Doña Juana (Resolución 1813/2006 del DAMA).

Según los resultados se observó que para el tramo 3, en San Benito, la corriente registró valores que superaron el límite admisible de los objetivos de calidad según lo referente a SST, por la afluencia de la calidad de la quebrada Chiguaza. Asimismo, en el tramo 4 los valores promedio y determinados sobrepasaron el valor admisible respecto a la DBO_5, debido a que en este tramo se descargan aguas residuales a través de las estaciones de bombeo hacia el río Tunjuelo.

Respecto a los usos evaluados, la calidad fisicoquímica y bacteriológica determinada estableció que el único uso sería el pecuario, teniendo en cuenta, como ya se ha mencionado en esta publicación, que la normatividad vigente no incluye el aspecto bacteriológico (Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura).

Cuenca media del río Bogotá

La temperatura en promedio, al paso por el perímetro urbano, se reportó en 17,6 °C entre aguas arriba de la descarga del canal Torca y El Cierre; la variación del pH fue entre 6,96 unidades (en el punto aguas arriba de la descarga del canal Torca) y 7,21 unidades (en El Cierre), y respecto a los sólidos sedimentables, en promedio, fluctuaron entre 0,5 y 0,86 ml/l-hora a la entrada y salida del perímetro urbano respectivamente.

La concentración de grasas y aceites encontrada en los puntos de monitoreo en la cuenca del río Bogotá, registró un valor promedio de 21 mg/l a la entrada del perímetro urbano (aguas arriba de la descarga del canal del Torca), y

a la salida del perímetro un valor de 25 mg/l, en El Cierre. El punto que presentó en todo el seguimiento el mayor valor promedio fue 100 m después de la descarga de la estación Gibraltar (142 mg/l).

La tendencia, en general, del OD en esta cuenca fue la reducción, debido al consumo de la materia orgánica presente en los afluentes al río. Temporalmente, se observó la recuperación del OD por eventos de lluvia, lo que generó el efecto de dilución sobre el cuerpo de agua, disminuyendo así la materia orgánica e incrementando los niveles de oxigenación en la fuente.

El OD en la cuenca media del río Bogotá registró la situación más crítica, ya que a la entrada del perímetro urbano presentó los valores más bajos respecto a los otros ríos, y a partir de Lisboa sólo se encontró en la mitad de los datos hasta llegar a No Detectable (ND) desde el punto 100 m antes de la descarga de la estación Gibraltar hasta El Cierre. El río a la entrada de la ciudad inició con un valor promedio de 2,1 mg/l aguas arriba de la descarga del canal Torca; en Zona Franca la concentración promedio fue de 0.7 mg/l y a la salida del perímetro urbano fue No Detectable (ND).

En general, las concentraciones determinadas en la cuenca media del río Bogotá, en relación con la DBO_5 mostraron valores menores a los referenciados para aguas residuales, en un rango entre 6 mg/l al inicio de la cuenca (aguas arriba de la descarga del canal Torca) y a la salida del perímetro urbano 97 mg/l; esto se puede presentar por los efectos de sedimentación en el río, ya que en la cuenca media la pendiente es mínima y las velocidades del flujo son bajas (los valores típicos de agua residual doméstica son 250 mg/l)[30].

En cuanto a la DQO, antes de entrar el río Bogotá al perímetro urbano presentó una concentración media de 33 mg/l, en el punto aguas arriba de la descarga del canal Torca, luego en Puente La Virgen registró un valor promedio de 41 mg/l y en El Cierre, a la salida del perímetro urbano, 291 mg/l (los valores típicos de agua residual doméstica son 500 mg/l)[31].

Al analizar sobre el río los puntos 100 m aguas arriba y aguas abajo de la estación Gibraltar se observó un ligero aumento en la concentración promedio de la materia orgánica biodegradable (102 a 119 mg/l), de la DQO (233 a 275 mg/l) y de los SST (85 a 95 mg/l); los otros parámetros tuvieron un comportamiento similar en los dos puntos.

En el comportamiento espacial por concentraciones, se observó que el tramo de la corriente que presentó el mayor incremento por materia orgánica total (DQO) fue el comprendido entre El Cortijo, con un valor promedio de 114 mg/l, y 100 m antes de la estación Gibraltar, llegando en El Cierre a un valor promedio de 233 mg/l; esto se asoció al aporte de la descarga del río Fucha, el interceptor Engativá Cortijo y a las estaciones de bombeo Villa Gladys, Navarra y Rivera.

30 Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. *Seminario-Taller Diseño de alcantarillados de alta tecnología*. Bogotá, mayo de 2002, pp. 331-333.

31 *Ibídem*.

A través del análisis espacial se observó que el río Bogotá, en su cuenca media, entra al perímetro urbano con valores promedio de la DQO y la DBO_5 de 6 y 33 mg/l, respectivamente, y sale del perímetro urbano con valores promedios de 97 y 291 mg/l, presentando las mayores concentraciones entre la descarga de la estación Gibraltar y El Cierre.

Los Sólidos Suspendidos Totales, en promedio, reportaron el mayor valor en El Cierre con 124 mg/l, esto por ser el punto receptor de todas las descargas superficiales en el trayecto y por el aporte de vertimientos a través de las estaciones de bombeo. En Zona Franca, sobre el cauce se registró el mayor valor puntual en la cuenca en tiempo seco en la jornada de la tarde, porque este último tramo recibe la mayor carga contaminante de los SST, debido a la desembocadura del río Fucha, por el descole de los interceptores Fucha, Boyacá, del Sur, Kennedy, y las estaciones de bombeo El Vergel y Fontibón.

En la cuenca media del río Bogotá se concluyó, por los resultados de calidad fisicoquímica y bacteriológica, que la fuente superficial contiene el efecto de la intervención antrópica, por las descargas de aguas residuales de los municipios ubicados aguas arriba del perímetro urbano, como Villapinzón, Gachancipá, Tocancipá y Chía antes de ingresar al perímetro urbano.

Las corrientes superficiales que desembocan en el río Bogotá en la zona de interés del presente estudio aportan grandes cargas contaminantes, entre ellas se encuentra el río Chicú, el cual recoge las aguas servidas y las aguas residuales generadas por las actividades agrícolas y de pastoreo de los municipios de Cajicá, Cota y Tenjo. Esta fuente superficial descarga entre los puntos de monitoreo denominados Puente La Virgen y Lisboa.

Al analizar integralmente la cuenca media del río Bogotá, se observó que las afluencias de las descargas de las estaciones de bombeo de aguas residuales Villa Gladys, Navarra, Rivera, Gibraltar y El Recreo incrementan los contenidos de materia orgánica, sólidos y nutrientes al cuerpo receptor.

En la cuenca media del río, el valor límite de los SST (40 mg/l) no se excede hasta Lisboa; desde El Cortijo hasta El Cierre los valores superaron este límite por las descargas de las fuentes superficiales y las descargas de las estaciones de bombeo. (Acuerdo 43 de 2006 de la CAR, Objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá proyectados para el 2020).

Respecto al nitrógeno total, entre los 3 primeros puntos de monitoreo (aguas arriba de la descarga del Canal Torca, Puente La Virgen y Lisboa) junto con los puntos entre El Cortijo y El Cierre, se observó que estas diferencias fueron causadas por el aumento de la concentración, coincidiendo con el comportamiento de la materia orgánica (de la DBO_5 y de la DQO), pasando de valores medios entre 3 y 6 mg/l a valores medios de 25 mg/l; de esta forma el incremento de este nutriente se presentó espacialmente a partir de El Cortijo.

En la concentración del fósforo total, la cuenca persistió en el comportamiento de los parámetros anteriores, donde en los primeros puntos los valores promedio fueron bajos, entre 0,7 y 1,4 mg/l, y al avanzar en su recorrido fueron

aumentado hasta valores promedio de 5 mg/l en El Cierre. Este comportamiento espacial es el mismo que se vio en el nitrógeno total y en el amonio.

El río presentó problemas de eutrofización por la presencia de nutrientes, donde se evidencia la llegada de aguas residuales que aportan nitrógeno total, amonio y fósforo total, lo que se relaciona con la proliferación de algas y macrófitas (buchón) en algunas zonas de la cuenca media, como se observó en el parque La Florida, que a su vez reducen la presencia de OD, manteniendo así condiciones anóxicas determinadas.

La presencia de coliformes totales y E. Coli en la cuenca media del río Bogotá está relacionada con la entrega de las aguas residuales domésticas a las fuentes superficiales tipo IV (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo) y de las estaciones de bombeo y pondaje, entre las que se encuentran El Recreo, Villa Gladys, Navarra, Rivera y Gibraltar. La recepción de estas descargas influye en el incremento bacteriológico sobre el río.

Los valores analizados de los coliformes totales y los E. Coli se incrementaron a medida que se recibían los afluentes en la cuenca media del río Bogotá, a la entrada del perímetro urbano, con valores de 10^5 NMP/100 ml y a la salida del orden de 10^8 NMP/100 ml.

Índices de calidad

En este proyecto se evaluó la calidad de los ríos a través de la RCHB con varias herramientas, tales como el modelamiento geoestadístico, el índice CCME-WQI y la generación de mapas, con el fin de analizar cada sistema espaciotemporalmente, para calificar la calidad del agua y la representación gráfica del cambio de calidad en la cuenca.

El índice de calidad CCME-WQI, aplicado para el presente estudio, permitió calificar la calidad del canal Torca, los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y la cuenca media del río Bogotá en relación con el uso agrícola, pecuario, recreativo mediante contacto secundario, la preservación de la vida acuática, y la norma de objetivos de calidad según la Resolución 1813/2006 del DAMA y el Acuerdo 043/2006 de la CAR.

Este índice presentó una clara correlación espacial en los cauces estudiados, lo cual es importante si se quieren construir modelos de la distribución espacial con las variables establecidas en la normatividad por usos y objetivos de calidad. Esto indica que a través de los datos obtenidos en los puntos de monitoreo se puede generar información de calidad en puntos donde no se tengan datos con un grado de confiabilidad.

El índice CCME-WQI fue una herramienta adecuada para establecer la calidad del agua del sistema hídrico de Bogotá para distintos usos. Su principal ventaja fue la posibilidad de incorporar valores normativos para distintos requerimientos. Adicionalmente, permitió, por su algoritmo de cálculo, obtener valores globales de calidad tanto en el sentido espacial como temporal. Esto facilitó el cálculo de un puntaje de calidad que reflejara todo el perío-

do de muestreo, así como obtener esos puntajes para diferentes niveles de agregación espacial (puntos, tramos y cauces). Otra característica que hizo adecuado el índice CCME-WQI para el análisis de la información de la RCHB fue su robustez al incluir la frecuencia de valores que exceden la norma, el número de variables que sobrepasan los estándares y la amplitud del rebosamiento respecto al valor de la norma.

La calidad de los ríos evaluados se degrada, primordialmente, por los aportes de materia orgánica de origen doméstico y, especialmente, por los valores de coliformes totales y E. Coli, los cuales sobrepasaron excesivamente los límites normativos (Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura).

Las concentraciones de tensoactivos (SAAM), a su vez, afectaron la calidad del agua para uso recreativo y para la preservación de la vida acuática, de acuerdo con los valores establecidos en la normatividad vigente.

Los niveles de OD llegaron a no ser detectables en los tramos medios y bajos de los cauces analizados generando una calidad pobre de la fuente superficial para la preservación de la vida acuática.

Por último, aunque el uso pecuario se consideró como el más viable de todos los evaluados, por la calidad actual del río Bogotá en la cuenca media se resaltó el efecto de las descargas domésticas e industriales en las condiciones anóxicas y bacteriológicas a la salida del perímetro urbano.

Mapas

El modelamiento geoestadístico aplicado brindó herramientas con las cuales fue posible estudiar la correlación espacial calculada con el índice de calidad de agua CCME-WQI y con la cual se posibilitó la elaboración de mapas de dichos indicadores a lo largo de los ríos evaluados. Además, fue posible definir unos mapas de factor de confiabilidad que permitieran determinar si los valores consignados en el mapa son representativos. Esto es de vital importancia para la toma de decisiones, pues el mapa de calidad está soportado por un grado de confiabilidad de la información.

En el proyecto se generó un modelo para la aplicación del Kreegen para fuentes superficiales, ya que en otros países su aplicación se ha probado solamente para el estudio de acuíferos, permitiendo reconstruir la calidad y seguimiento de puntos donde no se conoce la información de calidad, a través de puntos donde sí se tienen valores, con el conocimiento del grado de confiabilidad y la correlación espaciotemporal, logrando obtener una representación gráfica de la calidad a través del cambio de color.

El análisis espacial global de los 740 datos generados en los 37 puntos de la RCHB sobre los ríos monitoreados representó que existe correlación espacial y en general grados de confiabilidad mayores del 80%. Lo anterior indica que el modelo de monitoreo aleatorio permitió representar, sin sesgos, la variabilidad de la calidad espaciotemporal y climática de los 5 ríos evaluados durante 9 meses.

Los resultados de análisis de mapas de calidad, obtenidos con el índice CCME-WQI, indican que el muestreo que se realizó en forma aleatoria es representativo, pues solamente unos pocos sectores presentaron valores de confiabilidad menores del 80%, como es el caso de aguas arriba de la descarga del canal Torca y Puente La Virgen sobre la cuenca media del río Bogotá; esto se debió a que no hay un punto de referencia antes de la descarga del canal Torca.

Los mapas generados a través del índice de calidad CCME-WQI son una representación de la línea base que sirven para definir políticas de gestión, ajustar programas de seguimiento y evaluar las proyecciones de los objetivos de calidad planteados por las autoridades ambientales (SDA o CAR) para el año 2011 y 2020, respectivamente.

Precipitación

A través de la información histórica que se generó durante 4 años en las estaciones hidrometeorológicas de la EAAB-ESP, ubicadas en cercanías a los puntos de la RCHB, se estableció, según el análisis estadístico de la misma, que en el perímetro urbano se presenta cambio de período hidrológico cada 3 meses y que el comportamiento bimodal de lluvia es característico de gran parte de la región Andina.

Para el análisis de la precipitación, se utilizaron 16 estaciones distribuidas espacialmente en toda la ciudad; en promedio, se determinó que diariamente precipitan 2,8 mm en las cuencas estudiadas. Asimismo, se obtuvieron los siguientes valores promedios de precipitación para las cuencas en estudio de 3 a 6 mm diarios, discriminados así: canal Torca 3,46 mm, río Salitre 5,72 mm, río Fucha 5,42 mm, río Tunjuelo 4,41 mm y cuenca media del río Bogotá en 4,67 mm.

Las precipitaciones no tienen un comportamiento espacial homogéneo en todas las cuencas, lo que hizo necesario hacer el análisis para cada cuenca en particular, obteniendo de esta forma memorias de eventos, o días, antecedentes con lluvia de 5 a 12 días. Los ríos Fucha, Tunjuelo y canal Torca presentaron una correlación de 5 días, el río Salitre de 10 y el río Bogotá en su cuenca media de 12 días.

Para terminar, el diseño del modelo aleatorio de monitoreo con el comportamiento de precipitación determinado en este proyecto permitió establecer que las frecuencias del diseño son representativas en relación con los períodos donde se repiten los eventos en cada cuenca.



Bibliografía

BEAMONTE, E., J. Bermúdez, A. Casino, y E. Veres. "Un indicador global para la calidad del agua". En: *Memorias 27° Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa*, Universidad de Lleida, España, 2003.

BEAMONTE, E., J. Bermúdez, A. Casino y E. Veres. "A global stochastic index for water quality: the case of the river Turia (Spain)". En: *Memorias 27° Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa*, Editeur American Statistical Association, Washington DC, 2005.

BEHAR, R., M. C. Zúñiga de Cardoso y O. Rojas. "Análisis y valoración del índice de calidad del agua de la NSF: casos ríos Cali y Meléndez". En: *Ingeniería y competitividad*, vol. 1, Universidad del Valle, Cali, 1997.

BENGRAINE, K. y T.F. Marhaba. "Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality". En: *Journal of hazardous materials*, Publisher Elsevier Science, Oxford, 2003.

BERNHARDT, E. S. y M. Palmer. "Restoring streams in an urbanizing world". En: *Freshwater biol*, vol. 52, Blackwell Publishing, England, 2007.

BURTON, L. R., A. Howard y B. Goodall. "Construction of a historical water pollution index for the Mersey Basin". En: *Area,* vol. 35, Blackwell Publishing, England, 2003.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. "Canadian water guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical report". En: *Canadian Environmental quality guidelines*, Winnipeg, 1999.

CÁRDENAS L, Jorge A. *Calidad de agua para estudiantes de ciencias ambientales,* Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2002.

CARR, J. *Numerical analysis for the geological sciences,* Prentice Hall, New Jersey, 1995.

CHOW, V.T., D.R. Maidment y L.W. Mays, *Hidrología aplicada,* Editorial Mc GrawHill, México, 1994.

DEBELS, P., R. Figueroa, R. Urrutia, R. Barra y X. Niell. "Evaluation of water quality in the Chillán river (central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index". En: *Environmental monitoring and assessment*, vol. 110, Editeur Springer, England, 2005.

FERNÁNDEZ, N., A. Ramírez. y F. Solano. "Physico-chemical water quality indices: a comparative review". En: *Bistua*, vol. 2, Universidad de Pamplona, España, 2004.

GARCÍA-TRIANA, I., J. Rodríguez y N. Obregón. *Análisis de la información de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá y determinación del índice de calidad. Informe Técnico*, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2005.

IDEAM - DAMA. *Calidad del recurso hídrico de Bogotá, D.C*, Bogotá, 2004.

ISAAKS E. y R. Srivistava. *Applied Geostatistics,* Oxford University Press, Oxford, 1989.

KARR, J. M. "Defining and measuring rive ecosystem health". En: *Freshwater biology*, vol. 41, 1999.

KOTTEGODA, N. T. *Statistics, probability, and reliability for civil and environmental engineers*. Editorial Mc GrawHill, New York, 1998.

LEÓN- VIZCAÍNO, L. F. *Índices de Calidad del Agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 1998.

MACHADO T. y G. Roldán. "Estudios de las características físico-químicas y biológicas del río Anorí y sus principales afluentes". En: *Actualidades biológicas*, vol. 10, Universidad de Antioquia, Medellín, 1981.

MALMQVIST, B. y S. Rundle. "Threats to running water ecosystems of the world". En: *Environmental conservation,* vol. 29, Publisher Cambridge University Press, England, 2002.

MEYBECK, M y R. Helmer. "An introduction to water quality". En: Chapman, D (Ed). *Water quality assessments. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*, F & FN Spon, London, 1996.

OLEA, R. "Fundamentals of semivariogram estimation, modelling and usage". En: Yarus, J y Chambers, L. *Stochastic modelling and geostatistics: principles, methods and case studies*, AAPG Special Publication, Tulsa, 1994.

OUYANG, Y. "Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis". En: *Water research*, vol. 39, Publisher Elsevier Science, Oxford, 2005.

PASCOAL, C. M. Pinho, F. Cassio y P. Gomes. "Assessing structural and functional ecosystem condition using leaf breakdown: studies on a polluted river". En: *Freshwater biol*, vol. 48, 2003.

PESCE, S. F. y D. A. Wunderlin. "Use of Water Quality Indices to Verify the Impact of Córdoba City (Argentina) on Suquía River". En: *Water research,* vol. 3, n. 11, Publisher Elsevier, Córdoba, Argentina, 1999.

PETERSON, E. E., D. M. Theobald y J. M. VerHoef. "Geostatistical modeling on stream networks: developing valid covariance matrices based on hydrologic distance and stream flow". En: *Freshwater Biology*, vol. 52, n. 2, Blackwell Publishing, England, 2007.

RAMÍREZ, A., R. Restrepo y G. Viña. "Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación". En: *Ciencia, Tecnología y Futuro*, vol. 1, n. 3, Instituto Colombiano del Petróleo, Bucaramanga, 1997.

RAMÍREZ, A., R. Restrepo y M. Cardeñosa. "Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones". En: *Ciencia, Tecnología y Futuro*, vol. 1 n. 5, Departamento de Ecología y Territorio Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 1999.

ROLDÁN, G., J. Builes, C. M. Trujillo y A. Suárez. *Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín*, Universidad de Antioquia, Medellín, 1973.

ROMERO R., Jairo. *Acuiquímica*, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, 2000.

ROMERO R., Jairo. *Tratamiento de aguas residuales,* Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, 2000.

ROMERO R., Jairo. *Acuitratamiento por lagunas de estabilización*. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, 2000.

SALDARRIAGA J. y L. Camacho. Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados (CIACUA). *Seminario-Taller Diseño de alcantarillados de alta tecnología*. Bogotá, mayo de 2002.

SERRANO, S.E. *Hydrology for engineers. Geologists and environmental professionals,* Editeur Springer Netherlands, Pennsylvania 1997.

VERHOEF, J., E. Peterson y D. Theobald. "Spatial statistical models that use flow and stream distance". En: *Environmental and ecological statistics,* vol. 13, Publisher Springer, England, 2006.

WALSH, C. "Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration". En: *Hidrobiología*, vol. 431, Editeur Springer Netherlands, Pennsylvania, 2000.

ZUÑIGA de Cardoso. M. C., A. M. Rojas de Hernández y G. Caicedo. "Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca". En: *Revista Ainsa,* Universidad del Valle, Cali, 1993.



Glosario

Afluente: agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio o algún proceso de tratamiento.

Aforar: medir el caudal de una corriente; se expresa como la unidad de volumen sobre tiempo (l/s, m^3/seg).

Agua cruda: es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

Agua de infiltración: agua externa al sistema de alcantarillado que llega a las tuberías o conductos a través de las fisuras estructurales; puede provenir de la capa freática, drenaje subsuperficial o de otras fuentes externas. Su estimación se hace en función de los tipos del suelo, uso del suelo y del tipo de juntas de la tubería.

Agua residual doméstica: desecho líquido proveniente de la actividad doméstica en residencias, edificios, instituciones y establecimientos comerciales.

Agua residual industrial: desecho líquido proveniente de las actividades industriales.

Agua servida: agua de desecho líquido proveniente de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descarguen materias fecales.

Aguas lluvias: aguas provenientes de la precipitación pluvial que no han sido sometidas a ningún uso.

Alcantarillado de aguas combinadas: sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas para la recolección y conducción, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.

Alcantarillado de aguas lluvias: sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas para la recolección y conducción de aguas lluvias.

Alcantarillado de aguas residuales: sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas para la recolección y conducción de las aguas residuales servidas domesticas y/o industriales.

Alcantarillado separado: sistema constituido por un alcantarillado de aguas residuales y otro de aguas lluvias que recolecta de manera independiente en un mismo sector.

Aliviadero: estructura diseñada con el propósito de aliviar los caudales que exceden la capacidad del sistema para conducirlos a un sistema de drenaje.

Análisis de conglomerados (*cluster*)***:*** técnica multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos.

Análisis factorial: se utiliza para analizar interrelaciones entre un número elevado de variables métricas, explicando dichas interrelaciones en términos de un número menor de variables denominadas factores (si son inobservables) o componentes principales (si son observables).

Área aferente: área que drena frente a un tramo o punto determinado y que hace parte integral del área tributaria de un sistema de alcantarillado.

Área tributaria: superficie que drena hacia un tramo o punto determinado.

Autoridad ambiental: es la encargada de la vigilancia, recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso, aprovechamiento y control de los recursos naturales renovables y del medio ambiente.

Bacteria: organismo microscópico unicelular, rígido, carente de clorofila, que desempeña una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

Batimetría: es el equivalente submarino de la altimetría. El nombre proviene del griego βαθυς, profundo, y μετρον, medida. En otras palabras, la batimetría es el estudio de la profundidad marina de la tercera dimensión de los fondos lacustres o marinos. Un mapa o carta batimétrica normalmente muestra el relieve del fondo o terreno como isógramas, y puede también dar información adicional de navegación en superficie.

Biodegradación: degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.

Botella automuestreadora: equipo para la recolección de muestras a cualquier profundidad, con el mínimo de exposición a la luz. Posee un mecanismo de *mensajero activado* que por deslizamiento sobre la cuerda de sujeción cierra los dos extremos de la botella.

Box-Coulvert: conducto de sección rectangular cerrada de concreto reforzado para recoger y evacuar las aguas lluvias y/o residuales.

Calidad del agua: es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

Canal: conducto o cauce artificial, descubierto, con revestimiento o sin él, que se construye para conducir las aguas lluvias a flujo libre hasta su entrega final en un cauce natural.

Caracterización de las aguas residuales: determinación de la cantidad y características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.

Carga contaminante diaria (Cc): es el resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de la sustancia contaminante, por el factor de conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento del usuario, medido en horas.

Caudal de diseño: caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

Caudal de saturación: caudal que corresponde a las condiciones máximas de desarrollo urbano establecido en los planes de ordenamiento territorial.

Caudal medio diario de aguas residuales: caudal generado por la sumatoria de los aportes de las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales, equivalente al consumo medio durante veinticuatro horas obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año.

Caudal promedio (Q): corresponde al volumen de vertimientos por unidad de tiempo durante el período de muestreo.

Coeficiente de retorno: relación entre el caudal medio de aguas residuales y el caudal medio de agua que consume la población.

Colector: conducto que forma parte del sistema de alcantarillado, diseñado y dispuesto para recolectar y conducir aguas lluvias.

Concentración (C): es el peso de un elemento, sustancia o compuesto, por unidad de volumen del líquido que lo contiene.

Conducto: estructura hidráulica destinada al transporte de agua.

Conexión domiciliaria: conducto de alcantarillado con sus correspondientes accesorios, mediante el cual se hace la conexión desde la caja domiciliaria de cada predio a la red local del alcantarillado.

Conexión errada: contribución adicional de caudal debido al aporte de aguas pluviales en la red de aguas sanitarias y viceversa.

Contaminación del agua: es la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas del agua, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

Cuenca: entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso

mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

Cuerpo receptor: cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga de un afluente final.

Cuneta canal: conducto de sección triangular o rectangular paralelo al eje de la vía, ubicado entre el sardinel y la calzada de una calle, destinado a recoger y conducir por gravedad las aguas pluviales desde la superficie de rodamiento y, en algunos casos, desde terrenos aledaños, hacia los sumideros y alcantarillas.

Delimitación de la cuenca: una cuenca hidrográfica se delimita por la línea de divorcio de las aguas. Se entiende por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas. Cuando los límites de las aguas subterráneas de una cuenca no coincidan con la línea divisoria de aguas, sus límites serán extendidos subterráneamente más allá de la línea superficial de divorcio hasta incluir la de los acuíferos subterráneos, cuyas aguas confluyen hacia la cuenca deslindada.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco (5) días y 20°C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): medida de la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

Diseño muestral: conjunto de etapas que se planean para el cálculo de un tamaño de muestra, teniendo en cuenta características de probación, costos de recolección de la información, nivel de precisión y nivel de confianza. El diseño permite realizar estimaciones de parámetros de interés a nivel poblacional.

Densidad de población: valor que corresponde al número de personas por área unitaria bruta o neta.

Desarenador: cámara destinada a la remoción de arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

Dendograma: tipo de representación gráfica o diagrama de datos en forma de árbol (dendro=árbol) que organiza los datos en subcategorías que se van dividiendo en otros hasta llegar al nivel de detalle deseado (asemejándose a las ramas de un árbol que se van dividiendo en otras sucesivamente). Este tipo de representación permite apreciar claramente las relaciones de agrupación entre los datos e incluso entre grupos de ellos, aunque no las relaciones de similaridad o cercanía entre categorías.

Drenaje: proceso de evacuación de aguas subterráneas o superficiales para evitar daños a las estructuras, terrenos o excavaciones.

Drenaje sanitario: el que transporta los desechos líquidos de casas, comercios y fábricas no contaminantes. En algunas ciudades son dirigidos a plantas depuradoras para su potabilización y reutilización.

Escherichia Coli (E. Coli): bacilo aerobio Gram-negativo que no produce esporas, perteneciente a la familia de los enterobacteriáceas y que se caracteriza por poseer las enzimas b- Galactosidasa y b-Glucoroanidasa. Se desarrolla a 44 +0,5°C (317 + 0,5 K) en medios complejos. Fermenta la lactosa liberando ácido y gas, produce indol a partir del triptófano y no produce oxidasa.

Efluente: descarga líquida proveniente de cualquier instalación diseñada para tratar, conducir o retener aguas residuales.

Efluente final: líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Emisario final: colectores cerrados que llevan parte o la totalidad de las aguas lluvias, sanitarias o combinadas de una cuenca de drenaje hasta el sitio de vertimiento o a las plantas de tratamiento de aguas residuales. En caso de aguas lluvias pueden ser colectores a cielo abierto.

Escandallo: pieza de plomo en forma de torpedo (hidrodinámica), que por su peso sirve para mantener en su posición al molinete y evitar que sea arrastrado o desviado de la vertical por una corriente mayor que la aceptable.

Escorrentía: caudal generado por el agua lluvia que fluye por la superficie del terreno.

Estación de bombeo o estación elevadora: componente de un sistema de alcantarillado de aguas residuales, combinado o pluvial, utilizado para evacuar por bombeo o elevar las aguas de las zonas bajas de una población.

Estaciones fijas: ubicación de los equipos de monitoreo de calidad del agua, que operan en forma permanente las 24 horas del día, los 7 días de la semana. En la actualidad la RDCHB cuenta con 7 estaciones.

Estaciones móviles: ubicación de los puntos a los que se les realiza monitoreo de calidad del agua por comisión, la cual regularmente está integrada por un ingeniero, un auxiliar, un conductor y el respectivo vehículo.

Estructura de entrega: elemento que permite la descarga del agua con baja velocidad y energía para evitar daños e inestabilidad en el cuerpo receptor.

Factor: un factor o divisor propio de un número entero n, es un número también entero menor que n que lo divide exactamente.

Factor Regional (FR): es un factor que incide en la determinación de la tasa retributiva y está compuesto por un coeficiente de incremento de la tarifa mínima que involucra los costos sociales y ambientales de los daños causados por los vertimientos, al valor de la tarifa de la tasa.

Flujo léntico: flujo de agua quieta o de escaso caudal como en los lagos, estanques, pantanos y embalses. Se origina cuando el agua de escorrentía o las aguas corrientes encuentran a su paso una depresión en la topografía del terreno dando paso a su acumulación, perdida de flujo y estancamiento. Ello induce a la formación de un flujo laminar.

Flujo lótico (Latín *lotus*: participio de *lavere*, lavar): sistema de agua corriente presente en ríos, quebradas o caños que mantienen un flujo importante donde el agua corre de manera natural a causa de la fuerza de la gravedad y su flujo es por lo general turbulento.

Geoestadística: aplicación de la Teoría de Funciones Aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales, o simplemente el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio, siendo una herramienta útil en el estudio de estas variables. Su punto de partida es asumir una intuición topo-probabilista.

Intensidad de precipitación: cantidad de agua lluvia caída sobre una superficie durante un tiempo determinado.

Interceptor: conducto cerrado que recibe las afluencias de redes locales y/o secundarias y que generalmente se construye paralelo a quebradas o ríos, con el fin de evitar el vertimiento de las aguas residuales a los mismos.

Limitante: frontera hidráulica originada por diferencia de cotas en el trayecto del flujo.

Línea de vida horizontales: sistema de protección compuesto por un cable o raíl que va fijado a la pared o estructura mediante unos anclajes y una pieza corredera llamada carro que está diseñada de forma tal que no pueda salirse del sistema.

Meandro: es una curva descrita por el curso de un río cuya sinuosidad es pronunciada. Se forma con mayor facilidad en los ríos de las llanuras aluviales con pendiente muy escasa, dado que los sedimentos suelen depositarse en la parte convexa del meandro, mientras que en la cóncava, debido a la fuerza centrífuga, predomina la erosión y el retroceso de la orilla.

Meándrico: curso del río en forma de meandro.

Metales pesados: elementos tóxicos que tienen un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5,0 g/ cm^3. Por ejemplo: plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel y zinc.

Molinete: aparato mecánico que permite medir la velocidad angular de una corriente gracias al número de revoluciones que da una rueda de aspas o copas en un tiempo determinado.

Muestra compuesta de agua: es la integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, preparadas a partir de mezclas de volúmenes iguales o proporcionales al flujo durante el período de toma de muestras.

Muestra integrada: análisis de muestras instantáneas tomadas simultáneamente en diferentes puntos o tan cerca como sea posible. La integración se hace de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra.

Muestra puntual de agua: es la tomada en un lugar representativo, en un determinado momento.

Oxígeno disuelto: concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de saturación. Normalmente se expresa en mg/l.

Pareada: sinónimo de aparear o de emparejar, por parejas.

Perímetro de servicios: es la línea que enmarca el área definida para la instalación y el suministro de servicios públicos domiciliarios dentro del Distrito Capital por parte de la administración distrital.

Perímetro urbano: línea que demarca el área del Distrito Capital, fijada por las autoridades competentes para regular su desarrollo.

Período de descarga mensual (T): corresponde al número de días del mes durante el cual se realizan vertimientos.

Período de retorno: número de años que en promedio la magnitud de un evento extremo es igualada o excedida.

Persona que presta el servicio público de acueducto y/o alcantarillado: es toda persona natural o jurídica que tiene por objeto la prestación del servicio público de acueducto y/o alcantarillado con las actividades complementarias, de acuerdo con lo establecido en el régimen de los servicios públicos domiciliarios, que cumple su objeto a través de la planeación, ejecución, operación, mantenimiento y administración del sistema o de parte de él, bajo definidos criterios de eficiencia, cobertura y calidad, establecidos en los planes de gestión y resultados.

pH: logaritmo, con signo negativo de la concentración de iones de hidrógeno en moles por litro.

Plan de ordenamiento del recurso: plan en virtud del cual se establecen en forma genérica los diferentes usos a los cuales está destinado el recurso hídrico de una cuenca o cuerpo de agua, de acuerdo con lo establecido por

el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura o las normas que lo sustituyan o modifiquen.

Plan de Ordenamiento Territorial (POT): instrumento técnico y normativo de planificación. Conjunto de acciones políticas, administrativas y de planeación física que orientan el desarrollo del territorio municipal y regulan la utilización, ocupación y formación del espacio físico urbano y rural.

Planta de tratamiento (de agua residual): conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

Población equivalente: población estimada al relacionar la carga total o volumen total de un parámetro en un efluente (DBO_5, sólidos en suspensión, caudal) con el correspondiente aporte per cápita [kg DBO_5 / (hab. día)], l / (hab. día).

Población flotante: población que no reside permanentemente en una localidad y que la habita por un espacio de tiempo corto por razones de trabajo, turismo o alguna otra actividad temporal.

Población servida: número de personas que son atendidas por un sistema de suministro de agua o por uno de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias.

Polución del agua: alteración de las características organolépticas, físicas, químicas o microbiológicas del agua como resultado de las actividades humanas o procesos naturales.

Pozo de inspección o estructura de conexión: estructura diseñada para unir uno o más colectores, con el fin de permitir cambios de alineamiento horizontal y vertical en el sistema de alcantarillado, con tapa removible para permitir la ventilación, el acceso y/o mantenimiento de los colectores.

Pozo séptico: sistema individual de disposición de aguas residuales para una vivienda o conjunto de viviendas que combina la sedimentación y la digestión. Los sólidos sedimentados acumulados se remueven periódicamente y se descargan normalmente en una instalación de tratamiento.

Precipitación: cantidad de agua lluvia caída en una superficie durante un tiempo determinado.

Punto de descarga: sitio o lugar donde se realiza un vertimiento, en el cual se deben llevar a cabo los muestreos. Se encuentra ubicado antes de su incorporación a un cuerpo de agua.

Recirculación: incorporación al proceso productivo de cierta cantidad de agua que ha sido previamente utilizada dentro de éste.

Recurso: se entienden como recurso todas las aguas superficiales, subterráneas, marinas y estuarinas, incluidas las aguas servidas.

Red local de alcantarillado: conjunto de tuberías que conforman el sistema de evacuación de las aguas residuales, industriales, pluviales o combinadas de una comunidad y al cual desembocan las conexiones domiciliarias del alcantarillado de los inmuebles hasta realizar las entregas a la red secundaria.

Red secundaria de alcantarillado: conjunto de tuberías y canales que en su recorrido va acumulando áreas de drenaje, conduciendo las contribuciones provenientes de la red local hasta los sitios de entrega al sistema troncal.

Red troncal o principal de alcantarillado: conjunto de colectores y/o interceptores que define la estructura básica del drenaje de una cuenca, conduciendo los caudales que recibe de las redes secundarias hasta el sitio de vertimiento o tratamiento.

Rehabilitación de alcantarillado: define todos los aspectos que mejoran el comportamiento hidráulico, estructural y ambiental de los sistemas de alcantarillado existentes. Comprende la reposición del sistema por medio de nuevas construcciones y su reforzamiento, construyendo sistemas de apoyo paralelos, su renovación en puntos críticos donde las estructuras existentes son conservadas o mejoradas, y la disminución del pico de las crecientes mediante su almacenamiento.

Rejilla: dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.

Ronda hidráulica: franja de hasta 30 metros de ancho (a cada lado del cauce) paralela a la línea media del cauce o alrededor de los cuerpos de agua, que contemplan las áreas inundables para el paso de las crecientes no ordinarias, y las necesarias para su protección y el equilibrio ecológico.

RTU (Unidad Remota de Transmisión): equipo electrónico para el almacenamiento temporal y transmisión de datos vía radio sobre la calidad del agua tomados en las estaciones fijas. Cuenta con autonomía de energía eléctrica a 12 VCD y capacidad de almacenamiento en memoria hasta de 12 días.

Sedimentación: proceso físico de clarificación de aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.

Semivariograma: media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados una distancia h, o lo que es lo mismo, la varianza de los incrementos de la variable regionalizada en las localizaciones separadas una distancia h.

Sólidos sedimentables: materia sólida que sedimenta en un período de una (1) hora.

Sumidero: estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías y por las vías mismas, para entregarlas a las estructuras de conexión o pozos de inspección de los alcantarillados de aguas combinados o de aguas lluvias.

Sustancias flotantes: materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

Toxicidad: propiedad que tiene una sustancia, elemento o compuesto, de causar daños en la salud humana o la muerte de un organismo vivo.

Tramos iniciales: tramos de colectores domiciliarios que dan comienzo al sistema de alcantarillado.

Tratamiento primario: tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual.

Tratamiento secundario: tratamiento directamente responsable de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos que utiliza microorganismos para la degradación de la materia orgánica.

Tratamiento terciario: proceso fisicoquímico o biológico usado para alcanzar un grado de tratamiento superior al del tratamiento secundario.

Usuario: toda persona natural o jurídica, de derecho público o privado, cuya actividad produzca vertimientos.

Usuario con caracterización de vertimientos: usuario no doméstico que ha llevado a cabo un programa de monitoreo y seguimiento de sus vertimientos y los tiene caracterizados para el cumplimiento de la normatividad vigente y para efectos de pago de Tasa Retributiva por uso del recurso para vertimientos puntuales a la red de alcantarillado. (Resolución 287/2004 CRA).

Usuario sin caracterización de vertimientos: usuario doméstico o no doméstico que no tiene un programa de monitoreo y seguimiento de la calidad de sus vertimientos.

Vadeo: vadear es pasar un río u otra corriente de agua profunda por el vado o por cualquier otro sitio donde se pueda pasar a pie. Un vado es un lugar de un río con fondo firme, llano y poco profundo, por donde se puede pasar andando, cabalgando o en algún vehículo.

Valor admisible: valor establecido para la concentración de un componente o sustancia.

Vertimiento: cualquier descarga final al recurso hídrico de un elemento, sustancia o compuesto que esté contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios, aguas negras o servidas, a un cuerpo de agua, a un canal, al suelo o al subsuelo.

Vertimiento no puntual: aquel en el cual no se puede precisar el punto exacto de descarga al recurso. Tal es el caso de vertimientos provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares.

Vertimiento puntual: aquel realizado en un punto fijo, directamente o a través de un canal, al recurso.

Zona de Preservación y Manejo Ambiental, ZPMA: franja de terreno de propiedad pública o privada contigua a la ronda hidráulica y destinada principalmente a su protección y preservación, así como al mantenimiento de los cuerpos de agua. Es la zona destinada para la transición entre la ciudad construida y el cuerpo de agua.



Lista de siglas

ANAVA: Análisis de varianza

CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

CCME-WQI: Canadian Council of Ministers of the Environment - Water Quality Index

CETESB: Companhia de tecnologia de saneamento ambiental (Brasil)

CV: Coeficiente de Variación

DAMA: Departamento Administrativo del Medio Ambiente

DBO_5: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

EAAB-ESP: Empresa de Agua y Alcantarillado de Bogotá - Empresa de Servicios Públicos

ICA: Índice de Calidad del Agua

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IPMCA: Índice de Parámetros Mínimos para la Conservación de vida Acuática

Minagricultura: Ministerio de Agricultura y de Desarrollo Rural

ND: No Detectable

NKT: Nitrógeno Kjeldahl Total

NSF-WQI: National Sanitation Foundation - Water Quality Index

OD: Oxígeno Disuelto

PSMV: Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

RCH: Red de Calidad Hídrica

RCHB: Red de Calidad Hídrica de Bogotá

RTU: Unidad Remota de Telecontrol

SAAM: Sustancias Activas al Azul de Metileno

SDA: Secretaría Distrital de Ambiente

SIG: Sistema de Información Geográfica

SST: Sólidos Suspendidos Totales

WGS 84: World Geodetic System 1984

ZMPA: Zona de Manejo y Preservación Ambiental



Índice de tablas

TABLA 1. Distribución y participación de las localidades en el área del Distrito Capital 25

TABLA 2. Características de las cuencas de Bogotá 26

TABLA 3. Marco jurídico de la calidad hídrica de las fuentes superficiales 38

TABLA 4. Resolución 1813 de 2006 del DAMA, objetivos de calidad 39

TABLA 5. Valores máximos permisibles establecidos en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura, artículos 40, 41 y 43, Acuerdo 43 de 2006 de la CAR y el IPMCA 39

TABLA 6. Índices de calidad del agua empleados en la evaluación del recurso hídrico a nivel nacional e internacional 42

TABLA 7. Categorías de calificación del CCME-WQI 45

TABLA 8. Puntos de la RCHB 51

TABLA 9. Parámetros analizados 58

TABLA 10. Puntos agrupados para el monitoreo de la red hídrica de Bogotá 62

TABLA 11. Factores involucrados en el programa de monitoreo de la RCHB 63

TABLA 12. Actividades de aforos y monitoreos 70

TABLA 13. Tipo de muestra, parámetros evaluados, recipiente y reactivo de preservación utilizado 71

TABLA 14. Descargas Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos en el canal Torca 86

TABLA 15. Puntos de monitoreo de la RCH en el canal Torca 86

TABLA 16. Concentración promedio y mediana de DBO_5 en los puntos de monitoreo en el canal Torca 92

TABLA 17. Cargas promedio y mediana de DBO_5 en los puntos de monitoreo en el canal Torca 92

TABLA 18. Caudal promedio y mediana en los puntos de monitoreo en el canal Torca 92

TABLA 19. Concentración promedio y mediana de DQO en los puntos de monitoreo en el canal Torca 95

TABLA 20. Cargas promedio y mediana de DQO en los puntos de monitoreo en el canal Torca 95

TABLA 21. Concentración promedio y mediana del OD en los puntos de monitoreo en el canal Torca 96

TABLA 22. Concentración promedio y mediana de los SST en los puntos de monitoreo en el canal Torca 100

TABLA 23. Cargas promedio y mediana de los SST en los puntos de monitoreo en el canal Torca 100

TABLA 24. Vertimientos tramo 1 del río Salitre 111

TABLA 25. Vertimientos tramo 2 del río Salitre 111

TABLA 26. Vertimientos tramo 3 del río Salitre 111

TABLA 27. Vertimientos tramo 4 del río Salitre 111

TABLA 28. Puntos de monitoreo de la RCH en el río Salitre 112

TABLA 29. Comportamiento de la DBO_5 en el río Salitre 116

TABLA 30. Comportamiento de la DQO en el río Salitre 120

TABLA 31. Comportamiento del caudal en el río Salitre 121

TABLA 32. Comportamiento de la cargas de la DQO y de la DBO_5 en el río Salitre 121

TABLA 33. Comportamiento del OD en el río Salitre 122

TABLA 34. Comportamiento de los SST en el río Salitre 124

TABLA 35. Comportamiento de la cargas de los SST en el río Salitre 126

TABLA 36. Vertimientos tramo 1 río Fucha 141

TABLA 37. Vertimientos tramo 2 río Fucha 141

TABLA 38. Vertimientos tramo 3 río Fucha 142

TABLA 39. Vertimientos tramo 4 río Fucha 142

TABLA 40. Puntos de monitoreo de la red de calidad hídrica en el río Fucha 144

TABLA 41. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Fucha 149

TABLA 42. Comportamiento del caudal en los puntos de monitoreo en el río Fucha 149

TABLA 43. Comportamiento de la carga de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Fucha 150

TABLA 44. Concentraciones de la DQO en los puntos monitoreados en el río Fucha 151

TABLA 45. Comportamiento de la carga de la DQO en los puntos de monitoreo en el río Fucha 153

TABLA 46. Comportamiento del OD en el río Fucha 155

TABLA 47. Comportamiento de los SST en los puntos de monitoreo en el río Fucha 159

TABLA 48. Comportamiento de las cargas de los SST en el río Fucha 161

TABLA 49. Comportamiento de las concentraciones de cadmio y cobre en los puntos de monitoreo en el río Fucha 162

TABLA 50. Comportamiento de las concentraciones de níquel y bario en los puntos de monitoreo en el río Fucha 165

TABLA 51. Comportamiento de las concentraciones de plomo y manganeso en los puntos de monitoreo en el río Fucha 166

TABLA 52. Comportamiento de las concentraciones de zinc y cromo total en los puntos de monitoreo en el río Fucha 170

TABLA 53. Comportamiento de las cargas de cadmio y cobre en el río Fucha 173

TABLA 54. Comportamiento de las cargas de níquel y bario en el río Fucha 175

TABLA 55. Comportamiento de las cargas de plomo y manganeso en el río Fucha 177

TABLA 56. Comportamiento de las cargas de zinc y cromo total en el río Fucha 179

TABLA 57. Puntos de seguimiento de la RCH en el río Tunjuelo 196

TABLA 58. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 204

TABLA 59. Comportamiento del caudal en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 206

TABLA 60. Comportamiento de la carga contaminante por la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 206

TABLA 61. Comportamiento de la DQO en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 208

TABLA 62. Comportamiento de la carga contaminante por la DQO en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 210

TABLA 63. Comportamiento de OD en el río Tunjuelo 213

TABLA 64. Comportamiento de los SST en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 215

TABLA 65. Cargas contaminantes de los SST en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 219

TABLA 66. Comportamiento del pH en el río Tunjuelo 222

TABLA 67. Concentraciones de NKT y amonio en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 226

TABLA 68. Comportamiento de las cargas promedios contaminantes del cadmio, arsénico, plomo, cobre, níquel, zinc, manganeso y cromo total en el río Tunjuelo 234

TABLA 69. Salidas del perímetro urbano a la cuenca media del río Bogotá 249

TABLA 70. Puntos de seguimiento de la RCHB en la cuenca media del río Bogotá 251

TABLA 71. Comportamiento de las concentraciones de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá 254

TABLA 72. Comportamiento del caudal en los puntos de monitoreo de la cuenca media del río Bogotá 256

TABLA 73. Comportamiento de la carga de la DBO_5 en los puntos de monitoreo de la cuenca media del río Bogotá 256

TABLA 74. Comportamiento de las concentraciones de la DQO en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá 257

TABLA 75. Comportamiento de las cargas de la DQO en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá 259

TABLA 76. Comportamiento de las concentraciones de OD en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá 260

TABLA 77. Comportamiento de las concentraciones de los SST en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá 263

TABLA 78. Comportamiento de las cargas de los SST en los puntos de monitoreo en la cuenca media del río Bogotá 265

TABLA 79. Comportamiento de la concentración del cobre y cromo total en los puntos de seguimiento de la cuenca media del río Bogotá 267

TABLA 80. Comportamiento de la concentración del manganeso y zinc en los puntos de seguimiento de la cuenca media del río Bogotá 267

TABLA 81. Comportamiento promedio de las cargas contaminantes del cobre, cromo total, manganeso y zinc en los puntos de seguimiento de la cuenca media del río Bogotá 271

TABLA 82. Valores promedio de la DBO_5 en los ríos evaluados 282

TABLA 83. Cargas promedio de DBO_5 en los ríos evaluados 283

TABLA 84. Valores promedio de la DQO en los ríos evaluados 286

TABLA 85. Cargas promedio de la DQO en los ríos evaluados 288

TABLA 86. Valores promedio de los SST en los ríos evaluados 289

TABLA 87. Cargas contaminantes por SST en los ríos evaluados 292

TABLA 88. Concentración promedio de OD en los ríos evaluados 294

TABLA 89. Concentraciones promedio de cobre, plomo, manganeso, níquel, cromo y zinc en los ríos evaluados 297

TABLA 90. Carga promedio de metales en los ríos evaluados 298

Índice de gráficas

GRÁFICA 1. Comparación de parámetros establecidos en los índices relacionados 43

GRÁFICA 2. Distribución del muestreo por ríos en las diferentes jornadas 64

GRÁFICA 3. Distribución del muestreo por tipo de clima por ríos 64

GRÁFICA 4. Análisis de diagramas de cajas 74

GRÁFICA 5. Dendograma completo del análisis de conglomerados por variables 75

GRÁFICA 6. Dendograma ampliado del análisis de conglomerados por variables 76

GRÁFICA 7. Análisis estadístico para las estaciones pluviométricas asociadas al canal Torca 89

GRÁFICA 8. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos monitoreados del canal Torca 90

GRÁFICA 9. Concentraciones y cargas espaciales y temporales de la DBO_5 en el canal Torca 91

GRÁFICA 10. Comportamiento de la DQO en los puntos monitoreados en el canal Torca 93

GRÁFICA 11. Concentraciones y cargas espaciales y temporales de la DQO en el canal Torca 94

GRÁFICA 12. Comportamiento del OD en los puntos monitoreados del canal Torca 96

GRÁFICA 13. Concentraciones espaciales y temporales del Oxígeno Disuelto (OD) en el canal Torca 97

GRÁFICA 14. Comportamiento de los SST en los puntos monitoreados en el canal Torca 98

GRÁFICA 15. Concentraciones y cargas espaciales y temporales de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el canal Torca 99

GRÁFICA 16. Análisis lineal de la serie de precipitación para la cuenca del Salitre 114

GRÁFICA 17. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos monitoreados en el río Salitre 115

GRÁFICA 18. Relación de la concentración DBO_5 vs. caudal en la transversal 91 sobre el río Salitre 116

GRÁFICA 19. Concentraciones y cargas espaciales de la DBO_5 y DQO en el río Salitre 118

GRÁFICA 20. Comportamiento de la DQO en los puntos monitoreados en el río Salitre 119

GRÁFICA 21. Comportamiento de los SST en los puntos monitoreados en el río Salitre 123

GRÁFICA 22. Puente Alameda, relación de concentración de SST vs. caudal 123

GRÁFICA 23. Concentraciones y cargas espaciales de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y del Oxígeno Disuelto (OD) en el río Salitre 125
GRÁFICA 24. Variación de la calidad del agua para uso agrícola en el río Salitre 130
GRÁFICA 25. Variación de la calidad del agua para uso pecuario en el río Salitre 131
GRÁFICA 26. Variación de la calidad del agua para uso recreativo mediante contacto secundario en el río Salitre 131
GRÁFICA 27. Variación de la calidad del agua para preservación de la vida acuática en el río Salitre 132
GRÁFICA 28. Análisis lineal de la serie de precipitación para la cuenca del río Fucha 145
GRÁFICA 29. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos monitoreados en el río Fucha 146
GRÁFICA 30. Comportamiento de la DQO en los puntos monitoreados en el río Fucha 151
GRÁFICA 31. Relación de la DBO_5, la DQO y el caudal en Fucha con Alameda 152
GRÁFICA 32. Concentraciones y cargas espaciales de la DBO_5 y la DQO en el río Fucha 154
GRÁFICA 33. Comportamiento espaciotemporal del Oxígeno Disuelto (OD) en el río Fucha 156
GRÁFICA 34. Comportamiento de los SST en los puntos monitoreados en el río Fucha 157
GRÁFICA 35. Concentraciones y cargas espaciotemporales de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el río Fucha 158
GRÁFICA 36. Relación de los SST vs. caudal en el punto Fucha con avenida Ferrocarril 160
GRÁFICA 37. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones del cadmio y cobre en el río Fucha 164
GRÁFICA 38. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones de níquel y bario en el río Fucha 168
GRÁFICA 39. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones de plomo y manganeso en el río Fucha 169
GRÁFICA 40. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones de zinc y cromo total en el río Fucha 171
GRÁFICA 41. Comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes de cadmio y cobre en el río Fucha 174
GRÁFICA 42. Comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes de níquel y bario en el río Fucha 176
GRÁFICA 43. Comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes de plomo y manganeso en el río Fucha 178
GRÁFICA 44. Comportamiento espaciotemporal de las cargas contaminantes de zinc y cromo total en el río Fucha 180
GRÁFICA 45. Variación de la calidad del agua para uso agrícola en el río Fucha 184
GRÁFICA 46. Variación de la calidad del agua para uso pecuario en el río Fucha 184
GRÁFICA 47. Variación de la calidad del agua para uso recreativo en el río Fucha 185
GRÁFICA 48. Variación de la calidad del agua para la preservación de la vida acuática en el río Fucha 186
GRÁFICA 49. Análisis lineal de la serie de precipitación para la cuenca del río Tunjuelo 198
GRÁFICA 50. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 199

GRÁFICA 51. Relación de la DBO_5 vs. caudal en Isla Pontón San José 204

GRÁFICA 52. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas contaminantes de la DBO_5 en el río Tunjuelo 205

GRÁFICA 53. Comportamiento de la DQO en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 208

GRÁFICA 54. Relación de la DQO vs. caudal en Isla Pontón San José 210

GRÁFICA 55. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas contaminantes de la DQO en el río Tunjuelo 212

GRÁFICA 56. Comportamiento espaciotemporal del OD en el río Tunjuelo 214

GRÁFICA 57. Comportamiento de los SST en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 215

GRÁFICA 58. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones y cargas contaminantes de los SST en el río Tunjuelo 217

GRÁFICA 59. Relación de los SST vs. caudal en el relleno sanitario Doña Juana 218

GRÁFICA 60. Comportamiento de los sólidos sedimentables en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 220

GRÁFICA 61. Comportamiento espacial de los sólidos sedimentables en el río Tunjuelo 220

GRÁFICA 62. Comportamiento del pH en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 221

GRÁFICA 63. Comportamiento espacial del pH en el río Tunjuelo 222

GRÁFICA 64. Comportamiento de grasas y aceites en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 223

GRÁFICA 65. Comportamiento del amonio en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 224

GRÁFICA 66. Comportamiento espacial de la concentración del amonio en el río Tunjuelo 224

GRÁFICA 67. Comportamiento del NKT en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 225

GRÁFICA 68. Relación de NKT vs. caudal en el punto Doña Juana 226

GRÁFICA 69. Comportamiento espacial de las cargas de NKT en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 227

GRÁFICA 70. Comportamiento del fósforo total en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 228

GRÁFICA 71. Comportamiento espacial de las concentraciones del fósforo total en el río Tunjuelo 228

GRÁFICA 72. Comportamiento espacial de las concentraciones de tensoactivos en el río Tunjuelo 229

GRÁFICA 73. Comportamiento espacial de los valores de E. Coli en el río Tunjuelo 230

GRÁFICA 74. Comportamiento del bario en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 230

GRÁFICA 75. Comportamiento espacial de las concentraciones de cadmio en el río Tunjuelo 231

GRÁFICA 76. Comportamiento espaciotemporal de las concentraciones de cromo total en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 232

GRÁFICA 77. Comportamiento espacial de las cargas contaminantes del cromo total en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 233

GRÁFICA 78. Comportamiento de las concentraciones de zinc en los puntos de monitoreo en el río Tunjuelo 234

GRÁFICA 79. Concentraciones y cargas espaciales del cobre y bario en el río Tunjuelo 236

GRÁFICA 80. Concentraciones y cargas espaciales del plomo y níquel total en el río Tunjuelo 237

GRÁFICA 81. Variación de la calidad del agua para uso agrícola en el río Tunjuelo 240

GRÁFICA 82. Variación de la calidad del agua para uso recreativo en el río Tunjuelo 241

GRÁFICA 83. Análisis lineal de la serie de precipitación para la cuenca media del río Bogotá 252

GRÁFICA 84. Comportamiento de la DBO_5 en los puntos monitoreados de la cuenca media del río Bogotá 253

GRÁFICA 85. Relación de la DBO_5 vs. caudal en Zona Franca 255

GRÁFICA 86. Comportamiento de la DQO en los puntos monitoreados de la cuenca media del río Bogotá 258

GRÁFICA 87. Relación DQO vs. caudal en El Cierre 259

GRÁFICA 88. Concentraciones y cargas espaciales de la DBO_5 y la DQO en la cuenca media del río Bogotá 261

GRÁFICA 89. Comportamiento de los SST en los puntos monitoreados de la cuenca media del río Bogotá 262

GRÁFICA 90. Relación de los SST vs. caudal en Zona Franca 264

GRÁFICA 91. Concentraciones y cargas espaciotemporales de los SST y del OD en la cuenca media del río Bogotá 266

GRÁFICA 92. Concentraciones y cargas espaciales del cobre y cromo total en la cuenca media del río Bogotá 269

GRÁFICA 93. Concentraciones y cargas espaciales del manganeso y zinc en la cuenca media del río Bogotá 270

GRÁFICA 94. Comportamiento de la DBO_5 en los ríos monitoreados 281

GRÁFICA 95. Concentración promedio de DBO_5 en los ríos 281

GRÁFICA 96. Porcentajes de participación de la DBO_5 en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo 282

GRÁFICA 97. Porcentajes de participación de la carga contaminante de la DBO_5 en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo 283

GRÁFICA 98. Comportamiento de la DQO en los ríos monitoreados 285

GRÁFICA 99. Concentración promedio de la DQO en los ríos 285

GRÁFICA 100. Porcentajes de participación de la DQO en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo 286

GRÁFICA 101. Porcentajes de participación de carga contaminante de la DQO en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo 287

GRÁFICA 102. Comportamiento de los SST en los ríos monitoreados 288

GRÁFICA 103. Concentraciones promedio de los SST en los ríos evaluados 290

GRÁFICA 104. Porcentaje de participación de los SST en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo 290

GRÁFICA 105. Porcentajes de participación de carga por los SST en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo 292

GRÁFICA 106. Comportamiento del OD en los ríos monitoreados 293

GRÁFICA 107. Concentraciones promedio del OD en los ríos evaluados 295

GRÁFICA 108. Porcentaje de participación del OD en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo 295

GRÁFICA 109. Concentración promedio de metales en los ríos evaluados 297

GRÁFICA 110. Cargas promedio de metales en los ríos evaluados 298

Índice de mapas

MAPA 1. Localización general 24

MAPA 2. Sistema hídrico de Bogotá 28

MAPA 3. Localización de los puntos de la RCHB 52

MAPA 4. Ubicación de los puntos monitoreados de la RCH en el canal Torca 87

MAPA 5. Concentraciones promedio de materia orgánica total y biodegradable y SST, valores promedio de OD, pH y temperatura, en el canal Torca 101

MAPA 6. Promedio de la carga de materia orgánica total y biodegradable, y SST en el canal Torca 102

MAPA 7. Objetivos de calidad según la Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa global de los datos en el canal Torca 106

MAPA 8. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad para el global de los datos en el canal Torca 107

MAPA 9. Objetivos de calidad según la Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa de la época seca en el canal Torca 108

MAPA 10. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad para la época seca en el canal Torca 109

MAPA 11. Ubicación de los puntos de monitoreo de la RCH en el río Salitre 113

MAPA 12. Concentraciones promedio de materia orgánica total y biodegradable, y Sólidos Suspendidos Totales (SST), valores promedio de OD, pH y temperatura en el río Salitre 128

MAPA 13. Promedio de la carga de materia orgánica total y biodegradable, y Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el río Salitre 129

MAPA 14. Objetivos de calidad según la Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa global de los datos en el río Salitre 136

MAPA 15. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad. Mapa global de los datos en el río Salitre 137

MAPA 16. Objetivos de calidad según la Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa época lluviosa en el río Salitre 138

MAPA 17. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad. Mapa época lluviosa en el río Salitre 139

MAPA 18. Ubicación de los puntos monitoreados de la RCHB en el río Fucha 143

MAPA 19. Concentraciones promedio de materia orgánica total y biodegradable y Sólidos Suspendidos Totales (SST), valores promedio de OD, pH y temperatura y caudal en el río Fucha 181

MAPA 20. Promedio de la carga de materia orgánica total y biodegradable y SST en el río Fucha 182

MAPA 21. Objetivos de calidad según Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa global de los datos en el río Fucha 190

MAPA 22. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad global de los datos en el río Fucha 191

MAPA 23. Objetivos de calidad según Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa época lluviosa en el río Fucha 192

MAPA 24. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad en época lluviosa en el río Fucha 193

MAPA 25. Ubicación de los puntos de la RCHB en el río Tunjuelo 197

MAPA 26. Concentraciones promedio de materia orgánica total y biodegradable, Sólidos Suspendidos Totales (SST), valores promedio de OD, pH, temperatura y caudal en el río Tunjuelo 238

MAPA 27. Promedio de la carga de materia orgánica total y biodegradable y Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el río Tunjuelo 239

MAPA 28. Objetivos de calidad según Resolución 1813/2006 del DAMA. Mapa global con todos los datos en el río Tunjuelo 245

MAPA 29. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad. Mapa global con todos los datos en el río Tunjuelo 246

MAPA 30. Ubicación de los puntos monitoreados de la RCHB en la cuenca media del río Bogotá 250

MAPA 31. Concentración promedio de la materia orgánica total y biodegradable, Sólidos Suspendidos Totales (SST), valores promedio de OD, pH, temperatura y caudal en la cuenca media del río Bogotá 272

MAPA 32. Promedios de carga de materia orgánica total y biodegradable y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en la cuenca media del río Bogotá 273

MAPA 33. Objetivos de calidad según Acuerdo 43/06 de la CAR. Mapa global de los datos en la cuenca media del río Bogotá 277

MAPA 34. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad global de los datos en la cuenca media del río Bogotá 278

MAPA 35. Objetivos de calidad según Acuerdo 43/06 de la CAR. Época seca en la cuenca media del río Bogotá 279

MAPA 36. Confiabilidad porcentual de los objetivos de calidad. Época seca en la cuenca media del río Bogotá 280

MAPA 37. Uso agrícola para todos los ríos en estudio. Mapa global 302

MAPA 38. Uso agrícola para todos los ríos en estudio. Período seco 303

MAPA 39. Uso pecuario para todos los ríos en estudio. Mapa global 304

MAPA 40. Uso recreativo mediante contacto secundario para todos los ríos en estudio. Mapa global 305

MAPA 41. Uso para la preservación de la vida acuática para todos los ríos en estudio. Mapa global 306

MAPA 42. **Uso para la preservación de la vida acuática para** todos los ríos **en estudio. Período seco** 307

MAPA 43. Uso para la preservación de la vida acuática para todos los ríos en estudio. Período lluvioso 308

Índice de esquemas

ESQUEMA 1 Elementos que componen los puntos fijos de la RCHB 53

ESQUEMA 2. Elementos que componen los puntos móviles 54

ESQUEMA 3. Puntos de monitoreo de la RCH en el canal Torca 88

ESQUEMA 4. Vertimientos ubicados en la calle 181 con canal Torca 103

ESQUEMA 5. Puntos de monitoreo de la RCH en el río Salitre 112

ESQUEMA 6. Registro fotográfico de los puntos sobre el cauce y descargas en los diferentes tramos en el río Salitre 126, 127

ESQUEMA 7. Puntos de monitoreo de la RCH en el río Fucha 144

ESQUEMA 8. Primer punto de la RCHB sobre el río Fucha y canal San Blas 147

ESQUEMA 9. Algunos vertimientos identificados en el PSMV de la EAAB-ESP en el trayecto del río Fucha 147, 148

ESQUEMA 10. Puntos sobre el río Tunjuelo 196

ESQUEMA 11. Puntos sobre el río Tunjuelo en el tramo 1 200

ESQUEMA 12. Planta de tratamiento de lixiviados Doña Juana y desembocadura de la quebrada Limas 201

ESQUEMA 13. Descargas al río Tunjuelo en los tramos 3 y 4 202

ESQUEMA 14. Descargas al río Tunjuelo de las estaciones Grancolombiano y Cartagenita y punto de monitoreo Isla Pontón San José 203

ESQUEMA 15. Puntos sobre la cuenca media del río Bogotá 251

Índice de figuras

FIGURA 1. El valor estimado en un punto depende de la correlación espacial 46

FIGURA 2. Proceso de ejecución del programa de seguimiento y monitoreo de la red de calidad hídrica de Bogotá 68

FIGURA 3A. Estructura típica de un semivariograma 79

FIGURA 3B. Semivariograma experimental y modelo de ajuste 79

FIGURA 4. Ejemplo de semivariograma experimental (líneas azules) y su correspondiente modelo de ajuste (línea negra continua) para un índice de calidad calculado a lo largo del río Bogotá 80

Reservados todos los derechos
© Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
© Secretaría Distrital de Ambiente

ISBN: 978-958-716-124-3

Primera edición: Bogotá, D. C., septiembre de 2008
Número de ejemplares: 1.000
Impreso y hecho en Colombia

Editorial Pontificia Universidad Javeriana
Transversal 4ª núm. 42-00, primer piso
Edificio José Rafael Arboleda S.J.
Teléfono: 3208320 ext. 4752

www.javeriana.edu.co/editorial
Bogotá, D. C.
Editor:
Diana Patricia Londoño R.

Corrección de estilo:
Luisa Fernanda Arango C.

Diseño y diagramación:
Isabel Sandoval M.

Diseño y montaje de cubierta:
Isabel Sandoval M.

Fotografía:
Guillermo Santos
Departamento de Comunicaciones EAAB-ESP

Soporte técnico de la publicación:
Nelson Obregón N.
Fabián Mauricio Caicedo C.
Óscar Javier García C.
Francisco José Guerrero B.
William Holman Villamil B.

Impresión:
Grupo OP Gráficas S.A.

CALIDAD DEL SISTEMA HÍDRICO DE BOGOTÁ
se terminó de imprimir
en GRUPO OP GRÁFICAS S.A
durante el mes de agosto
del año 2008

