





**CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO  
DE BOGOTÁ  
(2008-2009)**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ

Samuel Moreno Rojas  
Alcalde Mayor

Juan Antonio Nieto Escalante  
Secretario Distrital de Ambiente

Samir José Abisambra Vesga  
Subsecretario General y de Control Disciplinario

Germán Darío Álvarez Lucero  
Director de Control Ambiental

Octavio Augusto Reyes Ávila  
Subdirector de Recurso Hídrico y del Suelo

Aurita Bello Espinosa  
María Eugenia Vásquez Mendoza  
Óscar Ferney López Espitia  
Grupo Profesional

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Manuel Salvador Rodríguez Susa  
Profesor Asistente-Director

Mario Díaz-Granados Ortiz  
Profesor titular-especialista

Especialistas  
Edna Lorena Delgado Hurtado  
Guillermo Rueda Delgado  
Efraín Ruiz Sepúlveda

Asistentes de investigación  
Francisco Javier Ávila Ramírez  
Lina Sabrina Porras  
Adriana Botero Acosta  
Johner Venicio Correa Cruz  
Mayra Alejandra Cotes Navarro  
Érika Liliana Franco Fábrega  
Hugo A. Gutiérrez de Piñerez  
Esmaragdo Herrera Zambrano  
Juan David Pérez Gutiérrez  
Alma Patricia Pérez Hoyos  
Lina María Rodríguez Ruiz  
Ximena Alejandra Rojas Squella  
Rafael Fernando Tapia Pérez  
Sara María Vera Botero

César Augusto Vega Rodríguez  
Comisión de Monitoreos

Integramp Ltda.  
Gloria E. Barriga Hernández  
Asistente administrativa

Manuel Salvador Rodríguez Susa

# CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DE BOGOTÁ (2008-2009)



SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Rodríguez Susa, Manuel Salvador

Calidad del recurso hídrico / Manuel Salvador Rodríguez Susa, Grupo de Investigación Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental; Secretaría Distrital de Ambiente. – Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Ediciones Uniandes, 2010.

266 pp.; 21,5 x 28 cm.

ISBN 978-958-695-487-7

1. Calidad del agua – Bogotá (Colombia) 2. Contaminación del agua – Bogotá (Colombia) 3. Distribución del agua – Control de calidad – Bogotá (Colombia) I. Bogotá (Colombia). Secretaría Distrital de Ambiente II. Universidad de los Andes (Colombia). Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones de Ingeniería III. Tít.

CDD. 628.161

SBUA

Primera edición: diciembre de 2010

© Manuel Salvador Rodríguez Susa y Grupo de Investigación  
Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental de la Universidad  
de los Andes

© Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento  
de Ingeniería Civil y Ambiental

Ediciones Uniandes  
Carrera 1ª núm. 19-27, edificio AU 6, piso 2  
Teléfonos: 339 49 49 - 339 49 99, ext. 2133  
Bogotá, D. C., Colombia  
<http://ediciones.uniandes.edu.co>  
[infeduni@uniandes.edu.co](mailto:infeduni@uniandes.edu.co)

© Secretaría Distrital de Ambiente  
Avenida Caracas núm. 54-38  
Teléfono: 377 88 99  
Bogotá, D. C., Colombia

ISBN: 978-958-695-487-7

Corrección de estilo: Marcela Garzón  
Diseño y diagramación: Andrea Julieth Castellanos

Impresión: Editorial Kimpres Ltda.  
Calle 19 sur núm. 69C-17  
Teléfono: 413 68 84  
Bogotá, D. C., Colombia

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial.

# CONTENIDO

<b>PRÓLOGO</b> .....	<b>17</b>
<b>ABREVIATURAS Y SIGLAS</b> .....	<b>19</b>
<b>1. EL ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA (WQI)</b> .....	<b>21</b>
1.1. Significado del índice de calidad hídrica .....	21
1.2. El índice de calidad hídrica .....	22
1.3. Objetivos de calidad.....	24
<b>2. METODOLOGÍA DE LOS MONITOREOS</b> .....	<b>31</b>
2.1. Sitios de monitoreo .....	31
2.2. Monitoreos fisicoquímicos .....	35
2.3. Seguimientos de masa-modelos de calidad de agua .....	37
2.4. Monitoreos veinticuatro horas .....	46
2.5. Monitoreos específicos.....	50
<b>3. EL RÍO TORCA</b> .....	<b>61</b>
3.1. Resultados del monitoreo fisicoquímico.....	61
3.2. Calidad del agua (WQI) .....	70
3.3. Dinámica de calidad temporal.....	77
3.4. Modelo de calidad del agua .....	82
3.5. Resultados de los monitoreos específicos .....	92

<b>4. EL RÍO SALITRE .....</b>	<b>99</b>
4.1. Resultados del monitoreo fisicoquímico .....	99
4.2. Calidad del agua .....	109
4.3. Dinámica de calidad temporal .....	124
4.4. Modelo de calidad del agua .....	131
4.5. Resultados de los monitoreos específicos .....	138
<b>5. EL RÍO FUCHA.....</b>	<b>145</b>
5.1. Resultados del monitoreo fisicoquímico.....	145
5.2. Calidad del agua .....	152
5.3. Dinámica de la calidad temporal.....	166
5.4. Modelo de calidad del agua .....	169
5.5. Resultados de los monitoreos específicos .....	177
<b>6. EL RÍO TUNJUELO.....</b>	<b>183</b>
6.1. Resultados del monitoreo fisicoquímico .....	183
6.2. Calidad del agua .....	189
6.3. Dinámica de calidad temporal .....	211
6.4. Modelo de calidad del agua .....	215
6.5. Resultados de los monitoreos específicos .....	224
<b>7. ESTADO DE LOS RÍOS EN BOGOTÁ (2008-2009) .....</b>	<b>231</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>249</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>251</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>253</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>257</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 2.1. Ubicación geográfica puntos de monitoreo RCHB (Convenio 069 de 2007) .....	34
FIG. 2.2. Monitoreo limnológico bentos .....	57
FIG. 2.3. Monitoreo limnológico perifiton.....	57
FIG. 2.4. Puntos de muestreo pentos y berifiton .....	59
FIG. 3.1. El río Torca.....	61
FIG. 3.2. pH (río Torca).....	65
FIG. 3.3. Conductividad (río Torca).....	65
FIG. 3.4. Oxígeno disuelto (río Torca).....	65
FIG. 3.5. Materia orgánica (río Torca).....	66
FIG. 3.6. SST (río Torca).....	66
FIG. 3.7. Nutrientes (río Torca).....	67
FIG. 3.8. Relación DBO/DQO (río Torca).....	68
FIG. 3.9. Relación DBO/SST (río Torca) .....	68
FIG. 3.10. Relación DBO/NTK (río Torca).....	69
FIG. 3.11. Carga contaminante (río Torca).....	69
FIG. 3.12. Variación horaria del factor multiplicador de oxígeno disuelto (río Torca) .....	79
FIG. 3.13. Variación horaria del factor multiplicador de DBO (río Torca) .....	80
FIG. 3.14. Variación horaria del factor multiplicador de DQO (río Torca).....	80
FIG. 3.15. Variación horaria del factor multiplicador de NTK (río Torca) .....	81
FIG. 3.16. Variación horaria del factor multiplicador de fósforo (río Torca).....	81
FIG. 3.17. Variación horaria del factor multiplicador de los ST (río Torca).....	82
FIG. 3.18. Variación horaria del factor multiplicador de los SST (río Torca).....	82
FIG. 3.19. Distribución de los puntos de monitoreo (sector 1: campaña de seguimiento de masa del río Torca) .....	83
FIG. 3.20. Distribución de puntos de monitoreo (sector 2: campaña de seguimiento de masa del río Torca).....	83
FIG. 3.21. Distribución de puntos de monitoreo (sector 3: campaña de seguimiento de masa del río Torca).....	84

FIG. 3.22. Perfil longitudinal de caudal observado (campana de seguimiento de masa del río Torca).....	84
FIG. 3.23. Caudales observados para las fuentes puntuales (campana de seguimiento de masa del río Torca).....	87
FIG. 3.24. Perfil longitudinal del OD (campana de seguimiento de masa del río Torca) .....	88
FIG. 3.25. Perfil longitudinal de la DBO (campana de seguimiento de masa del río Torca) .....	88
FIG. 3.26. Carga contaminante de la DBO (campana de seguimiento de masa del río Torca) ...	88
FIG. 3.27. Perfil longitudinal de los SST (campana de seguimiento de masa del río Torca) .....	89
FIG. 3.28. Carga contaminante de los SST (campana de seguimiento de masa del río Torca)...	89
FIG. 3.29. Comparación escenarios de saneamiento (río Torca) .....	91
FIG. 3.30. Contenido de metales sedimentos (río Torca) .....	93
FIG. 3.31. Demanda béntica exógena (río Torca).....	94
FIG. 4.1. Río Salitre .....	100
FIG. 4.2. pH (río Salitre).....	102
FIG. 4.3. Conductividad (río Salitre).....	103
FIG. 4.4. Oxígeno disuelto (río Salitre).....	104
FIG. 4.5. Materia orgánica (río Salitre).....	104
FIG. 4.6. Sólidos suspendidos totales (río Salitre) .....	105
FIG. 4.7. Nutrientes (río Salitre).....	106
FIG. 4.8. Relación DBO/DOO (río Salitre) .....	107
FIG. 4.9. Relación DBO/SST (río Salitre) .....	107
FIG. 4.10. Relación DBO/NTK (río Salitre).....	108
FIG. 4.11. Carga contaminante (río Salitre).....	109
FIG. 4.12. Variación horaria del factor multiplicador de oxígeno disuelto (río Salitre).....	126
FIG. 4.13. Variación horaria del factor multiplicador de la DBO (río Salitre) .....	126
FIG. 4.14. Variación horaria del factor multiplicador de la DOO (río Salitre) .....	127
FIG. 4.15. Variación horaria del factor multiplicador del NTK (río Salitre).....	128
FIG. 4.16. Variación horaria del factor multiplicador de fósforo (río Salitre) .....	129
FIG. 4.17. Variación horaria del factor multiplicador de los ST (río Salitre) .....	130
FIG. 4.18. Variación horaria del factor multiplicador de los SST (río Salitre).....	131
FIG. 4.19. Distribución de los puntos de monitoreo (sector 1: campana de seguimiento de masa) .....	131
FIG. 4.20. Distribución de puntos de monitoreo (sector 2: campana de seguimiento de masa) .....	132
FIG. 4.21 . Perfil longitudinal del caudal observado (campana de seguimiento de masa, río Salitre).....	132
FIG. 4.22. Caudales observados para las fuentes puntuales (campana de seguimiento de masa) .....	135
FIG. 4.23. Perfil longitudinal de la OD (campana de seguimiento de masa) .....	135
FIG. 4.24. Perfil longitudinal de la DBO (campana de seguimiento de masa) .....	136
FIG. 4.25. Carga contaminante de la DBO (campana de seguimiento de masa) .....	136

FIG. 4.26. Perfil longitudinal de los SST (campaña de seguimiento de masa) .....	136
FIG. 4.27. Carga contaminante de los SST (campaña de seguimiento de masa).....	136
FIG. 4.28. Comparación de los escenarios de saneamiento (río Salitre) .....	138
FIG. 4.29. Contenido metales sedimentos (río Salitre).....	140
FIG. 4.30. Demanda béntica (río Salitre).....	140
FIG. 5.1. Río Fucha .....	145
FIG. 5.2. pH (río Fucha) .....	147
FIG. 5.3. Conductividad (río Fucha).....	147
FIG. 5.4. Oxígeno disuelto (río Fucha).....	148
FIG. 5.5. Materia orgánica (río Fucha).....	148
FIG. 5.6. SST (río Fucha).....	149
FIG. 5.7. Nutrientes (río Fucha).....	149
FIG. 5.8. Relación DBO/DOO (río Fucha).....	150
FIG. 5.9. Relación DBO/SST (río Fucha) .....	150
FIG. 5.10. Relación DBO/NTK (río Fucha).....	151
FIG. 5.11. Carga contaminante (río Fucha).....	152
FIG. 5.12. Variación horaria del factor multiplicador de la DBO (río Fucha) .....	167
FIG. 5.13. Variación horaria del factor multiplicador de la DOO (río Fucha) .....	167
FIG. 5.14. Variación horaria del factor multiplicador del NTK (río Fucha) .....	167
FIG. 5.15. Variación horaria del factor multiplicador del fósforo (río Fucha) .....	168
FIG. 5.16. Variación horaria del factor multiplicador de los ST (río Fucha) .....	168
FIG. 5.17. Variación horaria del factor multiplicador de los SST (río Fucha).....	169
FIG. 5.18. Distribución de puntos de monitoreo (sector 1, campaña de seguimiento de masa) .....	170
FIG. 5.19. Distribución de puntos de monitoreo (sector 2, campaña de seguimiento de masa) .....	171
FIG. 5.20. Perfil longitudinal del caudal observado (campaña de seguimiento de masa) .....	171
FIG. 5.21. Caudales observados para las fuentes puntuales (campaña de seguimiento de masa) .....	173
FIG. 5.22. Perfil longitudinal de OD (campaña de seguimiento de masa) .....	173
FIG. 5.23. Carga contaminante de la DOO (campaña de seguimiento de masa) .....	174
FIG. 5.24. Carga contaminante de la DBO (campaña de seguimiento de masa) .....	174
FIG. 5.25. Perfil longitudinal de los SST (campaña de seguimiento de masa) .....	175
FIG. 5.26. Carga contaminante de los SST (campaña de seguimiento de masa) .....	175
FIG. 5.27. Comparación escenarios de saneamiento (río Fucha) .....	177
FIG. 5.28. Contenido metales sedimentos (río Fucha) .....	179
FIG. 5.29. Demanda béntica (río Fucha) .....	179
FIG. 6.1. Río Tunjuelo .....	183
FIG. 6.2. pH (río Tunjuelo).....	185
FIG. 6.3. Conductividad (río Tunjuelo).....	185
FIG. 6.4. Oxígeno disuelto (río Tunjuelo).....	185

FIG. 6.5. Materia orgánica (río Tunjuelo).....	186
FIG. 6.6. SST (río Tunjuelo).....	186
FIG. 6.7. Nutrientes (río Tunjuelo).....	187
FIG. 6.8. Relación DBO/DQO (río Tunjuelo).....	187
FIG. 6.9. Relación DBO/SST (río Tunjuelo) .....	188
FIG. 6.10. Relación DBO/NTK (río Tunjuelo).....	188
FIG. 6.11. Carga contaminante (río Tunjuelo).....	189
FIG. 6.12. Variación horaria del factor multiplicador de la DBO (río Tunjuelo) .....	212
FIG. 6.13. Variación horaria del factor multiplicador de la DQO (río Tunjuelo) .....	212
FIG. 6.14. Variación horaria del factor multiplicador del NTK (río Tunjuelo) .....	213
FIG. 6.15. Variación horaria del factor multiplicador del fósforo (río Tunjuelo) .....	213
FIG. 6.16. Variación horaria del factor multiplicador de los ST (río Tunjuelo) .....	214
FIG. 6.17. Variación horaria del factor multiplicador de los SST (río Tunjuelo) .....	214
FIG. 6.18. Discontinuidad en el flujo del de agua (zona de canteras inundadas) .....	215
FIG. 6.19. Distribución de puntos de monitoreo (sector 1, campaña de seguimiento de masa) .....	216
FIG. 6.20. Distribución de puntos de monitoreo (sector 2, campaña de seguimiento de masa) .....	216
FIG. 6.21. Perfil longitudinal de caudal observado (campaña de seguimiento de masa) .....	217
FIG. 6.22. Caudales observados para las fuentes puntuales (campaña de seguimiento de masa) .....	219
FIG. 6.23. Perfil longitudinal de la OD (campaña de seguimiento de masa) .....	220
FIG. 6.24. Perfil longitudinal de la DBO (campaña de seguimiento de masa) .....	221
FIG. 6.25. Carga contaminante de la DBO (campaña de seguimiento de masa) .....	221
FIG. 6.26. Perfil longitudinal de los SST (campaña de seguimiento de masa) .....	222
FIG. 6.27. Carga contaminante de los SST (campaña de seguimiento de masa) .....	222
FIG. 6.28. Comparación escenarios de saneamiento (longitud de monitoreo 1) .....	223
FIG. 6.29. Comparación escenarios de saneamiento (longitud de monitoreo 2) .....	224
FIG. 6.30. Contenido metales sedimentos (río Tunjuelo).....	226
FIG. 6.31. Demanda béntica (río Tunjuelo).....	226
FIG. 7.1. WQI 2008-2009: ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo .....	232
FIG. 7.2. Categorización de las estaciones de acuerdo con la valoración multihábitat del tramo del río en cada estación.....	234
FIG. 7.3. Valores del índice de Margalef aplicado a los valores promedio de las densidades de invertebrados del bentos colectado (diciembre de 2008).....	242
FIG. 7.4. Relación entre la calificación de la valoración multihábitat y el valor del índice de Margalef para las muestras de macroinvertebrados (febrero de 2009).....	242
FIG. 7.5. Rangos de tolerancia a la contaminación orgánica asignados a los grupos de macroinvertebrados (diciembre de 2008 a febrero 2009) .....	243
FIG. 7.6. Categorización de la estaciones de acuerdo con la valoración del índice de diatomeas (diciembre de 2008 a febrero de 2009.....	245

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. Parámetros para la evaluación del WQI .....	23
TABLA 1.2. Objetivos de calidad (cuatro años) .....	26
TABLA 1.3. Objetivos de calidad (diez años) .....	27
TABLA 1.4. Límites de los tramos .....	28
TABLA 1.5. Puntos de monitoreo por tramo.....	28
TABLA 2.1. Puntos de monitoreo RCHB (Convenio 069 de 2007) .....	33
TABLA 2.2. Parámetros de calidad medidos en las campañas de monitoreo .....	36
TABLA 2.3. Puntos de monitoreo: campaña complementaria .....	36
TABLA 2.4. Puntos de monitoreo definidos para el seguimiento de masa en el río Torca .....	38
TABLA 2.5. Puntos de monitoreo definidos para el seguimiento de masa en el río Salitre.....	39
TABLA 2.6. Puntos de monitoreo definidos para el seguimiento de masa en el río Fucha .....	41
TABLA 2.7. Puntos de monitoreo definidos para el seguimiento de masa en el río Tunjuelo .....	42
TABLA 2.8. Monitoreos veinticuatro horas.....	47
TABLA 2.9. Parámetros medidos: monitoreos veinticuatro horas .....	48
TABLA 2.10. Sitios monitoreados: campaña de sedimentos.....	50
TABLA 2.11. Sitios monitoreados: campaña de patógenos .....	52
TABLA 2.12. Sitios monitoreados: sustancias especiales .....	53
TABLA 2.13. Sitios monitoreados: limnología.....	55
TABLA 2.14. Sitios monitoreados: limnología .....	58
TABLA 3.1. Bandas históricas (río Torca) .....	62
TABLA 3.2. Campaña 1 (río Torca) .....	70
TABLA 3.3. Campaña 2 (río Torca) .....	71
TABLA 3.4. Campaña complementaria (río Torca) .....	71
TABLA 3.5. Seguimiento de masa (río Torca).....	72

TABLA 3.6. Campaña veinticuatro horas (río Torca).....	72
TABLA 3.7. Índice de calidad hídrica (río Torca) .....	76
TABLA 3.8. Índice de calidad hídrica (río Torca, tramo 1) .....	77
TABLA 3.9. Índice de calidad hídrica (río Torca, tramo 2).....	77
TABLA 3.10. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos de la RCHB El Cedro con carrera 12).....	78
TABLA 3.11. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos de la RCHB Makro) .....	79
TABLA 3.12. Caudales observados en los puntos de monitoreo (campaña de seguimiento de masa del río Torca) .....	85
TABLA 3.13. Fuentes puntuales eliminadas para la generación de escenarios de saneamiento (río Torca) .....	90
TABLA 3.14. Características de los sedimentos (río Torca) .....	92
TABLA 3.15. Patógenos (río Torca) .....	94
TABLA 3.16. Estado de los puntos monitoreados (valoración multihábitat para las comunidades del bentos, río Torca) .....	97
TABLA 4.1. Ver inserto entre las páginas 100 y 101	
TABLA 4.2. Campaña 1 .....	110
TABLA 4.3. Campaña 2 .....	111
TABLA 4.4. Campaña complementaria .....	112
TABLA 4.5. Seguimiento de masa .....	115
TABLA 4.6. Campaña veinticuatro horas.....	115
TABLA 4.7. WQI (río Salitre) .....	121
TABLA 4.8. WQI (tramo 1).....	121
TABLA 4.9. WQI (tramo 2) .....	122
TABLA 4.10. WQI (tramo 3).....	123
TABLA 4.11. WQI (tramo 4).....	123
TABLA 4.12. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos RCHB, Parque Nacional).....	124
TABLA 4.13. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos RCHB y NQS, calle 53) .....	124
TABLA 4.14. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos RCHB, transversal 91).....	125
TABLA 4.15. Caudales observados en los puntos de monitoreo (campaña de seguimiento de masa .....	133
TABLA 4.16. Fuentes puntuales eliminadas para la generación de escenarios de saneamiento.....	137
TABLA 4.17. Características de los sedimentos (río Salitre).....	139
TABLA 4.18. Patógenos (río Salitre) .....	141
TABLA 4.19. Estado de los puntos monitoreados (valoración multihábitat para las comunidades del bentos).....	143

TABLA 5.1. Ver inserto entre las páginas 145 y 146	
TABLA 5.2. Campaña 1 .....	152
TABLA 5.3. Campaña 2 .....	154
TABLA 5.4. Campaña complementaria .....	156
TABLA 5.5. Seguimiento de masa .....	158
TABLA 5.6. Campaña veinticuatro horas .....	159
TABLA 5.7. WQI (río Fucha) .....	164
TABLA 5.8. WQI (tramo 1) .....	164
TABLA 5.9. WQI (tramo 2) .....	165
TABLA 5.10. WQI (tramo 3) .....	165
TABLA 5.11. WQI (tramo 4) .....	166
TABLA 5.12. Caudales observados en los puntos de monitoreo (campaña de seguimiento de masa) .....	172
TABLA 5.13. Fuentes puntuales eliminadas para la generación de escenarios de saneamiento .....	176
TABLA 5.14. Características de los sedimentos (río Fucha) .....	178
TABLA 5.15. Patógenos (río Fucha) .....	180
TABLA 5.16. Estado de los puntos monitoreados (valoración multihábitat para las comunidades del bentos) .....	182
TABLA 6.1. Ver inserto entre las páginas 183 y 184	
TABLA 6.2. Campaña 1 (río Tunjuelo) .....	190
TABLA 6.3. Campaña 2 (río Tunjuelo) .....	192
TABLA 6.4. Campaña complementaria .....	194
TABLA 6.5. Seguimiento de masa .....	202
TABLA 6.6. Campaña veinticuatro horas .....	203
TABLA 6.7. WQI (río Tunjuelo) .....	209
TABLA 6.8. WQI (tramo 1) .....	209
TABLA 6.9. WQI (tramo 2) .....	210
TABLA 6.10. WQI (tramo 3) .....	210
TABLA 6.11. WQI (tramo 4) .....	211
TABLA 6.12. Caudales observados en los puntos de monitoreo (campaña de seguimiento de masa) .....	217
TABLA 6.13. Fuentes puntuales eliminadas para la generación de escenarios de saneamiento .....	222
TABLA 6.14. Características de los sedimentos (río Tunjuelo) .....	225
TABLA 6.15. Patógenos (río Tunjuelo) .....	227
TABLA 6.16. Estado de los puntos monitoreados (valoración multihábitat para las comunidades del bentos) .....	229
TABLA 7.1. Calificación del estado de las estaciones basada en la valoración multihábitat de los tramos usados para el muestreo de las comunidades del bentos en las diferentes estaciones de la RCHB .....	233

TABLA 7.2. Jerarquización taxonómica de los macroinvertebrados colectados en la RCHB (diciembre de 2008 a febrero de 2009).....	235
TABLA 7.3. Número de individuos colectados en cada submuestra en la RCHB (diciembre de 2008 a febrero de 2009). Período de aguas altas.....	237
TABLA 7.4. Número de individuos colectados en cada submuestra en la RCHB. Período de aguas bajas.....	239
TABLA 7.5. Composición y densidad del perifiton (diciembre de 2008 a febrero de 2009) .....	246

## PRÓLOGO

**B**ogotá adelanta un modelo de control ambiental para la recuperación del recurso hídrico, enfocado en la conectividad de la ciudad entre sus límites naturales, los cerros y el río Bogotá comunicados por los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca, recorriendo también sus trece humedales. Este modelo, que orienta los esfuerzos al mejoramiento de la calidad de los ríos de la ciudad, concibiéndolos como parte integral del sistema hídrico de la sabana, hace imperativo incluir la temática de las aguas subterráneas, lo que a su vez involucra aspectos en el ámbito regional, razón por la cual la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) impulsó en el 2009 la conformación de la Mesa Regional de Aguas Subterráneas que hoy está integrada y opera con la participación y concurso del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP).

Parte de este desarrollo se ve reflejado en la consolidación de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB) que orienta la toma de decisiones en la recuperación del recurso hídrico superficial, y que paralelamente se irá integrando con la nueva Red de Monitoreo de Aguas Subterráneas que está desarrollando la Administración Distrital, a través de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. De esta manera, la ciudad dispondrá, a corto plazo, de una herramienta global que permitirá medir en calidad y cantidad el estado del recurso hídrico de la ciudad.

Es cierto que los ríos, en especial los urbanos, no se recuperan sólo con la intención de hacerlo, se requiere, además y principalmente, de recursos y de decisión política, y esto es lo que ha hecho la Administración a través de su Plan de Desarrollo Bogotá Positiva: para Vivir Mejor.

Ahora, se requiere continuar con tales esfuerzos y es precisamente esta publicación la muestra de ese compromiso con Bogotá. Su lectura permitirá observar la mejora de la calidad del agua en los principales ríos urbanos de la ciudad, aclarando que es apenas el comienzo de lo que se puede alcanzar, pero dejando establecido el horizonte de los ríos urbanos de Bogotá. Para esto, se están implementando las metas del plan de desarrollo relacionadas con la

recuperación del recurso hídrico: adopción de objetivos de calidad con la Resolución 5731 de 2008; formulación y adopción de las normas técnicas para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público y al recurso hídrico en el Distrito Capital a través de las resoluciones 3956 y 3957 de 2009; levantamiento de los mapas de vertimientos de la ciudad, diseño e implementación de los programas de control de vertimientos y aguas subterráneas para Bogotá; elaboración del modelo hidrogeológico; avance en las obras de saneamiento y manejo de vertimientos; recuperación y mejor proyección de la imagen de la Autoridad Ambiental, e implementación de la cuenta del agua.

Este horizonte de calidad, generado para el recurso hídrico de la ciudad, será más alcanzable en la medida en que más usuarios de impacto legalicen sus actividades en materia de recurso hídrico. A la fecha, han sido más de 1500 usuarios los que lo han realizado, triplicando las cifras de las administraciones anteriores. Por supuesto, esta meta estará más cerca en cuanto concluyan y entren en funcionamiento las obras de saneamiento y manejo de vertimientos en los ríos Tunjuelo y Fucha, al igual que las obras de rehabilitación sobre el río Salitre, y en cuanto la misma comunidad apropie el valor de sus ríos y los haga parte de sus hábitos de consumo responsable, que tanto impactan la calidad del agua.

## ABREVIATURAS Y SIGLAS

A y G	Aceites y grasas
A	Agrícola
BTEX	Benceno, tolueno, etilbenceno, xileno
CH1	Consumo humano (tratamiento convencional)
CH2	Consumo humano (desinfección)
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DSE	Disruptores del sistema endocrino
DQO	Demanda química de oxígeno
MDLC	Multilinear Discrete Lag-Cascade Method of Channel Routing
NTK	Nitrógeno total Kjeldahl
$N_{total}$	Nitrógeno total
OD	Oxígeno disuelto
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
P	Pecuario
PAH	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
PCB	Policloruros de bifenilo
PFF	Preservación de la flora y la fauna
POC	Pesticidas organoclorados
POP	Pesticidas organofosforados
PSMV	Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
$P_{total}$	Fósforo total
R1	Recreativo (contacto primario)
R2	Recreativo (contacto secundario)
RBP	Protocolos de bioevaluación rápida
RCHB	Red de Calidad Hídrica de Bogotá
SAAM	Sustancias activas al azul de metileno

SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
ST	Sólidos totales
SST	Sólidos suspendidos totales
WQI	Water Quality Index

# 1. EL ÍNDICE DE CALIDAD HÍDRICA (WQI)

**E**l aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la cantidad, calidad y usos del recurso hídrico, por lo que se hace indispensable contar con una herramienta que permita identificar el deterioro o mejora de la calidad de éstas. La forma como se mide, los parámetros que se medirán, la frecuencia de monitoreos, los reportes de los resultados y su correlación, deben conservar bases muy fuertes, pero, a su vez, permitir su comprensión por la totalidad de las personas interesadas en conocer el estado y evolución de estos cuerpos de agua y así facilitar la toma de decisiones, cuyos resultados deberán en un futuro cercano convertirse en el insumo para la formulación de la política hídrica distrital.

Por tal motivo, a partir del Convenio 005 del 2006 realizado entre la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), se propuso el uso de un índice de calidad para el recurso hídrico (SDA y EAAB, 2008), con objeto de evaluar periódicamente la dinámica de los principales cuerpos lóticos de la ciudad. Sobre esta propuesta, la SDA y la Universidad de los Andes dentro del Convenio 069 del 2007,

generaron tres diferentes formas de presentar resultados de la evolución y el estado de los ríos de la ciudad, de acuerdo con los períodos temporales sobre los cuales se realiza la medición. De estos tres se escogió uno que es el que se presenta en este documento.

## 1.1. Significado del índice de calidad hídrica

La medida independiente de los diversos parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos en cuerpos de agua, por sí sola no permite caracterizar integralmente la calidad, el estado y la evolución del recurso hídrico, razón por la cual es muy importante el monitoreo sistemático simultáneo, en lugares y tiempos similares, de varios de los indicadores utilizados en la caracterización de las aguas. El tipo de parámetros que se han de medir, la frecuencia de los monitoreos y la forma de éstos depende directamente de lo que se quiere saber de los cuerpos de agua. Por este motivo, en los últimos años los ejercicios de caracterización de los cuerpos de agua utilizan índices de calidad que involucran simultáneamente, en diferente proporción, los valores de los distintos parámetros

medidos en ella. Por supuesto, para poder establecer el estado actual de un cuerpo de agua, es muy importante realizar la comparación frente a los objetivos y usos que se han trazado para éste, condiciones que se ven reflejadas en los valores.

Paralelamente a esta metodología, y teniendo en cuenta la dinámica natural y la complejidad que presentan los ríos, algunos de estos índices de calidad hídrica califican no sólo los valores puntuales y absolutos de las medidas de los diferentes parámetros, sino que involucran comparaciones relativas que permiten establecer el grado de cumplimiento alcanzado por cada uno, así como evaluar y presentar de una forma más apropiada el alcance de los objetivos propuestos para tal recurso.

## 1.2. El índice de calidad hídrica

En el caso específico de la ciudad de Bogotá, el CCME-WQI (Canadian Council of Ministers of the Environment-Water Quality Index) fue el índice escogido dentro del Convenio 005 de 2006, como herramienta para determinar el estado y grado de cumplimiento de los objetivos para los principales ríos de la ciudad. Aparte de los beneficios genéricos que representa el uso de estos índices, en el caso específico del WQI adoptado por la SDA, dos de las ventajas que más pesaron para su selección fueron: 1) los datos medidos sobre la calidad del agua pueden ser comparados con cualquier norma y 2) al realizar el reporte se hace una clasificación según la categoría en la cual se encuentra la calidad del agua: excelente, buena, regular, marginal y pobre

(valores relativos frente al objetivo específico trazado sobre el recurso hídrico), categorías que son de fácil entendimiento para la comunidad, los responsables de la toma de decisiones y las autoridades ambientales.

### 1.2.1. Períodos de evaluación

Sobre el WQI propuesto inicialmente, y dadas las necesidades de información de la SDA y la flexibilidad que posee dicho índice, después de hacer diferentes análisis se acordó entre la Universidad de los Andes y la SDA que el modo de evaluación para determinar las condiciones de calidad de los principales ríos de la ciudad de Bogotá, será el WQI-Anual, el cual evalúa la calidad del agua en un año (por ejemplo, el 2008; junio de 2007 a junio de 2008), ya que está diseñado para evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos de calidad a lo largo de este período y cuyo referente es lo establecido en la Resolución 5731 de 2008 ("Objetivos de calidad").

De acuerdo con los objetivos de calidad establecidos para el recurso hídrico en la ciudad de Bogotá, en la tabla 1.1 se presentan los parámetros que se deben monitorear para poder establecer el cumplimiento de dichos objetivos a través del cálculo del WQI. Cabe resaltar que si un parámetro no es monitoreado (no existen valores para un parámetro), no será viable calcular el WQI; sin embargo, el cálculo del índice se puede hacer si uno o más parámetros tienen más valores que otros. En el caso de evaluar la calidad del agua según los usos establecidos en el ámbito nacional, se deben tener en cuenta los parámetros y rangos del Decreto 1594/1984 del Ministerio de Salud.

TABLA 1.1. Parámetros para la evaluación del wqi

Parámetros
OD
DBO5
DQO
N <sub>total</sub>
P <sub>total</sub>
SST
A y G
Coliformes fecales
pH
SAAM

### 1.2.2. Cálculos del índice de calidad hídrica

El índice de calidad hídrica (wqi) adoptado para verificar el cumplimiento de los objetivos de la calidad del agua de los principales ríos de la ciudad, se calcula como:

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

Las variables F1, F2 y F3 representan diferentes aproximaciones para determinar la calidad del agua. Su explicación y cálculos se explican a continuación.

- **F1 (alcance):** representa la cantidad de parámetros que no cumplen los objetivos al menos una vez. Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$F1 = \left( \frac{\text{número de parámetros que no cumplen}}{\text{número total de parámetros}} \right) * 100$$

Los parámetros corresponden a los que están establecidos en los objetivos de calidad que se han de evaluar; para el caso de la Resolución 5731 de 2008 son diez parámetros (oxígeno disuelto, pH, DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales, aceites y grasas, SST y SAAM).

- **F2 (frecuencia):** representa la cantidad de datos que no cumplen los objetivos de calidad. Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$F2 = \left( \frac{\text{número de datos que no cumplen}}{\text{número total de datos}} \right) * 100$$

Cuando se está calculando el wqi de un tramo, pueden haber varios datos para un mismo parámetro, bien sea porque se están teniendo en cuenta varias campañas o porque un tramo tiene varios puntos de monitoreo.

- **F3 (amplitud):** representa la cantidad por la cual los datos no cumplen los objetivos. Se calcula a partir de la excursión y la suma normalizada de las excursiones (NSE).

Cuando hay uno o varios datos que no cumplen con los objetivos de calidad, se debe calcular la excursión de la siguiente manera:

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

Cuando los valores deben estar por encima del objetivo de calidad, como en el caso del oxígeno disuelto o pH, la excursión se calcula como:

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

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

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \text{excursión}_i}{\text{número total de datos}}$$

Finalmente, F3 se estima de la siguiente manera:

$$F3 = \left( \frac{nse}{0,01 * nse + 0,01} \right)$$

Los resultados del WQI se clasifican según las siguientes categorías:

**Excelente** ( $95 < WQI < 100$ ): la calidad del agua cumple los objetivos de calidad. Está protegida sin que las condiciones deseables estén amenazadas.

**Buena** ( $80 < WQI < 94$ ): la calidad del agua cumple con los objetivos de calidad. Está protegida en un menor nivel; sin embargo, las condiciones deseables pueden estar amenazadas.

**Regular** ( $65 < WQI < 79$ ): la calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad. Ocasionalmente las condiciones deseables están amenazadas.

**Marginal** ( $45 < WQI < 64$ ): la calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad. Frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas.

**Pobre** ( $0 < WQI < 44$ ): la calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad. La mayoría de veces la calidad está amenazada o afectada; por lo general, apartada de las condiciones deseables.

Este tipo de clasificación cualitativa ligada a una escala cromática tiene por propósito facilitar la comunicación del estado y dinámica de los ríos de la ciudad a la comunidad, dado que no es indispensable conocer el significado, los valores y rangos de cada uno de los parámetros a partir de los cuales se caracteriza la calidad de un cuerpo de agua, para comprender el grado de deterioro o calidad en el que se encuentra dicho recurso.

### 1.3. Objetivos de calidad

Dentro del proyecto *Concentraciones de referencia para los vertimientos industriales realizados a la red de alcantarillado y de los vertimientos industriales y domésticos efectuados*

a los cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá (Universidad de los Andes-SDA, 2007), se realizó una actualización de los objetivos de calidad del agua de los principales ríos de la ciudad (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo), a partir de los datos reportados en el Convenio 005/2006 suscrito entre la SDA y EAAB (2008), buscando una mejora sostenida en la calidad del recurso hídrico de la ciudad.

Estos objetivos se establecieron con el fin de recuperar los mencionados ríos hasta que su uso permita la preservación de la flora y la fauna, razón por la cual se propuso una gradualidad en cuatro períodos (cuatro, diez, veinte y cuarenta años), donde los objetivos de calidad son más estrictos a medida que se avanza en el tiempo.

A partir de la definición de estos nuevos objetivos de calidad, se publicó en diciembre de 2008 la Resolución 5731, “por la cual se deroga la Resolución 1813 de 2006 y se adoptan nuevos objetivos de calidad para los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y Torca en el Distrito Capital”. Los objetivos de calidad que aparecen en esta resolución corresponden a los dos primeros escenarios de tiempo (cuatro y diez años). Por otro lado, en la Resolución 5731 de 2008 están incluidos diez parámetros de la propuesta inicial de objetivos de calidad (v. tabla 1.2 y tabla 1.3), ya que son las variables más relevantes para establecer la calidad de los principales ríos de la ciudad y que permiten hacer el monitoreo y seguimiento más rápido. En el anexo 1 se presentan los objetivos de calidad propuestos para los escenarios de veinte y cuarenta años.

Estos objetivos fueron propuestos según el tramo específico de cada río. Los límites de los tramos establecidos en la Resolución 5731 de 2008 se presentan en la tabla 1.4. La ubicación espacial de cada uno de estos puntos es la misma utilizada en el Convenio 005/2006

(SDA y EAAB, 2008). De acuerdo con los sitios de monitoreo, donde se han realizado los muestreos los últimos años, los puntos de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB) que se encuentran en el límite de un tramo son:

- Torca: Makro 193

- Río Salitre: carrera 7ª; carrera 30 con calle 53; Carrefour avenida 68
- Río Fucha: carrera 7ª; avenida Las Américas y avenida Boyacá
- Río Tunjuelo: desembocadura quebrada Yomasa, Doña Juana; Makro Autopista Sur.

TABLA 1.2. Objetivos de calidad (cuatro años)

Parámetro	Unidades	Tramos río Torca				Tramos río Salitre				Tramos río Fucha				Tramos río Tunjuelo			
		1		2		1		2		1		2		1		2	
		3	0,5	7	2	0,5	0,5	7	4	0,2	0,2	7	4	0,2	0,2	7	2
OD	mg/L	3	0,5	7	2	0,5	0,5	7	4	0,2	0,2	7	4	0,2	0,2	7	2
DBO <sub>5</sub>	mg/L	15	150	5	80	150	150	5	50	250	250	5	50	250	250	5	100
DOO	mg/L	50	300	35	200	350	350	35	150	400	400	35	150	400	400	35	200
N <sub>total</sub>	mg/L	5	40	5	20	40	40	3	20	40	40	3	20	40	40	3	20
P <sub>total</sub>	mg/L	1	6	1	6	6	6	0,1	3	8	8	0,2	3	8	8	0,2	3
SST	mg/L	20	150	10	80	150	150	10	30	150	200	10	30	150	200	10	120
A y G	mg/L	20	30	10	20	30	30	10	25	40	60	20	25	40	60	20	20
Coliformes fecales	NMP/100mL	1E+05	1E+06	1E+05	1E+06	1E+06	1E+06	1E+03	1E+06	1E+06	1E+06	1E+03	1E+06	1E+06	1E+06	1E+03	1E+06
pH	Unidad	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9
SAAM	mg/L	1	4	1	3	3	3	0,5	3	4	4	0,5	3	4	4	0,5	3

TABLA 1.3. Objetivos de calidad (diez años)

Parámetro	Unidades	Tramos río Torca				Tramos río Salitre				Tramos río Fucha				Tramos río Tunjuelo			
		1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
OD	mg/L	5	2	8	5	2	2	8	5	0,5	0,5	8	5	2	1		
DBO <sub>5</sub>	mg/L	5	100	5	60	100	100	5	40	60	60	5	50	50	100		
DOO	mg/L	30	250	30	90	250	250	30	90	180	180	30	100	100	200		
N <sub>total</sub>	mg/L	2	20	2	10	20	20	1,5	10	10	10	1,5	10	10	20		
P <sub>total</sub>	mg/L	0,2	1	0,2	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1		
SST	mg/L	10	60	10	30	60	60	10	25	30	30	10	30	30	60		
A y G	mg/L	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
Coliformes fecales	NMP/100mL	1E+04	1E+05	1E+04	1E+05	1E+05	1E+05	1E+02	1E+05	1E+05	1E+05	1E+02	1E+05	1E+05	1E+05		
pH	Unidad	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5		
SAAM	mg/L	0,5	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1		

Nota: El N<sub>total</sub> hace referencia a la suma del NTK, nitritos y nitratos.

TABLA 1.4. Límites de los tramos

Características tramos de ríos			
Cuenca	Tramo	Desde	Hasta
Río Torca	1	Entrada perímetro urbano	Calle 183
	2	Calle 183	Desembocadura río Torca
Río Salitre	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª
	2	Carrera 7ª	Carrera 30
	3	Carrera 30	Avenida 68
	4	Avenida 68	Desembocadura río Juan Amarillo
Río Fucha	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª
	2	Carrera 7ª	Desembocadura canal Comuneros
	3	Desembocadura canal Comuneros	Avenida Boyacá
	4	Avenida Boyacá	Desembocadura río Fucha
Río Tunjuelo	1	Entrada perímetro urbano	Desembocadura quebrada Yomasa
	2	Desembocadura quebrada Yomasa	Avenida Boyacá
	3	Avenida Boyacá	Makro autopista Sur
	4	Makro autopista Sur	Desembocadura río Tunjuelo

Para poder incorporar estos puntos a un tramo, se realizó un análisis de la calidad del agua. Para los primeros tramos de los ríos, sólo se incorporarán los primeros puntos, los cuales muestran la calidad del agua justo a la entrada del perímetro urbano; esto permitió

establecer la calidad máxima potencialmente alcanzable a lo largo de cada uno de los ríos, sin tener en cuenta el efecto de su tránsito por la ciudad. En cuanto a los demás tramos, los puntos límite son compartidos en los tramos a los que corresponden (tabla 1.5).

TABLA 1.5. Puntos de monitoreo por tramo

Tramos	Puntos			
	Río Torca	Río Salitre	Río Fucha	Río Tunjuelo
Tramo 1	Canal El Cedro	Parque Nacional	El Delirio	Regadera
Tramo 2	Makro 193	Arzobispo carrera 7ª	Carrera 7ª río Fucha	Yomasa
	Club Guaymaral	Carrera 30 con calle 53	Avenida Ferrocarril	Doña Juana
Tramo 3			Avenida Las Americas-Fucha	Doña Juana

(Cont.)

Tramos	Puntos			
	Río Torca	Río Salitre	Río Fucha	Río Tunjuelo
Tramo 3		Carrera 30 con calle 53		Barrio México
		Avenida 68		San Benito
				Makro autopista Sur
Tramo 4		Avenida 68	Visión Colombia	Makro autopista Sur
		Transversal 91	Fucha Zona Franca	Transversal 86
		Planta El Salitre	Fucha con Alameda	Puente La Independencia
		Salitre con Alameda		Isla Pontón San José

### 1.3.1. Objetivos de calidad (cuatro años)

Los dos propósitos fundamentales con los cuales se establecieron objetivos de calidad a cuatro años para el recurso hídrico de la ciudad fueron: 1) evitar la contaminación en los tramos de los ríos donde existe una buena calidad del agua y 2) mejorar los tramos con baja calidad durante ese período. En términos generales, para los tramos con baja calidad actual, los objetivos de calidad a cuatro años fueron establecidos de acuerdo con las obras de saneamiento previstas por la EAAB a través del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de la ciudad, además de algunas otras obras que fuesen requeridas para cumplir el estándar de calidad en cada uno de los tramos (tabla 1.2).

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

- Registros históricos de calidad de todos los puntos de la RCHB en los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo (SDA y EAAB, 2008);
- Modelación en Qual 2k de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo (Universidad de los Andes, 2007).

- Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud, uso agrícola.
- Recomendaciones para uso agrícola de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Concentraciones de la OECD: clase IV en el proyecto de objetivos de calidad propuesto por esta organización para la República de Moldavia.

Inicialmente, se realizó un análisis del estado actual de los ríos con los resultados de la modelación y los valores históricos de la RCHB. Se encontró que la calidad del agua varía en función de los ríos, de cada uno de los tramos y de la precedencia hidrológica próxima en cada cuenca. En los tramos altos, la calidad es mucho mejor que en los tramos finales; por esta razón, se establecieron objetivos de calidad por río y por tramo.

### 1.3.2. Objetivos de calidad (diez años)

Según el Acuerdo 043 de 2006 de la CAR, la calidad del agua de la cuenca del río Bogotá para el 2020 debe cumplir con la clase IV, la cual corresponde a uso agrícola con

restricción y pecuario. Con el fin de alcanzar estos objetivos de calidad, se realizaron balances de masa para varios determinantes de calidad hídrica con el fin de determinar la concentración máxima que pueden tener los principales ríos de la capital antes de desembocar en el río Bogotá. A partir de estos cálculos y los resultados de modelaciones con escenarios donde el saneamiento de los puntos de vertimiento va más allá de lo propuesto por la EAAB en el PSMV, se establecieron los objetivos de calidad a diez años para el recurso hídrico lóxico superficial de la ciudad como se presentan en la tabla 1.3. El cumplimiento de estos objetivos por parte de los ríos de la ciudad, aseguraría la responsabilidad de la ciudad en el cumplimiento de los objetivos de calidad del río Bogotá al 2020.

### 1.3.3. Propuesta de objetivos de calidad (veinte y cuarenta años)

El objetivo final de definir unos criterios de calidad es proteger los ecosistemas acuáticos preservando la flora y la fauna. Teniendo en cuenta la experiencia internacional, para lograr estos objetivos es necesario proponer metas graduales. Por esta razón, a cuatro y diez años, se establecieron parámetros de calidad de acuerdo con las obras de saneamiento necesarias en la ciudad, mientras que para veinte y cuarenta años se contempló la recuperación ecológica de los ecosistemas.

Estos objetivos de calidad propuestos a veinte y cuarenta años buscan mantener la buena calidad del agua con la que entran los

ríos al perímetro urbano, hasta su desembocadura en el río Bogotá. Tales objetivos se basaron en la revisión bibliográfica internacional para los usos del agua agrícola sin restricción, recreacional, protección de la salud humana y preservación de la flora y la fauna. En el anexo 1 se presentan con detalle los objetivos de calidad para los ríos de la ciudad para veinte y cuarenta años.

Habiendo fijado la herramienta metodológica que permite comparar de forma normalizada los monitoreos de agua que se realizan sobre el recurso hídrico de la ciudad y teniendo claridad sobre los objetivos de calidad que para los diferentes períodos debe tener dicho recurso, dentro del Convenio 069 suscrito entre la SDA y la Universidad de los Andes se procedió a plantear una estructura metodológica de monitoreo sobre los ríos de la ciudad para los años 2008 y 2009, cuyo propósito fundamental fue recopilar información de calidad físico-química de los ríos de la ciudad de acuerdo con la metodología seguida en el Convenio 005, y realizar campañas de monitoreo que permitiesen complementar espacial, temporal y en parámetros los ejercicios de caracterización llevados hasta la fecha por la SDA sobre los cuatro principales ríos de la ciudad.

Sin embargo, es relevante aclarar que de acuerdo con los resultados de los monitoreos que se hagan durante los primeros diez años y a la evolución de la calidad de los cuerpos de agua, los objetivos definidos a veinte y cuarenta años podrán ser analizados y modificados en el 2020.

## 2. METODOLOGÍA DE LOS MONITOREOS

Con el propósito de seguir avanzando en el conocimiento y establecimiento del grado de calidad del recurso hídrico ló-tico superficial (ríos y quebradas) de Bogotá, la metodología propuesta en el Convenio 069 de 2007 involucró la revisión, en primera instancia, de los puntos de monitoreo que hasta la fecha poseía la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB), el tipo de monitoreo realizado históricamente y los parámetros de caracte-rización de aguas medidos hasta la fecha, con objeto de, manteniendo la estructura básica de monitoreo utilizada en anteriores ejercicios, complementar la información del estado del recurso hídrico en la ciudad.

Como primera medida fueron modifica-dos el número de puntos constituyentes de la RCHB; se realizaron monitoreos en algunos puntos específicos de los ríos por jornadas de veinticuatro horas; se implementaron medidas de calidad en sedimentos; se midie-ron por vez primera patógenos y sustancias especiales en los cuatro principales ríos de la ciudad, y se llevó a cabo una campaña básica de caracterización limnológica sobre dichos cuerpos de agua.

### 2.1. Sitios de monitoreo

Durante la ejecución del Convenio 005 de 2006 se definieron 37 sitios de monitoreo, como constituyentes de la RCHB, distribuidos en los diferentes ríos de la siguiente forma:

- Tres en el río Torca.
- Siete en el río Salitre.
- Siete en el río Fucha.
- Nueve en el río Tunjuelo.
- Once en la cuenca media del río Bogotá.

Para las campañas de monitoreo de la RCHB 2008 y 2009, la Universidad de los Andes realizó una evaluación de la pertinencia y ubicación de 38 sitios de monitoreo: 37 sitios de monitoreo existentes y un sitio de monitoreo adicional pro-puesto por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), ubicado sobre el río Tunjuelo a la altura de la Estación Remota Fija Universidad Antonio Nariño. Como resultado de esta evaluación, se mantuvieron en su totalidad los sitios de mo-nitoreo existentes para los ríos Torca, Salitre y Fucha. Para el río Tunjuelo se incluyó el sitio de monitoreo denominado "Universidad Antonio Nariño", debido a que su ubicación permite la cuantificación del impacto en su calidad de

las actividades agrícolas y los vertimientos de la cabecera urbana de la localidad de Usme, ubicadas en la parte alta de la cuenca. En el caso de los puntos sobre el río Bogotá, se decidió entre la SDA y la Universidad de los Andes eliminar la gran mayoría de puntos de monitoreo sobre este río, centrando los esfuerzos y recursos sobre los ríos bajo jurisdicción exclusiva de la SDA. Se dejaron como puntos de monitoreo sobre el río Bogotá sólo los puntos de entrada (Puente Común) y salida (Cierre) del perímetro urbano de Bogotá, con objeto de evaluar el real impacto que los ríos y descargas de la ciudad generan sobre éste. Los nueve puntos omitidos dentro de la RCHB fueron:

- Puente La Virgen.
- Lisboa.
- El Cortijo.

- Puente La Florida.
- Puente Cundinamarca.
- Zona Franca- río Bogotá.
- Aguas arriba (100 m) descarga estación Gibraltar.
- Aguas abajo (100 m) descarga estación Gibraltar.
- San Benito.

Adicionalmente, algunos de los veintinueve puntos de monitoreo fueron reubicados teniendo en cuenta como criterio el desarrollo de la longitud de mezcla de vertimientos existentes aguas arriba de éstos. Reubicados los puntos de monitoreo, se realizó la señalización en la sección correspondiente. En la tabla 2.1 y en la figura 2.1 se presentan los sitios de monitoreo redefinidos y su ubicación.

TABLA 2.1. Puntos de monitoreo RCHB (Convenio 069 de 2007)

Tramos	Puntos <sup>a</sup>					
	Río Torca	Río Salitre	Río Fucha	Río Tunjuelo		
Tramo 1	Canal El Cedro (114640N-105633E) <sup>b</sup>	Parque Nacional (103150N-101430E)	El Delirio (95541N-101917E)	La Regadera (78878N-92546E)		
Tramo 2	Makro 193 (119317N-104300E)	Arzobispo carrera 7 <sup>a</sup> (103269N-101304E)	Carrera 7 <sup>a</sup> río Fucha (87861N-98913E)	Universidad Antonio Nariño (87211N-94924E) Yomasa (89744N-944458E)		
		Carrera 30 con calle 53 (105138N-99824E)	Avenida Ferrocarril (101760N-95059E)	Doña Juana (92188N-94556E)		
Tramo 3	Club Guaymaral (124950N-104377E)	Carrera 30 con calle 53 Avenida 68 (110463N-99600E)	Avenida Las Américas (103708N-94267E)	Doña Juana		
				Barrio México (95841N-93717E)		
				San Benito (96416N-93264E)		
				Makro autopista Sur (100543N-91694E)		
Tramo 4		Avenida 68	Visión Colombia (106314N-93698E)	Makro autopista Sur		
				Transversal 91 (113219N-98080E)	Fucha Zona Franca (107236N-92496E)	Transversal 86 (101812N-88598E)
				Planta El Salitre (115570N-94614E)	Fucha con Alameda (107503N-91611E)	Puente La Independencia (102519N-86982E)
				Salitre con Alameda (115901N-94878E)		Isla Pontón San José (102175N-84478E)

**Notas:**

<sup>a</sup> Los puntos sobre el río Bogotá corresponden a Puente Común (129614N-105344) y Cierre [103951N-83032E].

<sup>b</sup> Coordenadas norte-este.

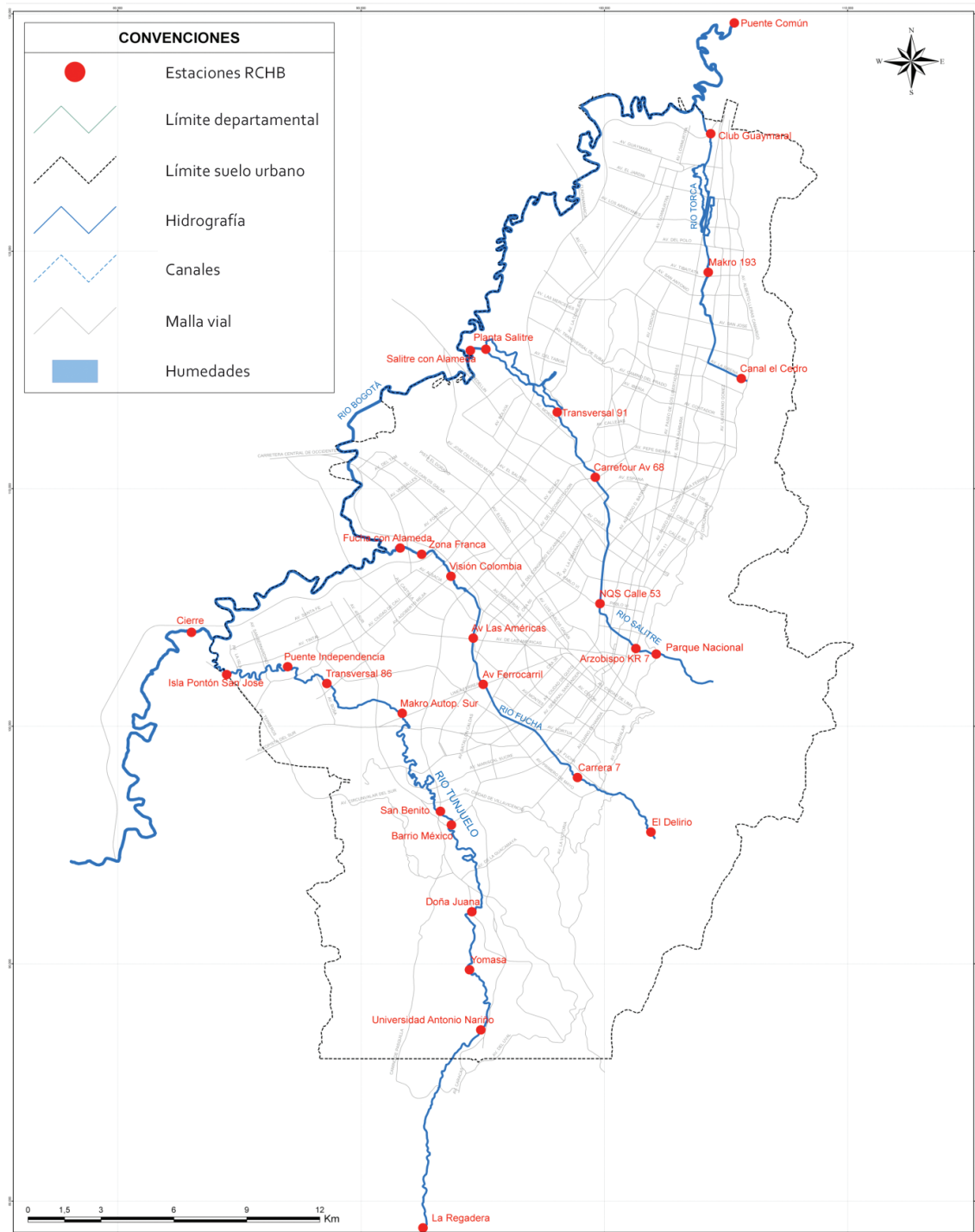


FIG. 2.1. Ubicación geográfica puntos de monitoreo RCHB (Convenio 069 de 2007)

## 2.2. Monitoreos fisicoquímicos

Estas campañas fueron realizadas siguiendo la metodología empleada en ejercicios previos de caracterización (SDA y EAAB, 2008), en los cuales durante ventanas temporales de dos horas se realizaba un monitoreo compuesto de agua en cada uno de los puntos constituyentes de la RCHB. Estas campañas fueron desarrolladas en condiciones hidrológicas predominantemente secas. La primera campaña de monitoreo se llevó a cabo en el período comprendido entre el 22 de septiembre y el 1° de octubre de 2008, mientras que la segunda campaña fue realizada en el período comprendido entre el 10 de febrero y el 25 de febrero de 2009.

### 2.2.1. Logística de campo

Para la realización de estas campañas se utilizaron simultáneamente tres comisiones de campo, cada una conformada por un vehículo y conductor, un coordinador de comisión y dos auxiliares de campo. Durante los monitoreos las comisiones de campo fueron acompañadas por comisiones de verificación conformadas por personal de la Universidad de los Andes, las cuales supervisaron las actividades desarrolladas en campo.

### 2.2.2. Aforo y parámetros in situ

Para la medición de caudal en los sitios de monitoreo definidos para estas campañas se utilizó el método área-velocidad, en el cual la velocidad de la corriente se midió con correntómetros debidamente calibrados, tomando lecturas a diferentes porcentajes de la profundidad: 20, 60 y 80% (medidas desde la superficie), en verticales definidas por el aforador. Donde esto no fue posible se tomó la lectura al 60% de la profundidad, con

las condiciones mínimas para que el aparato quedara sumergido por completo, y con la precaución de no generar resuspensión del sedimento. El aforador siempre estuvo a una distancia adecuada del correntómetro para evitar interferir con la medición. Para el caso de colectores de cajón y secciones transversales trapezoidales se tomó el máximo número posible de verticales a lo ancho de la sección, tratando que en cada dos verticales sucesivas no sobrepase más del 10% del caudal total. Se tuvieron como criterios mínimos en la ejecución de los aforos las recomendaciones dadas por la EAAB en la norma NE-001 (medición de caudales por el método área-velocidad) (SDA y EAAB, 2008).

Paralelo a la medición de caudal se realizaron por parte de las comisiones de campo mediciones directas sobre el río de parámetros como: oxígeno disuelto, pH, temperatura, sólidos sedimentables y conductividad. También se registró la temperatura ambiente.

### 2.2.3. Toma de muestras

Para cada una de estas campañas se estableció en cada sitio de monitoreo un determinado número de puntos de toma de muestras en verticales, definidas de acuerdo con el ancho y la profundidad de la sección del río, en los cuales se tomaron simultáneamente muestras puntuales con el objeto de integrar pruebas en intervalos de treinta minutos por un período de dos horas. Éstas se refrigeraron para su preservación hasta el final del monitoreo. Transcurrido éste, se mezclaron las muestras integradas (cada treinta minutos) a volúmenes iguales para obtener una muestra compuesta del volumen deseado, la cual se preservó siguiendo los protocolos del Laboratorio Ambiental de la Universidad de los

Andes y las guías de monitoreo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La muestra compuesta se transportó con la debida cadena de custodia al Laboratorio Ambiental (Universidad de los Andes) para realizarle los análisis de laboratorio respectivos. Al momento de tomar las

pruebas puntuales en la sección del río, se tomaron las precauciones necesarias para evitar la resuspensión de sedimentos y la afectación posterior de la representatividad de la muestra líquida. En la tabla 2.2 se listan los determinantes de calidad del agua que se midieron en las muestras compuestas.

TABLA 2.2. Parámetros de calidad medidos en las campañas de monitoreo

Parámetros				
Alcalinidad	Amonio	Arsénico	Bario	Cadmio
Cinc	Cobre	Coliformes totales	Cromo	DBO <sub>5</sub>
DBO soluble	DQO	DQO soluble	<i>E. coli</i>	Fenoles
Fósforo	Grasas y aceites	Manganeso	Mercurio	Níquel
Nitratos	Nitritos	NTK	Oxígeno disuelto	Plomo
SAAM	SST	Sulfuros	Dureza	

Una campaña complementaria de monitoreo fue realizada entre el 18 de marzo y el 5 de mayo de 2009. La logística utilizada para la toma y preservación de muestras fue similar a la empleada en las dos campañas previas. Este ejercicio fue llevado a cabo utilizando exclusivamente una comisión de

campo y, a diferencia de las dos campañas iniciales, en ésta sólo se tomaron datos en diecisiete puntos de la RCHB (tabla 2.3), con el objeto de complementar la información que se había generado en las dos campañas precedentes y en las de seguimiento de masa.

TABLA 2.3. Puntos de monitoreo: campaña complementaria

Tramos	Puntos			
	Río Torca	Río Salitre	Río Fucha	Río Tunjuelo
Tramo 1				Regadera
Tramo 2		Arzobispo carrera 7ª	Carrera 7ª río Fucha	Universidad Antonio Nariño Yomasa
			Avenida Ferrocarril	Doña Juana
Tramo 3	Club Guaymaral	Avenida 68		Barrio México San Benito Makro autopista Sur
Tramo 4		Planta El Salitre	Fucha Alameda	Transversal 86 Puente La Independencia Isla Pontón San José

## 2.3. Seguimientos de masa-modelos de calidad de agua

Con objeto de robustecer la calidad de los modelos de calidad de agua que la Universidad de los Andes había desarrollado para la SDA (y generar dicho modelo para el caso del río Torca), se realizaron monitoreos de la calidad de agua en los cuatro principales ríos de la ciudad y en algunas de sus afluencias (canales, quebradas, vertimientos, etcétera).

### 2.3.1. Logística de campo

Para definir cuáles de las descargas puntuales y qué sitios sobre la corriente principal serían monitoreados, se realizaron visitas técnicas en las que se inspeccionó cuidadosamente la corriente correspondiente a los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo. Estas visitas permitieron identificar los diferentes puntos de monitoreo, correspondientes a la condición aguas arriba, descargas directas sobre los ríos, puntos de medición sobre el cauce y su correspondiente descarga sobre el río Bogotá. Los criterios que se tuvieron en cuenta para la selección de dichos puntos de monitoreo y las fuentes puntuales fueron los siguientes:

- Selección de las descargas más importantes en cada una de las corrientes, buscando tener una distribución uniforme a lo largo de sus cauces.
- Selección de los puntos de la RCHB sobre cada río.

Las inspecciones de campo para los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo se llevaron a cabo de la siguiente forma: río Fucha: 16 de junio de 2008; río Torca: 10 de julio de 2008; río Salitre: 22 de agosto de 2008; río Tunjuelo: 29 de agosto de 2008.

De la tabla 2.4 a la 2.7 se presenta la estructura de modelación de cada río y los sectores correspondientes asociados al seguimiento de masa que se realizó en cada uno de ellos. En estas tablas se identifican cada uno de los puntos de monitoreo y de toma de muestras, identificándolas por su correspondiente dirección o ubicación con respecto a puntos inmediatamente aguas arriba o aguas abajo sobre la corriente, y estableciendo la localización de descargas según la margen; de igual manera, se establecen cada uno de los sectores en que se propone dividir el río para los seguimientos de masa, indicando el sitio de monitoreo que sirve de enlace entre sectores. Adicionalmente, se establece el tipo de muestreo que se realizó en cada punto de monitoreo; para el caso específico de las descargas se clasificaron como tipo 1 y tipo 2. Las descargas tipo 1 corresponden a los caudales vertidos de mayor importancia y que tienen características predominantes de agua residual; las descargas tipo 2 son vertimientos que por su caudal y por sus características de aguas lluvia o combinada se tendrán parcialmente en cuenta en la modelación de la calidad de agua del cuerpo receptor. Mayor número de parámetros fueron determinados en las descargas tipo 1.

TABLA 2.4. Puntos de monitoreo definidos para el seguimiento de masa en el río Torca

	Estaciones de monitoreo	Clasificación	Código según PSMV	Margen	Sectores de modelación
1	Carrera 7ª con calle 153-10 metros <i>abajo</i> del remanso	Río 1			Sector 1
2	2 metros <i>abajo</i> del río	Descarga tipo 2		Derecha	
3	Carrera 9ª con calle 153-10 metros <i>arriba</i> del punto 16	Río 2 (RCHB)			
4	Carrera 9ª con calle 153	Descarga tipo 1	CT-06	Izquierda	
5	Debajo del Puente carrera 9ª	Descarga tipo 1	CT-02	Derecha	
6	10 metros <i>arriba</i> del punto 26	Río 3			
7	Antes de las marraneras-carrera 14 bis con calle 153	Descarga tipo 1	CT-15	Izquierda	
8	Carrera 15 con calle 153	Descarga tipo 2	CT-16	Izquierda	
9	Carrera 15 con calle 153-Toros Plaza	Descarga tipo 1	CT-17	Izquierda	
10	Carrera 15 con calle 156	Descarga tipo 2	CT-24	Izquierda	
11	Carrera 15 con calle 159, 20 m <i>abajo</i> del punto	Río 4			
12	Carrera 15 con calle 160	Descarga tipo 1	CT-25	Izquierda	
13	Canal calle 161	Descarga tipo 1	CT-26	Derecha	
14	Carrera 15 con calle 161, después del puente calle 161	Descarga tipo 1	CT-22	Izquierda	
15	Carrera 15 con calle 161, 10 m <i>arriba</i> del punto 352	Río 5			
16	Carrera 15 con calle 163A, Cuatro tubos 1	Descarga tipo 1	CT-30	Izquierda	
17	Carrera 15 con calle 164A	Descarga tipo 1	CT-27	Izquierda	
18	Colegio Mickey Mouse	Descarga tipo 1	CT-29	Derecha	
19	Carrera 15 con calle 169	Descarga tipo 1		Derecha	
20	20 m <i>arriba</i> del puente calle 170	Río 6			Final sector 1- Inicio sector 2
21	Canal calle 170	Descarga tipo 1	CT-32	Izquierda	Sector 2
22	Box Culvert sumergido total debajo calle 170	Descarga tipo 1	CT-32	Izquierda	
23	Box Culvert sumergido parcial debajo calle 170	Descarga tipo 1		Izquierda	
24	Descarga antes de	Descarga tipo 1		Derecha	
25	Calle 175 N° 17B-80	Descarga tipo 1	CT-38	Derecha	
26	Frente Punto 53	Descarga tipo 1	CT-39	Izquierda	
27	Calle 181 N°. 37-83 (dirección antigua), Quebrada	Descarga tipo 1		Derecha	
28	Calle 181 N°. 18 B-53	Descarga tipo 1	CT-36 y CT-37	Izquierda	
29	Calle 189 con carrera 19	Descarga tipo 2	CT-43	Izquierda	

(Cont.)

	Estaciones de monitoreo	Clasificación	Código según PSMV	Margen	Sectores de modelación
30	Carrera 19A con calle 190, quebrada cancha fútbol San Carlos	Descarga tipo 1		Derecha	
31	Calle 192 con carrera 19, Makro	Río 7 (RCHB)			
32	Descarga (77)	Descarga tipo (1)			
33	Quebrada puente peatonal Jardines de Paz	Descarga tipo (1)		Derecha	
34	Calle 222-Chicó Futbol Club, antes de atravesar la autopista	Río 8			
35	Bima antes de Guaymaral	Descarga tipo 1		Derecha	
36	Puente entrada San Simón	Río 9			Final sector 2- Inicio sector 3
37	Curva Club Guaymaral	Río 10 (RCHB)			Sector 3
38	20 metros arriba río Bogotá	Río 11			
	Total puntos: 38 Tramo 1: 20 Tramo 2: 17 Tramo 3: 3	Totales	Pto. Río	Descargas	
				Tipo 1	Tipo 2
		Tramo 1	6	11	3
		Tramo 2	4	12	1
		Tramo 3	3	0	0

TABLA 2.5. Puntos de monitoreo definidos para el seguimiento de masa en el río Salitre

Núm.	Estaciones	Clasificación	Código según PSMV	Margen	Sectores de modelación
1	Parque Nacional	Río 1 (RCHB)			Sector 1
2	Canal Abierto Paraíso + Quebrada	Descarga tipo (1)	ST-1-21	Derecha	
3	Descarga después de baños	Descarga tipo (2)		Derecha	
4	Carrera 7ª con calle 39	Río 2 (RCHB)			
5	Aguas arriba descarga calle 45 con carrera 24	Río 3			
6	Calle 45 con carrera 24 (debajo del puente)	Descarga tipo (1)	ST-2-23	Izquierda	
7	Aguas abajo descarga calle 45 con carrera 24	Descarga tipo (1)	ST-2-24	Izquierda	
8	Carrera 30 con calle 49 A	Río 4			
9	Carrera 30 con calle 53	Río 5 (RCHB)			

(Cont.)

Núm.	Estaciones	Clasificación	Código según PSMV	Margen	Sectores de modelación
10	NQS calle 53	Descarga tipo (1)	ST-3-24	Derecha	Final sector 1-Inicio sector 2
11	Colector Las Delicias (NQS-calle 62)	Descarga tipo (1)	ST-3-46	Derecha	
12	Aguas abajo, colector Las Delicias	Río 6			
13	NQS calle 68	Descarga tipo (1)	ST-3-140	Izquierda	
14	Colector La Vieja, carrera 50 con calle 70	Descarga tipo (1)	ST-3-155	Derecha	
15	Aguas arriba, carrera 49 con calle 80A	Río 7			
16	Canal río Negro, transversal 65 con calle 80A	Descarga tipo (1)	ST-3-232	Derecha	
17	Río Nuevo, transversal 66 con calle 80A	Descarga tipo (1)	ST-3-233	Izquierda	
18	Carrefour 80, carrera 69	Río 8 (RCHB)			
19	Canal Córdoba, calle 91 con carrera 74	Descarga tipo (1)		Derecha	Sector 2
20	Transversal 91 con calle 98	Río 9			
21	Calle 97 con carrera 98	Descarga tipo (1)	ST-4-56	Izquierda	
22	Parque Infantil, calle 98 con carrera 96	Descarga tipo (1)	ST-4-57	Izquierda	
23	Calle 99 con carrera 99	Descarga tipo (1)	ST-4-58	Izquierda	
24	Calle 99 con carrera 103	Descarga tipo (2)	ST-4-59	Izquierda	
25	Aguas abajo descarga calle 99 con carrera 103	Río 10			
26	Descarga brazo del humedal	Descarga tipo (1)		Derecha	
27	Descarga canal Cortijo y Chucua	Descarga tipo (1)		Izquierda	
28	Estación fija, PTAR El Salitre	Río 11 (RCHB)			
29	Salitre Alameda	Río 12			
	Total puntos: 29 Sector 1: 18 Sector 2: 12	Totales	Pto Río	Descargas	Total sectores: 2
		Sector 1	8	Tipo 1 9 1	
		Sector 2	5	Tipo 2 6 1	

TABLA 2.6. Puntos de monitoreo definidos para el seguimiento de masa en el río Fucha

Núm.	Estaciones	Clasificación	Código según PSMV	Margen	Sectores de modelación
1	El Delirio	Río 1 (RCHB)			Sector 1
2	Debajo puente Instituto para Ciegos	Río 2			
3	Descarga carrera 5E	Descarga tipo (1)	FT-1-16	Derecha	
4	Canal San Blas	Descarga tipo (1)	FT-1-21	Izquierda	
5	Carrera 7ª con río Fucha	Río 3 (RCHB)			
6	Carrera 8ª con calle 13 sur	Descarga tipo (1)	FT-2-08	Derecha	
7	Carrera 10ª con calle 12 sur	Descarga tipo (1)	FT-2-13	Izquierda	
8	Carrera 29A con diagonal 10ª sur	Río 4			
9	Canal Albina	Descarga tipo (1)	FT-2-64	Izquierda	
10	Aguas arriba, canal Río Seco	Río 5			
11	Canal Río Seco, diagonal 17 sur	Descarga tipo (1)	FT-2-87	Izquierda	
12	Fucha con avenida Ferrocarril	Río 6 (RCHB)			
13	Transversal 56 con diagonal 1ª	Descarga tipo (1)	FT-2-123	Izquierda	
14	Aguas arriba, canal Comuneros	Río 7			
15	Canal Comuneros	Descarga tipo (1)	FT-2-149	Derecha	
16	Aguas arriba, avenida Las Américas	Río 8 (RCHB)			
17	Descarga intermitente, SS Negros	Descarga tipo (2)		Izquierda	
18	Descarga Éxito MD-MI y negra MD	Descarga tipo (1)		Derecha	
19	Villa Verónica-El Ferrol	Descarga tipo (1)	FT-3-32	Derecha	
20	Aguas arriba, puente Clínica La Paz	Río 9			
21	Descarga frente Clínica La Paz	Descarga tipo (1)	FT-3-46	Derecha	
22	Descarga negra Aguas abajo Clínica La Paz	Descarga tipo (1)	FT-3-48	Derecha	
23	Descarga aguas arriba, avenida Boyacá	Descarga tipo (1)	FT-3-50	Derecha	
24	Aguas arriba, avenida Boyacá	Río 10			Final sector 1- Inicio sector 2
25	Interceptor Fucha	Descarga tipo (1)	FT-4-02	Derecha	Sector 2
26	Interceptor Boyacá	Descarga tipo (1)	FT-4-01	Izquierda	
27	Interceptor del sur y Lafayette	Descarga tipo (1)	FT-4-03	Izquierda	
28	Visión Colombia	Río 11 (RCHB)			
29	Interceptor Kennedy	Descarga tipo (1)	FT-4-15	Izquierda	

(Cont.)

Núm.	Estaciones	Clasificación	Código según PSMV	Margen	Sectores de modelación
30	Canal San Francisco	Descarga tipo (1)		Derecha	
31	Estación bombeo El Vergel	Descarga tipo (1)	FT-4-25	Izquierda	
32	Zona Franca	Río 12 (RCHB)			
33	Estación bombeo Fontibón	Descarga tipo (1)	FT-4-42	Izquierda	
34	Río Fucha con Alameda	Río 13 (RCHB)			
	Total puntos: 34 Sector 1: 24 Sector 2: 11	Totales	Pto Río	Descargas	Total sectores: 2
				Tipo 1 Tipo 2	
		Sector 1	10	131	
		Sector 2	4	70	

TABLA 2.7. Puntos de monitoreo definidos para el seguimiento de masa en el río Tunjuelo

Núm.	Puntos de monitoreo	Clasificación	Código según PSMV	Margen	Sectores de modelación
1	Puente Vía Pasquilla	Río 1			Sector 1
2	Matadero barrio Nuevo Usme	Descarga tipo (1)		Derecha	
3	Descarga barrio Usme carrera 3ª N° 136-40 sur	Descarga tipo (1)		Derecha	
4	Quebrada La Tasa	Descarga tipo (1)			
5	Puente Universidad Antonio Nariño	Río 2 (RCHB)			
6	Quebrada Fucha	Descarga tipo (1)		Derecha	
7	Descarga valla Universidad Antonio Nariño- calle 111A sur N° 001-46	Descarga tipo (1)	CTA-05	Derecha	
8	Quebrada Yomasa	Descarga tipo (1)		Derecha	
9	Aguas abajo, quebrada Yomasa	Río 3			
10	Interceptor Quintas-Escuela Tenerife	Descarga tipo (2)	CTA-15	Derecha	
11	Aguas abajo, interceptor Quintas	Río 4 (RCHB)			
12	Aguas arriba, lixiviados Doña Juana	Río 5			
13	Descarga Cantera 1	Descarga tipo (1)		Izquierda	
14	Descarga Lixiviados 1-Descarga Lixiviados 2	Descarga tipo (1)		Izquierda	
15	Relleno Sanitario Doña Juana	Río 6 (RCHB)			

(Cont.)

Núm.	Puntos de monitoreo	Clasificación	Código según PSMV	Margen	Sectores de modelación
16	Quebrada Santa Librada-Hoya del Ramo	Descarga tipo (1)		Derecha	Sector 2
17	La Rápida	Río 7			
18	Descarga La Trompeta	Descarga tipo (2)		Izquierda	
19	Barrio México	Río 8 (RCHB)			Sector 2
20	Quebrada Chiguaza	Descarga tipo (1)		Derecha	
21	San Benito	Río 9 (RCHB)			
22	Quebrada Limas	Descarga tipo (1)		Izquierda	
23	Descarga aguas arriba, avenida Gaitán calle 58B sur N° 47-45	Descarga tipo (1)		Izquierda	
24	Estación de Servicio Móvil	Descarga tipo (1)		Izquierda	
25	Canal San Vicente	Descarga tipo (1)		Derecha	
26	Canal San Vicente Norte	Descarga tipo (1)		Derecha	
27	Sierra Morena I (agua residual)	Descarga tipo (1)		Izquierda	
28	Sierra Morena II (agua potable)	Descarga tipo (1)	CTB-51	Izquierda	
29	Diagonal 49B sur-Makro autopista Sur	Descarga tipo (1)	CTB-32	Derecha	
30	Makro autopista Sur	Río 10 (RCHB)			
31	Barrio Boitá, calle 48B sur con carrera 72Q	Descarga tipo (1)		Derecha	
32	Carrera 72U bis con calle 48B sur	Descarga tipo (2)		Derecha	
33	Descarga Lago Timiza e interceptor	Descarga tipo (1)	CTB-55	Derecha	
34	Calle 45 con carrera 73 aguas abajo Puente Peatonal	Descarga tipo (1)		Derecha	
35	Avenida carrera 71B (Villavicencio) con calle 53A sur	Descarga tipo (1)		Izquierda	
36	Interceptor Tunjuelito Medio	Descarga tipo (1)	CTB-55	Izquierda	
37	Descarga Apogeo I	Descarga tipo (1)		Izquierda	
38	Descarga Apogeo II	Descarga tipo (1)		Izquierda	
39	Descarga Apogeo III	Descarga tipo (1)	CTB-85	Izquierda	
40	Descarga aguas arriba, transversal 86 calle 58 sur con carrera 79C	Descarga tipo (1)		Izquierda	
41	Descarga debajo puente transversal 86	Descarga tipo (1)		Izquierda	
42	Transversal 86	Río 11 (RCHB)			

(Cont.)

Núm.	Puntos de monitoreo	Clasificación	Código según PSMV	Margen	Sectores de modelación
43	Puente Independencia	Río 12 (RCHB)			
44	Estación de bombeo Gran Colombiano	Descarga tipo (1)	CTB-03	Izquierda	
45	Isla Pontón-San José	Río 13 (RCHB)			
	Total puntos: 45	Totales	Pto Río	Descargas	Total sectores: 2
	Sector 1: 17			Tipo 1	
	Sector 2: 28			Tipo 2	
	Sector 1		7	91	
		Sector 2	6	202	

### 2.3.2. Medidas en campo

Para la medición del caudal se utilizaron métodos volumétricos y de área-velocidad, dependiendo de la condición encontrada en cada punto. El método volumétrico consiste en tomar el tiempo requerido para llenar un recipiente de volumen conocido. Se realizaron aforos por este método siempre que el recipiente pudiera ser colocado debajo de la descarga de tal forma que recibiera todo el volumen en un tiempo adecuado.

Para aforar aguas residuales en colectores circulares que descargan al cuerpo receptor se realizaron mediciones a la salida de estas estructuras, debido a la mayor posibilidad de maniobra, mejor visibilidad y ventilación en comparación con aforos en pozos de inspección, utilizando el método de área-velocidad. La velocidad de la corriente se midió con un correntómetro debidamente calibrado, tomando lecturas en una o varias profundidades, de acuerdo con la profundidad de flujo,

y en una o más verticales definidas por el aforador.

Las campañas específicas de seguimiento de masa para cada río se llevaron a cabo en julio para el río Torca, octubre para el río Fucha, noviembre para el río Salitre, y diciembre para el río Tunjuelo, todos en el 2008.

### 2.3.3. Modelo de calidad de agua Qual 2K

El modelo Qual 2K v2.04 (Chapra et ál., 2005) es una herramienta para la modelación de la calidad del agua en ríos y corrientes. Esta herramienta de modelación es una versión mejorada y actualizada del modelo de calidad del agua Qual 2E (Brown y Barnwell, 1987) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U. S. Environmental Protection Agency, U. S. EPA) que simula el transporte y procesos de decaimiento de contaminantes convencionales, representando el sistema que se va a modelar como un canal unidimensional donde

se asume mezcla completa en la sección transversal y en la vertical, con hidráulica de flujo estacionario. El modelo simula el calor y la temperatura como función de la meteorología con variación horaria en la escala de tiempo y permite la simulación de fuentes de contaminación puntual y distribuida. La interfaz y el ambiente del *software* Qual 2K son implementados en Microsoft Windows, usando Microsoft Excel© como la interfaz gráfica para el usuario. Para la integración numérica se utiliza una rutina programada en Fortran 90. Todas las operaciones están programadas en lenguaje de macros para Microsoft Office Visual Basic para aplicaciones.

En el modelo Qual 2K la corriente principal es representada por segmentos o tramos que a su vez son subdivididos en elementos computacionales. Sin embargo, la longitud de los segmentos de los tramos puede ser variable.

Adicionalmente, múltiples descargas y abstracciones pueden asociarse a cualquier elemento computacional. Las condiciones de anoxia (muy comunes en los cuatro principales ríos de la ciudad) son representadas en el modelo Qual 2K para una corriente, reduciendo las reacciones de oxidación a cero en niveles mínimos de oxígeno. De la misma manera, en estas condiciones anóxicas o en niveles muy bajos de oxígeno disuelto se modelan los procesos de desnitrificación como una reacción de primer orden. Internamente, se simulan los flujos de oxígeno disuelto y nutrientes entre la columna de agua y los sedimentos. La demanda de oxígeno de los sedimentos y los flujos de nutrientes son simulados como una función de la materia orgánica sedimentable.

Los parámetros de calidad de agua que pudieron ser modelados utilizando el Qual 2K fueron: pH, conductividad, oxígeno disuelto,

materia orgánica (DBO, DCO), nutrientes (nitrógeno y fósforo), sólidos (SDT, SST) y coliformes.

#### 2.3.3.1. Datos hidráulicos: Programa HEC-RAS

El programa HEC-RAS de modelación hidráulica de ríos y canales abiertos es usado como una herramienta que proporciona las características hidráulicas que se presentan a lo largo de los canales y ríos para los cuales se va a realizar la modelación de calidad de agua. Estas características hidráulicas se manifiestan por diversas condiciones de contorno representadas por la geometría del canal en términos de secciones transversales y de pendientes longitudinales. Tener en cuenta dichas condiciones de contorno hace que en la modelación se puedan incorporar los posibles cambios de velocidad promedio, o de profundidades de flujo en el recorrido de la masa de agua. También sirve como herramienta en la planeación del seguimiento de masa, ya que se pueden obtener los diferentes tiempos de viaje entre los puntos considerados.

Se denomina *curva de calibración* a la relación existente entre el caudal y la velocidad media, y entre el caudal y la profundidad media del flujo. Estas relaciones que son de tipo potencial reflejan las características hidráulicas que se presentan en cada sección transversal de donde se tenga información a lo largo del trayecto del canal, y son utilizadas en la modelación de calidad de agua.

Para generar las curvas se ubicaron las descargas donde se realizaron los aforos de caudal y los puntos sobre el río medidos en la salida de campo; estos caudales son incorporados en la siguiente sección transversal que se encuentre disponible aguas abajo de la descarga o del punto sobre el río, verificando que la profundidad de flujo promedio, la velocidad promedio

y el ancho mojado cumplan con las mediciones que se hicieron en los aforos. Para tener una mayor exactitud en las características hidráulicas se modificaron los valores de la rugosidad del lecho para tener la mejor aproximación a los datos que se obtuvieron en campo.

Con la geometría definida de los tramos se probaron diferentes caudales desde el inicio del tramo, los cuales se complementaron con la simulación de los aportes de agua que llegan por las descargas que se registran a lo largo del tramo. Dichos caudales se simularon con diferentes condiciones de contorno cuando finaliza el canal, es decir, se pudieron modelar los remansos que se alcanzan a generar al final del tramo, los cuales causan un retraso en el tiempo de viaje de la masa de agua.

#### 2.3.3.2. Modelo MDLC

El modelo MDLC (Camacho y Lees, 1999) se usó para estimar tiempos de viaje para la planificación de la logística de los seguimientos de la masa de agua en las campañas de monitoreo ejecutadas en el presente estudio. Para realizar una estimación de los tiempos de viaje entre las estaciones de muestreo y monitoreo se utilizó información de caudales, pendientes longitudinales, ancho y longitudes de los tramos. Con estos datos en cada uno de los subtramos fue posible estimar caudales unitarios, profundidad normal, velocidades y, por ende, los tiempos de viaje por medio de las ecuaciones gobernantes del modelo.

## 2.4. Monitoreos veinticuatro horas

Asociadas a las campañas de monitoreo de la RCHB, se realizaron jornadas específicas de monitoreo de veinticuatro horas, con toma de muestras compuestas en intervalos de dos horas (muestras compuestas bihorarias),

mediciones en línea de parámetros de campo y ejecución de aforos (horarios). Se buscó que estos muestreos fueran representativos de período hidrológico predominantemente seco. Los propósitos de éstos fueron estimar cargas medias diarias de parámetros básicos (DBO, DCO, sólidos, nutrientes y coliformes), identificar variaciones intradiarias de concentraciones y cargas, y realizar comparaciones entre puntos sobre los ríos urbanos de variaciones espaciales y temporales.

#### 2.4.1. Selección de sitios de monitoreo

Para estas jornadas específicas los sitios propuestos fueron escogidos para representar en cada río monitoreado el tramo alto, medio y bajo, debido a que las afectaciones en cada uno de estos tramos son diferentes a lo largo del día, y dependen de las características específicas del río y de las descargas directas en cada uno. Los sitios específicos de muestreo y las fechas de realización de estos ejercicios se presentan en la tabla 2.8.

#### 2.4.2. Logística de campo

Para llevar a cabo las jornadas específicas de monitoreo (veinticuatro horas) de la RCHB, se dispuso de una comisión de campo similar a la utilizada en los monitoreos fisicoquímicos. Esta comisión de campo también fue supervisada por personal de la Universidad de los Andes, que mantenía comunicación constante con el personal de campo para asegurar el buen desarrollo de las actividades.

La logística contempló la permanencia de la comisión de campo en un sitio de monitoreo determinado, durante un período de veinticuatro horas, tiempo en el cual esta comisión tomaba las muestras compuestas con la metodología definida para la campa-

TABLA 2.8. Monitoreos veinticuatro horas

Río	Puntos de monitoreo	Clasificación	Dirección aproximada	Fecha de monitoreo	
Río Torca	Canal El Cedro	Río 1 (RCHB)	Carrera 9ª con calle 153	Lunes 27-martes 28	Abril-09
	Makro	Río 2 (RCHB)	Carrera 19 con calle 192	Miércoles 29-jueves 30	Abril-09 Mayo-09
Río Salitre	Parque Nacional	Río 1 (RCHB)	Avenida Circunvalar con quebrada Arzobispo	Lunes 20-martes 21	Abril-09
	NQS calle 53	Río 2 (RCHB)	Avenida NQS (carrera 30) con calle 53	Jueves 23-viernes 24	Abril-09
	Transversal 91	Río 3 (RCHB)	Transversal 91 con Canal Córdoba	Jueves 16-viernes 17	Abril-09
Río Fucha	El Delirio	Río 1 (RCHB)	Predio para El Delirio, aguas arriba Instituto para Ciegos	Lunes 4-martes 5	Mayo-09
	Aguas arriba avenida Las Américas	Río 2 (RCHB)	Avenida Las Américas con río Fucha	Jueves 7-viernes 8	Mayo-09
	Fucha Alameda	Río 3 (RCHB)	Alameda río Fucha	Lunes 11-martes 12	Mayo-09
Río Tunjuelo	UAN	Río 1 (RCHB)	Universidad Antonio Nariño con calle 111A sur 001-46	Jueves 14-viernes 15	Mayo-09
	Doña Juana	Río 2 (RCHB)	Entrada Relleno Sanitario Doña Juana	Lunes 18-martes 19	Mayo-09
	Isla Pontón San José	Río 3 (RCHB)	Transversal 88A con calle 94 sur, barrio San Bernardino, localidad Bosa	Jueves 21-viernes 22	Mayo-09

ñas de la RCHB, a las horas especificadas en la programación diseñada para cada sitio de monitoreo. Adicionalmente se realizaron un número de aforos determinados por sitio de monitoreo distribuidos durante el día.

#### 2.4.3. Metodología de aforo y parámetros in situ

Para la medición de caudal en los sitios de monitoreo definidos se utilizó el método área-velocidad. Paralelo a esta medida se realizaron mediciones directas sobre el río cada media hora de parámetros como oxígeno disuelto, pH, temperatura, sólidos sedimentables y conductividad.

#### 2.4.4. Toma de muestras

En cada sitio de monitoreo se estableció un determinado número de puntos de toma de muestras en verticales definidas de acuerdo con el ancho y la profundidad de la sección del río, en los cuales se realizaron muestras puntuales simultáneamente, con el objeto de integrar pruebas en intervalos de treinta minutos y por un período de dos horas. Éstas se refrigeraron para su preservación hasta el final del monitoreo. Transcurridas las dos horas se mezclaron las muestras integradas (cada treinta minutos) a volúmenes iguales para obtener una muestra compuesta del volumen deseado, la cual se preservó siguiendo

los protocolos del Laboratorio Ambiental de la Universidad de los Andes y las guías de monitoreo del IDEAM. La muestra compuesta se transportó con la debida cadena de custodia al Laboratorio Ambiental (Universidad de los Andes) para realizarle los análisis respectivos. En la tabla 2.9 se listan los determinantes de calidad del agua que se midieron en las muestras compuestas. Se puede observar que se generaron dos tipos de ellas diferentes, tipo A y tipo B. El primero presenta los parámetros incluidos específicamente para el análisis de la variabilidad diaria de las concentraciones a lo

largo de los ríos, los cuales son en total diecisiete determinantes. Dentro de las muestras tipo B se monitorearon los mismos parámetros incluidos en las muestras tipo A y se adicionaron veinte parámetros complementarios, con el fin de robustecer la información recolectada durante las campañas fisicoquímicas de seguimiento de la RCHB. Es necesario aclarar que estos parámetros adicionales (tipo B) no fueron tenidos en cuenta para el análisis de variabilidad diaria, ya que como se mencionó anteriormente fueron utilizados para complementar información obtenida.

TABLA 2.9. Parámetros medidos: monitoreos veinticuatro horas

Ítem	Determinante de calidad	Tipo de muestra	
		Tipo A	Tipo B
	Potencial iones hidrógeno (pH)	X	X
	Conductividad	X	X
	Temperatura	X	X
	Oxígeno disuelto (OD)-sonda	X	X
1	Oxígeno disuelto (OD)	X	X
2	Demanda bioquímica de oxígeno (BDO <sub>5</sub> total)	X	X
3	Demanda bioquímica de oxígeno (BDO <sub>5</sub> Soluble)	X	X
4	Demanda química de oxígeno (BQO total)	X	X
5	Demanda química de oxígeno (BQO soluble)	X	X
6	Fósforo soluble (FS)	X	X
7	Fósforo total (FT)	X	X
8	Amonio (NH <sub>4</sub> )	X	X
9	Nitratos (NO <sub>3</sub> )	X	X
10	Nitritos (NO <sub>2</sub> )	X	X

(Cont.)

Ítem	Determinante de calidad	Tipo de muestra	
		Tipo A	Tipo B
11	Nitrógeno Kjeldalh Total (NTK)	X	X
12	Sólidos suspendidos totales (SST)	X	X
13	Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	X	X
14	Sólidos totales volátiles (STV)	X	X
15	Sólidos totales (ST)	X	X
16	Coliformes fecales (CF)	X	X
17	Coliformes totales (CT)		X
18	<i>E. coli</i>		X
19	Arsénico (As)		X
20	Bario (Ba)		X
21	Cadmio (Cd)		X
22	Cinc (Zn)		X
23	Cobre (Cu)		X
24	Cromo (Cr)		X
25	Manganeso (Mn)		X
26	Mercurio (Hg)		X
27	Níquel (Ni)		X
28	Plomo (Pb)		X
29	Grasas y aceites		X
30	SAAM		X
31	Dureza		X
32	Alcalinidad		X
33	Sulfuros totales (ST)		X
34	Fenoles totales (FeT)		X
35	Cianuro (CN-)		X

## 2.5. Monitoreos específicos

Con objeto de complementar la información que hasta la fecha se había recolectado y analizado periódicamente en la RCHB, se realizaron monitoreos de: 1) parámetros en sedimentos, 2) parámetros específicos en los cuerpos de agua que involucrasen aspectos biológicos (patógenos y limnología) y 3) sustancias especiales en la fase líquida.

### 2.5.1. Monitoreo de sedimentos

El monitoreo de sedimentos se planteó para realizarse en una de las campañas de monitoreo fisicoquímico de la RCHB, o durante algunas de las jornadas específicas de monitoreo de veinticuatro horas. Se tomaron muestras de sedimentos de fondo y de núcleo donde las condiciones del río lo permitían.

#### 2.5.1.1. Sitios de monitoreo

La selección de puntos de muestreo se basó en inspecciones de campo donde se

observaron sitios en los que era pertinente la toma de muestra de sedimento, bien sea por la cantidad de sedimento depositado en el río o por la calidad de éste. Por otro lado, se tuvieron en cuenta descargas importantes, de tipo industrial o doméstico, que contribuían a la formación de sedimentos en lugares especiales de los ríos. Además, se procuró tener al menos un punto de muestra en cada tramo de los ríos para obtener una caracterización de sedimentos general de cada uno. Por último, la elección se basó en la posibilidad de rastrear sitios especiales con características específicas, como presencia de metales pesados, contaminantes orgánicos, etcétera. A partir de lo anterior se seleccionaron veinte sitios de muestreo para el monitoreo de sedimentos, donde sólo se tomaron muestras en quince puntos dado que en algunos de ellos no había presencia de sedimento. A continuación, se presentan los sitios que fueron monitoreados (tabla 2.10).

TABLA 2.10. Sitios monitoreados: campaña de sedimentos

Núm.	Puntos de monitoreo	Río	Abscisas	Presencia sedimento	Fecha toma de muestra
1	Carrera 15 con calle 159	Torca	K2+135	X	21-jul.-08
2	20 m aguas arriba puente 170		K3+418	X	21-jul.-08
3	Makro 193		K5+995	X	22-jul.-08
4	Cementerio Jardines de Paz		K6+794	X	22-jul.-08
5	Club Guaymaral		K12+543	X	02-mar.-09
6	Parque Nacional	Salitre	K0+000		
7	Carrera 30 con calle 53		K3+545		
8	Carrefour avenida 68		K9+171	X	02-mar.-09
9	Transversal 91		K12+587	X	02-mar.-09
10	Salitre Alameda		K17+746	X	02-mar.-09

(Cont.)

Núm.	Puntos de monitoreo	Río	Abscisas	Presencia sedimento	Fecha toma de muestra
11	El Delirio	Fucha	K0+000		
12	Avenida Ferrocarril	Fucha	K10+187	X	25-feb.-09
13	Fucha avenida Las Américas		K12+267		
14	Visión Colombia		K15+697	X	26-feb.-09
15	Fucha con Alameda		K18+638	X	26-feb.-09
16	Universidad Antonio Nariño		K6+794		
17	Doña Juana	Tunjuelo	K13+189	X	26-feb.-09
18	Makro autopista Sur		K29+551	X	26-feb.-09
19	Transversal 86		K33+760	X	02-mar.-09
20	Isla Pontón San José		K41+294	X	02-mar.-09

Como se puede observar, los quince sitios monitoreados pueden mostrar un estado preliminar de la caracterización de sedimentos que tienen los ríos en estudio. Esto permite evaluar la calidad del sedimento y, así, plantear alternativas para el mejoramiento de la calidad de éstos y, por ende, del río mismo.

#### 2.5.1.2. Toma de muestras

En la definición de los parámetros para analizar se incluyeron características básicas como el pH y potencial Redox, y características determinantes de la calidad del sedimento como metales pesados y demanda béntica. Los parámetros analizados en las muestras de sedimentos fueron:

- pH.
- Demanda béntica: cantidad de oxígeno consumido por los sedimentos. Es un indicador de materia orgánica degradable bajo condiciones aerobias.
- Potencial Redox (ORP): indica la tendencia a la muestra de realizar procesos de

óxido-reducción, el cual constituye un parámetro importante para determinar las características del sedimento.

- Nitrógeno total y fósforo total.
- Metales pesados: arsénico, cadmio, cinc, cromo, mercurio y plomo.

#### 2.5.1.3. Realización del monitoreo de sedimentos

El monitoreo de sedimentos se realizó entre el 25 de febrero y el 2 de marzo de 2009. Se tomaron muestras de sedimentos de fondo en los puntos propuestos para cada río donde las condiciones lo permitieran (p. ej. cantidad de sedimento suficiente para la muestra, etcétera). Para el río Torca cuatro de los cinco puntos seleccionados fueron muestreados el mes de julio de 2008, con el objetivo de generar una caracterización preliminar de la calidad y de los sedimentos a lo largo de este río.

Durante el monitoreo, sólo se tomaron muestras de sedimento de fondo teniendo en cuenta todas las recomendaciones para

su toma, como preservación, cantidad de muestra y almacenamiento. No fue posible realizar los muestreos de núcleo de sedimento debido a que la mayoría de los ríos son canalizados, por lo tanto el sedimento no tiene una consistencia que permita muestrear un núcleo de grosor suficiente para identificar perfiles en la columna.

#### 2.5.2. Monitoreo de patógenos

Se realizó una campaña de caracterización de indicadores de patógenos para condiciones hidrológicas predominantemente secas. Esta

campaña tuvo lugar de forma simultánea con las campañas de monitoreo fisicoquímico de la RCHB.

##### 2.5.2.1. Sitios de monitoreo

La selección de puntos de muestreo se basó en cubrir en lo posible cada tramo de los ríos para obtener una caracterización de patógenos general de cada uno, y así identificar los puntos críticos de presencia de éstos. A partir de lo anterior se seleccionaron quince puntos de muestreo para el monitoreo de patógenos (tabla 2.11).

TABLA 2.11. Sitios monitoreados: campaña de patógenos

Núm.	Puntos de monitoreo	Río	Abscisas	Fecha toma de muestra
1	Canal El Cedro	Torca	K2+135	9-febrero-09 - 3-marzo-09
2	Makro 193		K5+995	9-febrero-09 - 3-marzo-09
3	Club Guaymaral		K12+543	9-febrero-09 - 3-marzo-09
4	Parque Nacional	Salitre	K0+000	9-febrero-09 - 3-marzo-09
5	Carrera 30 con calle 53		K3+545	9-febrero-09 - 3-marzo-09
6	Carrefour avenida 68		K9+171	9-febrero-09 - 3-marzo-09
7	Salitre Alameda		K17+746	9-febrero-09 - 3-marzo-09
8	El Delirio	Fucha	K0+000	9-febrero-09 - 3-marzo-09
9	Avenida Ferrocarril		K10+187	9-febrero-09 - 3-marzo-09
10	Fucha avenida Las Américas		K12+267	9-febrero-09 - 3-marzo-09
11	Fucha con Alameda		K18+638	9-febrero-09 - 3-marzo-09
12	Puente Vía Pasquilla	Tunjuelo	K0+000	9-febrero-09 - 3-marzo-09
13	Doña Juana		K13+189	9-febrero-09 - 3-marzo-09
14	Makro autopista Sur		K29+551	9-febrero-09 - 3-marzo-09
15	Isla Pontón San José		K41+294	9-febrero-09 - 3-marzo-09

Se tuvo como máximo cuatro puntos de muestreo de patógenos para cada uno de los ríos. Los puntos muestreados cubren cada tramo de éstos.

##### 2.5.2.2. Toma de muestras

La contaminación fecal de cualquier cuerpo de agua puede concentrar una gran variedad de organismos patógenos (bacterias, virus o

parásitos), cuya presencia está directamente relacionada con la generación y propagación de enfermedades. Además de bacterias como salmonela y coliformes (*E. coli*), existen otros indicadores de contaminación fecal como los fagos somáticos para virus y los huevos de helminto para parásitos.

Los bacteriófagos han sido una buena alternativa para determinar la presencia de virus en el agua, ya que su comportamiento es similar al de algunos virus causantes de enfermedades. En el caso de parásitos, la presencia de huevos de helminto es la principal fuente de riesgo de generación de enfermedades.

Según lo anterior, en las campañas de monitoreo de organismos patógenos llevadas a cabo durante el Convenio 069 de 2007, se realizaron determinaciones de coliformes fecales, salmonella, huevos de helminto y fagos somáticos.

#### 2.5.2.3. Realización del monitoreo de patógenos

Teniendo en cuenta que la campaña de monitoreo de patógenos se debía realizar bajo condiciones hidrológicas secas, dicho ejercicio tuvo lugar entre el 9 de febrero y el 2 de marzo de 2009. Para el resto de análisis (coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli*), las muestras se tomaron simultáneamente con la segunda

campaña de monitoreo fisicoquímico de la RCHB, realizada entre el 10 y el 25 de febrero de 2009.

#### 2.5.3. Monitoreo de sustancias especiales

En este trabajo se consideraron las sustancias especiales como aquellos contaminantes emergentes cuyo vertido representa un problema sanitario y ambiental, el cual no se encuentra totalmente investigado y cuya regulación es muy poca o nula por parte de las autoridades, ya que son contaminantes previamente desconocidos o simplemente no reconocidos como tales. Dichas sustancias no son necesariamente persistentes, pero generalmente son sustancias solubles en agua y presentan una alta y continua introducción al medio ambiente, lo que las hace capaces de penetrar en todas las etapas del ciclo del agua.

##### 2.5.3.1. Sitios de monitoreo

Los puntos fueron seleccionados (tabla 2.12) de manera que las muestras fueran representativas a lo largo de los diferentes ríos, y para que la toma de muestras se pudiera realizar fácilmente de manera simultánea durante una de las campañas de monitoreo fisicoquímico de la RCHB, o durante las jornadas específicas de monitoreo de veinticuatro horas.

TABLA 2.12. Sitios monitoreados: sustancias especiales

Cuenca	Estación	Abscisado	BTEX	POP	POC	PCB	PAH
Torca	Carrera 9ª con calle 153-10 metros arriba del punto (16)	K0+874		X	X	X	X
	Calle 192 con carrera 19-Makro	K6+005	X				
	Curva Club Guaymaral	K12+553		X	X	X	X

(Cont.)

Cuenca	Estación	Abscisado	BTEX	POP	POC	PCB	PAH
Salitre	Parque Nacional	K0+000		X	X	X	X
	Carrefour 80-carrera 69	K9+171	X				
	Estación Fija-PTAR Salitre	K17+080	X				
	Salitre Alameda	K17+080		X	X	X	X
Fucha	El Delirio	K0+000		X	X	X	X
	Aguas arriba avenida Las Américas	K12+267	X	X	X		
	Zona Franca	K17+652		X	X		
	Visión Colombia	K15+697	X				
	Río Fucha con Alameda	K18+638		X	X	X	X
Tunjuelo	La Regadera	K0+000				X	X
	Puente Universidad Antonio Nariño	K6+794		X	X		
	Relleno Sanitario Doña Juana	K13+189	X	X	X		
	San Benito	K20+266	X				
	Makro autopista Sur	K29+551	X				
	Puente Independencia	K36+481		X	X		
	Transversal 86	K33+760	X				
	Isla Pontón San José	K41+294		X	X	X	X

### 2.5.3.2. Toma de muestras

Los parámetros seleccionados para la realización de este tipo de monitoreo fueron:

- Bifenilos policlorados (PCB) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), sólo para los tramos iniciales y finales de cada río.
- Hidrocarburos totales (HT) y benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX).
- Pesticidas organoclorados y organofosforados.

En el caso de las otras sustancias especiales en cada sitio de monitoreo se determinó un número de verticales dependiendo del ancho de la sección del río, con lo cual se tomaron muestras puntuales y se obtuvo una muestra integrada en la sección transversal. Las muestras se tomaron a tres profundidades en cada una de las verticales seleccionadas (20, 60 y 80% de la profundidad total en cada vertical); luego estas muestras fueron integradas y homogeneizadas. Para cada sustancia en

particular se siguió un protocolo técnico de preservación, transporte y almacenamiento que buscó garantizar la calidad de la información obtenida a partir de estos análisis.

### 2.5.3.3. Monitoreo de sustancias especiales

La fecha del monitoreo de sustancias especiales fue el 9 de febrero de 2009. Ese mismo día se hizo entrega de las muestras en el Laboratorio Ambiental de la Universidad de los Andes para su análisis.

### 2.5.4. Monitoreo limnológico

Dentro del marco de las campañas de monitoreo de la RCHB se planteó la realización de monitoreos limnológicos a lo largo de los diferentes ríos, con el fin de obtener un conocimiento preliminar de la ecología de los microorganismos presentes. Se buscó confrontar los resultados limnológicos con los

datos obtenidos a partir de los análisis fisicoquímicos, para poder ver la relación directa entre los cambios en la calidad del agua, con la presencia y las características de los microorganismos encontrados, tanto en la columna de agua, como en el fondo del ecosistema acuático.

#### 2.5.4.1. Sitios de monitoreo

Para la selección de los sitios de monitoreo se identificaron los puntos teniendo en cuenta las variaciones de los parámetros fisicoquímicos, de manera que se seleccionaron sitios que permitiesen obtener muestras representativas de cada uno de los tramos en cada uno de los ríos constituyentes de la RCHB. Los puntos seleccionados para las campañas de caracterización limnológica se encuentran en la tabla 2.13.

TABLA 2.13. Sitios monitoreados: limnología

Cuenca	Tramo	Estación	Abscisado
Torca	1	Aguas arriba carrera 7ª con calle 153	K0+000
		Puente peatonal Jardines de Paz	K7+695
	2	20 metros abajo del punto 82	K10+989
Salitre	1	Parque Nacional	K0+000
	2	Aguas arriba descarga calle 45 con carrera 24	K2+307
	3	Aguas arriba carrera 49 con calle 80A	K7+237
	4	Aguas abajo descarga calle 99 con carrera 103	K13+515
Fucha	1	El Delirio	K0+000
	2	Fucha con avenida Ferrocarril	K10+187
	3	Aguas arriba avenida Las Américas	K12+267
	4	Visión Colombia	K15+697

(Cont.)

Cuenca	Tramo	Estación	Abscisado
Tunjuelo	1	La Regadera	K0+000
	2	San Benito	K20+266
	3	Makro autopista Sur	K29+551
	4	Transversal 86	K33+760

#### 2.5.4.2. Logística de campo

Para la ejecución de las campañas de monitoreo limnológico se dispuso de una comisión de campo conformada por un vehículo más conductor, un coordinador de comisión y un auxiliar de campo. Durante las campañas dicha comisión de campo fue acompañada por personal de la Universidad de los Andes, que fue el encargado de auditar las actividades desarrolladas. Para hacer el monitoreo en cada uno de los sitios definidos se invirtió un tiempo total que varió entre dos y tres horas, dependiendo de la complejidad y las características del sitio.

#### 2.5.4.3. Toma de muestras

Para asegurar representatividad de los resultados en cada uno de los puntos monitoreados se seleccionaron tres puntos de tomas de muestras: 1) de rápidos o umbral (donde el río transporta y erosiona material del lecho); 2) en hoya (donde el río corre lentamente y deposita los materiales en suspensión); 3) del tramo recto. Por cada punto se tuvieron tres muestras de la comunidad respectiva, estadísticamente comparables.

La selección de los sitios de muestreos o instalación de sustratos artificiales se definió a partir de la calificación del estado físico de los tramos, usando los protocolos de evaluación multihábitat de los protocolos de bioevaluación rápida (RBP, *rapid bio-assessment protocol*) de la Environmental Protection Agency (EPA),

que se adaptaron en el Laboratorio de Limnología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano para arroyos tropicales (anexo 2).

##### 2.5.4.3.1. Macroinvertebrados del bentos

Las comunidades y los macroinvertebrados de los bentos fueron colectados en cada uno de los sitios usando redes triangulares de mango de 300  $\mu\text{m}$  de ojo de malla (Riss et ál., 2002) (fig. 2.2). En cada sitio se tomaron muestras separadas en diferentes coriotos teniendo en cuenta como criterios básicos el tipo de sustrato disponible (rocas, hojarasca, piedras, arena, vegetación acuática, etcétera). Los especímenes muestreados fueron preservados con alcohol al 96% con rosa de Bengala, que permite la tinción y fácil separación de individuos en el laboratorio. Las muestras fueron guardadas en bolsas etiquetadas siguiendo lo sugerido por Merrit y Cummins (1985). La separación e identificación de los individuos se realizó en el Laboratorio de Limnología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Para los análisis se aplicó la metodología establecida en Rueda-Delgado (2002) y las técnicas establecidas de monitoreo rápido (EPA, 2002; Sanabria, Calvo y Rueda, 2002).

##### 2.5.4.3.2. Comunidades perifíticas

Para la recolección de los individuos de estas comunidades se utilizó la técnica de raspado en sustratos naturales (Andreu y

Camacho, 2002) provenientes de rocas al azar dentro del sistema, (fig. 2.3) o en lugares particulares en los canales de los puntos del sector urbanizado. Se tomaron tres frascos con 20 ml de agua destilada por sitio de muestreo en cada uno de los cuales se colocaron diez raspados del área interna de una diapositiva. Los sustratos artificiales fueron variables en razón a las diferencias en las condiciones de los puntos y momentos. Para el período de aguas altas en los que sólo se muestrearon en las entradas del cuerpo de agua al perímetro urbano, se usaron montajes de láminas de vidrio sostenidas en soportes plásticos que se amarraron a piedras o troncos en las riberas (fig. 2.3). Para los otros muestreos se usaron tubos de PVC de 10 cm de largo que determinaron un área igual de colonización en todos los puntos. En este caso se instalaron tres tubos de PVC por punto.



FIG. 2.2. Monitoreo limnológico bentos



FIG. 2.3. Monitoreo limnológico perifiton

A partir del valor de las diatomeas como indicadores de calidad se desarrolló un índice dividiendo el total de diatomeas encontrado en todas las muestras (17) por el encontrado en cada punto. Este índice fluctuó entre 1 y 0,76, el cual indicó estados óptimos, 0,75 a 0,51 estados subóptimos, 0,50 a 0,26 estados marginales y 0,25 a 0 condiciones pobres para el asentamiento del perifiton.

Se realizaron dos campañas de monitoreo limnológico en los tramos altos de cada uno de los ríos urbanos. Una de estas campañas se llevó a cabo en condiciones hidrológicas predominantemente húmedas y, la otra, en condiciones de estiaje.

De la misma manera, se hizo una campaña de monitoreo limnológica en los tramos 2, 3 y 4 de cada río urbano, encontrándose una condición hidrológica predominantemente seca. Todas estas campañas se realizaron de forma simultánea con las campañas de monitoreo fisicoquímico de la RCHB.

Los muestreos se efectuaron en diferentes puntos de los afluentes urbanos del río Bogotá entre diciembre de 2008 (altas lluvias) y febrero de 2009 (bajas lluvias). Para el período de altas lluvias se tomaron muestras en la entrada del cuerpo de agua al perímetro urbano. Para el período de menor precipitación se efectuaron muestreos en diferentes sectores

de cada afluente (fig. 2.4). Las muestras de perifiton se obtuvieron mediante el raspado de sustratos duros existentes en cada punto o mediante sustratos artificiales que se instalaron durante una semana. Debido a las condiciones de los puntos en los tramos urbanizados no todos los sustratos artificiales se

podieron recuperar. Las muestras de macroinvertebrados del bentos se obtuvieron con red de mango colocada contracorriente en tres lugares diferentes del fondo de cada punto. Los puntos no muestreados obedecieron a las pésimas condiciones del agua que hacían imposible el uso de la red (tabla 2.14).

TABLA 2.14. Sitios monitoreados: limnología

Río	Punto	Precipitación		Perifiton		Bentos
		Alta	Baja	Directo	Sustratos	
Torca	Quebrada Santa Cecilia	X	X	X		X
Salitre	Parque Nacional	X	X	X	X	X
	Calle 45 con carrera 24		X		X	
	Calle 80 con carrera 49		X		X	
	Calle 99 con carrera 103		X		X	
Fucha	El Delirio	X	X	X	X	X
	Avenida Ferrocarril		X	X	X	X
	Avenida Las Américas		X	X	X	
	Visión Colombia		X		X	
Tunjuelo	Regadera	X	X	X	X	X
	San Benito		X	X	X	X
	Makro		X	X	X	X
	Transversal 86		X		X	

El material preservado proveniente de muestras del bentos se identificó hasta el mínimo nivel taxonómico posible con la ayuda de las claves especializadas y regionales: McCafferty (1981), Merritt y Cummins (1988), Pennak (1989), Brinkhurst y Marchese (1993), Fernández y Domínguez (2001), Thorp y Covich (2001), Domínguez et ál., (2006) y Tatcher (2006).

La categorización de los grupos funcionales de los taxa encontrados se hizo a partir de la clasificación determinada por Merritt y Cummins (1988). Los valores de tolerancia se tomaron según lo propuesto por la EPA (2002) de los Estados Unidos.

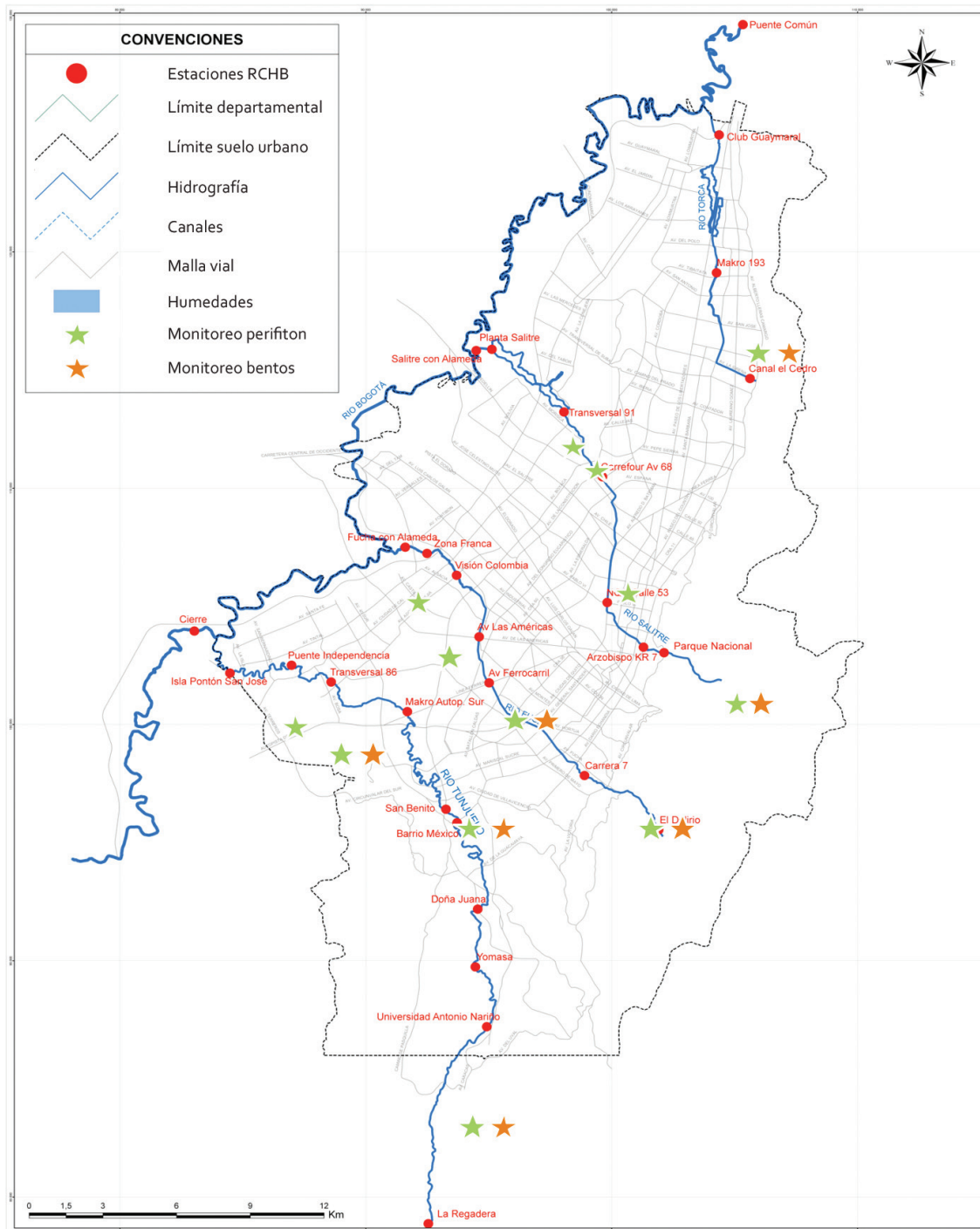


FIG. 2.4. Puntos de muestreo bentos y perifiton



## 3. EL RÍO TORCA

**E**l río Torca nace en los cerros orientales pasa por los humedales de Torca y Guaymaral y desemboca en el río Bogotá a

la altura del Club Guaymaral, tiene una longitud aproximada de 14,24 km y el área de su cuenca es 1397 hectáreas (fig. 3.1).



FIG. 3.1. El río Torca

### 3.1. Resultados del monitoreo fisicoquímico

#### 3.1.1. Bandas históricas

En este ítem se presentan los resultados de los monitoreos fisicoquímicos realizados dentro del Convenio 069 de 2007 para metales (bario, cadmio, cinc, cobre, cromo, manganeso, plomo y níquel), algunas sustancias tóxicas (arsénico, cianuros, fenoles, sulfuros), grasas y aceites y las sustancias activas al

azul de metileno (SAAM). Este tipo de análisis se generó para estas sustancias con objeto de comparar los resultados históricos del monitoreo en el río Torca, frente a los resultados de seguimiento realizados durante los años 2008 y 2009. Para cada punto específico de monitoreo, se presentan los resultados históricos medidos (mínimo, mediana y máximo) y los resultados obtenidos en las dos campañas de monitoreo de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB) (tabla 3.1).

TABLA 3-1. Bandas históricas (río Torca)

Sitio de monitoreo	Canal El Cedro con carrera 12						Makro 193						Club Guaymara					
	Ko+874						K6+005						K12+553					
Absciso (km)	Mín.	Mediana	Máx.	C1	C2		Mín.	Mediana	Máx.	C1	C2	Mín.	Mediana	Máx.	C1	C2		
pH	5,6	7,2	9,8	8,89	7,63		6,6	8,0	9,5	7,53	7,70	6,6	7,7	8,6	7,25	7,04		
Temperatura (°C)	12,9	16,6	19,9	19,7	19		13,0	20,0	23,6	15,1	16	12,2	17,6	20,0	15,5	15,3		
Conductividad (µS.cm-1)	-	-	-	185,5	200					344	410				266	370		
OD	2,0	5,0	9,0	7,4	3,4		0,5	2,8	3,4	0,9	0,5	0,4	0,8	2,2	0,5	0,5		
Arsénico	0,003	0,009	0,016	0,004	0,004		0,009	0,011	0,013	0,004	0,004	0,002	0,048	0,093	0,004	0,004		
Bario	0,024	0,055	0,201	0,037	0,053		0,041	0,067	0,254	0,061	0,059	0,034	0,060	0,135	0,086	0,062		
Cadmio	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001		0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001		
Cianuro (mg.L-1)	0,001	0,003	0,060	0,100	0,500		0,001	0,003	0,010	0,100	0,500	0,001	0,002	0,020	0,100	0,500		
Cinc	0,010	0,042	0,204	0,004	0,004		0,008	0,095	0,232	0,071	0,023	0,037	0,080	0,189	0,031	0,103		
Cobre	0,002	0,008	0,021	0,080	0,007		0,003	0,011	0,061	0,073	0,001	0,001	0,008	0,027	0,001	0,001		
Cromo total	0,002	0,008	0,020	0,006	0,006		0,001	0,011	0,303	0,006	0,006	0,010	0,022	0,196	0,006	0,006		
DOO	7,0	24,0	89,0	33,9	39,6		83,0	260,0	837,0	134,9	76,2	43,0	157,0	244,0	134,9	94,5		

Fenoles	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Fósforo total	0,2	0,6	8,2	0,5	0,8	0,6	4,4	7,6	1,8	4,8	4,8	0,8	3,9	6,1	1,4	2,6	2,6
Aceites y grasas	12,0	23,5	132,0	16,9	172,1	10,0	23,0	123,0	8,6	17,8	17,8	12,0	18,0	236,0	5,4	3,6	3,6
Manganeso	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Mercurio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Níquel total	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amonio	0,4	2,1	5,7	1,4	3,0	4,6	22,9	37,2	14,0	5,1	5,1	3,6	16,9	31,8	11,3	9,0	9,0
NTK	1,5	4,1	6,4	4,7	3,8	9,9	30,1	70,7	17,6	26,3	26,3	5,9	22,5	32,4	15,7	12,0	12,0
Plomo	0,0	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
SAAM	0,1	0,5	1,5	1,1	0,5	1,0	2,5	4,1	2,4	2,2	2,2	0,2	2,2	4,4	1,4	1,5	1,5
SST	1,0	9,0	138,0	2,0	8,1	31,0	97,5	384,0	48,6	53,8	53,8	12,0	35,5	470,0	80,0	40,8	40,8
Sulfuros	0,1	0,7	2,2	0,5	0,5	0,1	0,8	2,8	0,6	0,8	0,8	0,2	1,8	5,4	1,8	0,5	0,5
Alcalinidad	-	-	-	53,0	37,0	-	-	-	146,1	160,0	160,0	-	-	-	178,8	119,0	119,0
Dureza total	-	-	-	61,3	34,9	-	-	-	95,6	74,8	74,8	-	-	-	119,1	71,2	71,2
Coliformes totales (NMP.100 ml-1)	1,15E+02	7,98E+04	9,59E+06	9,20E+04	1,00E+05	5,83E+04	3,17E+07	2,61E+08	6,80E+06	Incontables	Incontables	3,50E+05	1,29E+07	8,66E+07	4,50E+06	Incontables	Incontables
<i>E. coli</i> (UFC.100 ml-1)	-	-	-	1,00E+04	1,00E+05	-	-	-	2,00E+06	9,57E+05	9,57E+05	-	-	-	7,00E+05	3,50E+05	3,50E+05

En términos generales, los valores de concentración para las sustancias presentadas en la tabla 3.1, obtenidos para el río Torca en las campañas realizadas bajo el Convenio 069 de 2007, se encuentran dentro de las bandas históricas; sin embargo, se presentan algunos casos particulares que se mencionan a continuación:

- Teniendo en cuenta que la cuenca del río Torca puede ser considerada casi como exclusivamente doméstica, se encontraron algunas concentraciones superiores a los valores máximos históricos en algunos de los determinantes de calidad (cadmio y cobre), lo cual podría ser indicativo de descargas en esta cuenca procedentes de actividades no domésticas (p. ej. servicios institucionales, industriales). Es muy importante garantizar que la dinámica temporal de todas las sustancias analizadas desde este método de bandas históricas muestre tendencia permanente hacia los valores más bajos.
- En varios de los parámetros analizados se observa que, aun cuando los valores medidos en las campañas del Convenio 069 se encuentran dentro del rango de los valores medios históricos, gran parte de estos parámetros (bario, cadmio, cinc, manganeso y sulfuros) presentan una tendencia de mayor concentración desde los tramos altos hacia los tramos bajos, lo cual podría ser explicado por: 1) la presencia de descargas no domésticas a lo largo del cauce, 2) la resolubilización de algunas de estas sustancias durante el tiempo de viaje en el río y 3) la generación de sulfuros a partir de sulfatos debido a las condiciones anóxicas en los tramos medio y bajo del río.
- Para sustancias como los fenoles, las SAAM y el cobre se observa que, en la medida en que se realizan monitoreos hacia las zonas bajas del río Torca, se encuentran concentraciones o similares o más bajas de estas sustancias, lo cual podría estar asociado a procesos de dilución o transformación (degradación o precipitación) de estas sustancias.
- En el sitio de monitoreo del tramo alto se registró un valor de concentración de aceites y grasas superior al valor máximo histórico reportado para este sitio.
- Arsénico, cianuros, cromo y níquel arrojaron concentraciones por debajo del límite de detección utilizado para todo el río, lo cual es muy favorable pensando en el proceso de recuperación paulatina de este cuerpo de agua.

### 3.1.2. Diagrama de cajas

En este tipo de diagramas se presenta la información asociada a los parámetros básicos (el pH, la conductividad y el oxígeno disuelto), la materia orgánica (la DBO y DCO), los nutrientes (el NTK y fósforo total) y los sólidos suspendidos totales, medidos exclusivamente en las campañas de monitoreo físicoquímico de la RCHB. Este tipo de análisis se realizó para cada uno de los tramos (SDA, Resolución 5731/2008):

- Tramo 1: desde la entrada al perímetro urbano y la calle 183, donde se encuentran los sitios de monitoreo canal El Cedro con carrera 12 hasta Makro 193.
- Tramo 2: desde la calle 183 hasta la desembocadura del canal, en el que están los puntos de monitoreo Makro 193 y Club Guaymaral.

3.1.2.1. pH

En la figura 3.2 se puede ver una ligera diferencia no significativa en la dispersión de los valores para ambos tramos. El valor medio es cercano a 7,5 unidades en los dos tramos, lo cual puede indicar un comportamiento constante a lo largo del río Torca. La distribución es aproximadamente simétrica, dado que la mediana se encuentra en la mitad de todos los valores reportados.

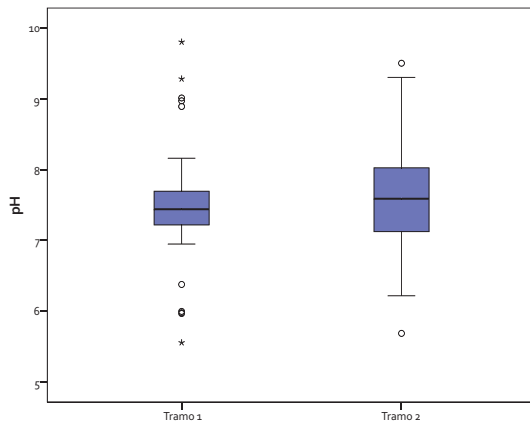


FIG. 3.2. pH (río Torca)

3.1.2.2. Conductividad

Para la conductividad (fig. 3.3) se observa, no sólo un mayor valor, sino una mayor dispersión en el tramo 2, asociado a las descargas del sistema de alcantarillado que se dan en los tramos medios y bajos del canal. Para el tramo 1 se observa una simetría positiva, mientras que en el tramo 2 se presenta una simetría negativa. Los valores de la conductividad se incrementan hacia aguas abajo, desde los valores cercanos a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  registrados en el tramo 1, hasta un valor medio cercano a los 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para el tramo 2.

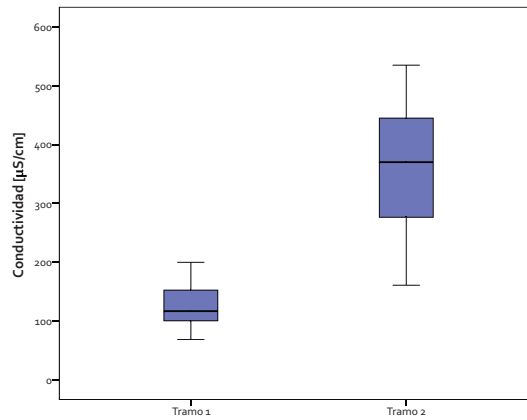


FIG. 3.3. Conductividad (río Torca)

3.1.2.3. Oxígeno disuelto

Para este parámetro, a diferencia de casi todos los otros, se observa un fuerte decaimiento continuo a lo largo del río, pasando de una concentración cercana a los 5 mg/L en el tramo 1, hasta llegar a una concentración cercana a 1 mg/L en el tramo 2, fruto de las altas cargas de materia orgánica que recibe. La menor variabilidad se presenta en el tramo 2, ya que la calidad de agua a esta altura del canal es muy pobre, razón por la cual las concentraciones de oxígeno disuelto no cambian significativamente (fig. 3.4).

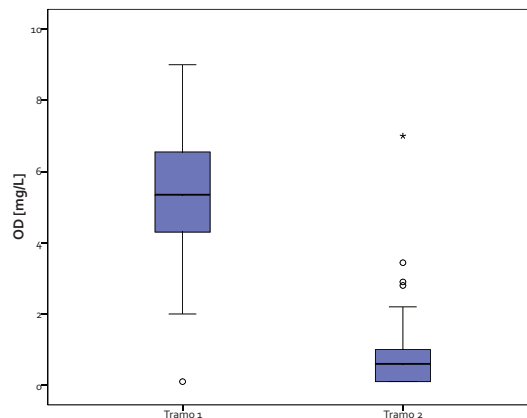


FIG. 3.4. Oxígeno disuelto (río Torca)

### 3.1.2.4. Materia orgánica

Tanto la  $DBO_5$  como la  $DOO$  incrementan hacia aguas abajo (fig. 3.5) como resultado del aporte consistente de aguas residuales domésticas en los tramos medios y bajos del río Torca. La  $DBO_5$  es mucho mayor en el tramo 2 alcanzando su valor medio próximo a 70 mg/L. Por su lado, la  $DOO$  también es mucho mayor en el tramo 2 alcanzando su

valor medio cercano a 200 mg/L. Para los dos parámetros los datos registrados en ambos tramos tienen una distribución aproximadamente simétrica con una mayor dispersión en el tramo 2. Si bien los valores de contenido de materia orgánica son altos en la parte baja del río, no son tan elevados como los que se pueden apreciar en los tramos de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo.

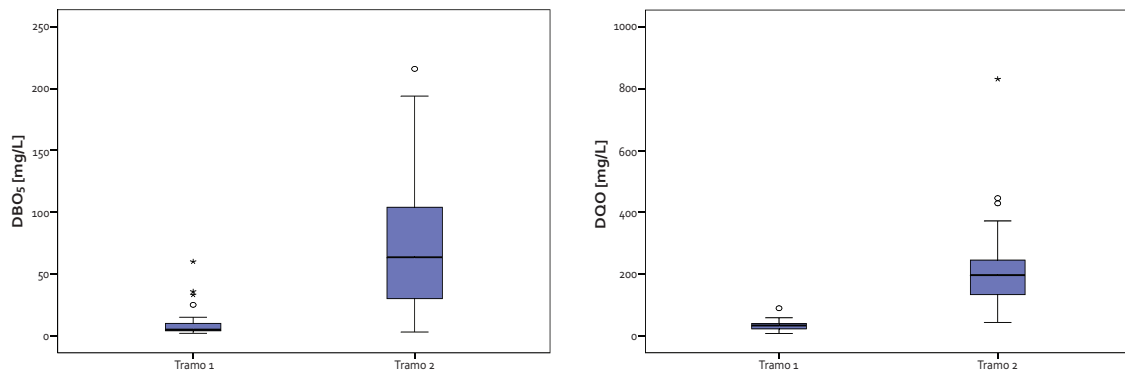


FIG. 3.5. Materia orgánica (río Torca)

### 3.1.2.5. Sólidos suspendidos totales (SST)

En cuanto a los sólidos suspendidos totales se observa en la figura 3.6 cómo, al igual que con la materia orgánica, se incrementan las concentraciones hacia aguas abajo de la cuenca (tramo 2), alcanzando un valor medio

cercano a los 50 mg/L, también como resultado del aporte de aguas residuales domésticas a lo largo de su curso. De nuevo se puede afirmar que, siendo valores no apropiados para un río en tiempo seco, no son valores tan altos como los medidos en los otros tres ríos principales de la ciudad.

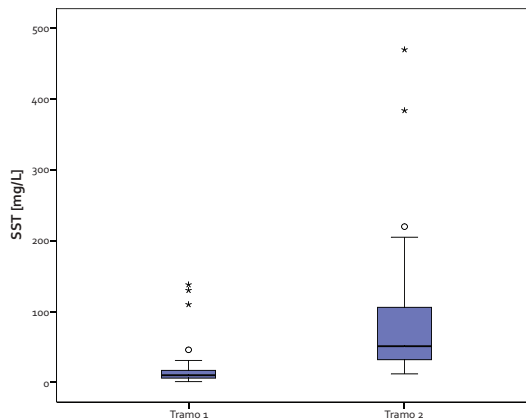


FIG. 3.6. SST (río Torca)

### 3.1.2.6. Nutrientes

En el caso del nitrógeno y del fósforo, la dinámica espacial observada para el río Torca (fig. 3.7) refleja el mismo comportamiento presentado por la materia orgánica y por los sólidos: mayor concentración y variabilidad para el tramo 2. Asimismo, un incremento importante en la concentración de NTK y  $\text{NH}_4$  a partir del tramo 1, evidenciando la afectación presente en el río en cuanto al contenido de nutrientes, ya que pasa de valores medios

cercanos a 5 mg/L en el tramo 1 hasta valores medios cercanos a 20 y 15 mg/L para NTK y  $\text{NH}_4$  respectivamente, en el tramo 2 del río. En el caso del fósforo se presenta una diferencia significativa entre ambos tramos, llegando a concentraciones en el tramo 2 cercanas a 3 mg/L. La menor variabilidad de los valores se observa en el tramo 1. Por supuesto, este comportamiento está asociado al vertimiento de aguas domésticas procedentes del sistema de alcantarillado de la ciudad.

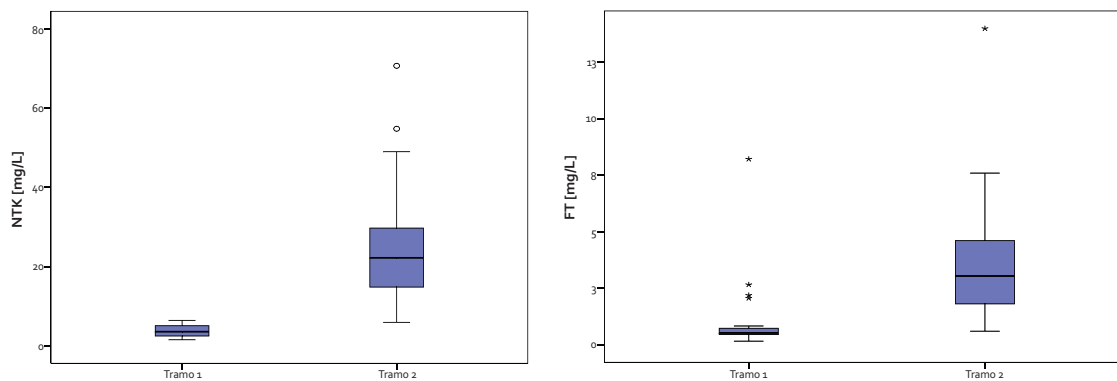


FIG. 3.7. Nutrientes (río Torca)

### 3.1.3. Interrelaciones paramétricas

Una herramienta que permite establecer el origen de la contaminación encontrada en los ríos es la relacionada con la correlación entre los parámetros de la calidad del agua, pues en el caso de las aguas residuales domésticas es bien conocida la interrelación presente entre la materia orgánica, los sólidos y los nutrientes. De encontrar este mismo tipo de comportamiento en las aguas de los ríos de la ciudad, se puede corroborar la alta incidencia que sobre

la contaminación de estos cuerpos de agua puede tener el sistema de alcantarillado sanitario de Bogotá.

La relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  promedio en el tramo 1 fue de 0,31; para el tramo 2 dicha relación fue en promedio de 0,35 (fig. 3.8). Según estos valores, se puede observar un nivel bajo de biodegradabilidad de la materia orgánica en los dos tramos del río Torca y en su recorrido de una relación similar a la fracción orgánica biodegradable con respecto a la materia orgánica total.

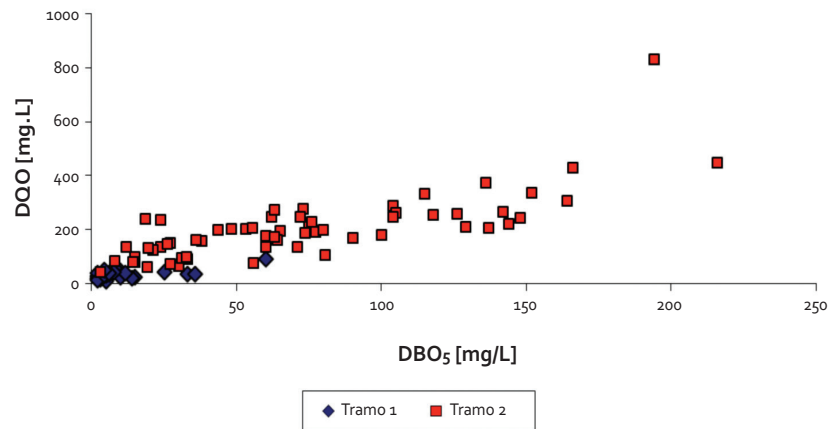


FIG. 3.8. Relación DBO/DQO (río Torca)

En las gráficas de interrelación paramétrica de los sólidos suspendidos totales con respecto a la  $DBO_5$  (fig. 3.9) se identifica claramente la estrecha relación de estos parámetros,

asociada principalmente a la fracción de materia orgánica particulada en el agua ( $DBO_5$  particulada), característica de las aguas residuales domésticas frescas.

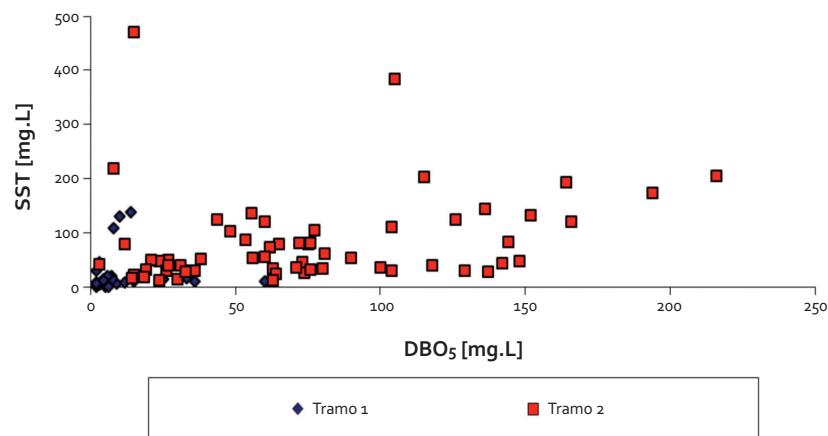


FIG. 3.9. Relación DBO/SST (río Torca)

Finalmente, en la figura 3.10 de interrelación paramétrica  $NTK/DBO_5$  se observa la alta relación existente entre estos determinantes de calidad; valores altos de concentración en  $NTK$  asociados a los aumentos de la  $DBO_5$ .

La relación  $NTK/DBO_5$  promedio en el tramo 1 es 0,80, mientras que para el tramo 2 la relación promedio es de 0,47, indicando quizá un mayor contenido de materia orgánica nitrogenada en el tramo alto del río.

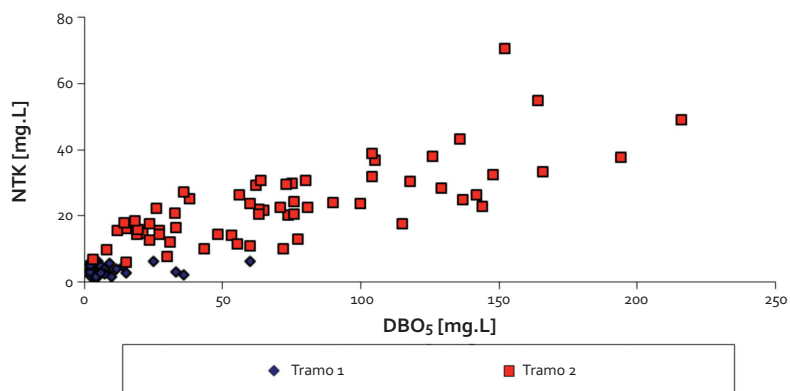


FIG. 3.10. Relación DBO/NTK (río Torca)

### 3.1.4. Cargas contaminantes

En el caso específico de materia orgánica y sólidos suspendidos totales se realizaron gráficos de carga contaminante asociados a cada tramo del río. En este ítem se presentan los perfiles longitudinales de carga contaminante para el río Torca. Estas estimaciones de carga están basadas en las diferentes campañas que se han realizado de la RCHB desde el 2006. A partir de estos datos se estableció la evolución de la reducción en carga sobre el río. Los aumentos en las cargas hacia aguas abajo del canal se deben a las descargas contaminantes vertidas a lo largo de éste. En cada campaña se identificó un aumento constante en la carga de materia orgánica a partir del tramo 1 del río.

En términos específicos de carga contaminante de la  $DBO_5$  se observa una reducción en los tres sitios de monitoreo del río Torca (Convenio 069 de 2007), comparada con los valores de carga contaminante promedio estimada con los resultados del Convenio 005, quizá como resultado de la eliminación de descargas directas al río en este trayecto, lo cual es un aspecto muy positivo para el saneamiento y recuperación de este cuerpo de agua.

Las diferencias pronunciadas entre los valores de carga contaminante estimada entre las campañas de monitoreo obedecen a las diferentes condiciones hidrológicas para las cuales se realizó cada caracterización, pues afectaciones en los caudales modifican severamente los estimativos de carga en los ríos (fig. 3.11).

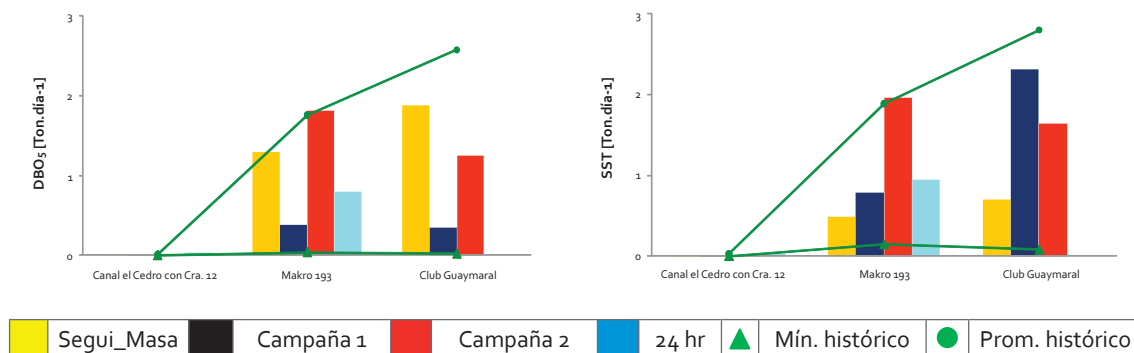


FIG. 3.11. Carga contaminante (río Torca)

### 3.2. Calidad del agua (WQI)

#### 3.2.2. Resultados monitoreos

Para establecer el cumplimiento de los objetivos de calidad en el río Torca en el período 2008-2009, se comparó con la Resolución 5731 de 2008 los valores de los parámetros medidos

durante las diferentes campañas de monitoreo realizadas durante el Convenio 069 (monitoreo fisicoquímico, monitoreo complementario, seguimiento de masa y monitoreo veinticuatro horas). En las tablas 3.2 a 3.6, se presentan los resultados de caracterización en cada una de las campañas en mención.

TABLA 3.2. Campaña 1 (río Torca)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
Canal El Cedro	22/09/2008	7,35	6,1	33,9	6,4	0,51	<2	16,89	8,89	1,13
									8,89	
									8,97	
									9,01	
									8,89	
Makro 193	22/09/2008	0,92	23,6	135	20,7	1,8	48,6	8,6	7,44	2,4
		0,86							7,51	
									7,53	
									7,53	
									7,65	
Club Guaymaral	22/09/2008	0,2	11,9	135	17,9	1,4	80	5,4	7,24	1,4
		0,3							7,25	
		0,5							7,25	
		0,8							7,25	
		ND							7,26	

TABLA 3.3. Campaña 2 (río Torca)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	NMP/100mL	Unidades	(mg/L)
Canal El Cedro	10/02/2009	3,40	11,7	39,6	4,4	0,83	8,1		2,4E+04	7,63	0,46
										7,67	
										7,96	
										8,03	
										7,85	
Makro 193	10/02/2009	0,5	56	76,2	28,5	4,78	54	17,8	7,0E+06	7,55	2,19
										7,70	
										7,70	
										7,87	
										7,95	
Club Guaymaral	10/02/2009	0,5	31,2	94,5	13,9	2,62	41	<3,6	2,2E+06	7,02	1,49
										7,01	
										7,04	
										7,09	
										7,36	

TABLA 3.4. Campaña complementaria (río Torca)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
Club Guaymaral	25/04/2009			14,3	77,8	17,9	1,9	17	20,1		3,08
	26/04/2009			32,9	97,8	20,7	2,3	29	4,0		4,75
	27/04/2009			18,4	237,8	18,5	2,2	18	10,9		0,53
	28/04/2009			23,6	236,5	12,7	2,0	13,5	10,5		4,15

TABLA 3.5. Seguimiento de masa (río Torca)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	C. fecales	pH
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	NMP/100mL	Unidades
Carrera 7ª calle 153 arriba remanso	21/07/2008	7,11	9,9	32	5,1	0,93	4	4,0E+05	6,70
Carrera 7ª con calle 153-10 metros abajo del remanso	21/07/2008	5,21	2,6	15	2,6	0,65	18	1,4E+03	6,82
Carrera 9ª con calle 153-10 metros arriba del punto (16)	21/07/2008	4,90	7,6	21	2,7	0,55	6	7,9E+07	8,62
Calle 192 con carrera 19-Makro	22/07/2008	2,23	72	153	28,0	2,50	27	4,9E+06	7,41
Calle 222-Chicó Fútbol Club	22/07/2008	1,47	40	84	22,8	2,00	13	2,3E+06	7,18
20 metros abajo del punto 82	25/07/2008	1,54	44	64	16,2	1,49	30	4,9E+06	6,98
Curva Club Guaymaral	25/07/2008	1,22	46	68	16,7	1,31	17	2,0E+05	6,88
20 metros arriba río Bogotá	25/07/2008	0,87	51	51	11,1	1,23	9	4,5E+05	7,33

TABLA 3.6. Campaña veinticuatro horas (río Torca)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	NMP/100mL	Unidad	(mg/L)
Canal El Cedro	27/04/2009	08:00	7,96	4,29	31,28	1,69	0,61	15,09		2,4E+04	7,44	
		08:30	8,06								7,71	
		09:00	8,10								7,43	
		09:30	7,98								7,56	
		10:00	7,91								7,38	
	27/04/2009	12:00	7,77	7,44	41,18	4,03	0,53	20	1,95	1,5E+04	7,36	0,22
		12:30	8,02								7,41	

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	NMP/100mL	Unidad	(mg/L)
		13:00	7,54								7,43	
		13:30	7,46								7,21	
		14:00	7,64								7,14	
	27/04/2009	14:00	7,64	7,47	40	2,49	0,48	13,7		4,3E+04	7,14	
		14:30	7,81								7,45	
		15:00	7,87								7,40	
		15:30	7,20								7,44	
		16:00	7,43								7,54	
	27/04/2009	16:00	7,43	5,76	38	2,87	0,51	20,3	2,74	2,3E+04	7,54	0,24
		16:30	7,58								7,50	
		17:00	7,67								7,45	
		17:30	7,00								7,52	
		18:00	6,25								7,53	
	27/04/2009	20:00	6,17	5,19	33	3,06	0,57	16,9	1,12	4,3E+04	7,52	0,19
		20:30	6,06								7,41	
		21:00	6,11								7,34	
		21:30	6,15								7,13	
		22:00	6,17								7,11	
	28/04/2009	00:00	6,35	4,11	36	2,38	0,30	11,2	5,48	2,4E+04	7,14	0,23
		00:30	6,44								7,14	
		01:00	6,51								7,23	
		01:30	6,60								7,23	
	28/04/2009	02:00	6,68	4,35	48	2,14	0,41	13,3		4,3E+04	7,25	
		04:00	6,45								7,35	
		04:30	6,49								7,66	
		05:00	6,55								7,61	
		05:30	6,49								7,42	
		06:00	6,77								7,78	

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	NMP/100mL	Unidad
Makro 193	29/04/2009	08:00	1,15	53	200	14,4	1,56	87,0		2,3E+06	7,30	
		08:30	0,61								8,08	
		09:00	0,61								8,06	
		09:30	1,61								8,38	
		10:00	2,63								8,34	
	29/04/2009	10:00	2,63	73	276	29,7	3,7	45,6		1,5E+07	8,34	
		10:30	2,88								8,27	
		11:00	3,33								8,50	
		11:30	3,33								8,23	
		12:00	3,03								8,76	
	29/04/2009	12:00	3,03	81	105	22,7	3,2	61,7	19,2	2,3E+06	8,76	6,8
		12:30	2,82								8,31	
		13:00	2,00								9,30	
		13:30	1,51								8,99	
		14:00									8,06	
	29/04/2009	14:00		74	187	20,2	2,8	25,7		9,0E+05	8,06	
		14:30	1,74								7,91	
		15:00	1,70								7,82	
		15:30	1,85								7,83	
		16:00	1,76								7,84	
	29/04/2009	16:00	1,76	76	225	20,5	2,8	32,1	14,6	2,3E+05	7,84	2,9
		16:30	0,97								7,72	
		17:00	0,35								8,07	
		17:30	0,22								7,58	
		18:00	0,22								7,53	
29/04/2009	18:00	0,22	76	229	24,5	3,3	81,2		4,0E+06	7,53		
	18:30	0,23								7,48		
	19:00	0,22								7,46		
	19:30	0,21								7,47		
	20:00	0,59								7,87		

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	NMP/100mL	Unidad
Makro 193	29/04/2009	20:00	0,59	115	332	17,6	2,4	203,2	61,1	1,5E+07	7,87	7,02
		20:30	1,04								7,74	
		21:00	1,33								7,74	
		21:30	0,54								8,08	
		22:00	0,24								8,04	
	29/04/2009	22:00	0,24	72	246	10,2	1,5	82,3		4,0E+06	8,04	
		22:30	0,20								7,49	
		23:00	0,21								7,22	
		23:30	0,21								7,32	
		00:00	0,29								7,49	
Makro 193	30/04/2009	00:00	0,29	43	198	10,2	1,39	124,0	15,2	2,4E+06	7,49	2,5
		00:30	0,73								7,60	
		01:00	1,08								7,53	
		01:30	1,15								7,45	
		02:00	1,35								7,55	
	30/04/2009	02:00	1,35	55	204	11,7	1,5	136,7		4,0E+06	7,55	
		02:30	1,33								7,04	
		03:00	1,37								7,54	
		03:30	1,27								7,84	
		04:00	1,41								7,45	
30/04/2009	04:00	1,41	77	191	13,2	1,4	105,6		2,3E+06	7,45		
	04:30	1,67								7,83		
	05:00	2,02								7,50		
	06:00	3,28								7,64		
30/04/2009	06:00	3,28								7,64		
	06:30	3,09										
	07:00	2,79	48	201	15,1	1,6	103,8		4,3E+06	7,75		
	07:30	2,00								8,00		
	08:00	2,43								8,15		

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	NMP/100mL	Unidad	(mg/L)
	30/04/2009	08:00	2,43	104	245	39,4	4,5	29,6		1,5E+06	8,15	
		08:30	2,53								7,93	
		09:00	3,05								7,99	
		09:30	3,83								8,05	
		10:00	3,94								7,98	

### 3.2.3. Cálculo del índice de calidad hídrica

A continuación se presentan los cálculos del WQI para el río Torca a partir del grupo de datos de todas las campañas realizadas en el Convenio 069 de 2007. Cabe resaltar que para evaluar el cumplimiento con los objetivos de calidad de la Resolución 5731 de 2008, se debe estimar el WQI anual con datos bimestrales en los puntos de monitoreo de la RCHB.

El WQI\* es un ejercicio para evaluar la calidad del agua frente a los objetivos de calidad con los datos de todas las campañas realizadas en el Convenio 069 de 2007. Se puede afirmar, en términos generales, que la calidad

del agua en el río Torca oscila entre regular y marginal. El WQI\*\* es un cálculo realizado a partir de los datos históricos de monitoreo de la RCHB (mensuales promedio) entre enero y abril de 2007 (SDA y EAAB, 2008). La comparación entre estos dos índices puede ser vista como una evaluación de la dinámica en el cumplimiento de los objetivos de calidad, que ha venido observándose en el río Torca. Dicha comparación muestra cómo el índice de calidad hídrica ha venido aumentando (mejorando) en el tramo alto de este río, mientras que en el caso del tramo 2 se observó una disminución en la calidad del agua.

TABLA 3.7. Índice de calidad hídrica (río Torca)

Río Torca	Estaciones	WQI* (2008-2009)	WQI** (2007-2008)
Tramo 1	Canal El Cedro	71	64
Tramo 2	Makro 193	63	71
	Club Guaymaral		

A continuación, se hace una breve explicación de los cálculos del WQI\* y los resultados obtenidos. Vale la pena resaltar que en los cálculos del WQI un parámetro puede tener más valores que otros, como ocurre en la mayoría de los casos con los valores del oxígeno disuelto y el pH.

En el tramo 1 de este río hay un solo punto de monitoreo (canal El Cedro) con 169 datos, de los cuales 6 no cumplen con los objetivos de calidad, y de ellos 2 corresponden al nitrógeno total. La calidad de agua de este tramo es **regular**.

TABLA 3.8. Índice de calidad hídrica (río Torca, tramo 1)

Parámetro	Núm. de datos que no cumplen	Variable	Valor
OD	0	F1	50,0
DBO	0	F2	3,6
DQO	0	NSE	0,02
N <sub>total</sub>	2	F3	1,99
P <sub>total</sub>	0	WQI	71,04
SST	1		
Grasas y aceites	0		
Coliformes fecales	1		
pH	1		
SAAM	1		

En el tramo 2 de este canal hay dos puntos de monitoreo de la RCHB (Makro 193 y Club Guaymaral), con 334 datos, de los cuales 37 no cumplen con los objetivos de calidad. La

calidad de agua de este tramo es **marginal**, debido esencialmente a los bajos valores de oxígeno disuelto y la alta concentración de coliformes fecales.

TABLA 3.9. Índice de calidad hídrica (río Torca, tramo 2)

Parámetro	Núm. de datos que no cumplen	Variabes	Valor
OD	17	F1	60,0
DBO	0	F2	11,1
DQO	0	Nse	0,26
N <sub>total</sub>	0	F3	20,47
P <sub>total</sub>	0	WQI	62,84
SST	1		
Grasas y aceites	1		
Coliformes fecales	16		
pH	1		
SAAM	1		

### 3.3. Dinámica de calidad temporal

Las jornadas específicas de monitoreo de veinticuatro horas tuvieron por objeto identificar las variaciones intradiarias de concentraciones y estimar el comportamiento temporal de una variable dependiente a partir de la

variación temporal de una o más variables independientes (poder estimar el factor multiplicador de la demanda bioquímica de oxígeno en una hora específica del día a partir de la serie de tiempo de las variables determinadas in situ). Los modelos de las funciones discretas de transferencia (TD) permiten estimar este

tipo de comportamiento. En el caso de las distintas variables independientes (modelo MISO, múltiples entradas única salida, por sus siglas en inglés) tomaría la siguiente forma:

$$y_t = \frac{B_1(L)}{A(L)} u_{1t-\delta} + \dots + \frac{B_k(L)}{A(L)} u_{kt-\delta} + \frac{1}{c(L)} e_t$$

$$y_t = \frac{B_1(L)}{A(L)} u_{1t-\delta} + \dots + \frac{B_k(L)}{A(L)} u_{kt-\delta} + \frac{1}{c(L)} e_t$$

Donde  $y_t$  es la variable de salida;

$u_{i,t}(i = 1, 2, \dots, k)$  es el conjunto de  $k$  variables de entrada que se asu-

men explican la salida mediante una relación unidireccional;  $\delta_i (i = 1, 2, \dots, k)$  son los retrasos asociados con cada entrada;  $e_t$  es una variable aleatoria normal estándar (media cero y varianza uno) que representa el componente aleatorio o de ruido;  $A(L)$ ,  $B(L)$ ,  $B_i(L)$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) son polinomios definidos por órdenes  $n$ ,  $p$ ,  $p$  y  $m_i$ , respectivamente;  $L$  es el operador de retraso, es decir  $L y_t = y_{t-1}$ ,  $L^j y_t = y_{t-j}$ . Más específicamente,

$$A(L) = 1 + a_1 L + \dots + a_n L^n, C(L) = 1 + c_1 L + \dots + c_p L^p, B_i(L) = b_{oi} + b_{1i} L + \dots + b_{mi} L^{m_i}$$

Definidas las variables independientes y dependientes con sus correspondientes series de tiempo, es necesario llevar a cabo procedimientos de estimación de parámetros, es decir, calcular los valores de los parámetros de los polinomios  $A(L)$ ,  $B(L)$ , y  $B_i(L)$ .

La herramienta avanzada de análisis desarrollada en MATLAB® y que es conocida como Captaintoolbox (Pedregal et ál., 2004) realiza un conjunto de procedimientos que, de manera eficiente, permite estimar los parámetros de modelos MISO de TD (tablas 3.10 y 3.11).

TABLA 3.10. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos de la RCHB El Cedro con carrera 12)

CF					DBOs					DBOt					DQOs				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	-5,3	15,9		pH	14,6	-18,2	0,0	0	pH	-36,7	0,0	0,0		pH	0	0	-17,2	53,2
Cond	0,0	6,2	-5,7		Cond	-8,0	7,3	0	0	Cond	-14,0	15,4	0,0		Cond	0,0	0,0	26,0	-28,0
Temp	-6,0	1,8	0		Temp	0	0,0	2,0	1,5	Temp	0,0	3,2	-4,9		Temp	0	-7,8	0,0	0,0
DQOt					FS					FT					NH4				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	16,1	-13,8	0,0		pH	0	5,2	-1,0	0,0	pH	-12,0	18,8	0,0	0,0	pH	0	-47,0	69,7	
Cond	0,0	-3,8	2,8		Cond	0,0	-1,5	-0,3	0	Cond	1,5	-0,9	0,0	0,0	Cond	0,0	23,6	-23,5	
Temp	0	-0,2	1,6		Temp	0	0,0	1,7	0,8	Temp	0,0	0,0	0,6	-0,5	Temp	-11,2	6,4	0,0	
NO2					NO3					NTK					OD				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	-4,1	5,9		pH	-13,6	13,4	0,0		pH	0,0	-9,1	8,0		pH	-3,0	3,5	0,0	0
Cond	0,7	0,0	0,0		Cond	1,5	0,0	0,0		Cond	-2,3	2,1	0,0		Cond	2,2	-1,5	0,0	0,0
Temp	-1,2	1,1	0,0		Temp	0,0	2,0	-2,9		Temp	-3,4	5,2	0,0		Temp	0,0	0,0	0,3	-0,8
SST					SSV					ST					STV				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	0,0	3,7	0,0	pH	-51,3	53,6	0,0		pH	0	5,9	0,0	0,0	pH	20,4	-17,5		
Cond	0,0	0,0	0,9	0,0	Cond	0,0	13,0	-12,7		Cond	0,0	4,2	-4,4	0	Cond	-7,6	10,6		
Temp	0	0,0	2,3	-1,6	Temp	-6,8	4,8	0,0		Temp	0,0	0,0	-1,3	1,1	Temp	9,7	-7,9		

TABLA 3.11. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos de la RCHB Makro)

CF				DBOs				DBOt				DQOs							
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	30,7	-50,1	0	pH	9,3	0,0	0,0	0	pH	-11,7	-5,4	0,0	0	pH	-1,5	0,2		
Cond	0,0	0,0	-5,2	4,7	Cond	0,9	-1,7	0	0	Cond	0,0	-1,8	2,4	0	Cond	-0,6	0,8		
Temp	7,4	0,0	0	0	Temp	0	0,0	-2,0	4,4	Temp	12,4	-9,4	0,0	0	Temp	1,2	-0,4		
DQOt				FS				FT				NH <sub>4</sub>							
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0	0	-13,9	2,6	pH	3,0	-2,5	0,0	0,0	pH	4,2	0,0	0,0	0	pH	0	0,0	110,6	-91,2
Cond	0,0	0,0	-1,6	1,7	Cond	-0,9	1,3	0,0	0	Cond	-0,9	1,1	0,0	0	Cond	0,0	6,9	-7,2	0,0
Temp	5,2	-2,6	0,0	0,0	Temp	0	0,0	4,2	-3,0	Temp	0,0	-1,7	2,4	0	Temp	0	-37,6	40,3	0,0
NO <sub>2</sub>				NO <sub>3</sub>				NTK				OD							
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	-130,6	83,1	0,0		pH	16,4	-51,3	0,0	0,0	pH	1,3	0,0	0,0	0	pH	0	0,0	-820,2	696,6
Cond	0,0	7,0	-0,6		Cond	0,0	0,0	-4,2	6,3	Cond	-0,9	1,4	0,0	0	Cond	0	-43,7	56,1	0,0
Temp	39,4	-49,2	0,0		Temp	0,0	0,0	22,7	-22,6	Temp	0	0	0,2	0	Temp	0,0	281,1	-308,1	0,0
SST				SSV				ST				STV							
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	0,0	-6,6		pH	3,4	0			pH	-3,2	-6,2	0,0	0	pH	0	-11,8	0,0	
Cond	0,0	-2,6	2,0		Cond	-2,1	1,3			Cond	0,0	-1,6	1,8	0	Cond	0,0	-2,5	2,5	
Temp	3,1	-2,6	0,0		Temp	0	-0,5			Temp	6,8	-5,0	0,0	0	Temp	8,1	-5,3	0,0	

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el procesamiento de los datos de campo, el análisis de muestras de agua en laboratorio y la estimación de los modelos que mejor se ajustaban a los datos observados de las respectivas series de tiempo de los puntos monitoreados en el río Torca (figs. 3.12 a 3.17). De dieciséis parámetros para los cuales se logró ajustar

dinámicas temporales de veinticuatro horas en dos de los puntos de monitoreo de la RCHB sobre el río Torca, se presentan los resultados para el oxígeno disuelto, DBO, DQO, NTK, el fósforo total, los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales. Las tablas 3.10 y 3.11 presentan los valores obtenidos de los modelos para cada punto monitoreado y los respectivos parámetros analizados.

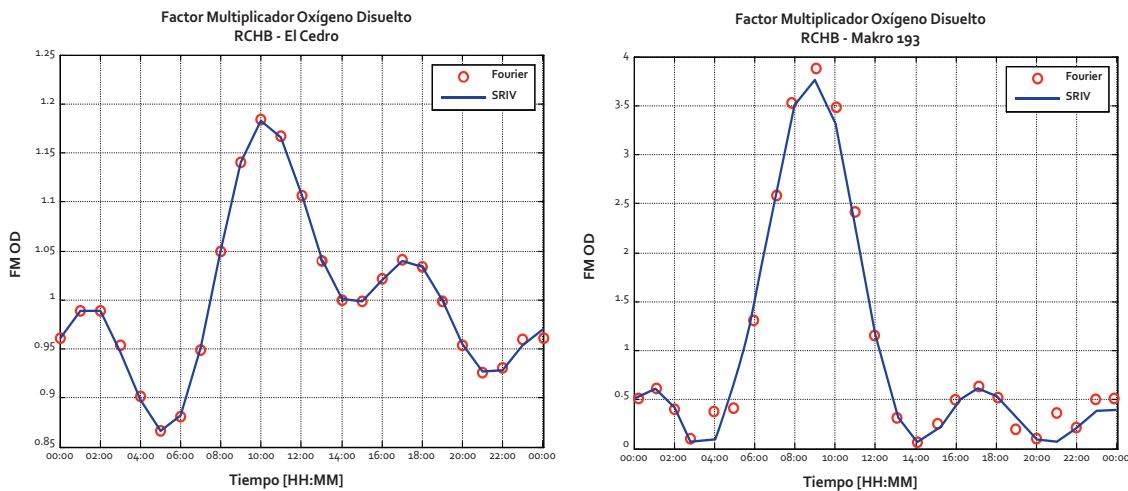


FIG. 3.12. Variación horaria del factor multiplicador de oxígeno disuelto (río Torca)

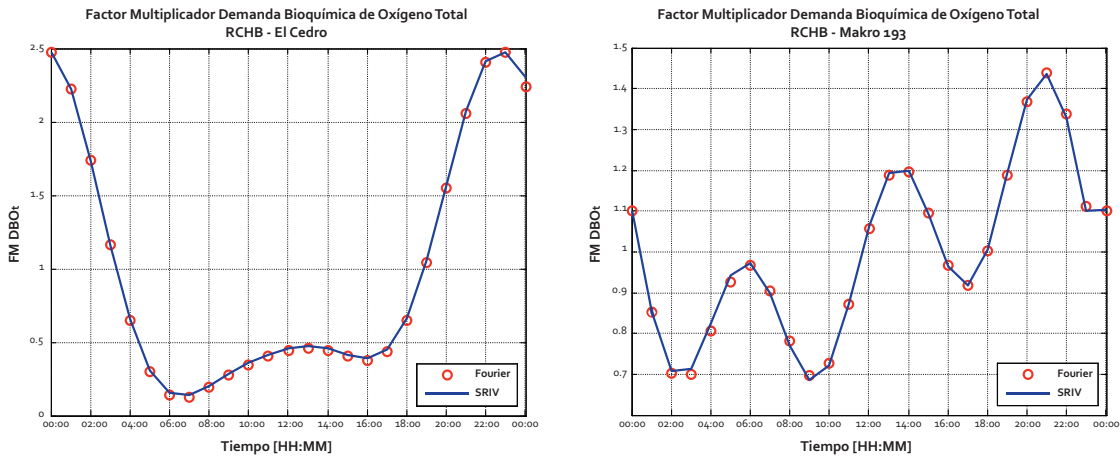


FIG. 3.13. Variación horaria del factor multiplicador de DBO (río Torca)

El factor multiplicador utilizado para presentar la información en estas gráficas corresponde a la relación que existe entre el valor del parámetro medido en una hora determinada y el valor promedio de dicho parámetro durante el día. Según esta información, si las dinámicas fuesen altamente representativas, a partir de

cualquier dato de calidad de agua, monitoreado a cualquier hora de día, es posible estimar el resto de valores en las otras horas del día y las cargas diarias de contaminantes que transporta en río, o cuál hora del día es la más adecuada para encontrar los valores medios o extremos en cada uno de los parámetros.

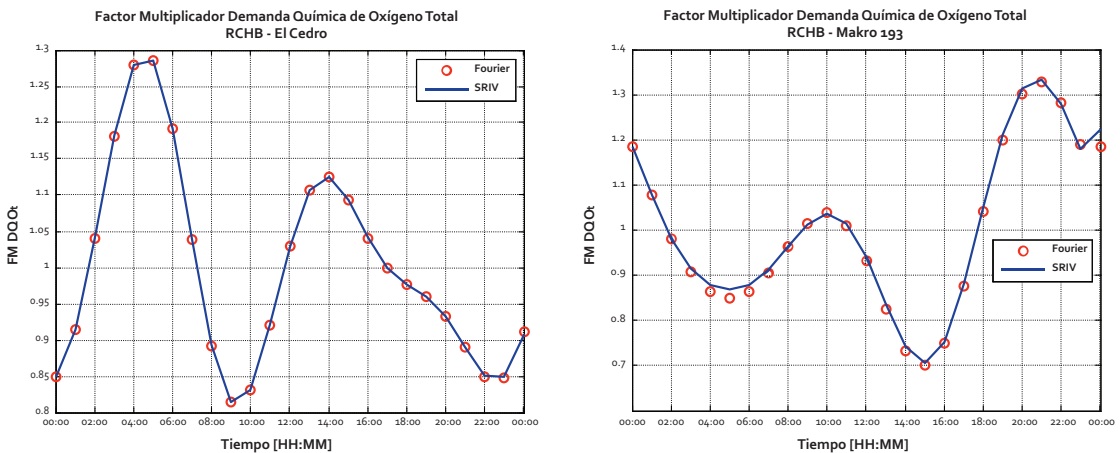


FIG. 3.14. Variación horaria del factor multiplicador de DQO (río Torca)

En el caso del oxígeno disuelto y la materia orgánica (DBO y DQO) se observó cómo los altos valores del primero en el río Torca se dan cuando las cargas de materia orgánica recibidas y transportadas por éste son más bajas.

El comportamiento de la DBO en el punto Makro 193 refleja una alta incidencia de las aguas residuales domésticas para este tramo del río, pues esta curva es muy similar en sus picos a lo que se observa saliendo como agua residual de los hogares.

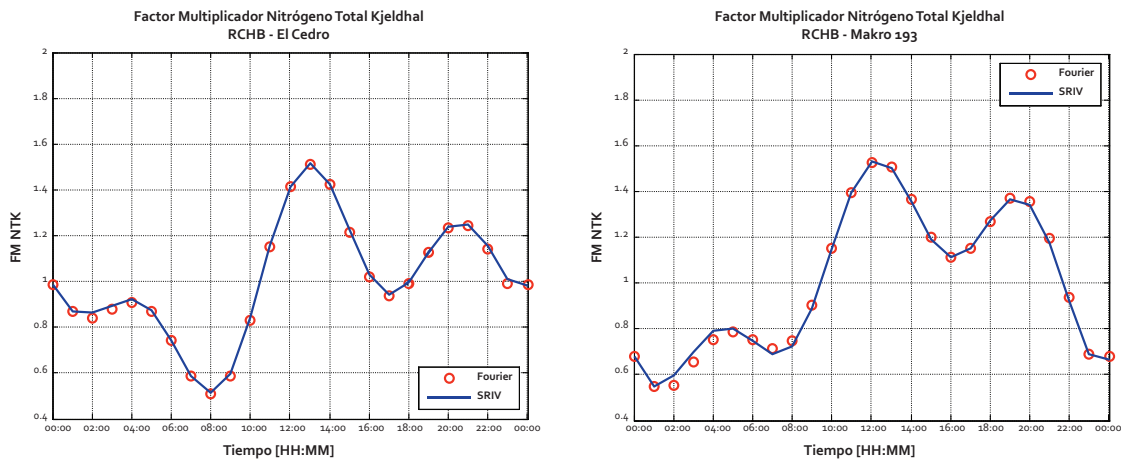


FIG. 3.15. Variación horaria del factor multiplicador de NTK (río Torca)

Para el caso de los nutrientes y los sólidos (figuras 3.15 a 3.18) la dinámica observada es la misma, aun cuando los dos puntos de monitoreo reflejan tramos diferentes en el río.

Este comportamiento, en especial en el punto Makro 193, está muy ligado al comportamiento de la materia orgánica (vertimiento de aguas residuales domésticas).

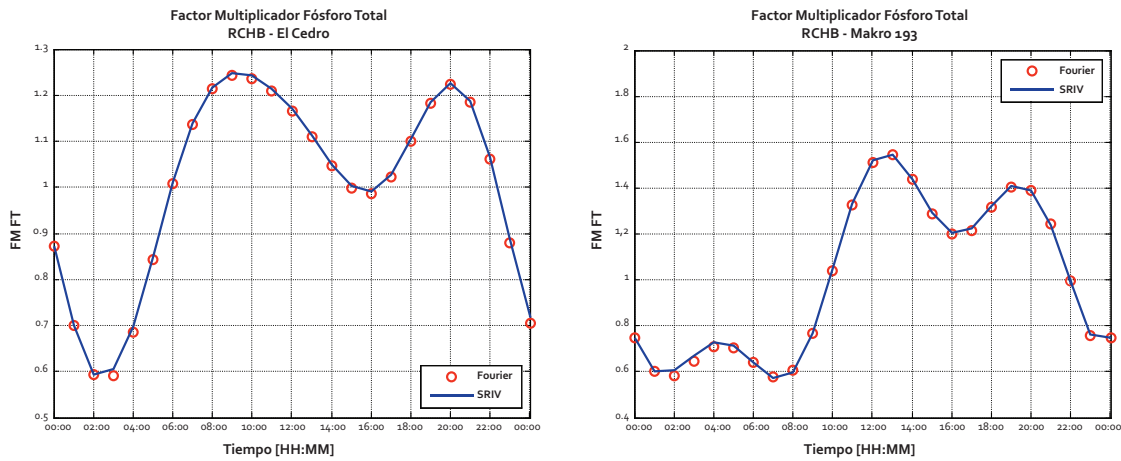


FIG. 3.16. Variación horaria del factor multiplicador de fósforo (río Torca)

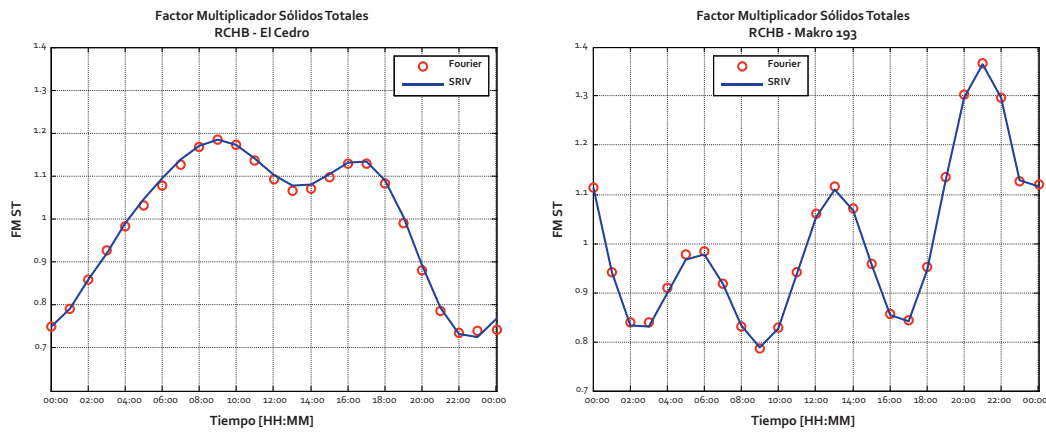


FIG. 3.17. Variación horaria del factor multiplicador de los ST (río Torca)

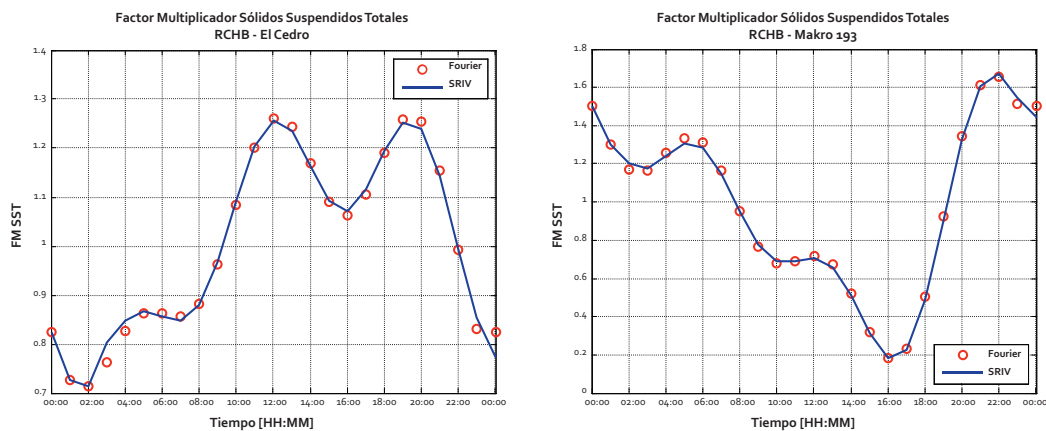


FIG. 3.18. Variación horaria del factor multiplicador de los SST (río Torca)

Es muy importante resaltar que si bien el potencial uso como herramienta predictiva que tienen estas curvas de factor multiplicador es muy alto, fueron generadas sólo a partir de una única campaña de monitoreo de veinticuatro horas en cada punto, para unas condiciones hidroclimatológicas específicas, razón por la cual es indispensable realizar más campañas de este tipo que permitan robustecer la información de la dinámica del comportamiento del agua en cada uno de los tramos de los ríos constituyentes de la RCHB.

### 3.4. Modelo de calidad del agua

#### 3.4.1. Aforos de caudal

Los caudales medidos en los 38 puntos de monitoreo (figuras 3.19 a 3.21) definidos para el río Torca en las campañas de seguimiento de masa realizadas para cada sector se presentan en la tabla 3.12. En la columna tres se resaltan en color gris los puntos correspondientes a aforos realizados propiamente en el río, los cuales se presentan en la figura 3.21. La campaña de seguimiento de masa realizada para el río Torca se realizó en tres días diferentes (21, 22 y 25 de julio 2009), por lo cual se observan discontinuidades en los perfiles de los parámetros monitoreados (fig. 3.22).



FIG. 3.19. Distribución de los puntos de monitoreo (sector 1: campaña de seguimiento de masa del río Torca)

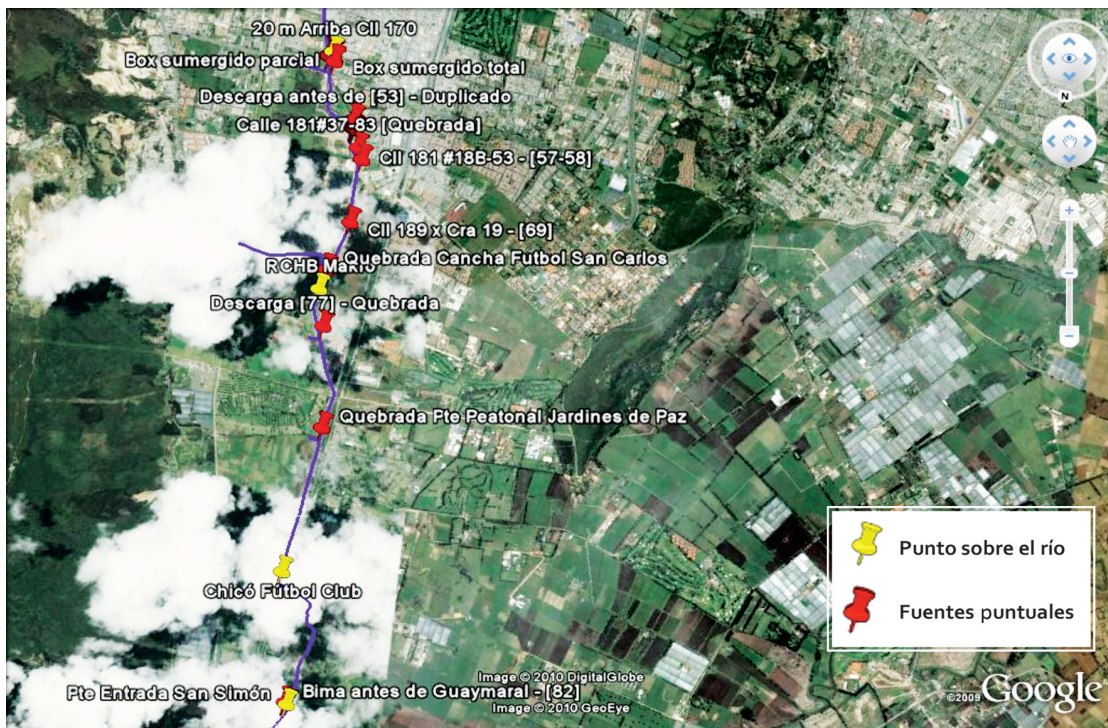


FIG. 3.20. Distribución de puntos de monitoreo (sector 2: campaña de seguimiento de masa del río Torca)



FIG. 3.21. Distribución de puntos de monitoreo (sector 3: campaña de seguimiento de masa del río Torca)

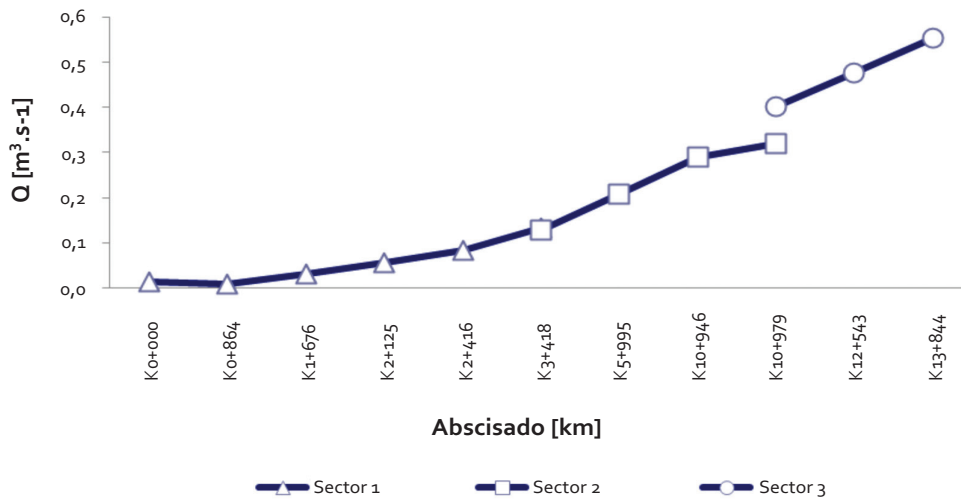


FIG. 3.22. Perfil longitudinal de caudal observado (campaña de seguimiento de masa del río Torca)

TABLA 3.12. Caudales observados en los puntos de monitoreo (campaña de seguimiento de masa del río Torca)

Sector	Estación	Tipo	Abscisado (km)	Fecha	Hora	Caudal (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
				C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
Sector 1	Carrera 7ª con calle 153- <i>arriba</i> remanso	Canal 0	-	21-jul.-08	8:15	0,014
	Carrera 7ª con calle 153-10 metros <i>abajo</i> del remanso	Río canal 1	K0+000	21- jul.-08	8:40	0,014
	2 metros <i>abajo</i> del río 1	Descarga tipo 2	K0+142	21- jul.-08	8:50	0,001
	Carrera 9ª con calle 153-10 metros <i>arriba</i> del punto 16	Río canal 2 (RCHB)	K0+864	21- jul.-08	9:13	0,009
	Carrera 9ª con calle 153	Descarga tipo 1	K0+865	21- jul.-08	9:18	0,003
	Debajo del puente carrera 9ª	Descarga tipo 1	K0+906	21- jul.-08	9:30	0,007
	10 metros <i>arriba</i> del punto 26	Canal 3	K1+676	21- jul.-08	9:50	0,031
	Antes de las marraneras de la carrera 14 bis con calle 153	Descarga tipo 1	K1+666	21- jul.-08	10:14	0,005
	Carrera 15 con calle 153	Descarga tipo 2	K1+790	21- jul.-08	10:26	0,001
	Carrera 15 con calle 153-Toros Plaza	Descarga tipo 1	K1+884	21- jul.-08	10:35	0,001
	Carrera 15 con calle 156	Descarga tipo 2	K2+119	21- jul.-08	10:50	0,006
	Carrera 15 con calle 159-20 metros <i>abajo</i> del punto (32)	Canal 4	K2+125	21- jul.-08	10:55	0,057
	Carrera 15 con calle 160	Descarga tipo 1	K2+257	21- jul.-08	11:05	0,001
	Canal calle 161	Descarga tipo 1	K2+350	21- jul.-08	11:17	0,024
	Carrera 15 con calle 161-después del puente calle 161	Descarga tipo 1	K2+363	21- jul.-08	11:25	0,003
	Carrera 15 con calle 161-10 metros <i>arriba</i> del punto 352	Canal 5	K2+416	21- jul.-08	11:30	0,084
	Carrera 15 con calle 163A-cuatro tubos 1	Descarga tipo 1	K2+660	21- jul.-08	11:55	0,001
	Carrera 15 con calle 164A	Descarga tipo 1	K2+739	21- jul.-08	12:05	0,003
	Colegio Mickey Mouse	Descarga tipo 1	K2+761	21- jul.-08	12:10	0,00046
	Carrera 15 con calle 169	Descarga tipo 1	K3+229	21- jul.-08	12:46	0,004
Sector 2	20 metros <i>arriba</i> del puente calle 170	Canal 6	K3+418	21- jul.-08	13:15	0,134
	20 metros <i>arriba</i> del puente calle 170		K3+418	22- jul.-08	8:45	0,129
	Canal calle 170	Descarga tipo 1	K3+456	22- jul.-08	9:00	0,012
	Box Culvert sumergido total debajo calle 170	Descarga tipo 1	K3+510	22- jul.-08	9:10	0,003

(Cont.)

Sector	Estación	Tipo	Abscisado (km)	Fecha	Hora	Caudal (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
				C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
Sector 3	Box Culvert sumergido parcial debajo calle 170	Descarga tipo 1	K3+525	22- jul.-08	9:20	0,003
	Duplicado del 53	Descarga tipo 1	K4+290	22- jul.-08	10:15	0,001
	Calle 175 N° 17B-80	Descarga tipo 1	K4+291	22- jul.-08	10:15	0,021
	Frente (53) – (54)	Descarga tipo 1	K4+301	22- jul.-08	10:35	0,001
	Calle 181 N° 37-83 (dirección antigua)-quebrada	Descarga tipo 1	K4+474	22- jul.-08	10:40	0,017
	Calle 181 N° 18 B-53 (57)	Descarga tipo 1	K4+727	22- jul.-08	10:40	0,032
	Calle 189 con carrera 19-(69)	Descarga tipo 1	K5+420	22- jul.-08	11:45	0,041
	Carrera 18 A con calle 190-quebrada Cancha Fútbol San Carlos	Descarga tipo 1	K5+764	22- jul.-08	11:45	0,002
	Calle 192 con carrera 19-Makro	Canal 7 (RCHB)	K5+995	22- jul.-08	11:50	0,207
	Descarga quebrada	Descarga tipo 2	K6+316	22- jul.-08	12:10	0,016
	Quebrada puente peatonal Jardines de Paz	Descarga tipo 1	K7+685	22- jul.-08	13:07	0,016
	Calle 222-Chicó Fútbol Club-antes de atravesar la autopista	Río 8	K10+946	22- jul.-08	14:40	0,289
	Descarga Bima	Descarga tipo 1	K10+958	22- jul.-08	16:40	0,030
	20 metros <i>abajo</i> del punto (82)	Canal 9	K10+979	22- jul.-08	17:20	0,318
	20 metros <i>abajo</i> del punto (82)		K10+979	25- jul.-08	7:45	0,402
	Curva Club Guaymaral	Canal 10 (RCHB]	K12+543	25- jul.-08	12:30	0,477
	20 metros <i>arriba</i> del río Bogotá	Canal 11	K13+844	25- jul.-08	12:30	0,552

En la figura 3.23 se pueden observar las fuentes puntuales más importantes desde el punto de vista del caudal vertido sobre el río, específicamente para la fecha en la que se realizó el seguimiento de masa y a la hora en la cual tuvo lugar el aforo de caudal y se tomó la respectiva muestra para su análisis. Se resaltan en particular los vertimientos de las fuentes puntuales del sector uno

de modelación: *canal calle 161-(K2+350)-(CT-26)-(CT-26)*, y del sector dos de modelación: *calle 175 N° 17B-80-(K4+291)-(CT-38)*; *calle 181 N° 37-83-(K4+474)*; *calle 181 N° 18B-53-(K4+727)-(CT-36 y 37)-(CT- 36 y 37)*; *calle 189 con carrera 19-(K5+420)-(CT-43)-(CT-43)*, *quebrada puente peatonal Jardines de Paz-(K7+685)* y *descarga Bima - (K10+958)*.

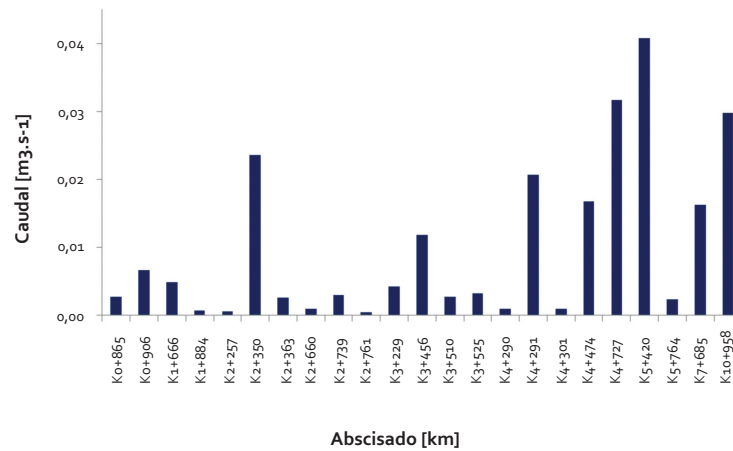


FIG. 3.23. Caudales observados para las fuentes puntuales (campana de seguimiento de masa del río Torca)

#### 3.4.2. Determinantes de calidad

Este análisis se presenta sólo para el oxígeno disuelto, la DBO y los SST, aun cuando para los otros parámetros se generó información similar. En la figura 3.24 se puede observar que el mayor valor registrado para el oxígeno disuelto (OD) se presentó en el punto más alto aguas arriba del sector 1 de modelación, y corresponde a  $5,2 \text{ mg/L}^{-1}$ , valor que decrece aguas abajo del tramo, evidenciando procesos de oxidación de la materia orgánica que llega al río a través de los vertimientos de fuentes puntuales. En ninguno de los tres sectores donde se realizaron mediciones del OD en el río Torca se registran efectos de recuperación en el nivel de las concentraciones del OD. Debe notarse que un efecto de recuperación en el río se presenta durante la noche (fin del seguimiento en el sector 1 y comienzo del seguimiento en el sector 2; fin del seguimiento en sector 2 y comienzo del seguimiento en el sector 3), momento en el que se supone que el río no recibe aportes considerables de las aguas residuales con concentraciones altas de materia orgánica que pueda demandar altas cantidades de oxígeno para su degradación.

El comportamiento de la DBO que se observa en la figura 3.25 es consistente con el agotamiento del oxígeno que se presenta, por ejemplo en el sector 1 de modelación, cuando a la altura del  $K2+125$  ya se observan concentraciones menores que  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  del OD, el cual disminuye debido a las concentraciones de la DBO de aproximadamente  $70 \text{ mg.L}^{-1}$  que se registraron el día del seguimiento de masa para este sector. La carga de la DBO aportada por las fuentes puntuales para la fecha de ejecución del seguimiento de masa y hora específica de toma de la muestra se puede observar en la figura 3.26. En el sector 1, la principal fuente puntual desde el punto de vista de la carga de la DBO es el canal calle 161-( $K2+350$ )-(CT-26), aunque el comportamiento del perfil longitudinal para este parámetro viene marcado desde el  $K1+676$ , donde la fuente puntual *descarga debajo puente carrera 9ª*-( $K0+906$ )-(CT-02) es suficiente para dejar al río en  $60 \text{ mg.L}^{-1}$  de la DBO. En el sector 2, claramente se observa que el impacto está dado principalmente por las fuentes puntuales *calle 181 N° 18B-53*-( $K4+727$ )-(CT-36 y 37) y *calle 189 con carrera 19*-( $K5+420$ )-(CT-43), cuyos aportes ascienden a  $500$  y  $200 \text{ kg.día}^{-1}$  de la  $\text{DBO}_5$  total.

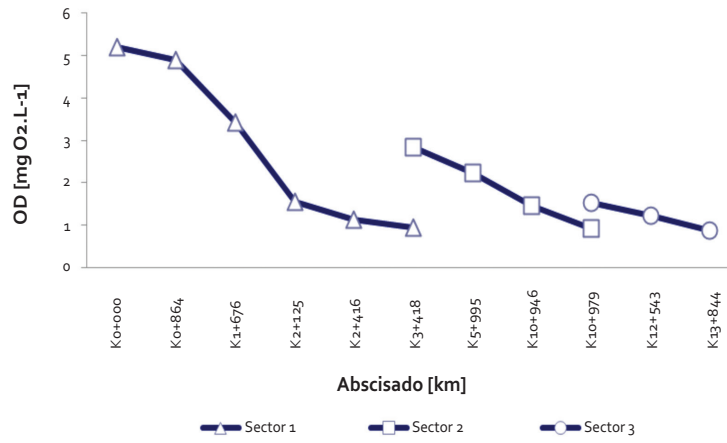


FIG. 3.24. Perfil longitudinal del OD (campana de seguimiento de masa del río Torca)

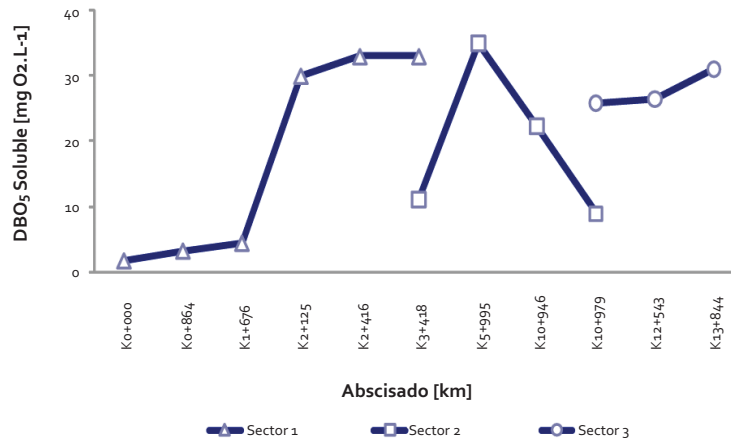


FIG. 3.25. Perfil longitudinal de la DBO (campana de seguimiento de masa del río Torca)

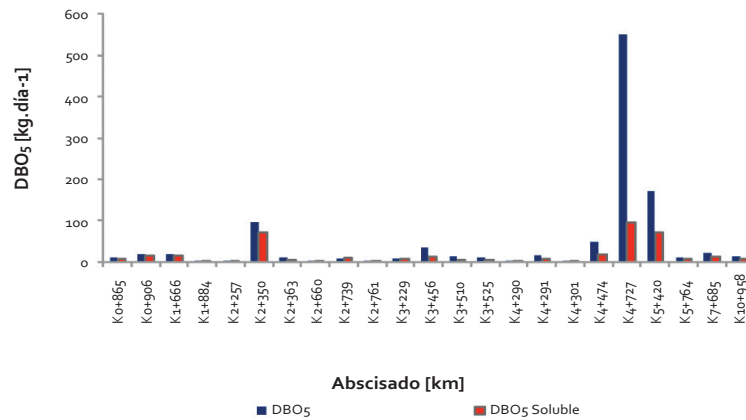


FIG. 3.26. Carga contaminante de la DBO (campana de seguimiento de masa del río Torca)

Conreferencia a los SST en el sector 1 (hasta el  $K_0+864$ ) no se experimentan aportes ni fenómenos importantes de resuspensión; es sólo a la altura del  $K_1+676$  donde el perfil de los SST que se observa en la figura 3.27 se incrementa drásticamente alcanzando valores de  $90 \text{ mg.L}^{-1}$ , debido a los aportes que vierten las fuentes puntuales asociadas a este sector. En adelante, hasta el  $K_3+418$  se advierten fenómenos de sedimentación y una disminución en la carga de los SST aportados por las fuentes puntuales. Las bajas velocidades que se experimentan al final del sector 2 y en el sector 3 son responsables del comportamiento del perfil de los SST, que en ningún momento

alcanza para ninguno de estos dos sectores valores de  $40 \text{ mg.L}^{-1}$ , puesto que se facilita la sedimentación de las partículas sólidas, lo que, a su vez, incrementa la demanda béntica que se presenta en estos sectores, y supone el agotamiento inminente del OD. Los dos picos que se presentan tanto en el sector 2 como en el sector 3, que son prácticamente del mismo orden de magnitud, son provocados por las descargas de los SST de las fuentes puntuales *quebrada de la calle 181 N° 37-83 (dirección antigua)* ( $K_4+474$ ), *calle 181 N° 18B-53* ( $K_4+727$ ) ( $CT-36$  y  $37$ ) y *calle 189 con carrera 19* ( $K_5+420$ ) ( $CT-43$ ), las cuales aportan  $325$ ,  $230$  y  $483 \text{ kg SST.día}^{-1}$  respectivamente.

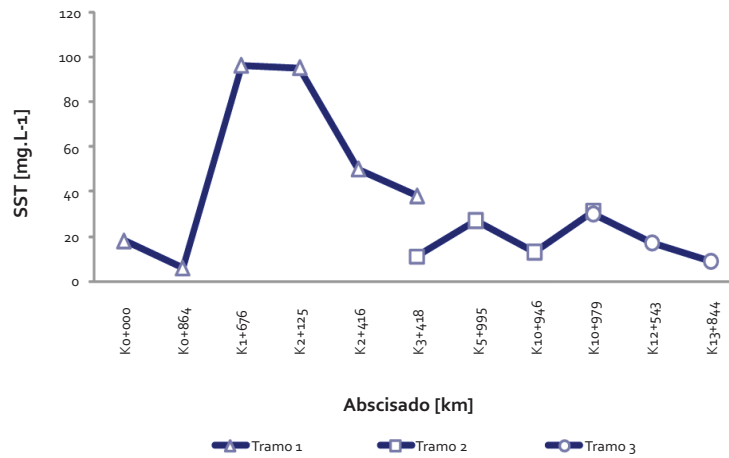


FIG. 3.27. Perfil longitudinal de los SST (campaña de seguimiento de masa del río Torca)

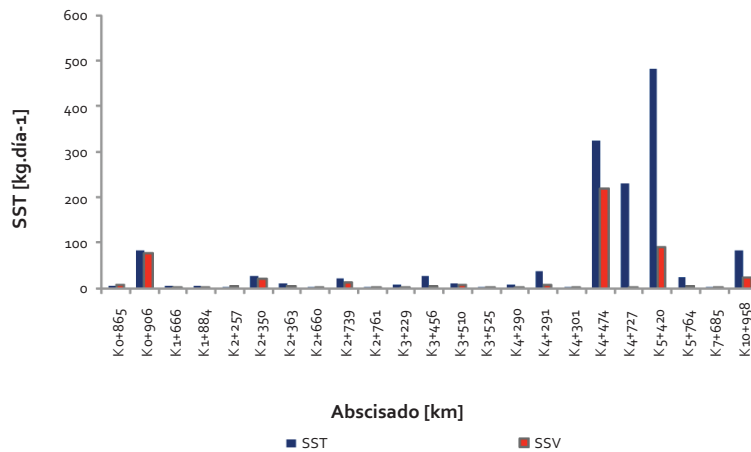


FIG. 3.28. Carga contaminante de los SST (campaña de seguimiento de masa del río Torca)

La figura 3.28, además de mostrar que las fuentes puntuales más importantes desde el punto de vista de los aportes de los SST al río Torca son la *descarga debajo puente carrera 9ª-(K0+906)-(CT-02)*, *quebrada de la calle 181 N° 37-83 (dirección antigua)-(K4+474)*, *calle 181 N° 18B-53-(K4+727)-(CT-36 y 37)* y *calle 189 con carrera 19-(K5+420)-(CT-43)*, muestra cómo los aportes de los SST de estas diferentes fuentes puntuales varían en su composición, indicando si son sólidos suspendidos predominantemente orgánicos (p. ej., el sector 1 varía entre el 20 y el 60%; el sector 2 varía entre el 10 y el 60%; y sector 3 varía entre el 60 y el 30%), caracterizando la naturaleza doméstica de los vertimientos.

#### 3.4.3. Escenarios de saneamiento

Una vez se calibró el modelo de calidad de agua para el río Torca a partir de los segui-

mientos de masa realizados se modelaron dos escenarios diferentes de saneamiento, basados en la eliminación de las descargas directas (primer escenario), y de los alivios que se encuentran descargando agua residual en tiempo seco (segundo escenario). Los resultados de las simulaciones (se presenta sólo para el OD, la DBO y la DQO) de los escenarios se presentan en la figura 3.29. Sin embargo, debido a que para el río Torca no se contaba con información preliminar con el fin de reconocer los alivios asociados al sistema de drenaje, sólo se presentan los resultados del ejercicio de modelación desde el primer escenario (tabla 3.13). Se resaltan los efectos de las descargas *carrera 9ª con calle 153-(K0+865)-(CT-06)*, *canal calle 161-(K2+350)-(CT-26)* y *calle 175 N° 17B-80 (K4+291)]-(CT-38)*.

TABLA 3.13. Fuentes puntuales eliminadas para la generación de escenarios de saneamiento (río Torca)

Sector	Estación	Tipo	Abcisado (km)
Sector 1	Carrera 9ª con calle 153 (16)	Descarga directa	K0+865
	Debajo del puente carrera 9ª-(17)	Descarga directa	K0+906
	Antes de las marraneras de la carrera 14 Bis con calle 153-(26)	Descarga directa	K1+666
	Carrera 15 con calle 153-Toros Plaza-(29)	Descarga directa	K1+884
	Carrera 15 con calle 160-(34)	Descarga directa	K2+257
	Carrera 15 con calle 161, después del puente de la calle 161-(35)	Descarga directa	K2+363
	Carrera 15 con calle 163 A-cuatro tubos 1 (37)	Descarga directa	K2+660
	Carrera 15 con calle 164 A-(39)	Descarga directa	K2+739
	Colegio Mickey Mouse (40)	Descarga directa	K2+761
	Carrera 15 con calle 169-(46)	Descarga directa	K3+229
	Box Culvert sumergido total debajo de la calle 170-(51)	Descarga directa	K3+510
	Box Culvert sumergido parcial debajo de la calle 170-[51 – a]	Descarga directa	K3+525

(Cont.)

Sector	Estación	Tipo	Abcisado (km)
Sector 1	Duplicado del 53	Descarga directa	K4+290
	Calle 175 N° 17B-80-(53)	Descarga directa	K4+291
	Frente (53)-(54)	Descarga directa	K4+301
	Calle 181 N° 18 B-53 (57)-(58)	Descarga directa	K4+727
	Calle 189 con carrera 19-(69)	Descarga directa	K5+420
	Descarga Bima-(82)	Descarga directa	K10+958

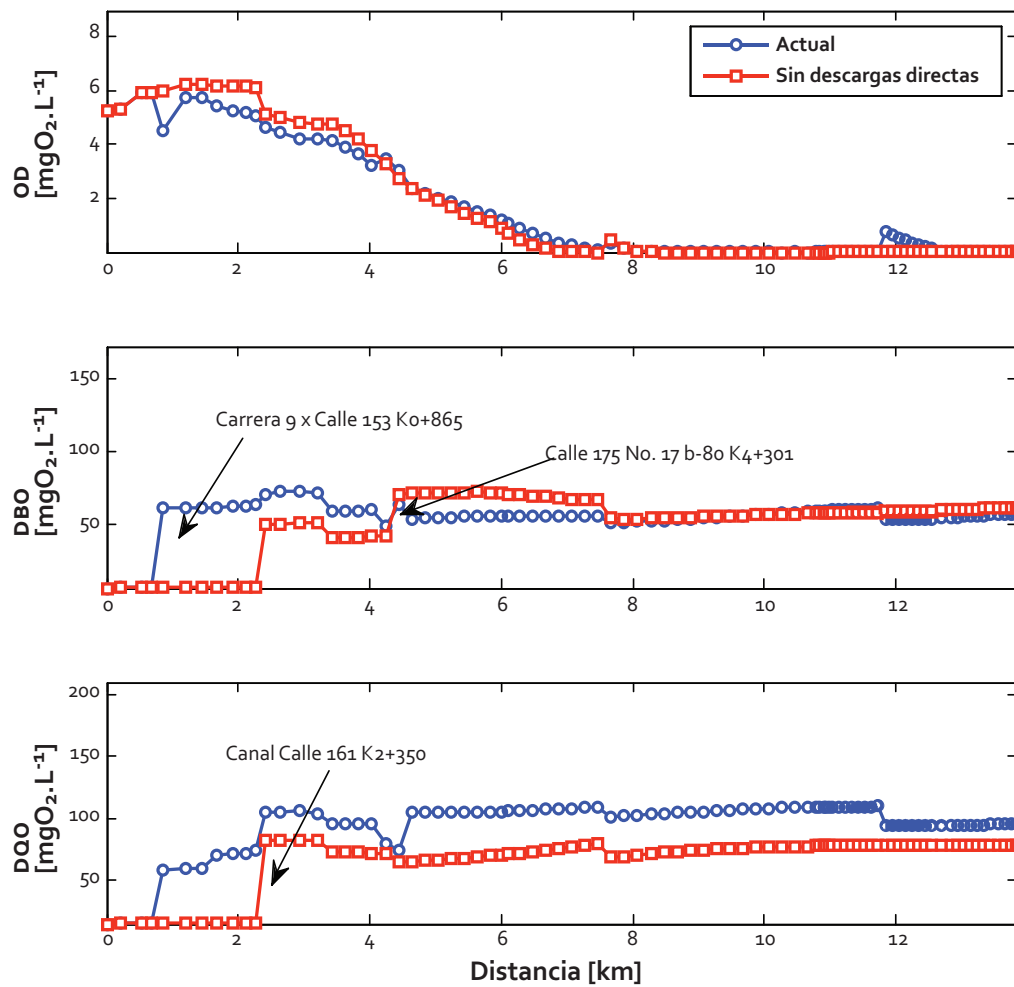


Fig. 3.29. Comparación escenarios de saneamiento (río Torca)

### 3.5. Resultados de los monitoreos específicos

#### 3.5.1. Sedimentos

Se tomaron muestras en cinco puntos a lo largo del río Torca. Para los cuatro primeros sitios muestreados sólo se midió el contenido

de los metales y la demanda béntica, ya que esto fue una actividad preliminar que se realizó coincidiendo con la Campaña de Seguimiento de Masa del río Torca (julio de 2008). Los resultados de la caracterización de los sedimentos del río Torca se presentan en la tabla 3.14.

TABLA 3.14. Características de los sedimentos (río Torca)

Parámetro	Unidades	Puntos de monitoreo del río Torca				
		Carrera 15 con calle 159	20 metros aguas arriba del puente calle 170	Makro 193	Cementerio Jardines de Paz	Curva Club Guaymaral
pH	Unidades de pH	-	-	-	-	7,03
ORP	mV	-	-	-	-	-178,10
Humedad	%	-	-	-	-	56,70
Sólidos totales	%	-	-	-	-	42,40
Fósforo total	% P-BS	-	-	-	-	0,08
Nitrógeno total	% N-BS	-	-	-	-	0,42
Demanda béntica endógena	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -día	-	-	-	-	3,91
Demanda béntica exógena	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -día	2,09	1,13	1,12	1,22	3,79
Arsénico	mg As. kg <sup>-1</sup>	3,70	1,06	1,01	1,16	1,79
Cadmio	mg Cd. kg <sup>-1</sup>	14,6	2,50	1,25	4,76	2,29
Cinc	mg Zn. kg <sup>-1</sup>	221	71,9	122	207	76,8
Cromo total	mg Cr. kg <sup>-1</sup>	77,2	14,7	6,10	22,1	13,6
Mercurio	mg Hg. kg <sup>-1</sup>	75,1	21,0	21,0	24,0	40,5
Plomo	mg Pb. kg <sup>-1</sup>	29,1	40,2	15,4	61,6	33,1

En la figura 3.30 se presentan los contenidos de los metales para los puntos monitoreados en el río Torca. Como se ve, tienen lugar mayores concentraciones de cinc a lo largo de este cuerpo de agua, especialmente en los puntos *carrera 15 con calle 159 (K2+125)* y *cementerio Jardines de Paz (K7+685)*. Para todos los metales se observa una mayor concentración

en el punto *carrera 15 con calle 159 (K2+125)*, lo cual puede deberse a descargas de aguas residuales provenientes de actividades particulares (servicios, industriales, institucionales, etcétera) en ese sector con presencia de metales, que por el paso del tiempo pueden irse depositando en el sedimento hasta alcanzar los valores aquí reportados.

Al comparar estos contenidos de metales con las referencias para sedimentos de la EPA, Canadá y Francia, se puede afirmar que los valores reportados para el río Torca no presentan efectos probables, severos o tóxicos para el arsénico, cinc, cromo y plomo, ya que las concentraciones se encuentran por debajo del límite de peligrosidad. Sin embargo, para el punto *carrera 15 con calle 159 (K2+125)*, el contenido del cadmio está por encima de todos los estándares sugeridos por las referencias estudiadas; para el arsénico, a pesar de cumplir

con las normas de la EPA y de Canadá, no cumple con los estándares sugeridos en la normativa francesa teniendo en cuenta que ésta es mucho más restrictiva. En el caso del mercurio, los valores reportados para el río Torca son considerablemente superiores a los estándares, alcanzando concentraciones de hasta 40 veces el valor que causa efectos severos ( $2 \text{ mg Hg.kg}^{-1}$ ). Es muy importante realizar más monitoreos sobre estos sedimentos con el fin de corroborar esta información y poder dar solución a esta potencial situación.

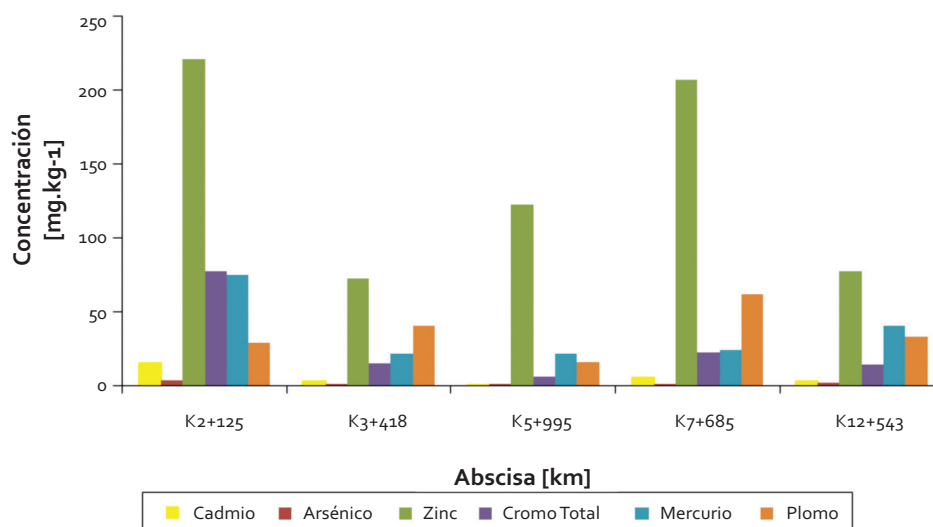


FIG. 3.30. Contenido de metales sedimentos (río Torca)

En cuanto al contenido de los nutrientes sólo se reportan valores para el punto *curva club Guaymaral (K12+543)*, donde se puede evidenciar un mayor contenido de nitrógeno (0,42%) que de fósforo, lo que indicaría un proceso de acumulación en este tramo del canal causado por la descargas de agua residual que ha recibido el río Torca hasta este punto.

La demanda béntica de los sedimentos en el río Torca (fig. 3.31) es mayor en el punto más cercano a la desembocadura del río Bogotá, *curva Club Guaymaral (K12+543)*. Esto puede estar asociado a las muy bajas velocidades que tiene el agua allí, lo que genera mayor depósito de sólidos orgánicos, los cuales están directamente ligados al consumo de oxígeno por parte de los bentos.

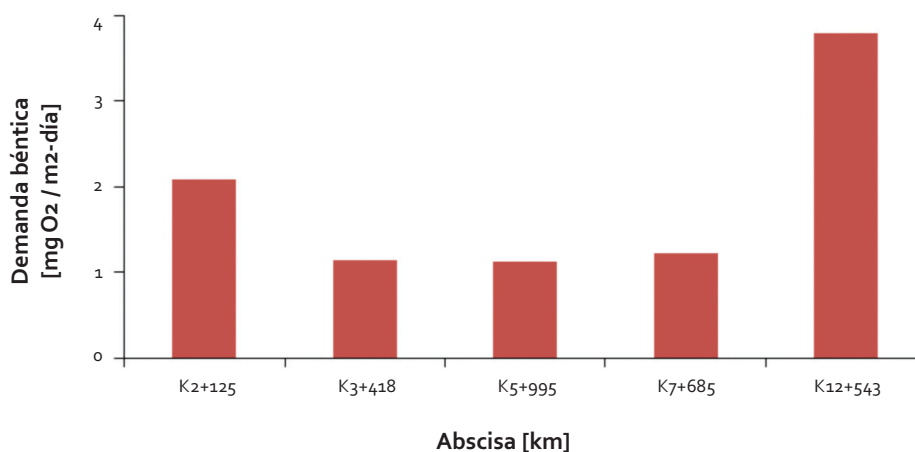


FIG. 3.31. Demanda béntica exógena (río Torca)

### 3.5.2. Monitoreo de patógenos

Se tomaron muestras en tres puntos a lo largo del río (tabla 3.15). En general, se puede observar que los patógenos que predominan son los coliformes totales y fecales, lo que concuerda con el origen doméstico mayori-

tario de los vertimientos recibidos por el río; en una menor proporción se encuentran *E. coli* y fagos somáticos. No se detectó presencia de *Salmonella* spp. y existe presencia de una mínima concentración de huevos de helminto.

TABLA 3.15. Patógenos (río Torca)

Parámetro	Unidad	Puntos de monitoreo		
		Canal El Cedro 12:35	Makro 193 10:30	Club Guaymaral 11:00
Coliformes totales	UFC.100mL <sup>-1</sup>	1,00E+05	Incontables	Incontables
Coliformes fecales	NMP.100mL <sup>-1</sup>	2,40E+04	7,00E+06	2,20E+06
<i>E. coli</i>	UFC.100mL <sup>-1</sup>	1,0E+05	9,6E+05	3,5E+05
<i>Salmonella</i> spp	UFC.100mL <sup>-1</sup>	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Fagos somáticos	PFP.100mL <sup>-1</sup>	4,0E+03	1,2E+05	5,0E+04
Huevos de helminto	HH.L <sup>-1</sup>	<0,05*	<0,05*	0,05

Se puede notar una mayor concentración de patógenos en el punto *Makro 193* (K5+995) causado por las numerosas descargas de las aguas residuales domésticas aguas arriba. Para el último punto, antes de su desembocadura al río Bogotá, *curva Club Guaymaral* (K12+543)], se reportan menores concentra-

ciones que en el punto aguas arriba. Esto puede dar un indicio de que el río en este punto puede estar desarrollando procesos de sedimentación causados porque el tiempo de retención del agua es menor, y por lo tanto las bajas velocidades permiten que haya sedimentación de partículas.

Al comparar estas concentraciones con la referencia de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), se puede observar que, para coliformes totales y fecales, la calidad de agua en el río Torca, en la actualidad, se podría destinar a generación de energía (clase v), ya que la calidad del agua respecto al contenido de patógenos es muy mala para considerar otro tipo de uso. En el caso de *E. coli*, las concentraciones reportadas para el río Torca permitirían destinar el agua a clase IV y clase V (tratamiento intensivo para que el agua sea apta para consumo humano y destinar el agua a generación de energía). Las concentraciones reportadas para fagos somáticos y huevos de helminto sólo cumplen con los criterios de uso para la clase V. Respecto a *Salmonella* spp. la OECD no sugiere estándares para ningún uso del agua; sin embargo, los valores medidos para el río Torca reportan ausencia para los tres puntos muestreados. En cuanto a las normas nacionales, en el Decreto 1594 de 1984 sólo se encuentran concentraciones sugeridas para coliformes totales y fecales. De acuerdo con los diferentes usos del agua que se exponen en éste, la calidad del río Torca no se podría destinar a ningún uso.

### 3.5.3. Monitoreo de las sustancias especiales

#### 3.5.3.1. Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)

Las concentraciones de benceno en todos los sitios de monitoreo seleccionados sobre los diferentes ríos fueron inferiores al límite de detección, lo cual quizá se deba a su poca presencia y solubilidad en el agua y al hecho de que se evapora rápidamente. De igual manera, se encuentra por debajo de todos los límites máximos permisibles, los cuales

varían en un rango de 0,01-1,5  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Para el tolueno, se registraron concentraciones por encima del límite de detección. A pesar de ser una sustancia poco soluble en agua, se encuentra en concentraciones que superan el límite máximo permisible para agua potable, pero se mantiene por debajo del valor máximo permisible para descargas a cuerpos de agua fluviales. Su mayor concentración en el agua quizá se deba a que la proporción de esta sustancia es mayor que la del benceno en la gasolina y se encuentra también en detergentes, colorantes, perfumes, etcétera. Las concentraciones más altas de esta sustancia se registraron en el punto *Makro calle 193 (K6+005)*. Las concentraciones no se relacionan con una descarga puntual importante, sino con varias descargas que se presentan a lo largo de los diferentes tramos. La solubilidad de esta sustancia es suficiente para provocar problemas de contaminación en el agua. Con relación a las concentraciones de etilbenceno, todas se encontraron por debajo del límite máximo establecido para el agua potable. Finalmente, los xilenos presentaron concentraciones bajas posiblemente debido a su rápida evaporación y a que es susceptible de ser degradado por microorganismos en el agua. Ninguna de las concentraciones registradas supera los límites máximos permisibles para agua potable o para descargas a cuerpos de agua fluviales.

#### 3.5.3.2. Pesticidas

Para los pesticidas organoclorados (POC), se pudo observar que todas las muestras registraron concentraciones menores que el nivel mínimo de detección para todos los parámetros determinados. En su totalidad no cumplen con el nivel máximo permisible de la norma colombiana para agua potable, pero

las concentraciones se encuentran por debajo de los límites establecidos para las descargas tanto para alcantarillados como para agua dulce y agua marina. De igual manera, cumple con los límites determinados para agua que puede ser destinada a uso agrícola, pecuario o para fines recreativos.

Los resultados obtenidos para los pesticidas organofosforados registraron concentraciones menores que el nivel mínimo de detección para todos los parámetros determinados. En su totalidad, no cumplen con el nivel máximo permisible de la norma colombiana para agua potable, pero las concentraciones se encuentran por debajo de los límites establecidos para las descargas tanto para alcantarillados como para agua dulce y agua marina. De igual manera cumplen con los límites determinados para agua que puede ser destinada para uso agrícola, pecuario o para fines recreativos.

### 3.5.3.3. Bifenilos policlorados (PCB) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)

Los análisis de laboratorio arrojaron como resultado concentraciones menores que el nivel mínimo de detección para todos los parámetros. Por otro lado, los niveles mínimos de detección son superiores a los límites máximos permisibles determinados para el agua para consumo humano y el agua destinada a la preservación de la flora y la fauna. En el caso de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) a lo largo de los tres puntos monitoreados, sólo se

registraron concentraciones superiores al nivel mínimo de detección para pireno y fenantreno. El primero de éstos presenta una concentración máxima de  $1858 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  y corresponde al punto *carrera 9ª calle 153 (K0+874)*. Para el fenantreno la mayor concentración se presenta en el mismo punto con un valor de  $2622 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Por otro lado, los límites máximos permisibles encontrados son bastante estrictos, ya que son para agua destinada al consumo humano (agua potable) y para la preservación de la flora y la fauna e, incluso, son menores que los límites de detección utilizados, por lo que no se puede garantizar su cumplimiento aun para aquellos parámetros que no registraron concentraciones por encima del nivel mínimo de detección. En el caso de los vertimientos a sistemas de alcantarillado, no se encontró ningún límite establecido para realizar la comparación pertinente.

### 3.5.4. Monitoreo limnológico

#### 3.5.4.1. Categorización de los puntos de monitoreo según la calidad del hábitat

La entrada del cuerpo de agua al perímetro urbano del río Torca presenta un avanzado estado de transformación física que lo hace pobre para el desarrollo de la vida acuática, no sólo por estar canalizado, sino por la carga de materia orgánica, fecal, basuras, escombros y todo tipo de desechos que están presentes en estos canales (tabla 3.16).

TABLA 3.16. Estado de los puntos monitoreados (valoración multihábitat para las comunidades del bentos, río Torca)

Afluente	Punto	Categorización	
		Calificación	Categoría
Río Torca	Quebrada Santa Cecilia	60	Marginal

#### 3.5.4.2. Categorización de los puntos de monitoreo según los macroinvertebrados del bentos

Durante los dos muestreos se colectaron 1040 individuos que se determinaron en 49 taxones inferiores (la mayoría a nivel de género) que pertenecen a 5 *phylum*, 10 clases y 35 familias. A diferencia de las condiciones características de los ambientes de montaña de Suramérica (Domínguez y Fernández, 2009) la fauna de insectos de los órdenes *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera* es pobre en especies e individuo. Esto puede indicar la pérdida de integridad ecológica de los afluentes, en especial porque los taxones colectados son en su mayoría especies de alta tolerancia ecológica, resistentes a la contaminación. Un hecho significativo a escala regional es que del total de taxones colectados e identificados, cada río aporta de manera independiente cerca del 20% de la fauna, mientras que los taxones comunes resultan ser menos del 30%.

Para este río, sólo se obtuvieron organismos en el punto ubicado en la entrada al perímetro urbano. Éste tiene muy bajo valor de riqueza en ambos muestreos y, en general, los organismos colectados corresponden siempre a aquellos taxones considerados como altamente tolerantes a la contaminación o deterioro ecológico. La degradación del hábitat es uno de los principales problemas que enfrentan los ríos urbanos, y esta con-

dición afecta directamente la diversidad biológica de los sistemas, tal como se ha establecido para ríos altamente degradados (Covich, 2006).

#### 3.5.4.3. Perifiton

Esta comunidad resulta relativamente pobre en número de taxones e individuos, especialmente en los muestreos del mes de diciembre de 2008, cuando se efectuó el muestreo por raspado del sustrato existente en cada punto de la parte alta del río. Las diatomeas son en muchos casos el componente dominante del perifiton y su contribución a la producción primaria de los ecosistemas acuáticos ha sido frecuentemente subestimada (Sullivan, 1999). Las diatomeas poseen, además, el valor añadido de ser excelentes indicadores ambientales, puesto que se hallan en casi la totalidad de los sistemas acuáticos y responden sensiblemente y con rapidez a los cambios ambientales (Margalef, 1955; Patrick, 1973; Coste, 1976; Lange-Bertalot, 1979; Kobayasi y Mayama, 1982; Sabater et ál., 1988). Este hecho se hace evidente en estos afluentes por el claro cambio en el número de taxones e individuos que colonizaron los sustratos artificiales usados para el mes de febrero a lo largo de cada uno de los afluentes.



## 4. EL RÍO SALITRE

**E**l río Salitre nace en los cerros orientales con el nombre de quebrada Arzobispo en el Parque Nacional, a partir de la carrera 7ª es canalizado hasta la transversal 91, luego sigue en tierra hasta desembocar en el río Bogotá. Su longitud aproximada es de 21,56 km y la cuenca de drenaje es de 13.964 hectáreas (fig. 4.1).

### 4.1. Resultados del monitoreo fisicoquímico

#### 4.1.1. Bandas históricas

En este ítem se presentan los resultados de los monitoreos fisicoquímicos realizados sobre el río Salitre dentro del Convenio 069

de 2007 para metales (bario, cadmio, cinc, cobre, cromo, manganeso, plomo y níquel) algunas sustancias tóxicas (arsénico, cianuros, fenoles, sulfuros), grasas y aceites y las sustancias activas al azul de metileno (SAAM). Este tipo de análisis se generó para estas sustancias con objeto de comparar resultados históricos de monitoreo en el río Salitre con los resultados de seguimiento realizados durante los años 2008 y 2009. Para cada punto específico de monitoreo se presentan los resultados históricos medidos (mínimo, mediana y máximo) y los resultados obtenidos en las dos campañas de monitoreo de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB).



FIG. 4.1. Río Salitre

En general, las concentraciones registradas para el río Salitre durante las campañas de monitoreo fisicoquímico se encuentran dentro de los límites definidos a partir de los datos históricos, con excepción de: 1) el cianuro, para el cual las concentraciones obtenidas en los monitoreos se encontraron por encima de los valores máximos históricos, y 2) el arsénico, cuyos resultados fueron inferiores a los valores mínimos registrados históricamente.

Por otro lado, las tendencias de las diferentes campañas presentan similitudes con la mediana de los registros históricos, presentando comportamientos similares, de manera que los valores máximos y mínimos, así como las zonas donde se incrementa y disminuye la concentración, coinciden para casi la totalidad de los parámetros. Sin embargo, se pudieron apreciar algunos aspectos puntuales que se destacan a continuación:

- Se apreció un incremento en las concentraciones de nutrientes y contaminantes, causantes de la reducción del oxígeno disuelto hacia aguas abajo, evidenciando el efecto de las diferentes descargas ubicadas a lo largo de la cuenca del río Salitre. De igual manera, se observa un mayor incremento de sustancias y parámetros asociados a la entrada de materia orgánica, lo cual es coherente con lo observado en campo, ya que no se presentan o no se han identificado descargas industriales directas; la totalidad de las descargas observadas en su mayoría son de tipo residual doméstico, asociadas al sistema de alcantarillado de la ciudad.
- Las concentraciones de cadmio para la campaña 2 arrojaron valores por debajo del límite de detección, mientras que

para la campaña 1 sí se registraron valores a partir del sitio de monitoreo Carrefour avenida 68. Este incremento en la concentración de cadmio podría estar relacionado a descargas mixtas (predominantemente domésticas, pero con aporte de industriales). Los valores registrados para la campaña 1 se encuentran dentro de los límites máximos y mínimos históricos, y el valor más alto registrado no sobrepasa el valor más alto de la mediana de los registros históricos.

- Se observó un pico importante en la concentración de cobre en el sitio de monitoreo Carrefour avenida 68.
- En el caso del níquel se observó un incremento importante hacia el final del río, el cual no superó los valores máximos históricos registrados.
- Para las SAAM se presentaron concentraciones elevadas en el sitio de monitoreo Carrefour avenida 68.
- Para la alcalinidad, la DBO soluble, la DQO soluble, la dureza y el *E. coli* no se contaban con registros históricos. Sin embargo, estos parámetros presentaron tendencias similares en las dos campañas de monitoreo fisicoquímico, a excepción de la DQO soluble, en la cual se observó una notable variación en los registros para las dos campañas, debido a posibles descargas mixtas.

#### 4.1.2. Diagrama de cajas

En este tipo de diagramas se presenta la información asociada a parámetros básicos (pH, conductividad y oxígeno disuelto), materia orgánica (la DBO y la DQO), nutrientes (la NTK y el fósforo total) y sólidos suspen-

didados totales, medidos exclusivamente en las campañas de monitoreo fisicoquímico de la RCHB para el río Salitre. Este tipo de análisis se realizó para cada uno de los tramos (según la Resolución 5731 de 2008, SDA):

- Tramo 1: desde la entrada al perímetro urbano y la carrera 7ª, el cual comprende los sitios de monitoreo *Parque Nacional y carrera 7ª*.
- Tramo 2: comprendido entre las carreras 7ª y 30, en este se encuentra los sitios de monitoreo *carrera 7ª y carrera 30 con calle 53*.
- Tramo 3: desde la carrera 30 hasta la avenida 68, y están los puntos de monitoreo *carrera 30 con calle 53 y Carrefour avenida 68*.

- Tramo 4: desde la avenida 68 hasta la desembocadura, y comprende los sitios de monitoreo *Carrefour avenida 68, transversal 91, PTAR Salitre y Salitre Alameda*.

#### 4.1.2.1. El pH

Al generar el diagrama tipo box para el pH por tramos (fig. 4.2) se observa que la variabilidad se reduce. Los datos de los tramos 1, 2 y 3 presentan una simetría negativa, mientras que el tramo 4, una simetría positiva, pero no con una muy marcada diferencia. De igual manera, se observa un incremento en los valores medios presentando valores máximos a lo largo del tramo 1 y el tramo 2 del río Salitre que varían entre 7,5 y 8,0 unidades. En el tramo final, el valor medio desciende para llegar a una concentración cercana a 7,4.

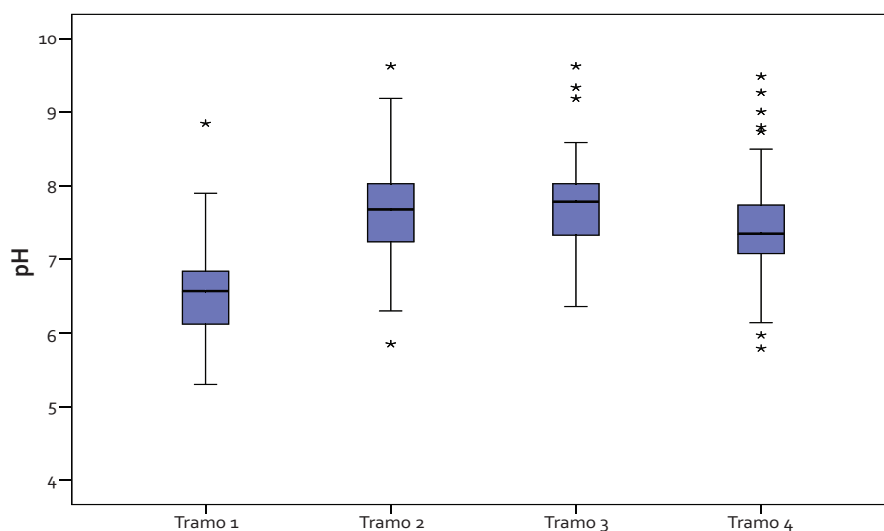


FIG. 4.2. pH (río Salitre)

#### 4.1.1.1. Conductividad

Para la conductividad, se observa una dispersión importante en los tres últimos tramos del río debido a que este parámetro es más sensible a las variaciones de las características del agua. Se puede apreciar un aumento gradual en los valores medios de la conductividad en el agua del río como resultado de la descarga

de aguas residuales a su cauce, a partir del tramo 2 (fig. 4.3); la conductividad se incrementa aguas abajo desde valores cercanos a los 20  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  registrados en el tramo 1, hasta un valor medio cercano a los 500  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para el tramo 4. En el tramo 2 se observa una simetría positiva; en el tramo 3 una simetría negativa; y, finalmente, en el tramo 4 los datos son simétricos.

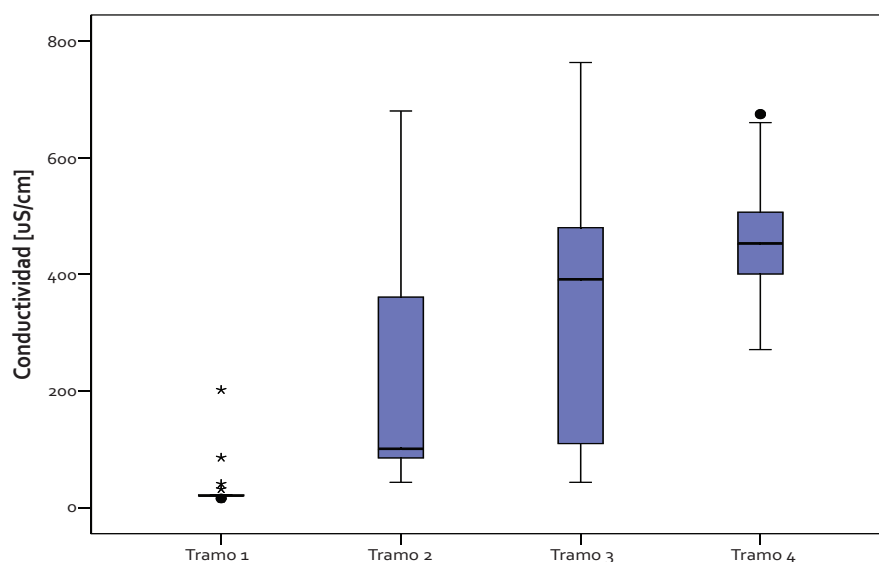


FIG. 4.3. Conductividad (río Salitre)

#### 4.1.1.2. Oxígeno disuelto

Como era de esperarse, al contrario del resto de los parámetros, en la figura 4.4 se aprecia un decaimiento continuo a lo largo del río, pasando de una concentración en oxígeno disuelto cercana a los 8,0 ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en el tramo 1, hasta llegar a una concentración mínima entre 0 y 0,5 ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en la del tramo 4. Por supuesto, esto es el resultado de las cargas de materia orgánica que son recibidas por este cuerpo de agua en los tramos medios y bajos. La mayor variabilidad en los valores medidos se presenta en los tramos 2 y 3.

Para el tramo 2 esta dispersión de los datos se puede deber a que la calidad del agua se ve directamente influenciada por las variaciones en las características de las descargas aguas arriba de este punto. En el tramo 3 se atribuye esta dispersión a los cambios en los procesos de descomposición que se llevan a cabo, representando un consumo del oxígeno disuelto en el agua. Por otro lado, se presenta una simetría positiva en los tramos 3 y 4, mientras que los tramos altos presentan una simetría negativa.

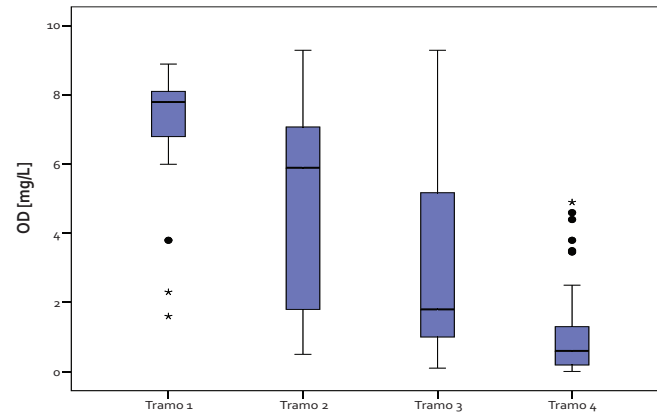


FIG 4.4. Oxígeno disuelto (río Salitre)

#### 4.1.1.1. Materia orgánica

Tanto la  $DBO_5$  como la  $DOO$  incrementan su valor hacia aguas abajo (fig. 4.5) como resultado del aporte puntual de aguas residuales domésticas en los tramos medios y bajos del río Salitre. En el caso de la  $DBO_5$  se observa un incremento notorio a partir del tramo 2 alcanzando su valor medio máximo en el tramo 3 con una concentración cercana a los 120 mg.L-1. En el tramo 4 se observa una disminución en la concentración llegando a un valor de 100 mg.L-1, lo cual podría ser el resultado de los procesos de degradación que se llevan a cabo en las condiciones anaerobias existentes en el fondo de la columna de agua.

Al igual que la  $DBO_5$ , las concentraciones de  $DOO$  aumentan hacia aguas abajo presentando la mayor variabilidad en los tramos 2 y 3 nuevamente. En el tramo 4, la variabilidad no es tan baja como para la  $DBO_5$ , pero sí es menor a la presentada en los tramos anteriores. El valor medio varía desde una concentración cercana a los 20 mg.L-1 en el tramo 1, hasta alcanzar una concentración en el tramo 3 con un valor cercano a los 380 mg.L-1. Finalmente, el río Salitre desemboca en el río Bogotá con una concentración media de la  $DOO$  de aproximadamente 250 mg.L-1.

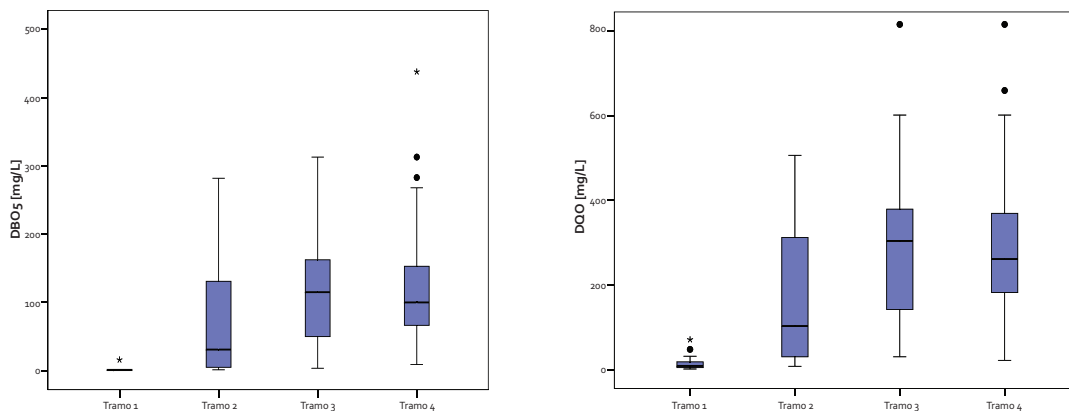


FIG. 4.5. Materia orgánica (río Salitre)

#### 4.1.1.2. Sólidos suspendidos totales

En cuanto a los sólidos suspendidos totales se observa en la figura 4.6 cómo, al igual que con la materia orgánica y la conductividad, se incrementan las concentraciones hacia aguas abajo del río a partir del tramo 2, hasta alcanzar un valor pico en el tramo 3 (valor medio cercano a los 100 mg.L<sup>-1</sup>). Luego de este punto, la

concentración de los SST presenta una disminución no significativa llegando al tramo 4 con un valor cercano a los 90 mg.L<sup>-1</sup>, situación similar a la observada con la DBO y la DOO. La mayor variabilidad de los datos se presenta para el tramo 2, confirmando el hecho que es la zona del río más sensible a las variaciones en las características de la calidad del agua de las descargas.

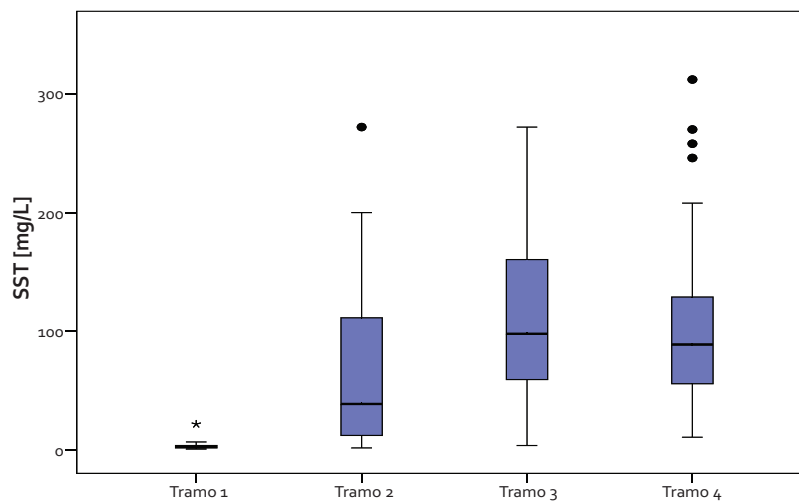


FIG. 4.6. Sólidos suspendidos totales (río Salitre)

#### 4.1.1.3. Nutrientes

En el caso del nitrógeno (fig. 4.7), la dinámica espacial observada para el río Salitre refleja el mismo comportamiento presentado por la materia orgánica y por los sólidos: mayor concentración y variabilidad para los tramos medios y bajos. El incremento más fuerte se observa entre el tramo 2 y el tramo 3, donde la concentración media sube desde un valor cercano a los 10 mg.L<sup>-1</sup> hasta una concentración cercana a los 35 mg.L<sup>-1</sup>. Luego de

este punto, la concentración media varía entre 35 y 40 mg.L<sup>-1</sup> llegando al río Bogotá con una concentración cercana a los 35 mg.L<sup>-1</sup>.

Se observa una buena simetría para los datos obtenidos en el tramo 4, lo cual se debe, principalmente, a la poca variabilidad de los valores en esta zona, donde el río presenta un remanso hidráulico importante, el cual genera condiciones fisicoquímicas más estables en el tiempo. Para el tramo 2 se presenta una simetría positiva.

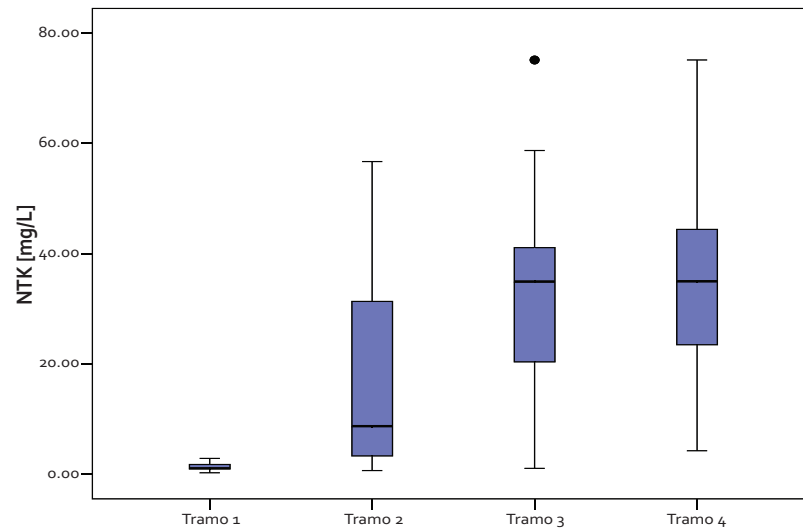


FIG. 4.7. Nutrientes (río Salitre)

#### 4.1.2. Interrelaciones paramétricas

A continuación se presentan los resultados de correlación entre la DBO y la DQO, los SST y el NTK, para los datos obtenidos a partir de las campañas de monitoreo de la RCHB.

En la figura 4.8 se presenta la relación entre la DBO y la DQO (totales) para los diferentes tramos constituyentes del río Salitre. En general, se observa una relación lineal entre estos dos determinantes de calidad para casi la integralidad de los datos monitoreados. La inclinación de esta tendencia puede indicar que la fracción biodegradable de la materia orgánica aumenta hacia aguas abajo, favoreciendo los tratamientos biológicos para el tratamiento de este tipo de agua. Lo anterior se explica por las continuas descargas de materia orgánica a lo largo del río, la cual puede empezar a sufrir procesos de hidrólisis y

fermentación en el cauce del río, favoreciendo la biodegradabilidad de esta materia en los tramos finales. La alta linealidad encontrada en la relación entre estos dos parámetros y el rango de valores de cada uno de ellos, indican un alto componente doméstico en los vertimientos líquidos recibidos por el río Salitre.

Como se observa en la figura 4.9, la relación entre la DBO y los SST también presenta una tendencia relativamente lineal para la gran mayoría de resultados encontrados durante las campañas de monitoreo. Esto indica un alto contenido de materia orgánica particulada en las aguas del río Salitre. Los puntos del tramo 4, altos en los SST pero con valores relativamente bajos en la DBO, podrían estar asociados a materia inorgánica particulada. Esto podría estar relacionado con procesos de resuspensión de sedimentos o vertimientos no domésticos en este tramo en particular.

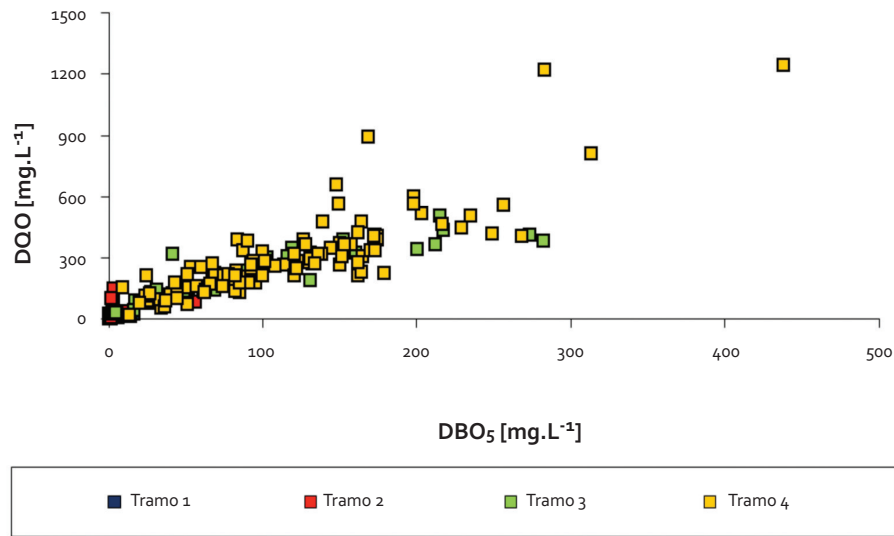


FIG. 4.8. Relación DBO/DQO (río Salitre)

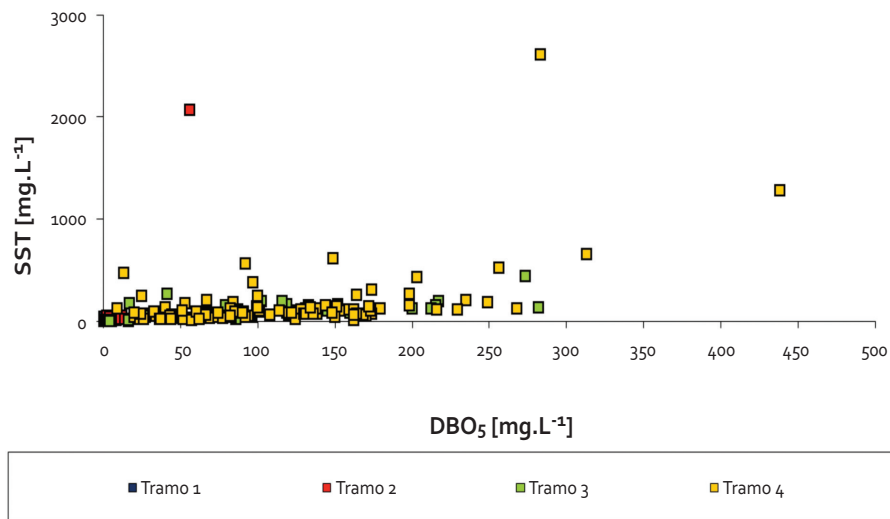


FIG. 4.9. Relación DBO/SST (río Salitre)

En forma similar, la correlación lineal entre el NTK y la DBO (fig. 4.10) es un indicativo de un alto porcentaje de materia orgánica nitrogenada

dentro del nitrógeno total, y confirma la calidad predominantemente doméstica de los vertimientos efectuados sobre este cuerpo de agua.

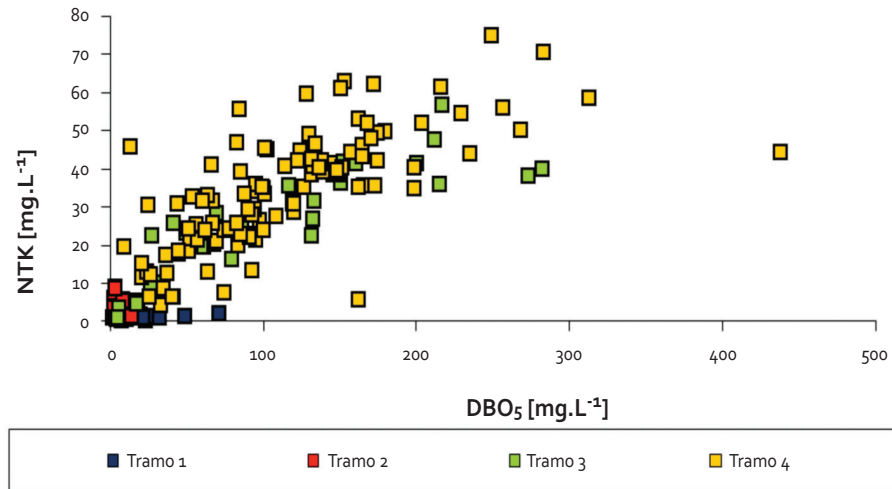


FIG. 4.10. Relación DBO/NTK (río Salitre)

#### 4.1.3. Cargas contaminantes

Para el caso exclusivo de materia orgánica y sólidos suspendidos totales, se realizaron gráficas de carga contaminante asociada a cada tramo de río, valores obtenidos a partir de los datos de las campañas de monitoreo realizadas dentro de los diferentes convenios de la RCHB suscritos por la SDA. En este ítem se presentan los perfiles longitudinales de carga contaminante para el río Salitre.

Para la DBO se observa (fig. 4. 11) que las condiciones de calidad del agua desde el punto de vista de la concentración de la materia orgánica biodegradable en la parte alta del río son muy buenas, con valores de carga inferiores a 1 Ton.d<sup>-1</sup>. Súbitamente, se presenta un incremento hacia aguas abajo debido a las cargas aportadas por los vertimientos ubicados a lo

largo del río hasta obtener el valor máximo en el punto transversal 91 donde se superan las 20 Ton.d<sup>-1</sup> para la campaña de seguimiento de masa, y las 15 Ton.d<sup>-1</sup> para la campaña 2 de la RCHB. En este punto también se observa una reducción en la carga durante la campaña 1 de la RCHB, pero esto se debe, posiblemente, al efecto de dilución generado por la descarga canal Humedal Córdoba, que se pudo apreciar durante el monitoreo. Finalmente, el río Salitre llega a la desembocadura al río Bogotá con una carga promedio de 32 Ton.d<sup>-1</sup>. Los principales aportes de la DBO al río Salitre se presentan en el tramo 3 y corresponden a las descargas *nas con calle 53, colector Las Delicias nas con calle 62, colector La Vieja-carrera 50 con calle 70 y canal Río Negro-transversal 65 con calle 80A.*

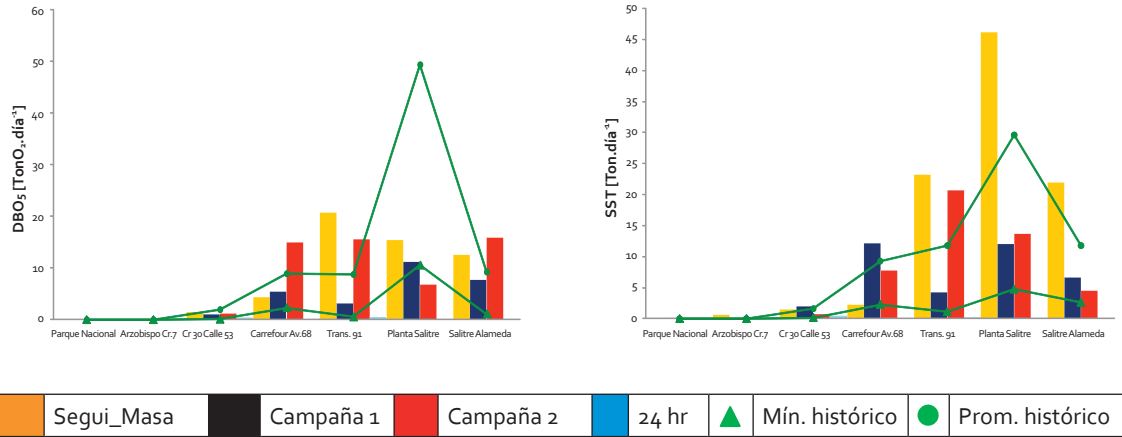


FIG. 4.11. Carga contaminante (río Salitre)

El comportamiento de los sólidos suspendidos totales es consistente con la variación de

las concentraciones de materia orgánica en el cuerpo de agua, presentando incrementos de concentraciones importantes desde la *carrera 30 con calle 53*, con los valores más altos registrados en el punto *PTAR El Salitre*; se observa un posterior descenso, para ascender nuevamente en el tramo final, encontrándose una carga final promedio de 11 Ton.d<sup>-1</sup>. Los aportes más importantes para SST corresponden a las descargas *NQS con calle 53, canal río Negro transversal 65 con calle 80A y descarga humedal Córdoba*.

Como se puede ver, tanto para la DBO como para los SST, todos los valores de carga se encuentran entre el límite mínimo y la mediana de los valores históricos registrados en los monitoreos realizados durante el convenio 005 de 2006. Los límites máximos no fueron

incluidos, ya que se encontraban muy por encima de los datos registrados durante el Convenio 069 de 2007.

## 4.2. Calidad del agua

### 4.2.1. Resultados de los monitoreos

Para establecer el cumplimiento de los objetivos de calidad en el río Salitre, en el período 2008-2009, se comparó frente a la Resolución 5731 de 2008, los valores de los parámetros medidos durante las diferentes campañas de monitoreo realizadas a lo largo del Convenio 069 (monitoreo fisicoquímico, monitoreo complementario, seguimiento de masa y monitoreo veinticuatro horas). En las tablas 4.2 a 4.6 se presentan los resultados de caracterización en cada una de las campañas.

TABLA 4.2. Campaña 1

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
Parque Nacional	24/09/2008	7,33	1,3	<3	1,2	<0,2	<2	<3,6	6,82	0,15
		7,32							6,82	
		7,30							6,83	
		7,30							6,85	
		7,30							6,84	
		7,70								
Arzobispo-carrera 7ª	25/09/2008	6,91	1,3	10	2,2	1,4	2,4	6,3	7,27	0,09
		6,96							7,31	
		6,92							7,29	
		6,96							7,27	
		6,96							7,25	
		6,40								
Carrera 30 -calle 53	22/09/2008	6,3	102	305	47,3	3,2	200	45	8,17	3,4
		6,0							8,27	
		6,3							8,57	
		6,0							8,29	
		5,9							8,26	
Carrefour avenida 68	25/09/2008	0,5	84	390	57,8	5,0	187	60	7,9	3,4
		0,6							8,0	
		0,5							8,0	
		1,5							8,0	
		1,0							7,8	
		0,1								
Transversal 91	25/09/2008	0,8	43	180	32,8	2,9	57,0	34	7,6	3,6
		ND							7,6	
		0,20							7,4	
		ND							7,5	
		ND							7,5	
		0,1								

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
Planta El Salitre	24/09/2008	0,9	101	288	47,5	5,0	108	40	7,3	5,5
		1,7							7,3	
		1,7							7,3	
		1,5							7,2	
		0,1							7,2	
Salitre con Alameda	24/09/2008	ND	172	409	64,7	5,4	148	148	7,1	5,6
		0,1							7,1	
									7,1	
									7,1	
									7,1	

TABLA 4.3. Campaña 2

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100mL)	Unidades	(mg/L)
Parque Nacional	10/02/2009	6,8	<0,2	31,7	1,3	0,12	<5	12,7	7,0E+02	7,82	0,06
		7,90									
		7,90									
		7,82									
		7,70									
Arzobispo carrera 7ª	10/02/2009	6,1	3,1	149	9,0	0,38	6,2	<3,6		7,84	0,1
		7,94									
		7,90									
		7,90									
		7,92									
Carrera 30 con calle 53	10/02/2009	0,8	145	350	40,7	6,92	100	13,8	2,2E+05	8,15	3,89
		8,22									
		8,02									
		8,08									

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100mL)	Unidades	(mg/L)
										8,05	
Carrefour avenida 68	10/02/2009	<0,1	139	482	39,3	7,0	71	153	1,1E+07	7,4	10,50
										7,4	
										7,4	
										7,5	
										7,6	
Transversal 91	10/02/2009	<0,1	87	336	33,5	6,9	116	72,5		7,5	4,34
										7,5	
										7,4	
										7,4	
										7,4	
Planta El Salitre	10/02/2009	<0,1	51	224	24,6	5,0	101	10,9		7,1	3,45
										7,1	
										7,1	
										7,1	
										7,1	
Salitre con Alameda	10/02/2009	<0,1	62	136	24,2	4,9	18	8,5	1,7E+06	6,3	2,92
										6,1	
										6,0	
										6,6	
										6,6	

TABLA 4.4. Campaña complementaria

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
Arzobispo carrera 7ª	18/04/2009	7:00	7,79	9,0	42,8	1,82	0,51	19	<3,6	8,7	0,15
			7,90							8,7	
			7,95							8,4	

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	pH	SAAM (mg/L)
Nombre										Unidades	
Arzobispo carrera 7ª			7,88							7,9	
			7,89							8,6	
	19/04/2009	15:30	7,68	14	18,8	1,55	0,56	19	<3,6	7,3	0,04
			7,67							8,8	
			7,50							7,6	
			7,61							7,1	
			7,49							7,0	
	20/04/2009	21:00	6,70	1,7	103	3,52	0,24	7	8,0	8,5	0,06
										8,3	
										8,2	
										8,1	
	21/04/2009	18:30	7,52	2,6	32	1,12	0,36	14	<3,6	7,3	0,03
7,65									7,2		
7,69									7,6		
23/04/2009		7,54							7,6		
		7,39							7,2		
		7,30	34	91	1,11	0,32	8	<3,6		0,10	
Carrefour avenida 68	18/04/2009	9:20	0,96	51	74	18,6	2,69	42	18	8,2	2,34
			1,03							7,8	
			1,08							7,9	
			0,84							8,2	
			0,68							8,2	
	19/04/2009	17:45	0,73	108	260	27,8	4,3	63	34,3	7,6	0,53
			0,34							7,9	
			0,34							7,1	
				0,57						7,2	
				0,32							7,5
20/04/2009	23:40		1,20	96	271	34,2	4,8	46	36,2	8,0	8,8

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	pH	SAAM (mg/L)	
Nombre										Unidades		
Planta El Salitre										8,5		
										8,1		
										8,1		
										8,3		
	21/04/2009	21:15	0,41	165	311	35,8	6,2	77	47,0	7,3	11,2	
			0,36									7,6
			0,76									7,3
			0,53									7,3
			0,63									7,3
	23/04/2009		0,60	105	287	35,7	4,4	24	32		5,0	
	20/04/2009	2:00	0,80	94	284	29,5	5,4	55	36,5	8,4	6,9	
												8,4
										8,8		
										8,6		
										8,3		
21/04/2009	0:00	0,78	120	324	30,9	4,6	79	29,0	7,3	1,3		
		0,63									7,2	
		0,89									7,1	
		0,71									7,3	
		0,54									7,0	
22/04/2009	19:30	<0,1	55	165	22,3	4,6	16	12,5	6,2	1,5		
											6,8	
											6,7	
											6,7	
											6,7	
22/04/2009		<0,1	129	335	34,1	5,4	69	26,6		9,2		
26/04/2009	13:30	0,51								6,3		
		0,86								6,63		
		0,86								7,62		
		0,68								6,85		
		0,98								5,79		

TABLA 4.5. Seguimiento de masa

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/ AAAA)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH Unidades
Parque Nacional	19/11/2008	8,92	0,8	8,8	2,9	0,3	7,6	2,0E+03	8,26
Carrera 7ª con calle 39	19/11/2008	8,21	5,6	36,2	6,5	0,5	50,0	7,0E+04	7,04
Aguas arriba descarga calle 45 con carrera 24	19/11/2008	7,93	1,8	8,1	5,3	0,86	21,1	2,2E+06	6,90
Carrera 30 con calle 49A	19/11/2008	6,18	66,7	161,5	19,8	2,40	48,5	2,0E+06	7,08
Carrera 30 con calle 53	19/11/2008	5,4	82,6	216,0	27,3	2,70	81,4	1,1E+06	7,58
Aguas abajo-colector Las Delicias	19/11/2008	3,3	123,0	406,0	34,0	4,40	98,6	1,3E+06	7,75
Aguas arriba-carrera 49 con calle 80A	19/11/2008	1,4	40,3	127,0	29,7	2,40	46,7	4,0E+06	7,53
Carrefour 80-carrera 69	19/11/2008	0,2	60,2	160,0	32,8	3,30	35,3	1,6E+07	7,28
Carrefour 80-carrera 69	20/11/2008	0,1	85,1	261,3	30,0	3,49	41,2	7,9E+06	7,06
Transversal 91 con calle 98	20/11/2008	0,2	98,4	257,4	35,4	4,46	110,0	1,1E+07	7,36
Aguas abajo descarga calle 99 con carrera 103	20/11/2008	0,1	85,2	187,4	24,4	3,30	63,0	6,3E+06	7,31
Estación Fija- PTAR El Salitre	20/11/2008	0,1	39,9	135,6	19,5	2,45	120,0	7,9E+06	7,11
Salitre Alameda	20/11/2008	0,1	53,9	183,6	21,9	2,83	94,3	4,9E+06	6,98

TABLA 4.6. Campaña veinticuatro horas

Puntos de Monitoreo	Fecha DD/MM/ AAAA	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	C. fecales (NMP/ 100mL)	pH Unidad	SAAM (mg/L)
Parque Nacional	20/04/2009	16:00	7,95	1,3	24,0	1,1	0,37	3,1		4,0E+00	6,86	
		16:30	7,92								7,06	
		17:00	7,95								6,80	
		17:30	7,92								6,84	
		18:00	7,98								6,79	
	20/04/2009	18:00	7,98	< 0,2	21,0	1,1	0,45	46,5	7,1	4,0E+00	6,79	0,02

(Cont.)

Puntos de Monitoreo	Fecha DD/MM/AAAA	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH Unidad	SAAM (mg/L)
Parque Nacional	20/04/2009	18:30	7,98								6,81	
		19:00	7,98								6,56	
		19:30	8,03								6,55	
		20:00	8,03								6,19	
	20/04/2009	22:00	8,13	< 0,2	<3	1,8	0,57	5,9	5,9	9,0E+00	6,26	0,02
		22:30	8,07								6,42	
		23:00	8,16								6,58	
		23:30	8,11								6,25	
		00:00	8,12								6,00	
	20/04/2009	02:00	8,13	< 0,2	4,8	1,1	0,41	5,2	8,6	4,0E+00	6,14	0,12
		02:30	8,12								6,07	
		03:00	8,14								6,29	
		03:30	8,16								6,48	
		04:00	8,15								6,33	
	21/04/2009	04:00	8,17	< 0,2	10,0	1,1	0,41	2,7		<3	6,56	
		04:30	8,15								6,76	
		05:00	8,14								6,40	
		05:30	8,17								6,52	
		06:00	8,17								6,28	
	21/04/2009	08:00	8,15	1,1	<3	1,1	0,41	4,3		9,0E+00	6,83	
		08:30	8,12								6,59	
		09:00	8,09								6,81	
		09:30	8,09								6,45	
		10:00	8,12								6,97	
	21/04/2009	10:00	8,15	1,2	<3	1,1	0,33	3,3	10,0	4,0E+00	6,91	<0,02
		10:30	8,10								6,50	
		11:00	8,07								6,44	
		11:30	8,06								6,55	
12:00		8,06								6,76		
09:00		1,79								7,63		

(Cont.)

Puntos de Monitoreo	Fecha DD/MM/AAAA	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH Unidad	SAAM (mg/L)
Parque Nacional	21/04/2009	09:30	1,7								7,96	
		10:00	1,46								7,97	
	23/04/2009	10:00	1,46	119,4	332,1	30,9	3,6	85	31,9	2,8E+06	7,97	5,4
		10:30	1,44								7,92	
		11:00	1,12								8,00	
		11:30	1,24								8,11	
		12:00	1,22								8,08	
	23/04/2009	12:00	1,22	133,1	302,6	31,8	4,1	154,4		4,3E+06	8,08	
		12:30	1,40								7,94	
		13:00	0,95								7,83	
		13:30	1,25								8,07	
		14:00	1,35								7,79	
	23/04/2009	14:00	1,35								7,79	
		14:30	1,43								8,51	
		15:00	1,23								7,90	
		15:30	1,24								7,80	
		16:00	1,43								7,14	
	23/04/2009	16:00	1,43								7,14	
		16:30	1,28								7,81	
		17:00	1,36								7,61	
		17:30	1,41								7,74	
		18:00	1,66								8,02	
	23/04/2009	18:00	1,66	82,2	186,1	22,7	2,1	94,5	24,5	2,4E+06	8,02	3,7
		18:30	1,62								7,92	
		19:00	1,62								8,04	
	23/04/2009	19:30	2,24								8,00	
		20:00	3,31								7,64	
20:00		3,31	16,5	45,4	4,6	0,54	9,1		2,4E+04	7,64		
20:30		3,68								7,53		
21:00		4,19								7,47		

(Cont.)

Puntos de Monitoreo	Fecha DD/MM/AAAA	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH Unidad	SAAM (mg/L)
Carrera 30 con calle 53	23/04/2009	22:00	4,99								7,46	
		22:00	4,99	5,0	30,4	3,7	0,26	4,0	8,2	2,4E+04	7,46	0,3
		22:30	4,83								7,48	
	24/04/2009	23:00	5,05								7,45	
		23:30	5,30								7,49	
		00:00	5,50								7,62	
	23/04/2009	00:00	5,50	4,2		1,1	0,36	5,2		4,0E+03	7,62	
		00:30	5,58								7,25	
		01:00	5,72								7,20	
		01:30	5,76								7,26	
		02:00	5,80								7,12	
	23/04/2009	02:00	5,80	3,6		1,1	0,22	8,6		2,4E+03	7,12	
		02:30	5,90								7,36	
		03:00	6,04								7,14	
		03:30	6,09								7,17	
		04:00	6,06								7,16	
	23/04/2009	04:00	6,06	4,1		1,1	0,16	5,6		1,1E+05	7,16	
		04:30	5,98								7,85	
		05:00	5,92								7,17	
		05:30	6,13								7,32	
		06:00	6,42								7,40	
	23/04/2009	06:00	6,42	118,8	66,9	9,2	0,92	47,5		4,3E+06	7,40	
		06:30	6,39								7,30	
		07:00	6,29								7,29	
		07:30	3,06								7,70	
		08:00	1,91								7,97	
		08:00	1,91	41,0	324	26,0	2,4	25,1		1,5E+06	7,97	
		08:30	1,61								8,15	
09:00		1,31								7,94		
09:30		1,25								7,72		

(Cont.)

Puntos de Monitoreo	Fecha DD/MM/AAAA	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH Unidad	SAAM (mg/L)
		10:00	1,05								7,81	
Transversal 9 <sup>1</sup>	16/04/2009	10:20	0,18								7,12	
		10:50	0,19								7,07	
		11:20	0,19								7,03	
		11:50	0,26								7,03	
		12:20	0,22								6,86	
		12:50	0,23								7,02	
	16/04/2009	13:20	0,10								7,01	
		13:50	0,04								6,99	
		14:20	0,18								6,80	
		14:50	0,09								6,69	
		15:20									7,12	
	16/04/2009	15:50									7,10	
		16:20	1,79								7,11	
		16:50	0,42								7,41	
		17:20	0,23								7,28	
	16/04/2009	17:50	0,19								7,59	
		18:20	0,19								7,48	
		18:50	0,22								7,39	
		19:20	0,19								7,43	
	16/04/2009	19:50	0,18								7,40	
		20:20	0,19								7,36	
		20:50	0,13								7,24	
		21:20	0,19								7,40	
		21:50	0,20								7,25	
17/04/2009	22:20	0,15								7,21		
	22:50	0,21								7,12		
	23:20	0,19								7,15		
	23:50	0,18								7,14		
	17/04/2009	00:20	0,17								7,13	

(Cont.)

Puntos de Monitoreo	Fecha DD/MM/AAAA	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH Unidad	SAAM (mg/L)	
Transversal 91	17/04/2009	00:50	0,20								7,22		
		01:20	0,04								7,15		
		01:50	0,18								7,23		
		02:20	0,19								7,19		
	17/04/2009	02:50	0,11									7,17	
		03:20	0,19									7,23	
		03:50	0,14									7,29	
		04:20	0,18									7,19	
		04:50	0,19									7,17	
	17/04/2009	05:20	0,22									7,30	
		05:50	0,20									7,30	
		06:20	0,21									7,38	
		06:50	0,20									7,78	
		07:20	0,24									7,61	
	17/04/2009	07:50	0,20									7,25	
		08:20	0,20									7,30	
		08:50	0,21									7,33	
		09:20	0,22									7,29	
		09:50	0,20									7,24	
	17/04/2009	10:20	0,20									7,30	
10:50		0,21									7,11		
11:20		0,22									7,10		
11:50		0,21									7,06		
12:20		0,20									7,14		

#### 4.2.2. Cálculo wQI

A continuación se presentan los cálculos del wQI para el río Salitre a partir del grupo de datos de todas las campañas realizadas en el Convenio 069 de 2007. Cabe resaltar que, para evaluar el cumplimiento con los objetivos de

calidad de la Resolución 5731 de 2008 se debe estimar el wQI anual calendario, con datos bimestrales en los puntos de monitoreo de la RCHB.

El wQI\* es un ejercicio para evaluar la calidad del agua frente a los objetivos de calidad con los

datos de todas las campañas realizadas en el Convenio 069 de 2007; se puede afirmar que, en términos generales, la calidad del agua en el río Salitre oscila entre marginal y pobre. El  $WQI^{**}$  es un cálculo realizado a partir de los datos históricos de monitoreo de la RCHB (mensuales promedio) entre enero y abril de 2007 (SDA y EAAB, 2008). La comparación entre estos dos índices puede ser vista como una evaluación de la dinámica en el cumplimiento de los objetivos

de calidad, que ha venido observándose en el río Salitre. Dicha comparación muestra cómo el índice de calidad hídrica ha venido aumentando (mejorando) en los tres primeros tramos, mientras que en el caso del tramo 4 se observa una disminución en la calidad del agua. Se debe resaltar el gran índice de calidad encontrado para el tramo 1, el cual refleja la calidad con la que ingresa este cuerpo de agua al perímetro de la ciudad (tabla 4.7).

Tabla 4.7.  $WQI$  (río Salitre)

Río Salitre	Estaciones	$WQI^*$ (2008-2009)	$WQI^{**}$ (2007-2008)
Tramo 1	Parque Nacional	88	50
Tramo 2	Arzobispo-carrera 7ª	46	31
	Carrera 30-calle 53		
Tramo 3	Carrera 30-calle 53	47	31
	Carrefour avenida 68		
Tramo 4	Carrefour avenida 68	36	59

A continuación, se hace una breve explicación de los cálculos del  $WQI^*$  y los resultados obtenidos. Vale la pena resaltar que, en los cálculos de  $WQI$  un parámetro puede tener más valores que otros, como en la mayoría de los casos ocurre con los valores del oxígeno disuelto y el pH.

En el tramo 1 de este río hay un punto (Parque Nacional) con un total de datos de 170, de los cuales sólo tres aún no cumplen con los objetivos de calidad. La calidad de agua de este tramo es **buena**. En comparación con los resultados de todos los tramos de los ríos, éste es el que presenta la mejor calidad (tabla 4.8).

TABLA 4.8.  $WQI$  (tramo 1)

Parámetro	Número de datos que no cumplen	Variables	Valor
OD	1	F1	30,0
DBO	0	F2	1,8
DQO	0	NSE	0,02
$N_{total}$	0	F3	2,27

(Cont.)

Parámetro	Número de datos que no cumplen	VARIABLES	Valor
P <sub>total</sub>	0	WQI	82,60
SST	1		
Grasas y aceites	1		
Coliformes fecales	0		
pH	0		
SAAM	0		

En el tramo 2 del río Salitre existen dos puntos de monitoreo (Arzobispo carrera 7ª y carrera 30 con calle 53) con 360 datos, de los cuales 82 no satisfacen los objetivos de calidad (el 43% de estos valores no cumplen con el

objetivo de oxígeno disuelto); la calidad de agua de este tramo es **marginal**. Es muy importante continuar con las acciones que permitan aumentar el contenido de oxígeno disuelto para las aguas del río en este tramo (tabla 4.9).

TABLA 4.9. WQI (tramo 2)

Parámetro	Número de datos que no cumplen	VARIABLES	Valor
OD	35	F1	90,0
DBO	8	F2	22,8
DQO	7	NSE	0,14
N <sub>total</sub>	8	F3	12,07
P <sub>total</sub>	1	WQI	45,95
SST	6		
Grasas y aceites	4		
Coliformes fecales	9		
pH	0		
SAAM	4		

En el tramo 3 de este río hay dos puntos (carrera 30 con calle 53 y Carrefour avenida 68), con 377 datos de monitoreo, de los cuales 47 no cumplen con los objetivos.

La calidad de agua de este tramo es **marginal**, fundamentalmente debido a bajos valores en oxígeno disuelto y elevados valores de coliformes (tabla 4.10).

TABLA 4.10. WQI (tramo 3)

Parámetro	Número de datos que no cumplen	Variables	Valor
OD	9	F1	80,0
DBO	0	F2	12,5
DQO	3	NSE	0,21
N <sub>total</sub>	2	F3	17,39
P <sub>total</sub>	2	WQI	52,19
SST	3		
Grasas y aceites	7		
Coliformes fecales	13		
pH	0		
SAAM	8		

Finalmente, en el tramo 4 del río Salitre hay dos puntos de monitoreo con 317 datos, de los cuales 104 aún no han llegado a los niveles proyectados de objetivos de calidad

(el 66% de estos valores no cumplen con el objetivo de oxígeno disuelto); la calidad de agua de este tramo es **pobre** (tabla 4.11).

TABLA 4.11. WQI (tramo 4)

Parámetro	Número de datos que no cumplen	Variables	Valor
OD	71	F1	90,0
DBO	2	F2	32,8
DQO	2	NSE	1,04
N <sub>total</sub>	3	F3	50,92
P <sub>total</sub>	1	WQI	37,36
SST	0		
Grasas y aceites	6		
Coliformes fecales	7		
pH	4		
SAAM	8		

### 4.3. Dinámica de calidad temporal

Las jornadas específicas de monitoreo de veinticuatro horas en el río Salitre tuvieron por objeto identificar las variaciones intradiarias de concentraciones y estimar el comportamiento temporal de una variable dependiente a partir de la variación temporal de una o más variables

independientes. Siguiendo la misma estrategia metodológica, a continuación se presentan algunos de los resultados de este ejercicio de monitoreo. Las tablas 4.12 a 4.14 presentan los valores obtenidos de los modelos para cada punto monitoreado y los respectivos parámetros analizados.

TABLA 4.12. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos RCHB, Parque Nacional)

CF					DBOs					DBOt					DQOs				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	-73,9	110,3	0,0	0,0	pH	0,0	0,0	20,8	-19,1	pH	-176,4	208,7	0,0	0,0	pH	106,9	-139,7	0,0	0,0
Cond	0,0	0,0	-5,6	32,2	Cond	-13,1	10,8	0,0	0,0	Cond	0,0	-64,4	70,2	0,0	Cond	0,0	62,6	-55,5	0,0
Temp	0,0	0,0	-186,7	166,2	Temp	0,0	-20,5	16,8	0,0	Temp	0,0	0,0	-303,5	237,8	Temp	0,0	0,0	167,8	-138,9
DQOt					FS					FT					NH <sub>4</sub>				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	162,5	-214,8	0,0	0,0	pH	36,2	-15,1	0,0	0,0	pH	23,9	-16,5			pH	No se presentó una variabilidad representativa			
Cond	0,0	95,7	-87,9	0,0	Cond	0,0	0,0	10,1	0,0	Cond	-1,1	4,1							
Temp	0,0	0,0	269,7	-221,8	Temp	-46,1	37,4	0,0	0,0	Temp	-13,4	18,0							
NO <sub>2</sub>					NO <sub>3</sub>					NTK					OD				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	No se presentó una variabilidad representativa				pH	0,0	39,4	0,0	0,0	pH	0,0	23,0	-18,6	0,0	pH	-9,4	6,8	0,0	0,0
Cond	No se presentó una variabilidad representativa				Cond	-35,7	19,2	0,0	0,0	Cond	0,0	-11,9	13,7	0,0	Cond	0,0	0,0	-4,2	3,1
Temp	No se presentó una variabilidad representativa				Temp	0,0	-60,4	44,9	0,0	Temp	-14,6	16,0	0,0	0,0	Temp	7,3	-7,8	0,0	0,0
SST					SSV					ST					STV				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	168,8	-211,5	0,0	0,0	pH	110,3	-138,1	0,0	0,0	pH	0,0	0,0	-21,8	25,9	pH	0,0	-24,0	24,0	0,0
Cond	0,0	109,9	-93,7	0,0	Cond	0,0	79,2	-66,6	0,0	Cond	0,0	0,0	-6,4	3,9	Cond	10,0	-18,9	0,0	0,0
Temp	0,0	0,0	241,6	-204,9	Temp	0,0	0,0	154,2	-134,8	Temp	0,0	19,4	-27,1	0,0	Temp	0,0	56,7	-61,3	0,0

TABLA 4.13. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos RCHB y NOS, calle 53)

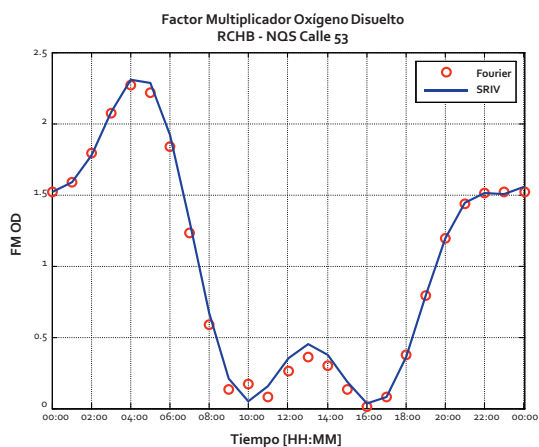
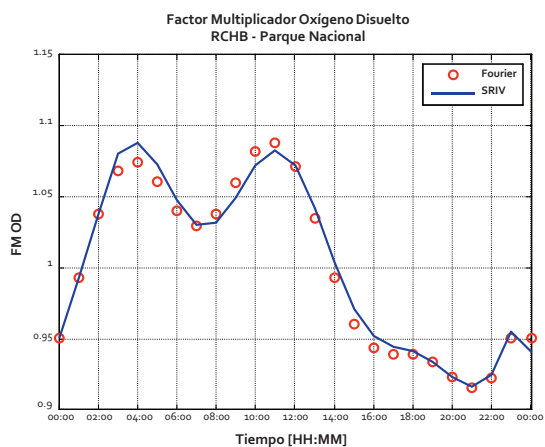
CF					DBOs					DBOt					DQOs				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	36,6			pH	0,0	23,1	-40,7	0,0	pH	0,0	16,5	-17,8	0,0	pH	0,0	22,1	-23,0	0,0
Cond	12,1	-6,7			Cond	0,0	0,0	-4,7	2,5	Cond	0,0	0,0	-1,2	0,0	Cond	0,0	0,0	-1,7	0,0
Temp	-30,2	0,0			Temp	0,0	20,0	0,0	0,0	Temp	0,0	11,2	0,0	0,0	Temp	0,0	13,1	0,0	0,0
DQOt					FS					FT					NH <sub>4</sub>				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	3,3	-5,1		pH	0,0	0,0	15,3	-17,0	pH	0,0	15,8	-17,6	0,0	pH	0,0	14,9	-16,9	0,0
Cond	2,0	-1,7	0,0		Cond	4,5	-3,5	0,0	0,0	Cond	0,0	0,0	-1,5	0,0	Cond	0,0	0,0	-1,1	0,0
Temp	-1,2	5,5	0,0		Temp	0,0	-11,5	12,4	0,0	Temp	0,0	12,2	0,0	0,0	Temp	0,0	11,0	0,0	0,0
NO <sub>2</sub>					NO <sub>3</sub>					NTK					OD				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	-9,5	9,2	0,0		pH	2,5	-6,6			pH	0,0	0,0	23,3	-30,3	pH	0,0	-41,1	33,5	0,0
Cond	0,0	-0,3	1,2		Cond	1,0	0,3			Cond	0,0	0,0	-2,9	0,0	Cond	0,0	0,0	-4,7	2,1
Temp	11,8	-17,0	0,0		Temp	-11,4	4,5			Temp	0,0	0,0	26,8	-7,1	Temp	0,0	0,0	-20,4	0,0
SST					SSV					ST					STV				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	0,0	-31,5	21,6	pH	0,0	0,0	-9,2	0,0	pH	0,0	0,0	-6,4	0,0	pH	0,0	36,3	-43,0	0,0
Cond	0,0	-1,2	1,9	0,0	Cond	0,0	-1,3	0,0	0,0	Cond	0,0	0,0	-0,5	0,5	Cond	0,0	0,0	-4,7	2,1
Temp	0,0	22,2	-16,2	0,0	Temp	0,0	22,0	-8,1	0,0	Temp	5,8	0,0	0,0	0,0	Temp	0,0	16,5	0,0	0,0

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el procesamiento de los datos de campo, el análisis de muestras de agua en laboratorio y la estimación de los modelos que mejor se ajustaban a los datos observados de las respectivas series de tiempo de los puntos monitoreados en el río Salitre (figs. 4.12 a 4.18).

De dieciséis parámetros para los cuales se lograron ajustar dinámicas temporales de veinticuatro horas en tres de los puntos de monitoreo de la RCHB sobre el río Salitre, se presentan los resultados para oxígeno disuelto, la DBO, la DQO, el NTK, el fósforo total, los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales.

TABLA 4.14. Matriz de valores de parámetros del polinomio (modelos RCHB, transversal g1)

CF					DBOs					DBOt					DQOs				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	0,0	-83,1	49,5	pH	0,0	0,0	-9,1	0	pH	0	14,9	-23,4		pH	0	0	-13,5	7,7
Cond	0,0	0,0	28,6	-25,0	Cond	3,5	0,0	0	0	Cond	0,0	2,9	0,0		Cond	1,6	0,0	0,0	0
Temp	38,5	-26,2	0	0	Temp	0	0,0	9,2	-9,3	Temp	0,0	3,8	0,0		Temp	0	3,0	0,0	0,0
DQOt					FS					FT					NH <sub>4</sub>				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0	0	48,6	-56,9	pH	0	23,6	-23,5	0,0	pH	0,0	0,0	44,8	-46,3	pH	0	0,0	48,2	-49,8
Cond	0,0	-8,0	10,7	0	Cond	0,0	-1,2	2,9	0	Cond	0,0	-7,3	9,1	0,0	Cond	0,0	-6,9	8,2	0,0
Temp	0	-6,4	17,3	0,0	Temp	0	0,0	8,6	-6,4	Temp	0,0	-4,9	12,2	0,0	Temp	0	-7,6	13,6	0,0
NO <sub>2</sub>					NO <sub>3</sub>					NTK					OD				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	-58,7	0,0	0,0	0	pH	0,0	62,9	-63,1	0,0	pH	0,0	0,0	38,5	-42,4	pH	-75,7	58,5	0,0	0
Cond	6,5	0,0	0,0	0,0	Cond	0,0	-7,7	12,0	0,0	Cond	0	-4,3	5,6	0	Cond	0	0,0	-5,6	
Temp	0,0	0,0	70,5	-92,2	Temp	0,0	0,0	34,3	-20,3	Temp	0	-8,7	13,8	0,0	Temp	0,0	0,0	-14,6	
SST					SSV					ST					STV				
FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3	FM Variable independiente	t-0	t-1	t-2	t-3
pH	0,0	0,0	-8,4	-15,1	pH	0	0	-21,9		pH	0	0	64,9	-67,7	pH	32,2	-61,0	0,0	0,0
Cond	0,0	4,3	0,0	0,0	Cond	5,2	0,0	0		Cond	0,0	-9,2	11,1	0	Cond	0,0	0,0	15,6	-10,2
Temp	0	0,0	7,0	0,0	Temp	0	12,5	-8,3		Temp	0,0	-18,4	29,9	0,0	Temp	27,2	-17,3	0,0	0,0



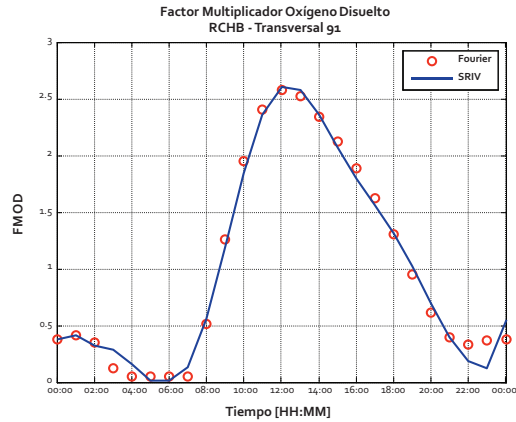


FIG. 4.12. Variación horaria del factor multiplicador de oxígeno disuelto (río Salitre)

En el caso del oxígeno disuelto, si bien se aprecia una dinámica temporal en cada uno de los tres puntos monitoreados veinticuatro horas sobre el río Salitre, los valores de este

parámetro son tan bajos en casi todas las horas que cualquier variación en la carga aférente apenas logra disminuir aún más el valor de dicho parámetro.

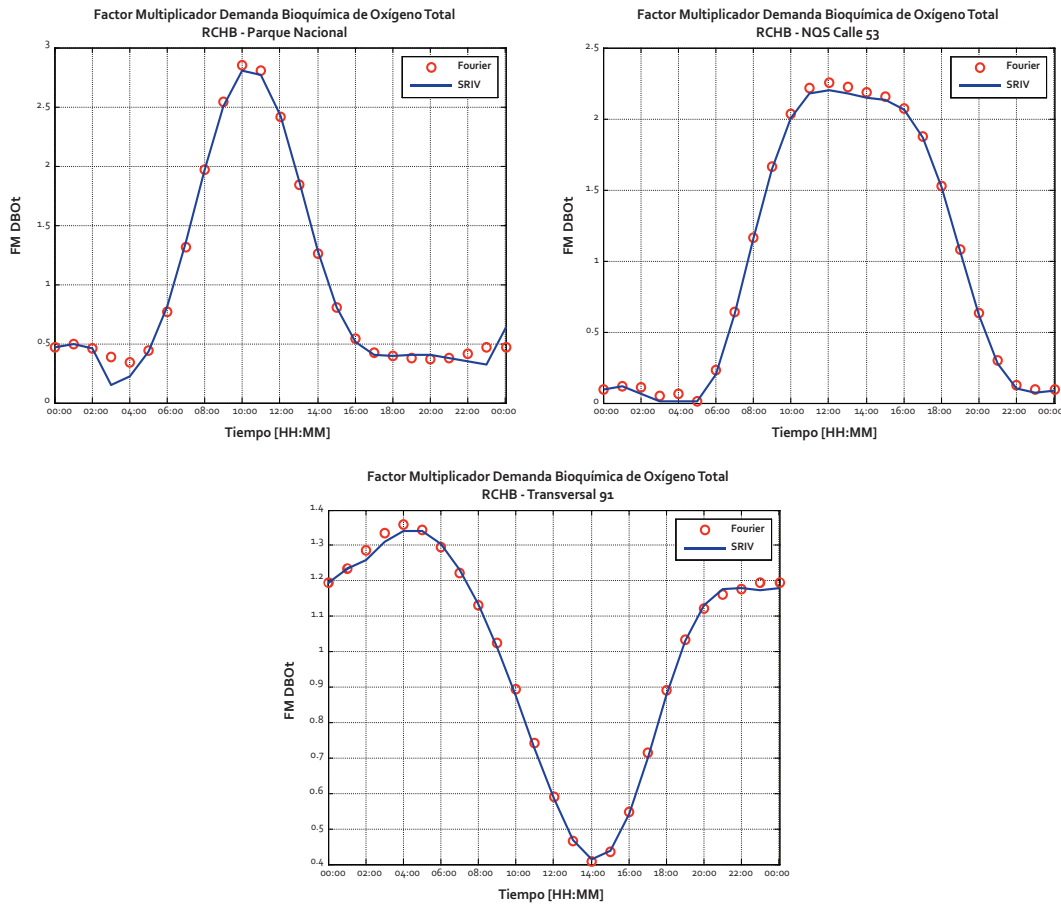


FIG. 4.13. Variación horaria del factor multiplicador de la DBO (río Salitre)

Para la DBO y la DOO se observa claramente la afectación por aguas residuales de origen doméstico que sufre el río; este tipo de curvas de materia orgánica y la dinámica misma son características de los sistemas de alcantarillado doméstico. Se puede observar cómo el pico de concentración de materia orgánica en el punto más alto de los tres monitoreados se

da entre las 10 y las 11 a. m.; este mismo pico es transitado por el río y visto con un rezago cercano a las dos horas en el punto NQS-calle 53. Finalmente, en el punto más aguas abajo, monitoreado el pico, es percibido entre 10 y 12 horas después de haber sido registrado en el primer punto de monitoreo. Es percibida muy poca autorrecuperación del río.

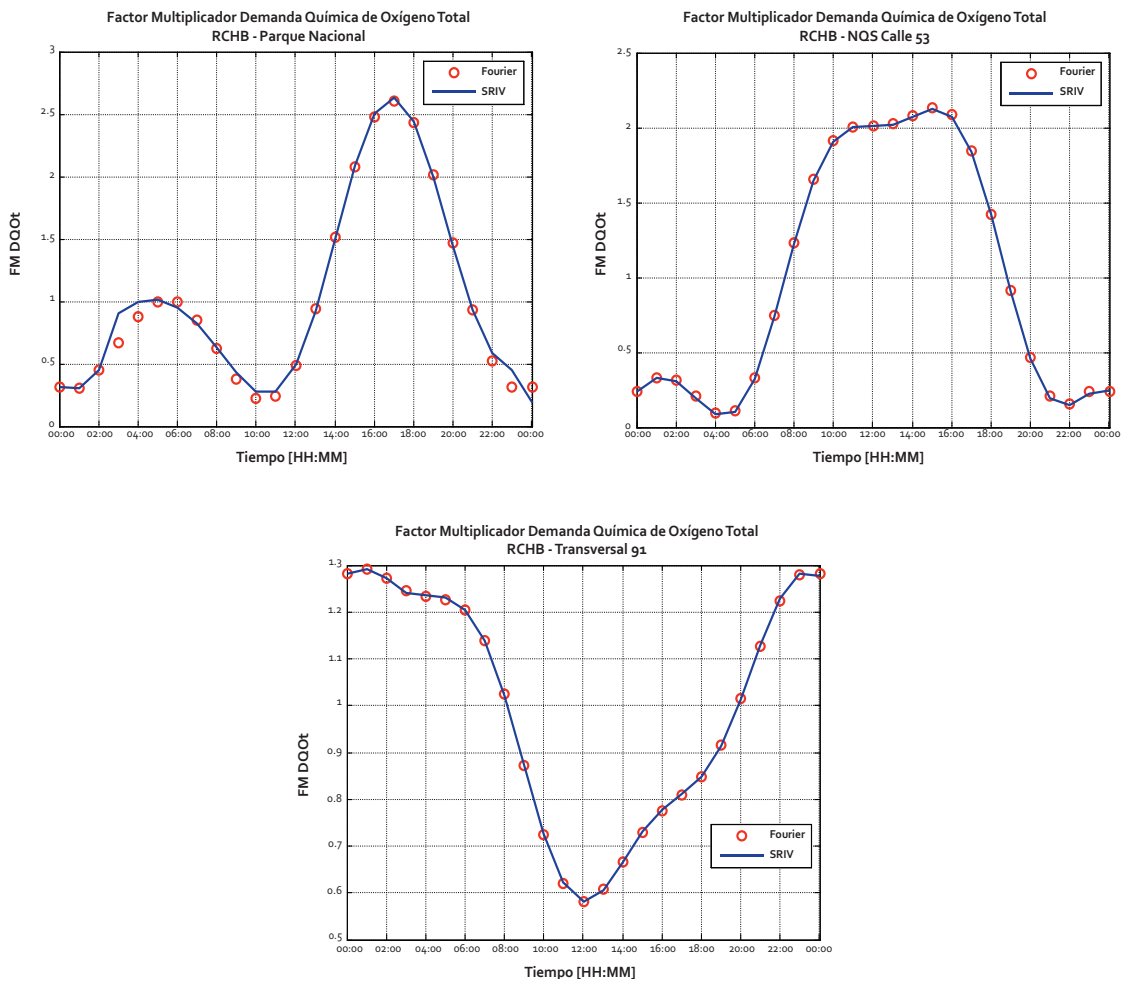


FIG. 4.14. Variación horaria del factor multiplicador de la DOO (río Salitre)

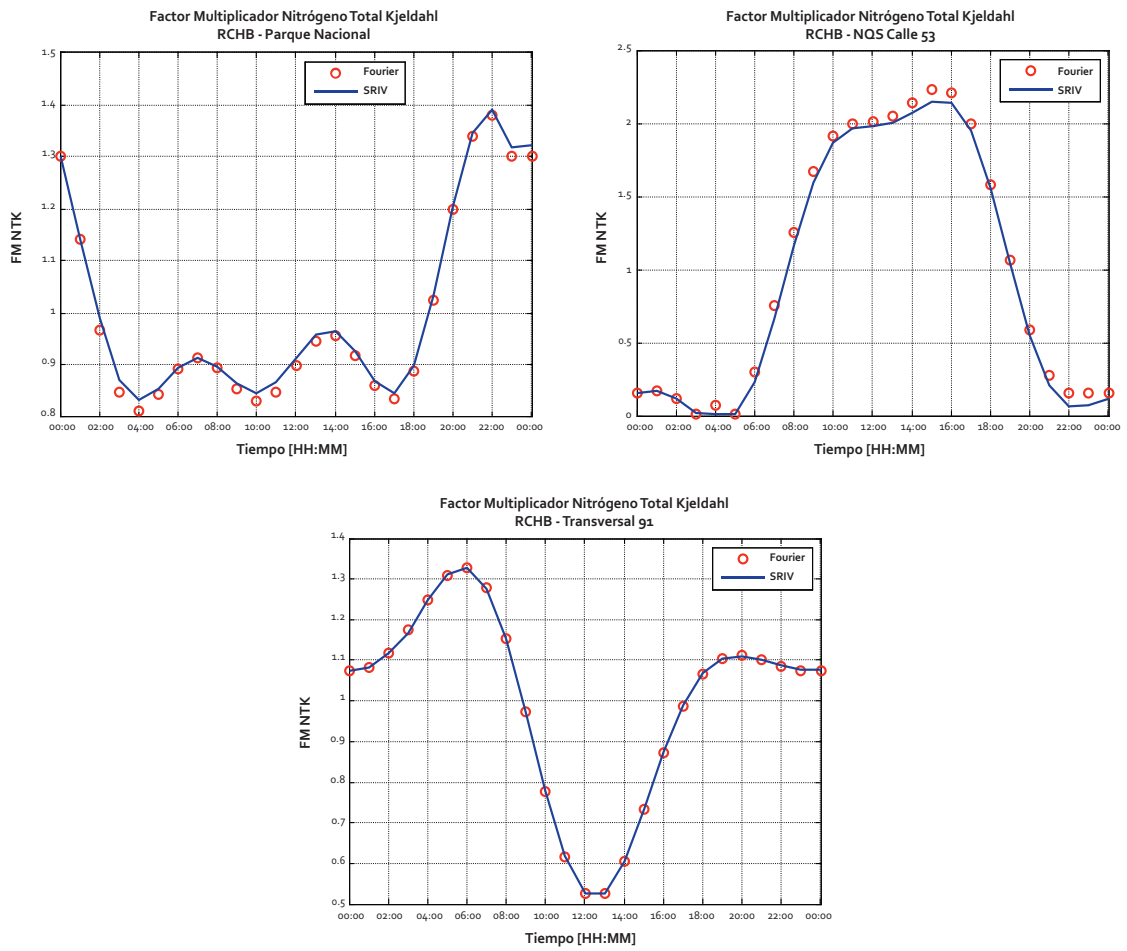
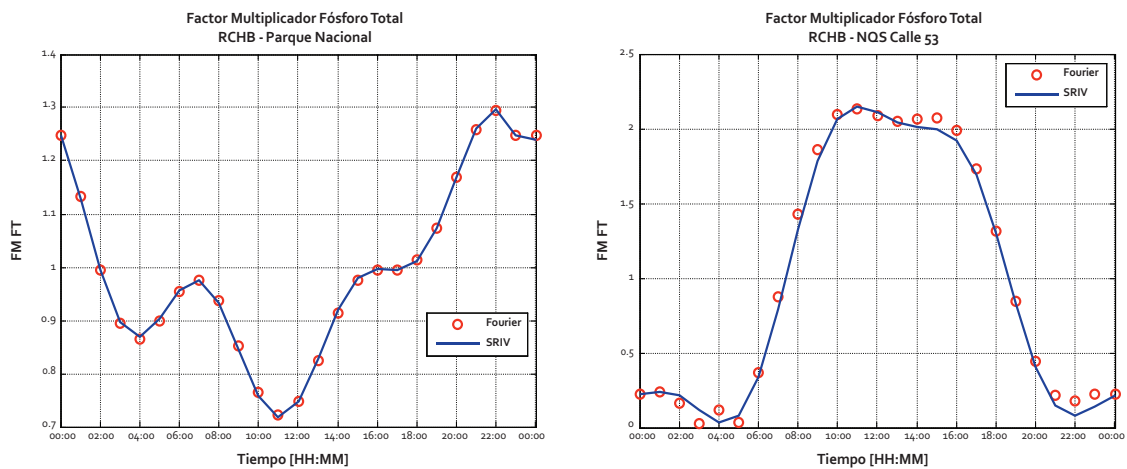


FIG. 4.15. Variación horaria del factor multiplicador del NTK (río Salitre)



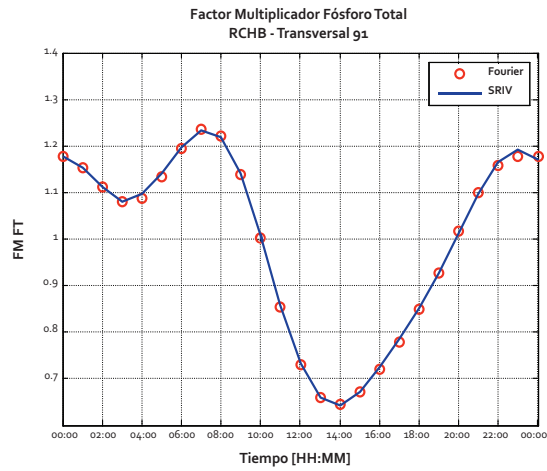
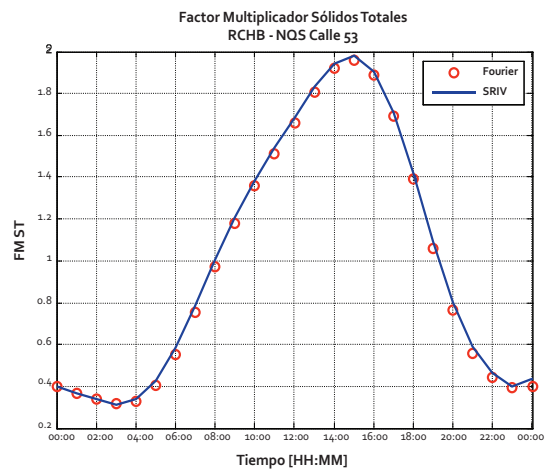
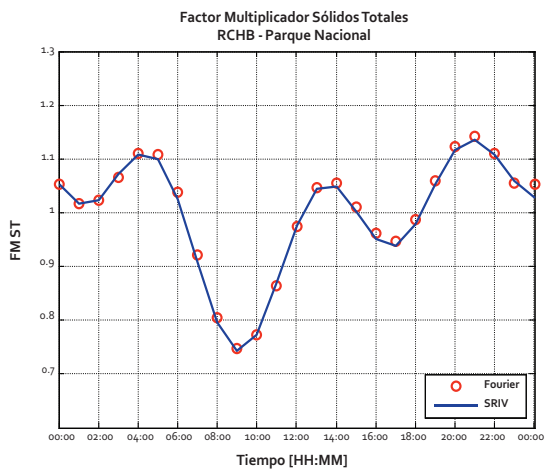


FIG. 4.16. Variación horaria del factor multiplicador de fósforo (río Salitre)

Para el caso de nutrientes (figs. 4.15 y 4.16), la dinámica observada es la misma para los dos puntos de monitoreo más bajos; se observa en el punto NQS-calle 53 un aumento súbito en la carga del NTK y fósforo, el cual se da en los momentos en que se presentan las mayores descargas de estos

elementos por parte de los hogares; horas más tarde, asociado al tiempo de viaje del agua en el río, se aprecian claramente los mismos picos de nutrientes aguas abajo de este punto. Una clara contaminación por parte de aguas residuales domésticas se aprecian en el río Salitre.



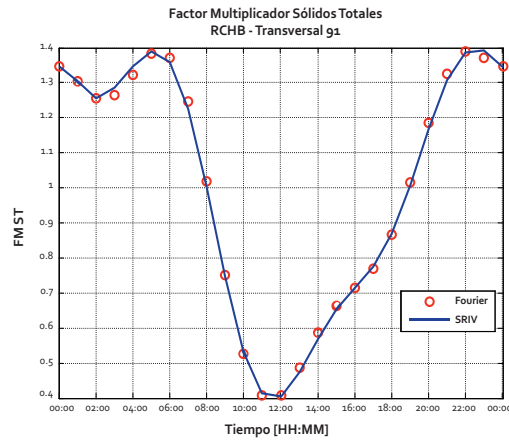
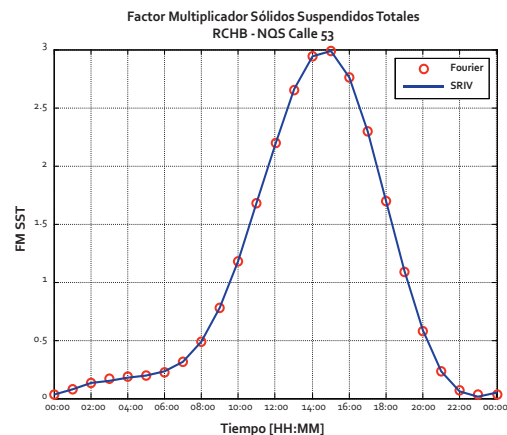
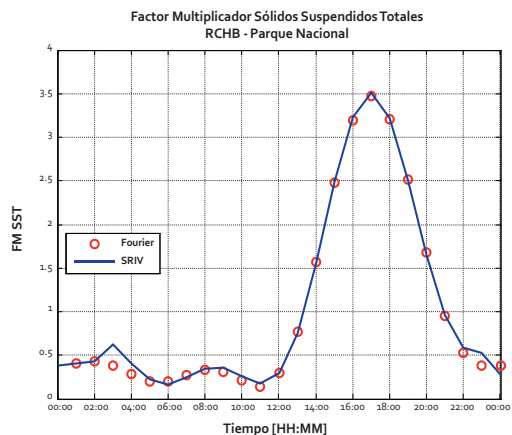


Fig. 4.17. Variación horaria del factor multiplicador de los ST (río Salitre)

En el caso de los sólidos totales y de los sólidos suspendidos totales (figs. 4.17 y 4.18), la dinámica apreciada para el punto del Parque Nacional es similar a la observada para materia orgánica y nutrientes; no tan alta afectación por aguas residuales domésticas se aprecia en este tramo. De forma similar para los puntos NQS-calle 53 y transversal 91, la dinámica de los factores multiplicadores para los sólidos está absolutamente relacionada con la contemplada para la materia orgánica y los nutrientes, un nuevo elemento que permite corroborar la afectación en los tramos medios y bajos del río por parte de vertimientos de origen doméstico. Los tiempos de rezago para los sólidos totales y

suspendidos totales son casi exactamente los mismos que los estudiados para los otros parámetros monitoreados.

De nuevo es muy importante resaltar que, si bien el potencial uso como herramienta predictiva que tienen estas curvas de factor multiplicador es muy alto, éstas fueron generadas sólo a partir de una única campaña de monitoreo de veinticuatro horas en cada punto para unas condiciones hidroclimáticas específicas, razón por la cual es indispensable realizar más campañas de este tipo, que permitan robustecer la información de la dinámica del comportamiento del agua en cada uno de los tramos de los ríos constituyentes de la RCHB.



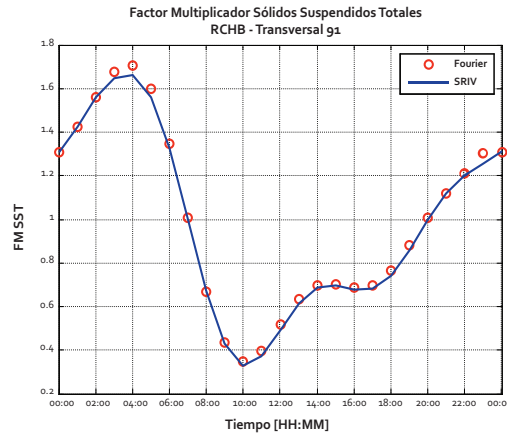


FIG. 4.18. Variación horaria del factor multiplicador de los SST (río Salitre)

### 4.4. Modelo de calidad del agua

#### 4.4.1. Aforos de caudal

Los caudales medidos en los veintinueve puntos de monitoreo (figs. 4.19 y 4.20), definidos para el río Salitre en las campañas de seguimiento de masa realizadas para cada sector, se presentan en la tabla 4.15. En la

columna tres se resaltan en color gris los puntos correspondientes a aforos elaborados en el río propiamente, los cuales se muestran gráficamente en la figura 4.21. La campaña de seguimiento de masa hecha para el río Salitre se realizó en dos días diferentes (19 y 20 de noviembre 2008), por lo cual se observan discontinuidades en los perfiles de los parámetros monitoreados.



FIG. 4.19. Distribución de los puntos de monitoreo (sector 1: campaña de seguimiento de masa)

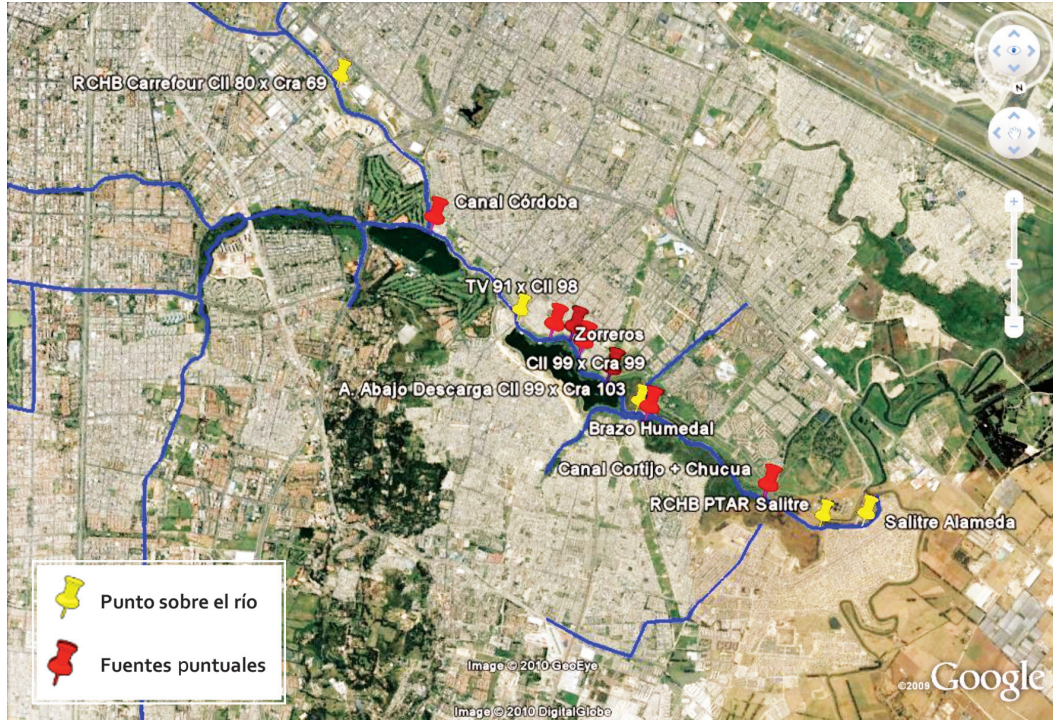


FIG. 4.20. Distribución de puntos de monitoreo (sector 2: campaña de seguimiento de masa)

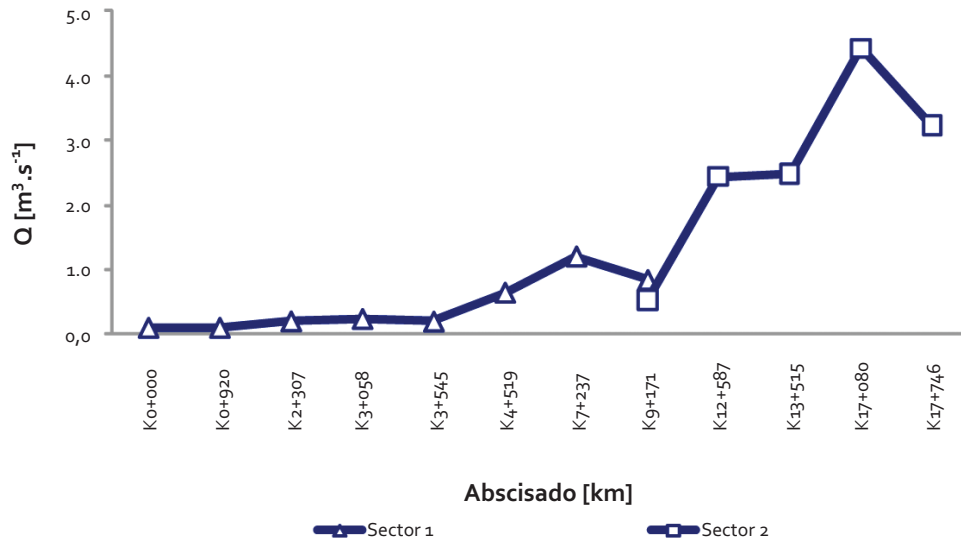


FIG. 4.21. Perfil longitudinal del caudal observado (campaña de seguimiento de masa, río Salitre)

TABLA 4.15. Caudales observados en los puntos de monitoreo (campaña de seguimiento de masa)

Sector	Estación	Tipo	Abcisado km	Fecha C <sub>1</sub>	Hora C <sub>1</sub>	Caudal [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ] C <sub>1</sub>
Sector 1	Parque Nacional	Río 1	K0+000	19/11/2008	9:05	0,111
	Canal Abierto Paraiso + Quebradita	1. Descarga tipo 1	K0+517	19/11/2008	8:40	0,009
	Descarga después de baños	2. Descarga tipo 2	K0+715	19/11/2008	10:15	0,065
	Carrera 7ª con calle 39	Río 2	K0+920	19/11/2008	9:59	0,111
	Aguas arriba descarga calle 45 con carrera 24	Río 3	K2+307	19/11/2008	10:55	0,209
	Calle 45 con carrera 24 (debajo del puente)	3. Descarga tipo 1	K2+330	19/11/2008	10:35	0,002
	Aguas abajo calle 45 con carrera 24	4. Descarga tipo 1	K2+366	19/11/2008	11:10	0,075
	Carrera 30 con calle 49A	Río 4	K3+058	19/11/2008	11:55	0,247
	Carrera 30 con calle 53	Río 5	K3+545	19/11/2008	13:00	0,206
	NQS calle 53	5. Descarga tipo 1	K3+728	19/11/2008	11:36	0,218
	Colector Las Delicias (NQS-calle 62)	6. Descarga tipo 1	K4+469	19/11/2008	12:43	0,185
	Aguas abajo-colector Las Delicias	Río 6	K4+519	19/11/2008	13:10	0,650
	NQS calle 68	7. Descarga tipo 1	K5+644	19/11/2008	13:45	0,044
	Colector La Vieja-carrera 50 con calle 70	8. Descarga tipo 1	K6+151	19/11/2008	14:15	0,169
	Aguas arriba-carrera 49 con calle 80A	Río 7	K7+237	19/11/2008	14:14	1,204
	Canal río Negro-Transversal 65 con calle 80A	9. Descarga tipo 1	K8+286	19/11/2008	17:05	0,373
	Río Nuevo-Transversal 66 con calle 80A	10. Descarga tipo 1	K8+303	19/11/2008	16:15	0,282
Carrefour 80 con carrera 69	Río 8	K9+171	19/11/2008	18:00	0,844	
Sector 2	Carrefour 80-carrera 69	Río 8	K9+171	20/11/2008	09:00	0,534
	Canal Humedal Córdoba-calle 91 con carrera 74	11. Descarga tipo 1	K11+072	20/11/2008	09:35	0,687
	Transversal 91 con calle 98	Río 9	K12+587	20/11/2008	10:12	2,441
	Calle 97 con carrera 98 (Zorreros)	12. Descarga tipo 1	K12+815	20/11/2008	11:05	0,003
	Parque Infantil-calle 98 con carrera 96	13. Descarga tipo 1	K13+059	20/11/2008	12:10	0,012
	Calle 99 con carrera 99	14. Descarga tipo 1	K13+268	20/11/2008	11:25	0,004
	Calle 99 con carrera 103	15. Descarga tipo 2	K13+458	20/11/2008	12:35	0,014

(Cont.)

Sector	Estación	Tipo	Abscisado km	Fecha C <sub>1</sub>	Hora C <sub>1</sub>	Caudal [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ] C <sub>1</sub>
	Aguas abajo descarga calle 99 con carrera 103	Río 10	K13+515	20/11/2008	12:20	2,474
	Descarga brazo del humedal	16. Descarga tipo 1	K14+478	20/11/2008	13:25	0,277
	Descarga canal Cortijo + Chucua	17. Descarga tipo 1	K14+532	20/11/2008	14:30	0,148
	Estación fija-PTAR Salitre	Río 11	K17+080	20/11/2008	15:45	4,423
	Salitre Alameda	Río 12	K17+746	20/11/2008	16:35	3,235

En las figuras 4.19-4.22 se pueden observar las fuentes puntuales más importantes desde el punto de vista del caudal vertido sobre el río Salitre para la fecha en la que se realizó el seguimiento de masa, la hora en la cual se hizo el aforo del caudal y la respectiva muestra para su análisis. Se resaltan los vertimientos, en particular de las fuentes puntuales del sector 1: NQS con calle 53-(K3+728)-(ST-3-24)-(ST-3-24), canal río Negro-transversal 65 con calle 80A-(K8+286)-(ST-3-232), canal río Nuevo-transversal 66 con calle 80A-(K8+303)-(ST-3-233); y del sector 2 de modelación: canal Humedal Córdoba-(K11+072), descarga brazo del humedal-(K14+478), descarga canal Cortijo + Chucua-(K14+532).

#### 4.4.2. Determinantes de calidad

Este análisis se presenta sólo para el oxígeno disuelto, la DBO y los SST, aun cuando para los otros parámetros se generó información similar. En la figura 4.23 se puede observar un decaimiento en la concentración de oxígeno disuelto en el río Salitre, el cual muestra valores aceptables sólo hasta el K5+000, alcanzando, finalmente, condiciones anaerobias en el punto RCHB-Carrefour avenida 68-(K9+171); estas condiciones se mantienen hasta la desembocadura en el río Bogotá.

El mayor valor registrado para la OD en el río Salitre se presenta en el punto más alto aguas arriba del sector 1 y corresponde a 8,92 mg.L<sup>-1</sup>. La reducción de este parámetro evidencia los procesos de oxidación de la materia orgánica que llega al río gracias a los vertimientos de las fuentes puntuales asociadas a este cauce. En ninguno de los dos sectores donde se realizaron mediciones de la OD durante esta campaña, se registran efectos de recuperación en el nivel de la OD; incluso en horas de la noche, en las que se esperaría una mejoría por la disminución de aportes considerables de aguas residuales con concentraciones altas de materia orgánica que pueda demandar altas cantidades de oxígeno para su degradación, no se presenta reparación alguna. Este comportamiento del oxígeno disuelto se puede deber a la gran cantidad de materia orgánica que llega al río Salitre durante el día, de manera que en las horas de la noche los procesos de oxidación continúan siendo importantes en el río evitando su recuperación.

Las condiciones de calidad del agua desde el punto de vista de la concentración de materia orgánica biodegradable en la parte alta del río son muy buenas. Los datos reportados registran concentraciones de la DBO total y soluble muy bajas, características de aguas

con una buena calidad (fig. 4.24). Finalizando el sector 1 se presenta un incremento importante de la concentración de este parámetro, el cual corresponde con los caudales aportados por los diferentes vertimientos (fig. 4.22), y a la degradación de la materia orgánica. Hasta el punto sobre el río aguas arriba descarga calle 45 con carrera 24-(K2+307), los valores de la DBO sobre el río se encuentran por debajo de 20 mg.L<sup>-1</sup>. A partir del punto *carrera 30 con calle 49A-(K3+058)* se identifica un incremento en las concentraciones de la

DBO, alcanzando niveles por encima de 100 mg.L<sup>-1</sup>, con una concentración máxima de 123 mg.L<sup>-1</sup> en el punto aguas abajo *colector Las Delicias-(K4+519)*. Se observa después una reducción en la concentración de la DBO a partir del punto aguas arriba *carrera 49 con calle 80A-(K7+237)*, asociado al posible efecto de dilución de las descargas de la zona del humedal Córdoba y el Club Los Lagartos, manteniendo concentraciones entre 100 y 40 mg.L<sup>-1</sup> para la DBO a lo largo de toda la cuenca alta-media, media y baja del río.

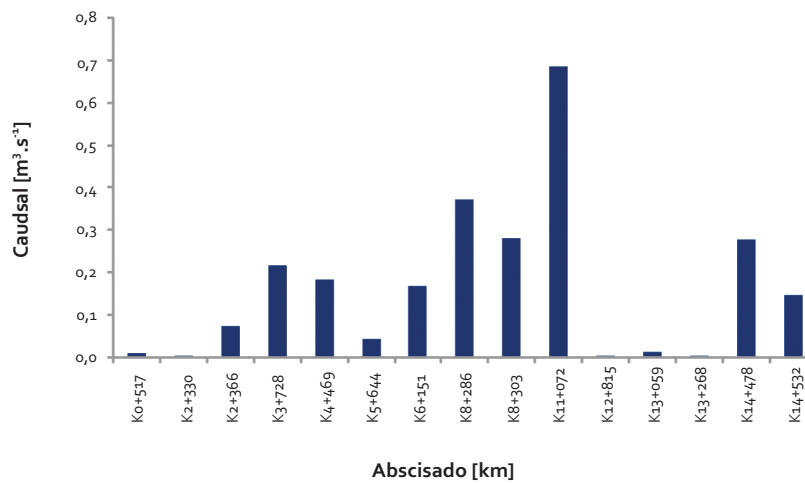


FIG. 4.22. Caudales observados para las fuentes puntuales (campaña de seguimiento de masa)

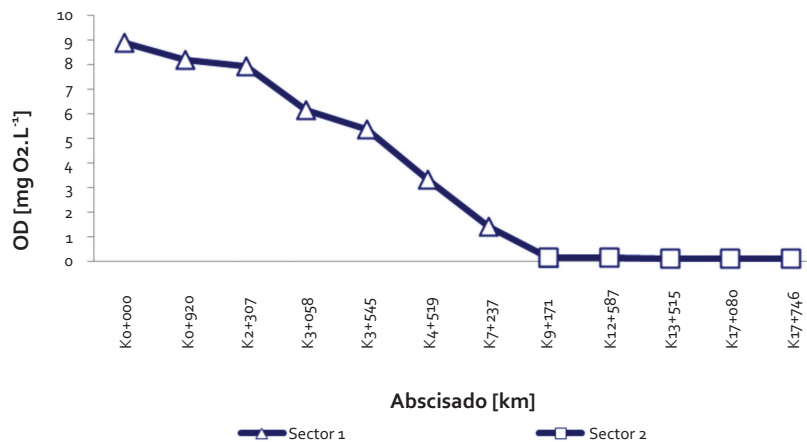


FIG. 4.23. Perfil longitudinal de la od (campaña de seguimiento de masa)

En las figuras 4.24 y 4.25 se observa que los principales aportes de la DBO sobre el río Salitre se presentan en el tramo 2 y 3, y corresponden a las descargas *NAS con calle 53-(K3+728)-(ST-3-24)*, *colector Las Delicias-NAS con calle 62*

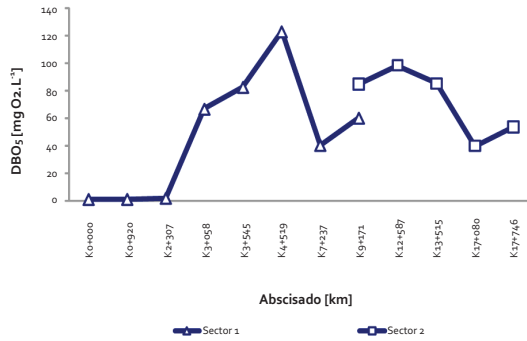


FIG. 4.24. Perfil longitudinal de la DBO (campaña de seguimiento de masa)

*-(K4+469)-(ST-3-46)*, *colector La Vieja-carrera 50 con calle 70-(K6+151)-(ST-3-155)*; *canal Río Negro-transversal 65 con calle 80A-(K8+286)-(ST-3-232)*; y *canal Río Nuevo-transversal 66 con calle 80A-(K8+303)-(ST-3-233)*.

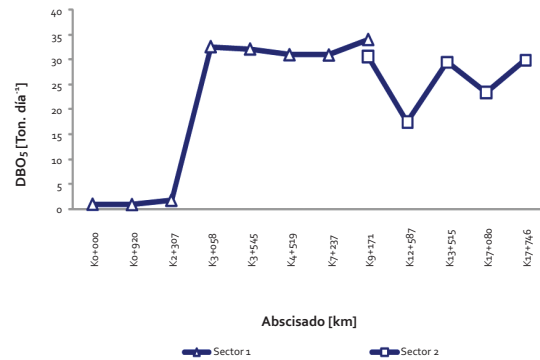


FIG. 4.25. Carga contaminante de la DBO (campaña de seguimiento de masa)

Como se observa en la figura 4.26, el comportamiento de los sólidos suspendidos es consistente con la variación de las concentraciones de la materia orgánica en el cuerpo de agua, presentando incrementos de concentraciones importantes desde el punto *carrera 30 con calle 49A-(K3+058)* y los valores más altos en el punto aguas abajo *colector Las Delicias-(K4+519)*. Luego se tiene lugar un descenso para incrementarse

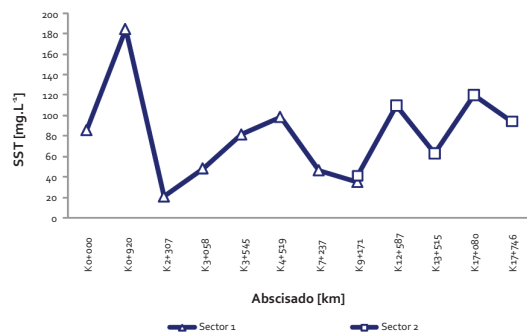


FIG. 4.26. Perfil longitudinal de los SST (campaña de seguimiento de masa)

nuevamente en el tramo final alcanzando un pico en el punto *transversal 91 con calle 98-(K12+587)*. Los aportes más importantes para los SST y los SSV (fig. 4.27) corresponden a las descargas *NAS con calle 53-(K3+728)-(ST-3-24)* y *canal Río Negro-transversal 65 con calle 80A-(K8+286)-(ST-2-232)* en el primer sector del seguimiento de masa, mientras que para el segundo sector el mayor aporte correspondió a la descarga *Humedal Córdoba-(K11+072)*.

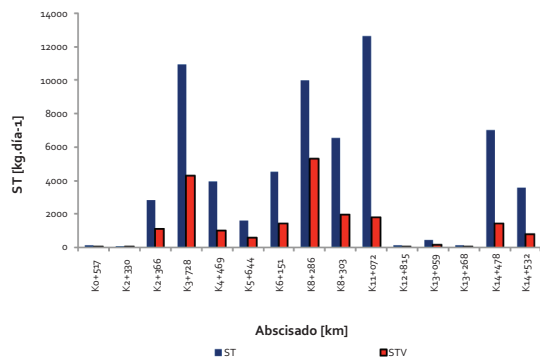


FIG. 4.27. Carga contaminante de los SST (campaña de seguimiento de masa)

#### 4.4.3. Escenarios de saneamiento

Una vez se calibró el modelo de calidad de agua para el río Salitre a partir de los seguimientos de masa realizados, se modelaron dos diferentes escenarios de saneamiento basados en la eliminación de los vertimientos directos (primer escenario) y de los alivios que se encuentran descargando agua residual en tiempo seco (segundo escenario). Los resultados (se presentan sólo para la OD, la DBO y la DQO) de las simulaciones de los

escenarios se muestran en la figura 4.28. En ella se resalta la influencia en las características del agua de las descargas aguas abajo *calle 45 con carrera 24-(K2+366)-(ST-2-24)* y *NQS con calle 53-(K3+728)-(ST-3-24)*, las cuales prácticamente definen las condiciones en que es entregada el agua transportada por la corriente al río Bogotá. La tabla 4.16 da a conocer las descargas que fueron eliminadas para generar los resultados en la simulación de los escenarios de saneamiento.

TABLA 4.16. Fuentes puntuales eliminadas para la generación de escenarios de saneamiento

Sector	Punto	Tipo	Abscisado (km)
Sector 1	Canal abierto paraíso + quebradita	Alivio	K0+517
	Calle 45 con carrera 24 (debajo del puente)	Alivio	K2+330
	Aguas abajo calle 45 con carrera 24	Alivio	K2+366
	Carrera 30 con calle 49A	Alivio	K3+058
	NQS-calle 53	Alivio	K3+728
	Colector Las Delicias (NQS-calle 62)	Alivio	K4+469
	NQS-calle 68	Alivio	K5+644
	Colector La Vieja-carrera 50 con calle 70	Alivio	K6+151
Sector 2	Calle 97 con carrera 98 (Zorreros)	Descarga directa	K12+815
	Parque Infantil-calle 98 con carrera 96	Descarga directa	K13+059
	Calle 99 con carrera 99	Descarga directa	K13+268
	Descarga brazo del humedal	Descarga directa	K14+478
	Descarga canal Cortijo + Chucua	Descarga directa	K14+532

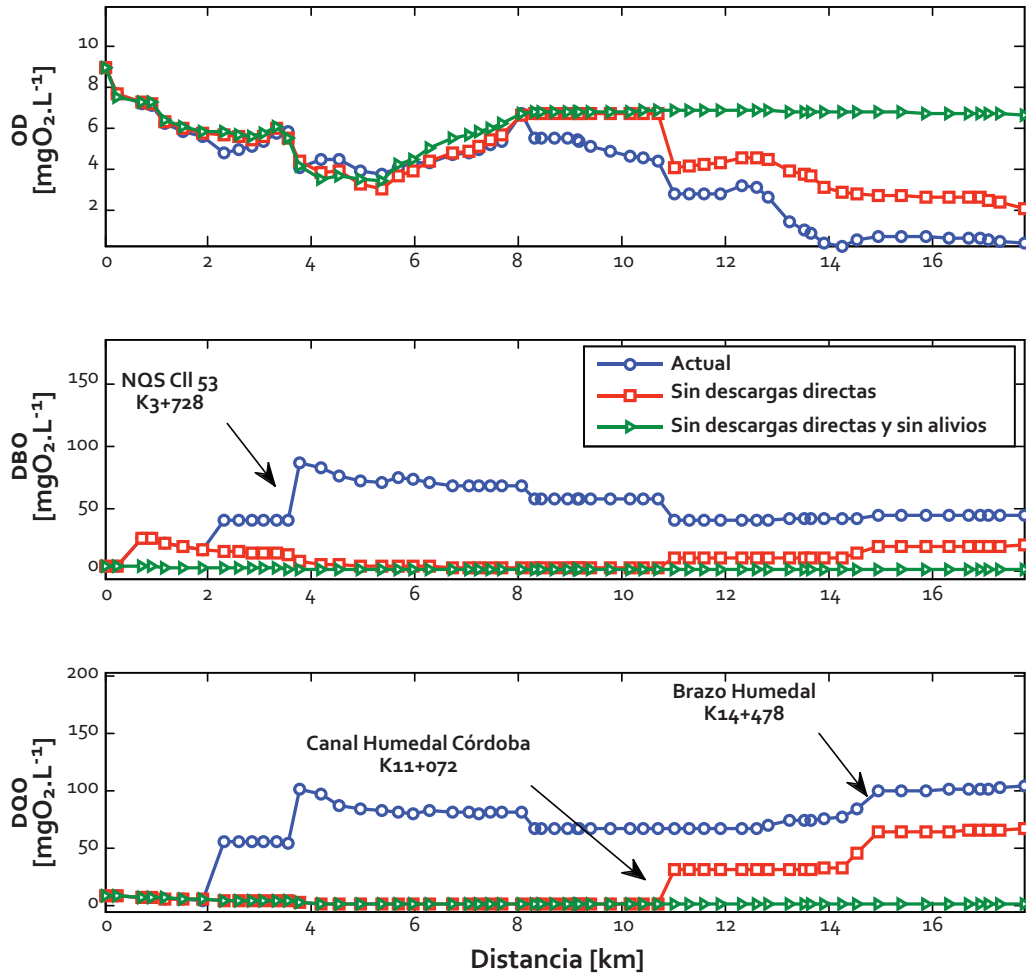


FIG. 4.28. Comparación de los escenarios de saneamiento (río Salitre)

## 4.5. Resultados de los monitoreos específicos

### 4.5.1. Sedimentos

Se tomaron muestras en tres puntos a lo largo del río Salitre, cuyos resultados se presentan en la tabla 4.17. En la figura 4.29 se muestran los contenidos de metales para los puntos monitoreados en el río Salitre. Las mayores concentraciones a lo largo del río

Salitre se encontraron para cinc, especialmente en el punto *Salitre Alameda (K17+746)*. Asimismo, para todos los metales se observa una mayor concentración en el punto *Salitre Alameda (K17+746)*, lo cual está asociado a que, en este punto, ya se han recibido todas las descargas de aguas residuales que pueden tener presencia de metales, los cuales se acumulan en el sedimento hasta alcanzar los valores aquí reportados.

TABLA 4.17. Características de los sedimentos (río Salitre)

Parámetro	Unidades	Puntos de monitoreo (río Salitre)		
		Carrefour Avenida 68	Transversal 91	Salitre Alameda
pH	Unidades de pH	7,33	7,49	7,39
ORP	mV	-174,3	-178,8	-172,6
Humedad	%	18,65	29,01	71,35
Sólidos totales	%	81,35	70,99	28,65
Fósforo total	%P-BS	0,04	0,04	0,27
Nitrógeno total	%N-BS	0,18	0,17	1,51
Demanda béntica endógena	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -día	3,93	1,19	1,82
Demanda béntica exógena	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -día	2,48	1,44	3,46
Arsénico	mg As.Kg <sup>-1</sup>	0,91	1,04	2,48
Cadmio	mg Cd.Kg <sup>-1</sup>	1,18	1,60	3,05
Cinc	mg Zn.Kg <sup>-1</sup>	99,92	124,37	427,15
Cromo total	mg Cr.Kg <sup>-1</sup>	8,58	9,60	30,20
Mercurio	mg Hg.Kg <sup>-1</sup>	20,50	23,60	55,90
Plomo	mg Pb.Kg <sup>-1</sup>	18,34	29,90	78,37

Al comparar estos contenidos de metales con las referencias de la EPA, Canadá y Francia, no se reporta ningún punto de monitoreo que cumpla con todas las referencias estudiadas. Según la Norma EPA 905/R-00/007, 2000, los valores reportados para el río Salitre no presentan efectos probables, severos o tóxicos para el arsénico, el cromo y el plomo, ya que las concentraciones se encuentran por debajo del límite de peligrosidad. Sin embargo, para el punto *Salitre Alameda (K17+746)* las concentraciones de cadmio y cinc superan los valores sugeridos por esta norma, indicando un umbral de efecto tóxico para el cadmio y de efecto probable para el cinc. Comparando frente a la norma

canadiense para la preservación de la flora y la fauna, las concentraciones de cadmio, cinc, cromo y plomo reportadas para el punto *Salitre Alameda (K17+746)* exceden los valores sugeridos e indican un efecto bajo. Aparte de este punto de monitoreo, la concentración de cinc es excedida en la *transversal 91 (K12+587)* indicando también un efecto bajo según esta norma.

Como se mencionó en el capítulo 3, la norma francesa es mucho más restrictiva que la referencia de Canadá; para el caso de los valores reportados en el río Salitre todas las concentraciones de los metales exceden los valores sugeridos para garantizar la preservación de la flora y la fauna de la zona.

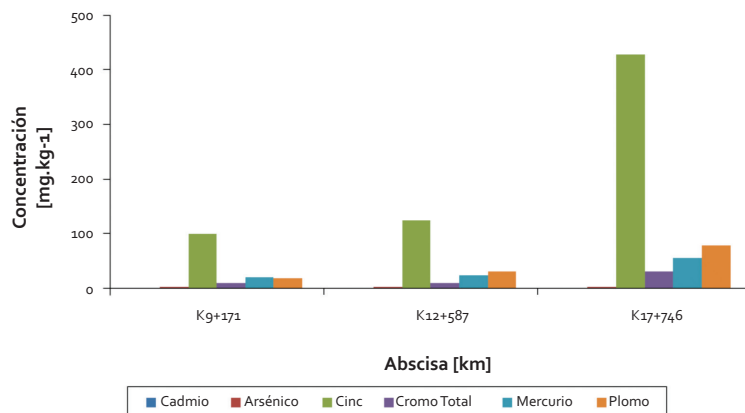


FIG. 4.29. Contenido metales sedimentos (río Salitre)

En el caso del mercurio, los valores reportados para el río Salitre son considerablemente superiores a los estándares, alcanzando concentraciones de hasta treinta veces el valor que causa efectos severos ( $2 \text{ mgHg.kg}^{-3}$ ). Al igual que para el río Torca, se evidencia una problemática ambiental de considerable atención.

En cuanto al contenido de nutrientes en los sedimentos, se observó un aumento a medida que éste se acerca a la desembocadura del río Bogotá. Esto es de esperar, ya que a medida que avanza el río el impacto de las descargas de agua residual es mayor. Se puede evidenciar un mayor contenido de nitrógeno que de fósforo en los tres puntos monitoreados, sobresaliendo de nuevo el

punto *Salitre Alameda (K17+746)*, que reporta valores considerablemente más altos que los demás puntos muestreados.

Si se observa la figura 4.30, la demanda béntica de los sedimentos en el río Salitre es mayor en los puntos *Carrefour avenida 68 (K9+171)* y *Salitre Alameda (K17+746)*; esto era de esperar puesto que en estos puntos la cantidad de sedimento presente es considerablemente alta; por lo tanto, los procesos de degradación béntica de los sedimentos requieren altas cantidades de oxígeno disuelto del agua sobrenadante. Este proceso de descomposición se evidencia con los altos valores reportados de demanda de los sedimentos.

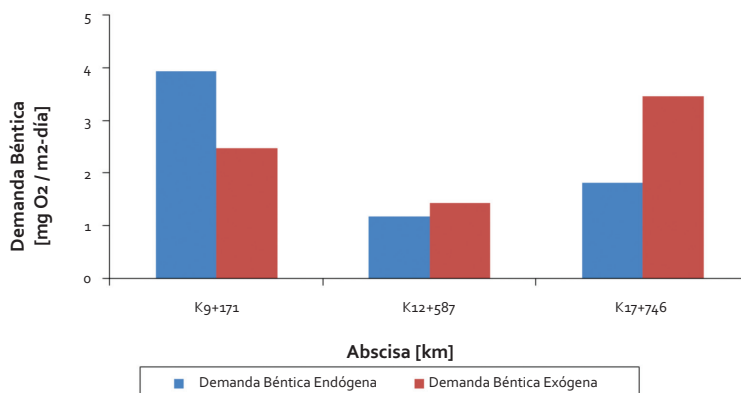


FIG. 4.30. Demanda béntica (río Salitre)

#### 4.5.2. Monitoreo de patógenos

Se tomaron muestras en cuatro puntos a lo largo del río (tabla 4.18). En general, se puede observar que los patógenos que predominan son los coliformes totales y fecales, lo que concuerda con el origen doméstico

mayoritario de los vertimientos recibidos por el río; en una menor proporción se encuentran *E. coli* y fagos somáticos. No se detectó presencia de *Salmonella* spp. y existe presencia de una mínima concentración de huevos de helminto.

TABLA 4.18. Patógenos (río Salitre)

Parámetro	Unidad	Puntos de monitoreo			
		Parque Nacional	Carrera 30 con calle 53	Carrefour avenida 68	Salitre Alameda
		13:30	11:50	10:00	10:20
Coliformes totales	UFC.100 mL <sup>-1</sup>	3,60E+02	Incontables	3,00E+07	3,00E+07
Coliformes fecales	NMP.100 mL <sup>-1</sup>	7,00E+02	2,20E+05	1,10E+07	1,70E+06
<i>E. coli</i>	UFC.100 mL <sup>-1</sup>	1,0E+02	6,1E+05	1,0E+07	1,2E+06
<i>Salmonella</i> spp.	UFC.100 mL <sup>-1</sup>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Fagos somáticos	PFU.100 mL <sup>-1</sup>	8,0E+04	8,9E+05	3,1E+05	1,2E+05
Huevos de helminto	HH.L <sup>-1</sup>	< 0,05*	< 0,05*	0,20	0,20

A diferencia del río Torca, hay una mayor proporción de microorganismos *E. coli*. No se detecta presencia de *Salmonella* spp., pero se reportan valores más altos de concentración de huevos de helminto hacia la cuenca baja del río. Se nota una mayor concentración de patógenos en el punto *Carrefour avenida 68 (K9+171)* causada por las numerosas descargas de aguas residuales domésticas aguas arriba, entre éstas, quizá la de mayor impacto, el *canal río Nuevo (K8+286)*, con concentraciones de patógenos de hasta siete órdenes de magnitud. Para el último punto, antes de su desembocadura al río Bogotá, *Salitre Alameda (K17+746)*, se reportan menores concentraciones que en el punto aguas arriba. Al igual que el río Torca, el río Salitre presenta bajas velocidades al aproximarse al río Bogotá; por lo tanto, se puede explicar

esta disminución en la concentración de patógenos por procesos de sedimentación.

Al comparar estas concentraciones con la referencia de la OECB, se puede observar que, para las coliformes totales y fecales, la calidad de agua en el río Salitre se podría destinar a la generación de energía (clase V), ya que la calidad del agua respecto al contenido de patógenos es muy mala para considerar otro tipo de uso. Para el punto *Parque Nacional (K0+000)*, la concentración de los coliformes totales permite clasificar el agua como clase I, agua de buena calidad, y que puede destinarse para cualquier uso. Para el caso de *E. coli*, las concentraciones reportadas para el río Salitre permiten destinar el agua a clase II para el punto *Parque Nacional (K0+000)*, mientras que, para el resto de puntos, el agua se puede destinar a clase IV y clase V.

Las concentraciones reportadas para los fagos somáticos y los huevos de helminto sólo cumplen con los criterios de uso para la clase V. Respecto a *Salmonella* spp., la OECB no sugiere estándares para ningún uso del agua; sin embargo, los valores medidos para el río Salitre reportan ausencia en los cuatro puntos muestreados.

Como se mencionó, en el Decreto 1594 de 1984 sólo se encuentran concentraciones sugeridas para coliformes totales y fecales. De acuerdo con los diferentes usos del agua que se exponen en éste, la calidad del río Salitre a la altura del punto *Parque Nacional (K0+000)* podría destinarse a tratamiento convencional, a desinfección y uso agrícola. En el caso de los puntos aguas abajo, no se podría destinar a ningún uso, teniendo en cuenta los valores reportados de indicadores de patógenos.

#### 4.5.3. Monitoreo de las sustancias especiales

##### 4.5.3.1. Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno

Las concentraciones de benceno y de etilbenceno en los sitios de monitoreo sobre el río Salitre fueron inferiores al límite de detección, lo cual se puede deber principalmente a su poca presencia y solubilidad en el agua y al hecho de que se evaporan rápidamente. En todo caso, para el benceno se encuentra por debajo de todos los límites máximos permisibles, los cuales varían en un rango de 0,01-1,5  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Por su parte, los valores registrados para el etilbenceno no superan los límites máximos permisibles para el agua potable. Las mayores concentraciones se registraron en el punto *Carrefour avenida 68 (K9+171)* con una concentración de 0,0021  $\text{mg.L}^{-1}$ .

Para el tolueno se registraron concentraciones por encima del límite de detección.

A pesar de ser una sustancia poco soluble en agua, se encuentra en concentraciones que superan el máximo permisible para agua potable, pero se mantiene por debajo del valor máximo para descargas a cuerpos de agua fluviales. Las concentraciones más altas de tolueno se encontraron en el punto *PTAR Salitre (K17+080)*. Ellas no se relacionan con una descarga puntual importante, sino con varias descargas que se presentan a lo largo de los diferentes tramos. La solubilidad de tal sustancia es suficiente para provocar problemas de contaminación en el agua.

Finalmente, el xileno presentó bajas concentraciones, posiblemente debido a su rápida evaporación y a que es degradado por microorganismos en el agua. Ninguna de las concentraciones registradas supera los límites máximos permisibles para agua potable o descargas a cuerpos de agua fluviales.

##### 4.5.3.2. Pesticidas

En el caso de los pesticidas organoclorados (POC), se puede observar que todas las muestras registraron concentraciones menores que el nivel mínimo de detección para todos los parámetros determinados. En su totalidad, no cumplen con el nivel máximo permisible de la norma colombiana para agua potable, pero las concentraciones se encontraron por debajo de los límites establecidos para las descargas tanto para alcantarillados como para agua dulce y agua marina. De igual manera cumplió con los límites determinados para agua que puede ser destinada a uso agrícola, pecuario o fines recreativos. Los resultados obtenidos para los pesticidas organofosforados registraron concentraciones menores que el nivel mínimo de detección para todos los parámetros determinados.

#### 4.5.3.3. Bifenilos policlorados e hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los análisis de laboratorio arrojaron como resultado concentraciones menores que el nivel mínimo de detección para los PCB en los puntos monitoreados sobre el río Salitre. Por otro lado, los niveles mínimos de detección son superiores a los límites máximos permisibles determinados para el agua de consumo humano y el agua destinada a la preservación de la flora y la fauna. En el caso de los PAH a lo largo de los puntos monitoreados no se registraron concentraciones superiores al nivel mínimo de detección.

#### 4.5.4. Monitoreo limnológico

##### 4.5.4.1. Categorización de los puntos de monitoreo según la calidad del hábitat

La condición subóptima del estado físico en la entrada al perímetro urbano del río Salitre

se presentó en el punto Arzobispo, ubicada en los límites del Parque Nacional. Allí, el río Salitre no sólo ha sido modificado por estructuras de ingeniería (tanques y canales), sino que sus riberas han sido transformadas, y los pinos y el eucalipto dispersos no aportan ni la estabilidad ni la cobertura necesaria. De igual forma, los sustratos y el hábitat están cubiertos por materia orgánica particulada fina que evidencia aportes domésticos o arrastres difusos de detritus, ambos generadores de pérdida de hábitat disponibles para invertebrados del bentos o algas del perifiton (Covich, 2006). Los efectos de canalización y pérdida de la condición fluvial de este cuerpo de agua en los tramos medio y bajo son los similares que lo observado para el río Torca, llevando al río Salitre un estado pobre físicamente en el resto de su recorrido (tabla 4.19).

TABLA 4.19. Estado de los puntos monitoreados (valoración multihábitat para las comunidades del bentos)

Afluente	Punto	Calificación	Categorización
			Categoría
Salitre	Arzobispo	120	Subóptimo
	Calle 45 con carrera 24	40	Pobre
	Calle 80 con carrera 49	35	Pobre
	Calle 99 con carrera 103	35	Pobre

##### 4.5.4.2. Categorización de los puntos de monitoreo según los macroinvertebrados del bentos

Durante los dos muestreos se colectaron 1040 individuos que se determinaron en 49 taxones inferiores (la mayoría en cuanto género) que pertenecen a 5 *phylum*, 10 clases y 35 familias. A diferencia de las condiciones características de los ambientes de montaña de Suramérica (Domínguez y Fernández, 2009), la fauna de insectos de los órdenes

*Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera* es pobre en especies e individuos. Esto puede indicar la pérdida de integralidad ecológica de los afluentes, en especial porque los taxones colectados son en su mayoría especies de alta tolerancia ecológica, resistentes a la contaminación. Un hecho significativo a escala regional es que del total de taxones colectados e identificados, cada río aporta de manera independiente cerca del 20% de la fauna, mientras que los taxones comunes resultan ser menos del 30%.

Al igual que con el río Torca, para este río sólo se obtuvieron organismos en el punto ubicado en la entrada al perímetro urbano. Tiene muy bajo valor de riqueza en ambos muestreos, y en general los organismos colectados corresponden siempre a aquellos taxones considerados como altamente tolerantes a la contaminación o deterioro ecológico. La degradación del hábitat es uno de los principales problemas que enfrentan los ríos urbanos y esta condición afecta directamente la diversidad biológica de estos sistemas tal como se ha establecido para ríos altamente degradados (Covich, 2006).

#### 4.5.4.3. *Perifiton*

Los muestreos de perifiton efectuados en este río lo hacen muy similar en sentido longitudinal al río Fucha para el muestreo de febrero de 2009, en cuanto a su valor de calidad

ambiental basado en diatomeas. Sin embargo, es en número de taxa y riqueza de Margalef el de menores valores, incluso en su cabecera, especialmente en el muestreo de diciembre. La capacidad indicadora del perifiton de la pobreza de hábitat es igualmente significativa en comparación con la calidad del hábitat de los puntos muestreados. De manera similar a lo indicado por los macroinvertebrados, hay una relación exponencial directa e importante entre la condición óptima física de los hábitats y la calificación del índice de taxa de diatomeas usado para estos muestreos. Así, es claro que el deterioro físico y la pésima calidad de agua que se mide en los afluentes en la parte baja y media genera cambios exponenciales en la calidad ambiental del sistema, reduciendo su composición biológica a sólo aquellos organismos relacionados con pésimos estados ambientales como los protozoos.

## 5. EL RÍO FUCHA

La cuenca del río Fucha comprende los canales San Blas, los Comuneros, Albina, río Seco y las quebradas Los Laches, San Cristóbal, La Peña, Santa Isabel,

entre otras cuya área tiene aproximadamente 17.536 hectáreas y su principal río una longitud de 24,34 km (fig. 5.1).



FIG. 5.1. Río Fucha

### 5.1. Resultados del monitoreo físicoquímico

#### 5.1.1. Bandas históricas

Se presentan los resultados de los monitoreos físicoquímicos efectuados sobre el río Fucha dentro del Convenio 069 de 2007 para los metales (bario, cadmio, cinc, cobre, cromo, manganeso, plomo y níquel), algunas sustancias tóxicas (arsénico, cianuros, fenoles,

sulfuros), grasas y aceites y las sustancias activas al azul de metileno (SAAM). Este tipo de análisis se hizo con el propósito de realizar comparativos entre los resultados históricos de monitoreo en el río Fucha frente a los de seguimiento ejecutados durante 2008 y 2009. Para cada punto específico de monitoreo, se presentan los resultados históricos medidos (mínimo, mediana y máximo) y los valores obtenidos en las dos campañas de monitoreo de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB).

En general, las curvas de bandas históricas para los diferentes parámetros tienen un comportamiento similar en ambas campañas y se encuentran dentro de los valores históricos. Asimismo, coinciden con la calidad del agua residual en cada zona, como en caso del manganeso y del níquel, ampliamente utilizados a nivel industrial, lo cual se ve reflejado en puntos como *Zona Franca*.

Se observan valores de la DBO mayores en los puntos *avenida Ferrocarril* y *Visión Colombia* asociados a las descargas domésticas que ha recibido en río aguas arriba. Los valores para la DQO son coherentes con los registros históricos y siguen una tendencia similar a lo largo del río; mientras los valores de oxígeno disuelto para estos puntos tienden a ser cero en las dos campañas. Se observa que el plomo tiene valores muy bajos para todos los puntos y se encuentra por debajo de su máximo histórico.

El contenido de los SST es inferior a 1000 ppm para el río y alcanza el valor máximo en *Zona Franca*, probablemente debido a los aportes de las descargas domésticas y del canal de aguas lluvias en este punto; este mismo comportamiento es registrado para sulfuros los cuales también se encuentran fuertemente relacionados con aguas residuales domésticas maduras. Con relación a los coliformes, también se observan valores máximos en los puntos *avenida Ferrocarril* y *Visión Colombia*, nuevamente por las grandes descargas de agua residual doméstica. En el caso del arsénico y mercurio no se registraron valores detectables para los monitoreos.

En la campaña 1 el valor de la concentración de bario en *Zona Franca* fue superior a los valores máximos históricos registrados para este punto, situación relativamente similar para el cianuro donde las concentraciones encontradas en campaña 2 fueron superiores

a los registros históricos. Estas dos sustancias tienen origen mayoritariamente industrial (p. ej. acabado de superficies), lo cual es concordante con el uso del suelo de las áreas aferentes a los puntos monitoreados y de mayor concentración.

Para el caso de los nutrientes se observó que la concentración de fósforo fue mayor al máximo del histórico en el punto Visión Colombia. La concentración de nitrógeno amoniacal y NTK en *avenida Ferrocarril* alcanzaron valores superiores a los valores máximos históricos. Estos tres parámetros tienen como aportante principal las descargas de origen doméstico. Los valores de SAAM también excedieron los valores máximos históricos en las dos campañas.

#### 5.1.2. Diagrama de cajas

En este tipo de diagramas se presenta la información asociada a parámetros básicos (pH, conductividad y oxígeno disuelto), materia orgánica (DBO y DQO), nutrientes (NTK y fósforo total) y sólidos suspendidos totales, medidos exclusivamente en las campañas de monitoreo fisicoquímico de la RCHB para el río Fucha. Este tipo de análisis se realizó para cada uno de los tramos (según la Resolución 5731 de 2008-SDA):

- Tramo 1: el cual comprende entre la entrada al perímetro urbano y la carrera 7ª y en el cual se encuentra el sitio de monitoreo El Delirio.
- Tramo 2: está desde la carrera 7ª y la desembocadura del canal Los Comuneros, en el cual se encuentra los puntos de monitoreo carrera 7ª y avenida Ferrocarril.
- Tramo 3: desde la desembocadura del canal de Los Comuneros hasta la avenida Boyacá y donde está el sitio de monitoreo Fucha avenida Las Américas.

- Tramo 4: desde la avenida Boyacá hasta la desembocadura del río Fucha, éste tiene los sitios de monitoreo *Visión Colombia* y *Fucha Alameda*.

#### 5.1.2.1. pH

El comportamiento de los valores medios en el caso del pH (fig. 5.2) es creciente (hacia aguas abajo), y su variación entre tramos es moderada. La variabilidad del pH en cada tramo es significativa y puede estar asociada a los aportes que recibe la cuenca principal. El valor máximo de pH se observó en el tramo 3 (mayor que 8,0 unidades), posiblemente por el efecto de descargas de origen industrial.

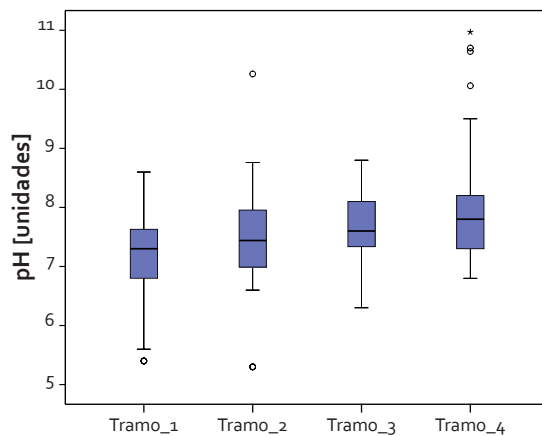


FIG. 5.2. pH (río Fucha)

#### 5.1.2.3. Oxígeno disuelto

La variación del oxígeno disuelto comienza en el tramo 1 con una simetría positiva en los datos y un valor máximo de 8,5 mg.L<sup>-1</sup>. Se evidencian variaciones significativas y

#### 5.1.2.2. Conductividad

En los sitios de monitoreo *avenida Ferrocarril* y *Fucha Alameda* se observaron variaciones notables en la conductividad, especialmente en este último donde se observa una simetría negativa asociada al alto nivel de contaminación. Los valores máximos de conductividad en el río se presentaron en *Visión Colombia*, *Zona Franca* y *Fucha Alameda* con valores superiores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Se observa una variación de la conductividad en los tramos 1 y 2 significativamente menor en comparación con la de los tramos 3 y 4. Cabe resaltar el nivel de contaminación en los tramos 3 y 4, lo cual incrementa los valores de conductividad hasta 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (fig. 5.3).

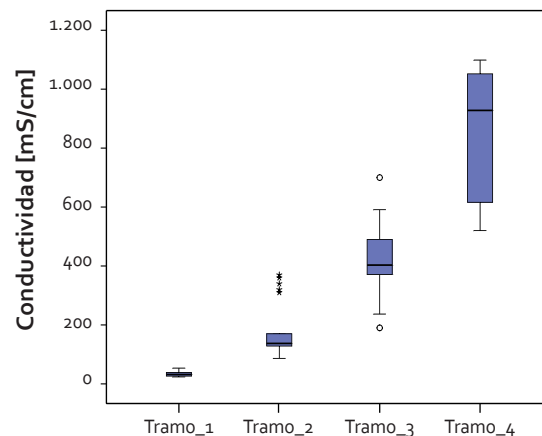


FIG. 5.3. Conductividad (río Fucha)

positivas en el tramo 3, así como variaciones negativas en los dos primeros tramos. Finalmente en el tramo 4 el río alcanza condiciones anaerobias debido a los aportes de contaminantes que ha recibido a lo largo de su recorrido (fig. 5.4).

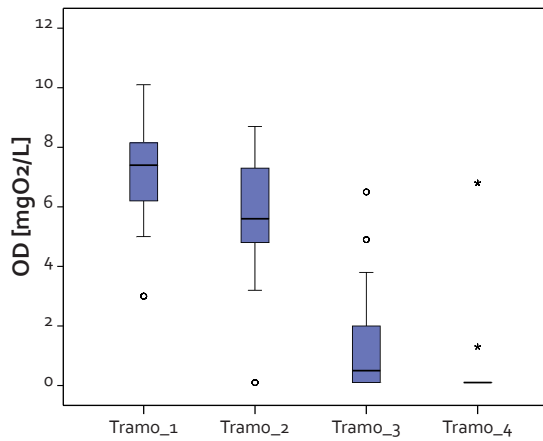


FIG. 5.4. Oxígeno disuelto (río Fucha)

#### 5.1.2.4. Materia orgánica

Tanto la  $DBO_5$  como la  $DOO$  incrementan su valor hacia aguas abajo (fig. 5.5) como resultado del aporte puntual de aguas residuales domésticas en los tramos medios y bajos del río Fucha. En el caso de la  $DBO_5$

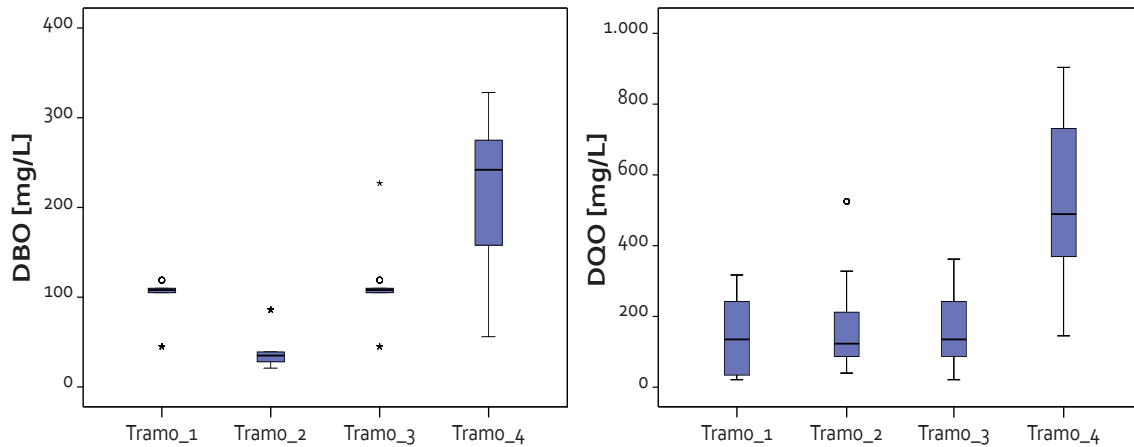


FIG. 5.5. Materia orgánica (río Fucha)

#### 5.1.2.5. Sólidos suspendidos totales

En cuanto a los sólidos suspendidos totales se observa en la figura 5.6 cómo, al igual que con la materia orgánica y la conductividad, se incrementan las concentraciones hacia aguas debajo del río Fucha a partir del tramo 2. En general, la variabilidad de los

datos reportados para los SST es pequeña (fig. 5.6). Sin embargo, el contenido de éstos en cada tramo varía notablemente, como en el caso de los tramos 2 y 3 en los que la concentración típica del tramo 3 es casi dos veces la del tramo 2. Este incremento se relaciona con el aporte de las descargas en el tramo 3,

observa la poca variabilidad en el tramo 1, debida a que en este punto el río tiene una calidad muy buena, aunque se presentan algunas descargas de origen antrópico. En el tramo 2 se tienen concentraciones superiores a la media, de casi 100  $mg.L^{-1}$ , asociadas a las descargas domésticas que se reciben en esa zona, además presentan una variabilidad baja que se puede relacionar con la capacidad de asimilación del río. Al igual que en el caso de la  $DBO_5$ , para la  $DOO$  la mayor variabilidad se presenta en los tramos bajos del río (tramos 3 y 4), los cuales presentan concentraciones de hasta 800  $mg.L^{-1}$ . Lo anterior se debe a que en esta parte del río predominan los vertimientos procedentes de actividades industriales, las cuales presentan grandes oscilaciones a lo largo del día y del año.

y por los niveles de contaminación del río en este punto.

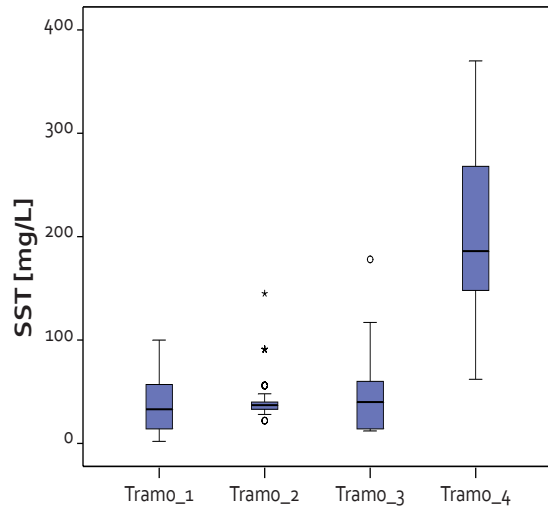


FIG. 5.6. SST (río Fucha)

#### 5.1.2.6. Nutrientes

En el caso del nitrógeno (fig. 5.7), los valores máximos de NTK, cercanos a 80 mg.L<sup>-1</sup>, se encontraron en el tramo 4. En general se observa una simetría positiva en los tramos

2, 3 y 4 que indica una baja variación entre los valores de cada tramo. Frente a las concentraciones que se reportan en cada tramo, se presenta un incremento de NTK a lo largo del río, partiendo de valores medios típicos de 10 mg.L<sup>-1</sup> en el tramo 2, hasta 50 mg.L<sup>-1</sup>, en el tramo 4. Estos incrementos son coherentes con los aportes de las descargas que se encuentran a lo largo del río. Para el fósforo las concentraciones también se van incrementando en cada tramo aguas abajo. La alta variabilidad en el tramo 4 refleja una condición de inestabilidad, ya que los valores tienen una simetría negativa y el rango es muy amplio. En los tramos 2 y 3 los valores tienen una simetría positiva indicando una baja variabilidad de los datos.

El fósforo aumenta en el tramo 3 alcanzando valores máximos de 10 mg.L<sup>-1</sup> que se relacionan con descargas residuales de la zona, como consecuencia de las actividades que involucran la utilización de detergentes y otras sustancias químicas.

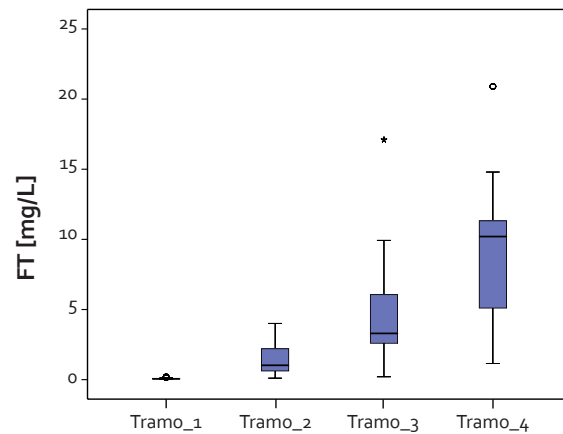
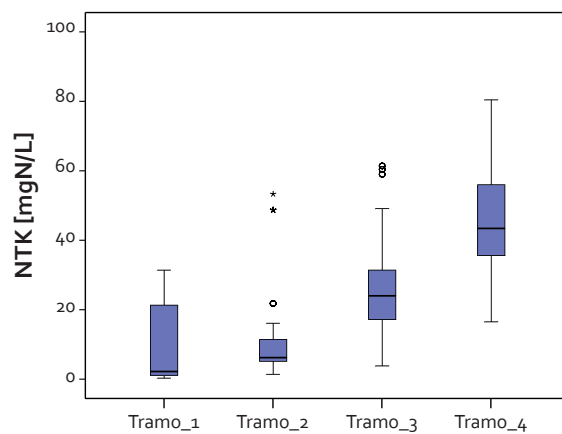


FIG. 5.7. Nutrientes (río Fucha)

#### 5.1.3. Interrelaciones paramétricas

A continuación se presentan los resultados de correlación entre la DBO y la DQO, los

SST y el NTK, para los datos obtenidos a partir de las campañas de monitoreo de la RCHB realizadas sobre el río Fucha.

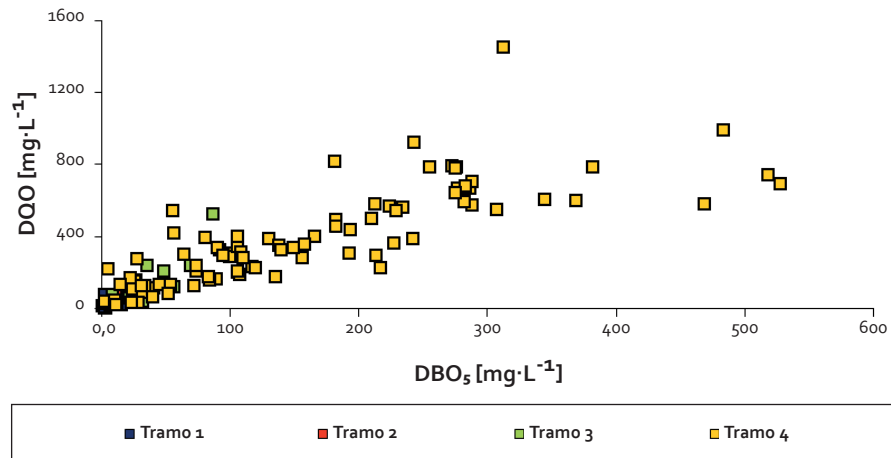


FIG. 5.8. Relación DBO/DQO (río Fucha)

En la figura 5.8 se observa una relación lineal entre la  $DBO_5$  y la DQO para los tramos 1 y 2 principalmente; este tipo de correlación es muy clara cuando se evalúan aguas residuales con origen doméstico. En el tramo 4 la relación entre estos parámetros no es en todos los casos lineal por el contrario, se encuentra que los valores de la DQO son un orden de magnitud mayor a los valores de la  $DBO_5$  debido a que en estos puntos las descargas se caracterizan por ser de tipo industrial.

Para el caso de la relación entre los sólidos suspendidos totales y la demanda bioquímica

de oxígeno, se encuentra una moderada relación entre estos dos parámetros en la mayoría de los tramos. En el tramo 4 se encuentra el punto *Visión Colombia*, el cual de acuerdo con las observaciones realizadas anteriormente para los perfiles longitudinales, presenta características de agua residual doméstica. Asimismo, se encuentran otras descargas domésticas a lo largo del río que pueden influir en esta relación, pues estos dos parámetros se interrelacionan muy bien para aguas residuales domésticas, no siendo siempre el caso para algunos vertimientos industriales (fig. 5.9).

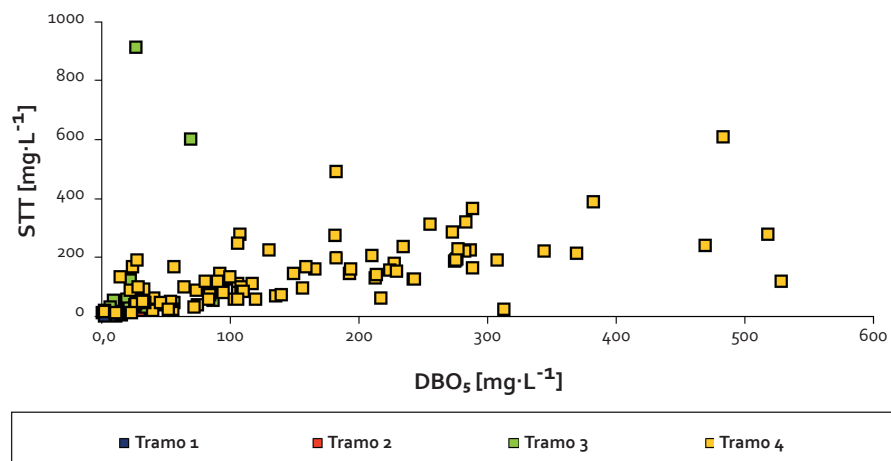


FIG. 5.9. Relación DBO/SST (río Fucha)

De acuerdo con la figura 5.10, se puede afirmar que existe una relación lineal entre NTK y la  $DBO_5$  para los tramos 3 y 4. Esto podría indicar una alta concentración de nitrógeno orgánico biodegradable. Es importante resaltar que en el

caso del nitrógeno, gran parte del aporte recibido por el río Fucha proviene esencialmente de las descargas de origen doméstico, razón por la cual se puede apreciar este tipo de relación entre parámetros.

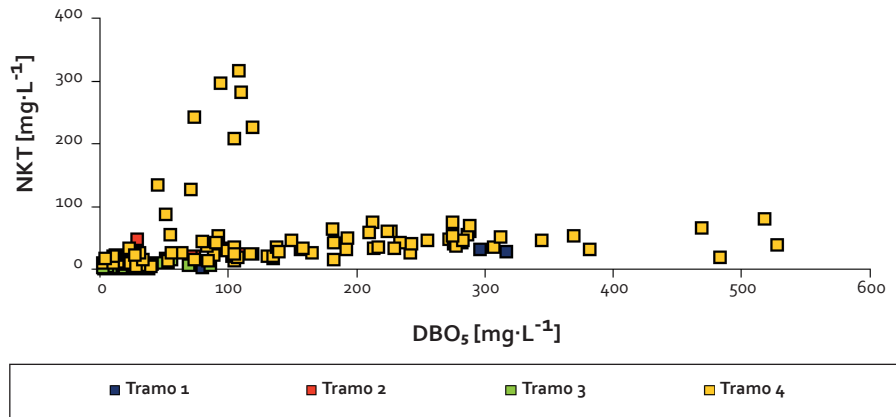


FIG. 5.10. Relación  $DBO_5$ /NTK (río Fucha)

#### 5.1.4. Cargas contaminantes

Para el caso exclusivo de materia orgánica y sólidos suspendidos totales se realizaron gráficas de carga contaminante asociada a cada tramo de río, valores, éstos, obtenidos a partir de los datos de las campañas de monitoreo realizadas dentro de los diferentes convenios de la RCHB suscritos por la Secretaría Distrital de Ambiente. En este ítem se presentan los perfiles longitudinales de carga contaminante para el río Fucha (fig. 5.11).

De acuerdo con el perfil de cargas de la  $DBO_5$ , al relacionar el valor promedio con las cargas estimadas de la RCHB, se identifica una reducción notable, del 17% aproximadamente, en el punto *Fucha avenida Las Américas*. En los puntos *Zona Franca*, *Visión Colombia* y *Fucha Alameda* los valores del seguimiento de masa sobrepasan el valor medio como consecuencia del aporte de carga orgánica de los interceptores y demás descargas presentes

en la zona. En general se observa un crecimiento en la  $DBO_5$  a lo largo del río relacionado al incremento en las descargas domésticas que contaminan la cuenca principal.

Con respecto a las cargas de sólidos suspendidos totales, los puntos más críticos son *Visión Colombia* y *Zona Franca*, los cuales alcanzan valores de hasta 400 Ton.día<sup>-1</sup> y 600 Ton.día<sup>-1</sup> para las campañas realizadas entre 2008 y 2009. En dirección opuesta, se observaron reducciones en las cargas para los puntos *avenida Ferrocarril*, *avenida Las Américas* y *Fucha Alameda*, frente a los valores medios registrados durante 2006 y 2007. En términos de materia orgánica y de los SST, se encontró que los puntos que presentan mayores afectaciones son principalmente *Visión Colombia*, *Zona Franca* y *Fucha Alameda*, los cuales pertenecen a los tramos 3 y 4, donde se encuentran las descargas más críticas por su carga contaminante.

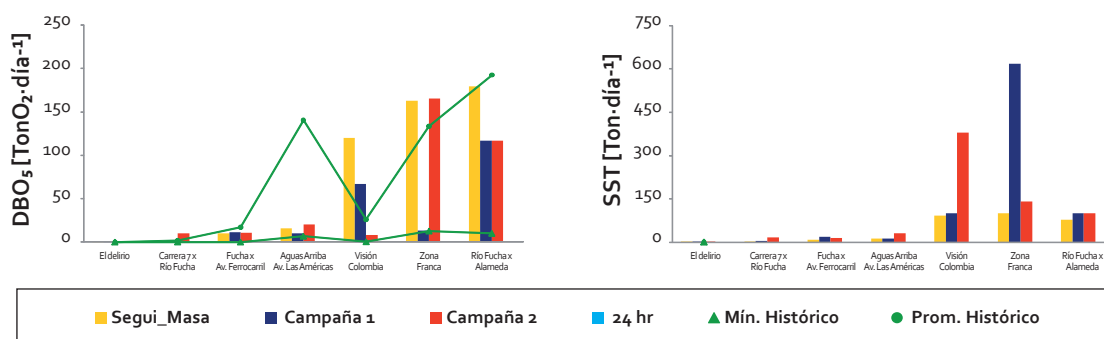


FIG. 5.11. Carga contaminante (río Fucha)

## 5.2. Calidad del agua

### 5.2.1. Resultados de los monitoreos

Para establecer el cumplimiento de los objetivos de calidad en el río Fucha, en el período 2008-2009, se compararon frente a la Resolución 5731 de 2008 los valores de los parámetros medidos durante las diferentes

campañas de monitoreo realizadas a lo largo del Convenio 069 (monitoreo fisicoquímico, monitoreo complementario, seguimiento de masa y monitoreo veinticuatro horas). En las tablas 5.2 a 5.6 se presentan los resultados de caracterización en cada una de las campañas en mención.

TABLA 5.2. Campaña 1

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
El Delirio	25/09/2008	7,31	0,3	18,9	1,54	0,19	13,6	<3,6	7,34	0,04
		7,18							7,70	
		7,21							7,61	
		7,20							7,40	
Carrera 7ª río Fucha	25/09/2008	6,43	16,7	83,2	8,1	0,88	40	9,6	8,22	1,21
		6,48							7,90	
		6,65							7,99	
Avenida Ferrocarril	27/09/2008	0,23	91,8	328	55,3	4,0	145	37,6	8,10	4,71
		0,13							8,13	
		0,11							8,08	
		0,11							7,89	
		0,10							7,70	
		1,40								

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
Avenida Las Américas	26/09/2008	0,2	90	341	44,9	<0,2	117	40,7	7,39	7,31
		0,1							7,44	
		0,1							7,41	
		0,1							7,36	
		0,2							7,42	
Visión Colombia	25/09/2008	0,8	181	816	65,8	3,8	274	53	7,54	12,6
		0,5							7,52	
		0,3							7,65	
		0,1							7,52	
		<0,1							7,52	
Zona Franca	01/10/2008	ND	22,2	99,5	67,2	5,6	1030	<3,6	7,22	2,87
		ND							7,24	
		ND							7,22	
		ND							7,41	
		ND							7,46	
Fucha Alameda	26/09/2008	0,9	276	842	83,4	8,2	235	168	7,08	5,93
		0,2							7,27	
		ND							7,18	
		ND							7,20	
		ND							7,27	

TABLA 5.3. Campaña 2

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH	SAAM (mg/L)
El Delirio	11/02/2009	6,2	10,8	33	1,2	<0,04	<2		<20	8,20	0,03
										8,06	
										8,6	
										8,15	
										8,24	
Carrera 7 <sup>a</sup> río Fucha	11/02/2009	4,8	28,5	93,2	49,8	2,28	19	7,1		8,50	0,14
										8,34	
										8,06	
										7,32	
										7,92	
Avenida Ferrocarril	25/02/2009	0,5	212	582	75,4	9,55	132	327	1,3E+06	8,09	4,2
		0,38								8,35	
		0,46								8,47	
		0,42								8,34	
		0,29								8,31	
Avenida Las Américas	11/02/2009	2,0	39,3	67	3,8	2,3	21	28,9	7,9E+06	7,68	0,11
										7,63	
										7,62	
										7,60	

Visión Colombia	11/02/2009	< 0,1	275	784	75,7	14,8	186	82,3		7,80	6,49
										7,70	
										8,10	
										7,90	
										7,70	
										7,60	
Zona Franca	11/02/2009	< 0,1	284	695	51,9	16,4	250	57,5		7,40	9,91
										7,30	
										7,30	
										7,20	
										7,30	
Fucha Alameda	11/02/2009	< 0,1	202	444	48,7	11,8	120	21,4	1,4E+07	7,20	7,05
										7,20	
										7,30	
										7,40	
										7,40	

TABLA 5.4. Campaña complementaria

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
Carrera 7ª río Fucha	13/04/2009	10:00		28,7	131	13,74	0,31	62	12,0	7,70	0,25
			6,60								
			7,05								
			7,17								
	14/04/2009	15:00	7,56	24,4	54,8	5,14	0,23	48	6,7	7,48	0,28
			7,75								
			7,80								
			7,66								
			7,63								
	15/04/2009	21:00	7,30	26,0	135,0	4,72	0,25	46,7	5	6,79	1,48
			7,43								
			7,65								
			7,61								
			7,59								
	16/04/2009	18:40	4,80	22,0	149,5	5,62	1,6	124	3,6	6,93	1,92
			7,09								
			7,16								
			7,42								
	17/04/2009	3:00	5,20	8,5	78,1	3,71	0,62	53	3,5	10,26	0,11
8,61											
8,41											
8,53											
Avenida Ferrocarril	13/04/2009	12:15		73,2	207,9	15,3	3,31	89	18,4	7,69	3,26
			7,79								
			7,73								
			7,75								
									7,65		

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
Avenida Ferrocarril	14/04/2009	17:20	4,75	40,5	113,6	8,66	0,28	61	12,1	7,33	3,06
			4,88							7,47	
			4,71							7,29	
			4,63							7,33	
			4,36							7,29	
	15/04/2009	0:00	3,46	25,9	152,2	6,83	0,21	42,0		7,65	2,28
			3,59							7,52	
			3,51							7,55	
			3,68							7,54	
			3,83							7,48	
	16/04/2009	21:30	0,8	22,2	174,6	9,53	3,22	90		6,84	3,37
										8,38	
										7,19	
										8,75	
										8,01	
	17/04/2009		<0,1	54,7	543,3	54,30	8,91	22,4	52	8,41	4,02
										8,25	
										8,49	
										8,43	
										8,15	
Fucha Alameda	13/04/2009	14:30		132	390	43,41	5,7	277	28,2	8,01	4,80
										7,74	
										7,74	
										7,92	
										7,82	
	14/04/2009	19:45	0,56	184	1220	30,69	18,3	3950	196	7,12	12,12
			0,22							6,37	
			0,35							7,01	
			1,09							7,19	
			0,43							7,09	

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	pH	SAAM
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Unidades	(mg/L)
Fucha Alameda	15/04/2009	2:30	0,64	70,0	266	13,70	0,33	1000	14,0	7,45	3,62
			0,55							7,55	
			0,52							7,51	
			0,53							7,53	
			0,54							7,52	
	16/04/2009	0:00	<0,1	198	604	35,22	6,1	383	27,2	7,38	8,89
			7,80								
			8,26								
			7,82								
			7,06								
	17/04/2009	16:30	0,5	91	122	11,81	2,56	352	12	7,57	8,3
			7,76								
			7,58								
			7,63								
			7,91								

TABLA 5.5. Seguimiento de masa

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	C. fecales	pH
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100mL)	Unidades
El Delirio	22/10/2008	7,20	0,72	12,7	3,54	< 0,04	< 5	2,2E+02	6,85
Carrera 7ª con río Fucha	22/10/2008	4,10	32,8	84,0	13,32	1,35	68	1,70E+06	7,81
Carrera 29A con diagonal 10ª sur	22/10/2008	3,40	62,1	176	25,58	2,72	80	4,90E+06	7,58
Aguas arriba canal río Seco	22/10/2008	1,10	85,2	305	36,76	3,40	76	1,10E+07	7,82
Fucha con avenida Ferrocarril	22/10/2008	2,0	103	313	42,32	3,94	80	7,90E+06	7,91

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	C. fecales	pH
Nombre		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100mL)	Unidades
Aguas arriba avenida Las Américas	22/10/2008	1,4	137	447	49,26	5,24	110	1,30E+07	7,82
Aguas arriba puente Clínica La Paz	22/10/2008	0,10	121	372	45,59	4,75	129	9,20E+07	7,26
Aguas arriba avenida Boyacá	23/10/2008	1,80	90,9	308	26,53	3,62	52	2,40E+05	8,89
Visión Colombia	23/10/2008		209	671	69,10	7,54	160	2,20E+07	8,14
Zona Franca	23/10/2008		277	742	74,99	8,03	170	1,10E+07	7,95
Fucha Alameda	23/10/2008		284	564	69,74	7,61	123	3,50E+07	7,64

TABLA 5.6. Campaña veinticuatro horas

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DQO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100mL)	Unidad	(mg/L)
El Delirio	05/05/2009	8:00	8,27	3,21	10,3		0,06	4,4	0,60	2,3E+01	7,18	0,04
		8:30	8,32								7,27	
		9:00	8,37								8,19	
		9:30	8,45								7,70	
		10:00	8,42								8,20	
	05/05/2009	16:00	8,18	1,2	12,7		0,15	5	4,3E+01	8,23		
		16:30	8,24							7,71		
		17:00	8,35							7,79		
		17:30	8,33							7,66		
		18:00	8,38							7,65		
	05/05/2009	18:00	8,38	1,1	12,30		0,05	5,3	0,2	2,3E+01	7,65	0,06
		18:30	8,24								7,60	
		19:00	8,37								7,70	
		19:30	8,32								7,90	
		20:00	8,32									
	05/05/2009	22:00	8,32	1,6	14,7		0,06	5	2,3E+01			
		22:30	8,38									
		23:00	8,36									

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM	
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100mL)	Unidad	(mg/L)	
El Delirio		23:00	8,36										
		00:00	8,35										
	06/05/2009	00:00	8,35										
		00:30	8,40										
		01:00	8,38	1,2	10,3		0,06	5,3	2,5	9,3E+01		0,03	
		01:30	8,42										
		02:00	8,44										
	06/05/2009	04:00	8,39										
		04:30	8,43										
		05:00	8,49	1,1	9,0		0,07	3,5		9,0E+00			
		05:30	8,52										
	06/05/2009	06:00	8,60										
		06:30	8,59										
		07:00	8,58	1,0	13,0		0,04	3,9	0,11	9,0E+00		0,03	
		07:30	8,53										
Avenida Las Américas	08/05/2009	10:00	3,59										
		10:30	3,42										
		11:00	3,80	94,2	296	31,5	3,9	98,5		9,3E+05			
		11:30	3,39										
		12:00	3,37										
	08/05/2009	12:30	2,95										
		13:00	3,35										
		13:30	3,00										
		14:00	3,20										
	08/05/2009	14:30	2,27									7,37	
		15:00	2,46									7,36	
		15:30	2,32									7,29	
		16:00	1,87									7,33	
	08/05/2009	16:30	2,11									7,34	
		17:00	2,11	105	208	24,0	2,9	60,0		4,6E+06		7,32	
17:30		1,95									7,35		
18:00		2,13									7,59		
Avenida Las Américas	08/05/2009	18:00	2,13										
		18:30	2,31	119	226	24,0	2,9	57,0		2,3E+07		7,28	
		19:00	2,12									7,27	

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH Unidad	SAAM (mg/L)
Avenida Las Américas		19:30	1,86								7,41	
		20:00	2,17								7,25	
	08/05/2009	21:00	2,32								7,31	
		21:30	1,95	73,7	242	21,4	2,5	40,0		2,4E+06	7,42	
		22:00	2,07								7,57	
	08/05/2009	22:00	2,07								7,57	
		22:30	1,70								7,56	
		23:00	2,33	71,2	127	21,3	2,4	33,0	23,7	1,1E+06	7,30	4,1
		23:30	1,81								7,43	
		00:00	2,23								7,37	
	09/05/2009	00:00	2,23								7,37	
		00:30	2,39								7,47	
		01:00	1,96	51,4	87	17,8	2,0	23,0		9,3E+04	7,39	
		01:30	2,50								7,34	
		02:00	2,74								7,38	
	09/05/2009	02:00	2,74								7,38	
		02:30	2,70								7,33	
		03:00	3,16	22,5	34	13,5	1,3	14,0		2,4E+05	7,37	
		03:30	3,49								7,47	
		04:00	4,06								6,57	
	09/05/2009	04:00	4,06								6,57	
		04:30	4,12								6,45	
		05:00	4,61	12,0	22,4	22,3	0,8	12,0	4,9	1,1E+05	7,36	1,1
		05:30	4,58								7,26	
		06:00	4,60								7,19	
	09/05/2009	06:00	4,60								7,19	
		06:30	4,57								7,55	
		07:00	5,17	10,3	15	5,6	0,8	12,0		4,0E+05	7,20	
		07:30	4,43								7,24	
		08:00	4,70								7,31	
09/05/2009	08:00	4,70								7,31		
	08:30	3,68								7,30		
	09:00	1,56	73,5	157	20,2	2,8	20,0		4,0E+06	7,52		
	09:30	0,96								7,62		
	10:00	0,57								7,75		
Fucha Alameda	11/05/2009	14:00	0,21							7,46		

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM	
Nombre			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100mL)	Unidad	(mg/L)	
Fucha Alameda		14:30	0,20								7,49		
		15:00	0,41								7,41		
		15:30	0,56								7,46		
		16:00	0,48								7,49		
	11/05/2009	16:00	0,48									7,49	
		16:30	1,55									7,22	
		17:00	0,26									7,25	
		17:30	0,62									7,19	
		18:00	0,52									7,23	
	11/05/2009	18:00	0,52									7,23	
		18:30	0,26									7,06	
		19:00	0,22									7,16	
		19:30	0,19									7,16	
		20:00	0,23									7,21	
	11/05/2009	20:00	0,23									7,21	
		20:30	0,20									7,16	
		21:00	0,15									7,15	
		21:30	0,28									7,04	
		22:00	0,22									7,15	
	11/05/2009	22:00	0,22									7,15	
		22:30	0,19									7,19	
		23:00	0,22									7,14	
		23:30	0,16									7,07	
		00:00	0,28									6,91	
	11/05/2009	00:00	0,28									6,91	
		00:30	0,26									7,12	
		01:00	0,28									7,09	
		01:30	0,23									7,23	
		02:00	0,20									7,18	
	11/05/2009	02:00	0,20									7,18	
02:30		0,28									7,18		
03:00		0,24									7,15		
03:30		0,22									7,14		
04:00		0,29									7,14		
12/05/2009	04:00	0,29									7,14		
	04:30	0,24									7,00		
	05:00	0,21									7,10		

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH Unidad	SAAM (mg/L)	
Fucha Alameda		05:30	0,28								7,30		
		06:00	0,23								7,33		
	12/05/2009	06:00	0,23									7,33	
		06:30	0,19									7,19	
		07:00	0,28									7,17	
		07:30	0,21									7,20	
		08:00	0,18									7,12	
	12/05/2009	08:00	0,18									7,12	
		08:30	0,25									7,20	
		09:00	0,20									7,10	
		09:30	0,17									7,20	
		10:00	0,26									7,01	
	12/05/2009	10:00	0,26									7,01	
		10:30	0,19									7,25	
		11:00	0,16									7,29	
		11:30	0,17									7,21	
		12:00	0,19									7,41	
	12/05/2009	12:00	0,19									7,41	
		12:30	0,16									7,35	
		13:00	0,16									7,51	
13:30		0,26									7,59		
14:00		0,15									7,36		

### 5.2.2. Cálculo WQI

A continuación se presentan los cálculos del WQI para el río Fucha a partir del grupo de datos de todas las campañas realizadas en el Convenio 069 de 2007. Cabe resaltar que para evaluar el cumplimiento con los objetivos de calidad de la Resolución 5731 de 2008 se debe estimar el WQI anual con datos bimestrales en los puntos de monitoreo de la RCHB.

El WQI\* es un ejercicio para evaluar la calidad del agua frente a los objetivos de calidad, con los datos de todas las campañas realizadas en el Convenio 069 de 2007; se puede afirmar que en términos generales la calidad del agua

en el río Fucha oscila entre marginal y pobre, excepto para el tramo 1, donde el índice es bueno. El WQI\*\* es un cálculo realizado a partir de los datos históricos de monitoreo de la RCHB (mensuales promedio) entre enero y abril de 2007 (SDA y EAAB, 2008) (tabla 5.7). La comparación entre estos dos índices puede ser vista como una evaluación de la dinámica en el cumplimiento de los objetivos de calidad, que ha venido observándose en el río Fucha. Dichacomparación muestra, en general, cómo el índice de calidad hídrica ha venido aumentando (mejorando) levemente en los tres últimos tramos. En el caso del tramo 1 este índice disminuyó esencialmente debido a un

valor por debajo de oxígeno disuelto en una de las campañas de monitoreo, y otro valor

de DBO encontrado ligeramente superior al objetivo de calidad.

TABLA 5.7. WQI (río Fucha)

Río Fucha	Estaciones	WQI* (2008-2009)	WQI** (2007-2008)
Tramo 1	El Delirio	88	100
Tramo 2	Carrera 7ª	35	34
	Avenida Ferrocarril		
Tramo 3	Avenida Las Américas	58	45
Tramo 4	Visión Colombia	42	27

A continuación se hace una breve explicación de los cálculos del WQI\* y los resultados obtenidos para el río Fucha en la campañas de monitoreo del Convenio 069 de 2007. En el tramo 1 de este río hay un punto (El Delirio), con un total de datos de 124, de los cuales

dos no cumplen con los objetivos de calidad, la calidad de agua de este tramo es **bueno**. En comparación con los resultados de todos los tramos para este río, este es el que presenta la mejor calidad (tabla 5.8).

TABLA 5.8. WQI (tramo 1)

Parámetro	Núm. de datos que no cumplen
OD	1
DBO	1
DQO	0
N <sub>total</sub>	0
P <sub>total</sub>	0
SST	0
Grasas y aceites	0
Coliformes fecales	0
pH	0
SAAM	0

Variables	Valor
F1	20,0
F2	1,6
NSE	0,01
F3	1,03
WQI	88,40

En el tramo 2 de este río hay dos puntos (*carrera 7ª y avenida Ferrocarril*), con un total de datos de 234, de los cuales 81 no cumplen con los objetivos de calidad; la calidad de agua de este tramo es **pobre**. Cabe resaltar que todas las variables, excepto pH, incumplen

con los objetivos de calidad de este tramo. Es muy importante continuar con las acciones que permitan mejorar la calidad del agua del río en este tramo, en especial en términos de materia orgánica, nutrientes y sólidos suspendidos totales (tabla 5.9).

TABLA 5.9. WQI (tramo 2)

Parámetro	Núm.de datos que no cumplen
OD	21
DBO	7
DQO	9
N <sub>total</sub>	7
P <sub>total</sub>	7
SST	16
Grasas y aceites	3
Coliformes fecales	5
pH	0
SAAM	6

Variables	Valor
F1	90,0
F2	34,6
NSE	1,47
F3	59,53
WQI	34,57

En el tramo 3 de este río hay un solo punto (*avenida Las Américas*), con un total de datos de 219, de los cuales 20 no alcanzan los objetivos de calidad; la calidad de agua de este

tramo es **marginal**. Los parámetros sobre los cuales se debe realizar énfasis de mejoramiento son oxígeno disuelto y el contenido de coliformes fecales (tabla 5.10).

TABLA 5.10. WQI (tramo 3)

Parámetro	Núm. de datos que no cumplen
OD	5
DBO	0
DQO	1
N <sub>total</sub>	3
P <sub>total</sub>	0
SST	0
Grasas y aceites	1
Coliformes fecales	8
pH	0
SAAM	2

Variables	Valor
F1	60,0
F2	9,1
NSE	0,66
F3	39,71
WQI	58,13

Finalmente en el tramo 4 (tabla 5.11) hay tres puntos (*Visión Colombia, Zona Franca y Fucha Alameda*), con un total de datos de 304, de los cuales 86 no cumplen con los objetivos de calidad. La calidad de agua de este tramo

es **pobre**. Se deben mantener las acciones que permitan reducir la concentración de la gran mayoría de parámetros monitoreados, lo cual redundará progresivamente en aumento en la concentración del oxígeno disuelto.

TABLA 5.11. WQI (tramo 4)

Parámetro	Núm. de datos que no cumplen	Variables	Valor
OD	30	F1	90,0
DBO	5	F2	28,3
DQO	10	NSE	0,51
N <sub>total</sub>	10	F3	33,69
P <sub>total</sub>	6	WQI	42,16
SST	9		
Grasas y aceites	3		
Coliformes fecales	4		
pH	0		
SAAM	9		

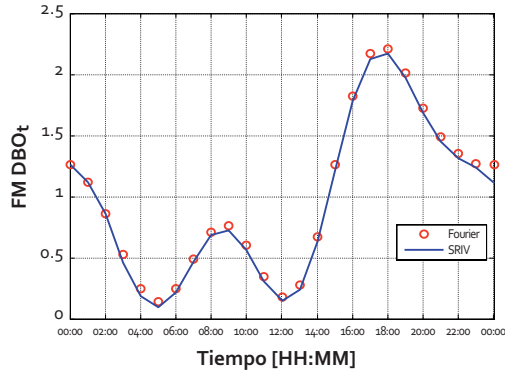
### 5.3. Dinámica de la calidad temporal

Las jornadas específicas de monitoreo de veinticuatro horas en el río Fucha tuvieron por objeto identificar las variaciones intradiarias de concentraciones en diferentes parámetros de campo y de laboratorio, y estimar el comportamiento temporal de una variable dependiente a partir de la variación temporal de una o más variables independientes. Siguiendo la misma estrategia metodológica, a continuación se presentan algunos de los resultados de este ejercicio de monitoreo.

Se muestran los resultados obtenidos en el procesamiento de los datos de campo, análisis de muestras de agua en laboratorio y la estimación de los modelos que mejor se ajustaban a los datos observados de las respectivas series de tiempo de los puntos monitoreados en el río Fucha (figs. 5.12 a 5.17). Se presentan los resultados para la DBO, la DQO, el NTK, el fósforo total, sólidos totales

y sólidos suspendidos totales. Para la DBO y la DQO se observa claramente la afectación por aguas residuales que sufre el río Fucha. Se pueden observar dos picos de concentración de materia orgánica: el primero de ellos entre las 6 y las 10 a. m.; el segundo entre las 4 y las 8 p. m. A diferencia de los otros ríos, en este ejercicio no se logró percibir con claridad el rezago entre los picos de concentración asociado a los tiempos de viaje en el río, quizá por la distancia misma entre los puntos comparados. Tampoco se puede afirmar que los picos de concentración de materia orgánica a lo largo de las veinticuatro horas de monitoreo coincidan con las curvas de factor multiplicador que se tiene para sistemas de alcantarillado doméstico, situación que debe estar asociada a la naturaleza de vertimientos industriales que posee esta cuenca. Pareciera como si los picos de concentración coincidiesen con turnos operativos industriales.

Factor multiplicador demanda bioquímica de oxígeno total  
RCHB - Las Américas



Factor multiplicador demanda bioquímica de oxígeno total  
RCHB - Fucha Alameda

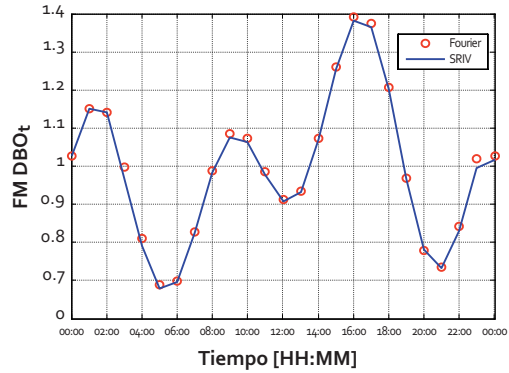
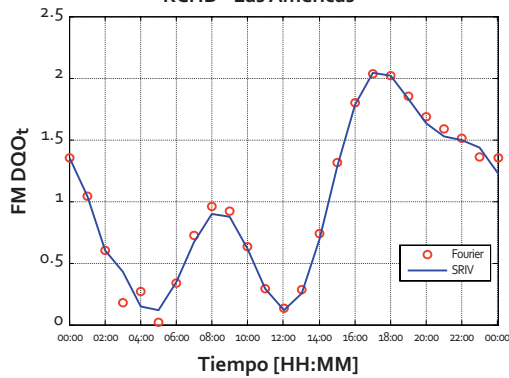


FIG. 5.12. Variación horaria del factor multiplicador de la DBO (río Fucha)

Factor multiplicador demanda química de oxígeno total  
RCHB - Las Américas



Factor multiplicador demanda biológica de oxígeno total  
RCHB - Fucha Alameda

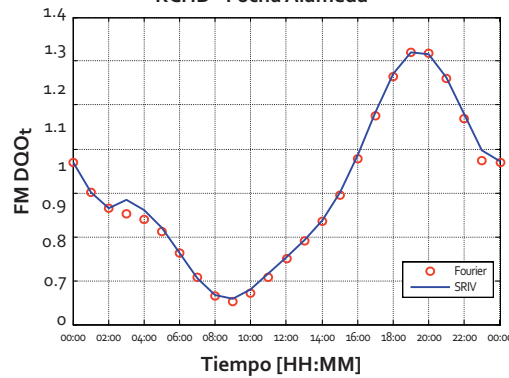
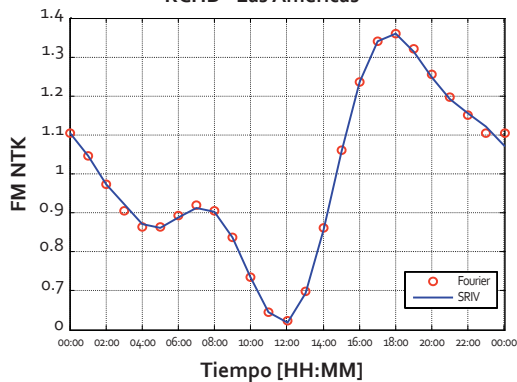


FIG. 5.13. Variación horaria del factor multiplicador de la DQO (río Fucha)

Factor Multiplicador Nitrógeno Total kjedahl  
RCHB - Las Américas



Factor Multiplicador Nitrógeno Total kjedahl  
RCHB - Fucha Alameda

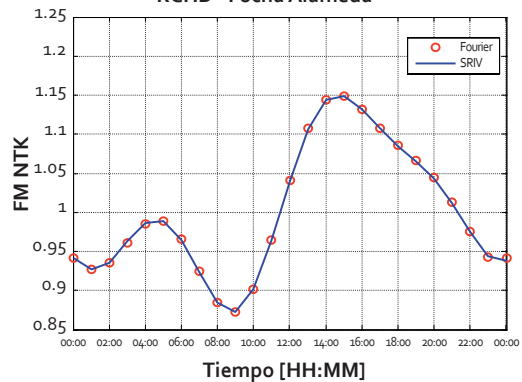


FIG. 5.14. Variación horaria del factor multiplicador del NTK (río Fucha)

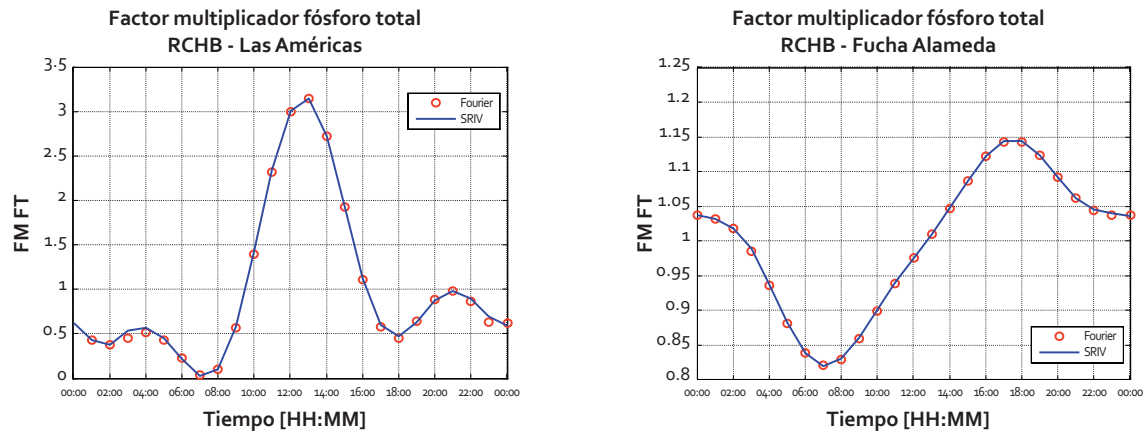


Fig. 5.15. Variación horaria del factor multiplicador del fósforo (río Fucha)

Para el caso de nutrientes (figs. 5.14 y 5.15) la dinámica observada es ligeramente diferente a la que se presenta para el fósforo: un pico bajo en la mañana y un pico alto en la tarde fueron cuantificados para NTK en las dos estaciones monitoreadas. Si la responsabilidad de aporte de este parámetro al río Fucha fuese exclusivamente de vertimientos de tipo doméstico, se tendría un solo gran pico en horas de la mañana, transitado a lo largo del río. Para este parámetro tampoco es claro el efecto del tiempo de viaje sobre la dinámica mostrada, situación que por el contrario es

claramente percibida en el caso del fósforo, donde un gran pico de concentración aguas arriba es detectado entre cuatro y seis horas aguas abajo. A diferencia del nitrógeno, el fósforo pareciera estar muy ligado a la dinámica de comportamiento de aguas residuales domésticas. Las dinámicas menos abruptas vistas para todos los parámetros en el punto final de monitoreo sobre el río Fucha, previo a la desembocadura sobre el río Bogotá (*Fucha Alameda*), obedecen al efecto de remanso y equalización, tanto másica como de calidad, que se da en estos tramos específicos.

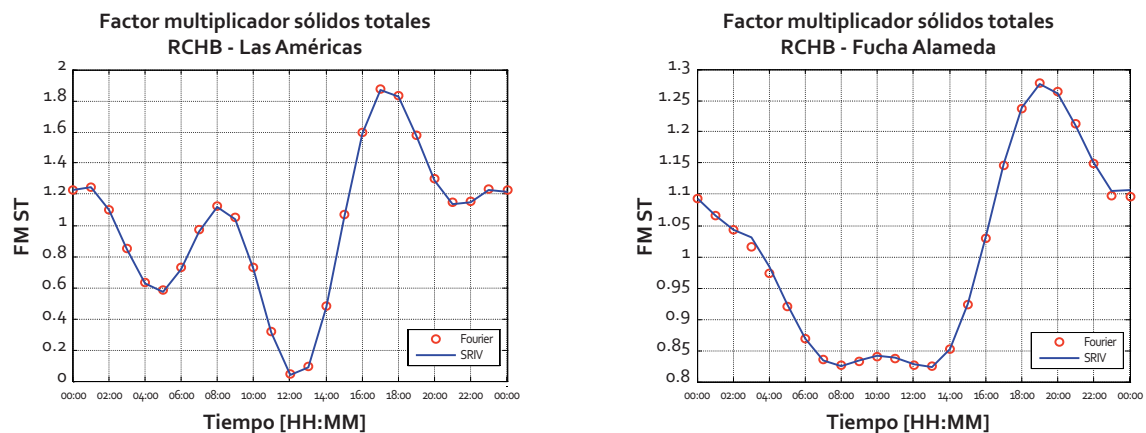


Fig. 5.16. Variación horaria del factor multiplicador de los ST (río Fucha)

En el caso de los sólidos totales y de los sólidos suspendidos totales (figs. 5.16 y 5.17), la dinámica apreciada para los dos puntos monitoreados (*avenida Las Américas y Fucha Alameda*) presenta el mismo comportamiento observado para materia orgánica y NKT. Esto no sorprende, pues aun cuando la cuenca del río Fucha es la que más severamente se ve

afectada por descargas de tipo industrial, en la mayoría del universo industrial que drena hacia esta cuenca, el principal problema son los contaminantes solubles (p. ej. materia orgánica, metales, etcétera), razón por la cual el comportamiento de los sólidos en general, está altamente influenciado por la dinámica de descarga de aguas residuales domésticas.

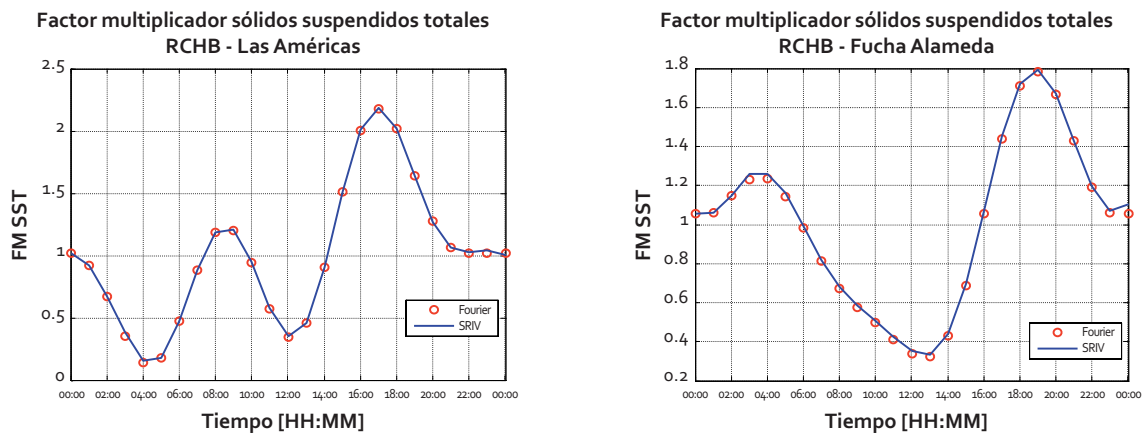


FIG. 5.17. Variación horaria del factor multiplicador de los SST (río Fucha)

## 5.4. Modelo de calidad del agua

### 5.4.1. Aforos de caudal

Los caudales medidos en los 34 puntos de monitoreo (figs. 5.18 y 5.19), definidos para el río Fucha en las campañas de seguimiento de masa realizadas para cada sector de monitoreo, se presentan en la tabla 5.12. En la columna 3 se resaltan en color gris los puntos correspondientes a aforos realizados en el río propiamente, los cuales se presentan gráficamente en la figura 5.20. Esta campaña de seguimiento de masa realizada para el río Fucha se realizó en dos días diferentes (22 y 23 de octubre del 2009), lo cual arroja resultados asociados a cada día de monitoreo en particular.

En la figura 5.21 se pueden observar las fuentes puntuales más importantes en térmi-

nos de caudal vertido sobre el río Fucha para la fecha en la que se realizó el seguimiento de masa, y la hora en la cual se hizo el aforo de caudal y se tomó la respectiva muestra para su análisis. Se resaltan los vertimientos en particular de las fuentes puntuales del sector 1: *carrera 10 con calle 12 sur-(K5+155)-(FT-2-13)*, *canal río Seco-Diagonal 17 sur-(K9+579)-(FT-2-87)* y *canal Los Comuneros-(K11+578)-(FT-2-149)*; y del sector 2: *interceptor Fucha-(K14+590)-(FT-4-01)*, *interceptor Boyacá-(K14+611)-(FT-4-02)* e *interceptor del sur + Lafayette-(K14+085)-(FT-4-03)*.

### 5.4.2. Determinantes de calidad

Este análisis se presenta sólo para oxígeno disuelto, la DBO y los SST, aun cuando para los otros parámetros se generó información similar. En la figura 5.22 se puede observar

que el mayor valor registrado para oxígeno disuelto en el río Fucha se presenta en la parte alta, con valores cercanos a la saturación ( $7 \text{ mg.L}^{-1}$ ). El perfil de este parámetro decrece debido las descargas de las fuentes puntuales: *carrera 5E-(K3+444)-(FT-1-16)*, *canal San Blas-(K3+851)-(FT-1-21)*, *carrera 8ª con calle 13 sur-(K4+867)-(FT-2-08)*, *carrera 10 con calle 12 sur-(K5+155)-(FT-2-13)* y *canal Albina-(K8+862)-(FT-2-64)*, las cuales consumen el oxígeno, hasta prácticamente alcanzar condiciones de anoxia a la altura del K8+965. Un efecto de recuperación en el río se presenta durante la noche, momento en el que el río no

recibe aportes considerables de aguas residuales con concentraciones altas de materia orgánica que pueda demandar altas cantidades de oxígeno para su degradación. Esto se puede observar en el punto sobre el río aguas arriba *avenida Boyacá (K14+435)*, punto en el que finaliza el seguimiento de masa correspondiente al día 22 de octubre de 2009 en horas de la tarde ( $0 \text{ mg.L}^{-1}$ ), y punto también en el que comienza el seguimiento de masa correspondiente al día 23 de octubre en horas de la mañana ( $1,8 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Se puede apreciar una diferencia sustancial en las concentraciones de oxígeno disuelto entre los dos días.



Fig. 5.18. Distribución de puntos de monitoreo (sector 1, campaña de seguimiento de masa)

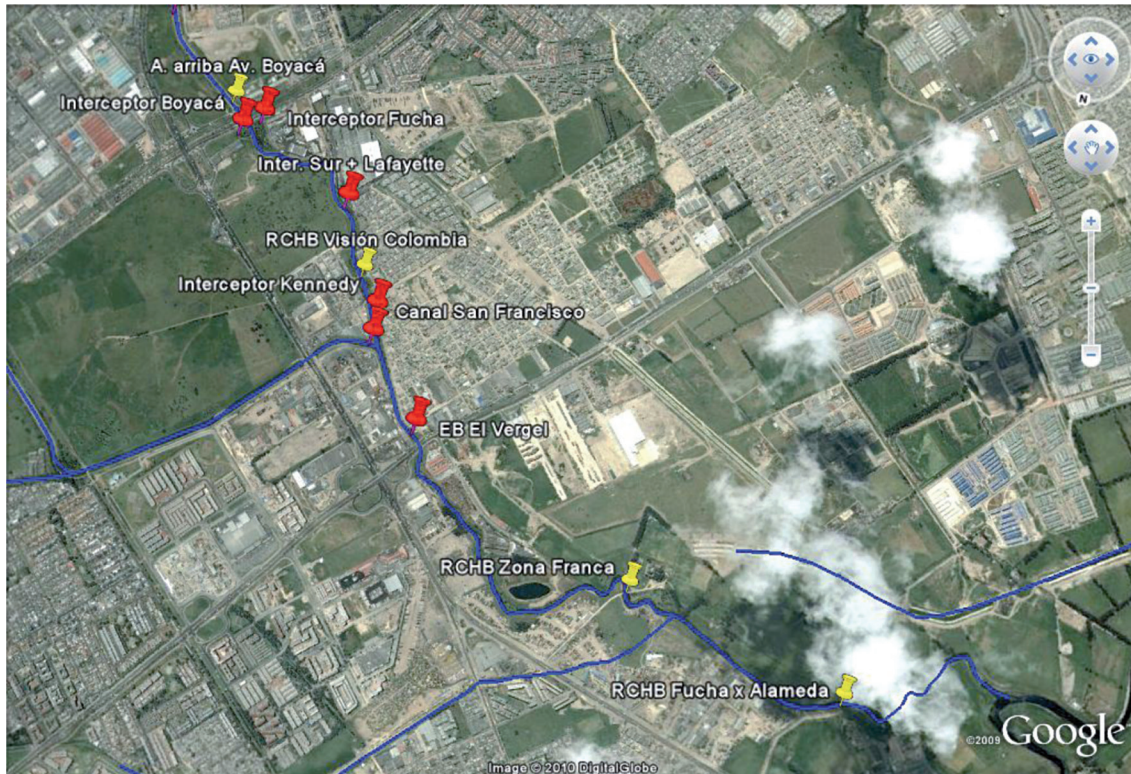


FIG. 5.19. Distribución de puntos de monitoreo (sector 2, campaña de seguimiento de masa)

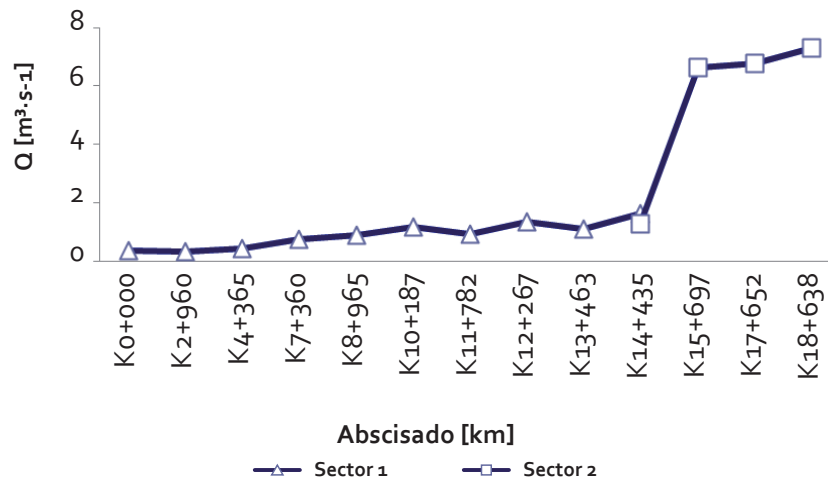


FIG. 5.20. Perfil longitudinal del caudal observado (campaña de seguimiento de masa)

TABLA 5.12. Caudales observados en los puntos de monitoreo (campaña de seguimiento de masa)

Sector	Estación	Tipo	Abscisa- do (km)	Fecha	Hora	Caudal (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
				C1	C1	C1
Sector 1	El Delirio	Río 1	K0+000	22/10/2008	07:45	0,36
	Debajo puente Instituto para Ciegos	Río 2	K2+960	22/10/2008	08:30	0,3297
	Descarga carrera 5E	1. Descarga tipo 1	K3+444	22/10/2008	08:41	0,0389
	Canal San Blas	2. Descarga tipo 1	K3+851	22/10/2008	08:45	0,03
	Carrera 7ª con río Fucha	Río 3	K4+365	22/10/2008	08:50	0,421
	Carrera 8ª con calle 13 sur	3. Descarga tipo 1	K4+867	22/10/2008	08:55	0,0055
	Carrera 10 con calle 12 sur	4. Descarga tipo 1	K5+155	22/10/2008	09:00	0,1841
	Carrera 29A con diagonal 10ª sur	Río 4	K7+360	22/10/2008	09:35	0,7356
	Canal Albina	5. Descarga tipo 1	K8+862	22/10/2008	10:05	0,0590
	Aguas arriba canal río Seco	Río 5	K8+965	22/10/2008	10:15	0,8728
	Canal río Seco diagonal 17 sur	6. Descarga tipo 1	K9+579	22/10/2008	10:15	0,1656
	Fucha con avenida Ferrocarril	Río 6	K10+187	22/10/2008	10:15	1,1560
	Transversal 56 con diagonal 1ª	7. Descarga tipo 1	K10+873	22/10/2008	10:35	0,0064
	Aguas arriba canal Comuneros	Río 7	K11+782	22/10/2008	10:55	0,9062
	Canal Comuneros	8. Descarga tipo 1	K11+578	22/10/2008	11:25	0,4941
	Aguas arriba avenida Las Américas	Río 8	K12+267	22/10/2008	11:35	1,3477
	Descarga Éxito MD-MI + Negra MD	10. Descarga tipo 1	K12+576	22/10/2008	11:41	0,0048
	Villa Verónica-El Ferrol	11. Descarga tipo 1	K13+006	22/10/2008	11:56	0,0059
	Aguas arriba puente Clínica La Paz	Río 9	K13+463	22/10/2008	12:10	1,0890
	Descarga frente Clínica La Paz	12. Descarga tipo 1	K13+488	22/10/2008	12:10	0,0559
	Descarga negra aguas abajo Clínica La Paz	13. Descarga tipo 1	K13+973	22/10/2008	12:25	0,0757
Descarga aguas arriba avenida Boyacá	14. Descarga tipo 1	K14+141	22/10/2008	12:40	0,0030	
Aguas arriba avenida Boyacá	Río 10	K14+435	22/10/2008	12:40	1,6165	
Aguas arriba avenida Boyacá-día 2		K14+435	23/10/2008	08:20	1,2821	
Sector 2	Interceptor Fucha	15. Descarga tipo 1	K14+590	23/10/2008	08:20	2,3506
	Interceptor Boyacá	16. Descarga tipo 1	K14+611	23/10/2008	08:20	2,1862
	Interceptor del sur + Lafayette	17. Descarga tipo 1	K15+085	23/10/2008	08:50	0,7783
	Visión Colombia	Río 11	K15+697	23/10/2008	09:20	6,6397
	Canal San Francisco	19. Descarga tipo 1	K15+897	23/10/2008	09:40	0,0001
	Interceptor Kennedy	18. Descarga tipo 1	K15+764	23/10/2008	09:25	0,2362
	Estación bombeo El Vergel	20. Descarga tipo 1	K16+298	23/10/2008	10:10	0,0006
	Zona Franca	Río 12	K17+652	23/10/2008	11:37	6,7902
	Estación bombeo Fontibón	21. Descarga tipo 1	K17+911	23/10/2008	12:07	0,4150
	Río Fucha con Alameda	Río 13	K18+638	23/10/2008	12:50	7,3015

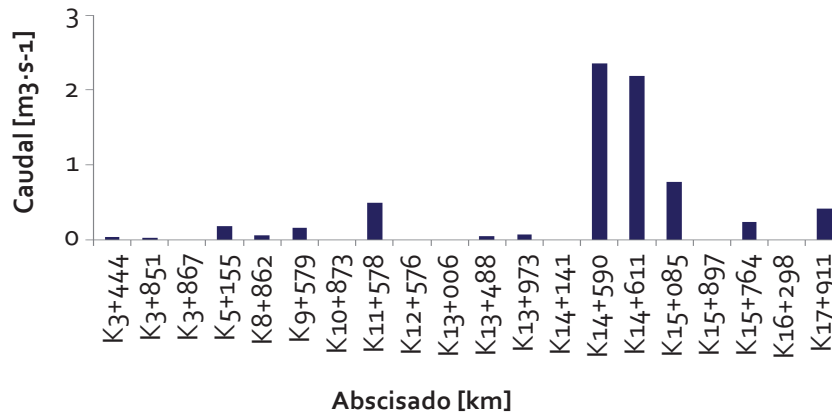


FIG. 5.21. Caudales observados para las fuentes puntuales (campana de seguimiento de masa)

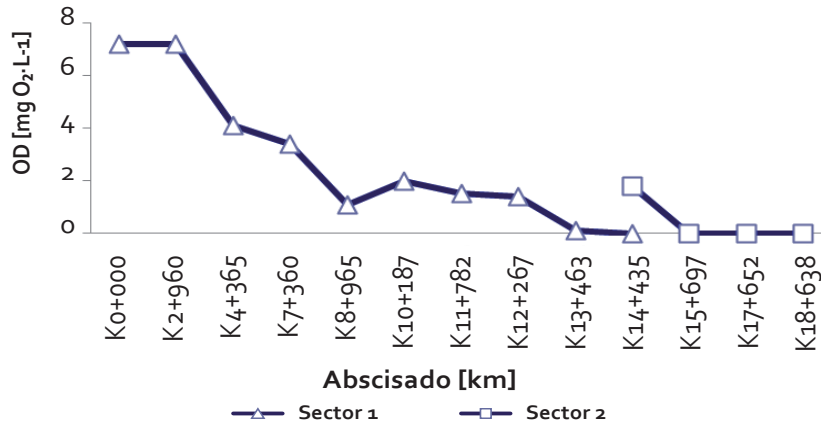


FIG. 5.22. Perfil longitudinal de OD (campana de seguimiento de masa)

El comportamiento de la DBO que se observa en la figura 5.23 es consistente con el agotamiento del oxígeno que se presenta en el río. El comportamiento observado en el perfil de la DBO para el sector 2 es debido al alto impacto de las fuentes puntuales allí presentes: *Interceptor Fucha*-(K14+590)-(FT-4-01), *Interceptor Boyacá*-(K14+611)-(FT-4-02) e *Interceptor del sur + Lafayette*-(K15+085)-(FT-4-03).

La carga de la DBO aportada por las fuentes puntuales para la fecha de ejecución del seguimiento de masa y hora específica de

toma de la muestra, se puede observar en la figura 5.24. En el sector de monitoreo 1 las principales fuentes puntuales, en términos de carga de la DBO son: *carrera 10 con calle 12 sur*-(K5+155)-(FT-2-13), con un aporte de 5 (Ton.día<sup>-1</sup>); *canal río Seco-diagonal 17 sur*-(K9+579)-(FT-2-87), con un aporte de 4 (Ton.día<sup>-1</sup>); y *canal Comuneros*-(K11+578)-(FT-2-149), con un aporte de 9 (Ton. día<sup>-1</sup>). En el sector 2 claramente se observa que el impacto está dado principalmente por las fuentes previamente mencionadas: *Interceptor Fucha*

(K14+590), con un aporte de 47 (Ton.día<sup>-1</sup>); *Interceptor Boyacá* - (K14+611)-(FT-4-02), con un aporte de 11,8 (Ton.día<sup>-1</sup>); *Interceptor Kennedy* - (K15+764)-(FT-4-15), con un aporte de 3,6 (Ton.día<sup>-1</sup>); y la *Estación de Bombeo Fontibón* - (K17+911)-(FT-4-42), con un aporte de 12,6 (Ton.día<sup>-1</sup>).

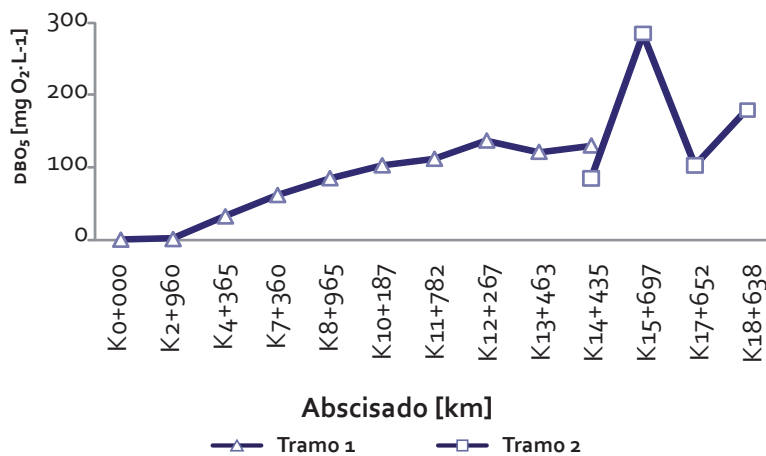


FIG. 5.23. Carga contaminante de la DBO (campana de seguimiento de masa)

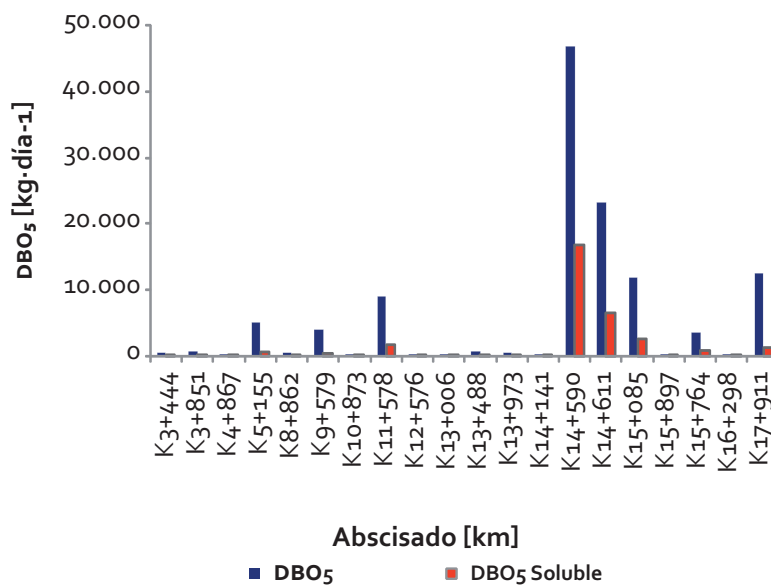


FIG. 5.24. Carga contaminante de la DBO (campana de seguimiento de masa)

El perfil de los SST que se presenta en la figura 5.25 es consistente con las descargas de las fuentes puntuales al río. En el sector 1 se encontraron dos picos importantes que obedecen a los aportes de las fuentes puntuales: *carrera 10 con calle 12 sur*-(K5+155)- (FT-2-13),

y una fuente intermitente que se encontraba descargando en el momento de la toma de muestras en la campaña de seguimiento de masa; la característica de esta descarga era de un agua de color oscuro y bastante concentrada en SST. La concentración de los SST determinada en laboratorio de una muestra puntual tomada a esta descarga, reportó valores de 107370 mg.L<sup>-1</sup>. En la figura 5.26 se puede

observar el efecto de las descargas puntuales *Interceptor Fucha-(K14+590)-(FT-4-01)*, *Interceptor Boyacá-(K14+611)-(FT-4-02)* e *Interceptor Kennedy-(K15+764)-(FT-4-15)* en el sector 2 de modelación del río Fucha. Estas descargas generan un aumento en el perfil longitudinal de los SST para este tramo hasta valores de 170 (mg.L<sup>-1</sup>).

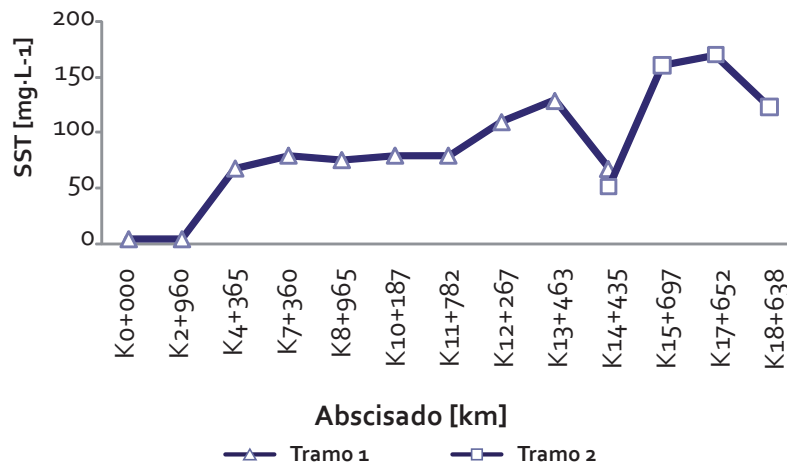


Fig. 5.25. Perfil longitudinal de los SST (campaña de seguimiento de masa)

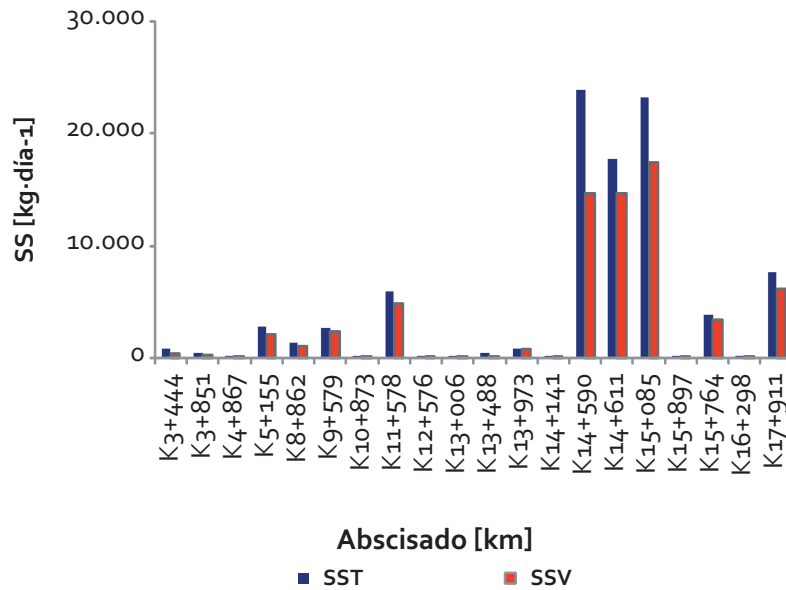


Fig. 5.26. Carga contaminante de los SST (campaña de seguimiento de masa)

## 5.4.3. Escenarios de saneamiento

Como se ha venido mencionando para el río Fucha las descargas contaminantes más importantes son: *carrera 5E-(K3+444)-(FT-1-16)*, *carrera 10 con calle 12 sur-(K5+155)-(FT-2-13)*, *canal Albina-(K8+862)-(FT-2-64)*, *canal río Seco-(K9+579)-(FT-2-87)*,

*(K11+578)-(FT-2-149)*, y el efecto agregado de los interceptores *Fucha (FT-4-01)*, *Boyacá (FT-4-02)*, *sur + Lafayette (FT-4-03)*, y *Kennedy (FT-4-15)*, en la cuenca baja del río. La tabla 5.13 muestra las descargas que fueron eliminadas de la condición actual para la simulación de los escenarios de saneamiento (fig. 5.27).

TABLA 5.13. Fuentes puntuales eliminadas para la generación de escenarios de saneamiento

Sector	Punto de monitoreo	Tipo	Abcisado (km)
Sector 1	Descarga carrera 5E	Alivio	K3+444
	Carrera 8ª con calle 13 sur	Alivio	K4+867
	Carrera 10ª con calle 12 sur	Alivio	K5+155
	Transversal 56 con diagonal 1ª	Alivio	K10+873
	Descarga Éxito MD-MI + Negra MD	Alivio	K12+576
	Villa Verónica - El Ferrol	Alivio	K13+006
	Descarga frente Clínica La Paz	Alivio	K13+488
	Descarga negra aguas abajo	Alivio	K13+973
	Clínica La Paz	Alivio	
	Descarga aguas arriba avenida Boyacá	Alivio	K14+141
Sector 2	Interceptor Fucha	Descarga directa	K14+590
	Interceptor Boyacá	Descarga directa	K14+611
	Interceptor del sur + Lafayette	Descarga directa	K15+085
	Interceptor Kennedy	Descarga directa	K15+764
	Estación bombeo El Vergel	Descarga directa	K16+298
	Estación bombeo Fontibón	Descarga directa	K17+911

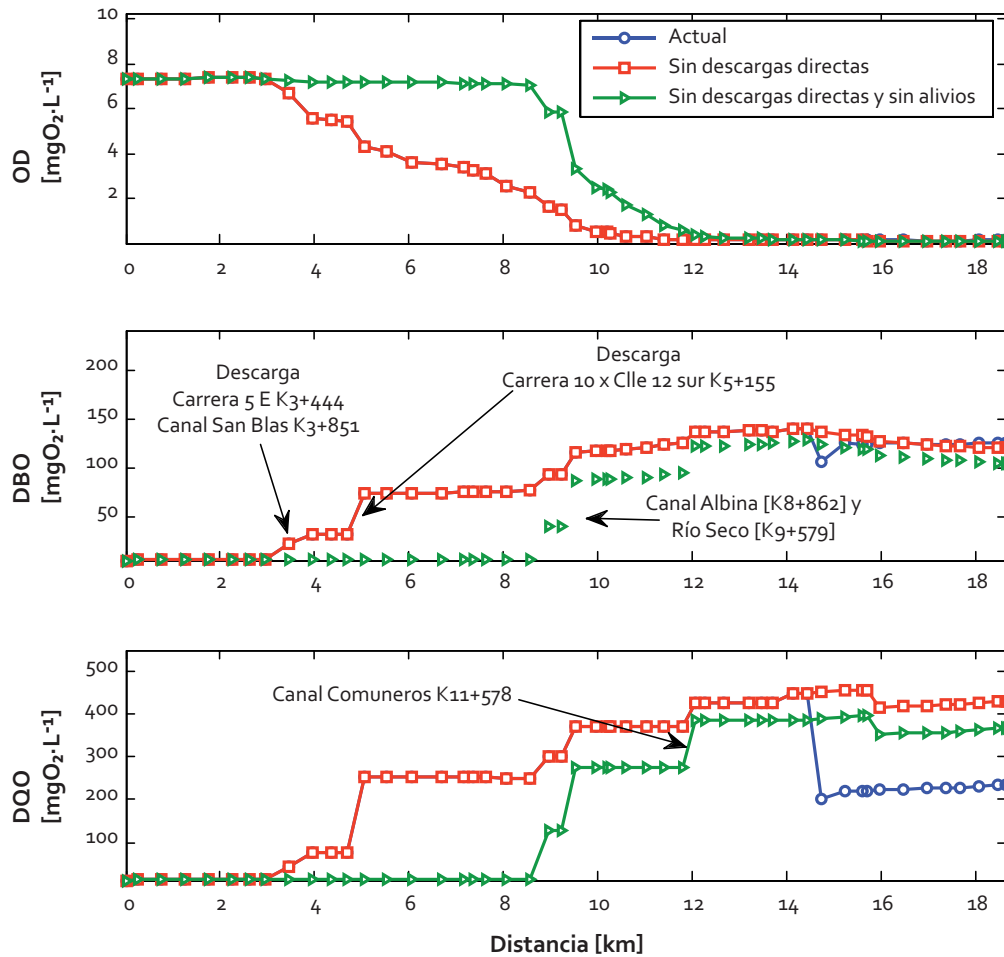


Fig. 5.27. Comparación escenarios de saneamiento (río Fucha)

## 5.5. Resultados de los monitoreos específicos

### 5.5.1. Sedimentos

Se tomaron muestras en tres puntos a lo largo del río Fucha, cuyos resultados se presentan en la tabla 5.14. En la figura 5.28 se muestran los contenidos de metales para los puntos monitoreados en el río Fucha. Se presentan mayores concentraciones de cinc a lo largo del río Fucha, especialmente en el

punto *Fucha Alameda* (K18+638). Asimismo, para todos los metales se observa una mayor concentración en este punto, lo cual obedece al fuerte proceso de sedimentación que se da en este punto por el remanso generado por el río Bogotá, y porque en este punto ya se han recibido todas las descargas de aguas residuales, tanto domésticas como industriales, que pueden tener presencia de metales, los cuales se acumulan en el sedimento hasta alcanzar los valores aquí reportados.

TABLA 5.14. Características de los sedimentos (río Fucha)

Parámetro	Unidades	Puntos de monitoreo (río Fucha)		
		Avenida Ferrocarril	Visión Colombia	Fucha Alameda
pH	Unidades de pH	7,24	7,54	7,78
ORP	mV	-111,2	-164,7	-193,4
Humedad	%	16,81	24,64	70,14
Sólidos totales	%	83,19	75,36	29,86
Fósforo total	%P - BS	0,05	0,03	0,31
Nitrógeno total	%N - BS	0,19	0,13	1,32
Demanda béntica endógena	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -día	5,01	8,03	4,12
Demanda béntica exógena	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -día	3,78	1,73	5,86
Arsénico	mg As. Kg <sup>-1</sup>	0,94	1,00	2,50
Cadmio	mg Cd. Kg <sup>-1</sup>	2,66	2,22	3,82
Cinc	mg Zn. Kg <sup>-1</sup>	94,28	179,29	573,57
Cromo total	mg Cr. Kg <sup>-1</sup>	8,58	32,94	65,50
Mercurio	mg Hg. Kg <sup>-1</sup>	21,20	23,20	57,20
Plomo	mg Pb. Kg <sup>-1</sup>	12,39	68,48	77,40

Al comparar estos contenidos de metales con las referencias de la EPA, Canadá y Francia, no se reporta ningún punto de monitoreo que cumpla con todas las referencias estudiadas. Según la Norma EPA 905/R-00/007, 2000, los valores reportados para el río Fucha no presentan efectos probables, severos o tóxicos para arsénico, cromo y plomo, ya que las concentraciones se encuentran por debajo del límite de peligrosidad. Sin embargo, para el punto *Fucha Alameda (K18+638)* las concentraciones de cadmio y cinc superan los valores sugeridos por esta norma, indicando el umbral de efecto tóxico y el nivel de efecto probable para ambos metales.

En cuanto a la referencia canadiense para la preservación de la flora y la fauna, las concentraciones de cadmio se exceden para todos los puntos muestreados, indicando un efecto bajo. Para las concentraciones de cinc, cromo y plomo reportadas para los puntos *Visión Colombia (K15+697)* y *Fucha Alameda (K18+638)*, se exceden los valores sugeridos e indican un efecto bajo según esta referencia. Comparando frente a la norma referente francesa se presenta el mismo caso que para el río Salitre, donde ninguno de los valores reportados cumple con los estándares sugeridos que garantizan una preservación de la flora y la fauna de la zona.

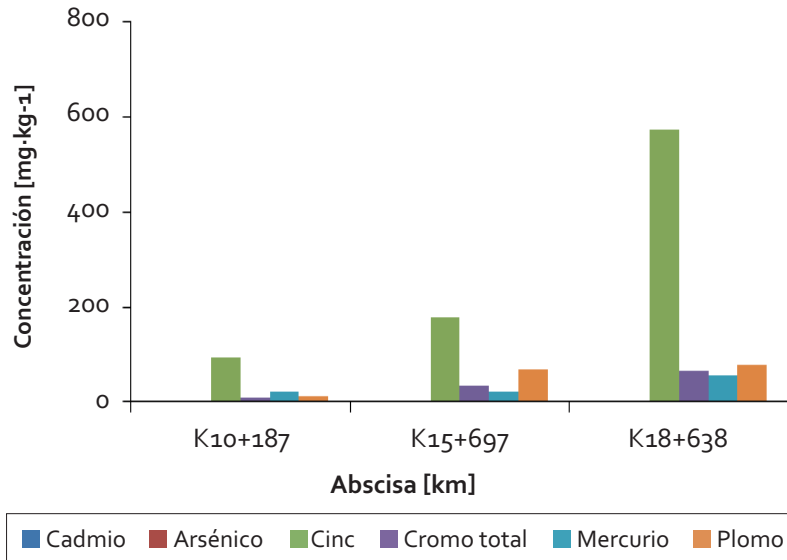


FIG. 5.28. Contenido metales sedimentos (río Fucha)

Para el caso del mercurio los valores reportados para el río Fucha son considerablemente superiores a los estándares, alcanzando concentraciones de hasta treinta veces mayor que el valor que causa efectos severos (2 mgHg.kg<sup>-1</sup>).

En cuanto al contenido de nutrientes se pudo determinar un aumento de los mismos en el río, a medida que se acerca a la desembocadura sobre el río Bogotá. Esto es de esperar

ya que a medida que avanza el río el impacto de las descargas de agua residual es mayor. Al igual que el caso del río Salitre, se evidencia un mayor contenido de nitrógeno que de fósforo en los tres puntos monitoreados, sobresaliendo por su más alta concentración el punto *Fucha Alameda (K18+638)*, que reporta valores considerablemente más altos que los demás puntos muestreados.

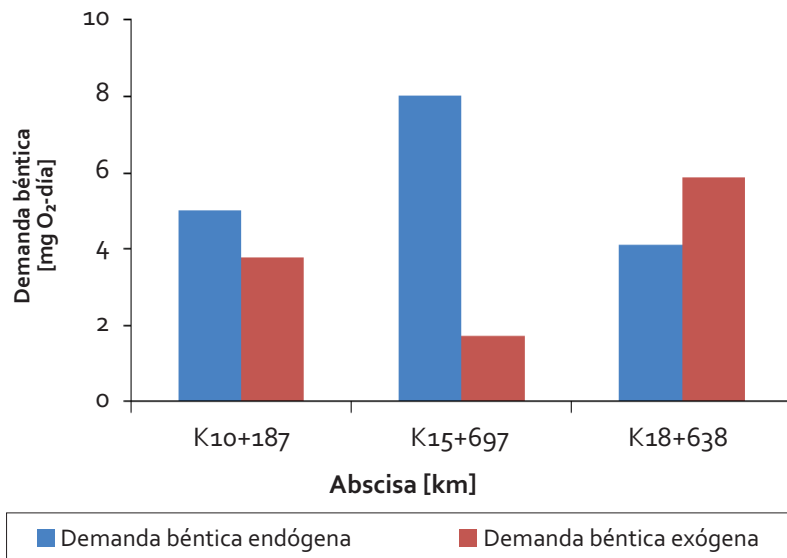


FIG. 5.29. Demanda béntica (río Fucha)

Según la figura 5.29, la demanda béntica de los sedimentos en el río Fucha es mucho mayor en el punto *Visión Colombia (K15+697)* que en los demás. Esto se puede deber a que aguas arriba de este punto han descargado los interceptores *Fucha, Boyacá y sur + Lafayette* con muy altas cargas orgánicas y sólidos sedimentables que contribuyen a un aumento de la cantidad de sedimento orgánico en ese punto, los cuales generan una alta demanda de oxígeno por parte de los sedimentos para llevar a cabo procesos de degradación.

### 5.5.2. Monitoreo de patógenos

Se tomaron muestras en cuatro puntos a lo largo del río (tabla 5.15). En general se puede observar que los patógenos que predominan son los coliformes totales y fecales, lo que da un claro indicio que su origen corresponde con descargas residuales domésticas. Similar al caso del río Torca, hay una menor proporción de microorganismos *E. coli*. No se detectó presencia de *Salmonella* spp. pero se reportaron valores más altos de concentración de huevos de helminto hacia la cuenca baja del río.

TABLA 5.15. Patógenos (río Fucha)

Parámetro	Unidad	Puntos de monitoreo			
		El Delirio	Avenida Ferrocarril	Avenida Las Américas	Fucha Alameda
		09:45	10:30	11:10	08:28
Coliformes totales	(UFC.100 mL <sup>-1</sup> )	3,72E+05	Incontables	1,30E+03	1,70E+07
Coliformes fecales	(NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	2,00E+01	1,30E+06	7,90E+06	1,40E+07
<i>E. coli</i>	(UFC.100 mL <sup>-1</sup> )	2,2E+05	3,9E+05	5,0E+02	Ausencia
<i>Salmonella</i> spp.	(UFC.100 mL <sup>-1</sup> )	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Fagos somáticos	(PFP.100 mL <sup>-1</sup> )	< 100*	1,1E+06	7,5E+05	9,5E+05
Huevos de helminto	(HH.L <sup>-1</sup> )	0,05	< 0,05*	0,15	< 0,05*

Se puede notar un aumento en la presencia de patógenos a medida que avanza el río hacia su desembocadura. Se presentan mayores concentraciones de patógenos en los puntos *avenida Las Américas (K12+267)* y en el punto *Fucha Alameda (K18+638)*, causados por las numerosas descargas de aguas residuales domésticas aguas arriba, entre las que sobresalen el *canal Comuneros (K11+783)* y los interceptores *Fucha, Boyacá y sur + Lafayette*.

Al comparar estas concentraciones con la referencia de la OECD se puede observar que para coliformes totales el punto *avenida Las*

*Américas (K12+267)* pertenece a la clase II, donde el agua puede destinarse a cualquier uso. Con respecto a coliformes fecales, la calidad de agua en el río Fucha se podría destinar a generación de energía (clase V) ya que la calidad del agua respecto al contenido de patógenos es muy mala para considerar otro tipo de uso, exceptuando el punto *El Delirio (K0+000)* cuya calidad de agua permite la destinación a cualquier uso, inclusive para el consumo humano. Para el caso de *E. coli* las concentraciones reportadas para el río Fucha permiten destinar el agua a clase I en el punto

*avenida Las Américas (K12+267)*; para los demás puntos muestreados la caracterización del agua permite destinar el uso a clase IV y clase V, esto es respectivamente, realizar un tratamiento intensivo para que el agua sea apta para consumo humano, y destinar el agua a generación de energía.

Las concentraciones reportadas para fagos somáticos en el punto *El Delirio (K0+000)* permiten destinar el agua a uso de clase I; caso contrario ocurre con los puntos aguas abajo donde los reportes para fagos somáticos superan los estándares en los diferentes usos. Con respecto a huevos de Helmintho sólo cumplen con los criterios de uso para clase V. Aunque la OECD no sugiere estándares para ningún uso del agua respecto a *Salmonella* spp., los valores medidos para el río Fucha reportan ausencia para los cuatro puntos muestreados.

### 5.5.3. Monitoreo de sustancias especiales

#### 5.5.3.1. Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)

Las concentraciones de benceno en todos los sitios de monitoreo sobre el río Fucha arrojaron resultados por debajo del límite de detección. Las concentraciones más altas de tolueno fueron encontradas en *Visión Colombia (K16+697)*.

Las concentraciones de etilbenceno se encontraron todas por debajo del límite máximo establecido para agua potable lo cual se puede explicar por su facilidad de pasar del agua o del suelo al aire. Los valores registrados no superan los límites máximos permisibles para agua potable. Finalmente los xilenos presentan concentraciones bajas posiblemente debido a su rápida evaporación y a que es degradado por microorganismos en el agua. Ninguna de las concentraciones

registradas supera los límites máximos permisibles para agua potable o para descargas a cuerpos de agua fluviales.

#### 5.5.3.2. Pesticidas

Para los pesticidas organoclorados y organofosforados se pudo observar que todas las muestras registraron concentraciones menores al nivel mínimo de detección para todos los parámetros determinados. En su totalidad no cumplen con el nivel máximo permisible de la norma colombiana para agua potable pero las concentraciones se encuentran por debajo de los límites establecidos para las descargas tanto para alcantarillados como para agua dulce y agua marina. De igual manera cumple con los límites determinados para agua que puede ser destinada para uso agrícola, pecuario o para fines recreativos.

#### 5.5.3.3. Bifenilos policlorados e hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los análisis de laboratorio arrojaron como resultado concentraciones menores al nivel mínimo de detección para PCB en los puntos monitoreados sobre el río Fucha. Por otro lado los niveles mínimos de detección son superiores a los límites máximos permisibles determinados para el agua para consumo humano y para el agua destinada para la preservación de flora y fauna. En el caso de los PAH a lo largo de los puntos monitoreados no se registraron concentraciones superiores al nivel mínimo de detección.

### 5.5.4. Monitoreo limnológico

#### 5.5.4.1. Categorización de los puntos de monitoreo según la calidad del hábitat

El punto *El Delirio* en la entrada al perímetro urbano del río Fucha presenta la mayor puntuación física de todos los tramos estudiados

(tabla 5.16), esto obedece a que el tramo, a pesar de no ser prístino, mantiene una cobertura vegetal y un flujo de corriente característico de la parte alta (o el ritron en términos fluviales) de los arroyos neotropicales (Wantzen y Rueda-Delgado, 2009). Este hecho determina que se pueden encontrar en este punto todos los hábitats fluviales

potenciales para la colonización de una diversa comunidad del bentos; esto es predominio de aportes de materia orgánica gruesa, baja sedimentación, alto nivel de cobertura del lecho por la copa de los árboles y bajos procesos de socavamiento de sus riberas gracias a la existencia de raíces del bosque ripario que estabilizan los bancos del arroyo.

TABLA 5.16. Estado de los puntos monitoreados (valoración multihábitat para las comunidades del bentos)

Afluente	Punto	Calificación	Categorización
Fucha	El Delirio	180	Óptimo
	Avenida Ferrocarril	40	Pobre
	Avenida Las Américas	40	Pobre
	Visión Colombia	25	Pobre

#### 5.5.4.2. Categorización de los puntos de monitoreo según los macroinvertebrados del bentos

En el punto *El Delirio* del río Fucha de diciembre de 2008, se colectó el mayor número de taxa de todos los muestreos realizados correspondiente al 40% de los taxa colectados. Es igualmente en este río donde se obtuvieron los mayores extremos de valores de riqueza. Así, el índice aplicado a los datos de las muestras colectadas indican desde pobreza biológica, como es el caso del punto *avenida Ferrocarril* (0,42), hasta alta riqueza característica de arroyos con mínima o baja intervención, como en el caso del punto *El Delirio* (3,95).

En el punto *El Delirio* el río Fucha está en un sector encañonado, lo que facilita que las lluvias locales arrastren materia orgánica de las riberas. Los cambios abruptos de caudal generarían igualmente resuspensión de sedimentos orgánicos finos. Así, los organismos

que pueden permanecer en estos puntos, aunque disponen de hábitat de buenas condiciones generales, están limitados por las variaciones hidráulicas de estos tramos, hecho que está documentado en los estudios que se han efectuado en estos mismos puntos.

#### 5.5.4.3. Perifiton

Las mayores riquezas en este afluente se obtuvieron, por supuesto, en el punto *El Delirio*, aun cuando en este caso no es el punto más rico y diverso, como ocurría en el caso de los macroinvertebrados. Por ello este punto sólo logra la calificación de subóptimo, perdiéndose rápidamente la calidad ambiental hacia su cuenca media y baja. En este afluente, y en general en todos los afluentes, la parte baja presenta pobreza ambiental según el índice de calidad usando el perifiton. No se desarrollan diatomeas y los organismos que colonizan los sustratos se reducen a protozoos.

## 6. EL RÍO TUNJUELO

**E**l río Tunjuelo nace de la confluencia de los ríos Chisacá, Mugroso y Curubital en el páramo de Sumapaz y su cuenca tiene un área de 45.664 hectáreas. Recibe

las aguas de las quebrabas Limas, Yomasa, el Zuque, Santa Librada, Juan Rey, la Pichosa, Nueva Delhi, Gaviotas, Aguas Calientes, entre otras (fig. 6.1).



FIG. 6.1. Río Tunjuelo

### 6.1. Resultados del monitoreo fisicoquímico

#### 6.1.1. Bandas históricas

En este ítem se presentan los resultados de los monitoreos fisicoquímicos realizados sobre el río Tunjuelo dentro del Convenio 069 de 2007 para metales (bario, cadmio, cinc, cobre, cromo, manganeso, plomo y níquel), algunas sustancias tóxicas (arsénico, cianuros, fenoles, sulfuros), grasas y aceites y las

SAAM. Este tipo de análisis, al igual que para los otros tres ríos, se realizó con el propósito de generar comparaciones entre los resultados históricos de monitoreo en el río Tunjuelo, frente a los resultados de seguimiento realizados durante 2008 y 2009. Para cada punto específico de monitoreo se presentan los resultados históricos medidos (mínimo, mediana y máximo) y los resultados obtenidos en las dos campañas de monitoreo de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB).

En general, las concentraciones registradas para el río Tunjuelo durante las campañas de monitoreo de la RCHB realizadas bajo el Convenio 069 de 2007 se encuentran dentro de los límites definidos a partir de los datos históricos. Se presentaron casos particulares para algunos parámetros como el cadmio, donde los valores reportados para ambas campañas son mayores a la mediana histórica, e incluso para el sitio de monitoreo *Doña Juana* se reportó en la campaña 2 una concentración mayor que la máxima histórica.

Se pudo observar claramente cómo se incrementan las concentraciones de nutrientes y contaminantes, aunado a la reducción del oxígeno disuelto hacia aguas abajo, evidenciando el efecto de las diferentes descargas ubicadas a lo largo de la cuenca del río Tunjuelo sobre la calidad. De igual manera, se detectó la presencia de otros contaminantes, como metales pesados, fenoles, grasas y aceites, los cuales están asociados a descargas de agua residual de tipo industrial.

En la campaña 2 se observaron mayores concentraciones en materia orgánica en el tramo 4 del río Tunjuelo, frente a los valores reportados por la campaña 1. Se presentó un pico máximo de concentración para la DQO, las SAAM y amonio en el sitio de monitoreo *Doña Juana* durante la campaña 1, los cuales sobrepasan los valores máximos históricos; sin embargo, tales concentraciones se podrían esperar, ya que este punto se caracteriza por tener gran dispersión en los parámetros.

También hubo un importante incremento en la presencia de grasas y aceites (campaña 2) para los puntos de monitoreo *Yomasa* y *Makro autopista Sur*. Este comportamiento es atípico considerando todos los valores reportados hasta el momento para estos puntos, y pudieron ser causados por picos de concentración en las descargas directas aguas arriba.

Se encontró una gran variabilidad en las concentraciones reportadas para las SAAM, ya que no se pudo identificar un patrón de comportamiento común para ninguno de los puntos de monitoreo. Dentro de los valores reportados se midieron picos máximos en los puntos de monitoreo *Doña Juana, transversal 86* e *Isla Pontón San José*.

#### 6.1.2. Diagrama de cajas

Para el análisis de los parámetros se tuvo en cuenta la definición de los diferentes tramos según la Resolución 5731 de 2008 de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA):

- Tramo 1: desde la entrada al perímetro urbano hasta la desembocadura de la quebrada Yomasa, con sitios de monitoreo en La Regadera, UAN y Yomasa.
- Tramo 2: desde la desembocadura de la quebrada Yomasa hasta la avenida Boyacá, en el cual se encuentran los sitios de monitoreo Yomasa y Doña Juana.
- Tramo 3: entre la avenida Boyacá y la autopista Sur, cuyos puntos de monitoreo son: Doña Juana, México, San Benito y Makro autopista Sur.
- Tramo 4: entre Makro autopista Sur y la desembocadura del río Tunjuelo; sitios de monitoreo: Makro autopista Sur, transversal 86, Puente Independencia e Isla Pontón San José.

##### 6.1.2.1. pH

Se reportan valores típicos para el pH en todos los tramos (fig. 6.2), evidenciándose un ligero incremento en este parámetro desde el tramo alto hacia los tramos medio y bajo. Se observan algunos valores muy elevados para los tramos 3 y 4, los cuales no representan el comportamiento promedio real en esa zona del río.

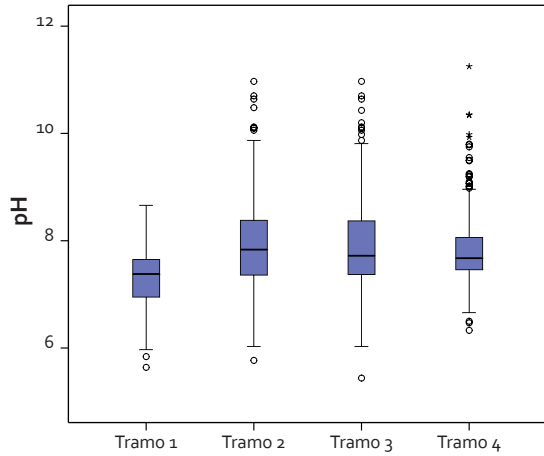


FIG. 6.2. pH (río Tunjuelo)

6.1.2.2. Conductividad

Se puede identificar que el tramo 1 es el que menos contaminación presenta frente a los demás tramos, ya que la conductividad puede ser un buen indicador de contaminantes solubles. Desde el punto de vista de la conductividad, el tramo 4 es el más crítico del río Tunjuelo por presentar valores de hasta 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El progresivo aumento por tramos de este parámetro corrobora la contaminación que va recibiendo el río a lo largo de su cauce (fig. 6.3).

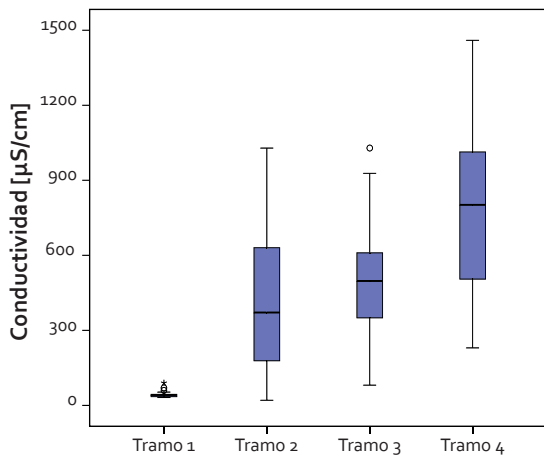


FIG. 6.3. Conductividad (río Tunjuelo)

6.1.2.3. Oxígeno disuelto

Se observa (fig. 6.4) la disminución sostenida en la concentración de oxígeno disuelto, donde el río pasa de tener concentraciones de 8,0 mg/L en el punto La Regadera, descendiendo a 5,0 mg/L en el tramo 2, hasta tener presencia casi de oxígeno nula en los últimos tramos. Se puede observar que el río Tunjuelo presenta condiciones anóxicas en el tramo 4, aun cuando ha habido reportes de valores atípicos con concentraciones de hasta 4,0 mg/L, lo cual es una situación muy inusual en esta zona del río.

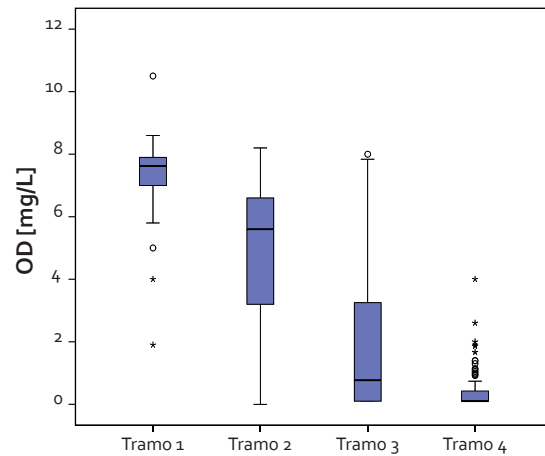


FIG. 6.4. Oxígeno disuelto (río Tunjuelo)

6.1.2.4. Materia orgánica

Para el caso del contenido de materia orgánica expresada como la DBO y la DCO, se pudo observar un comportamiento similar para ambos parámetros; en los tramos 3 y 4 se presentan las peores condiciones de contaminación en el río Tunjuelo desde el punto de vista de la materia orgánica. Se ve un aumento aguas abajo en el contenido de materia orgánica en el agua del río, asociado a las diferentes descargas que recibe en su

curso por la ciudad. Para ambos parámetros se presentaron valores atípicos en el tramo 4 con valores muy alejados de la mediana.

#### 6.1.2.5. Sólidos suspendidos totales

El comportamiento de los sólidos suspendidos totales varía de manera considerable según el tramo analizado (fig. 6.5). El tramo más afectado con respecto a este parámetro es el tramo 2, donde se reportan valores de hasta 6000 mg/L, y algunos valores atípicos aún más extremos que se presentan en

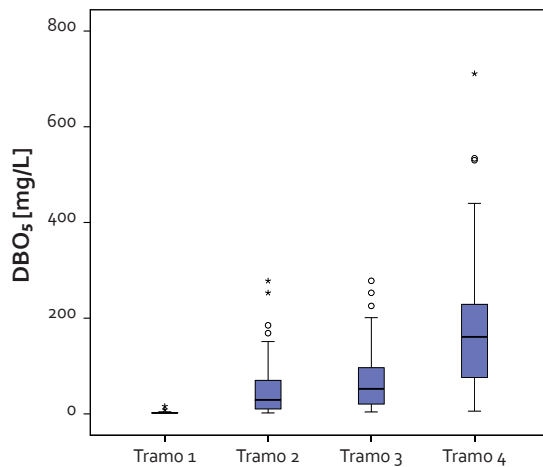


FIG. 6.5. Materia orgánica (río Tunjuelo)

#### 6.1.2.6. Nutrientes

En el caso del nitrógeno (fig. 6.7), los tramos 3 y 4 presentaron las condiciones más críticas de contaminación en el río Tunjuelo. Tanto para el NTK como para el nitrógeno amoniacal se presentaron valores atípicos en el tramo 3, con valores muy alejados de la mediana, situación posiblemente causada por la naturaleza de los vertimientos procedentes del relleno sanitario Doña Juana. Sin embargo, al igual que con el contenido de materia orgánica, se puede apreciar un

condiciones muy especiales. Esta situación es generada principalmente por las extracciones de mineral aguas arriba del punto *Doña Juana*, dado que se descargan grandes cantidades de sólidos provenientes de las actividades de explotación, de forma casi permanente sobre el cauce del río (fig. 6.6). Debido a la naturaleza inorgánica de estos sólidos, no es lógico encontrar correlación entre los contenidos de materia orgánica y los de sólidos suspendidos, al tener los parámetros diferentes orígenes.

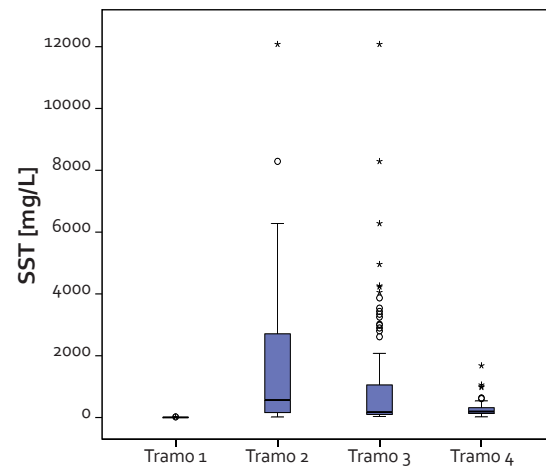


FIG. 6.6. SST (río Tunjuelo)

aumento progresivo en la cantidad de nitrógeno en el agua del río. Así que, sumado a las potenciales descargas ricas en nitrógeno procedentes de Doña Juana, gran parte de la carga nitrogenada se debe a descargas de origen doméstico. En el caso del fósforo, es mucho más importante la carga procedente del relleno sanitario que la aportada en el resto del curso del río por descargas de tipo doméstico; pues, a diferencia del NTK, las concentraciones más altas de fósforo siguen siendo encontradas en el tramo 2.

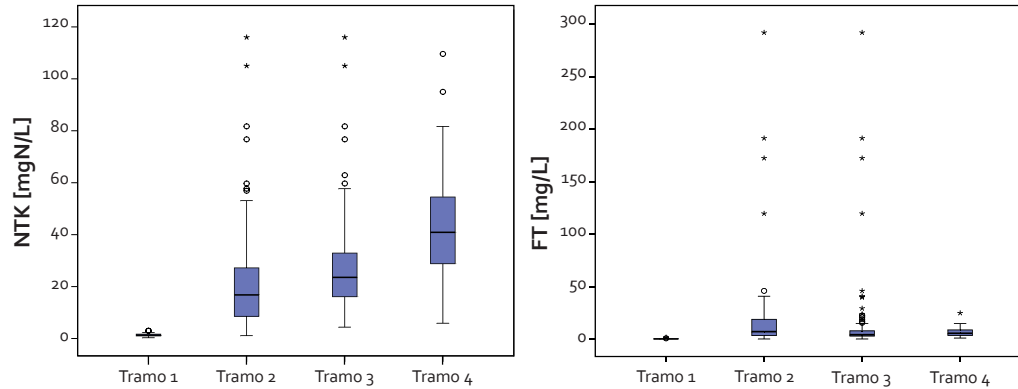


FIG. 6.7. Nutrientes (río Tunjuelo)

6.1.3. Interrelaciones paramétricas

En la figura 6.8 se puede apreciar la relación directa que existe entre DQO y la DBO, en especial para los tramos 2, 3 y 4 del río, causado por las descargas de aguas residuales de origen doméstico su contenido de materia orgánica. Para el tramo 1 (La Regadera) el comportamiento entre estos parámetros es diferente, debido a que a esta altura el río no ha entrado al perímetro urbano y no ha sido afectado por descargas antropogénicas, por lo tanto el contenido de materia orgánica, y la relación entre éstas, es afectado principalmente por la materia natural vegetal (p. ej. ácidos húmicos y fúlvicos).

En correlación con los sólidos suspendidos totales y la demanda biológica de oxígeno

(fig. 6.9) existen casos particulares para cada tramo del río. En el tramo 1 no se identifica una relación entre estos parámetros, posiblemente causado por las mismas razones mencionadas de la relación DBO y DQO. En los tramos 2 y 3 no se presentan buenas relaciones, ya que, como se mencionó, dentro de estos tramos se encuentra el punto *Doña Juana* en el cual se han reportado valores extremos en los SST, y que no están relacionados con materia orgánica (sino con la actividad minera aguas arriba). Finalmente, para el tramo 4 sí se puede relacionar el contenido de sólidos suspendidos totales con la materia orgánica presente en el río de forma lineal, lo cual indica que la afectación por estos dos parámetros en tal tramo específico del río proviene principalmente de descargas de aguas residuales domésticas.

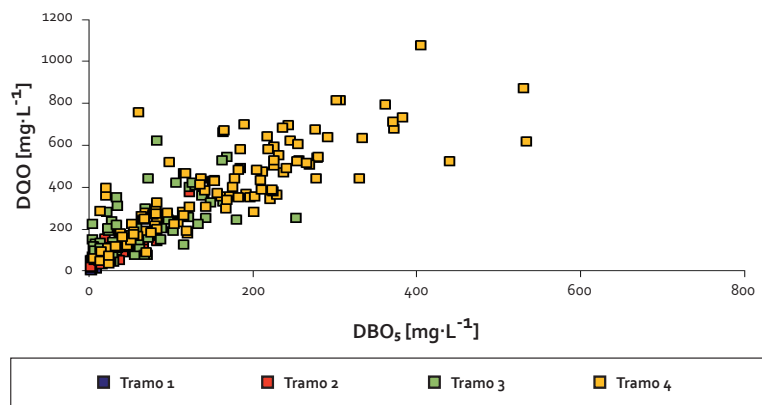


FIG. 6.8. Relación DBO/DQO (río Tunjuelo)

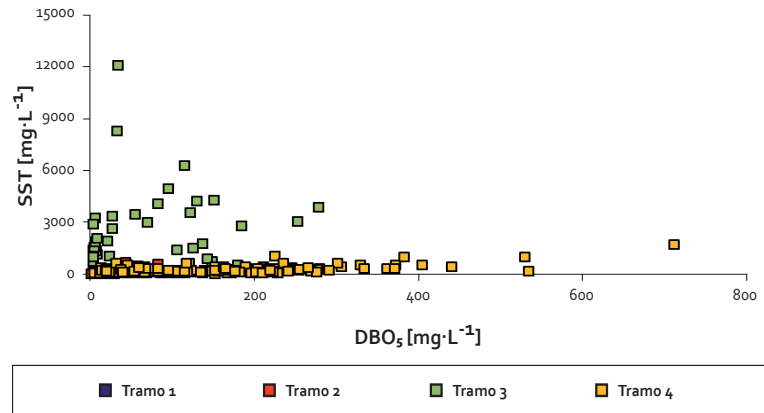


FIG. 6.9. Relación DBO/SST (río Tunjuelo)

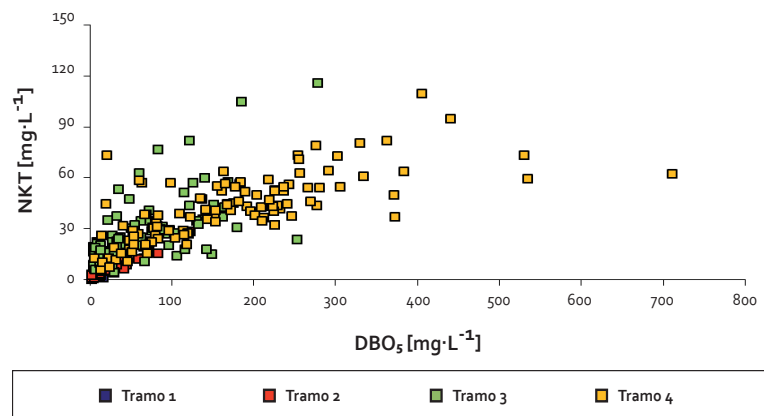


FIG. 6.10. Relación DBO/NKT (río Tunjuelo)

De acuerdo con la figura 6.10, se puede afirmar que existe una relación lineal entre el NTK y la DBO para la casi totalidad del río. Esto indicaría una alta concentración de nitrógeno orgánico biodegradable y un origen altamente doméstico en ambos parámetros para las descargas que se vierten sobre el río.

#### 6.1.4. Cargas contaminantes

Se compararon las cargas estimadas a partir de las campañas de seguimiento de masa y de las campañas de monitoreo realizadas a los puntos de la RCHB, con los valores mínimo y promedio estimados a partir de la campaña efectuada en el período 2006-2007

con el Convenio 05 de 2006. Los aumentos en las cargas (DBO y SST) hacia aguas abajo del río (fig. 6.11) se deben a las descargas contaminantes vertidas a lo largo de éste. En algunos puntos cercanos a la desembocadura se observan menores valores de carga, posiblemente causados por la sedimentación por parte de la materia orgánica particulada, dadas las bajas velocidades que se presentan en dichos trayectos.

Para el caso de carga de la DBO se puede evidenciar una notable reducción en la carga contaminante en los diez puntos monitoreados en el río frente a los valores de carga promedio para el período 2006-2007 (SDA y EAAB, 2008). Tomando como referencia las cargas

contaminantes estimadas para 2006-2007 y las cargas estimadas para las campañas realizadas en el Convenio 069 de 2007 (años 2008 y 2009), se pueden notar reducciones de un 50% con respecto a todo el río, en comparación con la campaña de seguimiento de masa (diciembre de 2008); de un 70% en comparación con la primera campaña de monitoreo de la RCHB (septiembre-octubre de 2008); y de un 63% con la segunda campaña de monitoreo (febrero-marzo de 2009).

Las cargas de los SST también son indicadores de contaminación hídrica. El punto más crítico en cuanto a carga de sólidos es *Doña Juana*, ubicado en la cuenca media del río, y, como ya se mencionó, está afectado por las descargas provenientes de las canteras adyacentes al sitio. Aunque todavía se presentan altas cargas de sólidos en este punto, se evidencia una considerable reducción tomando como referencia el valor de carga promedio para la campaña 2006-2007. Por otro lado, el punto *Makro autopista Sur* presenta actualmente cargas de sólidos relativamente altas

con referencia a la carga promedio que se presentaba en este punto. Tomando como referencia las cargas contaminantes estimadas para 2006-2007 y las cargas estimadas para las campañas realizadas entre 2008 y 2009, se pueden notar reducciones de un 66% con respecto a todo el río en comparación con la campaña de seguimiento de masa (diciembre de 2008); de un 78% en comparación con la primera campaña de monitoreo de la RCHB (septiembre-octubre de 2008); y de un 66% en comparación con la segunda campaña de la RCHB (febrero-marzo de 2009).

Es importante resaltar que estas diferencias tan marcadas en carga pueden corresponder a las distintas condiciones hidroclimáticas en las que se realizaron cada una de las campañas, y no exclusivamente a disminuciones reales de carga aportada al río por parte de la ciudad. En trabajos futuros se deberán desarrollar metodologías de normalización que permitan comparar en forma más acertada las cargas para diferentes escenarios temporales.

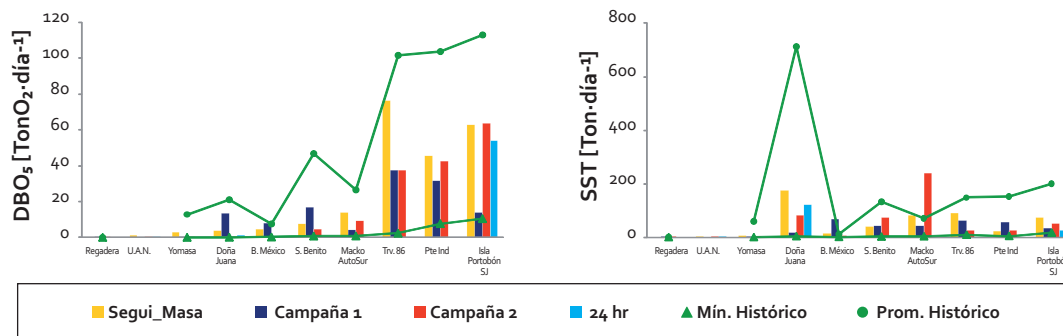


FIG. 6.11. Carga contaminante (río Tunjuelo)

## 6.2. Calidad del agua

### 6.2.1. Resultados de los monitoreos

Para establecer el cumplimiento de los objetivos de calidad en el río Tunjuelo en el período 2008-2009, se compararon con la Resolución 5731 de 2008 los valores de los parámetros

medidos durante las diferentes campañas de monitoreo realizadas a lo largo del Convenio 069 (monitoreo fisicoquímico, monitoreo complementario, seguimiento de masa y monitoreo veinticuatro horas). En las tablas 6.2 a 6.6 se presentan los resultados de caracterización en cada una de las campañas en mención.

TABLA 6.2. Campaña 1 (río Tunjuelo)

Puntos de monitoreo Nombre	Fecha (DD/MM/AAAA)		OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	pH unidades	SAAM (mg/L)
La Regadera	7,20	26/09/2008	8,7	11,2	1,6	0,83	5	<3,6	6,83	<0,02	
	8,05										
	8,05										
	7,67										
	7,63										
7,60											
Yomasa	6,90	25/09/2008	2,6	26,6	1,9	0,56	34	10,2	8,35	0,14	
Doña Juana	<0,1	01/10/2008	168,7	546	60,2	3,9	243	592	7,26	4,5	
	0,8										
Barrio México	1	24/09/2008	18,7	64,5	13,1	1,7	161	10,7	8,48	0,62	
	0,2		24,5	79,8	17,2	1,3	61	6,9	6,62	0,93	

San Benito	24/09/2008	0,1										7,40	
		0,1										7,63	
												8,16	
Makro autopista Sur	25/09/2008	1,3	5,8	61,6	14,3	0,91	60	9,4				8,41	0,33
												8,52	
												8,76	
												8,87	
												8,83	
Transversal 86	26/09/2008	<0,1	98,2	519,1	59,0	2,6	162,5	35,3				8,82	3,73
		0,9										9,01	
		1,1										7,90	
		1,2										8,06	
Puente Independencia	26/09/2008	<0,1	66,8	245,2	40,1	3,0	124	50,5				7,72	2,62
												7,69	
												7,64	
												7,65	
												7,62	
Isla Pontón San José	26/09/2008	1,1	40,5	165	33,8	2,4	100	11,9				7,27	2,78
		1,40										7,42	
		1,30										7,31	
		1,30										7,99	
		1,30										7,23	

TABLA 6.3. Campaña 2 (río Tunjuelo)

Puntos de monitoreo Nombre	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100mL)	Unidades	(mg/L)
La Regadera	25/02/2009	7,00	2,7	33	1,52	0,18	10			7,50	<0,05
		8,73								7,09	
		8,91								7,38	
		8,80								7,40	
		8,94								7,50	
		8,65									
Yomasa	11/02/2009	4,0	17,4	95,8	10,7	2,7	19	338		7,45	0,6
										7,50	
										7,48	
										7,53	
Doña Juana	12/02/2009	6,8	4,4	224	33,2	11,0	1384	159	2,1E+06	10,06	0,68
										10,97	
										10,64	
										10,70	
Barrio México	12/02/2009	0,6	7,1	130	15,3	3,9	75	5,1		7,29	0,23
										7,35	
										7,25	
										7,29	
									7,20		

San Benito	13/02/2009	<0,1	7,0	99,1	19,0	2,63	110	13,8	1,1E+05	7,02	0,23
										7,03	
										7,07	
										7,08	
										7,07	
Makro autopista Sur	13/02/2009	<0,1	13,9	288	27,3	3,19	367	463	1,1E+05	7,26	2,51
										7,33	
										7,42	
										7,44	
										7,29	
Transversal 86	12/02/2009	<0,1	182	483	58,3	14,7	132	30,4		7,60	4,86
										7,60	
										7,68	
										7,69	
										7,76	
Puente Independencia	12/02/2009	<0,1	184	582	59,0	14,4	111	37,4		7,57	6,71
										7,6	
										7,61	
										7,59	
										7,55	
Isla Pontón San José	12/02/2009	<0,1	226	530	53,5	9,8	183	34,7	5,4E+07	7,72	6,96
										7,47	
										7,48	
										7,36	
										8,16	

TABLA 6.4. Campaña complementaria

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	GYA (mg/L)	pH Unidades	SAAM (mg/L)
La Regadera	18/03/2009	10:25	6,5	4,3	14,8	1,14	0,13	21	5,5	7,89	0,82
			6,8							8,32	
			7,6							7,60	
			7,3							8,10	
			7,6							8,48	
	29/03/2009	15:30	7,7	2,13	24,0	1,11	0,15	23	9,6	7,74	<0,02
			7,9							7,65	
			8,2							7,38	
			7,8							7,34	
	30/03/2009	13:45	7,9							7,27	
			7,5	15,9	30,8	1,11	0,18	<5	<3,6	8,39	0,034
			7,5							7,84	
02/04/2009	23:30	7,7							7,65		
		7,6							7,58		
		7,7							7,37		
			4,3	46,3	1,11	0,25	26	<3,6	8,60	0,06	
								8,66			
								7,50			
								7,30			
								7,50			

Yomasa	18/03/2009	16:15		22,4	110	7,64	3,03	178	4,3	7,26	0,33
										7,35	
										7,43	
										7,43	
										7,42	
	20/03/2009	17:25	6,5	19,8	156	5,57	1,42	303	6,9	7,11	1,58
										7,33	
										7,38	
										7,83	
										7,36	
	23/03/2009	10:45	6,6	29,4	48	3,90	1,78	27	<3,6	7,40	0,38
			6,4							7,25	
			6,5							7,29	
			6,3							7,16	
			6,0							7,40	
27/03/2009	15:30		11,7	45,7	1,70	0,52	31	10,2	7,27	0,17	
									7,56		
									7,80		
									7,27		
									7,48		
02/04/2009	21:00		5,01	55	1,11	0,80	152	<3,6	7,25	0,11	
									6,71		
									6,81		
									6,80		
									6,25		

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Nombre	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	pH Unidades	SAAM (mg/L)
Doña Juana		19/03/2009	20:15		27,6	237	25,98	28,2	2613	5,9	7,32	1,1
											7,56	
											7,62	
											7,78	
											7,72	
Barrio México		19/03/2009	20:50		35,3	105	15,3	2,44	1290	9,1	7,40	2,0
											7,33	
											7,41	
											7,48	
											7,45	
Barrio México		23/03/2009	13:30	1,0	60,6	177	21,06	4,15	110	<3,6	7,07	2,6
											7,70	
											7,48	
											7,18	
											7,23	

Barrio México	28/03/2009	4:30	0,4	36,6	14,0	19,50	3,19	217	32,2	7,55	1,91	
			0,3								7,54	
			0,4								7,53	
			0,4								7,53	
			0,4								7,40	
	29/03/2009	20:00	0,8	13,7	133	20,16	3,10	114	3,6	7,31	1,71	
			0,8								7,62	
			1,7								7,60	
			1,1								7,60	
			0,8								7,65	
	31/03/2009		0,2	149	326	15,2	4,74	747	<3,6	7,59	1,25	
											7,74	
											7,86	
											7,79	
											7,86	
01/04/2009	7:30	1,0	5,4	117	14,9	1,96	211	4,4	7,34	4,70		
		0,9								7,30		
		1,6								7,67		
		1,3								7,64		
		1,6								7,48		

Puntos de monitoreo		Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	pH Unidades	SAAM (mg/L)
Nombre												
San Benito	19/03/2009	23:00		66,6	215		27,5	3,80	107	16,2	7,42	2,07
											7,52	
											7,46	
											7,65	
											7,52	
	25/03/2009	16:45		2,2	142,8	254	18,0	3,44	896	<3,6	8,14	1,5
				2,4							8,15	
				1,4							8,24	
				0,2							8,60	
	27/03/2009	13:00		0,9	37,2	158	25,2	3,22	206	8,6	7,83	2,19
				0,3							7,40	
				0,3							7,32	
01/04/2009	12:30		0,3	57,8	203	20,4	3,60	214	13,7	7,40	1,54	
			0,8							7,26		
			1,2							7,82		
			0,8							8,23		
			0,7							7,93		
			0,4									

Makro autopista Sur	19/03/2009	3:05		82,6	244	31,6	4,4	151,1	17,4	7,57	3,82	
											7,54	
												7,54
												7,64
												7,65
	23/03/2009	7:30	1,7	69,6	193	19,4	2,88	126,1	11,5	7,09	3,86	
			1,1								7,23	
			1,9								7,36	
			1,7								7,29	
			1,9								7,35	
	24/03/2009	15:00	0,2			26,9	4,69	132,1	19,4	7,53	1,94	
			0,2							7,45		
			0,4							7,45		
			0,2							7,42		
			0,7							7,45		
	25/03/2009	19:00	0,7	226	505	32,3	5,46	1059	19,4	7,81	3,35	
			0,7							7,76		
			0,5							7,63		
			0,2							7,70		
			0,2							7,75		
01/04/2009	14:40	0,7	29,0	117	19,08	2,7	111	7,5	7,67	0,94		
		1,4							7,48			
		0,5							7,53			
		0,9							7,56			
		0,5							7,57			

(Cont.)

Puntos de monitoreo	Nombre	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DOO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	G y A (mg/L)	pH	SAAM (mg/L)		
													Unidades	
Transversal 86		23/03/2009	16:00	1,0	158	424	30,0	4,53	536,7	95,4	7,38	4,8		
				2,6								7,51		
													7,56	
													7,81	
													8,89	
			24/03/2009	8:00	0,3	192	370	43,1	6,32	330	35,1	7,38	5,28	
					0,3								7,34	
					0,3								7,36	
					0,3								7,38	
					0,3								7,45	
			26/03/2009	21:00	0,2	152	431	35,8	5,65	400	25,8	7,97	4,36	
					0,2								7,87	
					0,3								7,71	
					0,3								7,67	
					0,2								7,63	
					0,5								7,86	4,67
		31/03/2009	13:30	0,3	142	386	41,5	5,05	224	23,0	8,01			
				0,4								8,04		
				0,3								8,60		
				0,4								8,84		
				0,5										

Puente Independencia	24/03/2009	10:25	0,4	175	403	45,3	8,69	219	5,2	7,38	5,2	
			0,5							7,38		
			0,5							7,43		
			0,6							7,49		
			0,7							7,52		
	26/03/2009	16:00	0,4	189	701	51,8	9,31	396	59,5	5,86	7,71	5,86
			0,2							7,70		
			0,3							7,67		
			0,3							7,43		
			0,3							7,93		
	27/03/2009	8:30	0,5	79,8	275	25,9	3,44	187	56,8	3,35	7,03	3,35
										7,35		
										7,40		
										7,50		
										7,53		
	31/03/2009	11:00	0,2	81,6	275	34,2	4,30	320	24,0	3,45	7,59	3,45
										7,74		
										7,86		
										7,79		
										7,86		

TABLA 6.5. Seguimiento de masa

Puntos de monitoreo	Nombre	Fecha (DD/MM/AAAA)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH
	Aguas abajo quebrada Yomasa	10/12/2008	5,90	21,6	38	3,3	0,86	44	3,3E+05	8,31
	Aguas abajo interceptor Quintas	10/12/2008	7,16	14,0	26	6,8	0,4	45	1,3E+06	8,20
	Aguas arriba lixiviados Doña Juana	10/12/2008	7,01	16,8	129	6,5	9,1	676	1,7E+03	10,68
	Relleno sanitario Doña Juana	10/12/2008	7,23	28,8	171	12,7	10,7	1302	2,0E+05	9,94
	La Rápida	10/12/2008	6,40	90,0	311	21,0	7,4	103	1,4E+06	9,38
	Barrio México	11/12/2008	1,20	16,5	49	12,5	2,0	56	5,4E+05	7,88
	San Benito	11/12/2008	0,36	34,6	114	22,9	2,6	180	2,2E+06	7,88
	Makro autopista Sur	11/12/2008	0,1	51,0	241	26,6	3,7	300	2,0E+05	7,69
	Transversal 86	11/12/2008	0,1	229,2	693	59,3	4,9	274	3,3E+06	7,46
	Puente Independencia	11/12/2008	0,1	161,2	426	48,6	5,9	87	4,9E+06	7,63
	Isla Pontón San José	11/12/2008	0,1	172,7	557	61,5	5,6	205	7,9E+06	7,43

TABLA 6.6. Campaña veinticuatro horas

Puntos de monitoreo	Nombre	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD	DBO	DOO	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub>	SST	G y A	C. fecales	pH	SAAM		
				(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100mL)	Unidad	(mg/L)			
Doña Juana		18/05/2009	10:00	6,55								6,92			
			10:30	6,72									6,99		
			11:00	6,68	4,8	85		20,9	970				1,5E+03		
			11:30	6,37									8,23		
			12:00	6,32									8,60		
			12:00	6,32									8,60		
		18/05/2009	12:30	5,95										7,79	
			13:00	5,92	7,1	81		23,8	3252				4,6E+04	8,43	
			13:30	5,72										7,71	
			14:00	5,77										7,96	
			14:00	5,77										7,96	
			14:30	2,53										7,83	
		18/05/2009	15:00	5,49	6,3	73		29,2	1850				4,6E+04	7,94	
			15:30	5,67										7,95	
			16:00	5,43										8,10	
			16:00	5,43										8,10	
		18/05/2009	16:30	5,65										7,65	
			17:00	5,37	27,4	75		22,3	3345				2,4E+04	7,61	
17:30	5,34											7,69			
18:00	5,44											7,61			

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	GYA (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH	SAAM (mg/L)	
													Nombre
Doña Juana	18/05/2009	18:00	5,44								7,61		
		18:30	5,92								6,96		
		19:00	5,94	70,4	78		18,8	2990	27,6	4,0E+05		8,09	0,13
		19:30	5,69									7,30	
		20:00	5,63									7,81	
		20:00	5,63									7,81	
	18/05/2009	20:30	6,18									8,02	
		21:00	5,76	55,2	78		16,5	3435		2,4E+04		7,92	
		21:30	6,25									7,71	
		22:00	6,35									7,68	
		22:00	6,35									7,68	
		22:30	5,39									8,11	
	18/05/2009	23:00	6,34	9,0	88		15,4	2078		1,1E+05		8,05	
		23:30	6,37									8,29	
		00:00	6,41									8,26	
		00:00	6,41									8,26	
		00:30	6,51	8,9	87		14,8	1120	3,5	2,4E+04		8,44	0,08
		01:00	6,63									8,46	
	19/05/2009	01:30	6,48									8,41	
		02:30	6,69	7,4	69		10,6	1330		4,0E+05		8,47	
		03:00	6,72									8,14	



Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	GVA (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH	SAAM (mg/L)	
													Unidad
Isla Pontón San José		13:00	1,36								7,32		
		13:30	1,47								7,91		
		14:00	1,38								8,00		
	14/05/2009	14:00	1,38									8,00	
		14:30	0,46									7,61	
		15:00	0,47	182	351	5,43	136,0	2,4E+07				7,57	
		15:30	1,34									7,72	
		16:00	1,12									7,68	
		16:00	1,12									7,68	
	14/05/2009	16:30	1,34									7,73	
		17:00	1,25									7,63	
		17:30	1,40									7,69	
		18:00	1,23									8,05	
		18:00	1,23									8,05	
	14/05/2009	18:30	1,19									8,31	
		19:00	1,23	210	389	5,35	80,0	4,6E+07				8,22	
		19:30	1,43									7,40	
		20:00	1,30									7,59	
	14/05/2009	20:00	1,30									7,59	
		20:30	1,28	225	379	5,61		1,1E+08				7,55	
		21:00	1,28									7,46	



(Cont.)

Puntos de monitoreo	Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	GYA (mg/L)	C. fecales (NMP/100mL)	pH	SAAM (mg/L)
Isla Pontón San José	15/05/2009	06:00	1,17	209	435		5,43	72		2,4E+07	7,70	
		06:30	1,24								7,69	
		07:00	1,18								7,54	
		07:30	1,23								7,58	
		08:00	1,34								7,46	
		08:00	1,34								7,46	
		08:30	0,85								7,70	
		09:00	0,90								7,52	
		09:30	1,34								7,90	
		10:00	0,70								8,10	

### 6.2.2. Cálculo WQI

A continuación se presentan los cálculos del WQI para el río Tunjuelo a partir del grupo de datos de todas las campañas realizadas en el Convenio 069 de 2007 (tabla 6.7). Cabe resaltar que, para evaluar el cumplimiento con los objetivos de calidad de la Resolución 5731 de 2008, se debe estimar el WQI anual, con datos bimestrales en los puntos de monitoreo de la RCHB.

El WQI\* es un ejercicio para evaluar la calidad del agua frente a los objetivos de calidad con los datos de todas las campañas ejecutadas en el Convenio 069 de 2007; se puede afirmar que, en términos generales, la calidad

del agua en el río es pobre, excepto para el tramo 1, donde el índice es bueno. El WQI\*\* es un cálculo realizado a partir de los datos históricos de monitoreo de la WQI (mensuales promedio) entre enero y abril de 2007 (SDA y EAAB, 2008). La comparación entre estos dos índices puede ser vista como una evaluación de la dinámica en el cumplimiento de los objetivos de calidad, que ha venido observándose en el río. Dicha comparación muestra, en general, cómo el índice de calidad hídrica ha venido aumentando (mejorando) muy levemente en los tres últimos tramos; en el caso del tramo 1 este índice también aumentó.

TABLA 6.7. WQI (río Tunjuelo)

Río Tunjuelo	Estaciones	WQI* (2008-2009)	WQI** (2007-2008)
Tramo 1	La Regadera	82	80
Tramo 2	Yomasa	34	27
	Doña Juana		
Tramo 3	Doña Juana	35	31
	Barrio México		
	San Benito		
	Makro autopista Sur		
Tramo 4	Makro autopista Sur	35	23

En el tramo 1 hay un solo punto (*La Regadera*) con 91 datos, de los cuales sólo 4 no

cumplen con los objetivos de calidad. La calidad del agua de este tramo es **bueno** (tabla 6.8).

TABLA 6.8. WQI (tramo 1)

Parámetro	Núm. de datos que no cumplen	Variables	Valor
OD	0	F1	30,0
DBO	0	F2	4,4
DQO	1	NSE	0,05
N <sub>total</sub>	0	F3	4,57
P <sub>total</sub>	2	WQI	82,30
SST	0		
Grasas y aceites	0		
Coliformes fecales	0		
pH	0		
SAAM	1		

En el tramo 2 hay dos puntos (*Yomasa y Doña Juana*) con 343 datos, de los cuales 62 no cumplen con los objetivos de calidad; la

calidad del agua de este tramo es **pobre**. Los parámetros sobre los cuales se centrará más la atención son el fósforo y los sólidos suspendidos totales (tabla 6.9).

TABLA 6.9. WQI (tramo 2)

Parámetro	Núm. de datos que no cumplen	Variables	Valor
OD	2	F1	100,0
DBO	1	F2	18,1
DQO	3	NSE	1,04
N <sub>total</sub>	3	F3	50,89
P <sub>total</sub>	18	WQI	34,38
SST	20		
Grasas y aceites	4		
Coliformes fecales	2		
pH	8		
SAAM	1		

En el tramo 3 (tabla 6.10) hay cuatro puntos (*Doña Juana, barrio México, San Benito y Makro autopista Sur*), con 570 datos, de los cuales 143 no cumplen con los objetivos de calidad. La calidad del agua de este tramo es **pobre**. Al

igual que para el tramo 2 deberán hacerse más esfuerzos tendientes a controlar el fósforo y los SST, coincidiendo con la disminución en materia orgánica que permita aumentar las concentraciones disueltas de oxígeno en el agua.

TABLA 6.10. WQI (tramo 3)

Parámetro	Núm. de datos que no cumplen	Variables	Valor
OD	45	F1	100,0
DBO	5	F2	25,1
DQO	12	NSE	0,77
N <sub>total</sub>	15	F3	43,48
P <sub>total</sub>	16	WQI	35,40
SST	29		
Grasas y aceites	5		
Coliformes fecales	3		
pH	8		
SAAM	5		

Finalmente, en el tramo 4 hay cuatro puntos (*Makro autopista Sur, transversal 86, puente Independencia e Isla Pontón San José*), con 529 datos (tabla 6.11), de los cuales 104 no cumplen con los objetivos de calidad. Al igual que con

los dos tramos precedentes, la calidad de agua de este tramo es **pobre**. Los mayores inconvenientes para el cumplimiento de los objetivos de calidad están asociados con el oxígeno disuelto, los coliformes fecales y las SAAM.

TABLA 6.11. WOI (tramo 4)

Parámetro	Núm. de datos que no cumplen	Variables	Valor
OD	39	F1	100,0
DBO	1	F2	19,8
DQO	8	NSE	0,87
N <sub>total</sub>	7	F3	46,56
P <sub>total</sub>	5	WQI	35,30
SST	7		
Grasas y aceites	5		
Coliformes fecales	15		
pH	1		
SAAM	16		

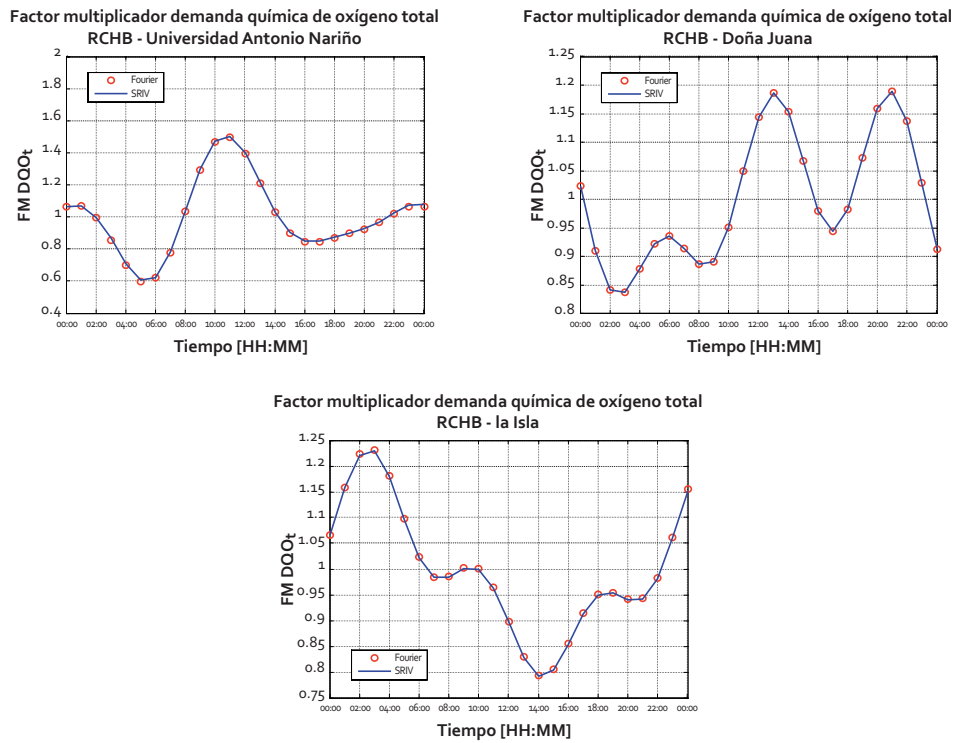
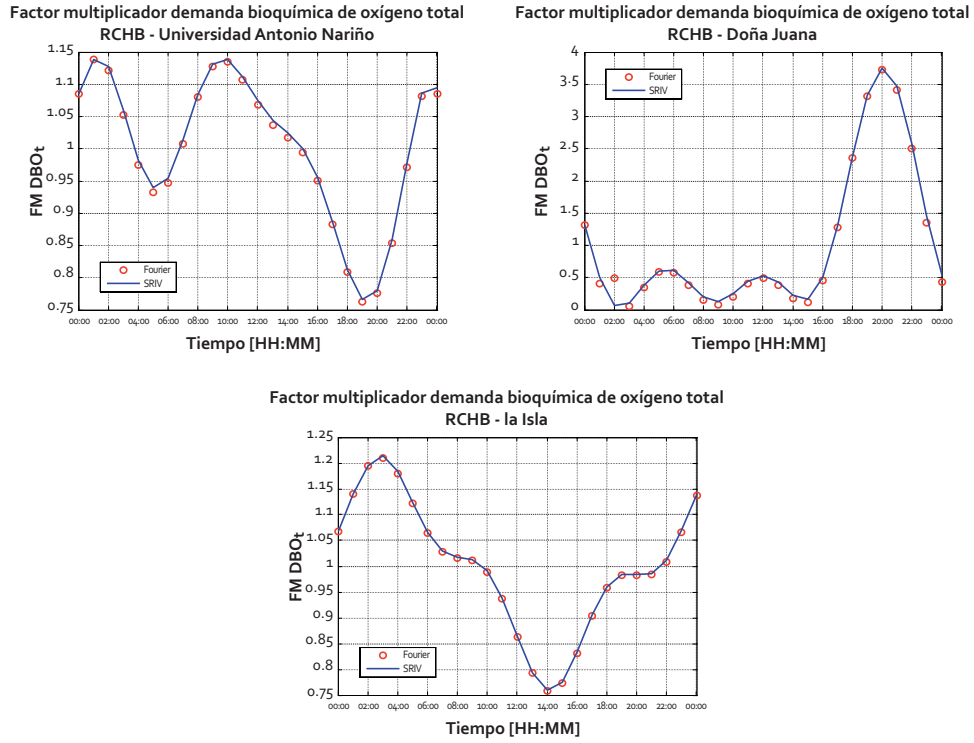
### 6.3. Dinámica de calidad temporal

Al igual que lo presentado para los otros tres ríos, las jornadas específicas de monitoreo de veinticuatro horas en el río Tunjuelo tuvieron por objeto identificar las dinámicas intradiarias de concentraciones en diferentes parámetros y estimar el comportamiento temporal de una variable dependiente a partir de la dinámica temporal de una o más variables independientes. Siguiendo la misma estrategia metodológica, a continuación se ofrecen algunos de los resultados de este ejercicio de monitoreo. Se presentan los resultados para la DBO, la DQO, el NTK, el fósforo, los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales (figs. 6.12 a 6.17).

Para la DBO y la DQO (figs. 6.12 y 6.13) se observa que cada una de las tres curvas de veinticuatro horas tiene un comportamiento casi que independiente de las otras dos. No se logra apreciar el tiempo de tránsito del agua en el río ni los tiempos de viaje entre puntos. Esto esencialmente es debido al origen diferente de la materia orgánica en cada uno de los tramos evaluados. En el punto de la UAN

se puede hablar de descargas con origen doméstico, mientras que para el punto *Doña Juana* el efecto del vertimiento del relleno sanitario es muy importante. Tampoco se puede olvidar que, en gran medida, el caudal del río se ve regulado por la operación de la descarga en el embalse La Regadera, lo cual también afecta sustancialmente los cálculos de la dinámica temporal, tanto de caudal como de concentración.

Para el caso de nutrientes (figs. 6.14 y 6.15), la dinámica observada muestra un mayor efecto de aguas residuales domésticas sobre el NTK y el fósforo total. Se puede apreciar el tránsito de una onda de alta concentración de nitrógeno y fósforo, desde los tramos altos, hacia los tramos medios y bajos, con un retraso asociable al tiempo de viaje del agua en el río para el día específico del monitoreo. Las dinámicas más suavizadas observadas para el punto más aguas abajo del monitoreo sobre el río Tunjuelo, previo a la desembocadura sobre el río Bogotá (*Isla Pontón San José*), obedecen al efecto de remanso y ecualización, tanto másica como de calidad, que se da en este tramo.



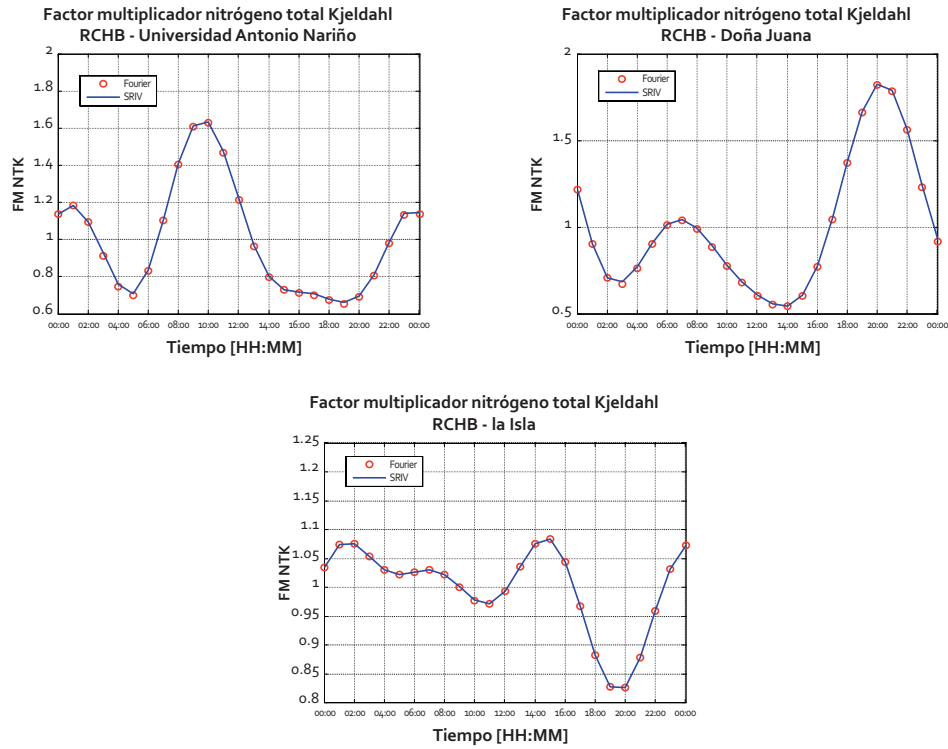


FIG. 6.14. Variación horaria del factor multiplicador del NTK (río Tunjuelo)

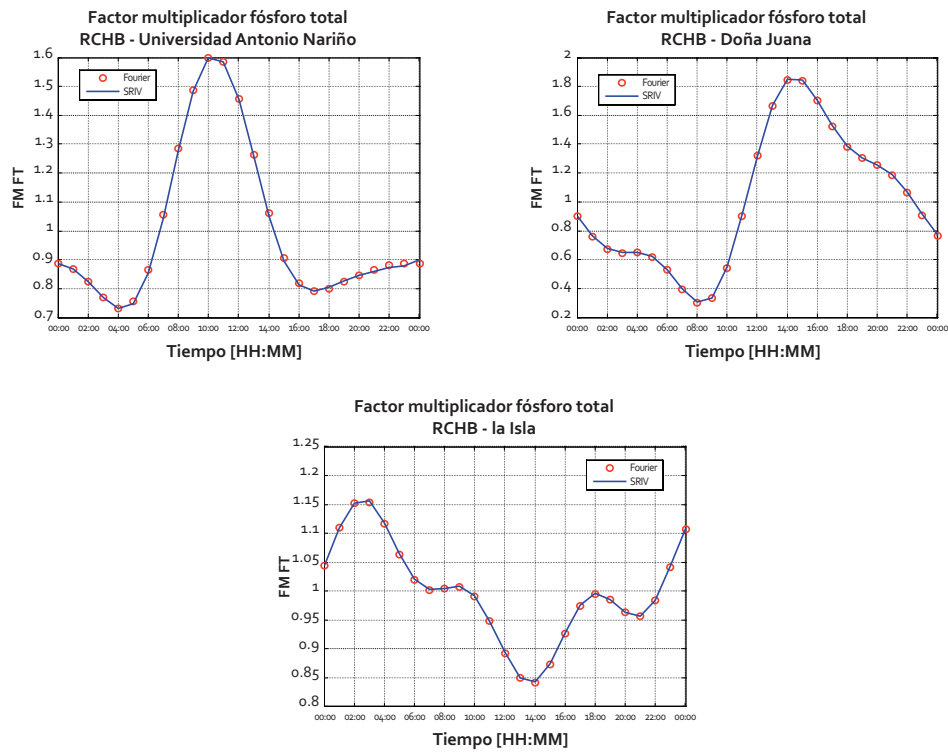


FIG. 6.15. Variación horaria del factor multiplicador del fósforo (río Tunjuelo)

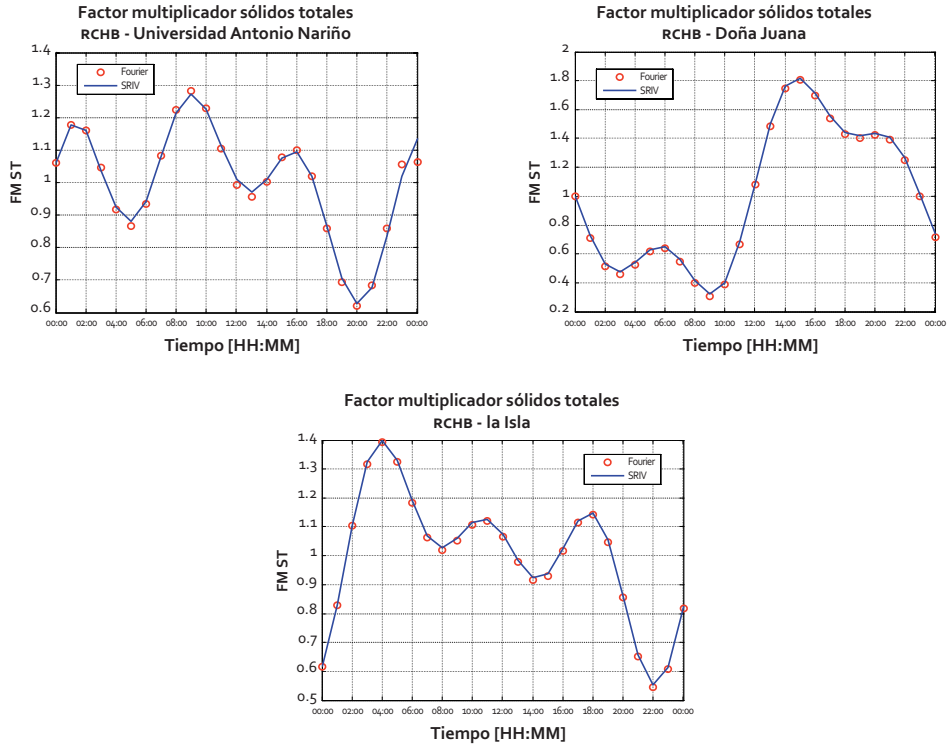


Fig. 6.16. Variación horaria del factor multiplicador de los ST (río Tunjuelo)

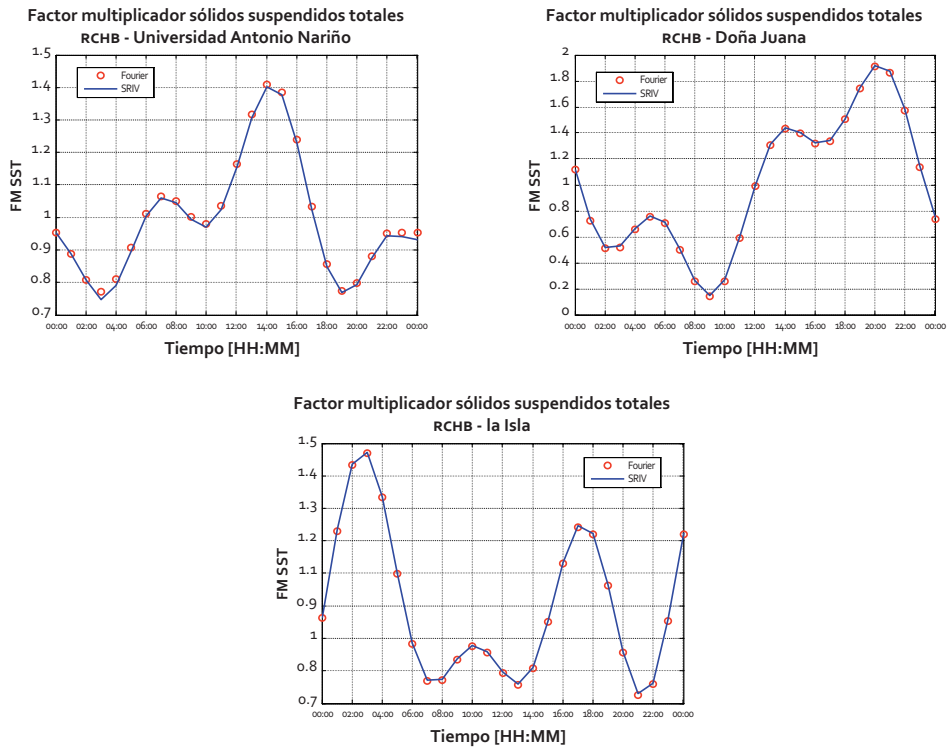


Fig. 6.17. Variación horaria del factor multiplicador de los SST (río Tunjuelo)

En el caso de los sólidos totales y de los sólidos suspendidos totales (figs. 6.16 y 6.17) respectivamente, tampoco era de esperarse un comportamiento asociable en exclusivo a vertimientos con origen doméstico, pues la descarga de muy altas cantidades de sólidos suspendidos fijos (inertes) por parte de las empresas dedicadas a la explotación minera en el tramo 2, modifica absolutamente la dinámica de estos dos parámetros.

## 6.4. Modelo de calidad del agua

### 6.4.1. Aforos de caudal

Las campañas de seguimiento de masa en el río se llevaron a cabo en dos longitudes de monitoreo (sectores) independientes; la primera de aproximadamente 14,8 km, y la segunda de aproximadamente 21,9 km.

Es importante aclarar que, para este caso en particular, la razón por la cual se definieron dos sectores de monitoreo para la modelación es que el río ingresa a una zona de almacenamiento que genera una discontinuidad en el flujo de la corriente. Esta zona es conocida como "zona de canteras inundadas" y se ilustra en la figura 6.18.

En la tabla 6.12 se presentan los puntos de monitoreo sobre el río con las características de ubicación correspondientes. Se monitorearon nueve puntos de la RCHB, cuatro puntos adicionales sobre el río, veintisiete vertimientos y cinco quebradas, cuya distribución puede ser apreciada en las figuras 6.18, 6.19 y 6.20. Los puntos correspondientes a aforos realizados en el río propiamente se presentan en la figura 6.21. Esta campaña de seguimiento de masa para el río se realizó en dos días diferentes (11 y 12 de diciembre de 2008).

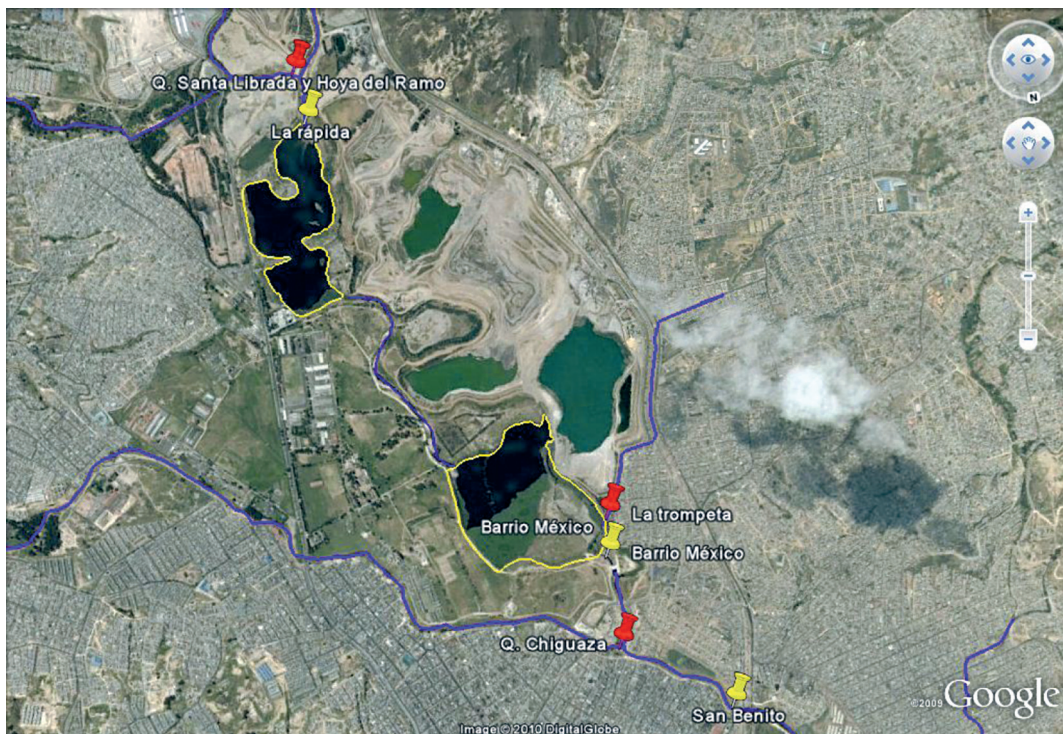


FIG. 6.18. Discontinuidad en el flujo del de agua (zona de canteras inundadas)

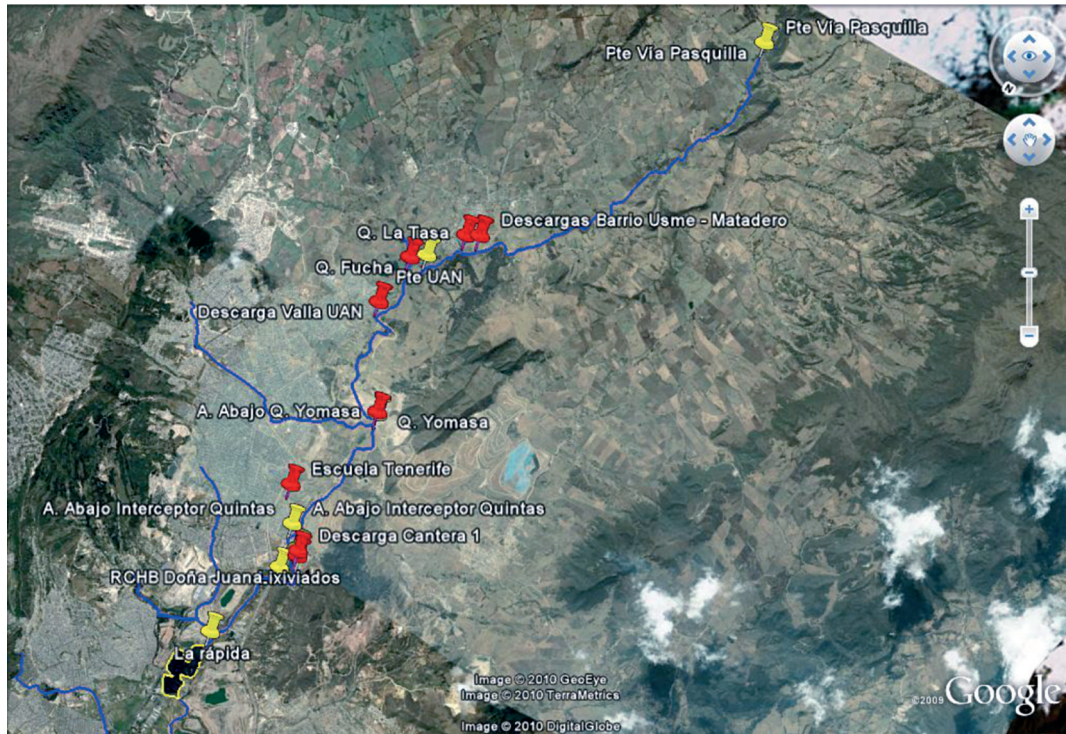


FIG. 6.19. Distribución de puntos de monitoreo (sector 1, campaña de seguimiento de masa)

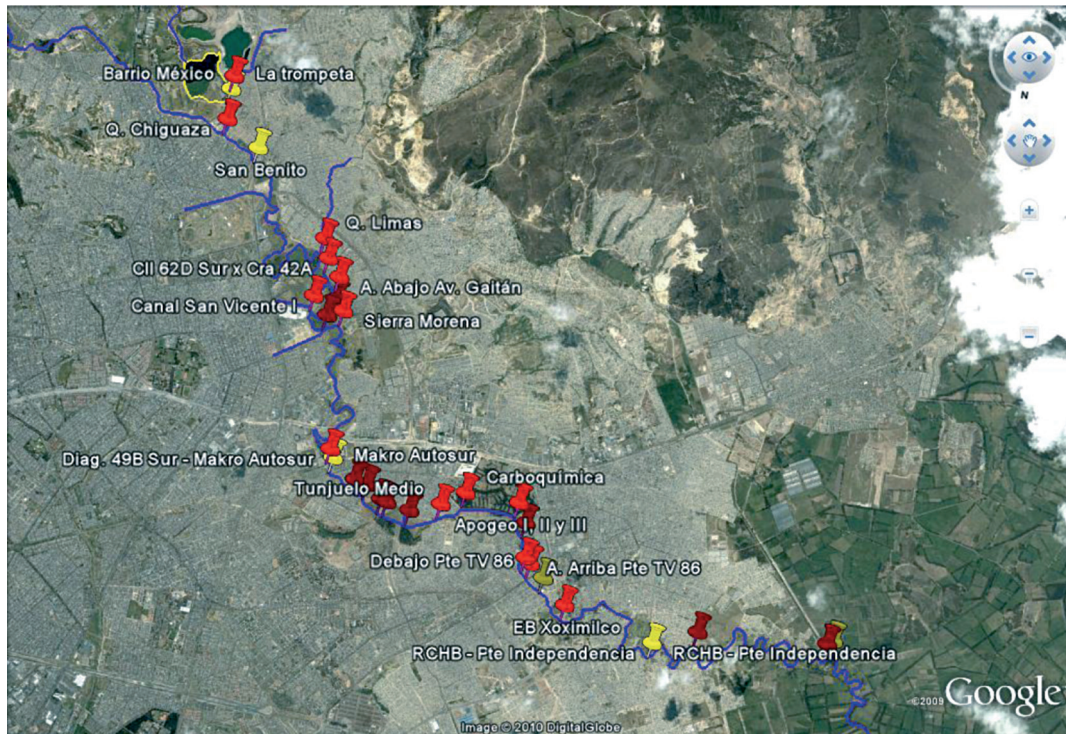


FIG. 6.20. Distribución de puntos de monitoreo (sector 2, campaña de seguimiento de masa)

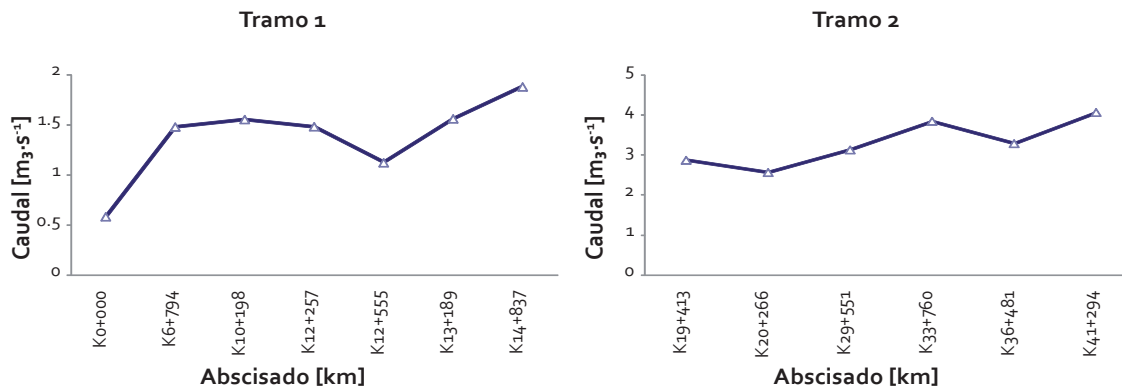


FIG. 6.21. Perfil longitudinal de caudal observado (campaña de seguimiento de masa)

TABLA 6.12. Caudales observados en los puntos de monitoreo (campaña de seguimiento de masa)

Sector	Estación	Tipo	Abscisado (Km)	Fecha	Hora	Caudal (m³·s⁻¹)
				C1	C1	C1
Sector 1	Puente vía Pasquilla	Río 1	K0+000	10/12/2008	9:45	0,589
	Matadero-barrio Nuevo Usme	1. Descarga tipo 1	K6+108	10/12/2008	11:31	0,008
	Descarga barrio Usme - carrera 3ª 136-40 sur	2. Descarga tipo 1	K6+171	10/12/2008	11:31	0,017
	Quebrada La Tasa	3. Descarga tipo 1	K6+272	10/12/2008	11:33	0,016
	Puente Universidad Antonio Nariño	Río 2-(RCHB)	K6+794	10/12/2008	11:45	1,486
	Quebrada Fucha	4. Descarga tipo 1	K7+009	10/12/2008	11:55	0,215
	Descarga valla Universidad Antonio Nariño-calle 111A sur 001-46	5. Descarga tipo 1	K8+048	10/12/2008	12:07	0,043
	Quebrada Yomasa	6. Descarga tipo 1	K9+551	10/12/2008	12:34	0,169
	Aguas abajo Quebrada Yomasa	Río 3	K10+198	10/12/2008	12:45	1,560
	Interceptor Quintas-Escuela Tenerife	7. Descarga tipo 2	K11+802	10/12/2008	13:11	0,002
	Aguas abajo interceptor Quintas	Río 4	K12+257	10/12/2008	13:25	1,488
	Aguas arriba lixiviados Doña Juana	Río 5	K12+555	10/12/2008	13:32	1,129
	Descarga cantera 1	8. Descarga tipo 1	K12+620	10/12/2008	13:35	0,059
	Descarga lixiviados 1	9. Descarga tipo 1	K12+672	10/12/2008	13:35	0,038
	Relleno sanitario Doña Juana	Río 6	K13+189	10/12/2008	13:45	1,567
	Quebrada Sta. Librada-Hoya del Ramo	10. Descarga tipo 1	K14+571	10/12/2008	15:00	0,319
	La Rápida	Río 7	K14+837	10/12/2008	15:08	1,886

(Cont.)

Sector	Estación	Tipo	Abscisado (Km)	Fecha	Hora	Caudal (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
				C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
Sector 2	Descarga La Trompeta	11. Descarga tipo 2	K18+701	11/12/2008	17:20	0,266
	Barrio México	Río 8	K19+413	11/12/2008	08:10	2,873
	Quebrada Chiguaza	12. Descarga tipo 1	K19+617	11/12/2008	08:20	0,228
	San Benito	Río 9	K20+266	11/12/2008	08:54	2,567
	Quebrada Limas	13. Descarga tipo 1	K23+799	11/12/2008	10:45	0,078
	Descarga aguas arriba avenida Gaitán calle 58B sur 47-45	14. Descarga tipo 1	K24+958	11/12/2008	11:17	0,023
	Estación de servicio Móvil	15. Descarga tipo 1	K25+252	11/12/2008	11:36	0,009
	Canal San Vicente	16. Descarga tipo 1	K25+493	11/12/2008	11:46	0,006
	Canal San Vicente Norte	17. Descarga tipo 1	K25+909	11/12/2008	11:59	0,001
	Sierra Morena I (agua residual)	18. Descarga tipo 1	K26+113	11/12/2008	12:10	0,039
	Sierra Morena II (agua potable)	19. Descarga tipo 1	K26+114	11/12/2008	12:10	0,202
	Diagonal 49B sur-Makro autopista sur	20. Descarga tipo 1	K29+389	11/12/2008	13:55	0,000
	Makro autopista Sur	Río 10	K29+551	11/12/2008	14:05	3,132
	Barrio Boitá-calle 48B sur con carrera 72Q	21. Descarga tipo 1	K29+972	11/12/2008	14:10	0,052
	Carrera 72U Bis con calle 48B sur	22. Descarga tipo 2	K30+205	11/12/2008	14:15	0,004
	Descarga Lago Timiza e interceptor	23. Descarga tipo 1	K30+466	11/12/2008	14:24	0,010
	Calle 45 con carrera 73 aguas abajo puente peatonal	24. Descarga tipo 1	K30+546	11/12/2008	14:30	0,061
	Avenida carrera 71B (Villavicencio) con calle 53A sur	25. Descarga tipo 1	K30+884	11/12/2008	14:46	0,014
	Interceptor Tunjuelo Medio	26. Descarga tipo 1	K31+371	11/12/2008	15:12	0,937
	Descarga Apogeo I	28. Descarga tipo 1	K32+525	11/12/2008	15:30	0,065
	Descarga Apogeo II	29. Descarga tipo 1	K32+526	11/12/2008	15:39	0,047
	Descarga Apogeo III	30. Descarga tipo 1	K32+527	11/12/2008	15:45	0,090
	Descarga aguas arriba transversal 86 calle 58 sur con carrera 79C	31. Descarga tipo 1	K33+339	11/12/2008	16:10	0,090
	Descarga debajo puente transversal 86	32. Descarga tipo 1	K33+400	11/12/2008	16:15	0,009
	Transversal 86	Río 11	K33+760	11/12/2008	16:00	3,849
	Puente Independencia	Río 12	K36+481	11/12/2008	17:10	3,290

(Cont.)

Sector	Estación	Tipo	Abcisado (Km)	Fecha	Hora	Caudal (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
				C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
	Estación de bombeo Gran Colombiano	33. Descarga tipo 1	K37+737	11/12/2008	17:50	0,275
	Isla Pontón-San José	Río 13	K41+294	11/12/2008	19:30	4,069

En la figura 6.22 se pueden observar las fuentes puntuales más importantes desde el punto de vista del caudal vertido sobre el río Tunjuelo para la fecha en la que se realizó el seguimiento de masa, y a la hora en la cual se realizó el aforo de caudal y se tomó la respectiva

muestra para su análisis. Las descargas más significativas en cuanto aportes de caudal de agua residual al río Tunjuelo corresponden a la *quebrada Fucha*-(K7+009), la *quebrada Yomasa*-(K9+551) y el *interceptor Tunjuelo Medio*-(K31+371)-(CTB-55).

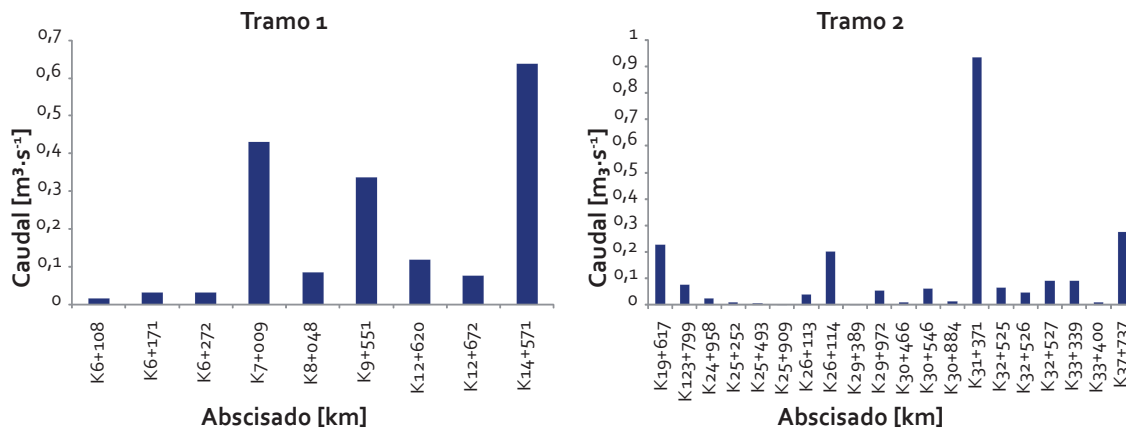


FIG. 6.22. Caudales observados para las fuentes puntuales (campana de seguimiento de masa)

#### 6.4.2. Determinantes de calidad

El río Tunjuelo registra condiciones anaerobias desde el punto *barrio México* que corresponde a la condición de frontera aguas arriba del sector de monitoreo 2, localizado aguas abajo de la zona de canteras inundadas. Para el sector 1, las concentraciones de oxígeno disuelto se encuentran por encima

de 6,0 mg·L<sup>-1</sup>, producto de la relativa buena calidad del agua y de los procesos de re-acción natural en la corriente. Después de la zona de canteras inundadas el río presenta condiciones anaerobias, resultado de las numerosas descargas de aguas residuales que recibe desde este punto hacia aguas abajo y de la nula recuperación por parte del río en este trayecto (fig. 6.23).

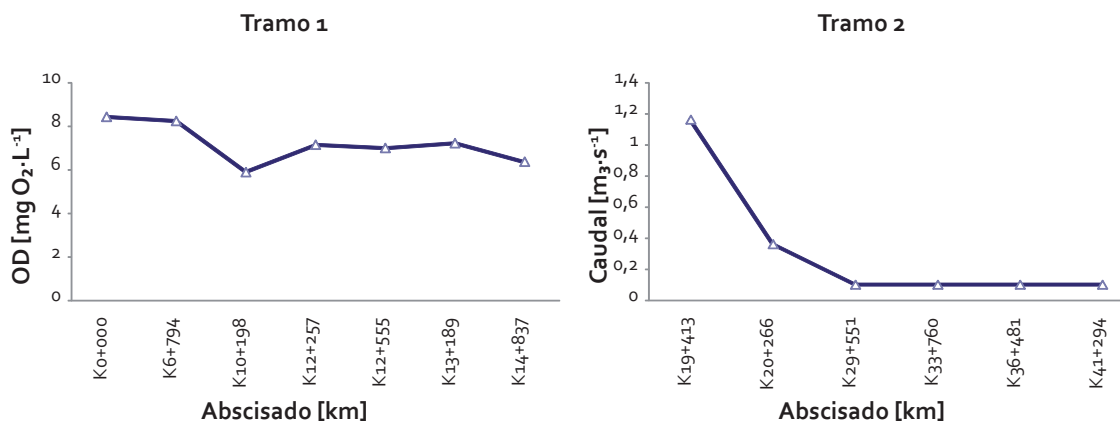


FIG. 6.23. Perfil longitudinal de la OD (campaña de seguimiento de masa)

Los registros de las concentraciones de la DBO aumentan aguas abajo de la corriente, como consecuencia del aporte de carga contaminante de los diferentes vertimientos. (figs. 6.24 y 6.25). Sin considerar el tiempo de retención promedio en la zona de canteras inundadas, para esta campaña de monitoreo se identificó una menor concentración de la DBO en el punto *barrio México*-(K19+413), comparada con las concentración registradas en el punto *La Rápida*-(K14+837), justo antes del ingreso a las zonas de canteras inundadas. Lo anterior sugiere efectos de remoción de materia orgánica en la zona de las canteras inundadas. En la cuenca alta y media del río, las concentraciones de la DBO se mantienen

por debajo de 90 mg.L<sup>-1</sup>, observándose un constante incremento en la concentración de este parámetro.

Por el contrario, hacia el final del río, se registraron concentraciones de 230 mg.L<sup>-1</sup>. El mayor incremento se presenta aguas abajo del punto *Makro autopista Sur*-(K29+551), luego de la descarga del *interceptor Tunjuelo Medio*-(K31+371)-(CTB-55). Las cargas contaminantes más importantes para este determinante de calidad corresponden a: *descarga lixiviados 1*-(K12+672); *quebrada Santa Librada-Hoya del Ramo*-(K14+571); *interceptor Tunjuelo Medio*-(K31+371)-(CTB-55); y la *estación de bombeo Gran Colombiano*-(K37+737)-(CTB-03).

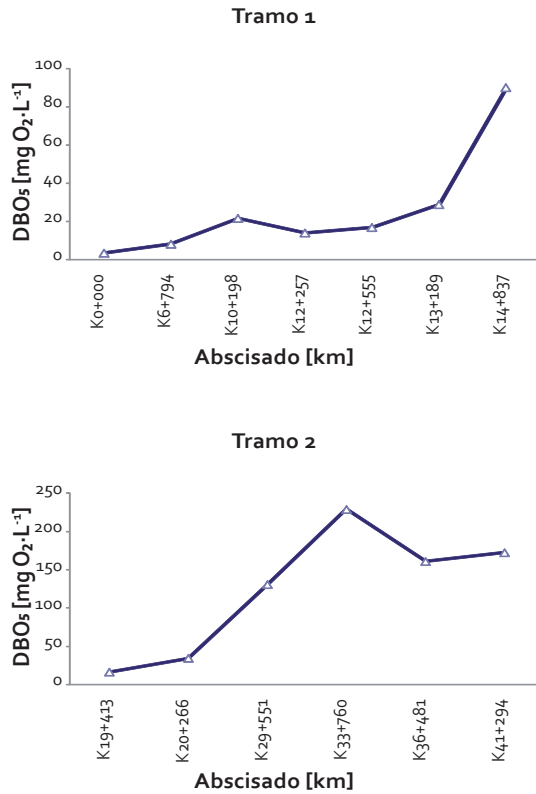


FIG. 6.24. Perfil longitudinal de la DBO (campeña de seguimiento de masa)

Los registros de los SST presentan notables variaciones para ambos sectores (figs. 6.26 y 6.27). Se identifica un proceso de remoción de los sólidos en la zona de las canteras inundadas, al registrarse concentraciones menores de este determinante en el sector de monitoreo 2. El súbito incremento en la concentración de los SST en el sector 1 se debe a la alta carga de sólidos en la descarga *canteras 1*-(K12+620), donde se registraron valores de

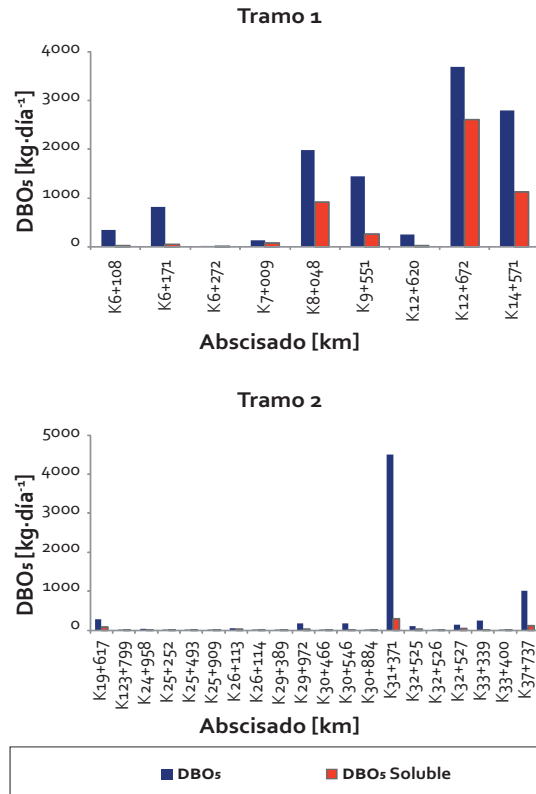


FIG. 6.25. Carga contaminante de la DBO (campeña de seguimiento de masa)

los SST de 13.000 mg.L<sup>-1</sup>. Por su parte, el incremento en la concentración de los SST para el sector 2 se puede asociar a las descargas de agua residual, primordialmente doméstica. Al igual que para la materia orgánica, dentro de las cargas vertidas al río para el día de seguimiento de masa sobresalen: la descarga *cantera 1*-(K12+620); *interceptor Tunjuelo Medio*-(K31+371)-(CTB-55); y la *estación de bombeo Gran Colombiano*-(K37+737)-(CTB-03).

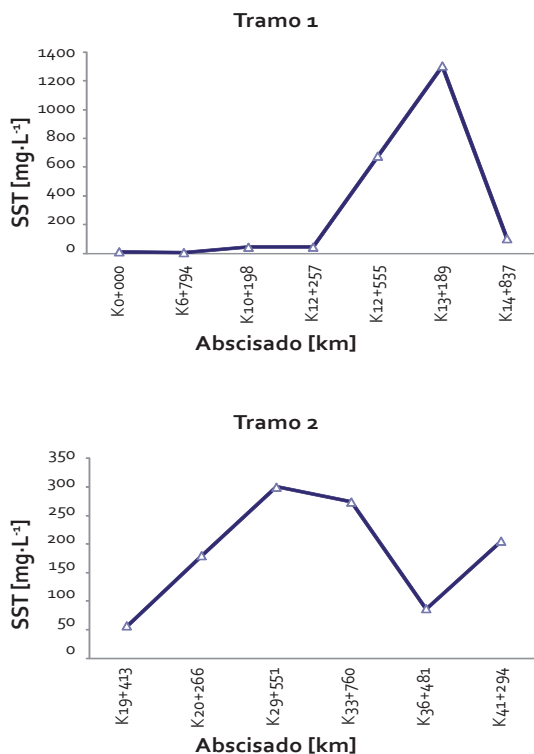


FIG. 6.26. Perfil longitudinal de los SST (campeña de seguimiento de masa)

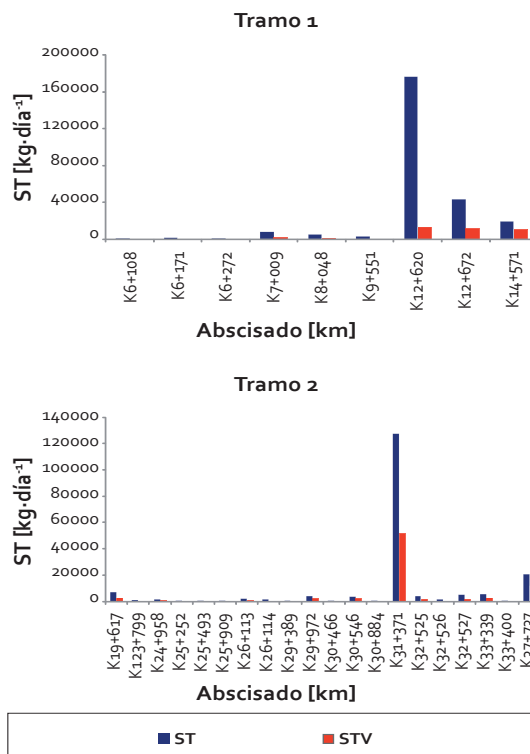


FIG. 6.27. Carga contaminante de los SST (campeña de seguimiento de masa)

#### 6.4.3. Escenarios de saneamiento

Para la modelación de la calidad del agua en el río Tunjuelo fue necesario hacer énfasis en la discontinuidad que se presenta en la corriente, por el ingreso del agua del río en la zona de canteras inundadas. Esto obliga a considerar dos corrientes distintas y, por ende,

a exponer los resultados de los escenarios de saneamiento para cada longitud de monitoreo en particular. La tabla 6.13 muestra las fuentes puntuales que fueron eliminadas para generar los escenarios de saneamiento. El sistema de drenaje para este río no consideró aliviós (figs. 6.28 y 6.29).

TABLA 6.13. Fuentes puntuales eliminadas para la generación de escenarios de saneamiento

Sector	Punto	Tipo	Abcisdado (Km)
Sector 1	Matadero-barrio Nuevo Usme	Descarga directa	K6+108
	Descarga barrio Usme-carrera 3ª 136-40 sur	Descarga directa	K6+171
	Descarga Valla Universidad Antonio Nariño-calle 111A sur 001-46	Descarga directa	K8+048
	Descarga cantera 1	Descarga directa	K12+620
	Descarga lixiviados 1	Descarga directa	K12+672

(Cont.)

Sector	Punto	Tipo	Abcisado (Km)
Sector 2	Descarga aguas arriba avenida Gaitán calle 58B sur 47-45	Descarga directa	K24+958
	Estación de servicio Móbil	Descarga directa	K25+252
	Sierra Morena I (agua residual)	Descarga directa	K26+113
	Sierra Morena II (agua potable)	Descarga directa	K26+114
	Diagonal 49B sur-Makro autopista Sur	Descarga directa	K29+389
	Barrio Boitá-calle 48B sur con carrera 72Q	Descarga directa	K29+972
	Descarga Lago Timiza e interceptor	Descarga directa	K30+466
	Calle 45 con carrera 73 aguas abajo puente peatonal	Descarga directa	K30+546
	Avenida carrera 71B (Villavicencio) con calle 53A sur	Descarga directa	K30+884
	Interceptor Tunjuelo Medio	Descarga directa	K31+371
	Descarga Apogeo I	Descarga directa	K32+525
	Descarga Apogeo II	Descarga directa	K32+526
	Descarga Apogeo III	Descarga directa	K32+527
	Descarga aguas arriba transversal 86 calle 58 sur con carrera 79C	Descarga directa	K33+339
	Descarga debajo puente transversal 86	Descarga directa	K33+400
Estación de bombeo Gran Colombiano	Descarga directa	K37+737	

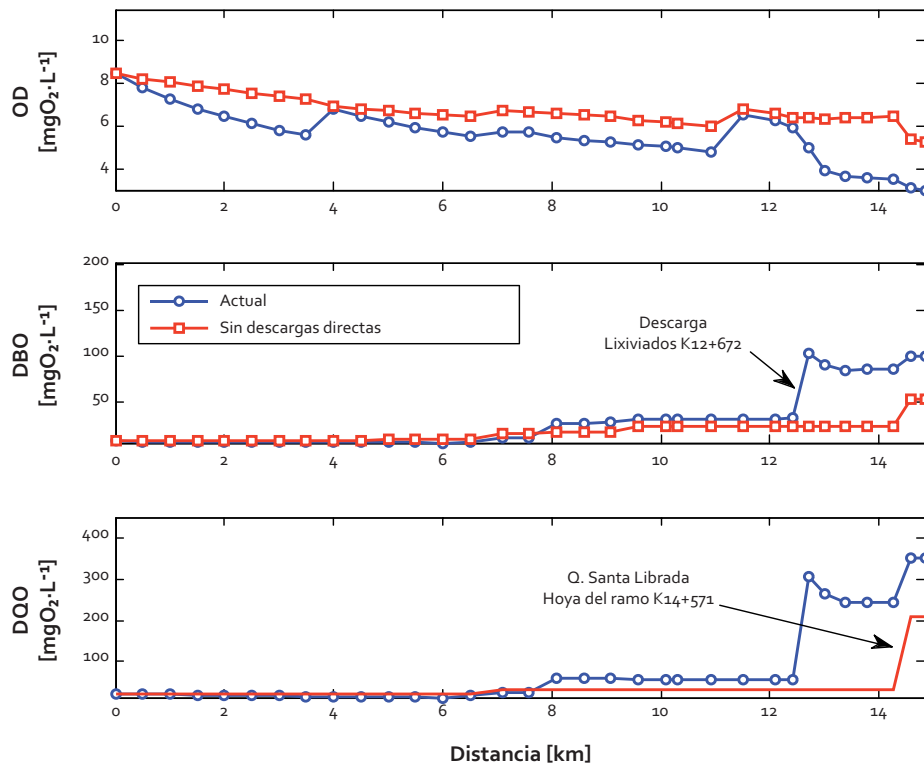


Fig. 6.28. Comparación escenarios de saneamiento (longitud de monitoreo 1)

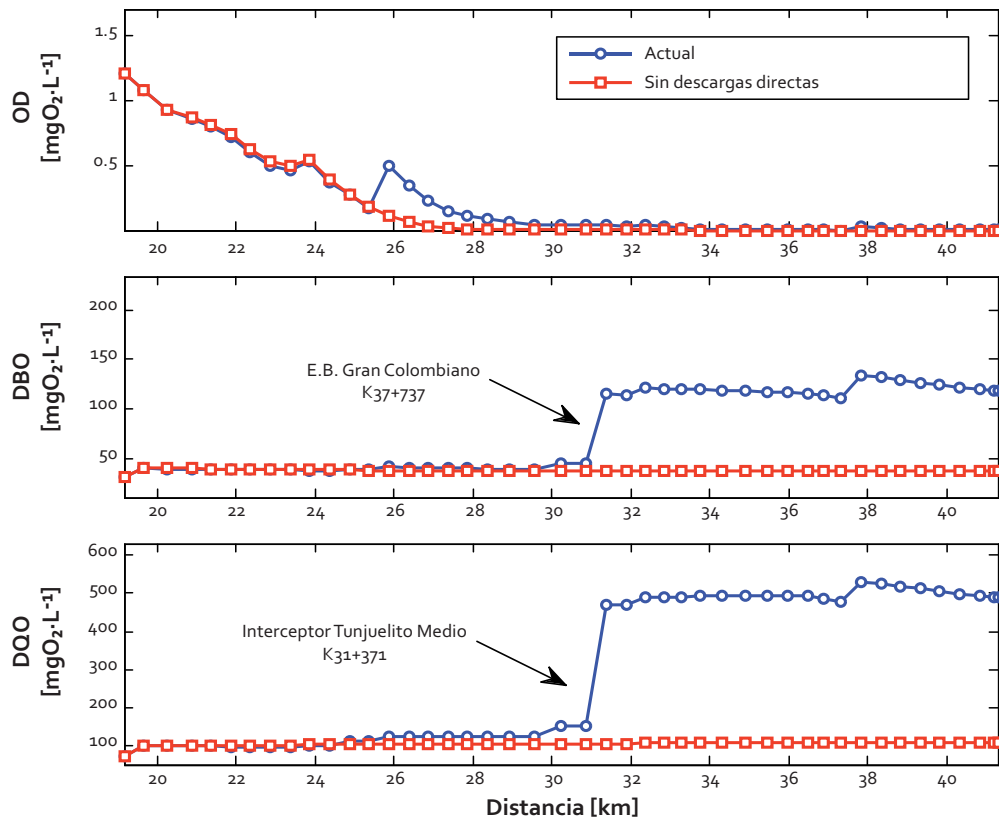


FIG. 6.29. Comparación escenarios de saneamiento (longitud de monitoreo 2)

## 6.5. Resultados de los monitoreos específicos

### 6.5.1. Sedimentos

Se tomaron muestras en cuatro puntos a lo largo del río Tunjuelo, cuyos resultados se presentan en la tabla 6.14. En la figura 6.30 se indican los contenidos de metales para los puntos monitoreados en el río. Se presentaron mayores concentraciones de cinc a lo largo del río en los puntos *Makro autopista Sur* (K29+551) e *Isla Pontón San José* (K41+294). Al comparar estos contenidos de metales con

las referencias de la EPA, Canadá y Francia, no se encontró ningún punto de monitoreo que cumpliera con todas las referencias estudiadas. Según la Norma EPA 905/R-00/007, 2000, los valores reportados para el río no presentan efectos probables, severos o tóxicos para todos los metales medidos (excepto el mercurio), ya que las concentraciones se encuentran por debajo del límite de peligrosidad.

TABLA 6.14. Características de los sedimentos (río Tunjuelo)

Parámetro	Unidades	Puntos de monitoreo (río Tunjuelo)			
		Doña Juana	Makro autopista sur	Transversal 86	Isla Pontón San José
pH	Unidades de pH	8,65	7,35	7,41	7,05
ORP	mV	-140,90	-161,20	-189,90	-125,60
Humedad	%	26,50	73,50	21,84	21,94
Sólidos totales	%	26,00	74,00	78,16	78,06
Fósforo total	%P-BS	0,04	0,04	0,03	0,03
Nitrógeno total	%N-BS	0,12	0,19	0,11	0,10
Demanda béntica endógena	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -día	1,55	2,94	2,55	4,47
Demanda béntica exógena	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -día	0,91	1,62	1,62	3,31
Arsénico	mg As.Kg <sup>-1</sup>	1,10	0,97	0,95	0,82
Cadmio	mg Cd.Kg <sup>-1</sup>	1,47	2,49	1,15	1,37
Cinc	mg Zn.Kg <sup>-1</sup>	11,62	118,87	56,73	126,60
Cromo total	mg Cr.Kg <sup>-1</sup>	8,37	22,56	20,95	43,31
Mercurio	mg Hg.Kg <sup>-1</sup>	24,50	21,80	21,50	18,40
Plomo	mg Pb.Kg <sup>-1</sup>	11,62	24,96	6,61	14,45

En cuanto a la comparación frente a la referencia de Canadá para la preservación de la flora y la fauna, las concentraciones de cadmio (al igual que en los otros ríos) se exceden para todos los puntos muestreados, indicando un efecto bajo. Para las concentraciones de cinc y cromo reportadas para el punto *Isla Pontón San José (K41+294)* se exceden los valores sugeridos, y también indican un efecto bajo según esta referencia de Canadá. En cuanto a la referencia de Francia, se presenta el mismo caso que para el río Salitre y el río Fucha, donde

ninguno de los valores reportados cumple con los estándares sugeridos que garantizan una preservación de la flora y la fauna de la zona.

Al igual que los ríos analizados, los valores reportados para el mercurio en el río son considerablemente superiores a los estándares, alcanzando concentraciones de hasta veinte veces el valor causante de efectos severos (2 mgHg.Kg<sup>-1</sup>). Es evidente la problemática ambiental que se presenta con el mercurio, no sólo en el río Tunjuelo, sino también en los demás ríos.

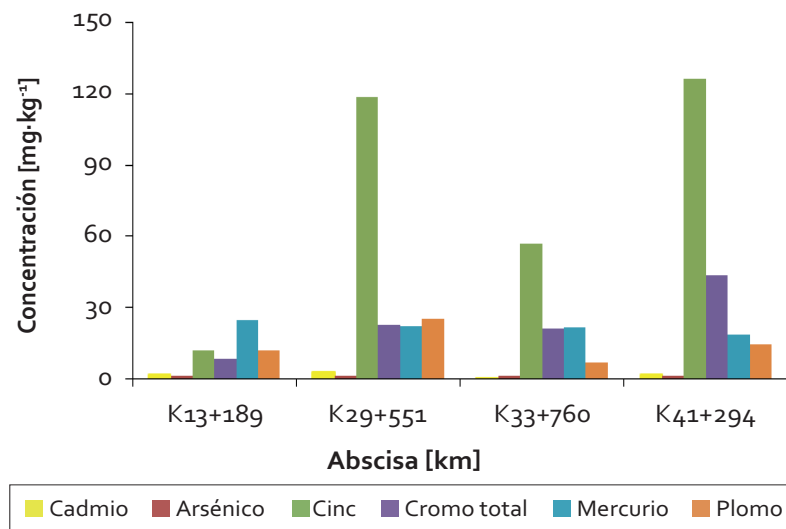


FIG. 6.30. Contenido metales sedimentos (río Tunjuelo)

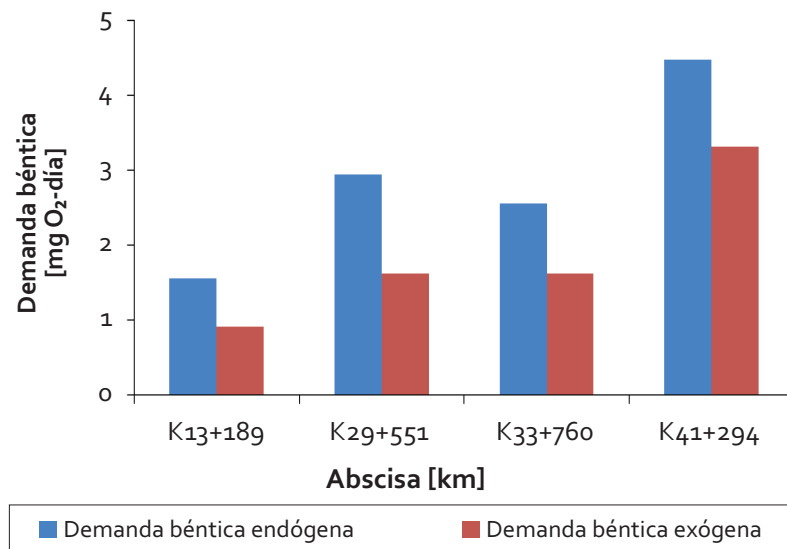


FIG. 6.31. Demanda béntica (río Tunjuelo)

En cuanto al contenido de nutrientes se pudo notar una variabilidad en el contenido de nitrógeno en los diferentes puntos muestreados, mientras que el contenido de fósforo permaneció relativamente constante a lo largo del río. Al igual que el caso del río Salitre y del río Fucha, se evidencia un mayor contenido de nitrógeno que de fósforo en los cuatro puntos

monitoreados, sobresaliendo el punto *Makro autopista Sur (K29+551)*, que reportó valores más altos que los demás puntos muestreados. Observando la figura 6.31, la demanda béntica de los sedimentos en el río aumenta a medida que el río se acerca a su desembocadura. Las altas cargas orgánicas que recibe el río generan este aumento en la demanda

del oxígeno disuelto del agua sobrenadante. Este proceso de descomposición se evidencia con los altos valores reportados, especialmente en los puntos de la cuenca baja del río.

### 6.5.2. Monitoreo de patógenos

Se tomaron muestras en cuatro puntos a lo largo del río (tabla 6.15). En general, se puede observar que los patógenos que predominaron (al igual que en los otros tres ríos) fueron los coliformes totales y fecales. A diferencia de los demás ríos, se detectó la presencia de

*Salmonella* spp. para el punto *Makro autopista Sur* (K29+551), indicando un mayor riesgo sanitario al cual están expuestos los habitantes de la zona, bien sea por consumo directo o indirecto del agua. También se pudo observar un aumento en la presencia de patógenos a medida que avanza el río hacia su desembocadura, mostrándose mayores concentraciones de patógenos en el punto *Isla Pontón San José* (K41+294), indicando un grado de contaminación importante que dificulta el aprovechamiento de este recurso hídrico.

TABLA 6.15. Patógenos (río Tunjuelo)

Parámetro	Unidad	Puntos de monitoreo			
		Puente vía Pasquilla	Doña Juana	Makro autopista Sur	Isla Pontón San José
		08:00	07:15	08:30	07:35
Coliformes totales	UFC.100 mL <sup>-1</sup>	1,40E+02	0,00E+00	1,87E+06	2,20E+07
Coliformes fecales	NMP.100 mL <sup>-1</sup>	8,00E+01	2,10E+06	1,10E+05	5,40E+07
<i>E. coli</i>	UFC.100 mL <sup>-1</sup>	3,0E+02	0,0E+00	6,6E+05	3,0E+06
<i>Salmonella</i> spp.	UFC.100 mL <sup>-1</sup>	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia
Fagos somáticos	PFU.100 mL <sup>-1</sup>	< 100*	6,0E+04	1,8E+05	7,6E+05
Huevos de helminto	HH.L <sup>-1</sup>	< 0,05*	0,35	0,05	<0,05*

Es importante resaltar los resultados reportados para el punto *Doña Juana* (K13+189) donde no se detectó presencia de coliformes totales y *E. coli*. Esta situación puede ser causada por la descarga de lixiviados del relleno sanitario Doña Juana (RSDJ), los cuales se caracterizan por tener diferentes sustancias que puedan inhibir el crecimiento de microorganismos, situación preocupante. Sin embargo, se debe destacar un grado de contaminación parasitaria en este punto (huevos de helminto), ya que en este se presentaron las mayores concentraciones detectadas en el río. Al com-

parar estas concentraciones con la referencia de la OECDE se puede observar que, para los coliformes totales, fecales y *E. coli*, la calidad de agua en el río Tunjuelo en el punto *puente Vía Pasquilla* (K0+000) es buena y, por lo tanto, se podría destinar a cualquier uso, dado que no se presentan afectaciones por descargas residuales domésticas. Para el resto de puntos aguas abajo, la calidad de ésta es afectada de manera importante, y sólo se podría destinar a la generación de energía (clase V). Las concentraciones reportadas para fagos somáticos en el punto *puente Vía Pasquilla*

(K0+000) cumplen con los criterios sugeridos para clase II, y para huevos de helminto todos los puntos muestreados cumplen con los criterios de uso para clase V.

### 6.5.3. Monitoreo de sustancias especiales

#### 6.5.3.1. Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno

Las concentraciones de benceno en todos los sitios de monitoreo sobre el río Tunjuelo, al igual que en los demás ríos, arrojaron resultados por debajo del límite de detección. En el caso del tolueno se registraron concentraciones por encima del límite de detección, excepto para el punto *Doña Juana (K13+189)*. A pesar de ser una sustancia poco soluble en agua, se encuentra en concentraciones que superan el límite máximo permisible para agua potable, pero se mantiene por debajo del valor máximo permisible para descargas a cuerpos de agua fluviales. Las concentraciones más altas se hallaron en el punto *transversal 86 (K33+760)*. En el caso del etilbenceno y xileno se encontraron todas las muestras debajo del límite de detección del método analítico.

#### 6.5.3.2. Pesticidas

Para los pesticidas organoclorados y organofosforados, se pudo observar que todas las muestras registraron concentraciones menores que el nivel mínimo de detección para todos los parámetros determinados, al igual que en los otros ríos monitoreados. En su totalidad no cumplen con el nivel máximo permisible de la norma colombiana para agua potable, pero las concentraciones se encuentran por debajo de los límites establecidos para las descargas, tanto

para alcantarillados como para agua dulce y agua marina. De igual manera, cumple con los límites determinados para agua que puede ser destinada a uso agrícola, pecuario o fines recreativos.

#### 6.5.3.3. Bifenilos policlorados e hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los análisis de laboratorio arrojaron como resultado concentraciones menores que el nivel mínimo de detección para los policloruros de bifenilo (PCB) en los puntos monitoreados sobre el río Tunjuelo. Por otro lado, los niveles mínimos de detección son superiores a los límites máximos permisibles determinados para el agua de consumo humano y el agua destinada a la preservación de la flora y la fauna. En el caso de los PAH a lo largo de los puntos monitoreados, no se registraron concentraciones superiores al nivel mínimo de detección.

### 6.5.4. Monitoreo limnológico

#### 6.5.4.1. Categorización de los puntos de monitoreo según la calidad del hábitat

Este afluente está afectado, desde su entrada al perímetro urbano, por la represa de La Regadera (uno de los sistemas más antiguos de Colombia). En este sentido, el comportamiento hidrológico de la parte alta de este río y, por ende, la estructura física de sus hábitats, referidos a velocidad de la corriente, sedimentación o transporte de materia orgánica o relación con sus riberas y bosque ripario, no está ligado directamente con el comportamiento pluviométrico de la zona, sino con el manejo de los niveles de este embalse. Por ello la estructura física de este punto, basándose en la aplicación de

los protocolos de evaluación multihábitat, no logra la máxima calificación y está en el menor valor del rango óptimo (150-200 puntos) (tabla 6.16). Los restantes puntos selecciona-

dos para el monitoreo hidrobiológico presentaron un alto grado de deterioro físico quizá por la evidente entrada de aguas residuales y la acumulación de basuras y desechos.

TABLA 6.16. Estado de los puntos monitoreados (valoración multihábitat para las comunidades del bentos)

Afluente	Punto	Calificación	Categorización
			Categoría
Tunjuelo	La Regadera	160	Óptimo
	San Benito	45	Pobre
	Makro autopista Sur	40	Pobre
	Transversal 86	25	Pobre

#### 6.5.4.2. Categorización de los puntos de monitoreo según los macroinvertebrados del bentos

De igual forma a la descripción general previa, el río Tunjuelo tiene una comunidad de invertebrados relativamente pobre (17 de los 49 taxones colectados). El punto *La Regadera* para el mes de febrero de 2009 (período de bajas lluvias) presentó el mayor número de especies (14 taxones), incluyendo especies de *Ephemeroptera* y *Trichoptera*. En los puntos del sector medio y bajo se colectaron sólo cinco y tres grupos tolerantes a la contaminación.

Una clara expresión del deterioro que sufre éste y los demás afluentes se puede evidenciar mediante los valores de diversidad alfa basada en el índice de riqueza de especies propuesto por Margalef (D). Éste expresa la diversidad de especies usando el total de taxones colectados en una muestra, y el logaritmo natural del total de individuos colectados en esta misma muestra para un lugar en particular (Margalef, 1955). Así, el río Tunjuelo pasa de un relativo alto valor de riqueza en el punto *La Regadera* a una riqueza baja en el resto de su recorrido.

#### 6.5.4.3. Perifiton

En ambos muestreos sobre el río Tunjuelo en el punto *La Regadera* se identificaron el mayor número de taxones y se obtuvieron los mayores valores de riqueza de Margalef. Además, sólo este punto es el que obtiene un valor óptimo respecto al índice de diatomeas, usado como clasificador de la calidad ambiental en tal muestreo. En general, los organismos encontrados en estas pequeñas corrientes indican que se tratan de aguas cuyos aportes de materia orgánica son fluctuantes. El número de taxones, riqueza de Margalef y la calidad ambiental se deterioran rápidamente a lo largo del cauce de este afluente del río Bogotá, llegando a un valor de cero para el punto más bajo muestreado en el mes de febrero de 2009. Los puntos intermedios en este afluente tienen una calidad ambiental marginal, lo que implicaría que sus aguas aún permiten el desarrollo de organismos altamente tolerantes a la carga orgánica y, por ende, buenos indicadores del deterioro ambiental del sistema.



## 7. ESTADO DE LOS RÍOS EN BOGOTÁ (2008-2009)

A partir del ejercicio de monitoreo realizado durante el período 2008-2009 sobre los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo de Bogotá, se puede establecer un diagnóstico del estado actual y de la evolución de los principales ríos de la ciudad.

La figura 7.1 presenta los resultados del índice de calidad hídrica (WQI) evaluado sobre los objetivos de calidad propuestos a cuatro años para estos cuatro cuerpos de agua. Como se puede observar, en el caso de los tramos altos (a excepción del río Torca), la calidad de los ríos es buena, presentándose para varios ejercicios de monitoreo características que permiten calificar la calidad como excelente. La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) ha venido desarrollando actividades con el fin de preservar esta alta calidad de agua en estos tramos. En el caso del río Torca, la calidad del tramo 1 tuvo calificación de regular, pero mostró una mejora cuantitativa en el índice de calidad, con relación al ejercicio de monitoreo realizado en el período 2007-2008.

En términos generales, en los catorce tramos en que se encuentran divididos los cuatro principales ríos de la ciudad, se observó en diez de ellos una mejora cuantitativa en el índice de calidad del agua para el período 2008-2009 y un aumento en la categoría cualitativa para cuatro de ellos: el tramo 1 del río Torca pasó de pobre marginal; el tramo 1 del río Salitre pasó de regular a buena; y los tramos 2 y 3 del río Salitre ascendieron de pobre a marginal. Sólo en el tramo 1 del río Fucha se

observó un descenso en la calidad del agua pasando la calificación 2007-2008 de excelente a buena en 2008-2009, pero con valores muy cercanos a la condición de excelencia.

Tales resultados evidencian el mejoramiento paulatino que se ha venido presentando sobre los principales ríos de la ciudad de Bogotá. El propósito, por supuesto, en cada uno de estos diferentes ríos y tramos es el cumplimiento de los objetivos de calidad propuestos para cada uno de ellos, lo cual, desde el punto de vista del WQI, se logra con categorías de buena y excelente.

Este proceso de mejoramiento sostenido en la calidad de los ríos de la ciudad es factible, como se pudo observar, en los ejercicios de modelación de tales cuerpos de agua, a través del programa Qual2k. En el caso del río Torca, la eliminación de descargas directas, si bien no logra elevar sustancialmente la calidad de agua en este cuerpo de agua, sí permite menores concentraciones en materia orgánica y nutrientes, lo cual redundará en una mayor concentración de oxígeno disuelto en el agua. En cuanto al río Salitre, la predicción de calidad muestra cómo la supresión de las pocas descargas directas que aún se siguen vertiendo sobre este cuerpo de agua, más la rehabilitación de los sistemas de alivio, pueden conducir a una mejora sustancial en la calidad del agua desde el punto de vista de mayores concentraciones de oxígeno disuelto (en especial en los tramos bajos) y menores concentraciones de contaminantes.

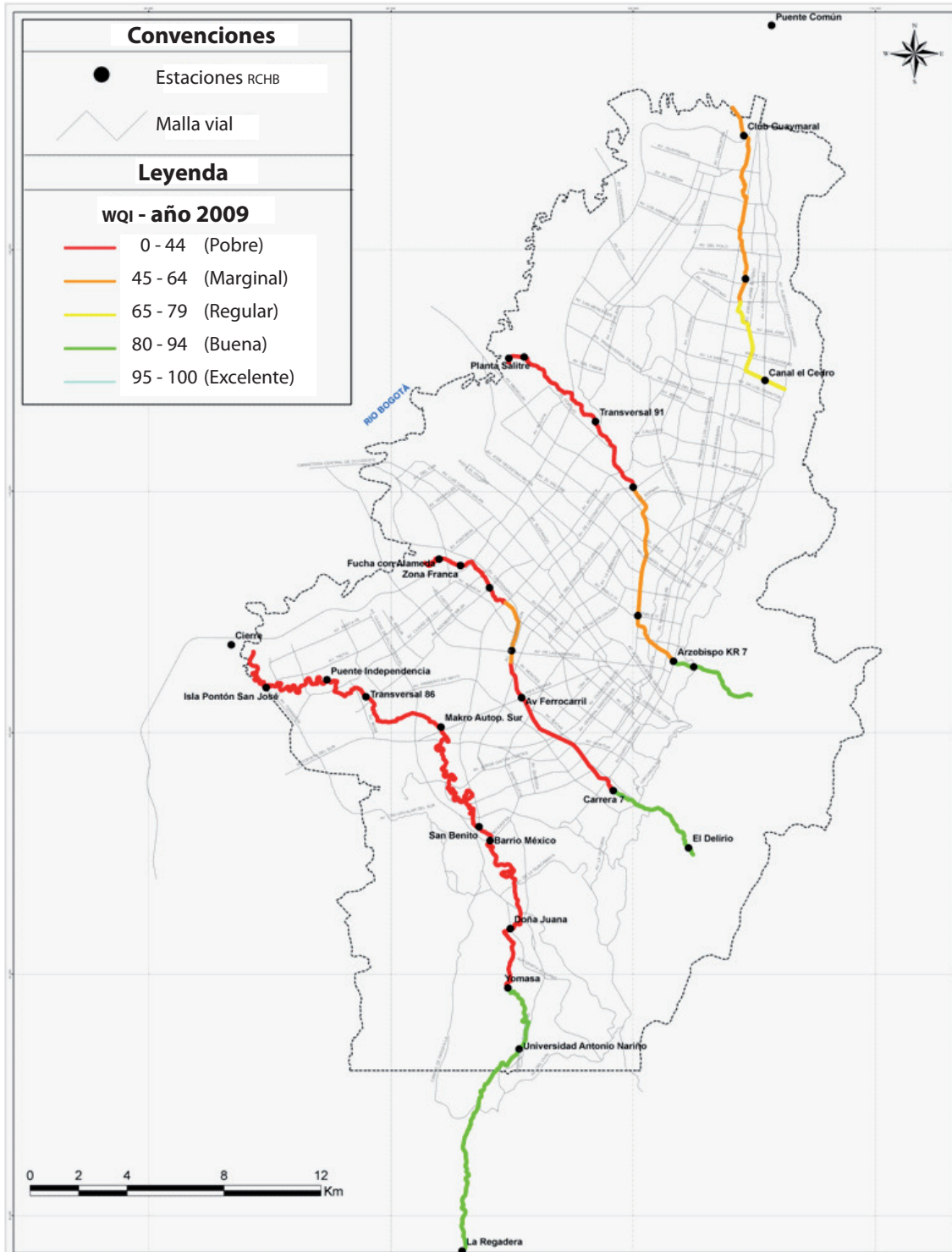


FIG. 7.1. WQI 2008-2009: ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo

En el caso del río Fucha, la rehabilitación de los sistemas de alivio y la eliminación de descargas directas podría permitir niveles elevados de oxígeno disuelto hasta los tres primeros cuartos del río, situación que, quizá, también se pueda dar en el caso del río Tunjuelo, aun cuando allí es indispensable solucionar el problema del alto tiempo de almacenamiento que sufre el agua en la zona de canteras inundadas.

Con relación a los indicadores limnológicos medidos, y basándose en la aplicación de los protocolos de evaluación multihábitat, sólo las cabeceras de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo presentan una condición subóptima para el desarrollo de una biota acuática

diversa y representativa de estados de baja intervención (tabla 7.1). Las restantes estaciones, incluida la cabecera del río Torca, presentan un avanzado estado de transformación física que las hacen pobres para el desarrollo de la vida acuática, no sólo a causa de estar canalizados, sino por la carga de materia orgánica, fecal, basuras, escombros y todo tipo de desechos que están presentes en tales cuerpos de agua. La valoración física efectuada permitió elaborar un mapa general de las cuencas y entender que el proceso de transformación física es acentuado y correspondiente con los resultados biológicos obtenidos en ambos momentos de muestreo (fig. 7.2).

TABLA 7.1. Calificación del estado de las estaciones basada en la valoración multihábitat de los tramos usados para el muestreo de las comunidades del bentos en las diferentes estaciones de la RCHB

Afluente	Estación	Calificación	Categoría
Río Torca	Carrera 9ª con calle 153	60	Marginal
Río Salitre	Arzobispo	120	Subóptimo
	Calle 45 con carrera 24	40	Pobre
	Calle 80 con carrera 49	35	Pobre
	Calle 99 con carrera 103	35	Pobre
Río Fucha	El Delirio	180	Óptimo
	Avenida Ferrocarril	40	Pobre
	Avenida Las Américas	40	Pobre
	Visión Colombia	25	Pobre
Río Tunjuelo	La Regadera	160	Óptimo
	San Benito	45	Pobre
	Makro autopista Sur	30	Pobre
	Transversal 86	30	Pobre

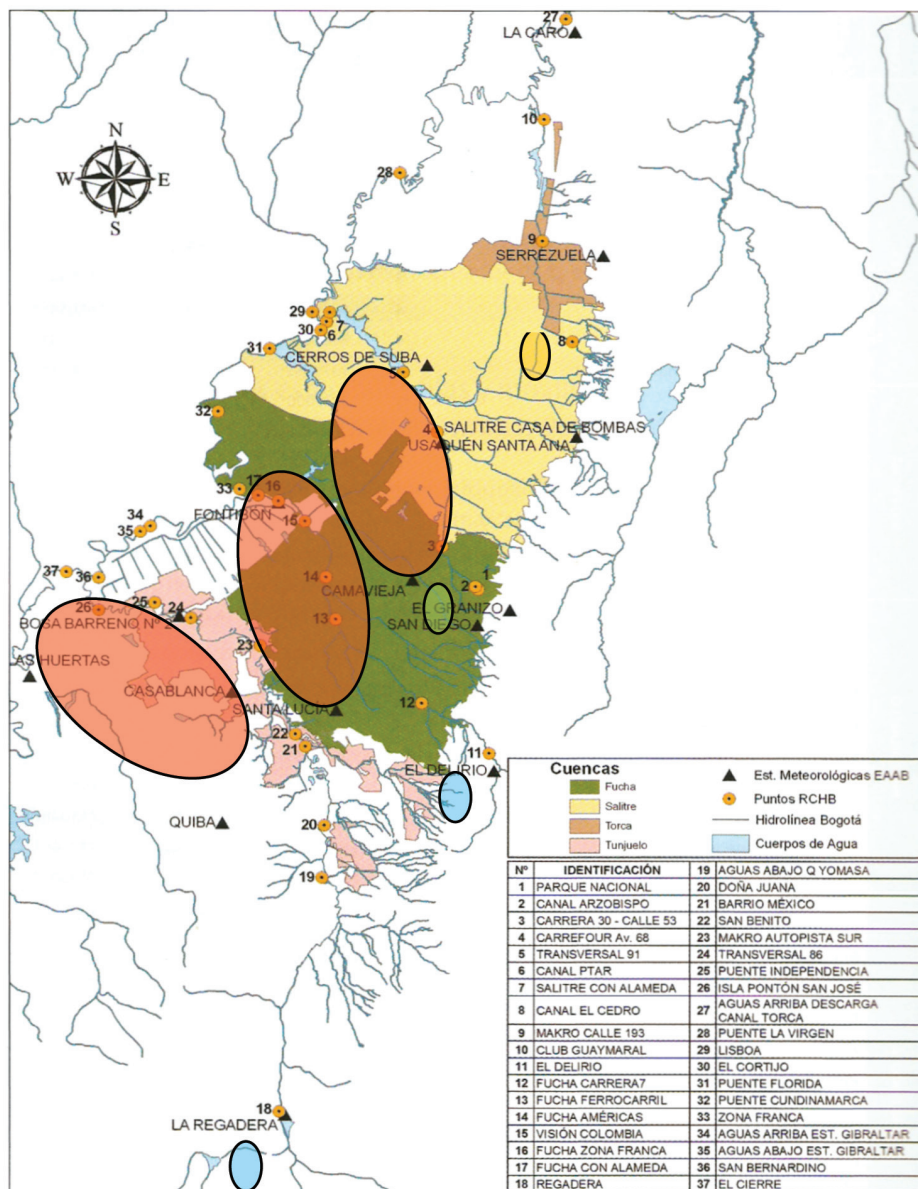


FIG. 7.2. Categorización de las estaciones de acuerdo con la valoración multihábitat del tramo del río en cada estación ● Óptimo ● Subóptimo ● Marginal pobre ● Modificado de Barbour (1999)

Para el caso de los macroinvertebrados del bentos, durante los dos muestreos se colectaron 1040 individuos que se determinaron en 49 taxones inferiores (la mayoría en cuanto al género) que pertenecen a cinco *phylum*, diez clases y treinta y cinco familias (tabla 7.2). A diferencia de las condiciones características de

los ambientes de montaña, la fauna de insectos de los órdenes *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera* es pobre en especies e individuos, siendo sólo colectados en la cabeceras de los ríos Fucha (El Delirio), Tunjuelo (La Regadera) y, ocasionalmente, en la estación Arzobispo del río Salitre (tablas 7.3 y 7.4).

TABLA 7.2. Jerarquización taxonómica de los macroinvertebrados colectados en la RCHB (diciembre de 2008 a febrero de 2009)

Filos	Clase	Orden	Familia	Género (subfamilia/tribu)		
<b>Cnidaria</b>	Hydrozoa	Hydrantia	Hydridae	<i>Hydra</i> sp.		
<b>Platyhelminthes</b>	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i> sp.		
<b>Mollusca</b>	Gasteropoda	Pulmonata	Physidae	<i>Physa</i> sp.		
			Planorbidae	<i>Planorbidae</i> Morfo 1		
	Bivalvia	Pelecypoda	Sphaeriidae	<i>Sphaeriidae</i> Morfo 1		
<b>Anellida</b>	Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae	<i>Tubificidae</i> Morfo 1		
				<i>Tubificidae</i> Morfo 2		
			Naididae	<i>Naididae</i> Morfo 1		
	Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphonidae	<i>Placobdella</i> sp. <i>Hyrudineo</i> Morfo 1		
<b>Arthropoda</b>	Malacostraca	Amphipoda	Hyalelidae	<i>Hyalella</i> sp.		
		Decapoda	Trichopdactilydae	<i>Neostrangeria</i> sp.		
	Branchiopoda	Diplostraca	Ehipios	<i>Ehipios</i>		
	Arachnida		Sarcoptiformes	Hydrozetidae		
				Acariimorfo	<i>Acarii</i> Morfo 1 <i>Acarii</i> Morfo 2	
				Isothomidae	<i>Isothomidae</i> Morfo 1	
	Insecta	Odonata		Coenagrionidae	<i>Coenagrionidae</i> Morfo 1	
				Aeshnidae	<i>Aeshna</i> sp.	
				Libellulidae	<i>Libellulidae</i> Morfo 1	
		Ephemeroptera		Baetidae		<i>Baetis</i> sp. <i>Americabaetis</i> sp. <i>Camelobaetidius</i> sp.
		Coleoptera			Elmidae	<i>Heterelmis</i> sp.
					Ptilodactilidae	<i>Tetraglosa</i>
					Scirtidae	<i>Microcara</i>
					Hydrophilidae	<i>Hydrophilidae</i> Morfo 1
Trichoptera			Hydroptilidae	<i>Oxyethira</i> sp. <i>Ochrotrichia</i> sp.		
			Leptoceridae	<i>Leptoceridae</i> Morfo 1		

(Cont.)

Filos	Clase	Orden	Familia	Género (subfamilia/tribu)
Arthropoda	Insecta		Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i> sp.
			Helicopsychidae	<i>Helicopsychidae</i> Morfo 1
			Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i> sp.
			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i> sp.
		Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp.	
			<i>Estenochironornus</i> sp.	
			<i>Chironomidae</i> Morfo 1	
			<i>Orthoclaadiinae</i> Morfo 1	
			<i>Orthocladius</i> sp.	
			<i>Tanypodinae</i> Morfo 1	
			<i>Tanytarsini</i>	
			<i>Macropelopia</i> sp.	
		Culicidae	<i>Culex</i> sp.	
		Empididae	<i>Empididae</i> Morfo 1	
		Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	
			<i>Psychoda</i>	
		Ceratopogonidae	<i>Probezzia</i> sp.	
		Tipulidae	<i>Tipula</i> sp.	
Ephydriidae	<i>Ephydriidae</i> Morfo 1			
Blepharoceridae	<i>Blepharoceridae</i> Morfo 1			

TABLA 7.3. Número de individuos colectados en cada submuestra en la RCHB (diciembre de 2008 a febrero de 2009). Período de aguas altas. Media: tres submuestras; DS: desviación estándar

Género (subfamilia/tribu)	Tolerancia ambiental	Categoría trófica	Período de aguas altas								
			Torca			Salitre		Fucha		Tunjuelo	
			Santa Cecilia			Arzobispo		El Delirio		La Regadera	
			Media	DS		Media		Media	DS	Media	DS
<i>Hydra</i> sp.	5	Pr							40	±	
<i>Dugesia</i> sp.	5,7	Om				5			22	±	
<i>Physa</i> sp.	8	Ra									
<i>Planorbidae</i> Morfo 1	7	Ra	3	±	1			2	±	1	
<i>Sphaeriidae</i> Morfo	8	Cf						1	±		
<i>Tubificidae</i> Morfo 1	10	Cd	12	±	10	7		8	±	9	33
<i>Tubificidae</i> Morfo 2	10	Cd									21
<i>Naididae</i> Morfo 1	10	Cd				23					3
<i>Placobdella</i> sp.	6	Pr									2
<i>Hydrudineo</i> Morfo 1	10	Pr									
<i>Hyalella</i> sp.	8	Om						2	±	1	
<i>Neostrangeria</i> sp.	8	Om									
<i>Ephipios</i>											
<i>Acarii</i> Morfo 1	8	Pr				1		1	±		
<i>Acarii</i> Morfo 2	8	Pr									
<i>Isothomidae</i> Morfo 1	10	Om									
<i>Coenagrionidae</i> Morfo	6,1	Pr									
<i>Aeshna</i> sp.	5	Pr									1
<i>Libellulidae</i> Morfo 1	9	Pr									
<i>Callibaetis</i> sp.	9,3	Ra									
<i>Baetis</i> sp.	4,7	Ra						12	±		
<i>Americabaetis</i> sp.	4	Ra									
<i>Camelobaetidius</i> sp.	4	Ra									
<i>Heterelmis</i> sp.	4	Cd						1	±		
<i>Tetraglosa</i>								2	±		
<i>Microcara</i>	5	Cd				12		3	±		
<i>Hydrophilidae</i> Morfo 1	5,2	Pr				2					
<i>Oxyethira</i> sp.	7,2	Ra									

(Cont.)

Género (subfamilia/tribu)	Tolerancia ambiental	Categoría trófica	Período de aguas altas									
			Torca		Salitre	Fucha		Tunjuelo				
			Santa Cecilia		Arzobispo	El Delirio		La Regadera				
			Media	DS	Media	Media	DS	Media	DS			
<i>Ochrotrichia</i> sp.	5,5											
<i>Leptoceridae</i> Morfo 1	4	Pr										
<i>Polycentropus</i> sp.	3	Pr				3	±	2				
<i>Helicopsychidae</i> Morfo 1	1											
<i>Phylloicus</i> sp.		Tr	8	±	4	4	±	2				
<i>Atopsyche</i> sp.	9,5	Pr										
<i>Chironomus</i> sp.	9,5	Cd				4	±					
<i>Estenochironomus</i> sp.	6	Mn	10	±	7				4	±		
<i>Chironornidae</i> Morfo 1	5											
<i>Orthoclaadiinae</i> Morfo	5	Cd										
<i>Orthocladus</i> sp.	7		182	±	275	11	12	±	11	18	±	11
<i>Tanypodinae</i> Morfo 1	6	Pr	15	±	18	13	21	±	27	23	±	7
<i>Tanytarsini</i>	6	Cd	4	±	2	5	8	±	7	1	±	
<i>Macropelopia</i> sp.	9	Cd					2	±				
<i>Culex</i> sp.	6	CF										
<i>Empididae</i> Morfo 1	5,3	Pr										
<i>Simulium</i> sp.	5,3	CF	1	±	0	38	5	±	4			
<i>Psychoda</i>	6	Co	1	±	0		1	±				
<i>Probezzia</i> sp.	6	Pr					3	±	1	14	±	
<i>Tipula</i> sp.	6	Pr										
<i>Ephydriidae</i> Morfo 1	6	Pr	1	±	0,0							
<i>Blepharoceridae</i> Morfo 1			1	±	0,0							
Total de taxa colectados			11			10	19			12		
Total de individuos colectados			239			117	94			182		
Riqueza de Margalef (D)			1,8265			1,8899	3,9588			2,1149		

TABLA 7.4. Número de individuos colectados en cada submuestra en la RCHB. Período de aguas bajas

Género (subfamilia/tribu)	Tolerancia ambiental	Categoría trófica	Período de aguas bajas														
			Torca		Salitre		Fucha		La Regadera		Tunjuelo		Makro				
			Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS					
<i>Hydra</i> sp.	5	Pr															
<i>Dugesia</i> sp.	5/7	Om															
<i>Physa</i> sp.	8	Ra							2	±							
<i>Planorbidae</i> Morfo 1	7	Ra							5	±	4	1	±				
<i>Sphaeriidae</i> Morfo	8	Cf															
<i>Tubificidae</i> Morfo 1	10	Cd							3	±						3	±
<i>Tubificidae</i> Morfo 2	10	Cd															
<i>Naididae</i> Morfo 1	10	Cd															
<i>Placobdella</i> sp.	6	Pr															
<i>Hyrudineo</i> Morfo 1	10	Pr															
<i>Hyalella</i> sp.	8	Om															
<i>Neotrangeria</i> sp.	8	Om															
<i>Ephipios</i>			1														
<i>Acarri</i> Morfo 1	8	Pr															
<i>Acarri</i> Morfo 2	8	Pr															
<i>Isothomidae</i> Morfo 1	10	Om															
<i>Coenagrionidae</i> Morfo	6,1	Pr															
<i>Aeshna</i> sp.	5	Pr															

(Cont.)

Género (subfamilia/tribu)	Tolerancia ambiental	Categoría trófica	Período de aguas bajas															
			Torca		Salitre		Fucha		La Regadera		Tunjuelo		Makro					
			Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS				
<i>Libellulidae</i> Morfo 1	9	Pr																
<i>Callibaetis</i> sp.	9,3	Ra																
<i>Baetis</i> sp.	4,7	Ra																
<i>Americabaetis</i> sp.	4	Ra																
<i>Camelobaetis</i> sp.	4	Ra																
<i>Heterelmis</i> sp.	4	Cd																
<i>Tetraglosa</i>																		
<i>Microcara</i>	5	Cd																
<i>Hydrophiliidae</i> Morfo 1	5,2	Pr																
<i>Oxyethira</i> sp.	7,2	Ra																
<i>Ochrotrichia</i> sp.	5,5	Ra																
<i>Leptoceridae</i> Morfo 1	4	Pr																
<i>Polycentropus</i> sp.	3	Pr																
<i>Helicopsychidae</i> Morfo 1	1																	
<i>Phylloicus</i> sp.		Tr																
<i>Atopsyche</i> sp.	9,5	Pr																
<i>Chironomus</i> sp.	9,5	Cd																



Un claro deterioro que sufren estos afluentes se puede expresar a través del índice de Margalef, que expresa la diversidad de especies que usan el total de taxones colectados en una muestra y el logaritmo natural del total de individuos colectados en esa misma muestras para un lugar en particular (Margalef, 1985). El índice aplicado a los datos de las muestras colectadas (fig. 7.3) indica, desde pobreza biológica, como es el caso de la estación río Fucha avenida Ferrocarril (0,42), hasta alta riqueza característica de arroyos con mínima o baja intervención, como en el caso de la estación Fucha El Delirio. No hay

un comportamiento similar en las estaciones de la cabecera en los dos momentos del muestreo. Las estaciones Arzobispo (río Salitre) y La Regadera (río Tunjuelo) aumentan los valores de diversidad en las muestras colectadas, en tanto las muestras obtenidas de las cabeceras de los ríos Fucha y Torca se reducen para este período. Para el muestreo de febrero de 2009, en el cual se obtuvieron datos a lo largo de los ríos Fucha y Tunjuelo, la riqueza se reduce paulatinamente desde la cabecera hacia las zonas bajas y físicamente degradadas, correspondiente con el análisis de calidad física del hábitat (fig. 7.4).

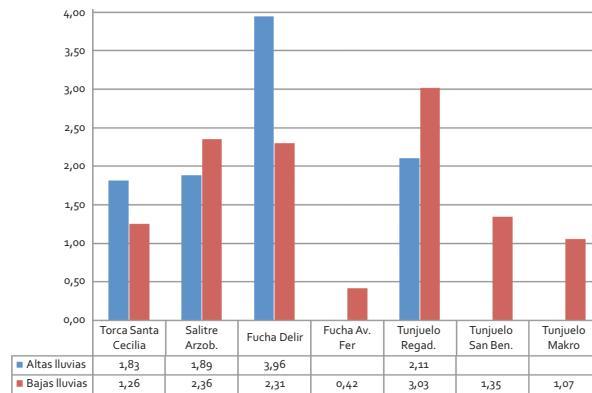


FIG. 7.3. Valores del índice de Margalef aplicado a los valores promedio de las densidades de invertebrados de bentos colectado (diciembre de 2008)

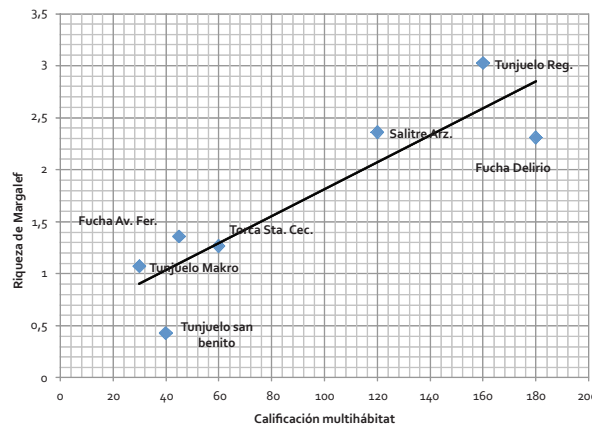


FIG. 7.4. Relación entre la calificación de la valoración multihábitat y el valor del índice de Margalef para las muestras de macroinvertebrados (febrero de 2009)

Un aspecto destacable es que, a pesar de estas diferencias entre la riqueza y su concordancia con los estados de los hábitats, los valores de tolerancia o contaminación orgánica de los invertebrados (fig. 7.5) colectados en todas las estaciones, son en promedio relativamente altos (> 5,5). Alta tolerancia

a la contaminación orgánica es lógica en las estaciones urbanas monitoreadas mas no así en las cabeceras, con condiciones óptimas y ricas biológicamente. Sin embargo, altas cargas orgánicas en cabeceras de ríos tropicales de montañas no son del todo extrañas y no implican necesariamente aportes antrópicos.

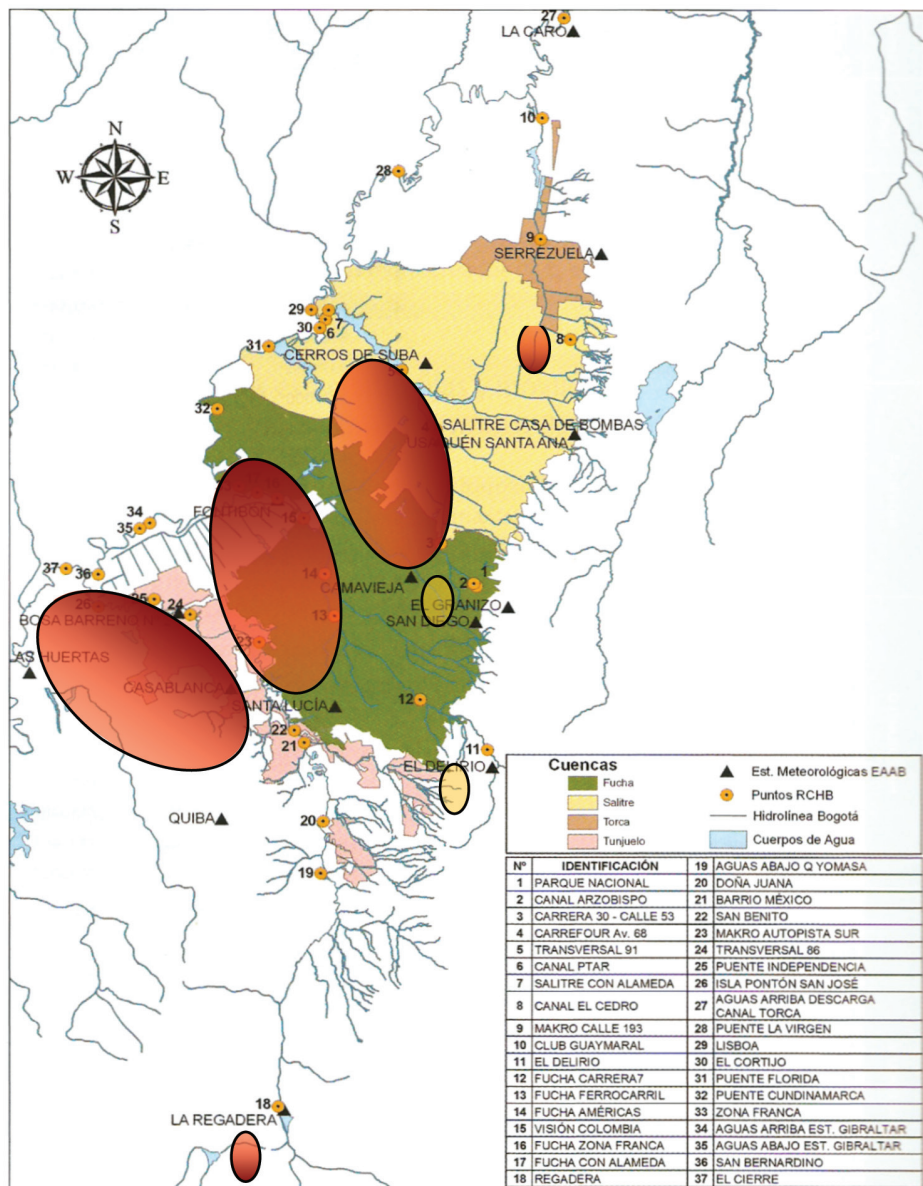


FIG. 7.5. Rangos de tolerancia a la contaminación orgánica asignados a los grupos de macroinvertebrados (diciembre de 2008 a febrero 2009)

Una interpretación final de las características biológicas de los macroinvertebrados colectados se presenta en la guía ilustrada (anexo) en el cual los taxones colectados se clasificaron según su importancia ecológica o médica.

Desde el punto de vista del perifiton, durante los dos períodos se pudieron obtener muestras en 15 estaciones en las que se identificaron 33 taxones con densidades bajas que fluctuaron entre 1 a 55 individuos por mililitro (tabla 7.5). Cabe destacar que en estos ejercicios de monitoreo dominó en un alto porcentaje la clase bacillaroficeas. Los organismos encontrados en estas pequeñas corrientes indican que se tratan de aguas cuyos

aportes de materia orgánica son fluctuantes. Esta capacidad indicadora del perifiton de la pobreza de hábitat es igualmente significativamente relacionada con la calidad del hábitat de las estaciones muestreadas (fig. 7.6).

Los resultados hidrobiológicos obtenidos en este estudio muestran claramente que, excepto las cabeceras de los ríos Fucha y Tunjuelo, los afluentes del río Bogotá en la zona urbana pierden rápidamente su condición natural y se empobrecen física y biológicamente manteniendo estados de alta perturbación, debido a los aportes de carga orgánica sobre sus aguas.

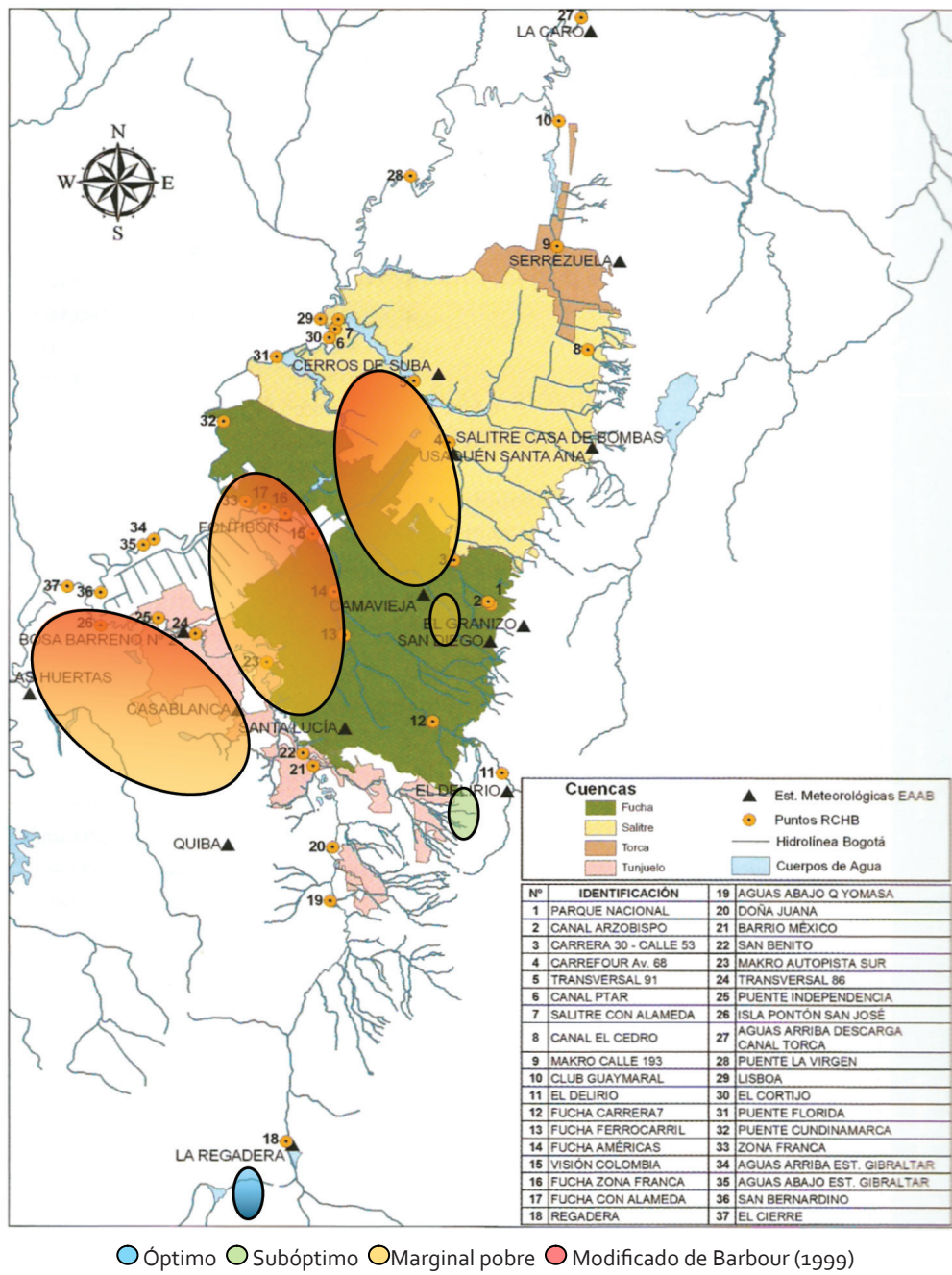


FIG. 7.6. Categorización de la estaciones de acuerdo con la valoración del índice de diatomeas (diciembre de 2008 a febrero de 2009)

TABLA 7-5. Composición y densidad del perifiton (diciembre de 2008 a febrero de 2009)

Período	Altas llluvias 2008						Bajas llluvias 2009										
	Salitre	Fucha	Tunjuelo	Regadera	Arzobispo	Salitre	Calle 45- Vs 24	Calle 80- Vs 49	Calle 99- Vs 103	El Delirio	Avenida Ferrocarril	Avenida Américas	Visión Colombia	Regadera	San Benito	Makro	Transver- sal 86
<i>Clorophyceae</i>																	
<i>Evastrum</i> sp. 1	3		4	6	2					4				7		2	
<i>Evastrum</i> sp. 2		9	1							2				5		1	
<i>Cosmarium</i> sp.	2	11	8	9						6				4		4	
<i>Cladophora</i> sp.	1	12	17	11						7	3			12	1		
<i>Tetraedron</i> sp.			11											8			
<i>Staurastrum</i> sp. 1	4	9	21	8						6				17			
<i>Staurastrum</i> sp. 2	2		19	4										11			
<i>Microspora</i> sp.		16	6	11	3					5	2	1		9	1	12	
<i>Tetrastrum</i> sp.			13							2	1			21	2	14	
<i>Ulotrix</i> sp.	1	17		16						12		1		35		17	
<i>Bacillariophyceae</i>	7	11	16	10	8	0	0	0	0	11	8	0	0	17	8	7	0
<i>Achantes</i> sp. 1		22	14	7										32		2	
<i>Achantes</i> sp. 2		9	22							12				12			
<i>Frustulia</i> sp. 1	2		31	5	2					4				25	2	1	
<i>Gomphonema</i> sp.	9	12	11	7	2						2			16	2		
<i>Gomphonema</i> sp.2			7		1					7	2			3	1		
<i>Gomphonema parvulum</i>		6	6	2							1			4			
<i>Navicula</i> sp. 1	10	19	55	14	3					6				45	3	2	

<i>Navicula</i> sp. 2	11	16	36	13	2					15	3				33	2	3
<i>Eunotia curvata</i>	4		18	16						11	2				11		
<i>Eunotia</i> sp. 2		2	19												24		
<i>Fragillaria</i> sp. 1				2						4					11		
<i>Fragillaria</i> sp. 2			4												7		2
<i>Pinnularia</i> sp. 1	5	11	42	15	1										36	1	1
<i>Pinnularia biceps</i>		12	35		3					7	1				28	3	
<i>Synedra ulna</i>	5	17	16	5	4					2	3				35	4	
<i>Stauroneis</i> sp. 1		5	7							5	4				14		
<i>Stauroneis</i> sp. 2			15							11					5		2
<i>Cyanophyceae</i>																	
<i>Oscillatoria</i> sp.		4	2		3					2	20				2	5	4
<i>Phormidium</i> sp.		5	3		2					3	4				3	4	5
Protozoarios ciliados																	
<i>Vorticella</i> sp.									2	3							
<i>Euplotes</i> sp.	1										4	2				3	
Flagelados																	
<i>Euglena</i> sp.									4	2	6					3	
<i>Peranema</i> sp.									3		4					2	
Total de taxa	15	20	28	18	13				3	2	18	4	0	0	30	18	16
Total individuos/ml	67	225	459	161	36				9	5	144	73	8	0	492	49	79
Riqueza de Margalef (D)	3,33	3,51	4,41	3,35	3,35				0,91	0,62	3,96	1,44			4,68	4,37	3,43



## BIBLIOGRAFÍA

- ANDREU, E. & CAMACHO, A. (2002). *Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar*. Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Secretaría General del Medio Ambiente, 226.
- BARBOUR, M. et ál. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish Second Edition*. Washington, D. C.: EPA 841-B-99-002. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water.
- BRINKHURST, R. & MARCHESE, M. (1993). *Guía para la identificación de oligoquetos acuáticos continentales de Sud y Centro América*. Colección Climax núm. 6, segunda edición. Asoc. Cs. Nat. del Litoral. Santa Fe, Argentina, 207.
- BROWN, L. & BARNWELL, T. (1987). Enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS. Documentación y Manual del usuario. EPA/600/3-85/065. Environmental Research Laboratory. U. S. Environmental Protection Agency, 189 pp.
- CAMACHO, L. & LEES, M. (1999). Multilinear discrete lag-cascade for channel routing. *Journal of Hidrology*, 30-47.
- CHAPRA, S. et ál. (2005). *Qual2k: A modeling framework for simulating river and stream water quality V2.04: Documentation and users manual*. Medford (EE. UU.): Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University.
- COSTE, M. (1976). Contribution a l'écologie des diatomées benthiques et periphytiques de la Seine: distribution longitudinales et influence des pollutions. *Soc Hidrotechnique de France XIV Journal de l'Hydraulique* 3, 9, 1-7.
- COVICH, A. (2006). Protección de la biodiversidad del bentos para asegurar procesamiento de materia orgánica y servicios del ecosistema: importancia de los invertibrados fragmentadores en las redes de drenaje. *Ecotrópicos* 19(2), 109-127.
- DOMÍNGUEZ, E. et ál. (2006). Plantas introducidas en el Parque Nacional Torres del Paine, Chile. *Gayana Bot* 63(2), 131-141.
- FERNÁNDEZ, H. & DOMÍNGUEZ, E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos. *Entomotrópica antes/formerly Boletín de entomología venezolana*, 16(3), 219.
- KOBAYASHI, H. & MAYAMA, S. (1982). Most pollution-tolerant diatoms of severely polluted rivers in vicinity of Tokyo. *Jpn. J. Phycol.* 30, 188-196.
- LANGE-BERTALOT, H. (1979). Pollution and tolerance of diatoms as a criterion of water quality estimation. *Nova Hedwigia*, 285-304.

- MARGALEF, R. (1999). *Los organismos como indicadores en la limnología*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 300.
- McCAFFERTY, W. (1981). *Aquatic Entomology. Science books international*.
- MERRITT, R. & CUMMINS, K. (1988). An introduction to the aquatic insects of North America. 2ª ed. *Kendall/Hunt*, 758.
- PATRICK, R. (1973). Use of algae, especially Diatoms, in the assessment of water quality. *Biological methods for the assessment of water quality, ASTM 528*, 76-95.
- PEDREGAL, D. et ál. (2004). *System Identification, Time Series Analysis and Forecasting, The Captain Toolbox Handbook*. Lancaster University, UK: Centre for Research on Environmental Systems and Statistics.
- PENNAK, R. (1989). Coelenterata. *Freshwater Invertebrates of the United States: Protozoa to Mollusca*, 3ª ed., 110-127.
- RISS, W. et ál. (2002). Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la sabana de Bogotá. *Caldasia* (24)1, 135-156.
- RUEDA-DELGADO, G. (2002). Método para estudio de comunidades bénticas fluviales. En: Rueda-Delgado, G. *Manual de Métodos en Limnología*. Asociación Colombiana de Limnología, 47-58.
- SABATER, S. et ál. (1988). Relationships between Diatom Assemblages and Physicochemical variables in the River Ter (N. E. España). *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 73, 171-179.
- SANABRIA, M. et ál. (2002). *Protocolo para la ejecución de estudios hidrobiológicos en zonas de explotación forestal del Chocó*. Bogotá.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE Y EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (2008). *Calidad de sistema hídrico de Bogotá*. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- SULLIVAN, M. (1999). Applied diatom studies in estuaries and shallow coastal environments. Stoermer, E. and Smol, J. (eds.) *The Diatoms: applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 334-351.
- THATCHER, V. (2006). *Amazon fish parasites*, 2ª ed. Sofia-Moscow: Pensoft Publishers.
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (2007). *Concentraciones de referencia para los vertimientos industriales realizados a la red de alcantarillado y de los vertimientos industriales y domésticos efectuados a cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Uniandes.

# ANEXOS



**ANEXO 1**  
**OBJETIVOS DE CALIDAD**

Objetivos de calidad: 4 años












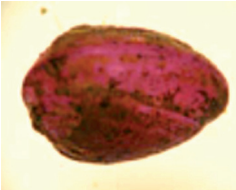





Parámetro	Unidades	Tramos Río Torca				Tramos Río Salitre				Tramos Río Fucha				Tramos Río Tunjuelo			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
OD	mg/l	3	0,5	7	2	0,5	7	4	0,2	7	4	0,2	7	7	2	1	0,5
DBO <sub>5</sub>	mg/l	15	150	5	80	150	5	50	250	5	50	250	250	5	100	100	250
DQO	mg/l	50	300	35	200	350	35	150	400	35	150	400	400	35	200	200	500
N <sub>total</sub>	mg/l	5	40	5	20	40	3	20	40	3	20	40	40	3	20	20	50
P <sub>total</sub>	mg/l	1	6	1	6	6	0,1	3	8	0,1	3	8	8	0,2	3	5	8
SST	mg/l	20	150	10	80	150	10	30	150	10	30	150	200	10	120	150	300
A y G	mg/l	20	30	10	20	30	10	25	40	10	25	40	60	20	20	20	50
Coliformes fecales	NMP/100ml	1E+05	1E+06	1E+05	1E+06	1E+06	1E+03	1E+06	1E+06	1E+03	1E+06	1E+06	1E+06	1E+03	1E+06	1E+06	1E+06
pH	Unidad	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9
SAAM	mg/l	1	4	1	3	3	0,5	3	4	0,5	3	4	4	0,5	3	3	3
















Objetivos de calidad: 10 años																			
Parámetro	Unidades	Tramos Río Torca				Tramos Río Salitre				Tramos Río Fucha				Tramos Río Tunjuelo					
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
OD	mg/l	5	2	8	2	8	5	2	8	5	0,5	0,5	8	5	2	1			
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5	100	5	60	100	100	100	5	40	60	60	5	50	50	100			
DQO	mg/l	30	250	30	90	250	250	250	30	90	180	180	30	100	100	200			
N <sub>total</sub>	mg/l	2	20	2	10	20	20	20	1,5	10	10	10	1,5	10	10	20			
P <sub>total</sub>	mg/l	0,2	1	0,2	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1			
SST	mg/l	10	60	10	30	60	60	60	10	25	30	30	10	30	30	60			
A y G	mg/l	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10			
Coliformes fecales	NMP/100ml	1E+04	1E+05	1E+04	1E+05	1E+05	1E+05	1E+05	1E+02	1E+05	1E+05	1E+05	1E+02	1E+05	1E+05	1E+05			
pH	Unidad	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5			
SAAM	mg/l	0,5	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1			

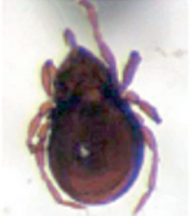

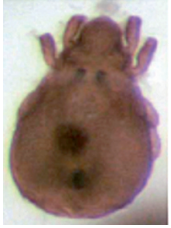









Objetivos de calidad 20 años			
Parámetro	Unidades	1er tramo	2do, 3ro y 4to tramo
Aluminio	mg/L	0,1	0,2
Arsénico	mg/L	0,003	0,003
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	0,3	0,3
Cadmio	mg/L	0,0002	0,001
Cianuro	mg/L	0,002	0,004
Cinc	mg/L	0,1	0,2
Cobalto	mg/L	0,05	0,05
Cobre	mg/L	0,015	0,025
Coliformes fecales	NMP/100mL	100	2000
Coliformes totales	NMP/100mL	300	5000
Cromo hexavalente	mg/L	0,01	0,01
Cromo total	mg/L	0,015	0,02
DBO <sub>5</sub>	mg/L	3	6
DQO	mg/L	20	20
Fenoles	mg/L	0,001	0,005
Flúor	mg/L	1	1
Fósforo total	mg/L	0,1	0,4
Grasas y aceites	mg/L	0,05	0,5
Hierro	mg/L	0,1	3
Litio	mg/L	2,5	2,5
Manganeso	mg/L	0,07	0,1
Mercurio	mg/L	0,00025	0,00025
Molibdeno	mg/L	0,01	0,01
Níquel	mg/L	0,01	0,02
Nitrógeno total	mg/L	2	8
OD	mg/L	8	5
pH	unidades	6,5-8,5	6,5-8,5
Plomo	mg/L	0,002	0,002
SAAM	mg/L	0,5	0,5
Selenio	mg/L	0,01	0,02
SST	mg/L	10	25
Vanadio	mg/L	0,1	0,1








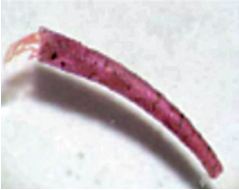





Objetivos de calidad 40 años		
Parámetro	Unidades	Todos los tramos
Aluminio	mg/L	0
Arsénico	mg/L	0,0030
Berilio	mg/L	0,1
Boro	mg/L	0,3
Cadmio	mg/L	0,0002
Cianuro	mg/L	0,0020
Cinc	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,0150
Coliformes fecales	NMP/100mL	100
Coliformes Totales	NMP/100mL	300
Cromo hexavalente	mg/L	0,01
Cromo Total	mg/L	0,0150
DBO <sub>5</sub>	mg/L	3
DQO	mg/L	20
Fenoles	mg/L	0,001
Flúor	mg/L	1
Fósforo total	mg/L	0,1
Grasas y aceites	mg/L	0,050
Hierro	mg/L	0,1
Litio	mg/L	2,5
Manganeso	mg/L	0,07
Mercurio	mg/L	0,00025
Molibdeno	mg/L	0,01
Níquel	mg/L	0,01
Nitrógeno total	mg/L	2
Oxígeno disuelto	mg/L	8
pH	unidades	6,5-8,5
Plomo	mg/L	0,002
SAAM	mg/L	0,5
Selenio	mg/L	0,01
SST	mg/L	10
Vanadio	mg/L	0,1
















**ANEXO 2**  
**GUÍA ILUSTRADA DEL MONITOREO LIMNOLÓGICO**  
**Invertebrados colectados en cuatro afluentes del río Bogotá**




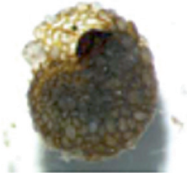


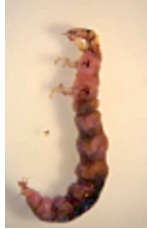

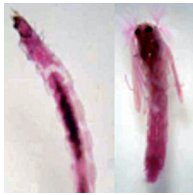





Identificación	Fotografía	Colectado	Tolerancia/ contaminación	Importancia
Phylum: <i>Nematoda</i> Parásito Morfo 1		Fucha Salitre Parque Nacional	5 	 
Phylum: <i>Mollusca</i> Clase: <i>Gastropoda</i> Orden: <i>Pulmonata</i> Familia: <i>Ancylidae</i> Género: <i>Hebetancylus</i> sp.		Bentos Arroyos Bentos Embalse	6 	
Familia: <i>Physidae</i> Género: <i>Physa</i> sp.		Bentos Arroyos	8 	 
Familia: <i>Sphaeriidae</i>		Regadera	8 	
Phylum: <i>Annelida</i> Clase: <i>Oligochaeta</i> Orden: <i>Clitellata</i> Familia: <i>Tubificidae</i>		Torca Fucha Parte baja Regadera Tunjuelo San Benito	10 	
















Identificación	Fotografía	Colectado	Tolerancia/ contaminación	Importancia
Familia: <i>Naididae</i>		Torca Fucha Parte baja Tunjuelo San Benito	10 	
Clase: Hirudinea Orden: <i>Rhynchobdellae</i> Familia: <i>Glossiphoniidae</i> Género: <i>Placobdella</i> sp.		Makro Tunjuelo San Benito	7 	
Monotipo 2		Bentos Arroyos	10 	
Clase: <i>Malacostraca</i> Orden: <i>Amphipoda</i> Familia: <i>Hyaellidae</i> Género: <i>Hyaella</i> sp.		Raíz E. <i>crassipes</i> Bentos Arroyos	8 	
		Bentos Arroyos	8 	

Identificación	Fotografía	Colectado	Tolerancia/ contaminación	Importancia
Clase: <i>Arachnida</i> Orden: <i>Acari</i> Familia: <i>Hydrozetidae</i> Género: <i>Hydrozetes</i> sp.		Fucha Parte baja  Tunjuelo  Delirio Fucha	No tiene valor de tolerancia	
Acarii Morfo 2		Raíz E. <i>crassipes</i>  Bentos Arroyos	No tiene valor de tolerancia	
Acarii Morfo 3		Bentos Arroyos	No tiene valor de tolerancia	
Clase: <i>Collembola</i> Familia: <i>Hypogastruridae</i>		Bentos Arroyos	10 	
Familia: <i>Isotomidae</i>		Raíz E. <i>crassipes</i>  Bentos Arroyos	10 	

Identificación	Fotografía	Colectado	Tolerancia/ contaminación	Importancia
Género: Heterelmis sp.		Bentos Arroyos	4 	
Familia: Scirtidae Género: Microchara sp.			No tiene valor de tolerancia	
Género: Scirtes sp.			No tiene valor de tolerancia	
Orden: Trichoptera Familia: Leptoceridae		Salitre Parque Nacional  Fucha Delirio	5,2 	
Género: Hydroptila sp.		Salitre Parque Nacional	5,5 	

Identificación	Fotografía	Colectado	Tolerancia/ contaminación	Importancia
Clase: <i>Insecta</i> Orden: <i>Ephemeroptera</i> Familia: <i>Baetidae</i>		Bentos Arroyos	8,4 	
Orden: <i>Odonata</i> Familia: <i>Coenagrionidae</i>		Bentos Arroyos	8 	
Orden: <i>Odonata</i> Familia: <i>Aeshnidae</i> Género: <i>Aeshna</i> sp.		Salitre Parque Nacional	5 	
Orden: <i>Coleoptera</i> Familia: <i>Dytiscidae</i> Género: <i>Rhantus</i> sp.		Bentos Arroyos	5 	
Familia: <i>Elmidae</i>		Bentos Arroyos	4 	

Identificación	Fotografía	Colectado	Tolerancia/ contaminación	Importancia
<i>Hydropsychidae</i> larva		Arzobispo	5 	
Familia: <i>Helicopsychidae</i> Género: <i>Helicopsyche</i>		Salitre Parque Nacional	4,7 	
Familia: <i>Hydrobiosidae</i> Género: <i>Atopsyche</i> sp.		Salitre Parque Nacional	No tiene valor de tolerancia	
Orden: <i>Diptera</i> Familia: <i>Chironomidae</i> Subfamilia: <i>Chironomidae</i> Género: <i>Chironomus</i> sp.		Torca  Fucha Delirio  Salitre Parque Nacional	9,6 	
Género: <i>Estenochironomus</i> sp.			5 	

Identificación	Fotografía	Colectado	Tolerancia/ contaminación	Importancia
Subfamilia: <i>Tanypodinae</i>		Torca Fucha Delirio Salitre Parque Nacional	7 	
Familia: <i>Tipulidae</i> Género: <i>Tipula</i> sp.		Torca	5,3 	
Familia: <i>Psychodidae</i> Género: <i>Pericoma</i>		Torca	10 	
Familia: <i>Psychodidae</i> Género: <i>Pericoma</i>		Tunjuelo San Benito	7,8 	
Familia: <i>Simuliidae</i> Género: <i>Simulium</i> sp.		Fucha Delirio Salitre Parque Nacional	5,3 	



Identificación	Fotografía	Colectado	Tolerancia/ contaminación	Importancia
Simuliidae Estado de pupa		Fucha Delirio  Salitre Parque Nacional	5 	 

## Convenios

### Tolerancia/contaminación

Color	Rangos	Significado
	1-3	Alta sensibilidad a la contaminación
	3-6	Medianamente tolerante
	7-10	Muy tolerante

### Importancia ecológica

Símbolo	Tipo de importancia	Implicaciones
	Ecológica	Indicador de contaminación Controlador biológico
	Médica	Vector de enfermedades Huésped intermediario



*Calidad del recurso hídrico de Bogotá 2008-2009*  
se compuso en caracteres Corbel 11/15 en  
diciembre de 2010, año del Bicentenario de la  
Independencia de la República de Colombia  
(20 de julio de 1810)