

Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2011-2012)



Manuel Salvador Rodríguez Susa
Lina Sabrina Porras
Alma Patricia Pérez Hoyos
Francy Nataly Zamora Vacca



Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2011-2012)

CONTENIDO



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ

Gustavo Petro Urrego
Alcalde Mayor

María Susana Muhamad González
Secretaria Distrital de Ambiente

Milton Rengifo Hernández
Subsecretario General y de Control Disciplinario

Julio César Pulido Puerto
Director de Control Ambiental

Giovanni José Herrera Carrascal
Subdirector del Recurso Hídrico y del Suelo

Pedro Nel Gamba García
Profesional Técnico de la Red de Calidad Hídrica de
Bogotá (RCHB)

Liliana Carolina Quintero Delgado
Profesional de apoyo
Grupo profesional

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Manuel Salvador Rodríguez Susa
Profesor asociado-director

Edna Lorena Delgado Hurtado
Especialista

Lina Sabrina Porras
Alma Patricia Pérez Hoyos
Francy Nataly Zamora Vacca
Johner Venicio Correa Cruz
Asistentes de investigación

Andrés Felipe Delgado Quintero
David Sarmiento
Jesús Antonio Flórez Salamanca
Nelson Leonardo Santiago Urrego
Walter Ramírez
Zeyda Zulinne Cetre Rodríguez
Comisión de monitoreos

Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2011-2012) / Manuel Salvador Rodríguez Susa... [et al.]. – Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Ediciones Uniandes, Alcaldía Mayor, Secretaría Distrital de Ambiente, 2012.

272 p.; CD

Otros autores: Lina S. Porras, Alma Patricia Pérez Hoyos, Francy Nataly Zamora.

ISBN 978-958-695-834-9

1. Calidad del agua – Bogotá (Colombia) I. Rodríguez Susa, Manuel Salvador II. Porras, Lina Sabrina III. Pérez Hoyos, Alma Patricia IV. Zamora Vacca, Francy Nataly V. Universidad de los Andes (Colombia). Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental VI. Bogotá (Colombia). Alcaldía Mayor. Secretaría Distrital de Ambiente.

CDD 628.161

SBUA

Primera edición: diciembre de 2012

© Manuel Salvador Rodríguez, Lina Porras, Alma Patricia Pérez y Francy Nataly Zamora

© Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, respecto a esta edición

Ediciones Uniandes

Carrera 1ª núm. 19-27, edificio Aulas 6, segundo piso

Teléfono: 339 4949, ext. 2133

Bogotá D. C., Colombia

infeduni@uniandes.edu.co

© Secretaría Distrital de Ambiente, titular del derecho

Avenida Caracas núm. 54-38

Teléfono: 377 88 99

Bogotá D.C., Colombia

ISBN: 978-958-695-834-9

Corrección de estilo: Gustavo Patiño Díaz

Diseño, diagramación e interactividad: Precolombi EU-David Reyes

Elaboración de CD: Proceditor

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, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1.	Ubicación geográfica puntos de monitoreo RCHB (2011-2012).....	21
FIGURA 1.2.	Esquema de toma de muestra y medición de velocidad puntual	22
FIGURA 1.3.	Esquema de toma de muestra con botella muestreadora	23
FIGURA 2.1.	Perfil del caudal: río Torca	27
FIGURA 2.2.	Perfil de alcalinidad: río Torca	28
FIGURA 2.3.	Perfil de dureza: río Torca.....	29
FIGURA 2.4.	Perfil de pH: río Torca.....	30
FIGURA 2.5.	Perfil de conductividad: río Torca	31
FIGURA 2.6.	Perfil de oxígeno disuelto: río Torca	32
FIGURA 2.7.	Perfil de DBO ₅ : río Torca	33
FIGURA 2.8.	Perfil de DOO: río Torca.....	34
FIGURA 2.9.	Perfil de SST: río Torca	35
FIGURA 2.10.	Perfil de NTK: río Torca	36
FIGURA 2.11.	Perfil de N _{total} : río Torca	37
FIGURA 2.12.	Perfil de N _{amoniaco} : río Torca	37
FIGURA 2.13.	Perfil de nitritos: río Torca	38
FIGURA 2.14.	Perfil de nitratos: río Torca	39
FIGURA 2.15.	Perfil de P _{total} : río Torca.....	40
FIGURA 2.16.	Perfil de grasas y aceites: río Torca.....	41
FIGURA 2.17.	Perfil de SAAM: río Torca.....	42
FIGURA 2.18.	Perfil de coliformes fecales: río Torca	43
FIGURA 2.19.	Perfil de sulfuros: río Torca.....	44
FIGURA 2.20.	Perfil de fenoles: río Torca.....	45
FIGURA 2.21.	Perfil de bario: río Torca	46
FIGURA 2.22.	Perfil de cadmio: río Torca.....	47
FIGURA 2.23.	Perfil de cinc: río Torca	48
FIGURA 2.24.	Perfil de cobre: río Torca	49
FIGURA 2.25.	Perfil de cromo total: río Torca	50
FIGURA 2.26.	Perfil de manganeso: río Torca	51

FIGURA 2.27.	Perfil de níquel: río Torca.....	52
FIGURA 2.28.	Perfil de plomo: río Torca	53
FIGURA 2.29.	Perfil de cargas de DBO_5 : río Torca	54
FIGURA 2.30.	Perfil de cargas DQO: río Torca.....	55
FIGURA 2.31.	Perfil de cargas de SST: río Torca	56
FIGURA 2.32.	Perfil de cargas N_{total} : río Torca	58
FIGURA 2.33.	Perfil de cargas de P_{total} : río Torca	58
FIGURA 2.34.	Perfil de cargas de grasas y aceites: río Torca	60
FIGURA 2.35.	Perfil de cargas de SAAM: río Torca	61
FIGURA 2.36.	Mapa de calidad: río Torca	64
FIGURA 3.1.	Perfil del caudal: río Salitre	67
FIGURA 3.2.	Perfil de alcalinidad: río Salitre	68
FIGURA 3.3.	Perfil de dureza: río Salitre	69
FIGURA 3.4.	Perfil de pH: río Salitre	71
FIGURA 3.5.	Perfil de conductividad: río Salitre	72
FIGURA 3.6.	Perfil de oxígeno disuelto: río Salitre	73
FIGURA 3.7.	Perfil de DBO_5 : río Salitre	75
FIGURA 3.8.	Perfil de DQO: río Salitre	76
FIGURA 3.9.	Perfil de SST: río Salitre	77
FIGURA 3.10.	Perfil del NTK: río Salitre.....	79
FIGURA 3.11.	Perfil del N_{total} : río Salitre	80
FIGURA 3.12.	Perfil del $N_{amoniaco}$: río Salitre.....	81
FIGURA 3.13.	Perfil de nitritos: río Salitre	82
FIGURA 3.14.	Perfil de nitratos: río Salitre	83
FIGURA 3.15.	Perfil de P_{total} : río Salitre	85
FIGURA 3.16.	Perfil de grasas y aceites: río Salitre	86
FIGURA 3.17.	Perfil de SAAM: río Salitre	87
FIGURA 3.18.	Perfil de coliformes fecales: río Salitre	89
FIGURA 3.19.	Perfil de sulfuros: río Salitre	90
FIGURA 3.20.	Perfil de fenoles: río Salitre	91
FIGURA 3.21.	Perfil de bario: río Salitre.....	93
FIGURA 3.22.	Perfil de cadmio: río Salitre	94
FIGURA 3.23.	Perfil de cinc: río Salitre	95
FIGURA 3.24.	Perfil de cobre: río Salitre.....	97
FIGURA 3.25.	Perfil de cromo total: río Salitre	98
FIGURA 3.26.	Perfil de manganeso: río Salitre	99
FIGURA 3.27.	Perfil de níquel: río Salitre	100
FIGURA 3.28.	Perfil de plomo: río Salitre.....	102
FIGURA 3.29.	Perfil de carga DBO_5 : río Salitre.....	103
FIGURA 3.30.	Perfil de cargas DQO: río Salitre	104
FIGURA 3.31.	Perfil de cargas de SST: río Salitre.....	105

FIGURA 3.32.	Perfil de cargas N_{total} : río Salitre.....	107
FIGURA 3.33.	Perfil de cargas de P_{total} : río Salitre	108
FIGURA 3.34.	Perfil de cargas de grasas y aceites: río Salitre.....	110
FIGURA 3.35.	Perfil de cargas SAAM: río Salitre	112
FIGURA 3.36.	Mapa de calidad: río Salitre.....	118
FIGURA 4.1.	Perfil de caudal: río Fucha	121
FIGURA 4.2.	Perfil de alcalinidad: río Fucha	123
FIGURA 4.3.	Perfil de dureza: río Fucha.....	125
FIGURA 4.4.	Perfil de pH: río Fucha	127
FIGURA 4.5.	Perfil de conductividad: río Fucha	128
FIGURA 4.6.	Perfil de oxígeno disuelto: río Fucha	130
FIGURA 4.7.	Perfil de DBO_5 : río Fucha	132
FIGURA 4.8.	Perfil de DQO: río Fucha.....	134
FIGURA 4.9.	Perfil de SST: río Fucha.....	136
FIGURA 4.10.	Perfil de NTK: río Fucha	138
FIGURA 4.11.	Perfil de N_{total} : río Fucha	139
FIGURA 4.12.	Perfil de $N_{amoniacal}$: río Fucha	141
FIGURA 4.13.	Perfil de nitritos: río Fucha	142
FIGURA 4.14.	Perfil de nitratos: río Fucha	144
FIGURA 4.15.	Perfil de P_{total} : río Fucha	146
FIGURA 4.16.	Perfil de grasas y aceites: río Fucha	147
FIGURA 4.17.	Perfil de SAAM: río Fucha	149
FIGURA 4.18.	Perfil de coliformes fecales: río Fucha	151
FIGURA 4.19.	Perfil de sulfuros: río Fucha	153
FIGURA 4.20.	Perfil de fenoles: río Fucha	155
FIGURA 4.21.	Perfil de bario: río Fucha	157
FIGURA 4.22.	Perfil de cadmio: río Fucha.....	158
FIGURA 4.23.	Perfil de cinc: río Fucha	160
FIGURA 4.24.	Perfil de cobre: río Fucha	162
FIGURA 4.25.	Perfil de cromo total: río Fucha	164
FIGURA 4.26.	Perfil de manganeso: río Fucha	165
FIGURA 4.27.	Perfil de níquel: río Fucha.....	167
FIGURA 4.28.	Perfil de plomo: río Fucha	169
FIGURA 4.29.	Perfil de cargas DBO_5 : río Fucha	169
FIGURA 4.30.	Perfil de cargas DQO: río Fucha.....	171
FIGURA 4.31.	Perfil de cargas SST: río Fucha	172
FIGURA 4.32.	Perfil de cargas de N_{total} : río Fucha.....	174
FIGURA 4.33.	Perfil de cargas P_{total} : río Fucha.....	175
FIGURA 4.34.	Perfil de cargas grasas y aceites: río Fucha.....	176
FIGURA 4.35.	Perfil de cargas SAAM: río Fucha	177
FIGURA 4.36.	Mapa de calidad: río Fucha	182

FIGURA 5.1.	Perfil de caudales con compuertas abiertas: río Tunjuelo	186
FIGURA 5.2.	Perfil de caudales con compuertas cerradas: río Tunjuelo.....	186
FIGURA 5.3.	Perfil de alcalinidad: río Tunjuelo.....	188
FIGURA 5.4.	Perfil de dureza: río Tunjuelo.....	190
FIGURA 5.5.	Perfil de pH: río Tunjuelo.....	192
FIGURA 5.6.	Perfil de conductividad: río Tunjuelo	193
FIGURA 5.7.	Perfil de oxígeno disuelto: río Tunjuelo.....	195
FIGURA 5.8.	Perfil de DBO_5 : río Tunjuelo	197
FIGURA 5.9.	Perfil de DQO: río Tunjuelo.....	199
FIGURA 5.10.	Perfil de SST: río Tunjuelo	201
FIGURA 5.11.	Perfil de NTK: río Tunjuelo	202
FIGURA 5.12.	Perfil de N_{total} : río Tunjuelo	204
FIGURA 5.13.	Perfil de $N_{amoniacal}$: río Tunjuelo	206
FIGURA 5.14.	Perfil de nitritos: río Tunjuelo	207
FIGURA 5.15.	Perfil de nitratos: río Tunjuelo	208
FIGURA 5.16.	Perfil de P_{total} : río Tunjuelo	211
FIGURA 5.17.	Perfil de grasas y aceites: río Tunjuelo	212
FIGURA 5.18.	Perfil de SAAM: río Tunjuelo	213
FIGURA 5.19.	Perfil de coliformes fecales: río Tunjuelo	216
FIGURA 5.20.	Perfil de sulfuros: río Tunjuelo	217
FIGURA 5.21.	Perfil de fenoles: río Tunjuelo	219
FIGURA 5.22.	Perfil de bario: río Tunjuelo	221
FIGURA 5.23.	Perfil de cadmio: río Tunjuelo	222
FIGURA 5.24.	Perfil de cinc: río Tunjuelo	224
FIGURA 5.25.	Perfil de cobre: río Tunjuelo.....	226
FIGURA 5.26.	Perfil de cromo total: río Tunjuelo	227
FIGURA 5.27.	Perfil de manganeso: río Tunjuelo	229
FIGURA 5.28.	Perfil de níquel: río Tunjuelo.....	231
FIGURA 5.29.	Perfil de plomo: río Tunjuelo	232
FIGURA 5.30.	Perfil de cargas DBO_5 : río Tunjuelo	233
FIGURA 5.31.	Perfil de cargas DQO: río Tunjuelo.....	235
FIGURA 5.32.	Perfil de cargas SST: río Tunjuelo	236
FIGURA 5.33.	Perfil de cargas N_{total} : río Tunjuelo.....	237
FIGURA 5.34.	Perfil de cargas P_{total} : río Tunjuelo	238
FIGURA 5.35.	Perfil de cargas de grasas y aceites: río Tunjuelo	239
FIGURA 5.36.	Perfil de cargas SAAM: río Tunjuelo	240
FIGURA 5.37.	Mapa de calidad: río Tunjuelo (escenario 1).	246
FIGURA 5.38.	Mapa de calidad: río Tunjuelo (escenario 2).	247

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1.	Puntos de monitoreo RCHB (2011-2012)	20
TABLA 2.1.	Nomenclatura: río Torca	26
TABLA 2.2.	Carga promedio transportada DBO_5 : río Torca	53
TABLA 2.3.	Carga promedio transportada de DQO: río Torca	55
TABLA 2.4.	Carga promedio transportada de SST: río Torca.....	56
TABLA 2.5.	Carga promedio transportada de N_{total} : río Torca	57
TABLA 2.6.	Carga promedio transportada de P_{total} : río Torca	58
Tabla 2.7.	Carga promedio transportada de grasas y aceites: río Torca	59
TABLA 2.8.	Carga promedio transportada de SAAM: río Torca	60
TABLA 2.9.	wQI del río Torca: tramo 1	62
TABLA 2.10.	wQI del río Torca: tramo 2	62
TABLA 3.1.	Nomenclatura: río Salitre.....	65
TABLA 3.2.	Carga promedio transportada DBO_5 : río Salitre.....	102
TABLA 3.3.	Carga promedio transportada DQO: río Salitre	104
TABLA 3.4.	Carga promedio transportada de SST: río Salitre	105
TABLA 3.5.	Carga promedio transportada N_{total} : río Salitre	107
TABLA 3.6.	Carga promedio transportada P_{total} : río Salitre	108
TABLA 3.7.	Carga promedio transportada de grasas y aceites: río Salitre	109
TABLA 3.8.	Carga promedio transportada de SAAM: río Salitre.....	111
TABLA 3.9.	wQI río Salitre: tramo 1	113
TABLA 3.10.	wQI río Salitre: tramo 2	114
TABLA 3.11.	wQI río Salitre: tramo 3	115
TABLA 3.12.	wQI del río Salitre: tramo 4.....	117
TABLA 4.1.	Nomenclatura: río Fucha	119
TABLA 4.2.	Carga promedio transportada DBO_5 : río Fucha	169
TABLA 4.3.	Carga promedio transportada DQO: río Fucha	171
TABLA 4.4.	Carga promedio transportada SST: río Fucha	172
TABLA 4.5.	Carga promedio transportada N_{total} : río Fucha.....	173
TABLA 4.6.	Carga promedio transportada P_{total} : río Fucha	174

TABLA 4.7.	Carga promedio transportada de grasas y aceites: río Fucha	175
TABLA 4.8.	Carga promedio transportada SAAM: río Fucha	177
TABLA 4.9.	WQI río Fucha: tramo 1	178
TABLA 4.10.	WQI río Fucha: tramo 2	179
TABLA 4.11.	WQI río Fucha: tramo 3	180
TABLA 4.12.	WQI río Fucha: tramo 4	180
TABLA 5.1.	Nomenclatura: río Tunjuelo	183
TABLA 5.2.	Carga promedio transportada DBO_5 : río Tunjuelo	233
TABLA 5.3.	Carga promedio transportada DQO: río Tunjuelo	234
TABLA 5.4.	Carga promedio transportada SST: río Tunjuelo	235
TABLA 5.5.	Carga promedio transportada N_{total} : río Tunjuelo	236
TABLA 5.6.	Carga promedio transportada P_{total} : río Tunjuelo	238
TABLA 5.7.	Carga promedio transportada de grasas y aceites: río Tunjuelo	239
TABLA 5.8.	Carga promedio transportada SAAM: río Tunjuelo	240
TABLA 5.9.	WQI río Tunjuelo: tramo 1 (escenario 1)	241
TABLA 5.10.	WQI río Tunjuelo: tramo 1 (escenario 2)	242
TABLA 5.11.	WQI río Tunjuelo: tramo 2	243
TABLA 5.12.	WQI río Tunjuelo: tramo 3	244
TABLA 5.13.	WQI río Tunjuelo: tramo 4	244
TABLA 6.1.	Resultados arsénico, mercurio y cianuro	249
TABLA 6.2.	Resumen del comportamiento de contaminantes tipo 1: río Torca	252
TABLA 6.3.	Resumen del comportamiento de contaminantes tipo 2: río Torca	253
TABLA 6.4.	Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 1: río Salitre	255
TABLA 6.5.	Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 2: río Salitre	256
TABLA 6.6.	Resumen del comportamiento de contaminantes del tipo 1: río Fucha	258
TABLA 6.7.	Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 2: río Fucha	259
TABLA 6.8.	Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 1: río Tunjuelo	262
TABLA 6.9.	Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 2: río Tunjuelo	263
TABLA 7.1.	Resumen del cumplimiento de los objetivos de calidad (OC): río Torca	265
TABLA 7.2.	Resumen del cumplimiento de los objetivos de calidad (OC): río Salitre	266
TABLA 7.3.	Resumen del cumplimiento de los objetivos de calidad (OC): río Fucha	267
TABLA 7.4.	Resumen del cumplimiento de los objetivos de calidad (OC): río Tunjuelo	269

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

A	Agrícola
AyG	Aceites y grasas
BTEX	Benceno, tolueno, etilbenceno, xileno
CH ₁	Consumo humano (tratamiento convencional)
CH ₂	Consumo humano (desinfección)
Cormagdalena	Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
DSE	Disruptores del sistema endocrino
EAAB	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
L/s	Litros por segundo
MDLC	Multilinear Discrete Lag-Cascade Method of Channel Routing
NMP	Número más probable
NSE	<i>Normalized sum of excursions</i> (cantidad normalizada de excursiones).
N _{total}	Nitrógeno total
OD	Oxígeno disuelto
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
P	Pecuario
PAH	<i>Polycyclic aromatic hydrocarbon</i> (hidrocarburos aromáticos policíclicos)
PCB	Policloruros de bifenilo
PFF	Preservación de la flora y la fauna
pH	Potencial de hidrógeno
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	<i>Rapid bioassessment protocols</i> (protocolos de bioevaluación rápida)
RCHB	Red de Calidad Hídrica de Bogotá
SAAM	Sustancias activas al azul de metileno
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
SST	Sólidos suspendidos totales
ST	Sólidos totales
UNAL	Universidad Nacional de Colombia
WQI	<i>Water quality index</i> (índice de calidad de agua)
ZMI	Zona de minas inundadas

PRÓLOGO

En los últimos años, la operación de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá ha generado el conocimiento suficiente sobre el recurso hídrico superficial para evidenciar que los principales ríos de la ciudad —Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo— gozan de una buena calidad del agua en la entrada al perímetro urbano y, a medida que se avanza en la ciudad, su calidad se deteriora de manera considerable. Los resultados que se han obtenido en los últimos tres años de seguimiento al recurso hídrico muestran la necesidad de concentrar los esfuerzos en la mejora y ampliación de la infraestructura de saneamiento, a fin de responder a las necesidades actuales y futuras, y así evidenciar cambios significativos en la calidad del agua de los ríos de la ciudad.

El gran reto de la ciudad en pro de la recuperación de corrientes superficiales es la eliminación total de los vertimientos directos e indirectos sobre los ríos y quebradas de la ciudad. Las cuencas medias y especialmente las bajas muestran un deterioro importante de la calidad, poniendo en evidencia la prioridad de orientar las obras a los puntos críticos de contaminación. Tampoco se debe dejar de lado aquellas cuencas con proyectos de expansión urbanística que podrían convertirse en nuevos focos de contaminación y el manejo integral del sistema pluvial que en condiciones hidrológicas húmedas potencia las condiciones críticas de contaminación en la mayoría de los ríos.

Una vez solucionado el tema de saneamiento en la ciudad se pueden orientar políticas de restauración de ríos urbanos basadas en la protección de la vida acuática, uso sostenible del recurso hídrico y ampliación del espacio para el desarrollo natural de las corrientes. Los ríos urbanos tienen el potencial de ser un bien para la comunidad, son corredores de transporte, suministro de agua, promueven actividades de recreación y pueden llegar a ser atractivos turísticos, generando una mayor conexión entre el desarrollo urbano, económico y ambiental de la ciudad.

Todas las herramientas implementadas en el modelo actual de control ambiental para la recuperación de los cuerpos de agua han abierto el horizonte del recurso hídrico y evidencian la necesidad de un saneamiento eficiente en la ciudad. El planteamiento de los objetivos de calidad a diez años —Resolución 5731 de 2008— busca que las principales corrientes de agua puedan

ser aprovechadas para diferentes usos sin poner en riesgo las actividades o las personas que se podrían beneficiar del recurso. En ese sentido, es importante continuar robusteciendo la red con nuevas estrategias de monitoreo que permitan valorar el aspecto biótico y el potencial de mejorar los ecosistemas acuáticos de aquellas zonas de los ríos que cuentan con buena calidad del agua. Además, el seguimiento al recurso hídrico debe garantizar que el agua pueda aprovecharse en diferentes usos según los lineamientos ya establecidos por las autoridades ambientales.

Esta publicación presenta la recopilación del estado del recurso hídrico principal en los últimos años de operación de la red, enfocándose en el periodo de junio 2011 a marzo de 2012. Los resultados presentados permiten evidenciar logros y retos de la gestión; además se registran los cambios tanto en calidad como en cantidad de ríos que llevan a entender la dinámica de la calidad según las condiciones hidrológicas. Este ejercicio permite a la autoridad ambiental planificar su esquema de gestión, con el fin de ejercer un mayor control sobre el manejo de vertimientos y así promover una mejor relación entre los ciudadanos y el recurso hídrico urbano y aumenten el sentido de pertenencia y protección.

1. MONITOREO DE LA RED DE CALIDAD HÍDRICA DE BOGOTÁ

La metodología propuesta en el contrato de ciencia y tecnología 01202 de 2009, al igual que en las anteriores fases de monitoreo de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB), involucró la revisión de los puntos de monitoreo que el 30 de junio de 2011 poseía la Red. El tipo de monitoreo realizado históricamente y los parámetros de caracterización de aguas medidos se mantuvieron, con el fin de robustecer la información que normalmente alimenta la base de datos de la RCHB, la cual, hasta la fecha, ha demostrado ser apropiada para el establecimiento del estado del recurso hídrico superficial principal de la ciudad.

1.1. Sitios de monitoreo

En el programa de monitoreo de la RCHB 2011-2012, se mantuvieron los treinta puntos:

- Cuatro en el río Torca.
- Seis en el río Salitre.
- Ocho en el río Fucha.
- Diez en el río Tunjuelo.
- Dos en la cuenca media del río Bogotá.

Para evaluar el número de puntos constituyentes de la RCHB en el periodo de monitoreo

2011-2012, la Universidad de los Andes realizó una evaluación de la pertinencia y ubicación de cada uno de dichos puntos. Como resultado de esta evaluación, se mantuvieron en su totalidad los sitios de monitoreo existentes para todos los ríos. Al igual que en el año previo, algunos de los puntos de monitoreo fueron ligeramente desplazados, teniendo en cuenta como criterio el desarrollo de la longitud de mezcla de vertimientos existentes aguas arriba de estos, y las obras de mantenimiento adelantadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). En la tabla 1.1 y en la figura 1.1 se presentan los sitios de monitoreo y su ubicación.

1.2. Esquema de monitoreo

Las campañas de monitoreo siguieron la metodología empleada en ejercicios previos de caracterización (Secretaría Distrital de Ambiente [SDA] y EAAB, 2008; Universidad de los Andes y SDA, 2010, 2011), en los cuales, durante ventanas temporales de dos horas, se realizaba un monitoreo compuesto isovolumétrico de agua cada treinta minutos, en cada uno de los puntos constituyentes de la RCHB.

Se buscó que cada punto fuera monitoreado cinco veces en la mañana (entre las 05:01 y

TABLA 1.1. Puntos de monitoreo RCHB (2011-2012)

Tramos	Puntos*			
	Río Torca	Río Salitre	Río Fucha	Río Tunjuelo
1	Bosque de Pinos [101430N-103150E]	Parque Nacional [103150N-101430E]	El Delirio [95541N-101917E]	La Regadera [78878N-92546E]
2	Calle 161 [115852N-104449E]** Jardines de Paz [120219N-104166E] Club Guaymaral (San Simón) [122505N-104294E]	Arzobispo x carrera 7. ^a [103269N-101304E]	Carrera 7. ^a x río Fucha [87861N-98913E]	Universidad Antonio Nariño [87211N-94924E] Yomasa [89744N-944458E]
		Carrera 30 x calle 53 [105138N-99824E]	Avenida Ferrocarril [101760N-95059E]	Doña Juana [92188N-94556E]
3		Carrera 30 x calle 53 [105138N-99824E] Avenida 68 [110463N-99600E]	Avenida Las Américas [103708N-94267E]	Doña Juana [92188N-94556E]
				Barrio México [95841N-93717E]
		Avenida 68 [110463N-99600E]	Avenida Boyacá [105699N-94338E]	San Benito [96416N-93264E] Makro Autopista Sur [100543N-91694E]
4		Avenida 68 [110463N-99600E]	Visión Colombia [106314N-93698E]	Makro Autopista Sur [100543N-91694E]
		Transversal 91 [113219N-98080E]	Fucha x Zona Franca [107236N-92496E]	Transversal 86 [101812N-88598E]
		Salitre x Alameda [115901N-94878E]	Fucha x Alameda [107503N-91611E]	Puente La Independencia [102519N-86982E]
				Isla Pontón San José [102175N-84478E]

* Los puntos sobre el río Bogotá corresponden a Puente Común [129614N-105344] y Cierre [103951N-83032E].

** Coordenadas norte-este.

las 12:00 horas), cinco veces en la tarde (entre las 12:01 y las 19:00 horas) y cinco veces en la noche (entre las 19:01 y las 05:00 horas).

Estas campañas fueron divididas en dos etapas: la primera se desarrolló entre el 30 de mayo y el 10 de diciembre de 2011, y la segunda, entre el 16 de enero y el 15 de marzo de 2012.

1.2.1. Logística de campo

Para la realización de las campañas de monitoreo se utilizaron simultáneamente dos comisiones de campo, cada una conformada por un coordinador de comisión y dos auxiliares de campo, quienes contaban con un vehículo. Durante los monitoreos, las comisiones de campo fueron acompañadas periódicamente por equipos de verificación de la Universidad

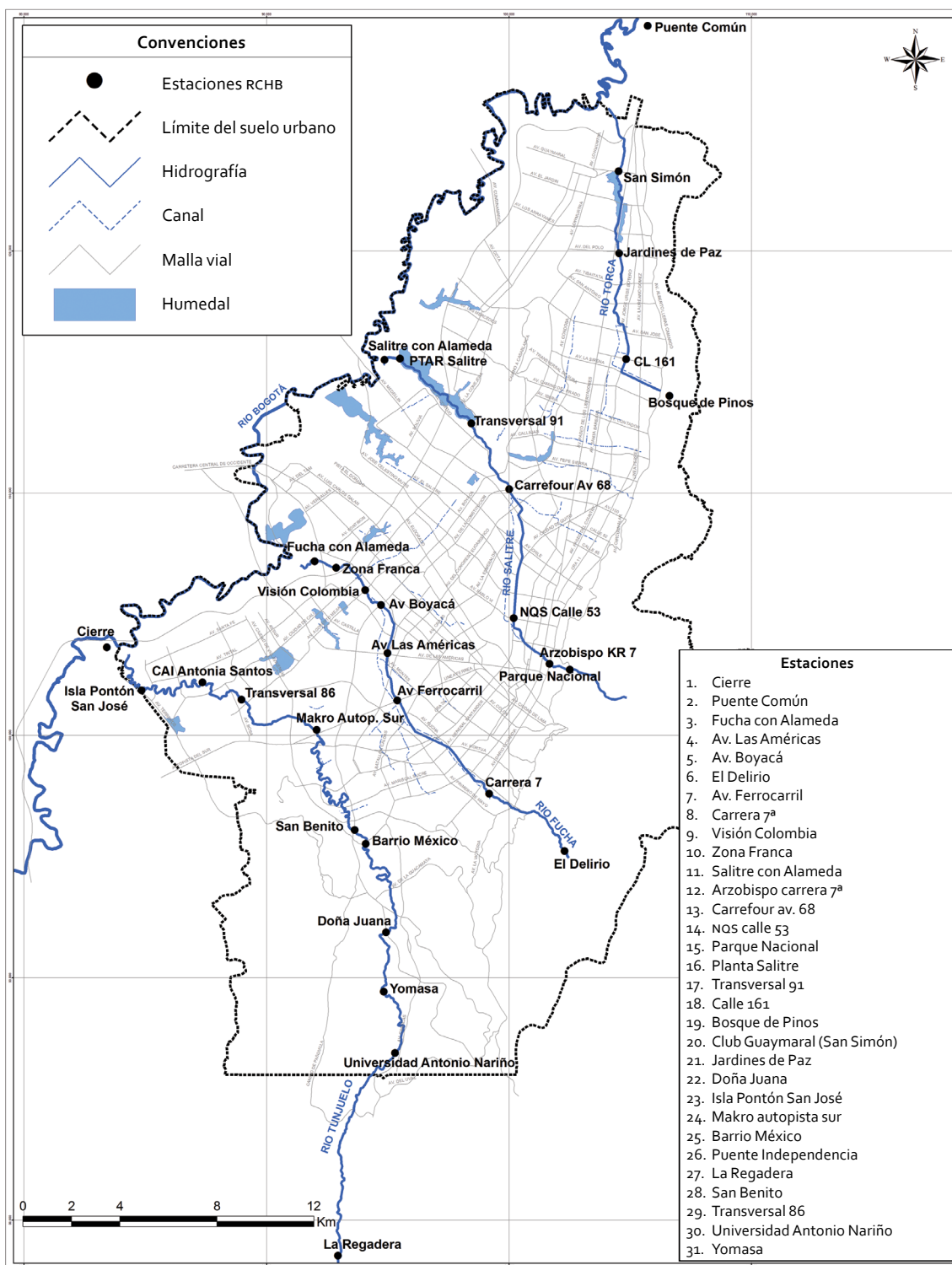


FIGURA 1.1. Ubicación geográfica puntos de monitoreo RCHB (2011-2012).

de los Andes y de la Secretaría Distrital de Ambiente, que supervisaron las actividades desarrolladas en campo.

1.2.2. Aforo y parámetros *in situ*

Para la medición de caudal en los sitios de monitoreo se utilizó el método área-velocidad, en el cual la velocidad de la corriente se debe medir con un correntómetro debidamente calibrado (ya sea de cazoletas con eje vertical o de hélice con eje horizontal), tomando lecturas a diferentes porcentajes de la profundidad: 20%, 60% y 80% (figura 1.2), en verticales definidas por el aforador, según los criterios mínimos de ejecución, los cuales ya habían sido usados en monitoreos previos de la RCHB (Norma NE-001: medición de caudales por el método área-velocidad [SDA y EAAB, 2008]). Los aforos por vadeo en corrientes pequeñas se llevaron a cabo con varilla de extensión, y en corrientes intermedias o mayores, por suspensión en bote cautivo.

De acuerdo con las recomendaciones dadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) en su documento *Mediciones hidrométricas* (1999), dependiendo de la disponibilidad de tiempo, del ancho de la sección transversal, de la profundidad del agua, de las características del lecho y de los cambios de nivel, se utilizaron alternadamente el método de un punto y el método de dos puntos para medir la velocidad media en la vertical, como se describe a continuación:

- *Método de un punto.* La medición de la velocidad puntual se efectuó al 60% de la profundidad total y se asumió como la velocidad media en la vertical. Este método fue utilizado en secciones del río donde la profundidad no fue superior a 1 m.
- *Método de dos puntos.* La medición de la velocidad puntual se efectuó al 20% y 80% de la profundidad total. El prome-

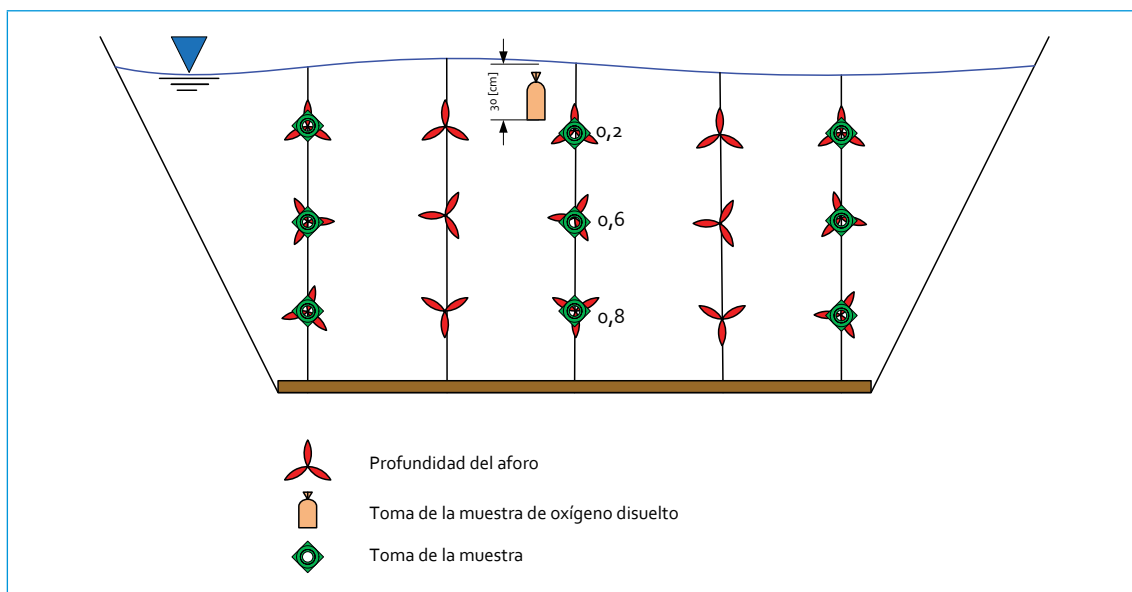


FIGURA 1.2. Esquema de toma de muestra y medición de velocidad puntual

dio de estos dos valores se asumió como la velocidad media en la vertical. Este método fue utilizado en secciones del río donde la profundidad fue superior a 1 m.

En los dos métodos se tuvo precaución de que el aparato quedara sumergido por completo y se evitó la resuspensión del sedimento.

Para obtener muestras representativas del agua del río para la lectura de los parámetros *in situ*, se utilizó una botella muestreadora (Universidad Nacional de Colombia y Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena [Unal y Cormagdalena], 2007; Unal y EAAB, 2009) o un balde plástico, dependiendo de la profundidad del río observada (figura 1.3). Las muestras se tomaron en tres verticales a lo largo de la sección transversal del respectivo punto de monitoreo. Posteriormente, las muestras fueron integradas y bien mezcladas para obtener una correcta y confiable medición de la conductividad, pH y temperatura *in situ*. Los valores reportados por cada equipo de medición se consignaron en formatos previamente diseñados para tal fin, con espacios para las anotaciones de variables ambientales, climatológicas y particularidades

relevantes que se presentaron en el transcurrir de la campaña de monitoreo.

1.2.3. Toma de muestras

Las muestras puntuales se refrigeraron para su preservación hasta el final del monitoreo. Transcurrido el período de monitoreo, las muestras integradas se mezclaron en 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 para los análisis de laboratorio respectivos. Al momento de tomar las muestras 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.

La caracterización de las muestras de agua varió según el tipo de análisis deseado. Se hicieron diez caracterizaciones fisicoquímicas de tipo 1 para cada punto de la RCHB, mientras que del tipo 2 se llevaron a cabo cinco caracte-

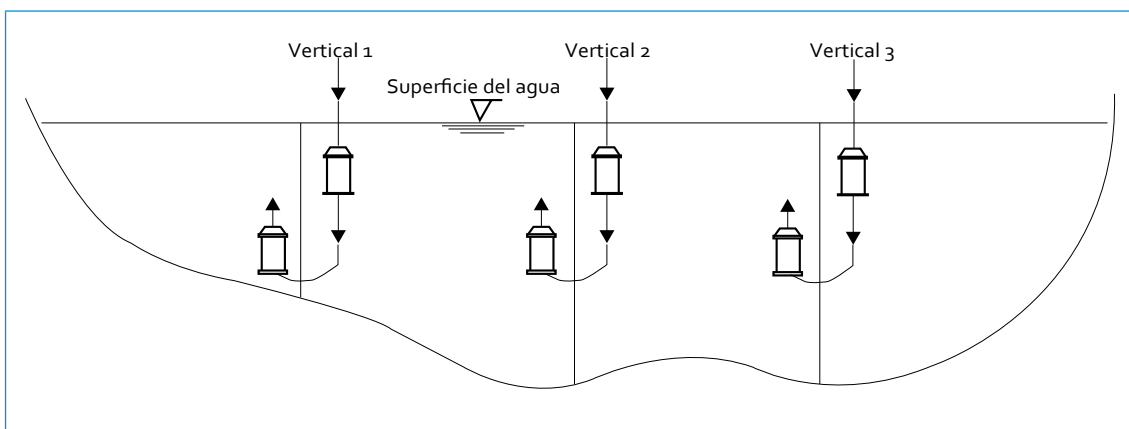


FIGURA 1.3. Esquema de toma de muestra con botella muestreadora

rizaciones por punto. A continuación se listan los determinantes de calidad del agua que se midieron en las muestras compuestas para los dos diferentes tipos de caracterizaciones.

Parámetros de calidad medidos en las campañas de monitoreo tipo 1:

- Coliformes fecales
- Coliformes totales
- DBO₅
- DQO
- Fósforo
- Grasas y aceites
- Nitrógeno total (NTK+NO₃+NO₂)
- Oxígeno disuelto y pH
- SAAM
- SST
- Temperatura y condiciones

Parámetros de calidad medidos en las campañas de monitoreo tipo 2:

- Alcalinidad
- Arsénico
- Bario

- Cadmio
- Cianuro
- Cinc
- Cobre
- Coliformes fecales
- Coliformes totales
- Conductividad
- Cromo
- DBO₅
- DQO
- Dureza
- Fenoles
- Fósforo
- Grasas y aceites
- Manganeso
- Mercurio
- Níquel
- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno total (NTK+NO₃+NO₂)
- Oxígeno disuelto y pH
- Plomo
- SAAM
- SST
- Sulfuros
- Temperatura

2. RÍO TORCA

2.1. Resultados del monitoreo físicoquímico

Las concentraciones de los contaminantes evaluados varían notablemente entre los puntos de monitoreo del río Torca, lo cual demuestra que los vertimientos de aguas residuales generan un impacto negativo sobre la calidad del agua. Es importante resaltar que en el río Torca, a partir del segundo semestre del 2010, se replantearon los emplazamientos de los puntos de monitoreo, con el fin de generar información de la calidad del agua que evidenciara los puntos más críticos de contaminación. Durante los periodos 2006-2007 y 2009-2010, el río contó con tres puntos de monitoreo (Canal El Cedro, Makro y Club Guaymaral); luego del replanteamiento de los puntos, se amplió la cobertura para tener un total de cuatro puntos (Bosque de Pinos, Calle 161, Jardines de Paz y San Simón).

Es importante mencionar que estos cambios dificultan la comparación debido a la distancia entre ellos y las descargas que se reciben aguas arriba. Los únicos puntos que pueden ser comparables en el tiempo son Club Guayma-

ral y San Simón, pues aunque se encuentren aproximadamente a 3 km de distancia, no existen cambios hidráulicos importantes o aportes que alteren la calidad de un punto a otro.

En este capítulo se presenta un análisis de la evolución de los parámetros de calidad a lo largo del tiempo. La nomenclatura en las figuras de cada parámetro se detalla en la tabla 2.1.

La mayor variación de las concentraciones contaminantes en los últimos años se presentó entre Bosque de Pinos y Calle 161, lo cual lleva a determinar que se trata de un tramo de alto impacto en la calidad natural del río. Por el contrario, entre Calle 161 y Jardines de Paz la mayoría de parámetros se mantienen constantes; esto indica que las condiciones de contaminación son similares. Por último, en el tramo entre Jardines de Paz y San Simón se observan disminuciones en las concentraciones, especialmente en coliformes. Este comportamiento muestra que entre estos dos puntos de monitoreo hay un factor que mejora de cierta manera la calidad del agua en el río, lo cual puede estar ligado a dilución, la depuración por parte del humedal o el efecto del buchón.

TABLA 2.1. Nomenclatura: río Torca

Nomenclatura	Nombre del punto	Nomenclatura	Período
TO-1'	Canal El Cedro	H	Históricos: 2006-2007
TO-1	Bosque de Pinos	F1	Fase 1: 2009-2010
TO-2	Calle 161	F2	Fase 2: 2010-2011
TO-3'	Makro 183	F3	Fase 3: 2011-2012
TO-3	Jardines de Paz		
TO-4'	Club Guaymaral		
TO-4	San Simón		

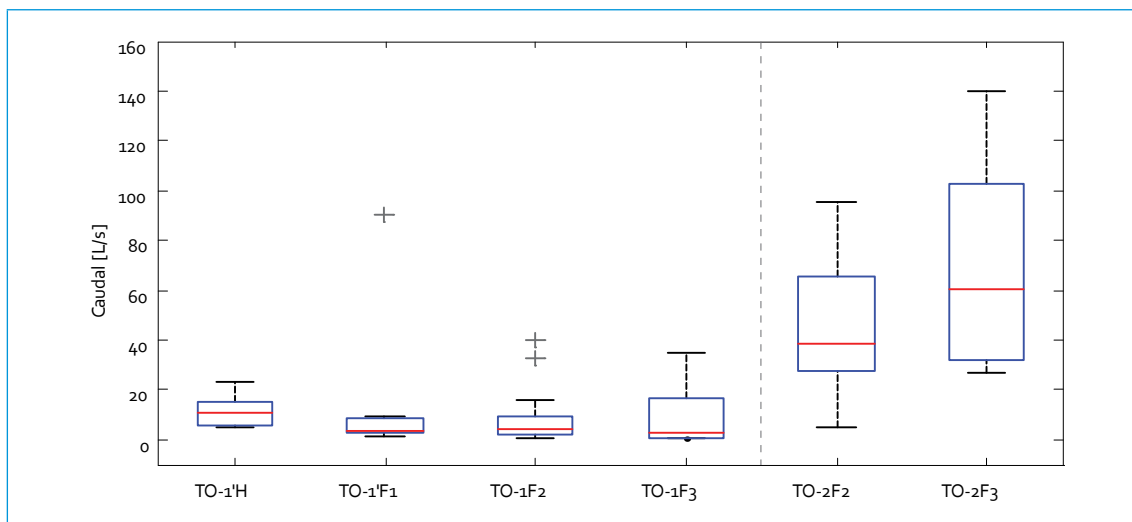
2.1.1. Validación de datos: diagramas de cajas

2.1.1.1. Caudal

El caudal del río Torca muestra un aumento a lo largo de su recorrido por la ciudad (figura 2.1). A partir de los resultados se observaron bajos caudales en la cuenca alta del río y un cambio drástico de caudales desde el segundo punto (TO-2, Calle 161), donde se recibe la mayoría

de vertimientos de aguas residuales. Como se puede observar, los caudales en Bosque de Pinos y Canal El Cedro fueron los menores registrados en el río Torca. En los puntos Calle 161 y San Simón los rangos de variación de los caudales fueron los más altos.

Dado que cada periodo de monitoreo tuvo una condición hidrológica muy particular, en términos generales se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:



Continúa

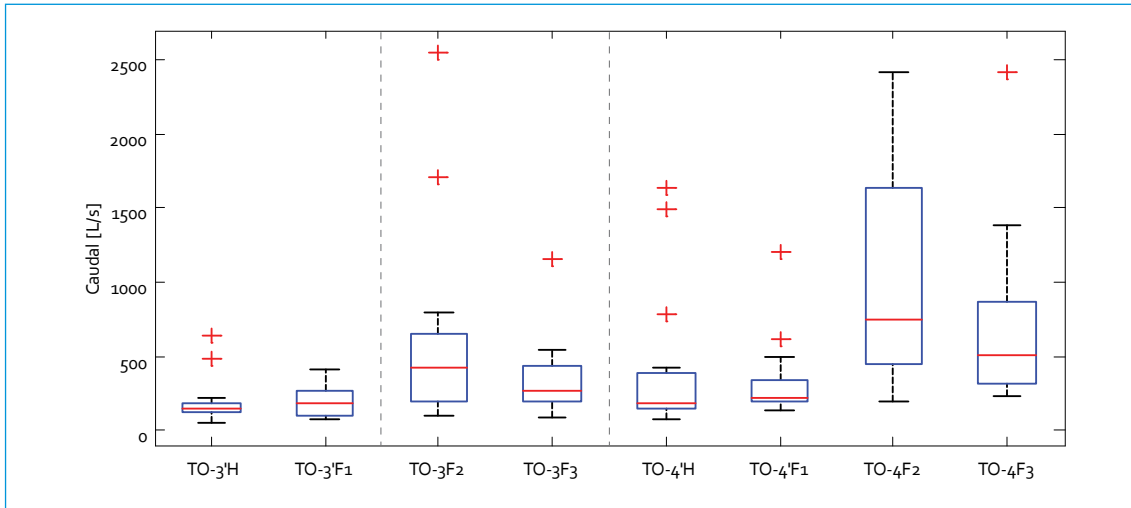


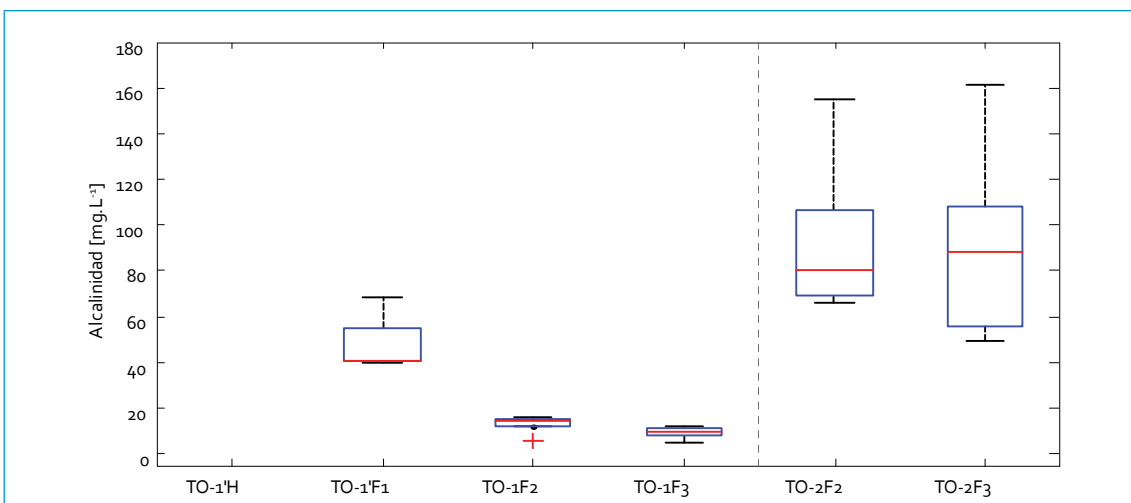
FIGURA 2.1. Perfil del caudal: río Torca

- Disminuciones en caudal: Bosque de Pinos (77% F3 vs. H*) y Jardines de Paz (37% F3 vs. F2).
- Aumentos en caudal: Calle 161 (36% F3 vs. F2) y San Simón (65% F3 vs. H*).

A partir de estos comportamientos se puede inferir que la temporada más seca de monitoreo para el último punto de monitoreo fueron los históricos (2006-2007) y la fase 1 (2009-2010).

2.1.1.2. Alcalinidad

En el primer punto (TO-1), la alcalinidad fue la más baja del río y, a la vez, fue poco variable. El cambio más importante de las concentraciones se presentó entre Bosque de Pinos y Calle 161. En Jardines de Paz la alcalinidad aumentó relativamente poco en referencia al punto anterior. Finalmente, en San Simón el comportamiento de la alcalinidad tendió a ser constante en referencia a Jardines de Paz (figura 2.2).



Continúa

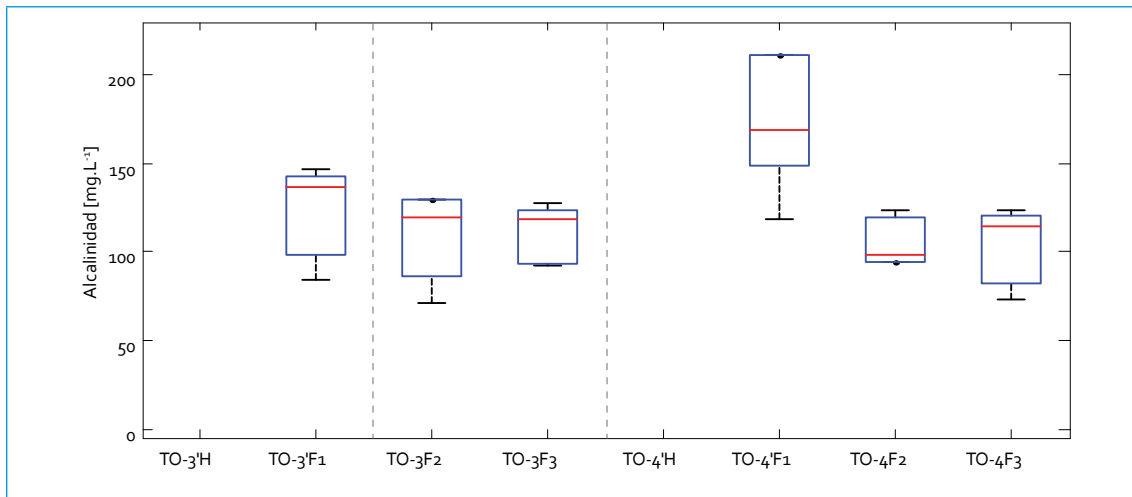


FIGURA 2.2. Perfil de alcalinidad: río Torca

En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

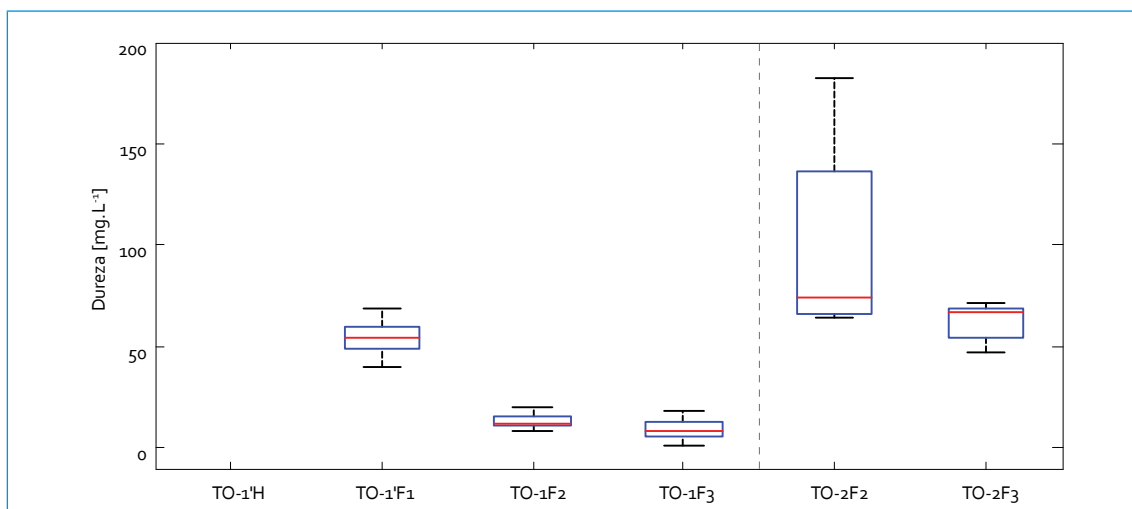
- Constantes: Calle 161 y Jardines de Paz.
- Aumentos: Bosque de Pinos (76% F₃ vs. F₁*) y San Simón (32% F₃ vs. F₁*).

A partir de estos comportamientos se puede inferir que la alcalinidad fue mucho menor en los nuevos puntos de monitoreo (Bosque de Pinos y San Simón) que en los anteriores (Canal El Cedro y Club Guaymaral). En los monitoreos

de la fase 2 (2010-2011) y de la fase 3 (2011-2012), las alcalinidades en la parte media del río se han mantenido constantes.

2.1.1.3. Dureza

La dureza en el río Torca muestra, primero, un aumento entre los dos primeros puntos del río y, luego, un comportamiento relativamente constante aguas abajo (figura 2.3). En el punto Bosque de Pinos se registraron las menores concentraciones de dureza, con poca dispersión de los datos. En términos generales, se



Continúa

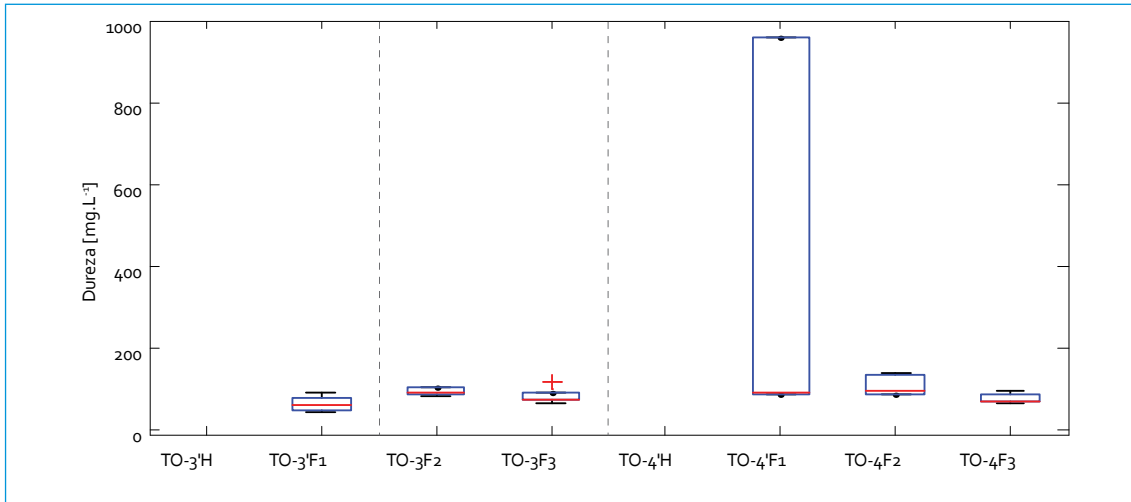


FIGURA 2.3. Perfil de dureza: río Torca

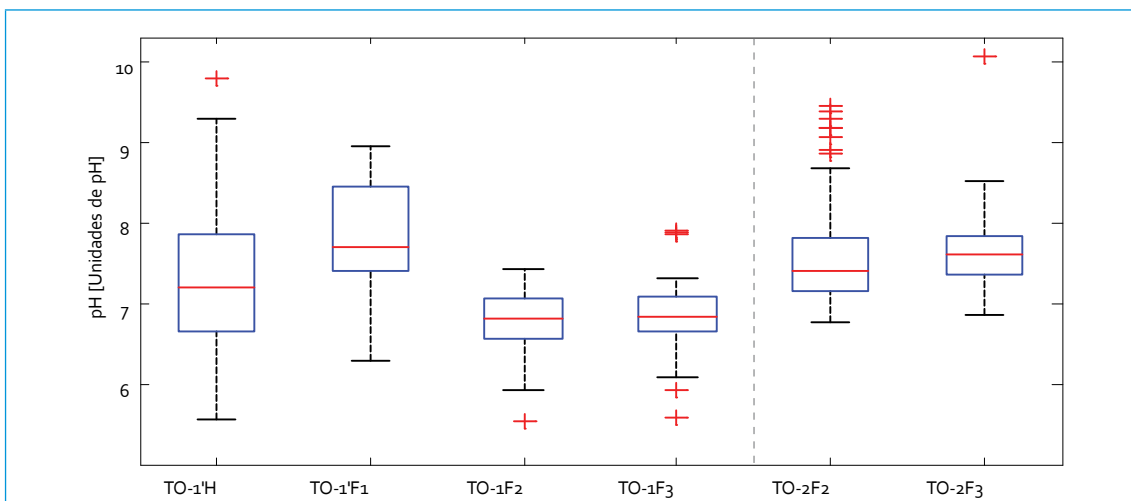
notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Calle 161, Jardines de Paz y San Simón.
- Aumentos: Bosque de Pinos (84% F3 vs. F1*).

La diferencia entre Bosque de Pinos y Canal El Cedro demuestra que los aportes de aguas residuales en el primer sector aumentan la dureza en el río.

2.1.1.4. pH

En la figura 2.4 se presenta el comportamiento del pH, cuyo promedio de los valores es relativamente neutro para todos los puntos de monitoreo. Sin embargo, se aprecia que los valores más bajos los tiene el primer punto (TO-1); a partir de Calle 161, las unidades de pH disminuyen a lo largo del río, sin marcar cambios drásticos. En términos generales, se notó un comportamiento constante a lo largo del tiempo, con pequeñas variaciones que no



Continúa

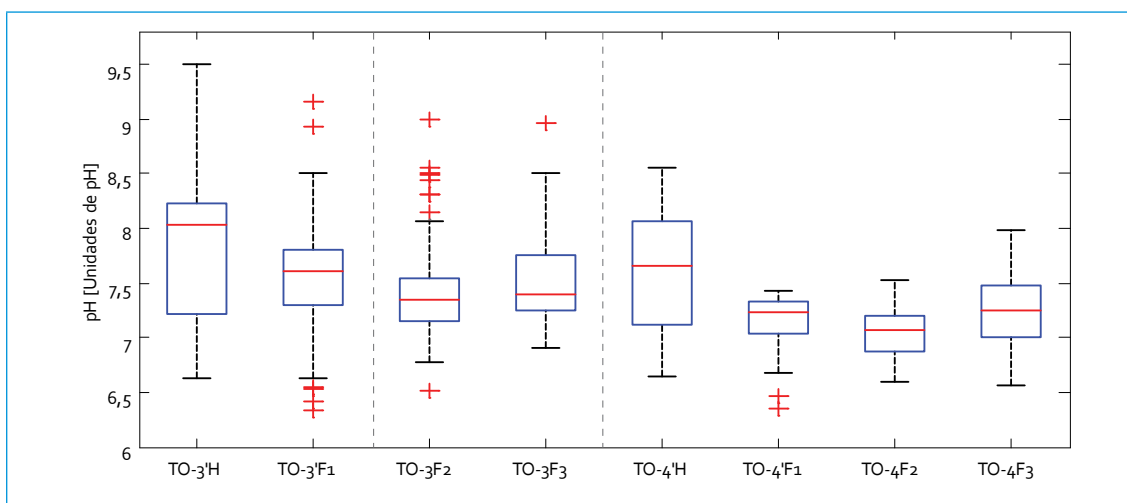


FIGURA 2.4. Perfil de pH: río Torca

son verdaderamente significativas. Se nota que los valores de pH de las fases 2 y 3 en Bosque de Pinos son diferentes a los de la fase 1 en Canal El Cedro, lo cual muestra que las condiciones de pH en Canal El Cedro se asemejan más a las de Calle 161 —punto afectado por las descargas de aguas residuales—, que a las de Bosque de Pinos —punto que no tiene afectación por actividades antropogénicas—.

2.1.1.5. Conductividad

El comportamiento de la conductividad del río Torca se presenta en la figura 2.5, donde se ve que las menores conductividades se encuentran en Bosque de Pinos, con poca variabilidad en los datos. A lo largo del río los valores aumentan, aunque en San Simón se percibe una tendencia de disminución. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Calle 161, Jardines de Paz y San Simón.
- Aumentos: Bosque de Pinos (83% F3 vs. F1*).

La diferencia entre Bosque de Pinos y Canal El Cedro muestra que los aportes de aguas residuales en el primer sector del río aumentan también la conductividad del río.

2.1.1.6. Oxígeno disuelto

A partir de los datos (figura 2.6), se pudo observar que las concentraciones disminuyeron desde el punto más alto del río, Bosque de Pinos, hasta San Simón. El punto con mejores concentraciones de oxígeno disuelto fue Bosque de Pinos, con una muy buena calidad. También se pudo apreciar que entre Jardines de Paz y San Simón las concentraciones de oxígeno se mantuvieron similares, aunque en San Simón no se presentaron valores tan altos como en Jardines de Paz. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Jardines de Paz y San Simón (excepto en la fase 1, en la cual las concentraciones de oxígeno disuelto tendieron a aumentar).
- Disminuciones: Calle 161 (56% F3 vs. F2).

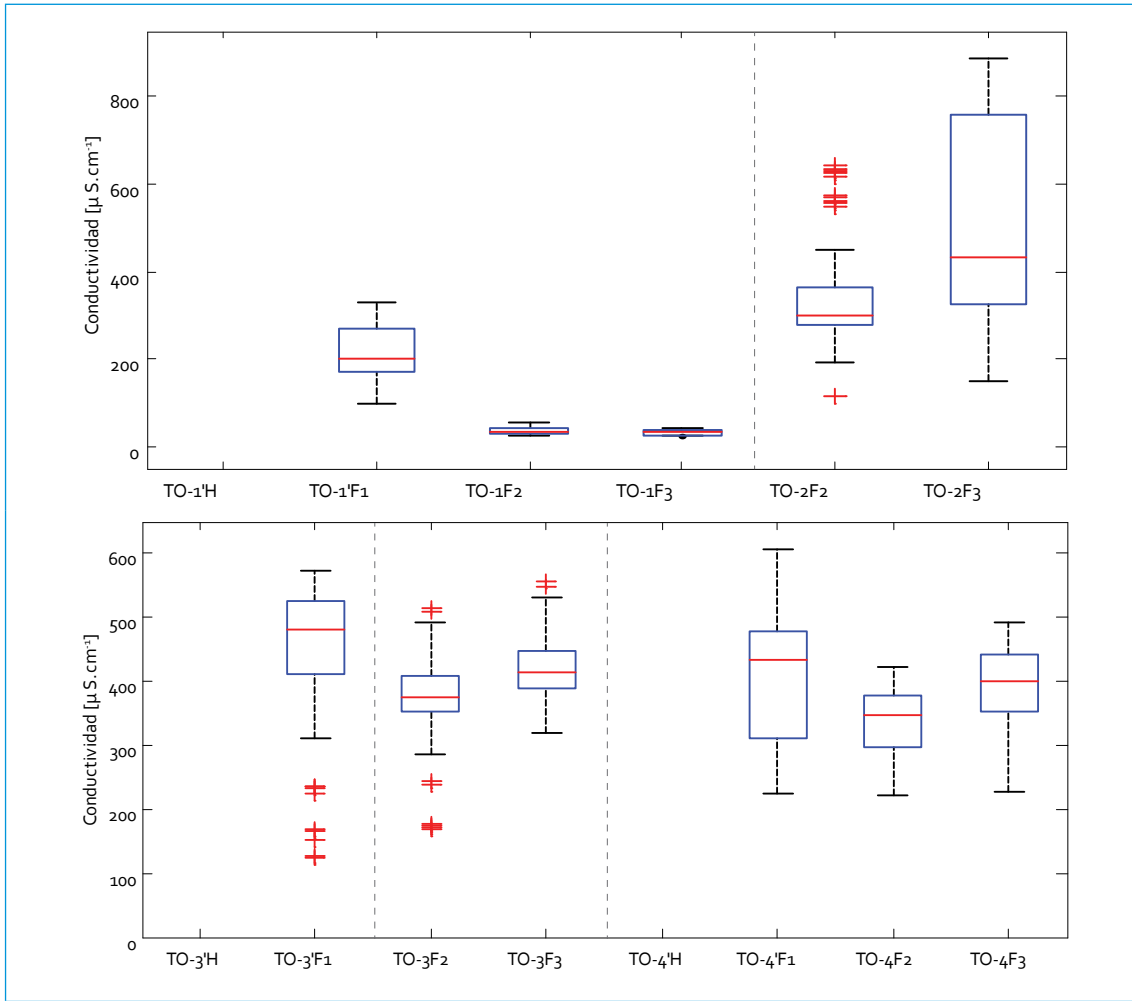
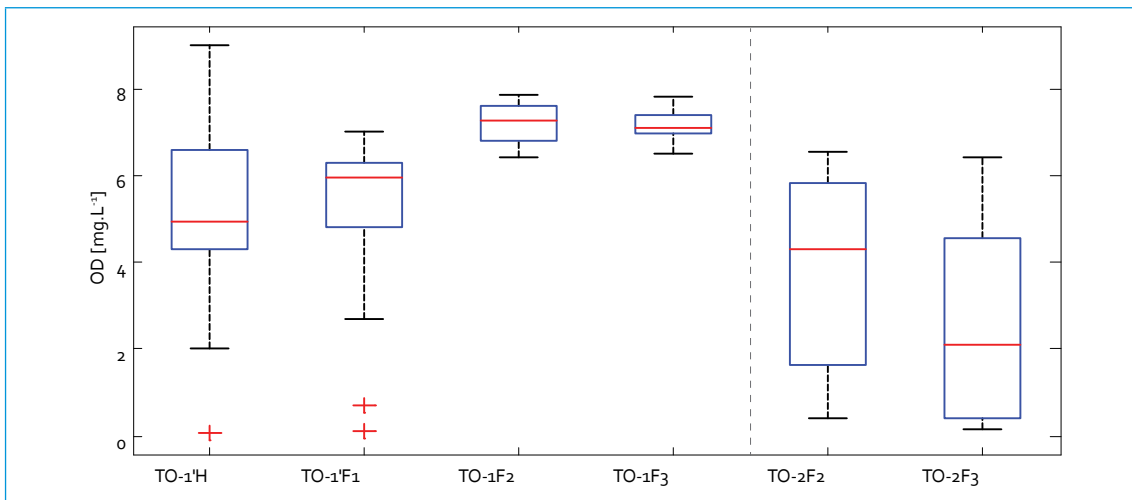


FIGURA 2.5. Perfil de conductividad: río Torca



Continúa

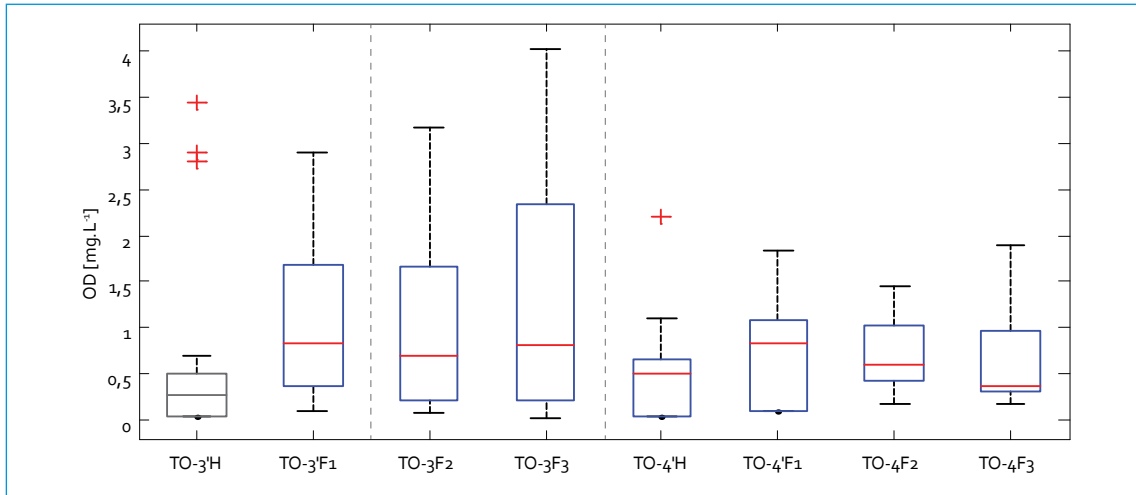


FIGURA 2.6. Perfil de oxígeno disuelto: río Torca

- Aumentos: Bosque de Pinos (30% F3 vs. F1*).

Este comportamiento permite ver un alto consumo de oxígeno disuelto en este primer sector del río, producto de la degradación de la materia orgánica aportada en las descargas de aguas residuales.

2.1.1.7. DBO_5

La DBO_5 en el río Torca muestra que las mayores concentraciones se presentaron en Calle 161, y las menores, en Bosque de Pinos (figura 2.7), lo que es coherente con el comportamiento del oxígeno disuelto en el río. En el punto Calle 161, las concentraciones de DBO_5 aumentaron notablemente respecto al punto anterior. En Jardines de Paz, la DBO_5 tendió a ser constante, luego se notó una disminución aguas abajo relacionada con una depuración en el humedal y el efecto del buchón. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Disminuciones: Bosque de Pinos (80% F3 vs. H*) y San Simón (70% F3 vs. H*).
- Aumentos: Calle 161 (62% F3 vs. F2) y Jardines de Paz (52% F3 vs. F2).

Aunque los puntos de monitoreo en el río Torca cambiaron a lo largo del tiempo, las condiciones mejoraron; es decir, Bosque de Pinos fue un mejor referente de calidad y en San Simón la DBO_5 disminuyó en las últimas dos fases.

2.1.1.8. DQO

La figura 2.8 presenta el comportamiento de las concentraciones de DQO del río Torca. Se apreció un aumento importante de las concentraciones a lo largo del río, aunque entre Calle 161 y San Simón las concentraciones tendieron a disminuir, al igual que para la DBO_5 . En el primer punto, Bosque de Pinos, se encontraron las concentraciones más bajas de DQO en el río. En Jardines de Paz, las concentraciones tendieron a mantenerse constantes respecto

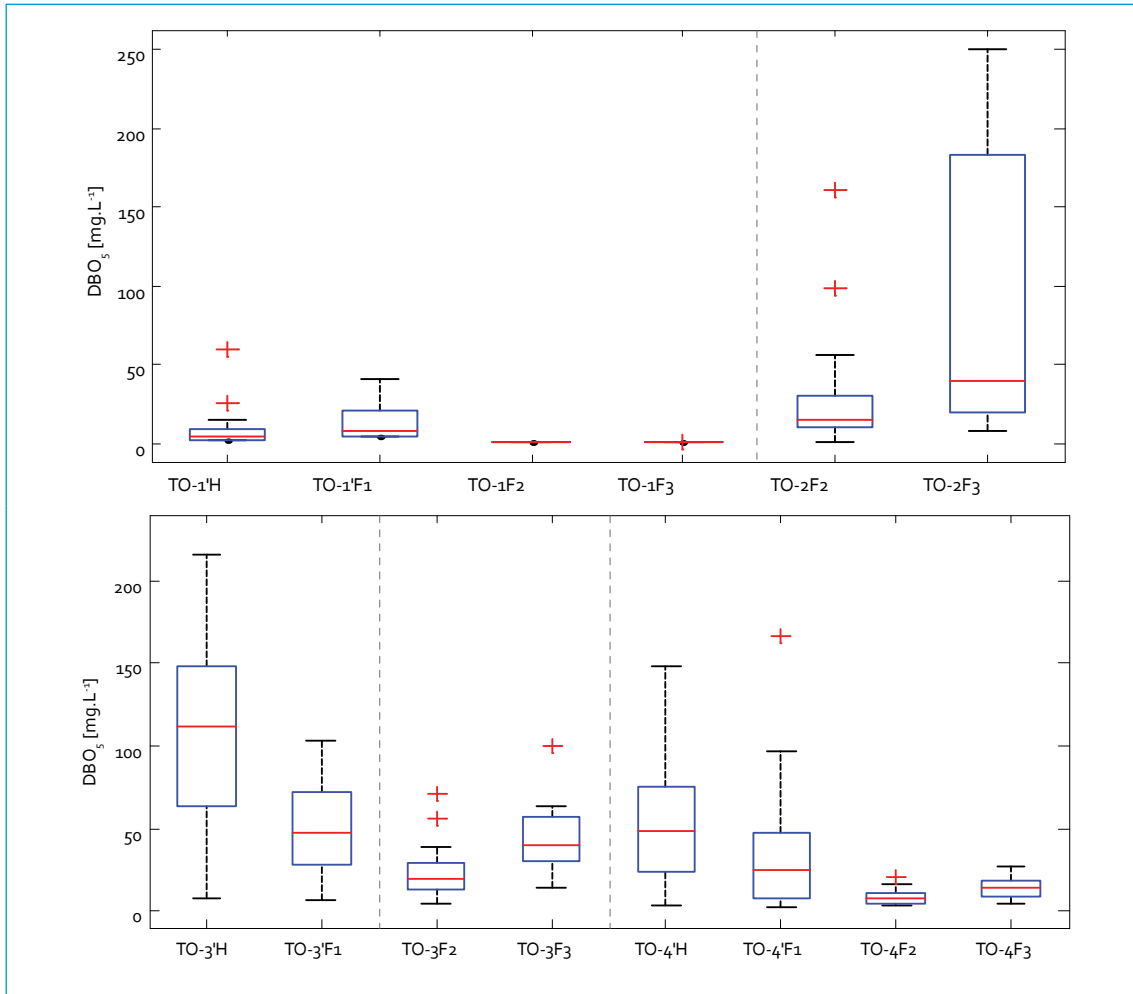
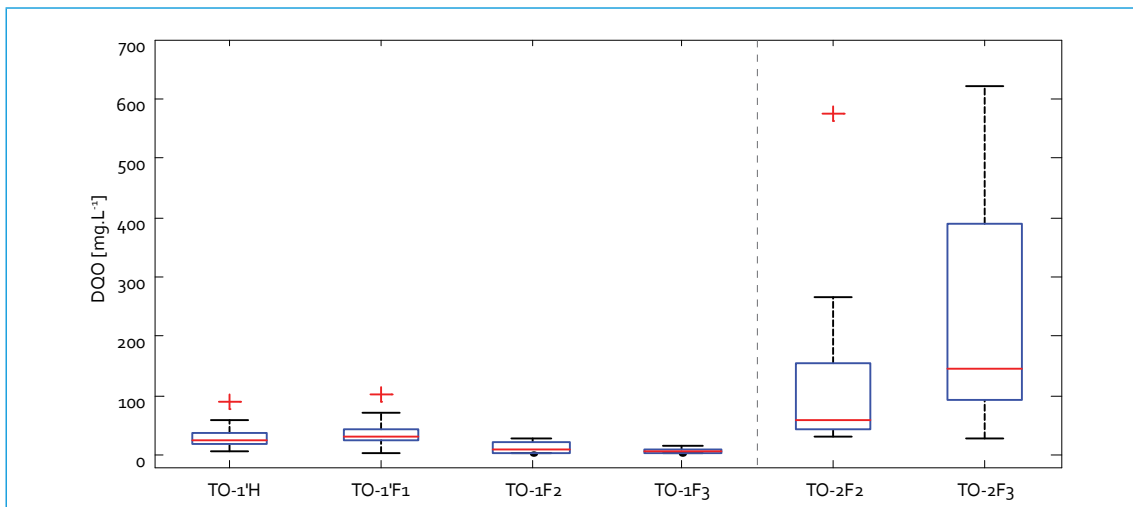


FIGURA 2.7. Perfil de DBO₅: río Torca



Continúa

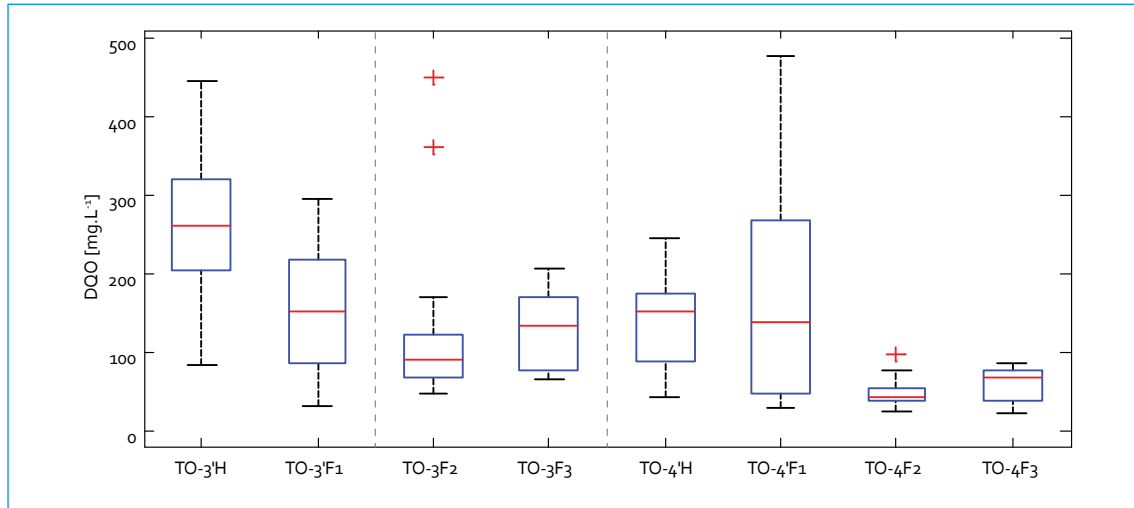


FIGURA 2.8. Perfil de DQO: río Torca

a Calle 161, aunque el rango de variación fue menos amplio. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Disminuciones: Bosque de Pinos (75% F₃ vs. H*) y San Simón (56% F₃ vs. H*).
- Aumentos: Calle 161 (60% F₃ vs. F₂) y Jardines de Paz (32% F₃ vs. F₂).

En general se pudo observar que la calidad con respecto a la DQO es mucho mejor en Bosque de Pinos que en el antiguo punto (Canal El Cedro); adicionalmente se notó un decrecimiento en las concentraciones en Jardines de Paz y San Simón, tal como ocurrió para la DBO₅, lo cual muestra mejoría en la calidad.

2.1.1.9. SST

Los SST en el río Torca aumentaron entre los primeros puntos del río y disminuyeron a partir de Jardines de Paz. En Calle 161 se presentaron las mayores concentraciones y las más variables (figura 2.9). Al igual que la mayoría de contami-

nantes, en Bosque de Pinos se observaron las más bajas concentraciones de SST. El aumento entre Bosque de Pinos y Calle 161, refleja el impacto de las primeras descargas al río. Los datos de SST del punto San Simón fueron menos dispersos y disminuyeron en referencia al punto previo (Jardines de Paz), lo cual es resultado del tránsito del río por el humedal. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Jardines de Paz y San Simón (excepto en la fase 1, en la cual los sólidos tendieron a ser más altos).
- Disminuciones: Bosque de Pinos (33% F₃ vs. H*).
- Aumentos: Calle 161 (61% F₃ vs. F₂).

Se pudo observar que la calidad con respecto a los SST también fue mejor en Bosque de Pinos que en el antiguo punto (Canal El Cedro); sin embargo, la diferencia entre los dos puntos no fue tan notable como para la materia orgánica. Los sólidos de la fase 1 en el punto San Simón reflejan el impacto que generaba el buchón en la toma de muestra: potenció la

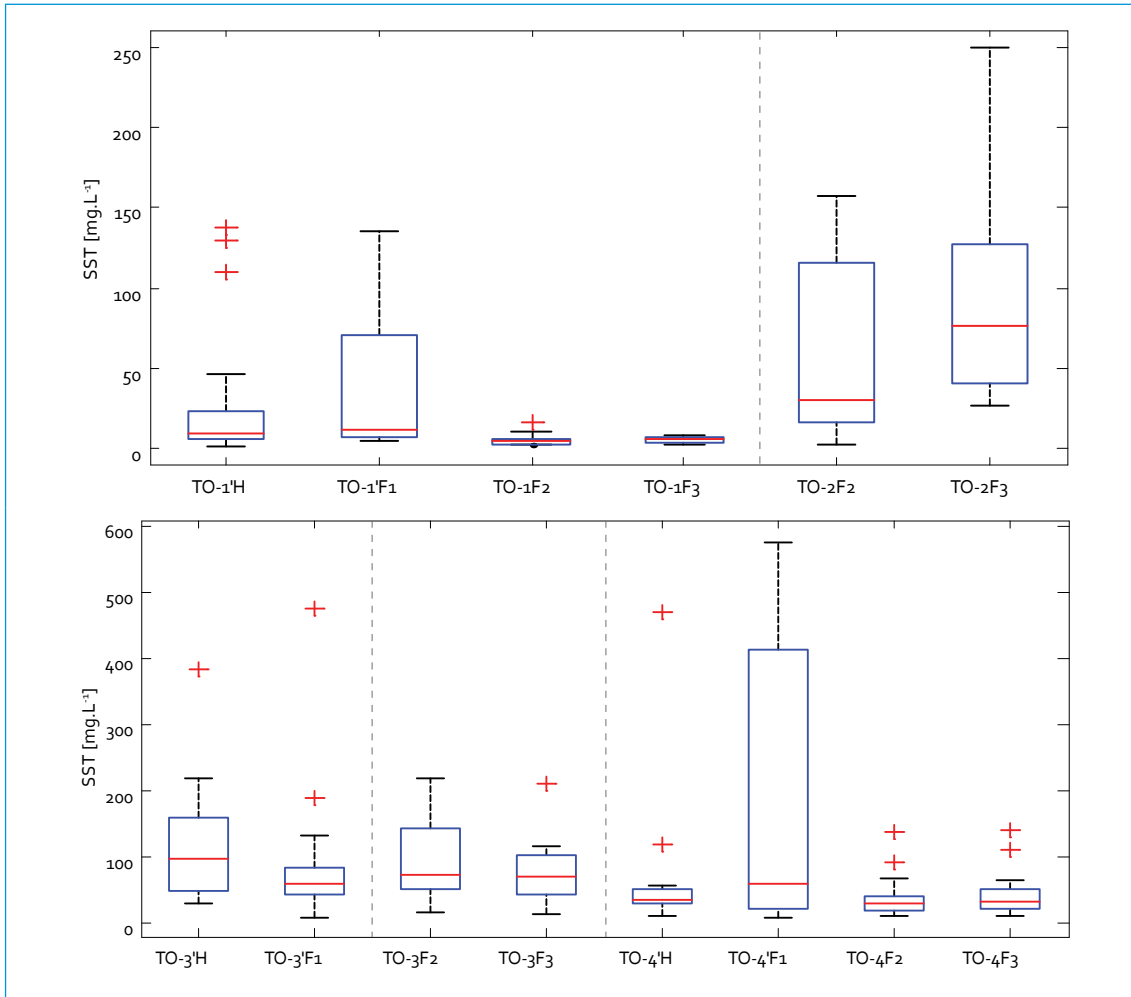


FIGURA 2.9. Perfil de SST: río Torca

resuspensión e incrementó las concentraciones de SST.

2.1.1.10. Nitrógeno

Las concentraciones de todas las especies nitrogenadas aumentaron considerablemente entre el primer y el segundo punto de monitoreo del río Torca (figuras 2.10-2.14), lo cual se debe, principalmente, a las descargas de agua residual doméstica y a las concentraciones de oxígeno en estos puntos. El proceso de nitrificación necesita no solo una cantidad determinada de nitrógeno, sino también que

exista oxígeno disuelto en el río; por esta razón, en Bosque de Pinos las concentraciones de nitritos y nitratos fueron bajas, ya que el proceso de nitrificación está limitado por la baja cantidad de nitrógeno. Sin embargo, en Calle 161 se da un aporte importante de nitrógeno amoniacal y como se presentan aún concentraciones de oxígeno disuelto, las condiciones fueron propicias para una nitrificación y, como consecuencia, un aumento de los nitritos y nitratos en el río.

En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos de $N_{\text{amoniacal}}$ a lo largo del tiempo:

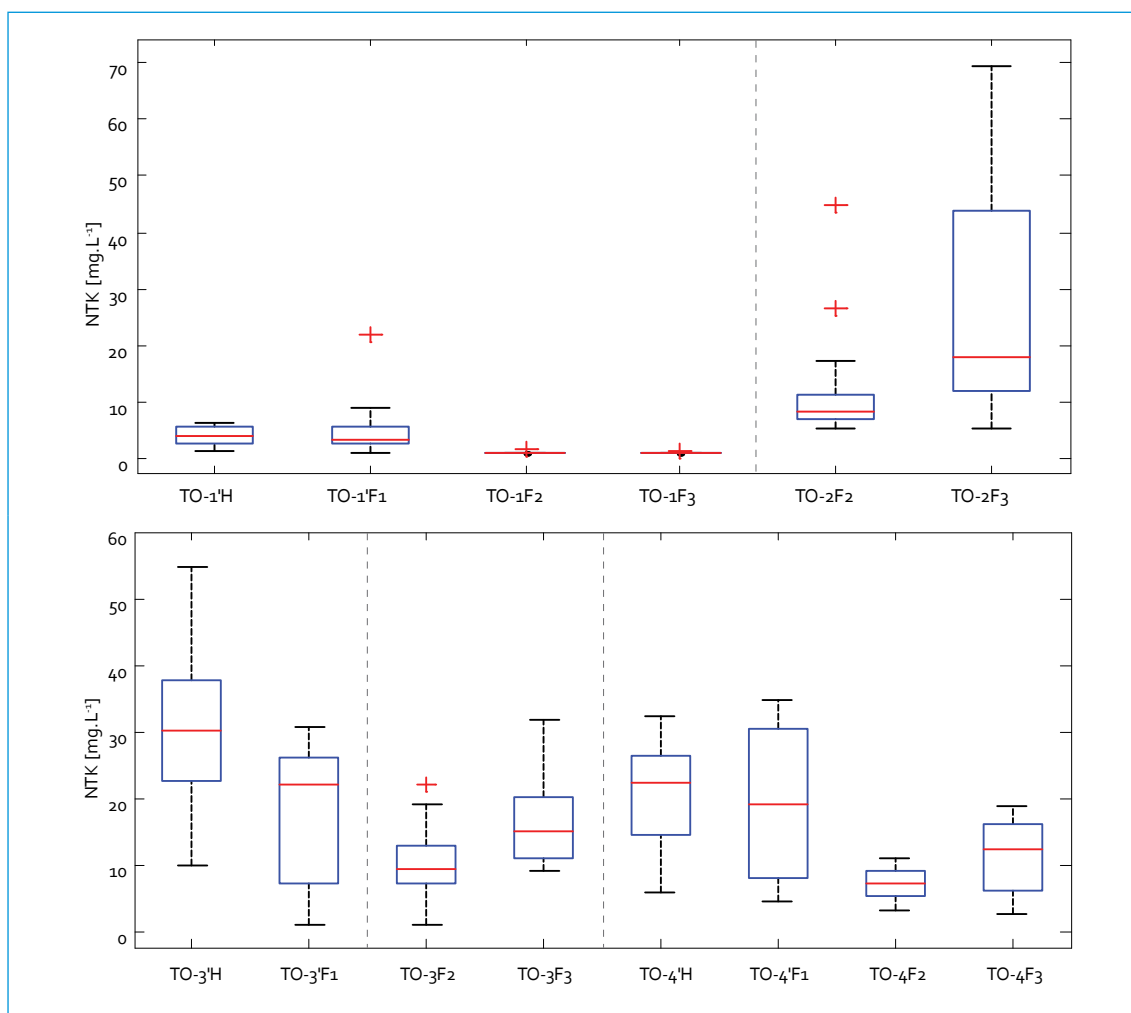
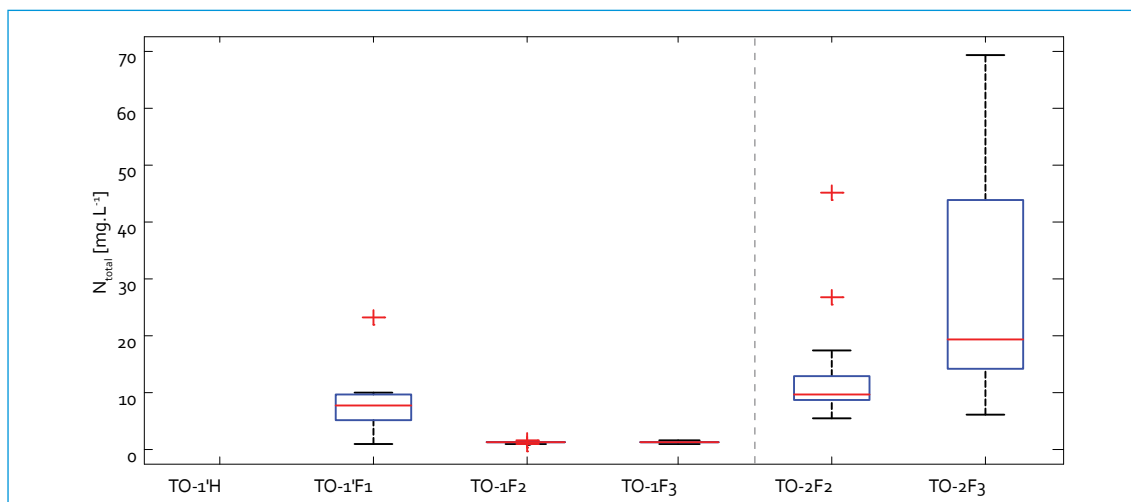


FIGURA 2.10. Perfil de NTK: río Torca



Continúa

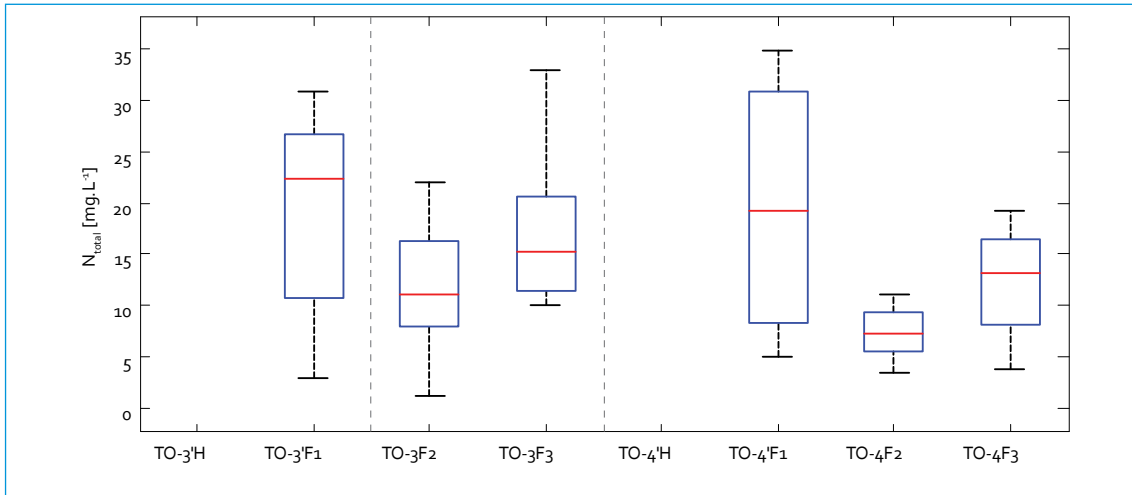


FIGURA 2.11. Perfil de N_{total} : río Torca

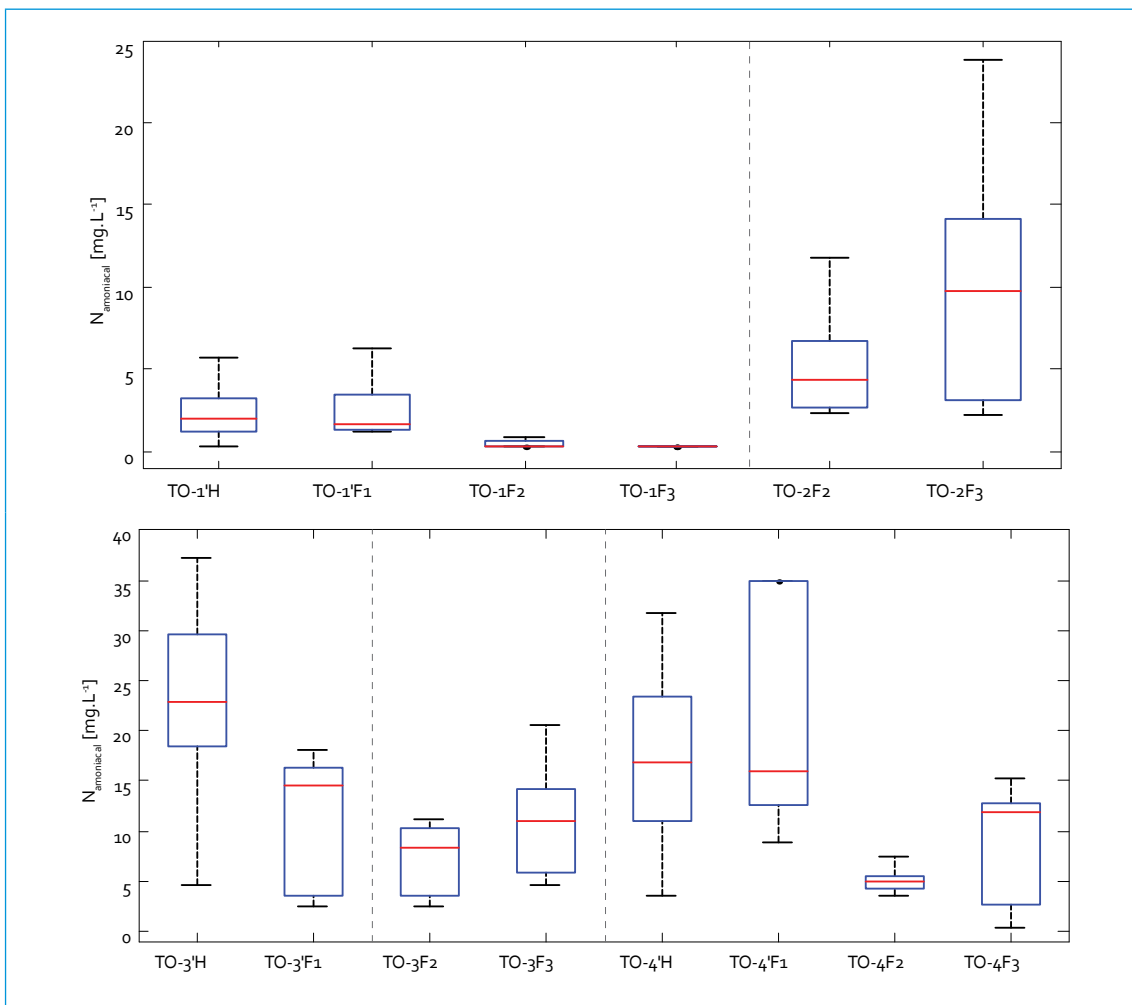


FIGURA 2.12. Perfil de $N_{amoniacal}$: río Torca

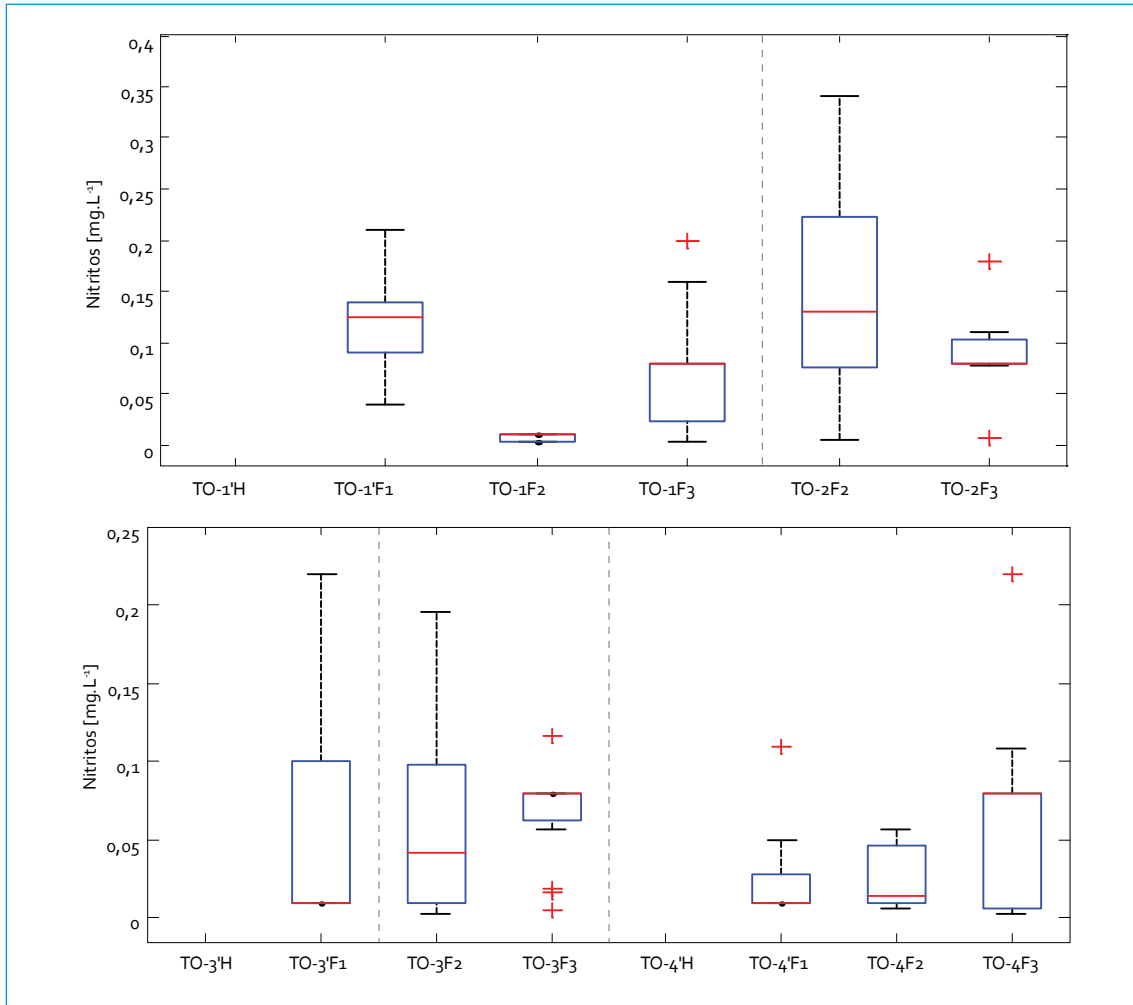
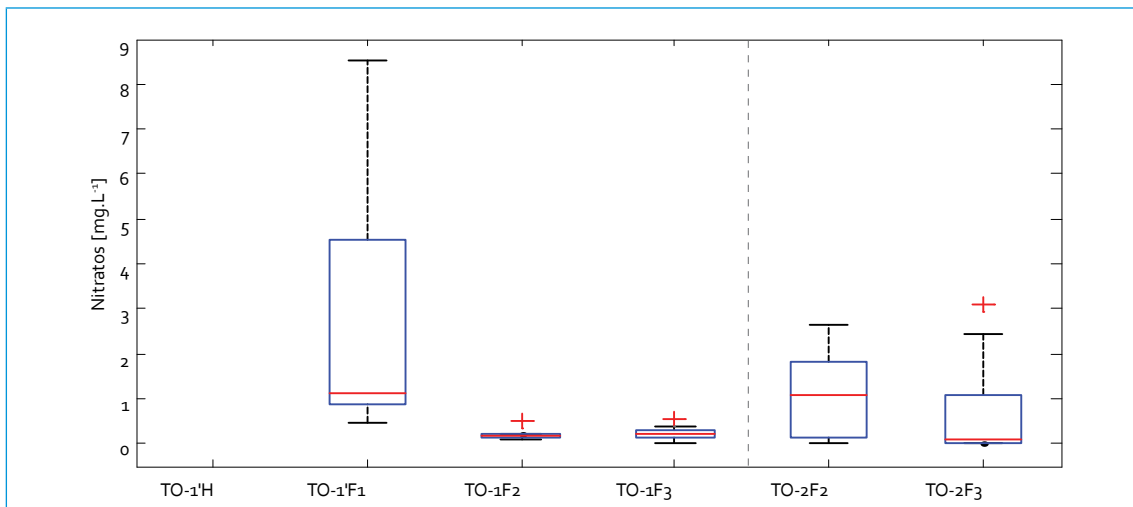


FIGURA 2.13. Perfil de nitritos: río Torca



Continúa

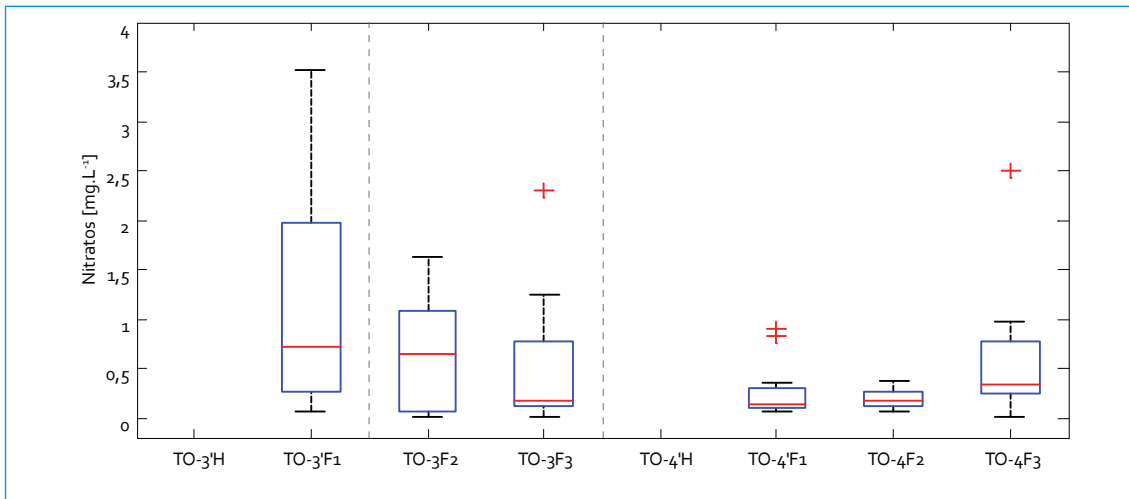


FIGURA 2.14. Perfil de nitratos: río Torca

- Constantes: Jardines de Paz y San Simón (excepto en la fase 2, en la cual el N_{amoniaco} tendió a disminuir).
- Disminuciones: Bosque de Pinos (85% F₃ vs. H*).
- Aumentos: Calle 161 (56% F₃ vs. F₂).

En el caso de nitritos y nitratos, a lo largo del tiempo se observaron estos comportamientos:

- Disminuciones: Bosque de Pinos (entre el 36% y 80% F₃ vs. F₁*) y Calle 161 (entre 38% y 90% F₃ vs. F₂).
- Aumentos: San Simón (entre 62% y 88% F₃ vs. F₁*).

En Jardines de Paz los nitritos y nitratos se comportaron de manera diferente: en un caso aumentaron y en el otro disminuyeron.

2.1.1.11. Fósforo

A partir de la figura 2.15 se puede observar que las concentraciones de fósforo a lo largo del río

no tienen variaciones significativas, aunque en los últimos años, como en la mayoría de parámetros, en Calle 161 se presentaron los valores más elevados del río. En Bosque de Pinos se encontraron las concentraciones más bajas de fósforo del río Torca. En el último punto de monitoreo del río, San Simón, las concentraciones de fósforo se mantuvieron constantes respecto al punto anterior, lo cual denota un comportamiento diferente a los parámetros ya analizados. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Bosque de Pinos.
- Disminuciones: San Simón (64% F₃ vs. H*).
- Aumentos: Calle 161 (53% F₃ vs. F₂) y Jardines de Paz (32% F₃ vs. F₂).

A diferencia de los demás parámetros, las condiciones de calidad en términos de fósforo son similares en Bosque de Pinos y en el antiguo punto (Canal El Cedro). Al igual que la materia orgánica, el fósforo disminuyó de manera

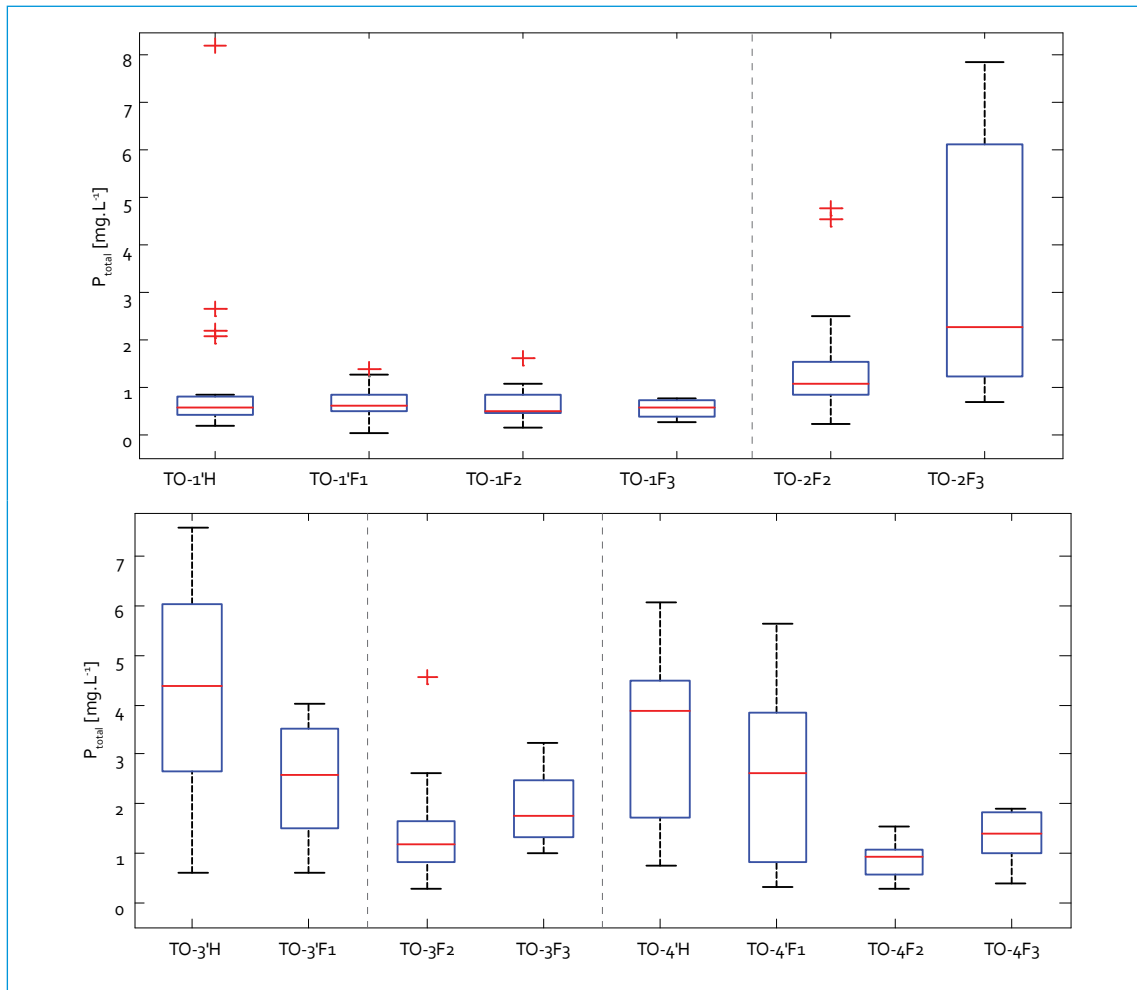


FIGURA 2.15. Perfil de P_{total} : río Torca

notable en San Simón desde los monitoreos históricos y la fase 1, lo cual muestra una mejora en la calidad.

2.1.1.12. Grasas y aceites

En el primer punto de monitoreo, muchos de los resultados fueron inferiores al límite de detección, por lo que aparecen cercanos a 3,6 mg/L (para los monitoreos de las fases 1, 2 y 3) o 10 mg/L (para los monitoreos históricos). Así como la mayoría de los parámetros, desde Jardines de Paz las grasas y aceites disminuyeron aguas abajo, resultado de la retención

de las grasas en la zona de buchón previa al punto de monitoreo (figura 2.16). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Bosque de Pinos.
- Disminuciones: San Simón (57% F3 vs. H*).
- Aumentos: Calle 161 (50% F3 vs. F2) y Jardines de Paz (40% F3 vs. F2).

Así como el fósforo, las concentraciones de grasas y aceites son similares en Bosque de Pinos y el antiguo punto (Canal El Cedro).

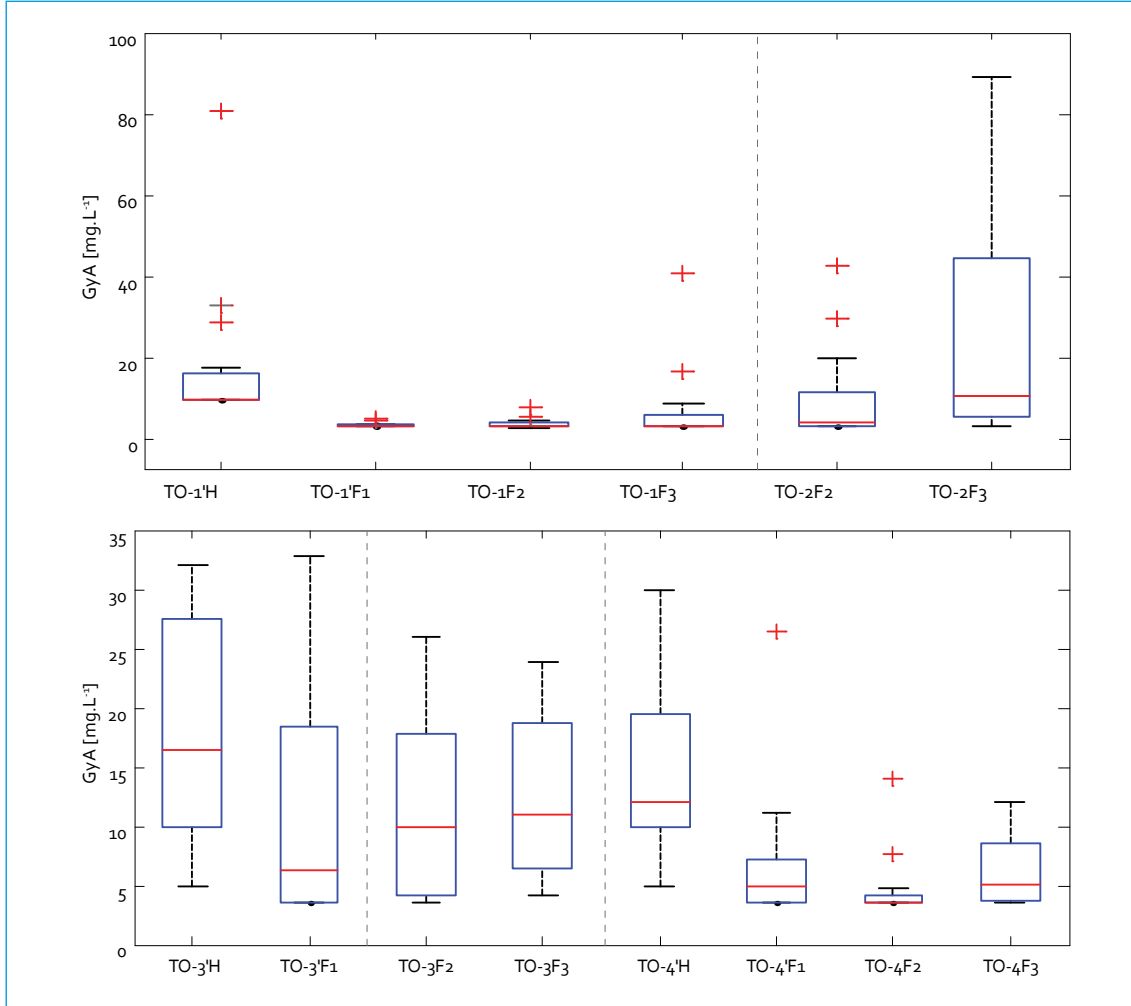


FIGURA 2.16. Perfil de grasas y aceites: río Torca

Al igual que la materia orgánica y los sólidos, las grasas y aceites disminuyeron en San Simón desde los monitoreos históricos y la fase 1, lo cual muestra una mejora en la calidad.

2.1.1.13. SAAM

Se puede observar el aumento de las concentraciones de SAAM entre el primer y segundo punto de monitoreo, y la disminución que se presentó entre Jardines de Paz y San Simón (figura 2.17). El punto Bosque de Pinos presentó las concentraciones más bajas de SAAM en el

río Torca. Por su parte, las concentraciones de SAAM disminuyeron aguas abajo: en San Simón la mediana se redujo en casi 40%; además, en este punto las concentraciones fueron más homogéneas. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: San Simón y Calle 161.
- Disminuciones: Bosque de Pinos (85% F₃ vs. H*).
- Aumentos: Jardines de Paz (35% F₃ vs. F₂).

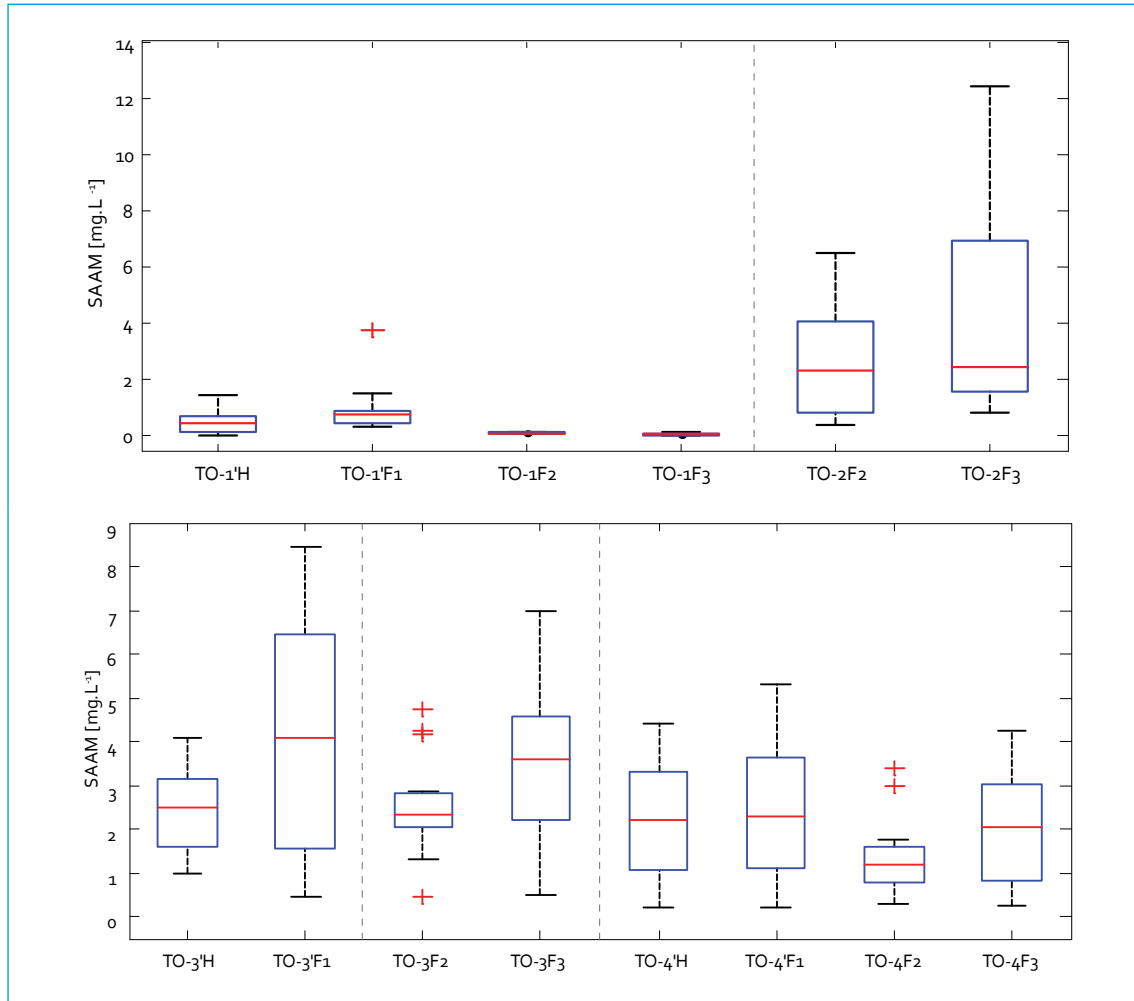


FIGURA 2.17. Perfil de SAAM: río Torca

En general se pudo observar que la calidad con respecto a SAAM fue mucho mejor en Bosque de Pinos que en el antiguo punto (Canal El Cedro). Adicionalmente, se notó un decrecimiento en las concentraciones en Jardines de Paz y San Simón, tal como ocurrió para otros parámetros, lo cual muestra mejora en la calidad.

2.1.1.14. Coliformes fecales

Las mayores concentraciones de coliformes fecales del río Torca se encontraron en el punto

Calle 161 seguido por Jardines de Paz (figura 2.18). En Bosque de Pinos se presentaron bajas concentraciones. En Jardines de Paz tendieron a disminuir aguas abajo, así sucedió con la mayoría de parámetros analizados. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Calle 161.
- Disminuciones: Bosque de Pinos (98% F3 vs. H*) y San Simón (85% F3 vs. H*).
- Aumentos: Jardines de Paz (66% F3 vs. F2).

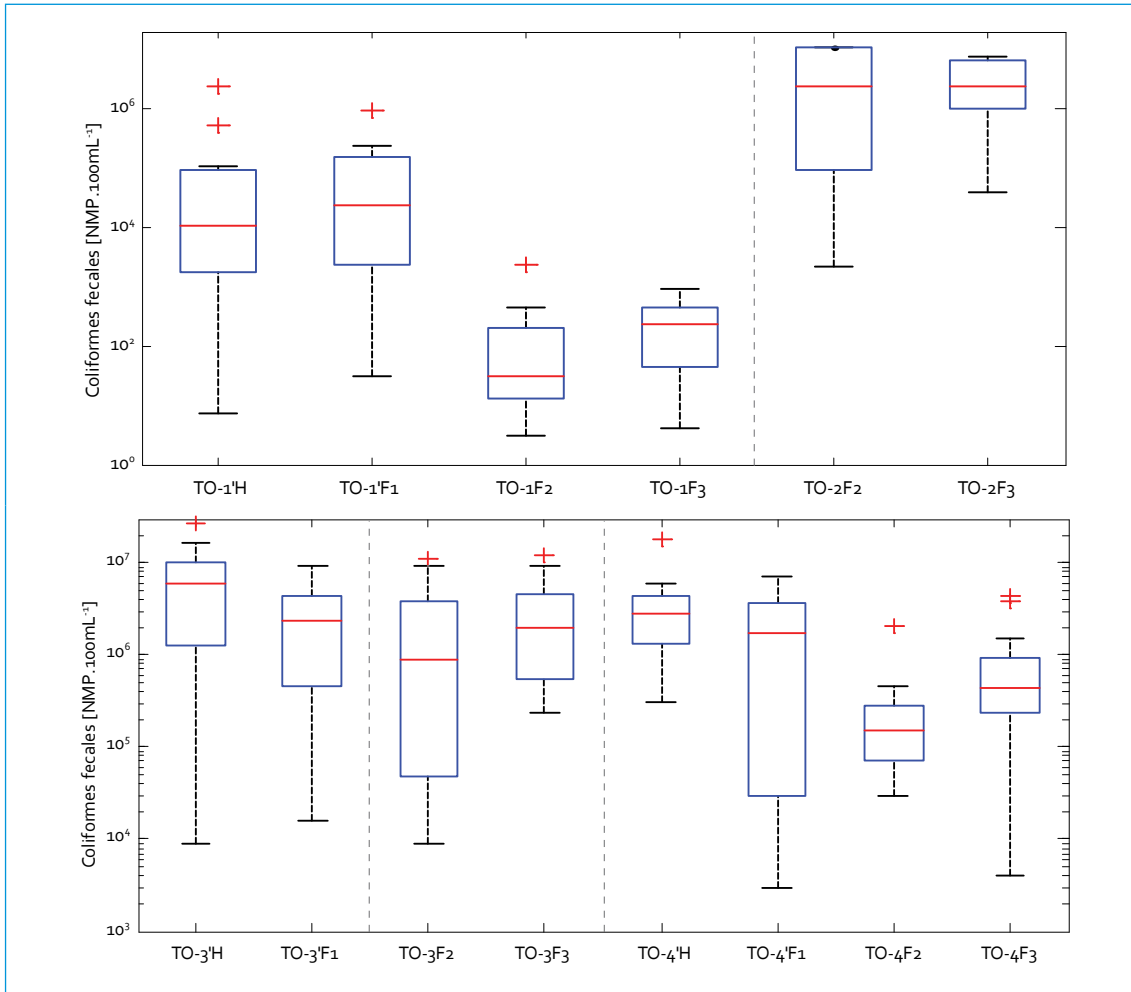


FIGURA 2.18. Perfil de coliformes fecales: río Torca

En el primer punto se observaron bajas concentraciones de coliformes, lo cual mostró que lo registrado en Canal El Cedro para los monitoreos previos no se ajustaba como referente de calidad. En relación con los resultados obtenidos en los últimos años, se notaron disminuciones en el primer punto de monitoreo y en el último.

2.1.1.15. Sulfuros

Los sulfuros del río Torca mostraron un comportamiento relativamente constante a lo largo del río; solo se notó un leve aumento

entre las concentraciones del primer punto de monitoreo y el segundo (figura 2.19). En Bosque de Pinos y San Simón, la mayoría de las concentraciones de sulfuros estuvieron cercanas al límite de detección. En el punto Calle 161 las concentraciones fueron las más variables del río Torca. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Bosque de Pinos, Calle 161 y Jardines de Paz.
- Disminuciones: San Simón (71% F₃ vs. H*).

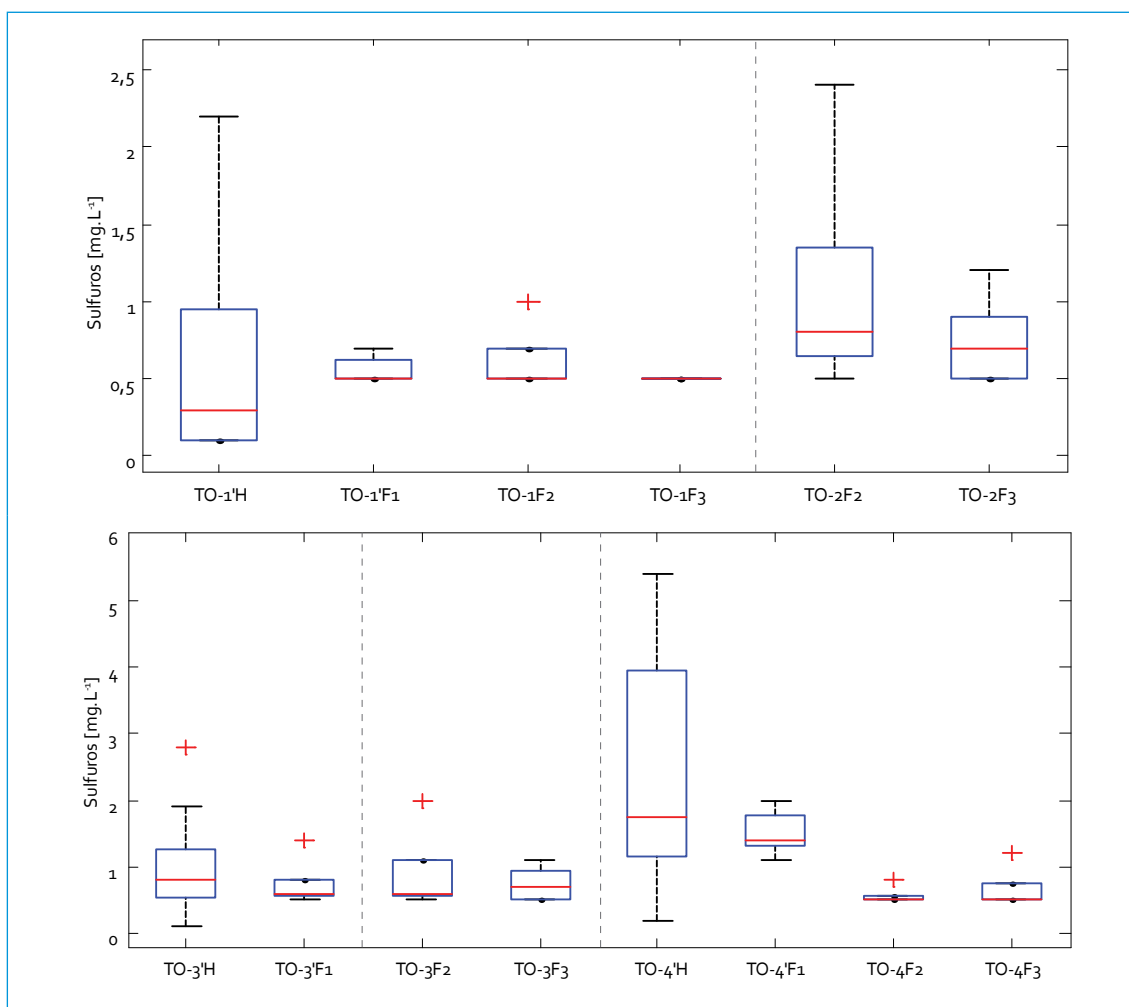


FIGURA 2.19. Perfil de sulfuros: río Torca

Al igual que el fósforo, los sulfuros en Bosque de Pinos fueron muy similares a los registrados en Canal El Cedro en los monitoreos previos. En relación con los resultados obtenidos en los últimos años, se notaron disminuciones en el último punto de monitoreo (San Simón).

2.1.1.16. Fenoles

Los fenoles del río Torca muestran que en los últimos años las mayores concentraciones se encontraron en Calle 161, y las menores, en Bosque de Pinos y en Club Guaymaral (figura 2.20). Las diferencias en el primer punto o-

decieron al cambio de los límites de detección, pues para los datos históricos es de 0,05 mg/L, mientras que el de las fases 1, 2 y 3 es de 0,02 mg/L. En el primer punto y en el último, las concentraciones de fenoles han sido, en su mayoría, no detectables, por lo que se puede pensar que las descargas a lo largo del río no alteran de manera notable la calidad del río en cuanto a fenoles. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Bosque de Pinos, Calle 161 y Jardines de Paz.

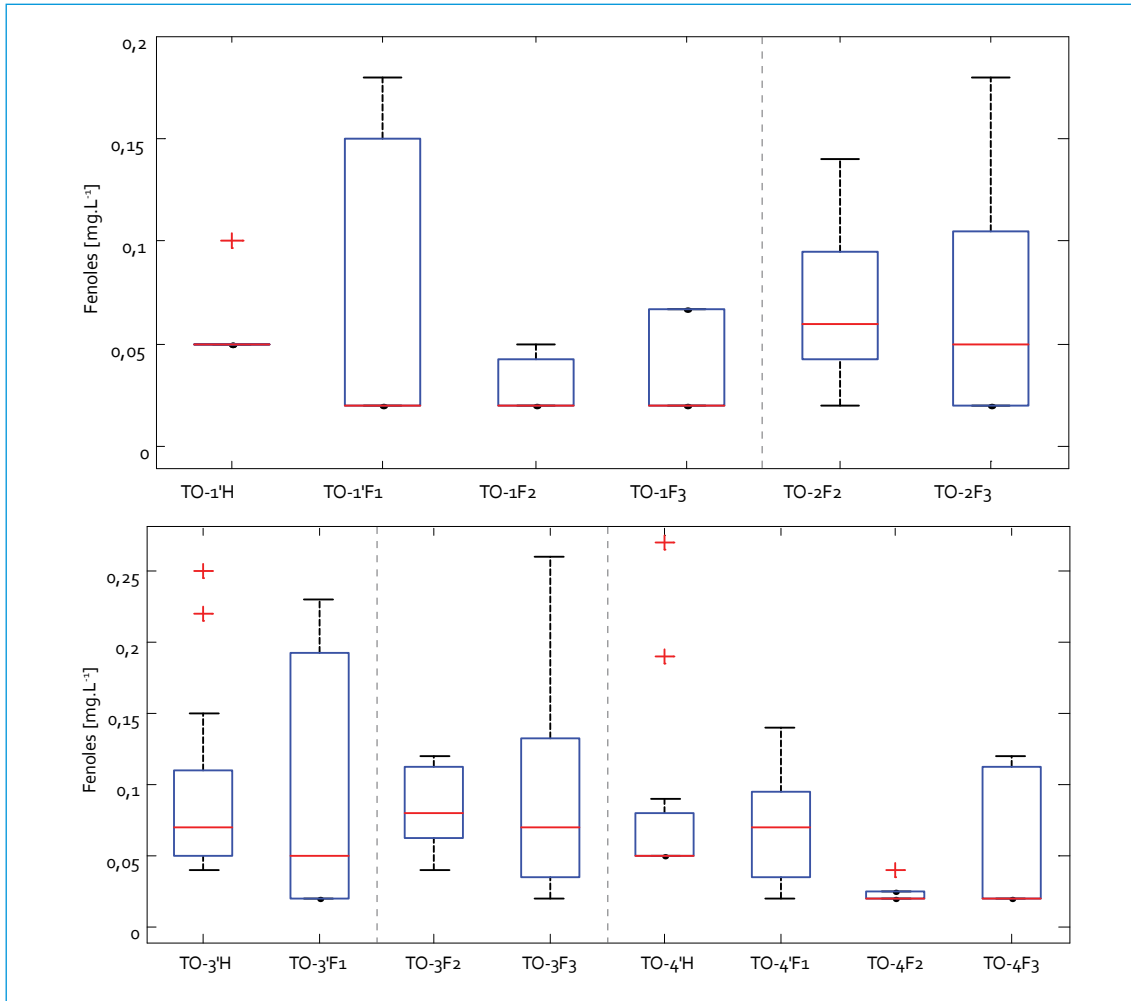


FIGURA 2.20. Perfil de fenoles: río Torca

- Disminuciones: San Simón (60% F₃ vs. H^{*}).

Al igual que los sulfuros, los fenoles en Bosque de Pinos fueron muy similares a los registrados en Canal El Cedro, lo cual demostró que los vertimientos de este sector no alteraron la calidad en términos de fenoles. En relación con los resultados obtenidos en los últimos años, se notaron disminuciones en el último punto de monitoreo.

2.1.1.17. Metales

2.1.1.17.1. Bario

El bario puede llegar a los cuerpos de agua por la erosión de depósitos naturales, principalmente. Las concentraciones de bario a lo largo del río Torca no presentaron variaciones importantes, aunque entre el primer punto de monitoreo y el segundo se notó un aumento (figura 2.21). En la mayoría de puntos de mo-

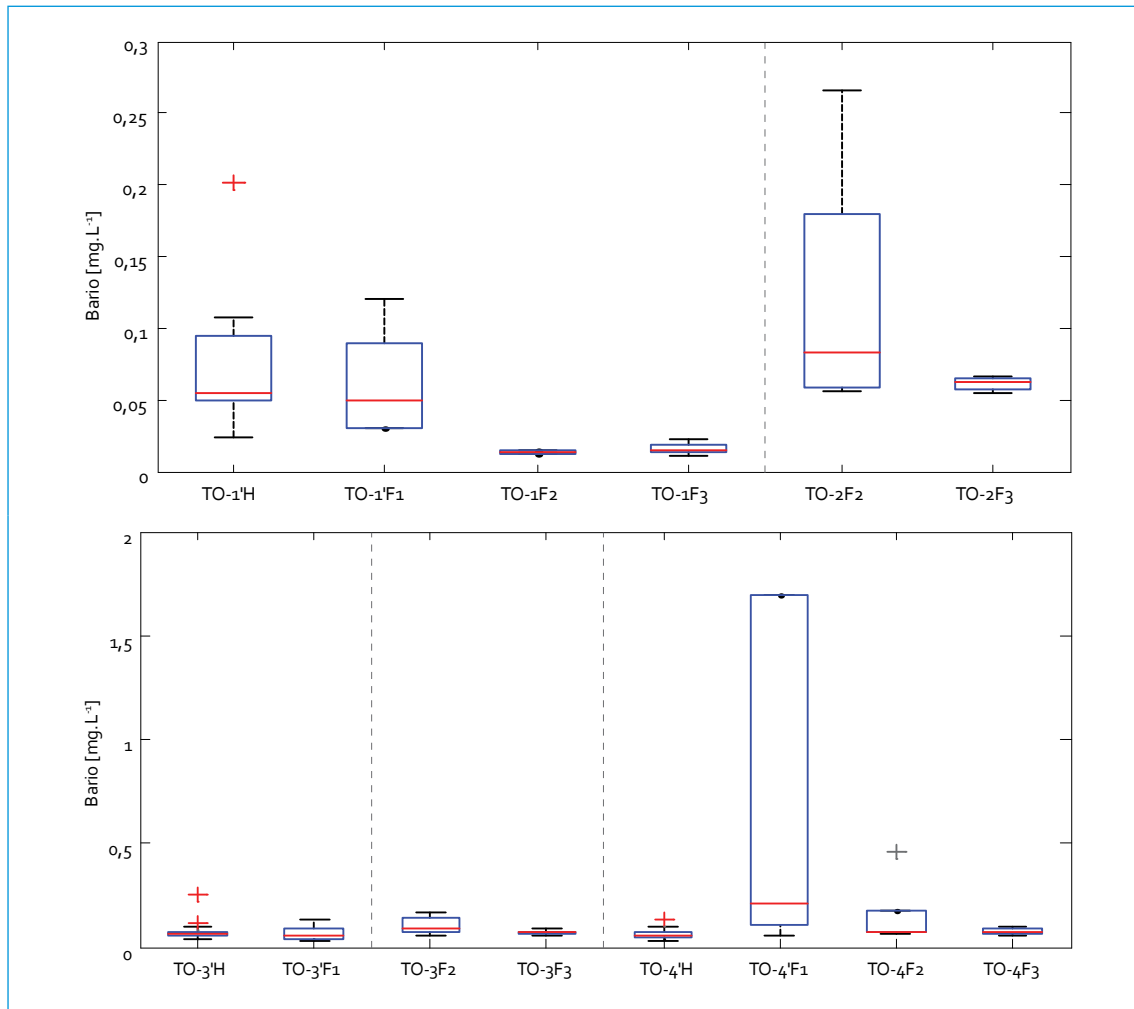


FIGURA 2.21. Perfil de bario: río Torca

nitoreo, las concentraciones fueron muy homogéneas, por lo que se puede pensar que el bario encontrado en el río es de predominancia natural y que las aguas residuales vertidas al río no aumentan de manera importante el bario. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Calle 161, Jardines de Paz y San Simón (excepto en la fase 1, en la cual el bario tendió a ser alto).
- Disminuciones: Bosque de Pinos (72% F₃ vs. H*).

2.1.1.17.2. Cadmio

Las concentraciones de cadmio en el río Torca estuvieron por debajo del límite de detección (0,001 mg/L), razón por la cual el comportamiento a lo largo del río y del tiempo tiende a ser constante. Se debe resaltar que en los monitoreos de la fase 1 y de la fase 3 en San Simón las concentraciones de cadmio tendieron a ser más altas (figura 2.22).

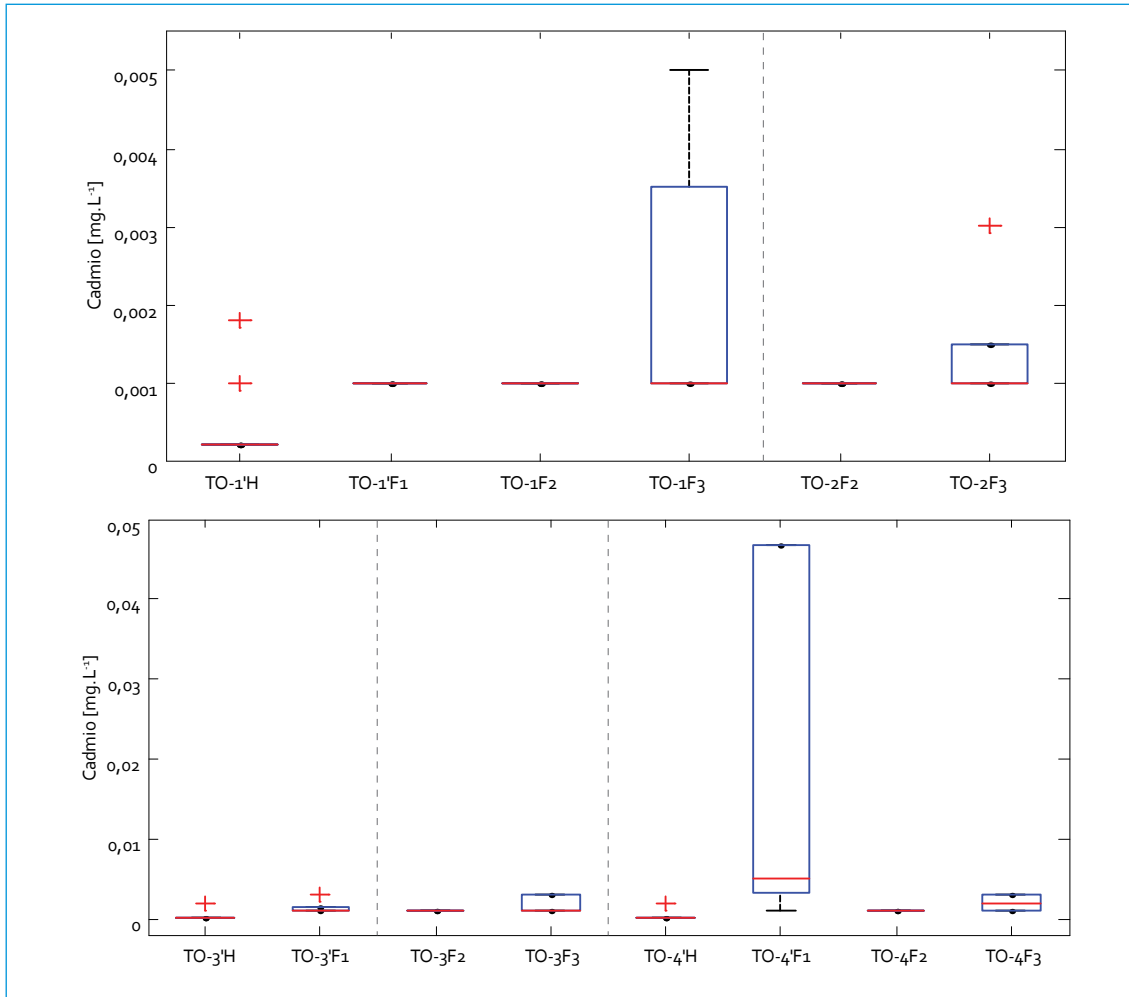


FIGURA 2.22. Perfil de cadmio: río Torca

2.1.1.17.3. Cinc

Las concentraciones de cinc en el río Torca se presentan en la figura 2.23, donde se puede ver un comportamiento variable entre el segundo y tercer punto. A diferencia del cadmio y del bario, las concentraciones de cinc después de Jardines de Paz tendieron a disminuir aguas abajo. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Aumentos: Bosque de Pinos (30% F3 vs. H*) y Calle 161 (46% F3 vs. F2).

- Disminuciones: Jardines de Paz (80% F3 vs. F2) y San Simón TO-4 (62% F3 vs. H*).

Las concentraciones más bajas de cinc se presentaron en el primer punto de monitoreo y en el segundo. En comparación con monitoreos históricos y de la fase 1, se notó que en Canal El Cedro las concentraciones de cinc no fueron elevadas; por el contrario, muy similares o inferiores (con referencia a la fase 3) a las de Bosque de Pinos. Este comportamiento permite evidenciar que no hay un impacto por las descargas de aguas residuales en referencia al cinc en la cuenca alta del río.

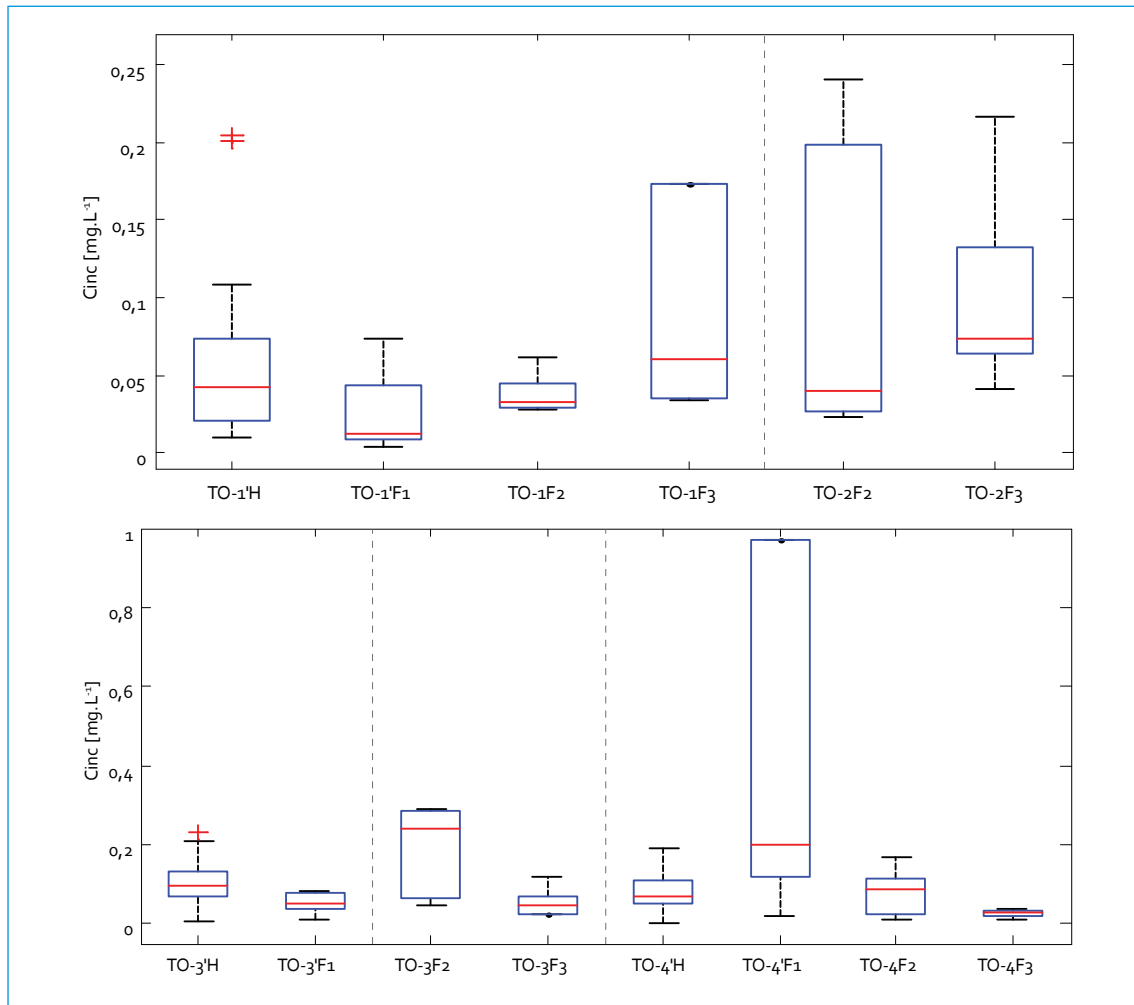


FIGURA 2.23. Perfil de cinc: río Torca

2.1.1.17.4. Cobre

El cobre en el río Torca presentó un comportamiento similar al del bario, pues las concentraciones tendieron a aumentar entre Bosque de Pinos y Calle 161. Su comportamiento aguas abajo fue variable, pero sin marcar una tendencia (figura 2.24). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Calle 161 y Jardines de Paz.
- Aumentos: Bosque de Pinos (31% F3 vs. H*) y San Simón (66% F3 vs. F2).

Así como sucedió con el cinc, se notó que las concentraciones de cobre en Canal El Cedro en los monitoreos históricos y de la fase 1 no eran elevadas, sino, por el contrario, muy similares o inferiores (con referencia a la fase 3) a las de Bosque de Pinos. Por otro lado, en San Simón se notó que la condición más crítica se dio en la fase 1.

2.1.1.17.5. Cromo total

Las concentraciones de cromo total en el río Torca estuvieron por debajo del límite de detección (0,001 mg/L para los históricos y 0,006 mg/L

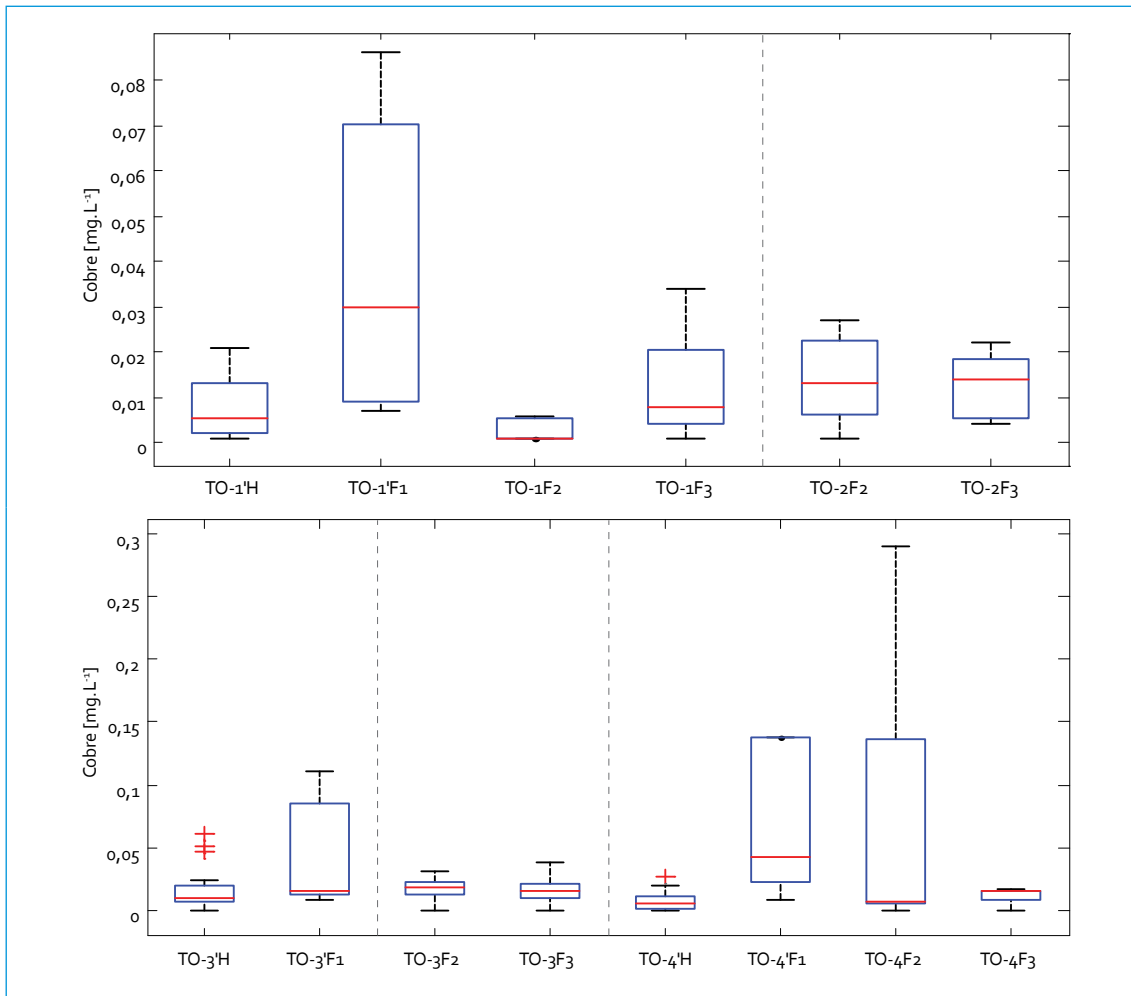


FIGURA 2.24. Perfil de cobre: río Torca

para las fases 1, 2 y 3), razón por la cual el comportamiento a lo largo del río y del tiempo tendió a ser constante (figura 2.25). Se debe resaltar que en algunos monitoreos las concentraciones superaron el límite de detección, pero sin generar impactos en la calidad.

2.1.1.17.6. Manganeseo

El comportamiento del manganeseo en el río Torca se presenta en la figura 2.26, donde se puede ver que las concentraciones de este metal van aumentando a lo largo del río, hasta Jardines de Paz. Bosque de Pinos fue el punto

donde se presentaron las más bajas concentraciones, usualmente por debajo del límite de detección (0,006 mg/L). El aumento entre Bosque de Pinos y Calle 161 mostró que las primeras descargas de aguas residuales tenían concentraciones de manganeseo que alteraron las concentraciones naturales del río. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Calle 161 y San Simón.
- Disminuciones: Bosque de Pinos (88% F₃ vs. H*) y Jardines de Paz (32% F₃ vs. F₂).

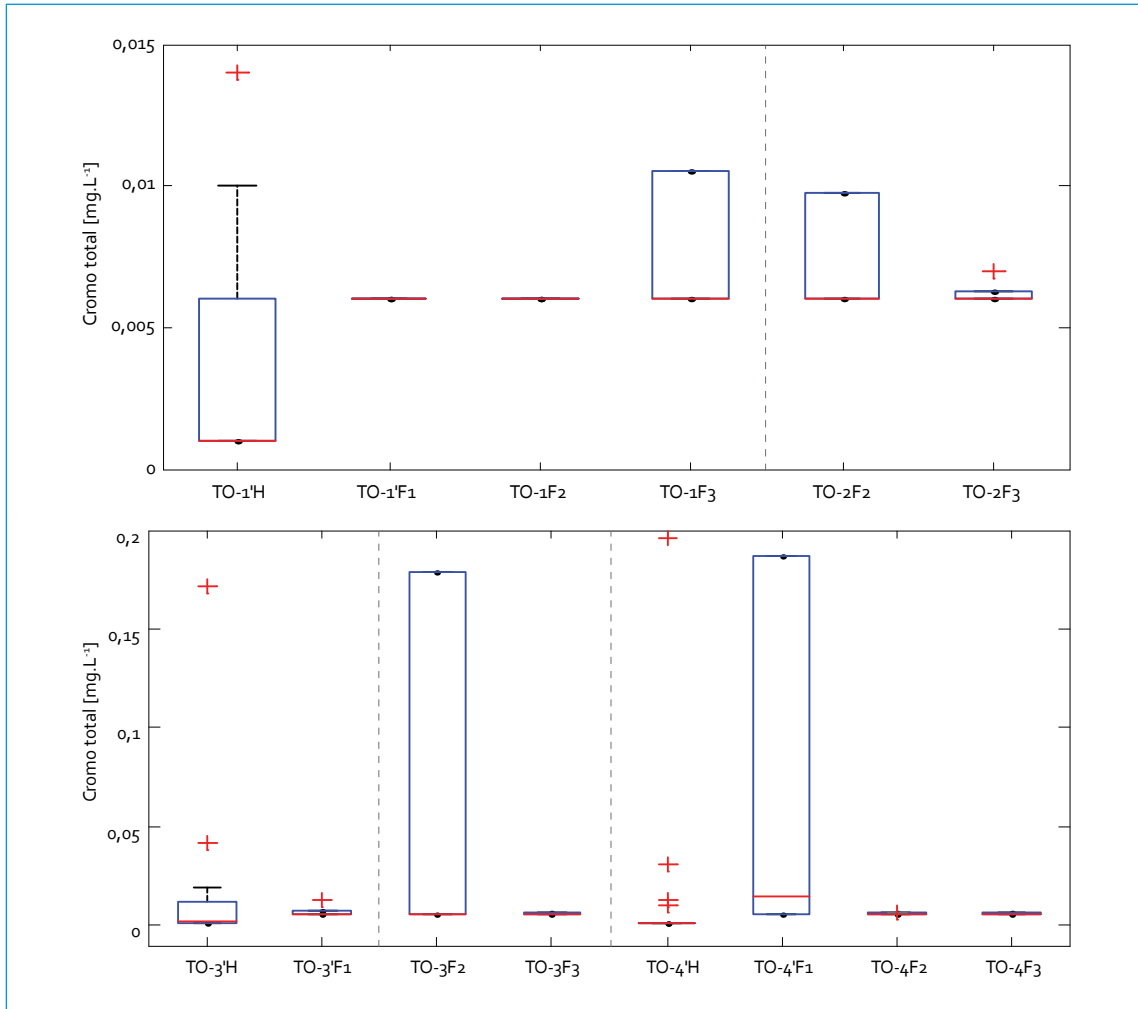
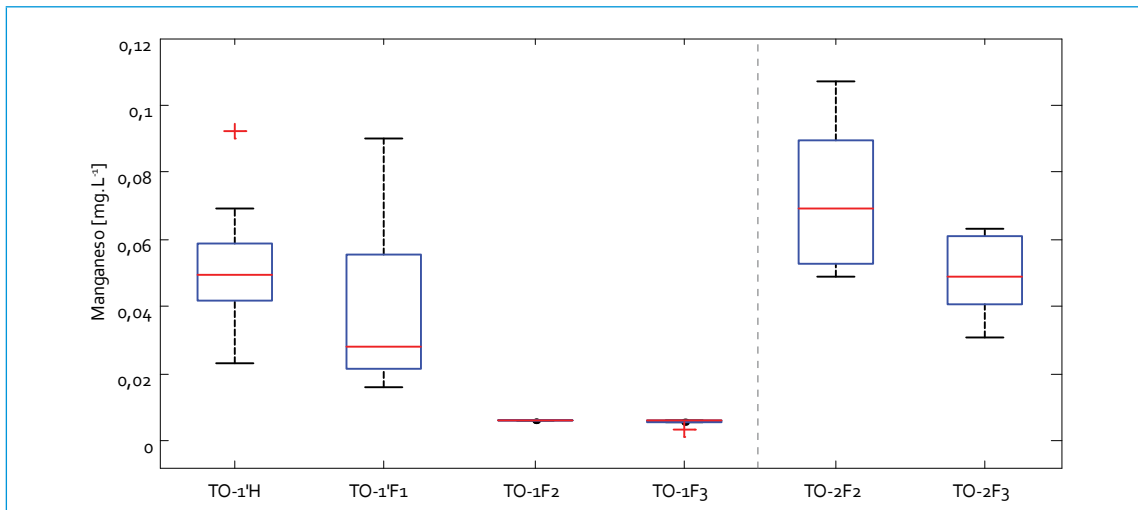


FIGURA 2.25. Perfil de cromo total: río Torca



Continúa

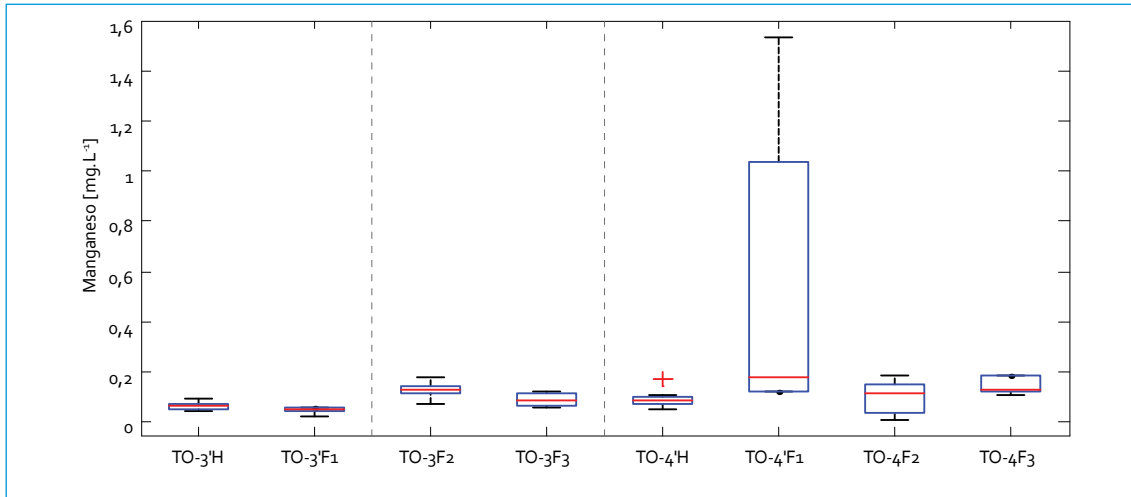


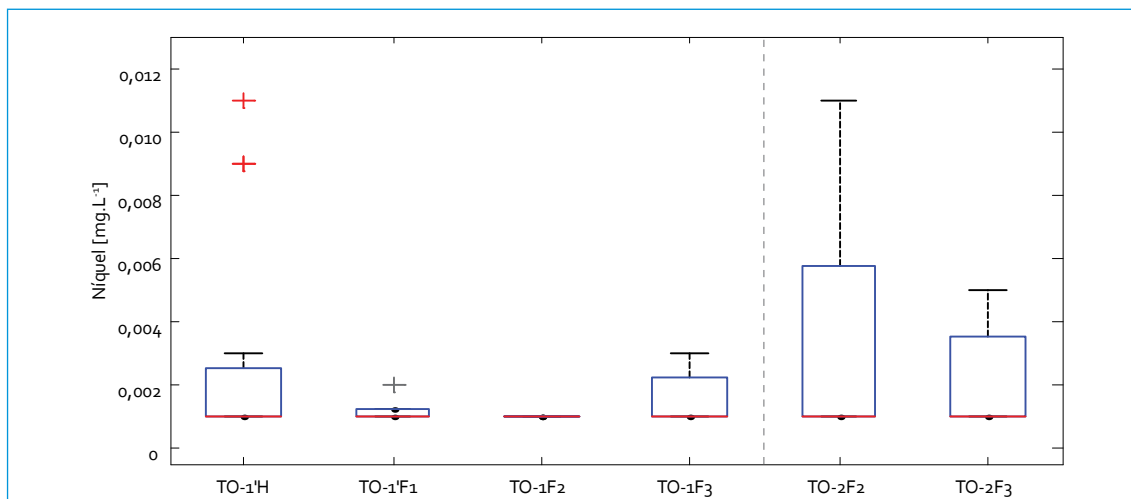
FIGURA 2.26. Perfil de manganeso: río Torca

La diferencia entre Canal El Cedro y Bosque de Pinos, al igual que sucedió con muchos otros parámetros, mostró un impacto de las descargas del sector en las concentraciones de manganeso.

En San Simón, al igual que sucedió con el bario y con el cromo total, se notó un comportamiento del manganeso constante a lo largo del tiempo, lo cual mostró que los metales no sufrieron alteración en el último sector del río.

2.1.1.17.7. Níquel

Las concentraciones de níquel en el río Torca no presentaron variaciones importantes; las concentraciones más elevadas se dieron en Calle 161 (figura 2.27). Se notaron algunos aumentos en la parte baja del río entre los diferentes periodos de monitoreo, sin marcar una tendencia especial. Es importante resaltar que la calidad del agua en el río Torca no se vio afectada por la fase disuelta de este metal.



Continúa

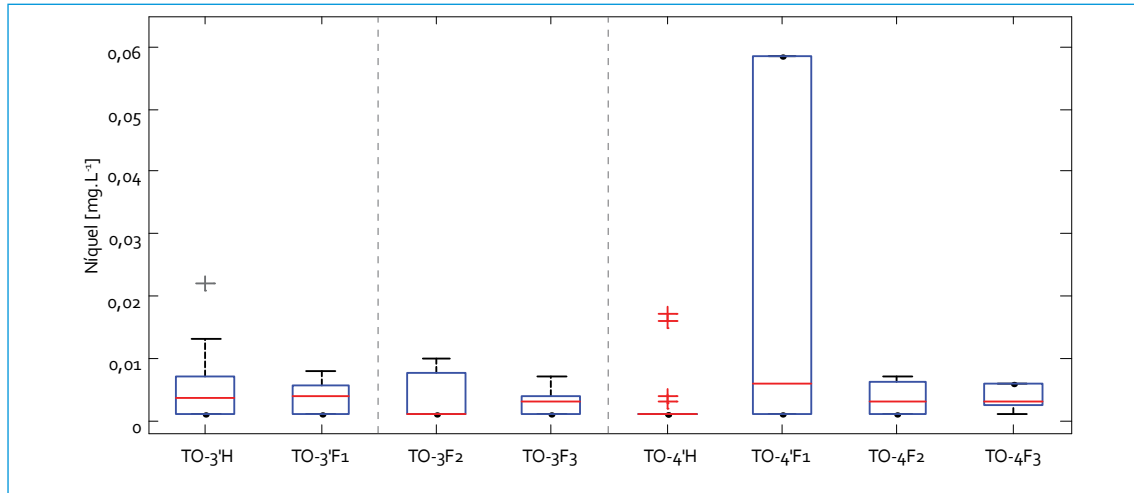


FIGURA 2.27. Perfil de níquel: río Torca

En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

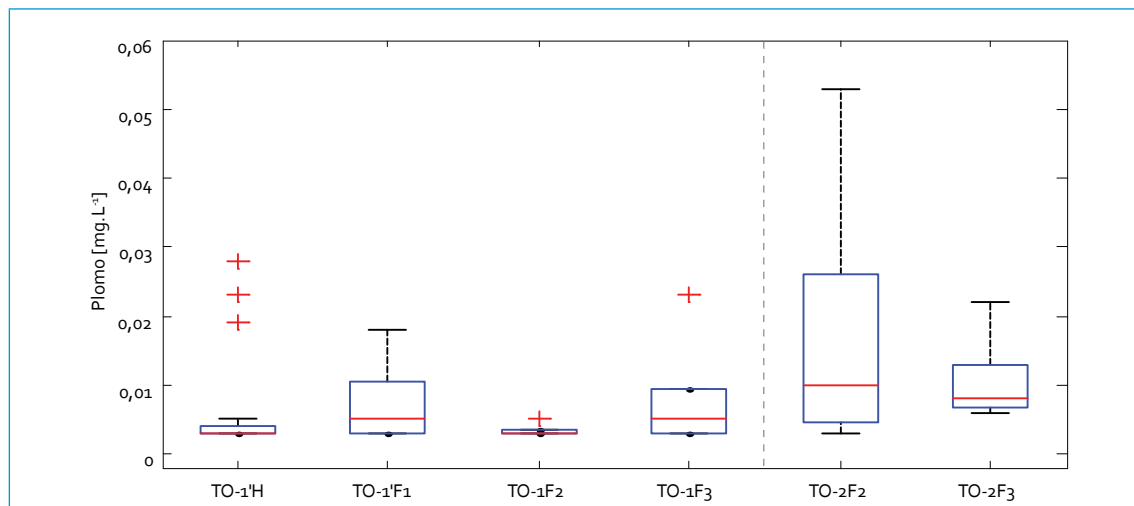
- Constantes: Bosque de Pinos y Calle 161.
- Aumentos: Jardines de Paz (67% F₃ vs. F₂) y San Simón (67% F₃ vs. H*).

Al igual que sucedió con el cadmio, el cinc y el cromo total, entre Bosque de Pinos y Canal El Cedro no existió una diferencia notable entre las concentraciones de níquel. Por otro

lado, en San Simón se notó que la condición más crítica, así como para los demás metales, se dio en la fase 2; sin embargo, las diferencias no fueron significativas y se mantuvo un comportamiento constante en las tres fases de monitoreo.

2.1.1.17.8. Plomo

Las concentraciones de plomo en el río Torca aumentaron en el primer sector del río (figura 2.28), aunque a lo largo del río no presentaron



Continúa

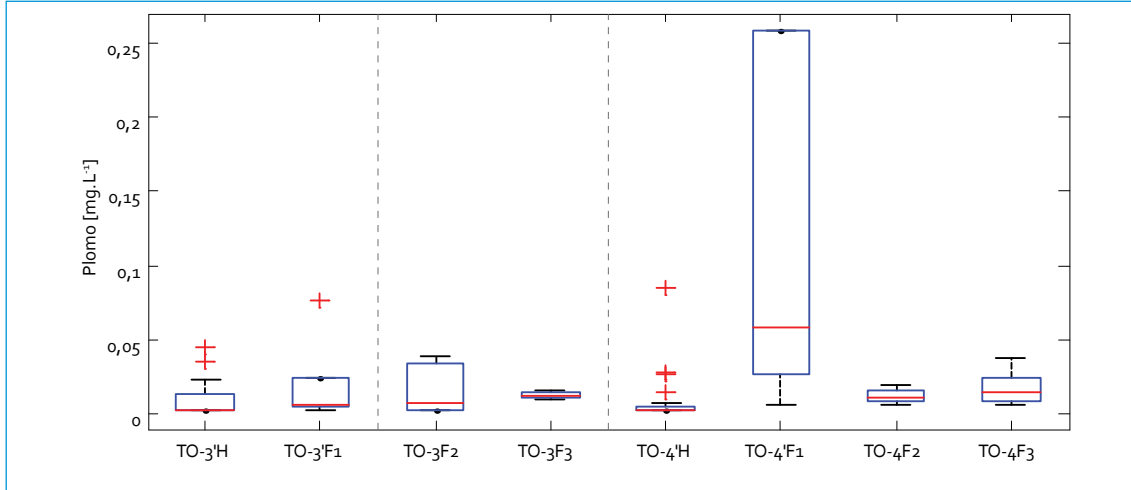


FIGURA 2.28. Perfil de plomo: río Torca

variaciones importantes. Así como sucedió con la mayoría de metales, el plomo tendió a mantenerse constante en el último sector. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Calle 161.
- Aumentos: Bosque de Pinos (40% F3 vs. H*), Jardines de Paz (38% F3 vs. F2) y San Simón (80% F3 vs. H*).

Al igual que otros metales (bario, cobre y manganeso), entre Bosque de Pinos (TO-1) y Canal El Cedro (TO-1') existe una diferencia que evidencia que los aportes de agua en este primer sector alteran las condiciones naturales del río en términos de plomo, aunque las diferencias no son muy altas. Por otro lado, en San Simón se notó un comportamiento variable, pues aunque las concentraciones tendieron a aumentar entre los históricos y la fase 3, la condición más crítica se presentó en la fase 1.

2.1.2. Cargas contaminantes

2.1.2.1. DBO_5

El perfil longitudinal de cargas de DBO_5 en el río Torca mostró el fuerte impacto de los vertimientos sobre la calidad del agua (figura 2.29).

En la tabla 2.2 se observa el cambio de las cargas promedio entre los dos tramos del río (este fue uno de los parámetros que presentaron mayor diferencia).

TABLA 2.2. Carga promedio transportada DBO_5 : río Torca

Parámetro	Río Torca (t/año)	
	T1	T2
DBO_5	0,24	265

Las cargas del primer tramo correspondieron al punto Bosque de Pinos, donde no se encontró variación importante en las cargas de DBO_5 , que oscilaron entre 0,01 y 0,7 t/año.

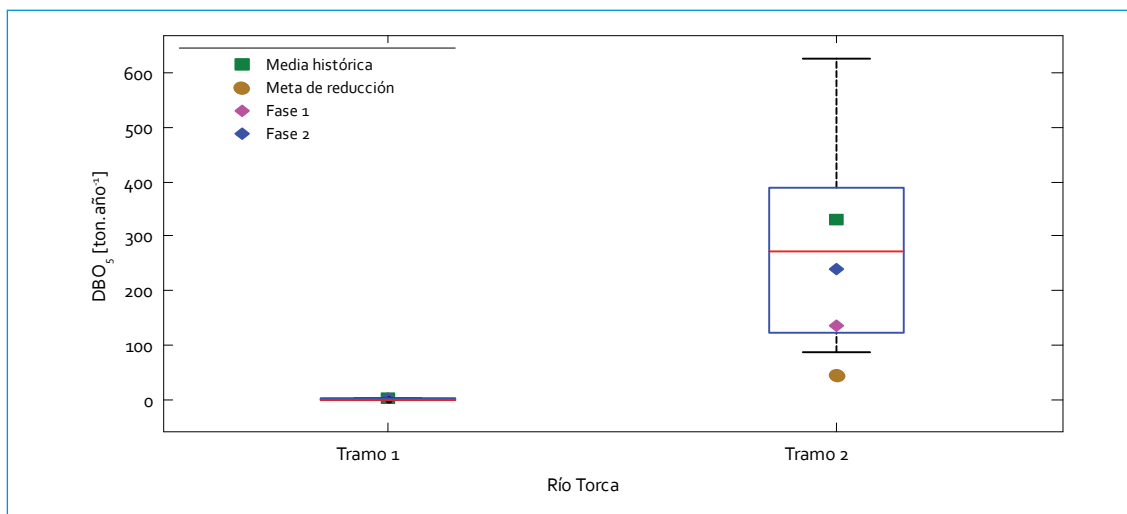


FIGURA 2.29. Perfil de cargas de DBO₅: río Torca

Al comparar los resultados actuales y los de la fase 2 (promedio: 0,19 t/año), las cargas de DBO₅ en Bosque de Pinos se han mantenido constantes, lo cual indica que no hay actividades antropogénicas que alteren la calidad natural. Por otro lado, la carga promedio en Canal El Cedro (antiguo punto de monitoreo que referenciaba el tramo 1) durante la fase 1 y los monitoreos históricos (2 y 1,5 t/año, respectivamente), mostró una fuerte diferencia con la carga actual de Bosque de Pinos; esto demuestra una contribución por encima del 80% de carga de DBO₅ entre la condición natural del río (punto Bosque de Pinos) y la entrada al perímetro urbano (punto Canal El Cedro).

Las cargas de DBO₅ para el segundo tramo (punto de monitoreo San Simón) fueron más variables y más elevadas que las del tramo 1. En este punto las cargas fluctuaron en un rango de 86 a 627 t/año. Aun considerando la dispersión de los datos, se puede inferir que hay un comportamiento relativamente constante a lo largo del tiempo, pues se observa que la carga promedio actual es similar a la histórica (332 t/año) y a la de la fase 2 (239 t/

año). Es importante mencionar que de todos los periodos analizados, la mejor condición se presentó en la fase 1, cuando la carga promedio (136 t/año) fue la mitad del promedio actual, como consecuencia de una temporada mucho más seca.

También se debe resaltar que la mayor carga de DBO₅ del río se presentó en Jardines de Paz (carga promedio: 360 t/año) y que la mayor diferencia en cargas a lo largo del río se dio entre Bosque de Pinos y Calle 161 (carga promedio: 134 t/año), punto donde el río se deteriora considerablemente.

En los resultados siguió siendo notoria la autodepuración por efecto del humedal y del buchón, ya que las cargas de DBO₅ se mantuvieron casi constantes entre Jardines de Paz y San Simón, y las concentraciones promedio mostraron reducciones cercanas al 65%. Con referencia a la meta de reducción (45 t), esta se ha venido cumpliendo, puesto que la diferencia entre la carga histórica (la línea base para el establecimiento de las metas de reducción) y la carga actual es de 67 t.

2.1.2.2. DQO

En la figura 2.30 se muestran las cargas de DQO en los dos tramos del río Torca (el segundo es el principal participante en carga).

Las diferencias de las cargas entre el tramo 1 y el tramo 2 fueron de las mismas magnitudes para este parámetro que para la DBO_5 (tabla 2.3).

TABLA 2.3. Carga promedio transportada de DQO: río Torca

Parámetro	Río Torca (t/año)	
	T1	T2
DQO	0,7	1404

Como se puede ver, en el primer tramo las cargas fueron casi despreciables en comparación con las del tramo 2, pues variaron entre 0,04 y 1,7 t/año. Al igual que para la DBO_5 , entre las cargas de Canal El Cedro (promedio de la fase 1: 5,7 t/año; promedio histórico: 7,2 t/año) y las de Bosque de Pinos hay una fuerte diferencia, que muestra aportes de materia orgánica difícilmente biodegradable. Al com-

parar los resultados actuales y los de la fase 2 (promedio: 2,3 t/año), se ve que las cargas de DQO en Bosque de Pinos disminuyeron como resultado de una condición hidrológica más húmeda en este periodo de monitoreo (dicha condición diluyó la DQO).

En el tramo 2, la variabilidad de los datos fue muy alta: el rango osciló entre 373 y 3316 t/año. A partir de estos resultados se ve que la carga de DQO no ha tenido cambios muy significativos en el tiempo, ya que comparando la carga promedio actual, la carga media histórica (862 t/año), la media de la fase 1 (986 t/año) y la de la fase 2 (1579 t/año), se notaron leves aumentos de no más del 40%.

A diferencia de la DBO_5 , los resultados no muestran una reducción en la carga promedio de DQO entre Jardines de Paz (1235 t/año) y San Simón (1404 t/año); la diferencia de las cargas de DQO en estos dos puntos es escasa. Cabe resaltar que las concentraciones de DQO sí se vieron reducidas: pasaron de un promedio de 130 mg/L en Jardines de Paz a 60 mg/L en San Simón, por lo que se puede concluir que, dado el aumento de caudal promedio entre los dos puntos (aproximadamente 60%), las cargas en

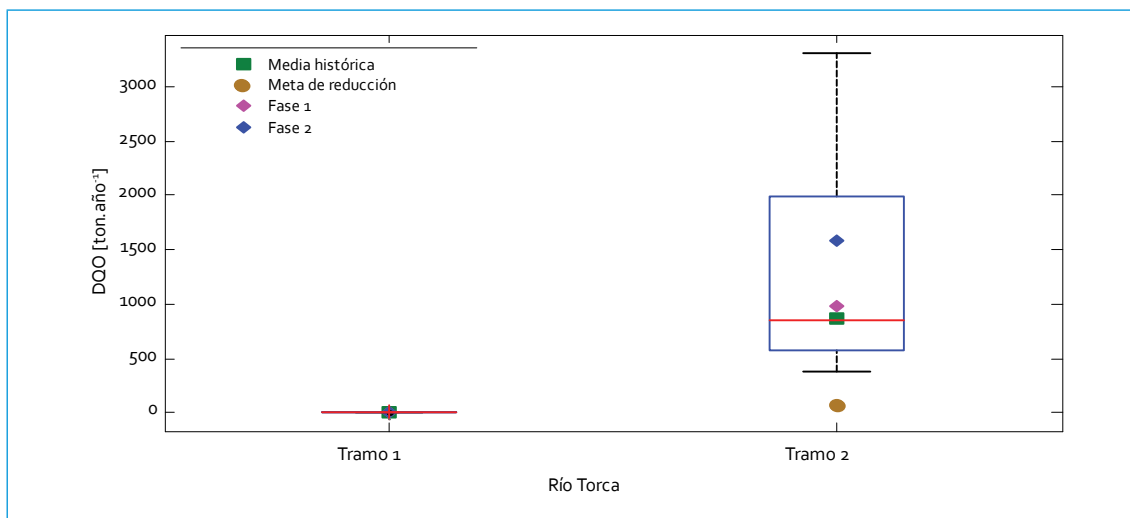


FIGURA 2.30. Perfil de cargas DQO: río Torca

San Simón son diluidas bien sea por efecto de autodepuración o por el aporte de aguas con mejor calidad.

Por otro lado, la meta de reducción de DQO para el tramo 2 representa aproximadamente el 5% de la carga promedio transportada actualmente en el río. A partir de estos resultados, todavía faltan muchos esfuerzos para lograr la meta de reducción, puesto que las cargas, en lugar de reducirse, tienden a aumentar entre la línea base y la carga actual.

2.1.2.3. SST

El perfil longitudinal de las cargas de SST del río Torca se presenta en la figura 2.31.

La tabla 2.4 muestra que la diferencia en cargas entre el tramo 1 y tramo 2 fue muy significativa y constituyó uno de los parámetros que presentaron mayor diferencia entre los dos tramos.

En el tramo 1 las cargas variaron muy poco: el rango fue de 0,03 a 4,7 t/año, lo cual muestra que este tramo del río se encuentra en buenas condiciones. En comparación con la carga promedio histórica (2,8 t/año) y la de la fase 1 (5,5 t/año), es notable que entre Canal El Cedro y

TABLA 2.4. Carga promedio transportada de SST: río Torca

Parámetro	Río Torca (t/año)	
	T1	T2
SST	1,2	968

Bosque de Pinos existe un aporte importante de SST; hubo una diferencia con la carga promedio transportada en la fase 3 en este sector del río. En relación con la media de la fase 2 (0,8 t/año), en Bosque de Pinos las cargas de SST tendieron a aumentar como respuesta a un incremento de caudal (aproximadamente 50%) entre los dos periodos.

El tramo 2 contó con cargas mucho más elevadas; el rango estuvo entre 119 y 2437 t/año, es decir, hubo variabilidad en los datos. La carga promedio (968 t/año) aumentó frente a la histórica (233 t/año), pero fue similar a la de la fase 1 (1356 t/año) y la fase 2 (1062 t/año). Esto muestra que entre los históricos y las últimas fases de monitoreo hubo un aumento notable en la carga de sólidos. Aunque inicialmente se pensó que el aumento estaba muy ligado a la resuspensión de sólidos por el buchón—ya que la cantidad de buchón que se encontraba en

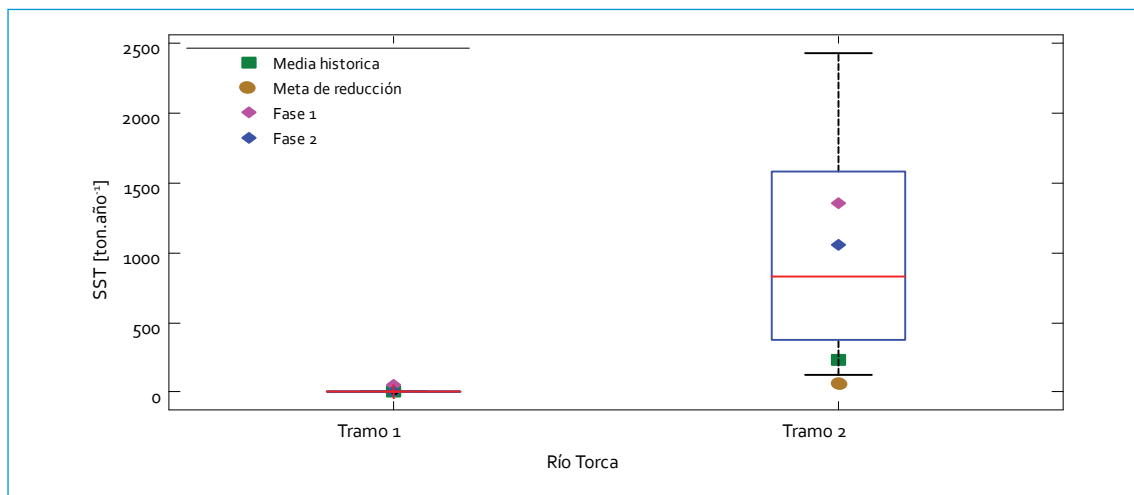


FIGURA 2.31. Perfil de cargas de SST: río Torca

Club Guaymaral dificultaba la certidumbre de los resultados—, es posible que actualmente se transporte una mayor cantidad de sólidos en la cuenca baja del río, especialmente por los eventos de lluvia que se presentaron en la ciudad durante esta fase de monitoreo. Cabe resaltar que el punto Club Guaymaral era muy cercano a la desembocadura del río Torca en el río Bogotá y que las mediciones de SST pudieron estar influenciadas por el efecto del remanso del río Bogotá. Por último, en referencia a la meta de reducción, dado que la carga actual se ha aumentado con referencia a la carga base, todavía hacen falta muchos esfuerzos para cumplir la meta.

2.1.2.4. Nitrógeno total

En el tramo 1, las cargas variaron entre 0,01 y 1,3 t/año, lo cual muestra poca variabilidad en los resultados y cargas muy pequeñas que reflejan una buena calidad del agua (tabla 2.5). Teniendo en cuenta la distancia entre Canal El Cedro y Bosque de Pinos, la diferencia en carga promedio muestra que entre los dos puntos existe, además de un aporte de materia orgánica y sólidos, uno de nutrientes; esto indica que los vertimientos tienen características de agua residual doméstica. Por otro lado, comparando las cargas actuales con la media de la fase 2 (0,2 t/año) en Bosque de Pinos, se observó, al igual que en los SST, un aumento entre los dos periodos, como consecuencia del aumento de caudal.

TABLA 2.5. Carga promedio transportada de N_{total} : río Torca

Parámetro	Río Torca (t/año)	
	T1	T2
N_{total}	0,4	186

Las cargas del segundo tramo corresponden al punto San Simón, donde se encontró una dispersión en los datos: varían entre 74 y 374 t/año. En este punto, la carga promedio fue similar a la carga promedio histórica (141 t/año) y al promedio de la fase 2 (237 t/año), es decir, hubo un comportamiento constante en el tiempo. Por el contrario, en referencia a la fase 1 (media: 118 t/año), la carga media actual aumentó cerca de 40%, dado que en la fase 3 la carga estuvo influenciada, en su mayoría, por el caudal (Q_{prom} fase 1 = 329 L/s vs. Q_{prom} fase 3 = 526 L/s), y en la fase 1, por las concentraciones de N_{total} (fase 1 = 19 mg/L vs. fase 3 = 12 mg/L). Se puede decir, entonces, que el caudal es el parámetro que mayor afecta la estimación de cargas. A diferencia de la DBO_5 , entre los puntos de monitoreo del segundo tramo del río (Jardines de Paz y San Simón) no se notó una variación entre las cargas medias de N_{total} ; sin embargo, hubo una pequeña reducción en las concentraciones, lo cual lleva a considerar una autodepuración o una dilución en este tramo del río (figura 2.32).

En cuanto a la meta de reducción, la carga que debe ser reducida mostrará cambios en la calidad del agua referente a este nutriente. Dado que la carga actual se ha mantenido constante con referencia a la carga base, todavía hacen falta muchos esfuerzos para cumplir la meta.

2.1.2.5. Fósforo total

El perfil longitudinal de la carga de fósforo del río Torca se presenta en la figura 2.33. La diferencia en cargas entre el tramo 1 y el tramo 2, así como para N_{total} fue significativa, aunque en menor proporción; por lo tanto, la participación de la carga del tramo 2 fue importante (tabla 2.6).

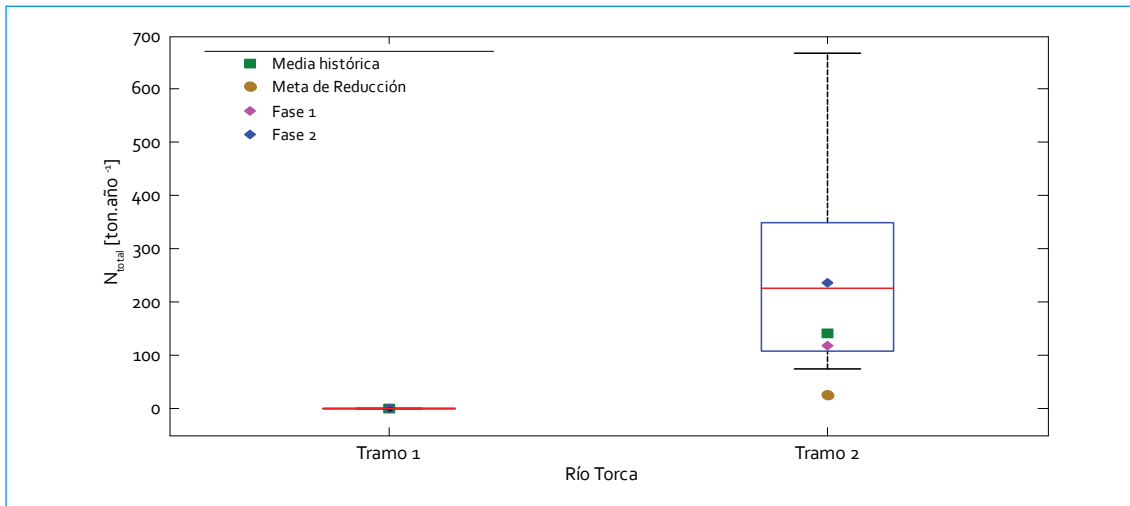


FIGURA 2.32. Perfil de cargas N_{total} : río Torca

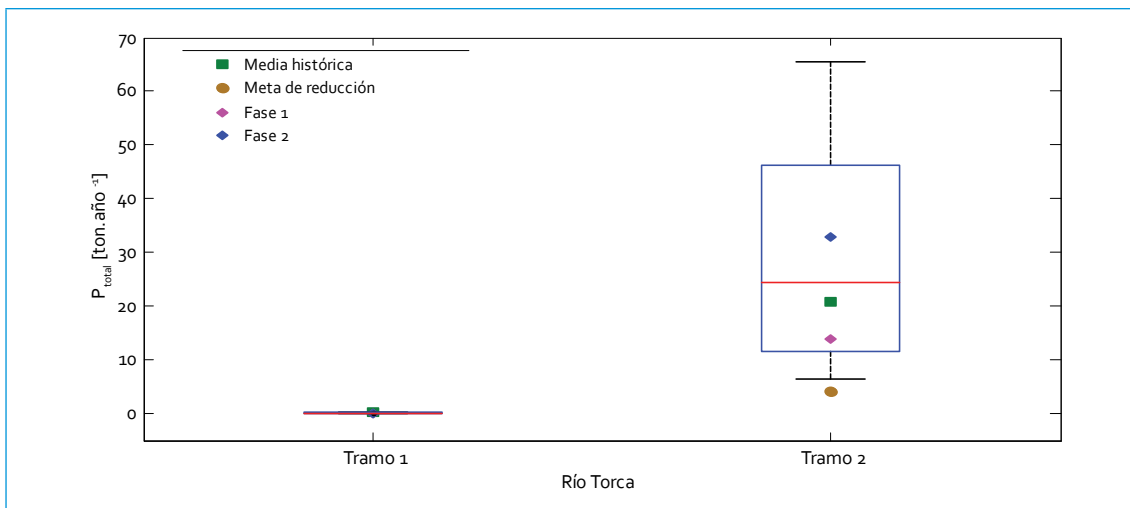


FIGURA 2.33. Perfil de cargas de P_{total} : río Torca

TABLA 2.6. Carga promedio transportada de P_{total} : río Torca

Parámetro	Río Torca (t/año)	
	T1	T2
P_{total}	0,1	26

Las cargas en el primer tramo del río (Bosque de Pinos) fueron muy pequeñas y aunque no se alcanza a apreciar en la figura, van de 0,004 a 0,4 t/año. Además, mostraron una dife-

rencia con los resultados de Canal El Cedro. Es importante mencionar que el P_{total} —junto con SST, N_{total} y GyA— fue el parámetro que menor diferencia tuvo con los resultados obtenidos entre Bosque de Pinos y canal El Cedro. De ello se puede concluir que los vertimientos entre estos dos puntos presentan un mayor contenido de materia orgánica y de tensoactivos que de nutrientes. Respecto a la carga media de la fase 2 (0,1 t/año), el comportamiento ha sido constante.

En el tramo 2, las cargas fueron más variables y más elevadas que en el tramo anterior: el rango de cargas estuvo entre 6,4 y 66 t/año. Esta variación se relaciona con las descargas de agua residual que se reciben a lo largo del río, lo cual aumenta de manera considerable el transporte de nutrientes en la cuenca baja. Respecto a los periodos previos, la carga media actual fue similar al promedio histórico (21 t/año) y al promedio de la fase 2 (33 t/año); sin embargo, entre estos periodos no coincidieron las condiciones hidrológicas, ya que mientras las cargas históricas estuvieron influenciadas principalmente por las concentraciones de fósforo (promedio histórico: 3,6 mg/L vs. promedio actual: 1,3 mg/L), en las fases 2 y 3 la condición influyente fue el caudal (promedio histórico: 195 L/s vs. promedio fase 3 = 526 L/s).

Frente a los resultados de la fase 1, se notó una diferencia por la condición hidrológica, puesto que las concentraciones presentaron variaciones mínimas. Las cargas durante la fase 1 —periodo con bajo caudal promedio— fueron inferiores a las cargas actuales —periodo en el que se presentaron muchos eventos de lluvia—.

Al igual que para la DBO_5 , las cargas de fósforo entre Jardines de Paz y San Simón mostraron una leve disminución y hubo una pequeña reducción en las concentraciones, lo cual denota una mejora en la calidad.

Por otro lado, teniendo en cuenta las cargas reportadas para este periodo de monitoreo, la meta de reducción puede tener un impacto leve en términos de reducción de carga; además, cabe resaltar que hasta ahora no se ha visto un cumplimiento de los objetivos, puesto que la carga media actualmente transportada en este tramo del río es muy similar a la línea base (carga histórica).

2.1.2.6. Grasas y aceites

El perfil longitudinal de las grasas y aceites en el río Torca se presenta en la figura 2.34, donde se ven importantes cambios entre tramos. De las cargas totales del río, la participación del tramo 2 es superior al 99% (tabla 2.7); cabe resaltar que este fue el parámetro que menor diferencia presentó entre los dos tramos.

TABLA 2.7. Carga promedio transportada de grasas y aceites: río Torca

Parámetro	Río Torca (t/año)	
	T1	T2
Grasas y aceites	1,3	105

Aunque en la figura no se alcanza a apreciar, las cargas en el primer tramo del río fueron pequeñas y variaron entre 0,07 y 5,0 t/año. A diferencia de los demás parámetros, el único periodo que mostró cargas elevadas de grasas y aceites fue el de los monitoreos históricos (promedio de Canal El Cedro: 3,2 t/año). En comparación con las cargas actuales, la fase 1 (promedio de Canal El Cedro: 0,6 t/año) y fase 2 (promedio de Bosque de Pinos: 0,5 t/año) tuvieron mejores condiciones. Esto muestra que los vertimientos entre Canal El Cedro y Bosque de Pinos no presentan altas concentraciones de grasas y aceites que elevaran la carga.

La diferencia entre las cargas del primer tramo del río y el segundo fue notoria; sin embargo, al igual que el P_{total} , grasas y aceites fue uno de los parámetros que menos diferencia presentaron entre el primer y segundo tramo del río. Por otro lado, en el tramo 2, las cargas variaron entre 26 y 263 t/año, lo cual muestra dispersión en los datos.

La carga media tuvo un comportamiento constante en relación con los monitoreos his-

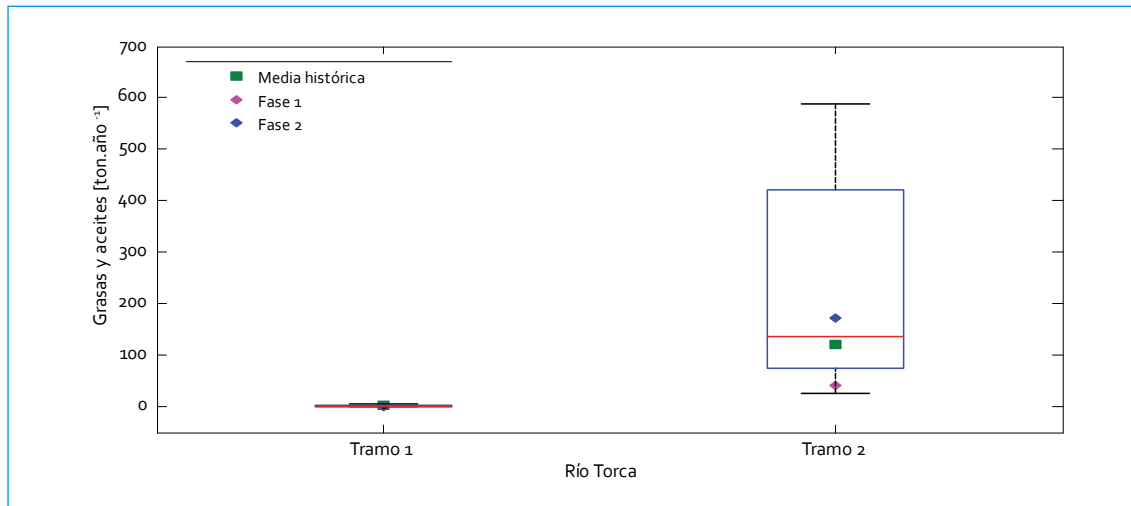


FIGURA 2.34. Perfil de cargas de grasas y aceites: río Torca

tóricos (promedio: 120 t/año); sin embargo, en referencia a las cargas medias de la fase 1, la carga media actualmente transportada mostró un aumento del 60%, y frente a la fase 2, una disminución del 40%. La variación entre los periodos de monitoreo no permite establecer una tendencia en el comportamiento de las cargas; no obstante, las mejores condiciones se dieron en la fase 1, cuando las concentraciones no fueron elevadas y predominó una condición hidrológica seca. Se debe resaltar que en este periodo tanto los caudales como las concentraciones de grasas y aceites fueron altos, lo que se tradujo en que las cargas de la fase 3 presentaran una de las peores condiciones del tramo.

2.1.2.7. SAAM

En la figura 2.35 se presenta el perfil longitudinal de cargas de SAAM en el río Torca. A partir de este perfil se puede ver un comportamiento ascendente y una alta participación del tramo 2 (tabla 2.8). Como para los otros parámetros analizados, se aprecia una fuerte diferencia en carga entre los dos tramos del río Torca,

prueba del impacto de las descargas de aguas residuales.

TABLA 2.8. Carga promedio transportada de SAAM: río Torca

Parámetro	Río Torca (t/año)	
	T1	T2
SAAM	0,01	24

En el tramo 1, las cargas variaron entre 0,001 y 0,04 t/año, es decir, hubo poca variabilidad en los resultados. Teniendo en cuenta que no son comparables las cargas de Canal El Cedro y Bosque de Pinos, la diferencia en carga promedio mostró que entre los dos puntos existe también un aporte de SAAM, como consecuencia de vertimientos de aguas residuales. Se debe resaltar que la carga promedio en Canal El Cedro durante la fase 1 fue de 0,1 t/año, y la de los históricos, 0,2 t/año, diferencias superiores al 85% con las cargas de Bosque de Pinos. Por otro lado, comparando las cargas actuales con la media de la fase 2 (0,01 t/año) en Bosque de Pinos se observó un comportamiento constante.

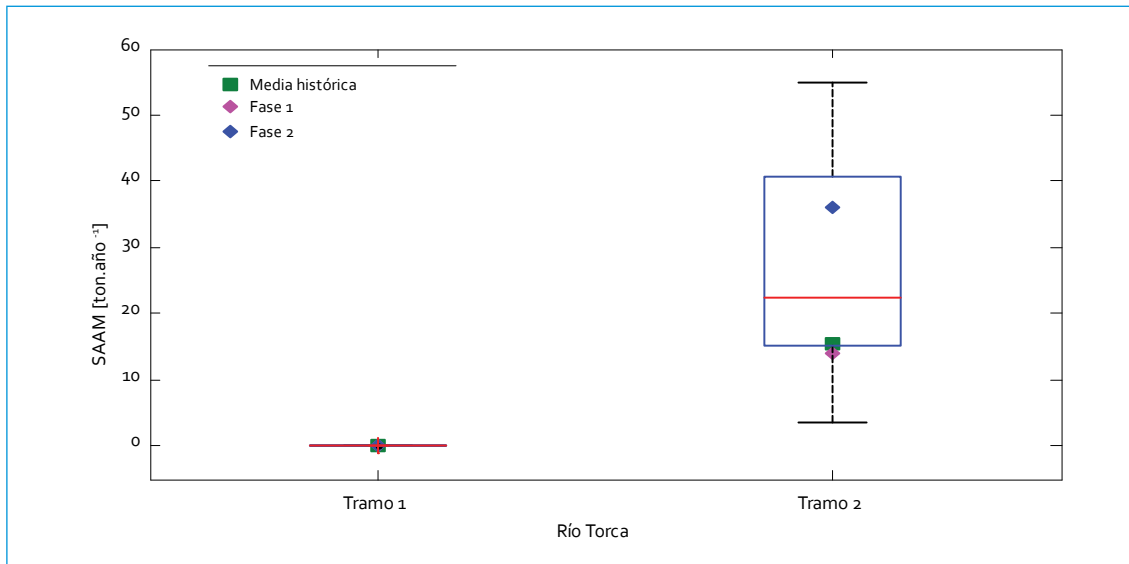


FIGURA 2.35. Perfil de cargas de SAAM: río Torca

En el tramo 2 las cargas de SAAM fueron más elevadas que en el tramo 1; además, la carga media (24 t/año) fue levemente superior a los resultados obtenidos en los monitoreos históricos (promedio: 15 t/año) y en la fase 1 (promedio: 14 t/año), lo que permite pensar en un aumento en las cargas de SAAM en este tramo. Sin embargo, frente a los resultados de la fase 2 (promedio: 36 t/año), la carga actual se ha reducido en 30%, aproximadamente. Este comportamiento denota que durante la fase 2 —periodo con predominancia húmeda— las cargas de SAAM fueron las más críticas, como respuesta a la condición hidrológica, ya que las concentraciones de SAAM no fueron altas. Al igual que la DBO_5 , las cargas de SAAM entre Jardines de Paz y San Simón tendieron a disminuir; igualmente, las concentraciones mostraron una reducción.

2.2. Calidad del agua (wqi)

En el tramo 1 de este río hay un punto de monitoreo (Bosque de Pinos) con un total de datos

de 146, de los cuales todos alcanzaron los objetivos de calidad (Resolución 5731 de 2008). La calidad del agua en este primer tramo para el periodo evaluado fue excelente (tabla 2.9).

En comparación con los resultados obtenidos anteriormente (2010-2011), la calidad del agua ha mejorado, pues pasó cambiando de categoría buena a excelente, aunque el valor del wqi no haya variado significativamente (pasó de 94 a 100). La única variación que tuvieron los datos de un periodo a otro fue en el P_{total} , ya que para 2010-2011 se encontró un valor que excedió el objetivo, mientras que en 2011-2012 todos los valores del P_{total} estuvieron por debajo del objetivo.

En el tramo 2 de este río hay tres puntos de monitoreo (Calle 161, Jardines de Paz y San Simón) con un total de datos de 436, de los cuales 70 no satisficieron los objetivos de calidad. El wqi para este tramo fue marginal. En este caso, el único parámetro que alcanzó el objetivo en un 100% fue el pH, mientras que los parámetros que menos lograron los objetivos fueron oxígeno disuelto, coliformes fecales y

TABLA 2.9. WQI del río Torca: tramo 1

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	0	F1	0,0
DBO ₅	0	F2	0,0
DQO	0	NSE	0,00
N _{total}	0	F3	0,00
P _{total}	0	WQI	100
SST	0		
Grasas y aceites	0		
Coliformes fecales	0		
pH	0		
SAAM	0		

SAAM, lo cual muestra que el deterioro de la calidad del agua en este tramo se da principalmente por las descargas de aguas residuales domésticas (tabla 2.10).

En cuanto al oxígeno disuelto, los datos que superaron el valor establecido en la Resolución 5731 de 2008 (38%) no presentaron un comportamiento en particular, sin importar

la hora del día, ni la fecha de los monitoreos, aun cuando cabe resaltar que la mayoría de estos datos se presentaron en San Simón, el punto más crítico del río en cuanto al oxígeno disuelto presente.

El 45% de los datos de coliformes fecales estuvieron por encima del objetivo de calidad (1×10^6 NMP/100 mL); estos datos corresponden

TABLA 2.10. WQI del río Torca: tramo 2

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	17	F1	90,0
DBO ₅	5	F2	16,1
DQO	6	NSE	0,08
N _{total}	4	F3	7,74
P _{total}	4	WQI	47,03
SST	1		
Grasas y aceites	3		
Coliformes fecales	17		
pH	0		
SAAM	13		

a los puntos Calle 161 y Jardines de Paz y muestran el efecto de las aguas residuales vertidas sobre la calidad del agua del río.

Por otro lado, en el punto de monitoreo San Simón, solo un dato de coliformes excedió el objetivo, lo que indica un mejoramiento de la calidad en este punto. Los tensoactivos presentes en el agua en este tramo del río también fueron críticos para la calidad del agua en Calle 161 y Jardines de Paz, puntos donde el 40% de los datos de SAAM superaron lo establecido en la Resolución 5731 de 2008.

En comparación con los resultados obtenidos anteriormente (2010-2011), la calidad del agua del segundo tramo se deterioró, puesto que pasó de categoría **regular** a **marginal** (pasó de un WQI de 71 en 2010-2011 a 47 en 2011-2012). Se notó que el deterioro está relacionado con la cantidad de variables y la cantidad de datos que no alcanzaron los objetivos; en 2010-2011 las variables que excedieron los

objetivos de calidad fueron cinco, mientras que para 2011-2012 la cantidad aumentó a nueve; igualmente, la cantidad de datos que no alcanzaron los objetivos pasó del 8% al 16%. Cabe resaltar que para los dos periodos las variables críticas fueron oxígeno disuelto, coliformes fecales y SAAM, y que los puntos con mayor frecuencia de incumplimiento fueron Calle 161 y Jardines de Paz, un sector con alto impacto por las descargas de agua residual.

En general, se pudo notar que para el primer tramo no hubo una variable crítica y que la calidad del agua fue **excelente**, mientras que para el segundo tramo el oxígeno disuelto, los coliformes fecales y los tensoactivos fueron las variables más críticas, con una calidad **marginal**. En comparación con los resultados obtenidos en el periodo 2010-2011, la calidad del agua ha mejorado para el primer tramo y empeorado en el segundo. En la figura 2.36 se presenta el mapa de calidad del río Torca.

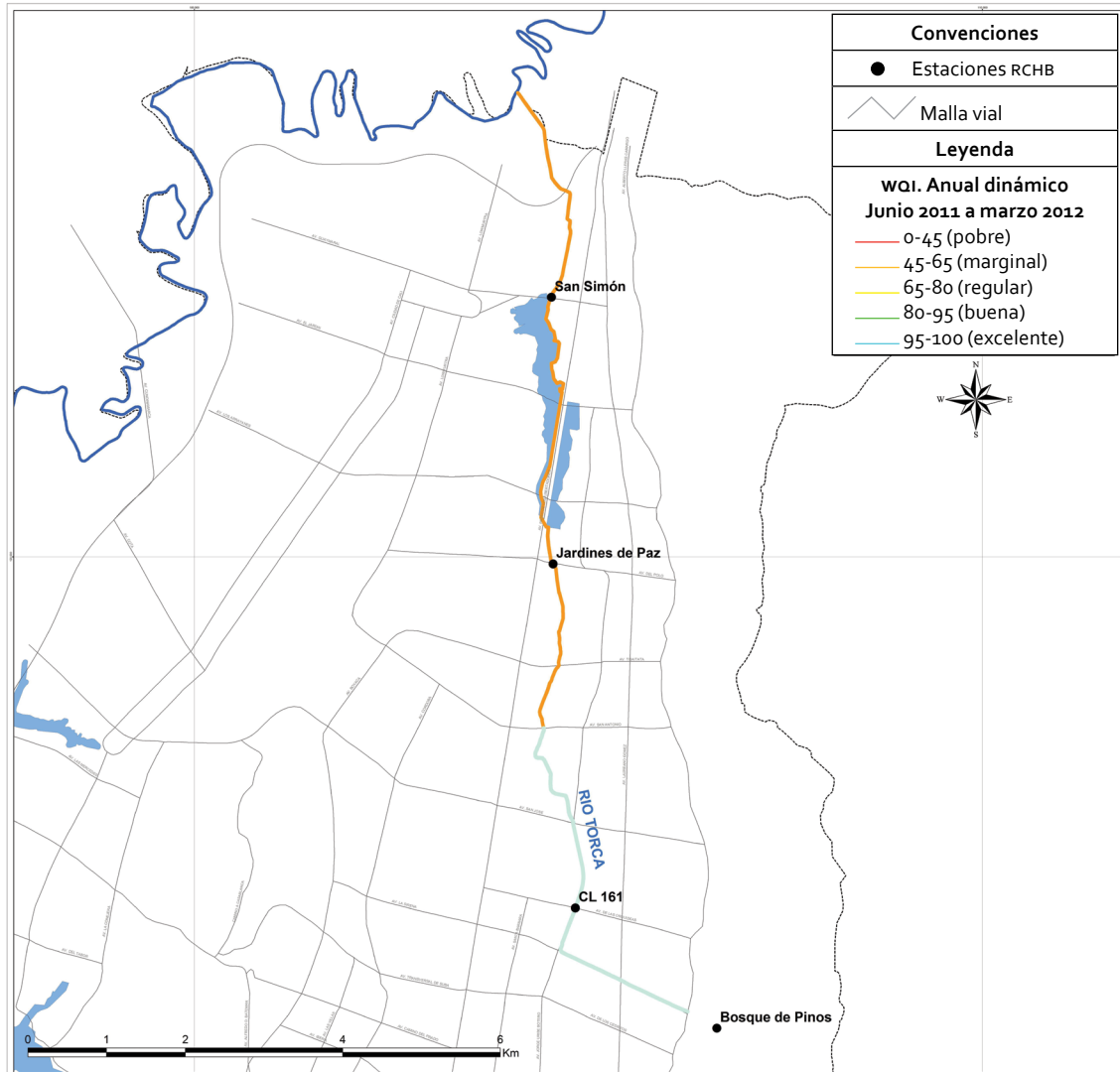


FIGURA 2.36. Mapa de calidad: río Torca

3. RÍO SALITRE

3.1. Resultados del monitoreo físicoquímico

El río Salitre se encuentra en una cuenca mayoritariamente doméstica, donde los vertimientos de aguas residuales afectan la calidad del agua del río a lo largo de su recorrido por la ciudad. Usualmente el primer punto de monitoreo (Parque Nacional) denota una buena calidad, pero a partir de la carrera 7.^a, donde el río es canalizado, las descargas de las aguas residuales aumentan en gran medida los contaminantes. A continuación se presenta un análisis temporal de la evolución de los parámetros de calidad a lo largo del tiempo; la nomenclatura en las gráficas de cada parámetro se detalla en la tabla 3.1.

El primer punto de monitoreo, Parque Nacional, evidencia una muy buena calidad de agua, pues a lo largo de los años se registraron concentraciones bajas de los contaminantes, junto con altas concentraciones de oxígeno disuelto. Luego de la entrada del río Salitre a la ciudad, los vertimientos de agua residual alteran las condiciones naturales: el primer impacto negativo sobre la calidad del agua. Lo anterior se refleja principalmente en los puntos Arzobispo y Calle 53, que muestran el mayor impacto; además, fueron los puntos donde se registraron los mayores aumentos a lo largo del tiempo, lo cual demuestra que la calidad ha desmejorado en los últimos años. Respecto a los demás puntos del río, la tendencia de los contaminantes fue mantenerse constantes a

TABLA 3.1. Nomenclatura: río Salitre

Nomenclatura	Nombre del punto	Nomenclatura	Periodo
SA-1	Parque Nacional	H	Históricos: 2006-2007
SA-2	Arzobispo	F1	Fase 1: 2009-2010
SA-3	Calle 53 con Carrera 30	F2	Fase 2: 2010-2011
SA-4	Carrefour Avenida 68	F3	Fase 3: 2011-2012
SA-5	Transversal 91		
SA-6	Salitre Alameda		

lo largo del tiempo, mostrando que las medidas de saneamiento implementadas en el río no reflejan un verdadero mejoramiento de la calidad. El único punto que tendió a mostrar una mejora fue Salitre Alameda, el cual está altamente influenciado por su cercanía al río Bogotá, lo cual puede generar un remanso y una dilución de los contaminantes, especialmente en época de lluvias, como la que se presentó en los últimos años en la ciudad.

3.1.1. Validación de datos: diagramas de cajas

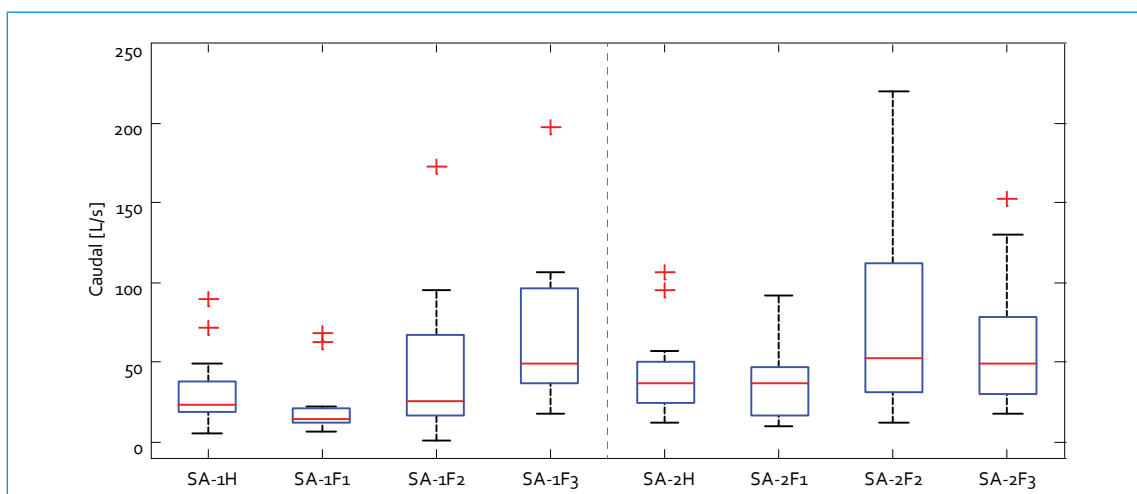
3.1.1.1. Caudal

El caudal del río Salitre muestra un aumento a lo largo de su recorrido por la ciudad (figura 3.1). A partir de los resultados, se observa que la cuenca alta del río cuenta con bajos caudales (SA-1 y SA-2); los cambios más significativos de caudal se presentan entre Arzobispo (SA-2) y Calle 53 (SA-3), y entre Calle 53 (SA-3) y Carrefour Avenida 68 (SA-4), como consecuencia de vertimientos de aguas residuales en el sector.

En los dos últimos puntos del río, SA-5 y SA-6, los caudales son los más elevados y tienden a ser más homogéneos. Dado que cada periodo de monitoreo tuvo una condición hidrológica particular, en términos generales se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Caudales constantes: Arzobispo, Carrefour Avenida 68 (excepto la fase 1, que presentó bajos caudales).
- Aumentos en caudal: Parque Nacional (52% F3 vs. H), Calle 53 (53% F3 vs. H), Transversal 91 (50% F3 vs. H) y Salitre Alameda (57% F3 vs. H).

A partir de estos comportamientos se infiere que las temporadas más secas de monitoreo fueron los históricos (2006-2007) y la fase 1 (2009-2010). Las últimas fases, desde el segundo semestre del 2010 hasta el primer semestre del 2012, reflejan la temporada de lluvia que se presentó en la ciudad y que aumentó de manera significativa los caudales del río Salitre en la mayoría de puntos.



Continúa

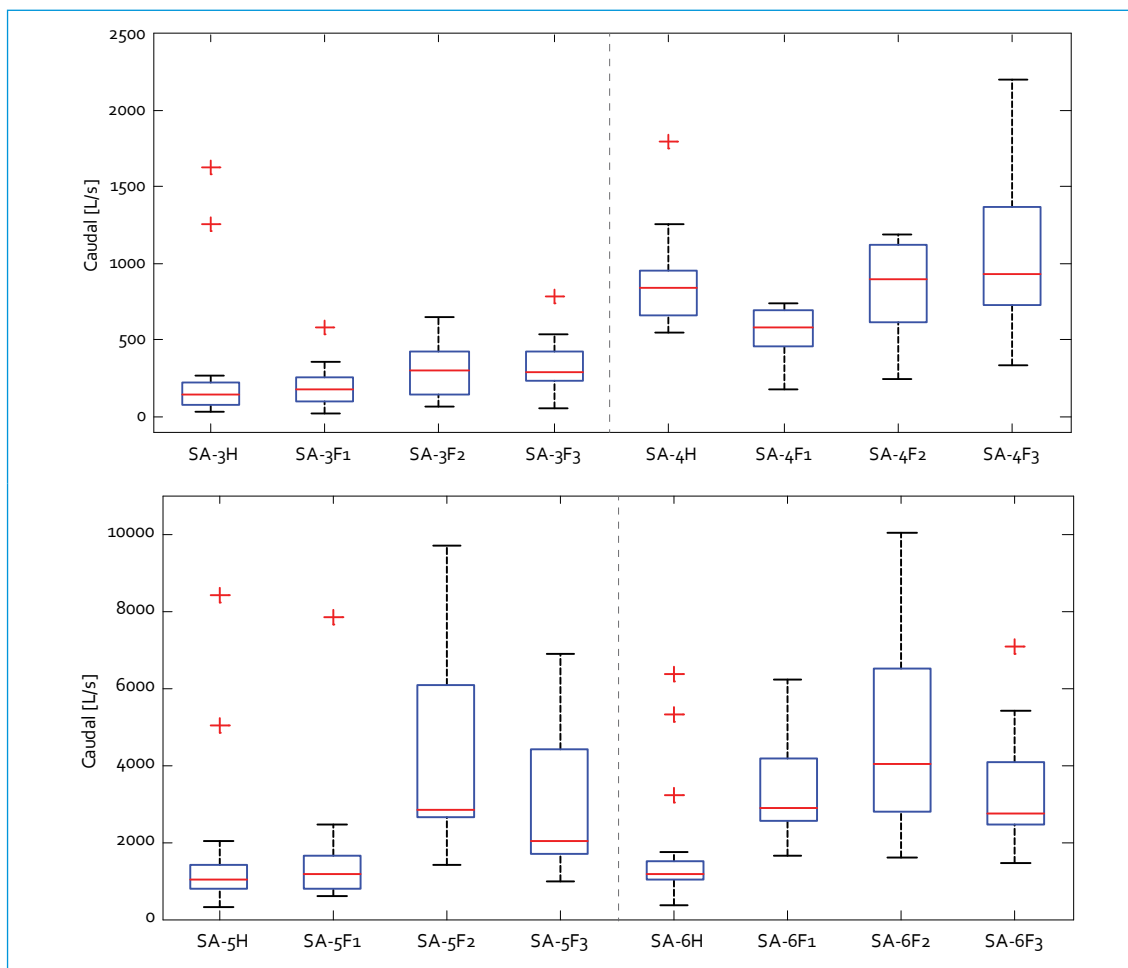


FIGURA 3.1. Perfil del caudal: río Salitre

3.1.1.2. Alcalinidad

La alcalinidad del río Salitre muestra un aumento hasta el punto Carrefour Avenida 68 (SA-4); después de este punto la alcalinidad se homogeneiza y se mantiene relativamente constante hasta la desembocadura (figura 3.2). A partir de los resultados se observa que la cuenca alta del río cuenta con bajas alcalinidades (SA-1 y SA-2) y que los cambios más significativos de alcalinidad se presentan entre Parque Nacional (SA-1) y Arzobispo (SA-2) y entre Arzobispo (SA-2) y Calle 53 (SA-3), como consecuencia de vertimientos de aguas resi-

duales en el sector. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Calle 53, Arzobispo y Transversal 91 (excepto la fase 3, en la cual las alcalinidades tendieron a aumentar) y Salitre Alameda.
- Disminuciones: Parque Nacional (84% F3 vs. F1) y Carrefour Avenida 68 (45% F3 vs. F1).

A partir de estos comportamientos se concluye que la alcalinidad no varía significativa-

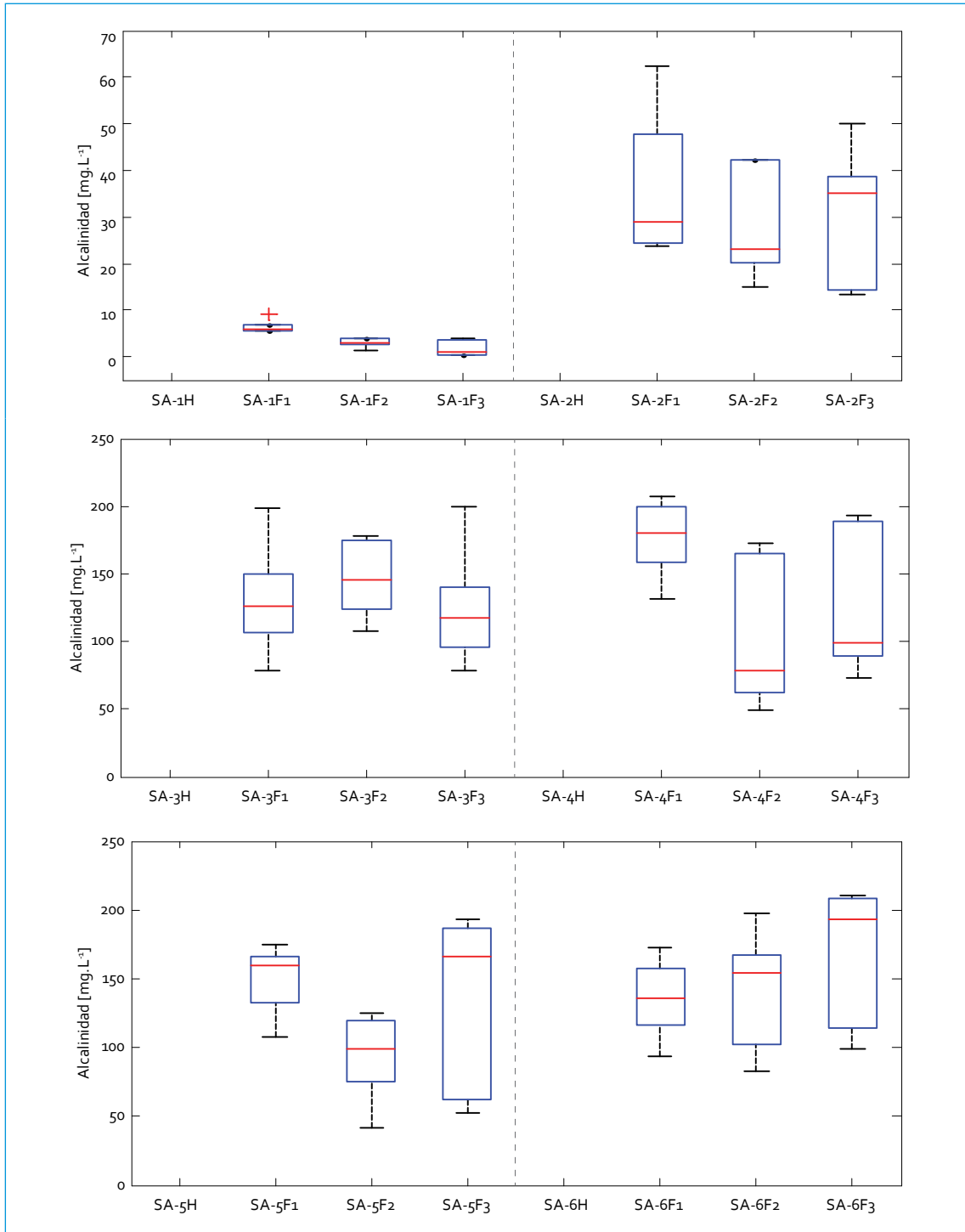


FIGURA 3.2. Perfil de alcalinidad: río Salitre

mente en la mayoría de puntos del río Salitre, aunque se resalta que en el primer punto se presentaron disminuciones importantes que

pueden relacionarse con la temporada húmeda de las últimas fases.

3.1.1.3. Dureza

La dureza del río Salitre muestra un aumento hasta el punto Calle 53, después del cual tiende

a mantenerse relativamente constante hasta la desembocadura (figura 3.3). Se aprecia que la cuenca alta del río cuenta con concentraciones bajas de dureza, y los cambios más

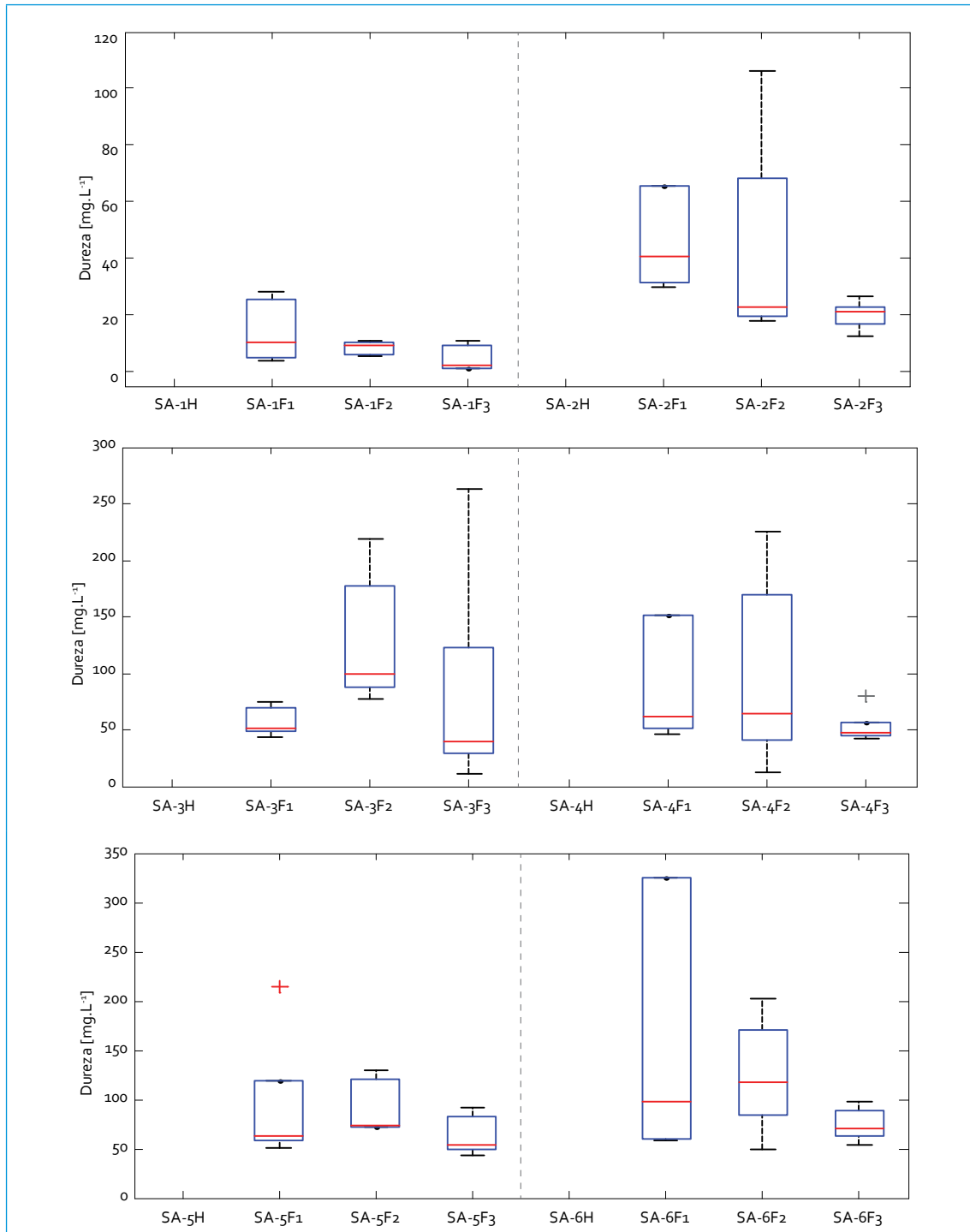


FIGURA 3.3. Perfil de dureza: río Salitre

significativos se presentan entre Parque Nacional (SA-1) y Arzobispo (SA-2). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

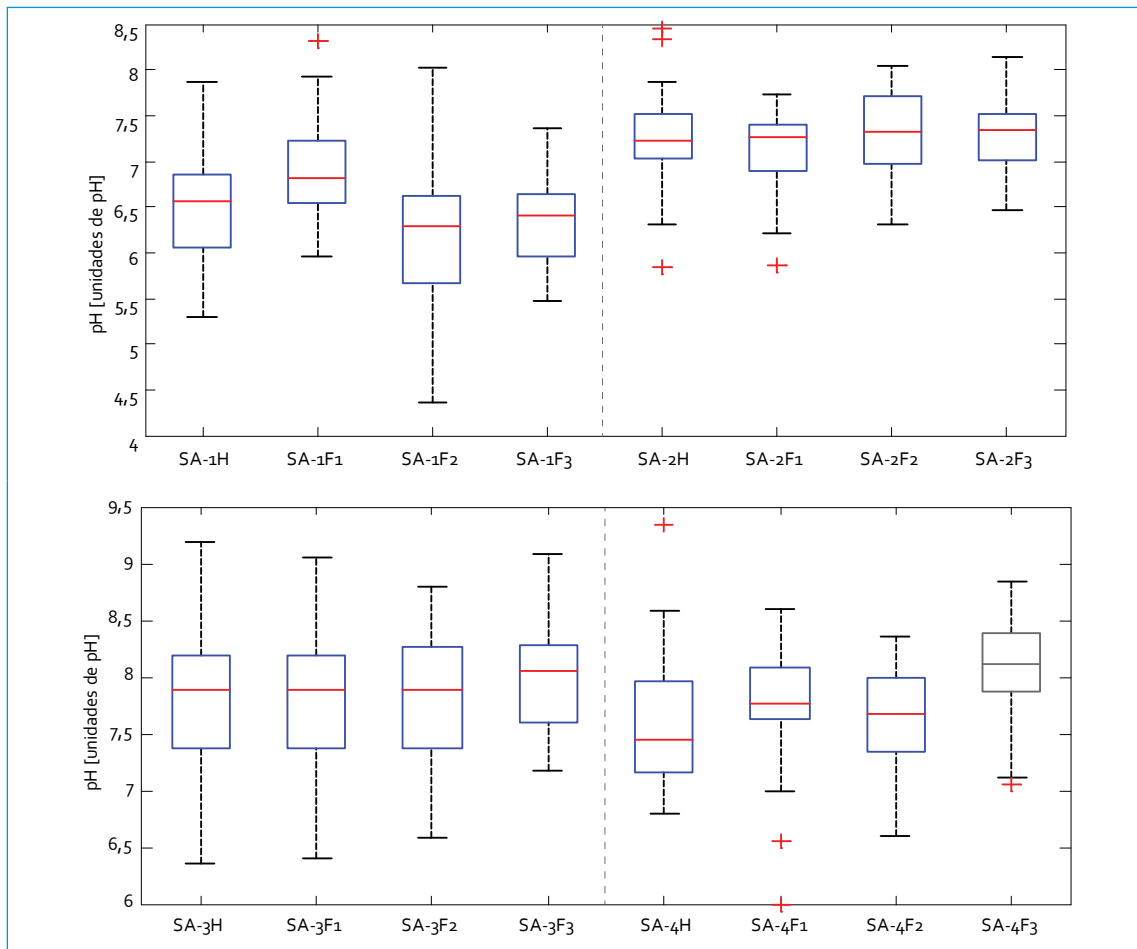
- Constantes: Calle 53, Transversal 91, Carrefour Avenida 68 y Salitre Alameda (excepto la fase 2 en los dos últimos puntos, donde las durezas tendieron a aumentar).
- Disminuciones: Parque Nacional (74% F₃ vs. F₁) y Arzobispo (48% F₃ vs. F₁).

Al igual que la alcalinidad, en el comportamiento de la dureza se aprecia que no hay cambios significativos en la mayoría de puntos

del río Salitre; sin embargo, en el primer punto se presentaron disminuciones importantes que pueden relacionarse con la temporada húmeda de las últimas fases.

3.1.1.4. pH

El pH del río Salitre mostró un leve aumento hasta Calle 53 y luego una ligera disminución aguas abajo. A diferencia de otros parámetros analizados, el punto que mayor variabilidad mostró fue Parque Nacional (figura 3.4). A partir de los resultados se ve que la cuenca alta del río cuenta con bajos valores de pH, y que los cambios de pH se presentaron entre Parque Nacional y Arzobispo, y entre Arzobispo



Continúa

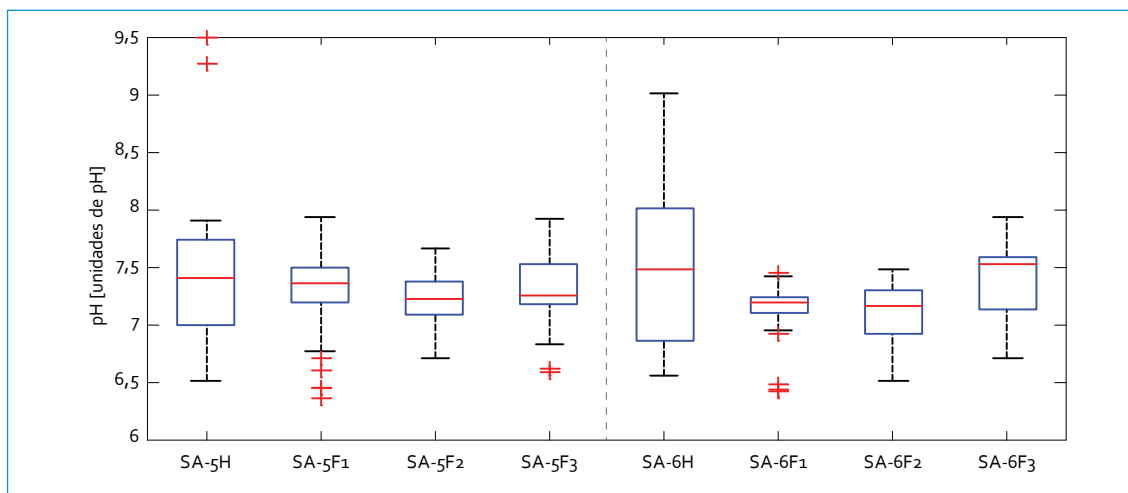


FIGURA 3.4. Perfil de pH: río Salitre

y Calle 53, como consecuencia de vertimientos de aguas residuales en el sector. Para los últimos puntos de monitoreo (Transversal 91 y Salitre Alameda) el comportamiento del pH fue relativamente constante: mostró un equilibrio del pH en el último tramo del río. Esto se debe a que en este punto los altos niveles de saturación por efectos de la contaminación y sus condiciones hidráulicas (poca pendiente y velocidad de flujo) amortiguan el efecto de las descargas domésticas. En términos generales, se notó un comportamiento constante a lo largo del tiempo, con variaciones poco significativas.

3.1.1.5. Conductividad

La conductividad del río Salitre muestra un aumento hasta el punto Calle 53, después del cual tiende a mantenerse constante hasta la desembocadura (figura 3.5). La cuenca alta del río cuenta con bajas conductividades, y los cambios más significativos se presentan entre Parque Nacional y Arzobispo, y entre Arzobispo y Calle 53, sectores donde se recibe una cantidad de aguas residuales suficiente

para cambiar la condición natural del río. En términos generales, se notó un comportamiento constante de la conductividad a lo largo del tiempo. Al igual que la temperatura y el pH, en el comportamiento de la conductividad no hubo cambios significativos en la mayoría de puntos del río Salitre; no obstante, en los últimos dos puntos hubo variaciones entre las fases: en la 2 se presentó la menor conductividad en Transversal 91 y en la 1 se presentaron las más bajas conductividades en Salitre Alameda.

3.1.1.6. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto del río Salitre muestra un decremento de sus niveles durante su recorrido por la ciudad (figura 3.6); la cuenca alta del río cuenta con altas concentraciones de oxígeno disuelto, mientras que los cambios más significativos de nuevo se presentan entre Arzobispo y Calle 53, y entre Calle 53 y Carrefour Avenida 68, como consecuencia de la oxidación de la materia orgánica proveniente de aguas residuales en el sector. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

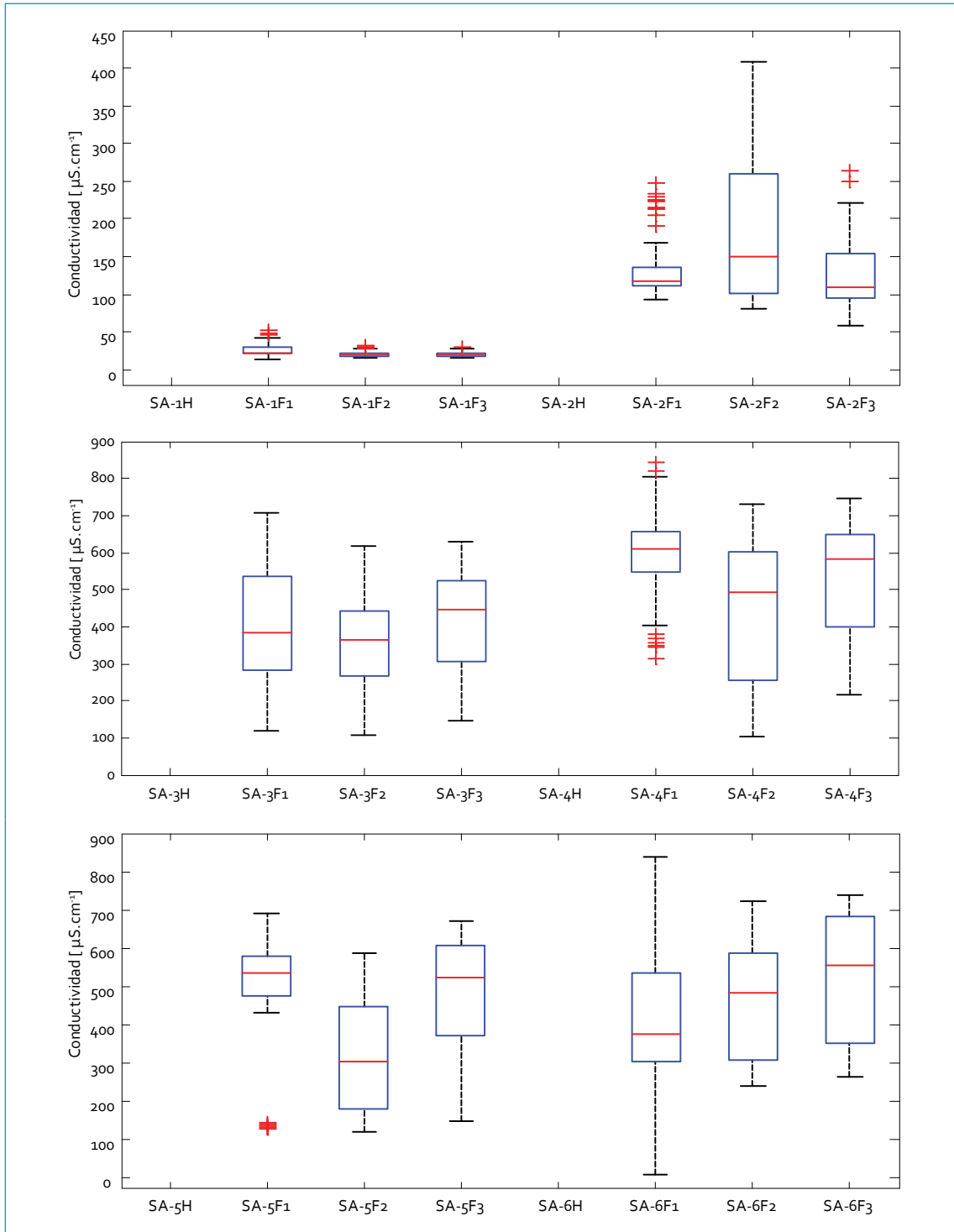


FIGURA 3.5. Perfil de conductividad: río Salitre

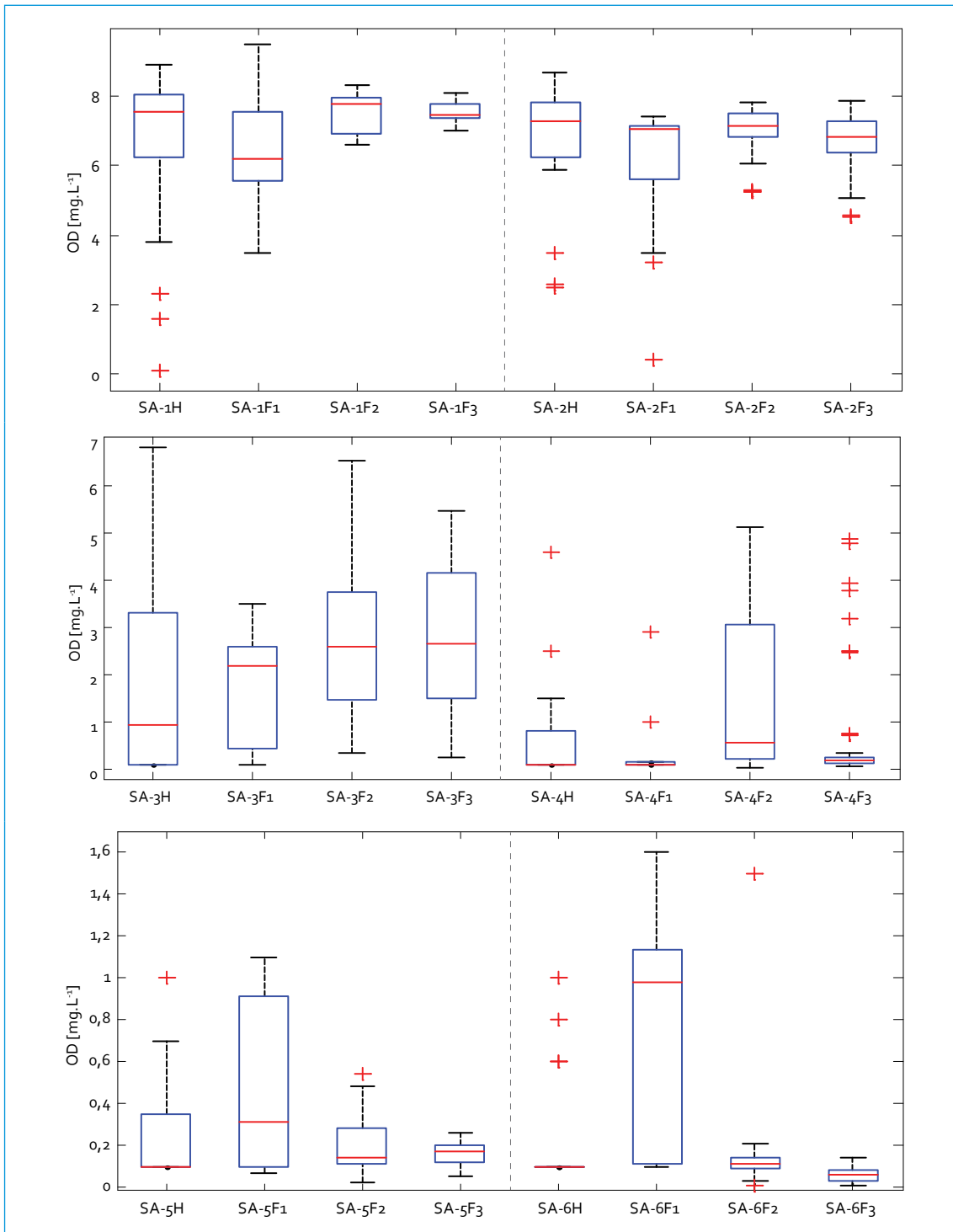


FIGURA 3.6. Perfil de oxígeno disuelto: río Salitre

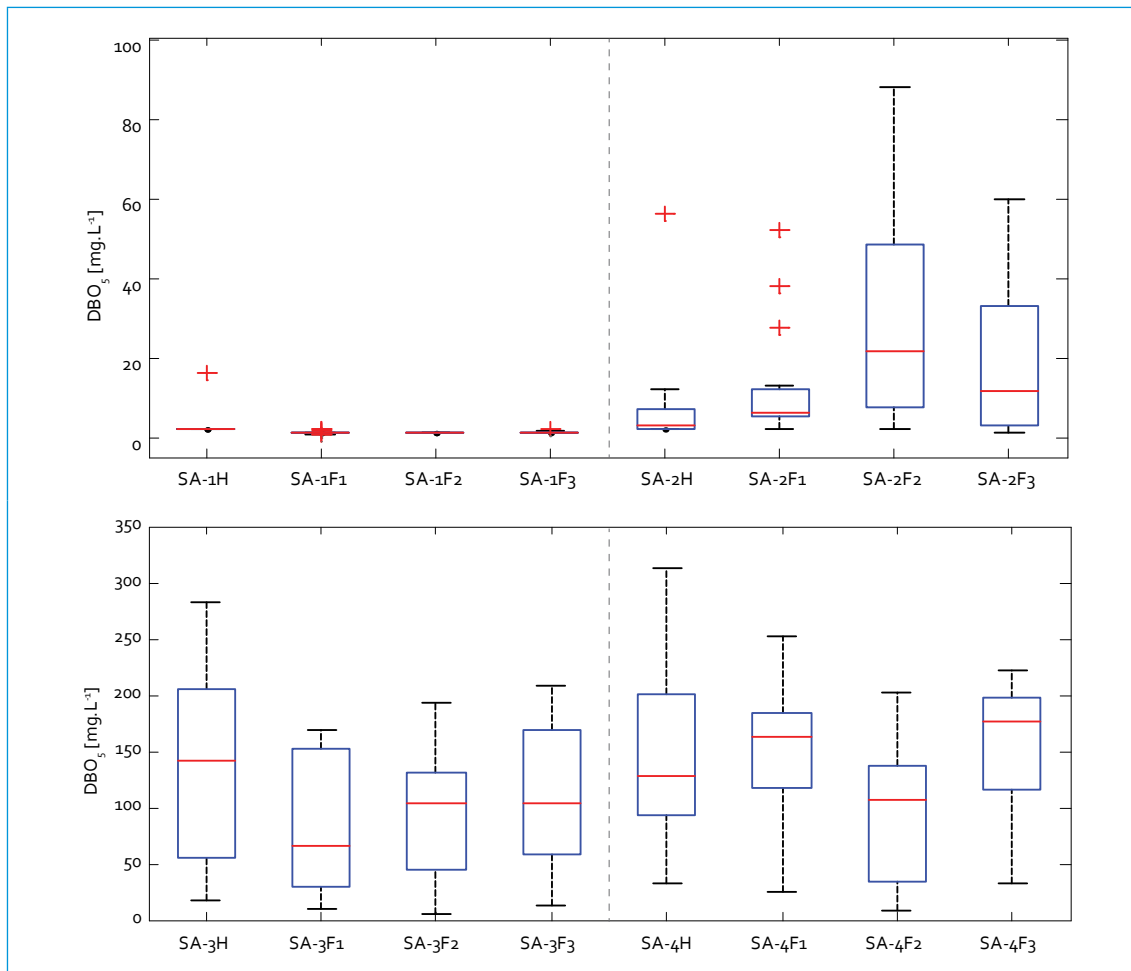
- Constantes: Parque Nacional, Arzobispo, Calle 53 (excepto los históricos, en los que las concentraciones de oxígeno tendieron a ser bajas).
- Disminuciones: Salitre Alameda (40% F₃ vs. H).
- Aumentos: Carrefour Avenida 68 (49% F₃ vs. H) y Transversal 91 (41% F₃ vs. H).

3.1.1.7. DBO₅

La DBO₅ del río Salitre muestra un aumento hasta el punto Carrefour Avenida 68; de allí aguas abajo las concentraciones tienden a disminuir (figura 3.7). La cuenca alta del río cuenta

con las más bajas concentraciones de DBO₅, y los cambios más significativos se presentan de nuevo entre los puntos que mostraron estas grandes variaciones para los parámetros previos. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Parque Nacional, Calle 53 (excepto la fase 1, en la cual la DBO₅ tendió a disminuir), Carrefour Avenida 68 y Transversal 91 (excepto la fase 2 en los últimos dos puntos, en los cuales la DBO₅ tendió a disminuir) y Salitre Alameda.
- Aumentos: Arzobispo (74% F₃ vs. H).



Continúa

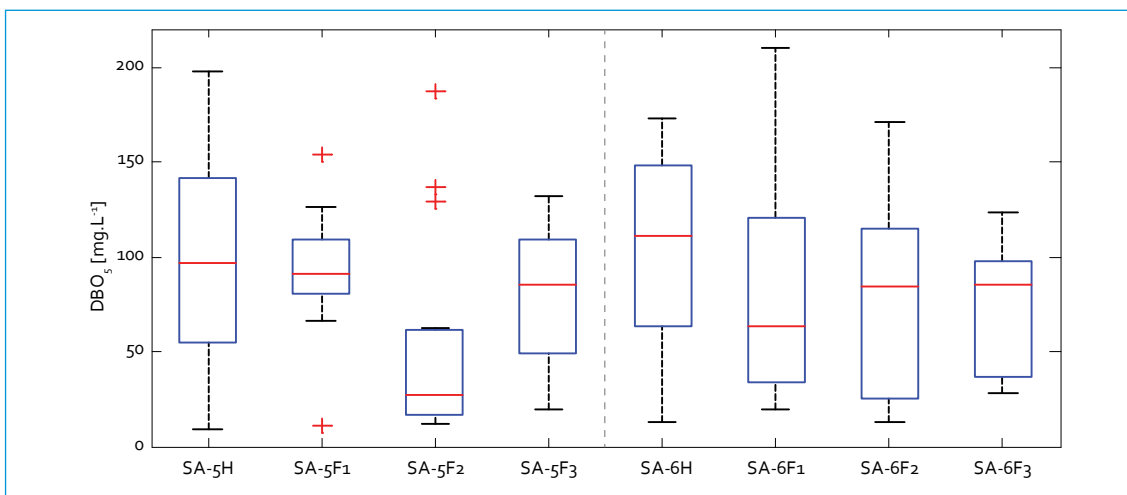


FIGURA 3.7. Perfil de DBO₅: río Salitre

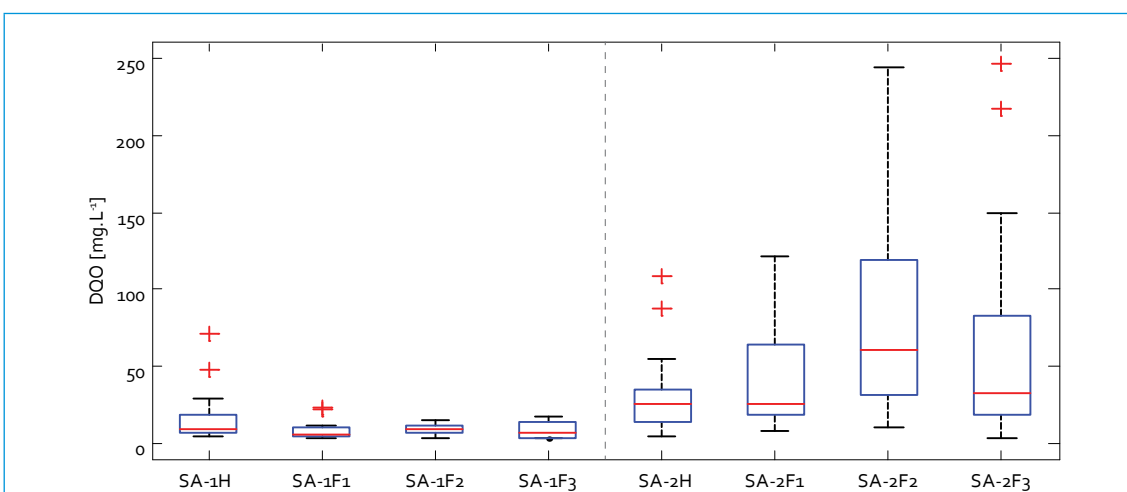
La DBO₅ no varió significativamente en la mayoría de puntos del río Salitre, aun cuando entre Calle 53 y Transversal 91 las fases 1 y 2 tendieron a mostrar concentraciones más bajas.

3.1.1.8. DQO

La DQO del río Salitre, al igual que la DBO₅, muestra un aumento hasta el punto Carrefour Avenida 68, a partir de donde las concentraciones

tienen tendencia a disminuir o a mantenerse constantes hasta la desembocadura (figura 3.8). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Arzobispo (excepto la fase 2, en la cual la DQO tendió a aumentar), Calle 53, Carrefour Avenida 68, Transversal 91 y Salitre Alameda.
- Disminuciones: Parque Nacional (32% F₃ vs. H).



Continúa

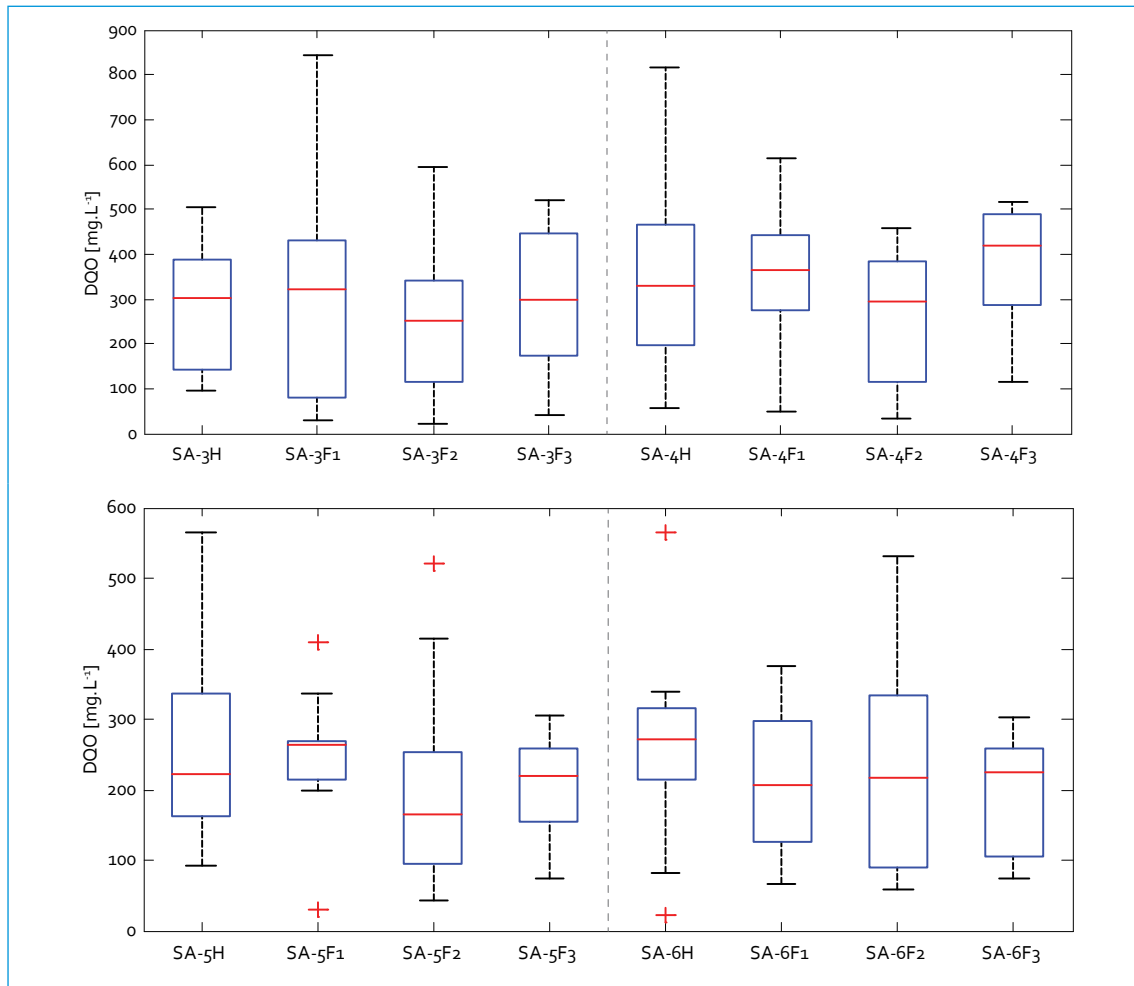


FIGURA 3.8. Perfil de DOO: río Salitre

La DOO no varía significativamente en la mayoría de puntos del río Salitre. Sin embargo, en los monitoreos de la fase 2 (2010-2011) la DOO en Arzobispo tendió a aumentar.

3.1.1.9. SST

El comportamiento de los SST en el río Salitre muestra que los mayores niveles se encuentran en Calle 53 y Carrefour Avenida 68 (figura 3.9). En los monitoreos de la fase 1 (2010-2011), las concentraciones de los SST en Arzobispo y en Calle 53 tendieron a ser bajas. Este comportamiento no difiere mucho de los resultados de

la materia orgánica (DBO_5 y DOO). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Parque Nacional (excepto la fase 2, en la cual los SST tendieron a disminuir), Calle 53 (excepto la fase 1, en la cual los SST tendieron a disminuir), Transversal 91 y Salitre Alameda (excepto los históricos, en los cuales los SST tendieron a ser más altos).
- Aumentos: Arzobispo (33% F3 vs. H) y Carrefour Avenida 68 (30% F3 vs. H).

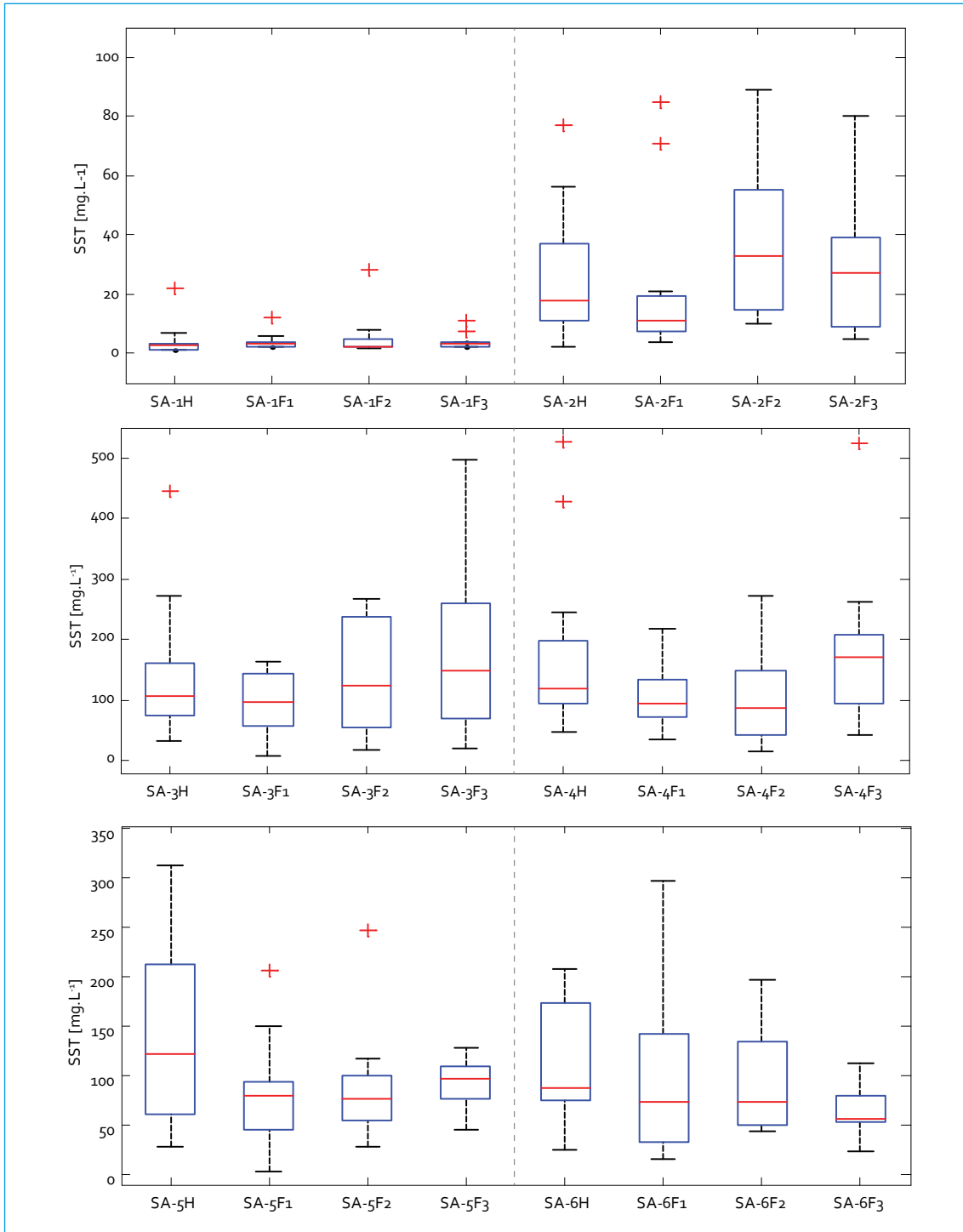


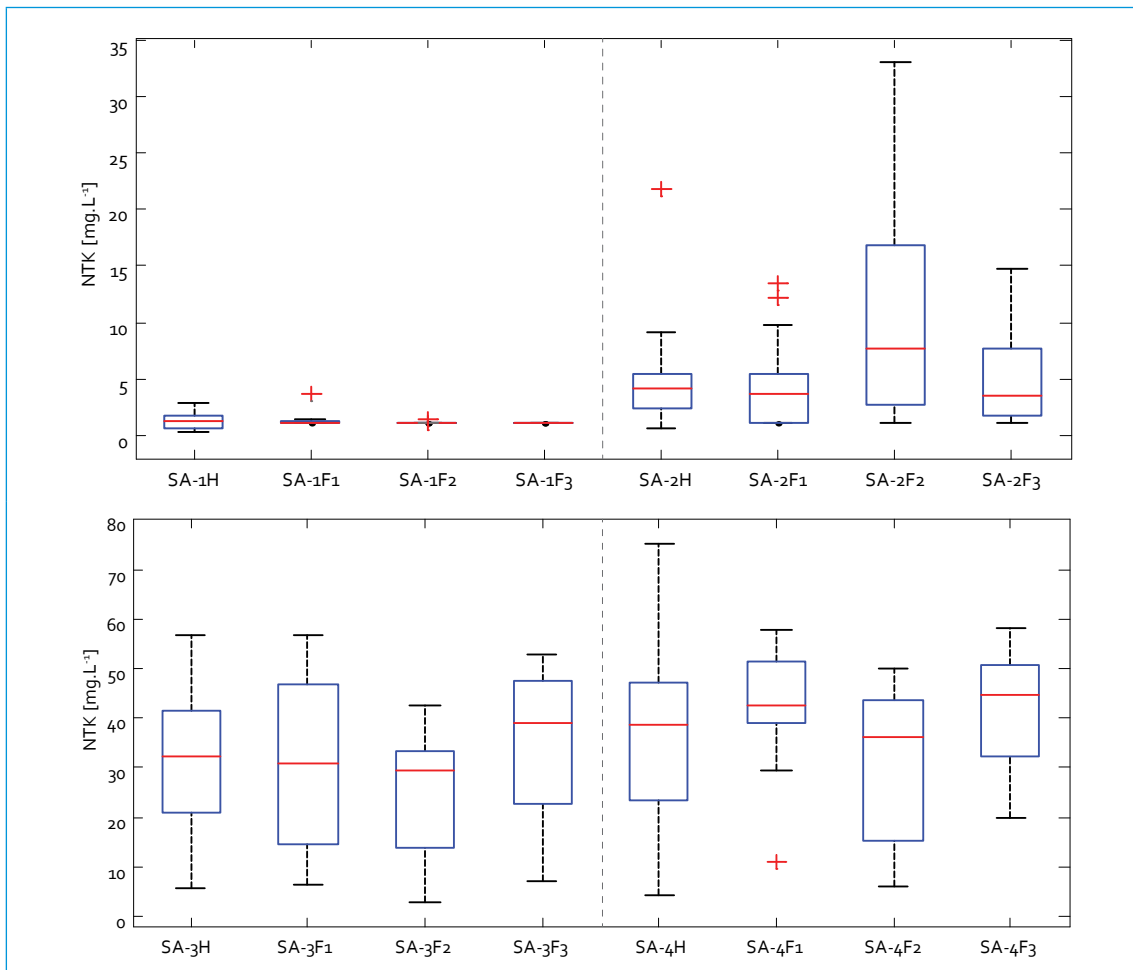
FIGURA 3.9. Perfil de SST: río Salitre

3.1.1.10. Nitrógeno total

En este ítem se analizan las diversas especies de nitrógeno (N_{total} , NTK, $N_{amoniaca}$, nitritos y nitratos) que han sido monitoreadas en el río Salitre. En la figura 3.10 se presenta el perfil del NTK, el cual es muy similar al del nitrógeno total (figura 3.11). Se aprecia un aumento importante entre Parque Nacional y Calle 53, y un leve descenso entre Carrefour Avenida 68 y Transversal 91. La diferencia entre el NTK y el N_{total} es la cantidad de nitritos y nitratos en el agua; se encontró que los puntos de monitoreo que presentaron mayores concentraciones de

nitritos, y especialmente de nitratos, fueron Parque Nacional y Arzobispo. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Parque Nacional, Arzobispo (excepto la fase 2, en la cual el NTK y el N_{total} tendieron a aumentar), Calle 53, Carrefour Avenida 68 y Transversal 91 (excepto la fase 2, en la cual el NTK y el N_{total} tendieron a disminuir).
- Aumentos: Salitre Alameda (40% F3 vs. F1, tanto NTK como N_{total}).



Continúa

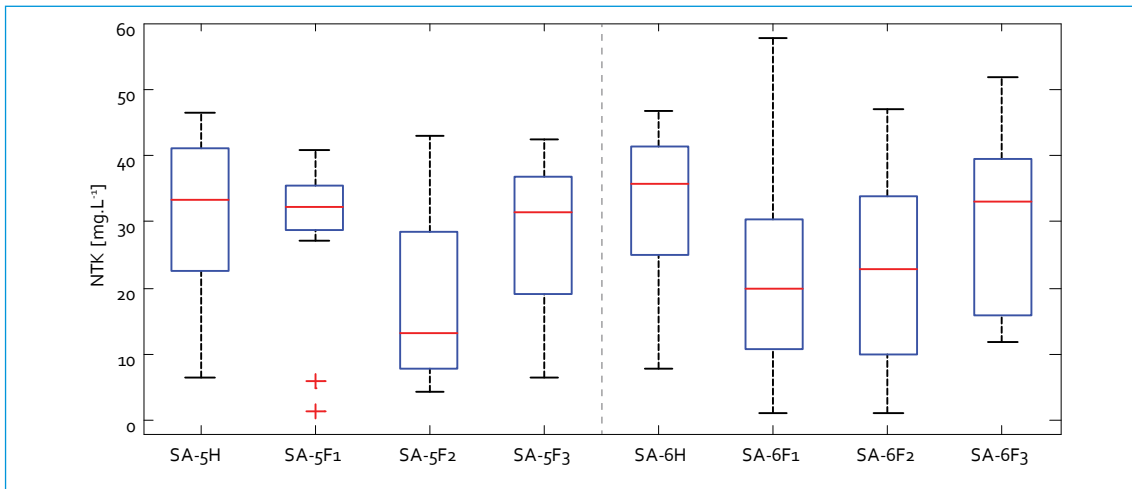
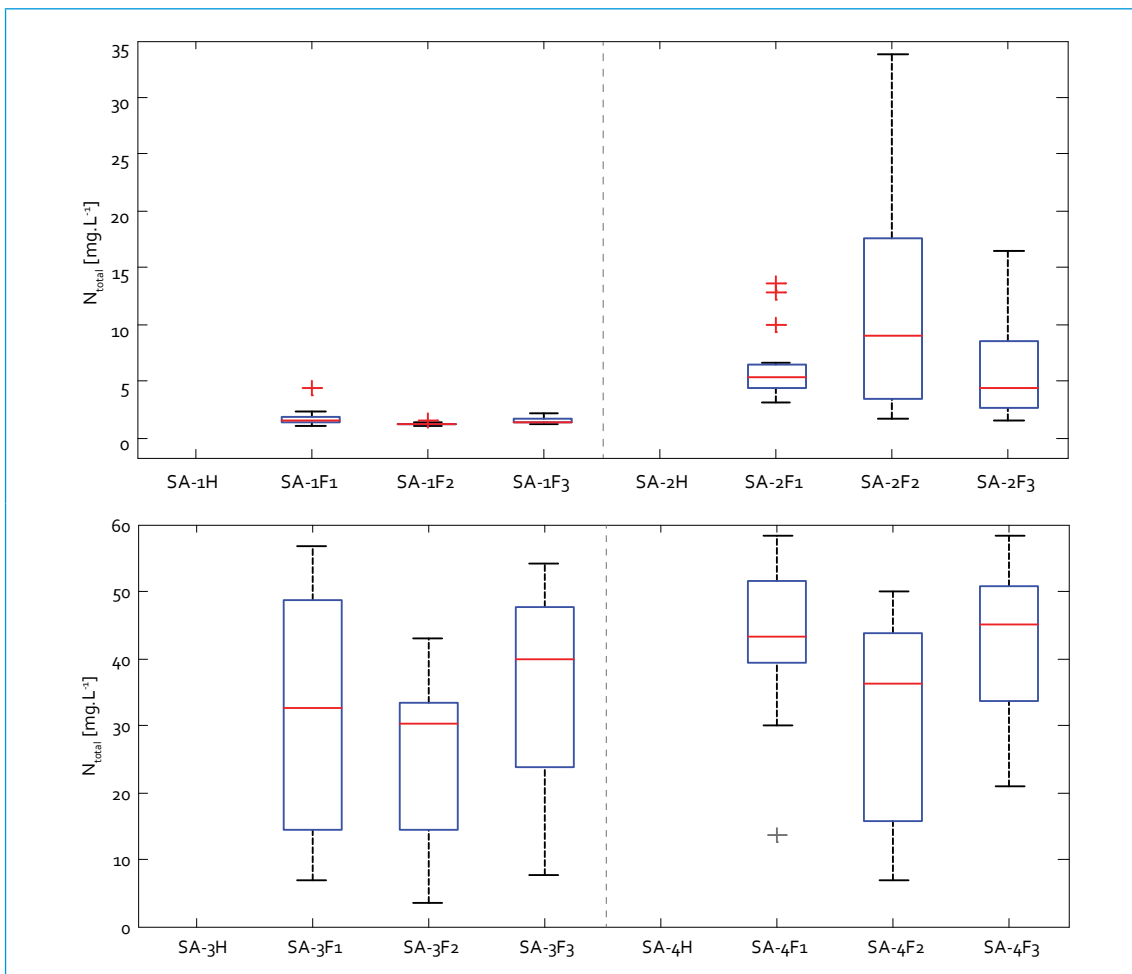


FIGURA 3.10. Perfil del NTK: río Salitre



Continúa

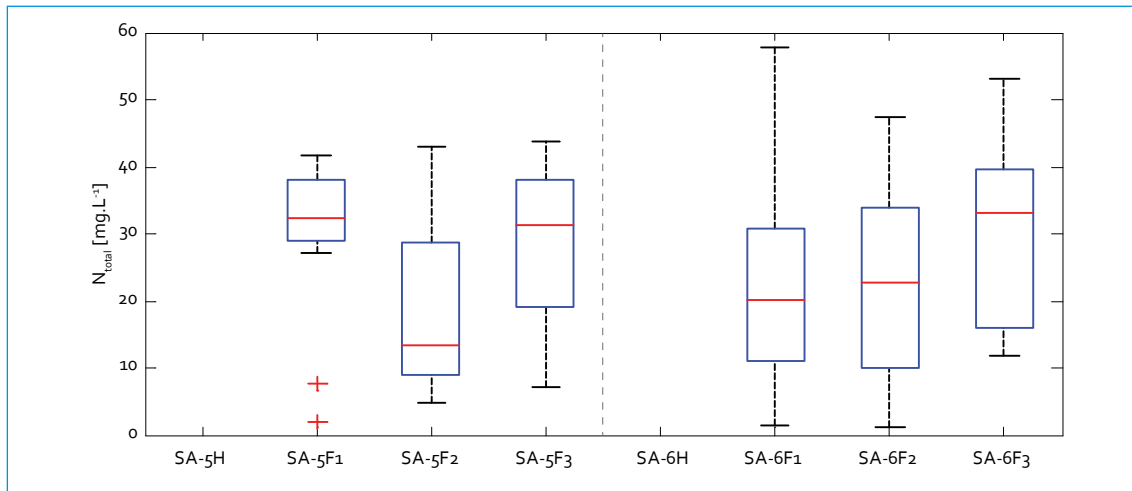


FIGURA 3.11. Perfil del N_{total} : río Salitre

A partir de estos comportamientos se puede inferir que el NTK y N_{total} no variaron significativamente en la mayoría de puntos del río Salitre.

En la figura 3.12 se presenta el comportamiento del $N_{amoniacal}$ del río Salitre a lo largo de su recorrido por la ciudad: un aumento hasta el punto Carrefour Avenida 68, y a partir de allí, un comportamiento relativamente constante hasta la desembocadura. Los cambios más importantes de las concentraciones de $N_{amoniacal}$ en el río se presentaron entre Parque Nacional y Arzobispo, y entre Arzobispo y Calle 53. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Parque Nacional, Arzobispo y Transversal 91 (excepto la fase 2 en los últimos dos puntos, en la cual el $N_{amoniacal}$ tendió a disminuir).
- Disminuciones: Calle 53 (47% F3 vs. H) y Carrefour Avenida 68 (43% F3 vs. H).
- Aumentos: Salitre Alameda (47% F3 vs. F1).

El comportamiento de los nitritos y nitratos en el río Salitre muestra que las mayores concentraciones se encuentran en Arzobispo y Calle 53, mientras que las menores se dan en la parte baja del río (figuras 3.13 y 3.14). Dado que el proceso de nitrificación necesita tanto una cantidad determinada de nitrógeno como que exista oxígeno disuelto en el río, en Parque Nacional la nitrificación está limitada por la baja cantidad de nitrógeno; sin embargo, en Arzobispo existen aportes importantes de nitrógeno, y como se presentaron buenos niveles de oxígeno, las condiciones fueron propicias para la nitrificación. Por esto, las concentraciones de nitritos y nitratos aumentaron considerablemente entre el primer punto y el segundo; en los puntos bajos donde el oxígeno disuelto era mínimo las concentraciones de nitratos y nitritos fueron bajas. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos para los nitratos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Parque Nacional (excepto la fase 2, en la cual los nitratos tendieron a disminuir), Arzobispo y Calle 53 (excepto

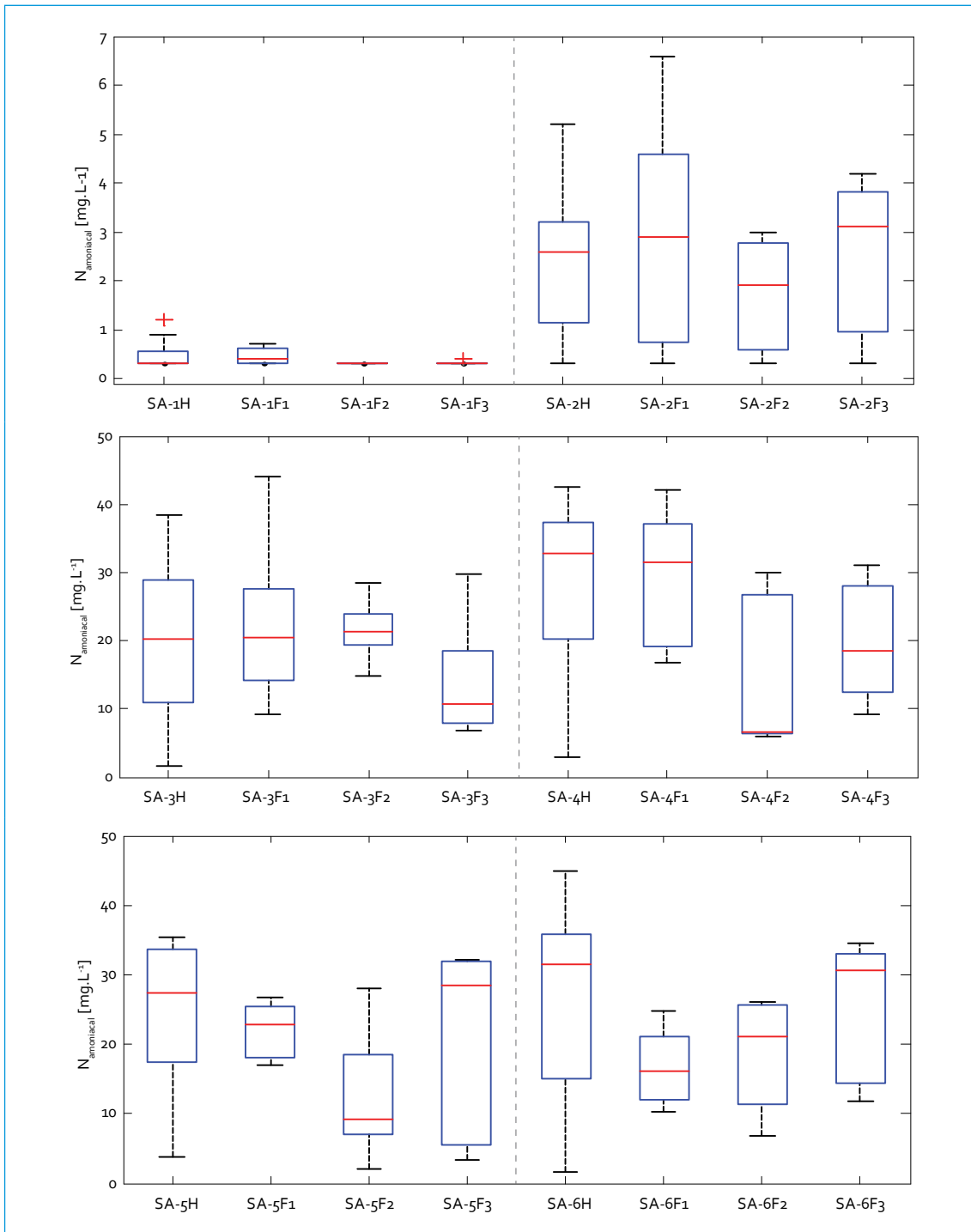


FIGURA 3.12. Perfil del $N_{amoniacal}$: río Salitre

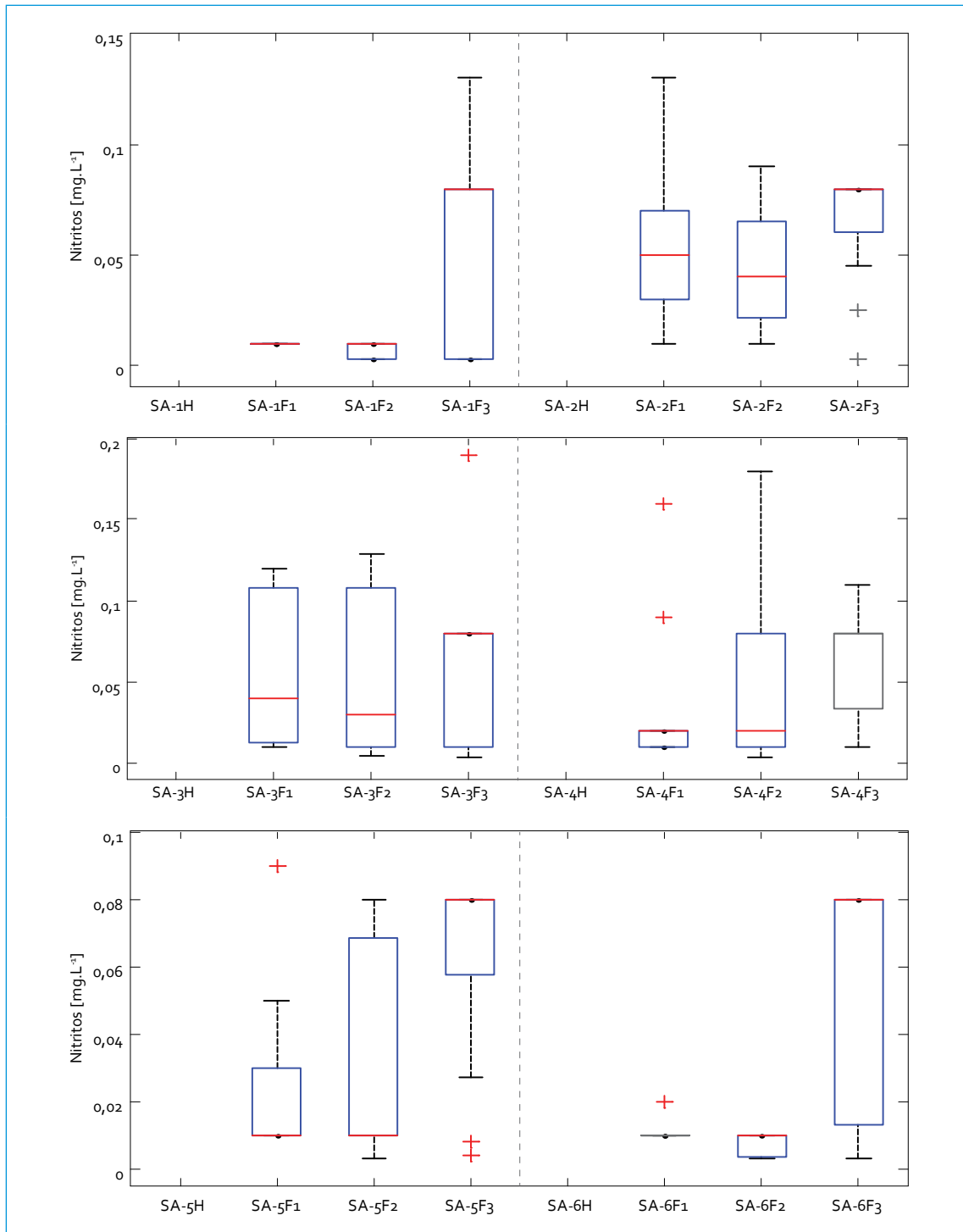


FIGURA 3.13. Perfil de nitritos: río Salitre

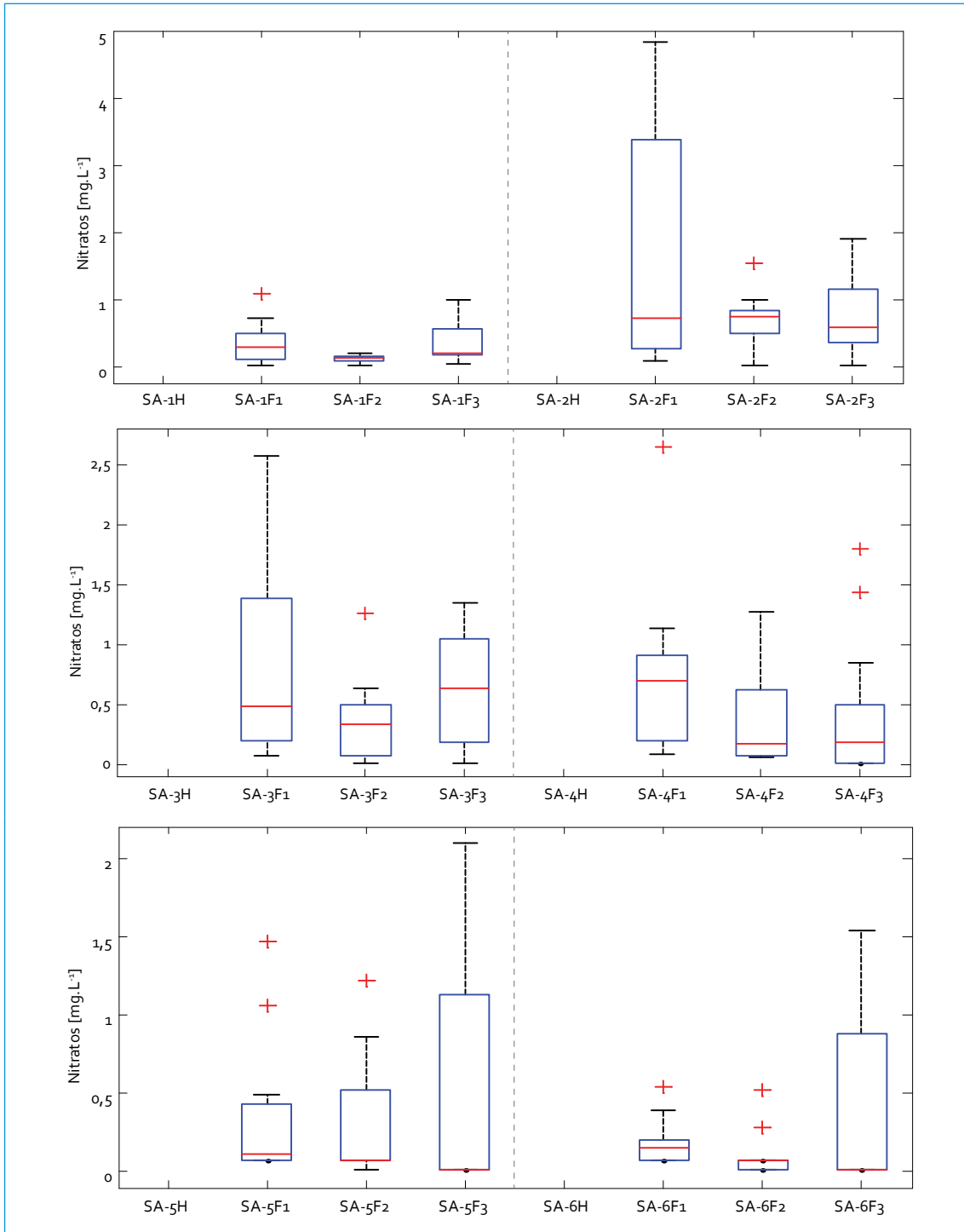


FIGURA 3.14. Perfil de nitratos: río Salitre

la fase 2, en la cual los nitratos tendieron a disminuir).

- Disminuciones: Carrefour Avenida 68 (74% F3 vs. F1), Transversal 91 y Salitre Alameda (en estos puntos la fase 3 presentó una mayor cantidad de datos por debajo del límite de detección que la fase 1).

Se notó, en general, un comportamiento constante para los nitritos a lo largo del tiempo. Se debe resaltar que hubo cambios en el límite de detección y, por lo tanto, las variaciones corresponden a estos cambios, no a aumentos o disminuciones en las concentraciones de nitritos en el río Salitre (las medianas cercanas a 0,08 mg/L corresponden al límite de detección de la fase 3, y las medianas cercanas a 0,003 mg/L, al límite de detección de las fases 1 y 2).

3.1.1.11. Fósforo total

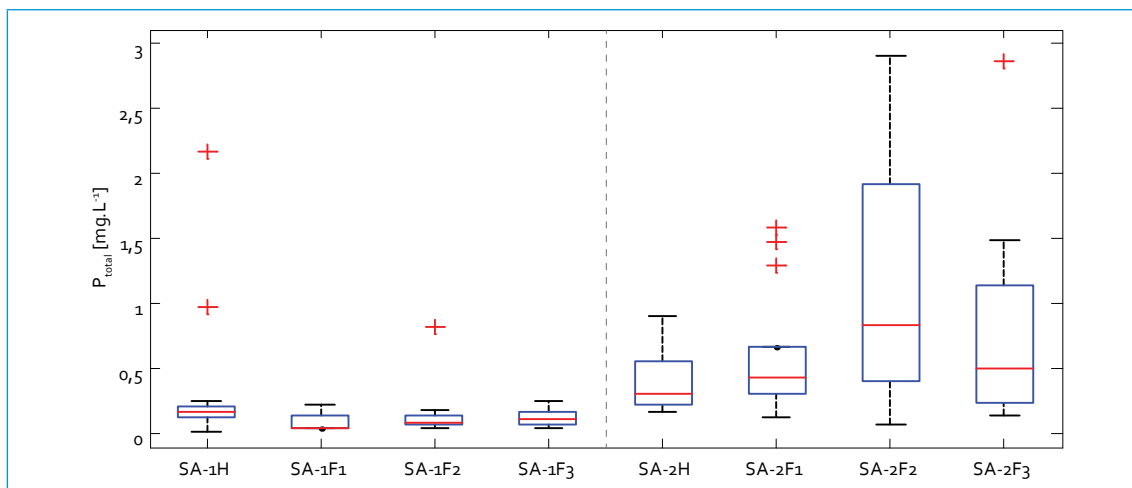
El fósforo total del río Salitre muestra un aumento hasta el punto Carrefour Avenida 68, después del cual, aguas abajo, el fósforo tiende a disminuir o a mantenerse constante (figura

3.15). A partir de los resultados, se pudo observar que la cuenca alta del río cuenta con bajas concentraciones de fósforo y que los cambios más significativos se presentan entre Arzobispo y Calle 53, sector que es el de mayor impacto por las descargas de agua residual en el río. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Calle 53, Transversal 91 (excepto la fase 2, que presentó bajas concentraciones de fósforo), Salitre Alameda.
- Disminuciones: Parque Nacional (37% F3 vs. H) y Carrefour Avenida 68 (33% F3 vs. H).
- Aumentos: Arzobispo (37% F3 vs. H).

3.1.1.12. Grasas y aceites

La cuenca alta del río presentó las más bajas concentraciones de grasas y aceites, y el cambio más significativo se dio, de nuevo, entre Arzobispo y Calle 53 (figura 3.16). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:



Continúa

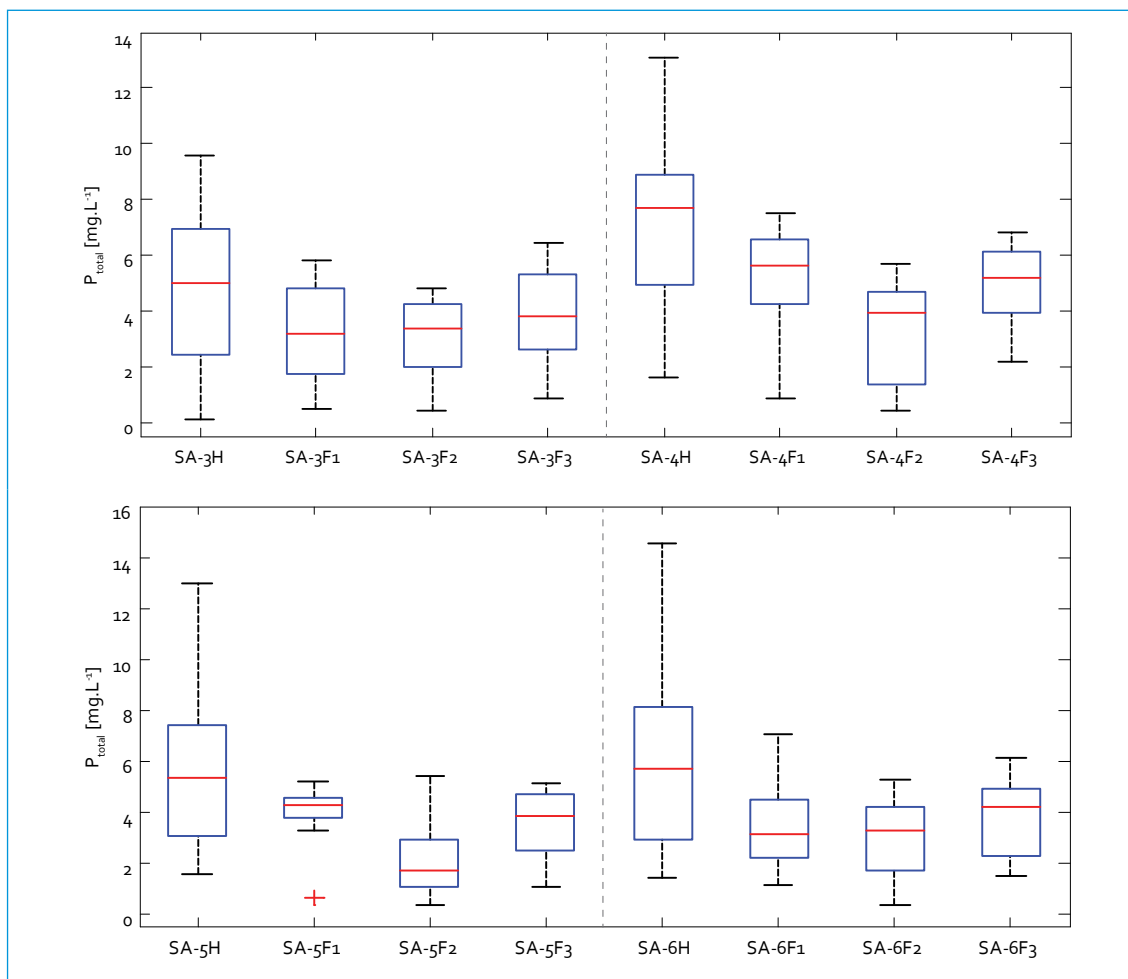


FIGURA 3.15. Perfil de P_{total} : río Salitre

- Constantes: Parque Nacional, Arzobispo (excepto la fase 2, en la cual las grasas y aceites tendieron a aumentar) y Salitre Alameda (excepto la fase 2, en la cual las grasas y aceites tendieron a disminuir).
- Aumentos: Calle 53 (64% F3 vs. H), Carrefour Avenida 68 (63% F3 vs. H), Transversal g1 (66% F3 vs. H).

En general las grasas y aceites tendieron a aumentar en la parte media del río Salitre, mientras que en Arzobispo las grasas y aceites durante la fase 2 (2010-2011) mostraron las

concentraciones más altas que se han registrado en el punto.

3.1.1.13. SAAM

En la figura 3.17 se presenta el comportamiento de las SAAM en el río Salitre. Hubo un aumento hasta el punto Carrefour Avenida 68, desde donde las concentraciones tendieron a disminuir o a mantenerse constantes hasta la desembocadura. La cuenca alta del río presentó las concentraciones más bajas de SAAM, y los cambios más significativos se dieron entre Parque

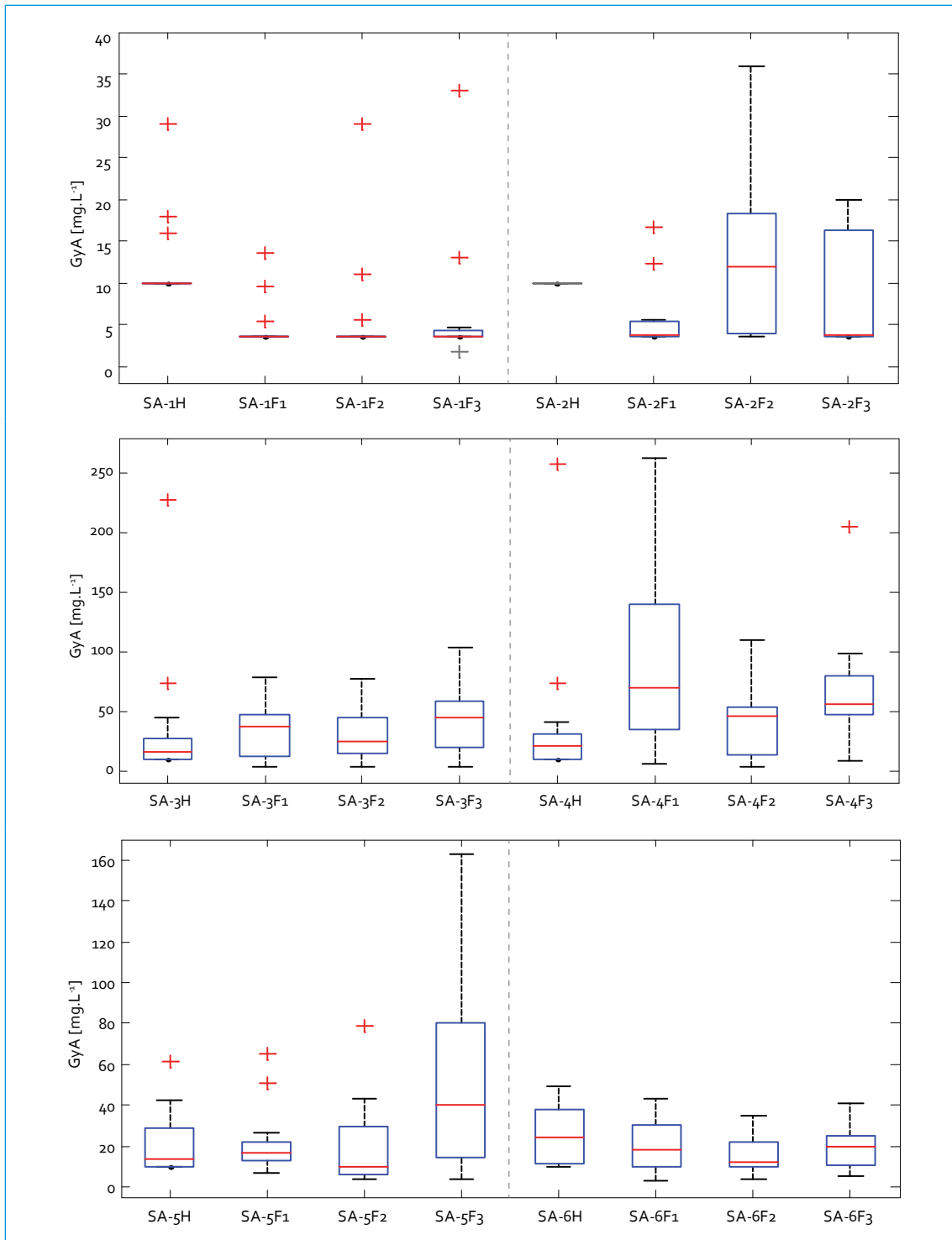


FIGURA 3.16. Perfil de grasas y aceites: río Salitre

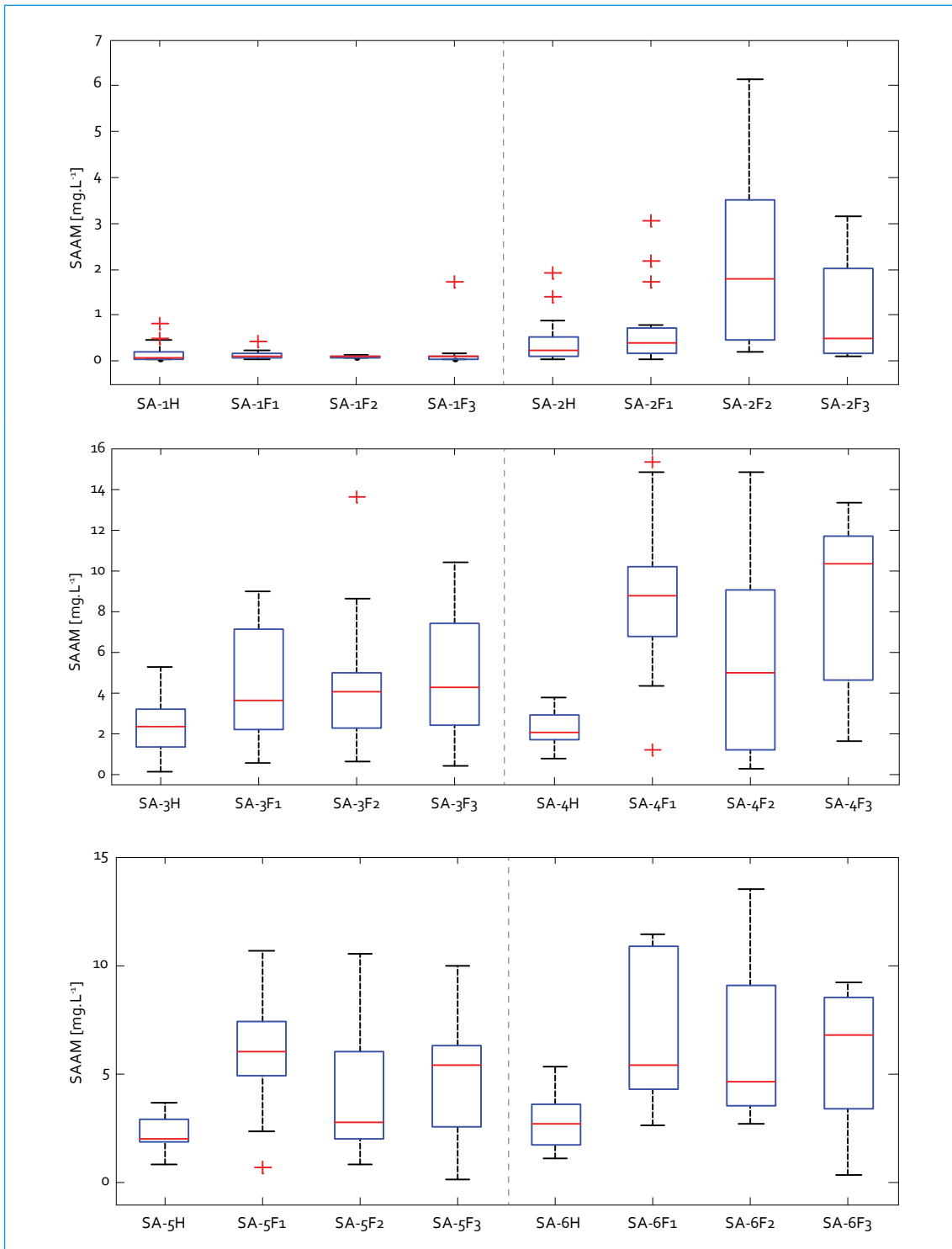


FIGURA 3.17. Perfil de SAAM: río Salitre

Nacional y Arzobispo, y entre Arzobispo y Calle 53, como consecuencia de la descarga de aguas residuales en el sector. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Parque Nacional.
- Aumentos: Arzobispo (51% F₃ vs. H), Calle 53 (44% F₃ vs. H), Carrefour Avenida 68 (80% F₃ vs. H), Transversal 91 (63% F₃ vs. H) y Salitre Alameda (60% F₃ vs. H).

Hubo aumento de SAAM en la mayoría de puntos del río Salitre, comparado con los históricos, aunque se debe resaltar que en los monitoreos de la fase 2 (2010–2011) hubo una tendencia de concentraciones bajas de SAAM a partir de Carrefour Avenida 68.

3.1.1.14. Coliformes fecales

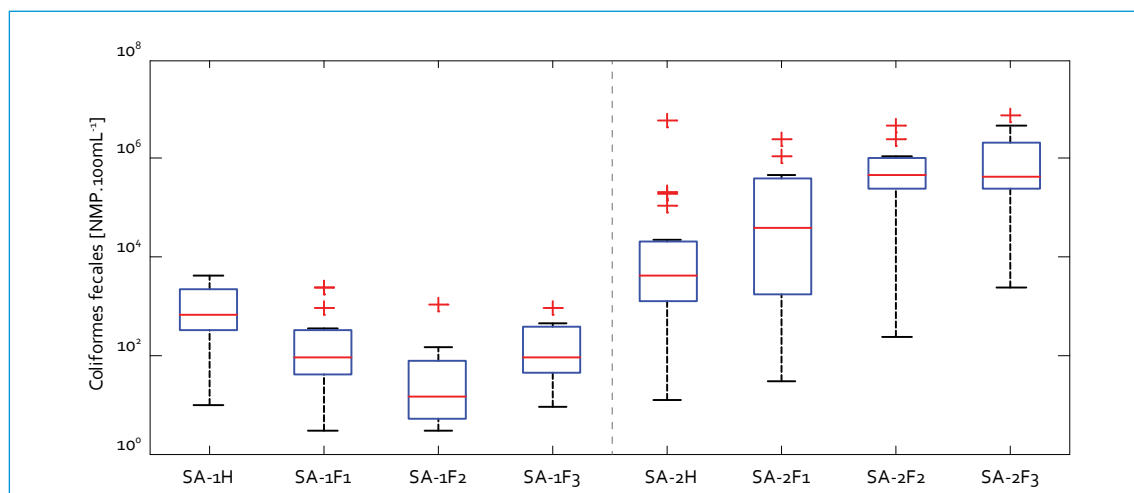
El comportamiento de los coliformes fecales en el río Salitre muestra un aumento ascendente hasta el punto Carrefour Avenida 68 (SA-4), y luego un descenso aguas abajo (figura 3.18). Al igual que la mayoría de parámetros, los cambios más abruptos en las concentraciones de

coliformes fecales se dan entre Parque Nacional y Arzobispo, y entre Arzobispo y Calle 53, lo cual demuestra que es el sector que recibe el mayor impacto negativo sobre las condiciones naturales del río. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Transversal 91 (comparando solo la fase 3 y los históricos, ya que en las fases 1 y 2 los coliformes fecales tendieron a ser más bajos).
- Disminuciones: Parque Nacional (87% F₃ vs. H) y Salitre Alameda (88% F₃ vs. H).
- Aumentos: Arzobispo (99% F₃ vs. H), Calle 53 (56% F₃ vs. H) y Carrefour (44% F₃ vs. H).

3.1.1.15. Sulfuros

Los sulfuros en el río Salitre muestran un comportamiento relativamente constante a lo largo del río; el cambio más importante en las concentraciones se presenta entre Arzobispo y Calle 53, desde donde tienden a mantenerse constantes hasta la desembocadura (figura 3.19). En el primer punto y el segundo, los



Continúa

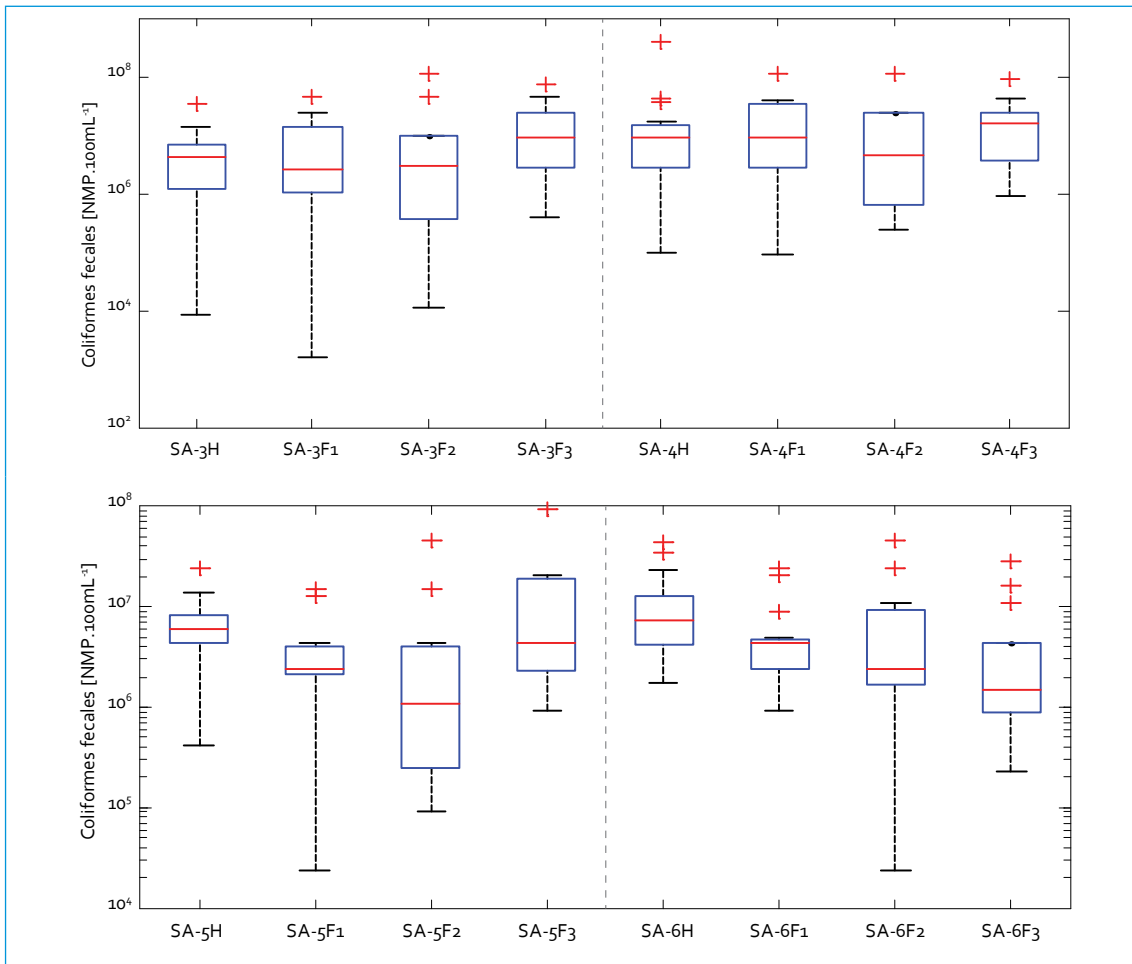
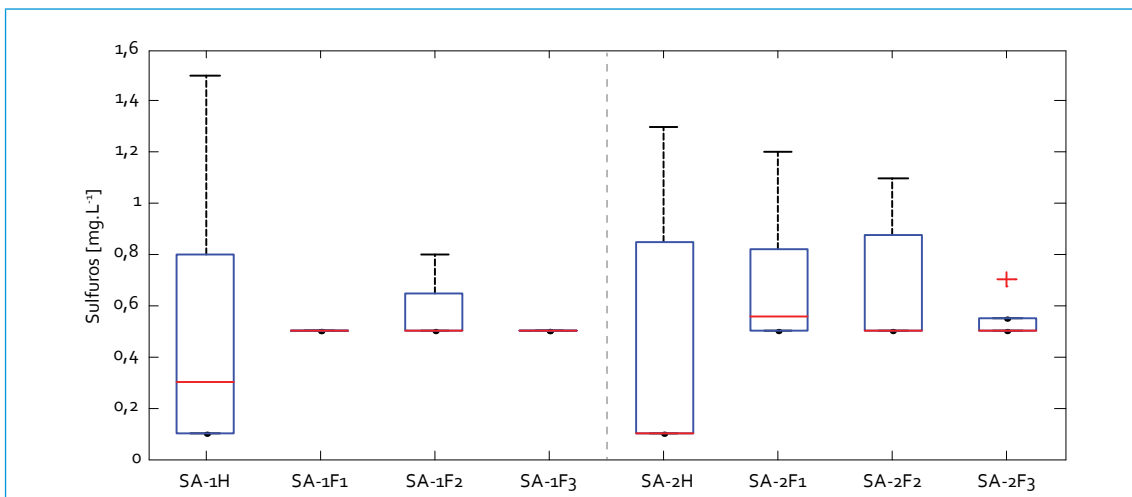


FIGURA 3.18. Perfil de coliformes fecales: río Salitre



Continúa

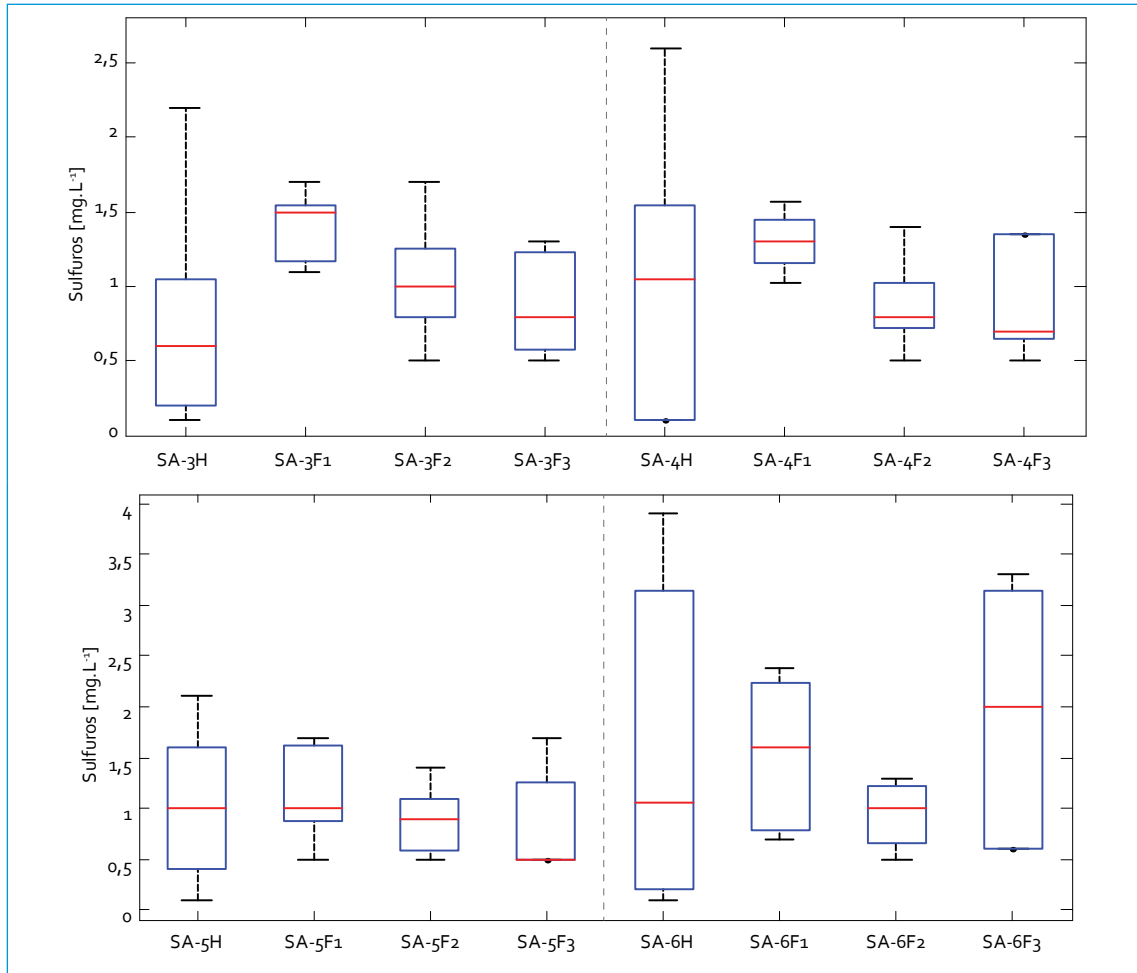


FIGURA 3.19. Perfil de sulfuros: río Salitre

sulfuros fueron los más bajos del río, y la mayoría de los datos fueron inferiores al límite de detección (límite de detección histórico: 0,1mg/L; límite de detección de las fases 1, 2 y 3: 0,5 mg/L). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Parque Nacional, Arzobispo y Calle 53 (excepto la fase 1, en la cual los sulfuros tendieron a ser altos).
- Disminuciones: Carrefour Avenida 68 (33% F3 vs. H) y Transversal 91 (50% F3 vs. H).

- Aumentos: Salitre Alameda (48% F3 vs. H).

En general los sulfuros no variaron significativamente en la mayoría de puntos del río Salitre. Sin embargo, en los monitoreos de la fase 3 (2011-2012), los sulfuros en Carrefour y Transversal 91 tendieron a disminuir, mientras que en Salitre Alameda tendieron a aumentar.

3.1.1.16. Fenoles

En la figura 3.20 se presenta el comportamiento de los fenoles en el río Salitre; se observó un

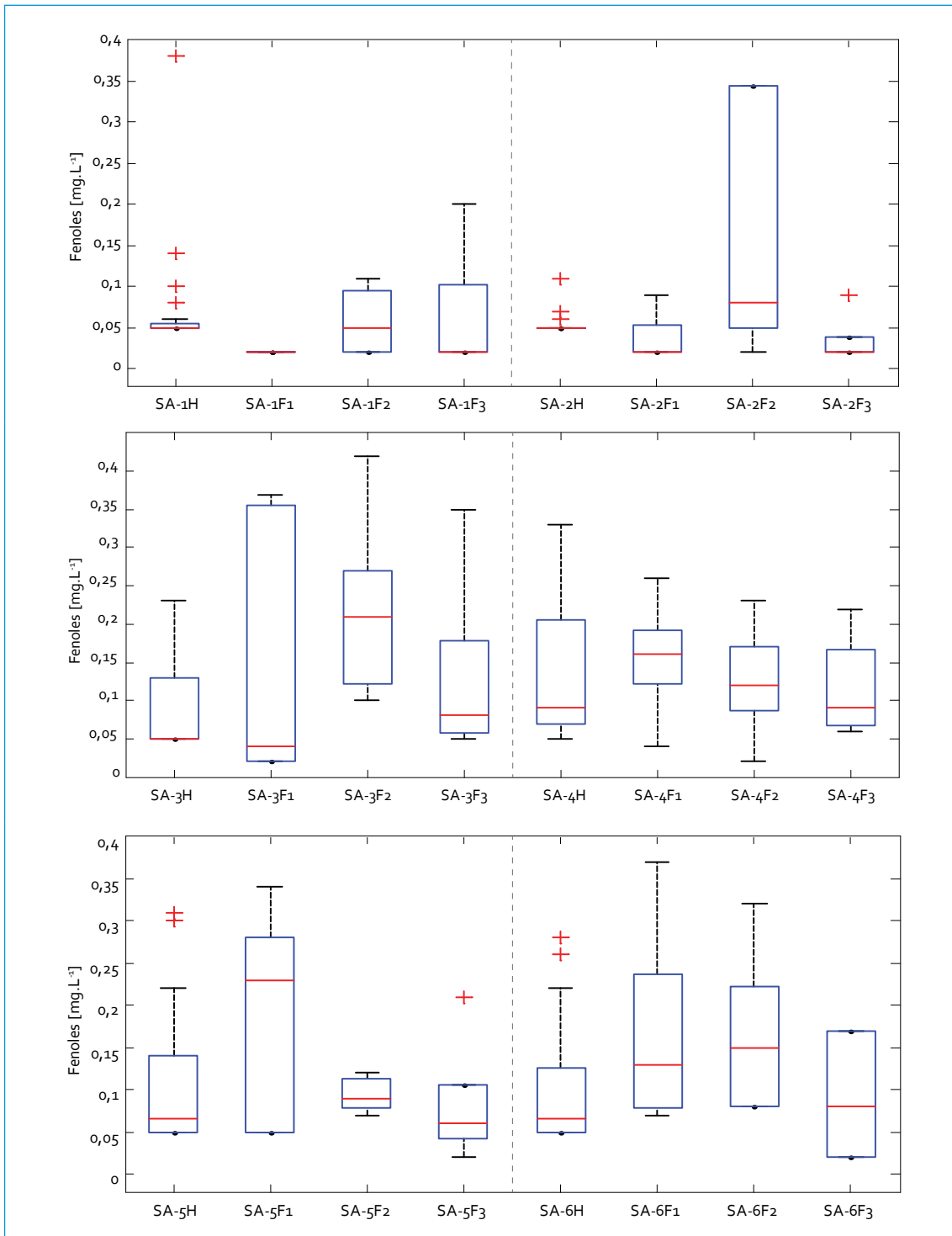


FIGURA 3.20. Perfil de fenoles: río Salitre

incremento importante en los valores a partir del punto Calle 53, lo cual se mantuvo dentro de los mismos rangos hasta la desembocadura. En el primer punto y en el segundo, los fenoles fueron los más bajos del río y la mayoría de los datos fueron cercanos al límite de detección (límite de detección histórico: 0,05mg/L; límite de detección de la fases 1, 2 y 3: 0,02 mg/L). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Parque Nacional, Arzobispo (excepto la fase 2 en estos dos puntos, en la cual los fenoles tendieron a ser altos), Carrefour Avenida 68 y Transversal

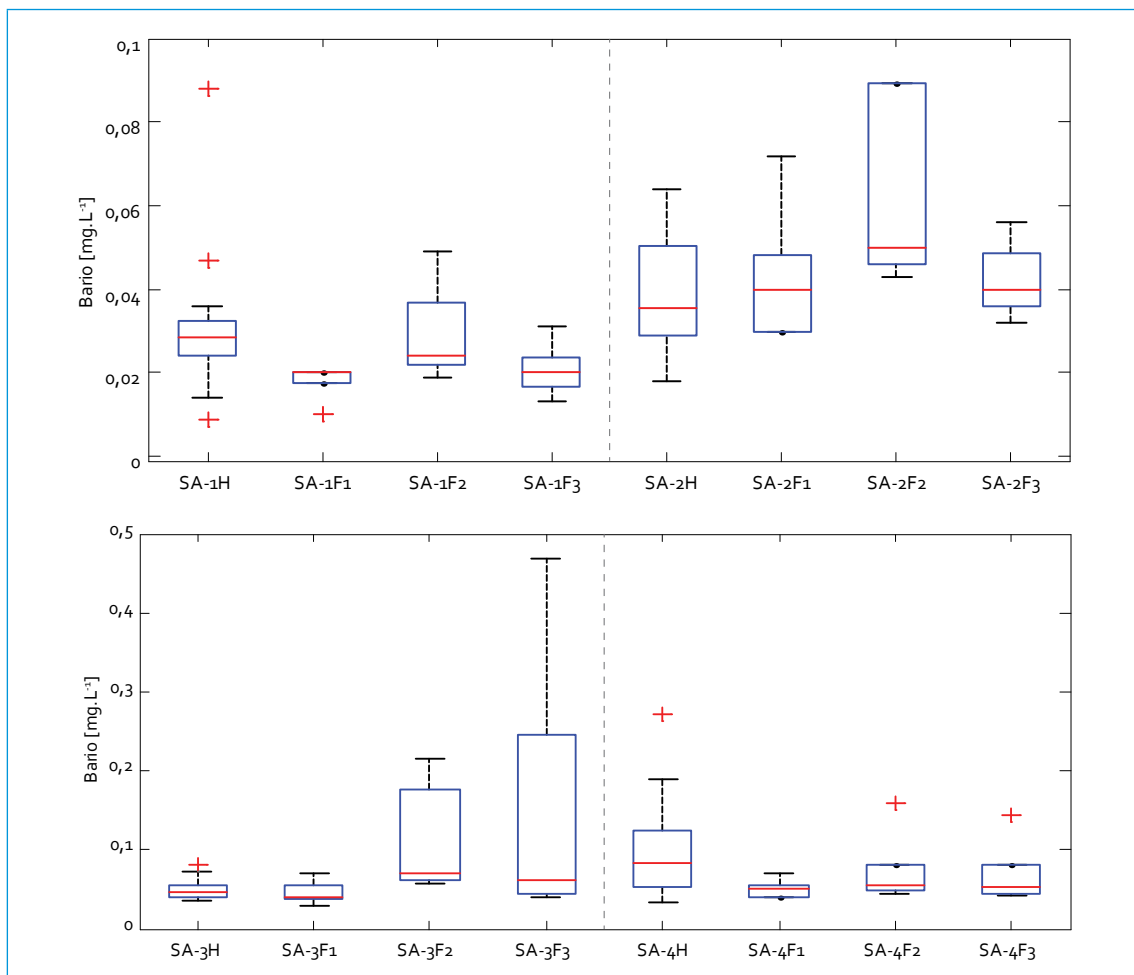
g1 (excepto la fase 1 en los dos últimos puntos, en los cuales los fenoles tendieron a ser altos).

- Disminuciones: Salitre Alameda (38% F3 vs. F1; respecto a los históricos, el comportamiento fue constante).
- Aumentos: Calle 53 (38% F3 vs. H).

3.1.1.17. Metales

3.1.1.17.1. Bario

El comportamiento de las concentraciones de bario en el río Salitre se presenta en la figura 3.21. Al igual que sucedió con la mayoría de



Continúa

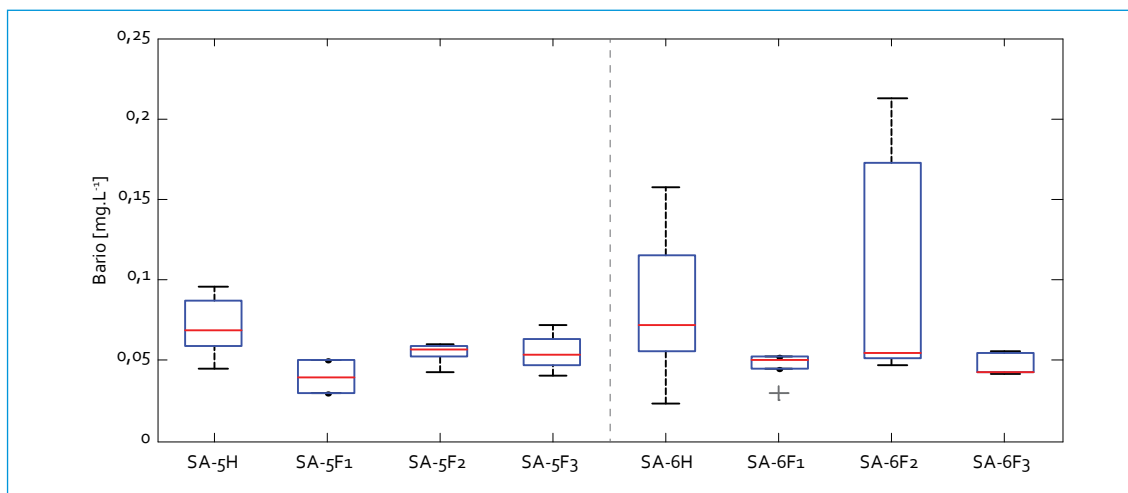


FIGURA 3.21. Perfil de bario: río Salitre

contaminantes, se observó un aumento de bario hasta el punto Carrefour Avenida 68 y valores constantes hasta la desembocadura, aunque con rangos de variación más pequeños. Las concentraciones en el primer punto de monitoreo fueron homogéneas; el bario encontrado en este punto es de origen natural y no afecta la calidad del agua. En los siguientes puntos se notó un leve incremento, lo cual pone en evidencia que las aguas residuales vertidas al río aumentan de cierta manera el bario en el agua, aunque su impacto no es crítico. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Parque Nacional, Arzobispo, Calle 53 (excepto la fase 2, en la cual el bario tendió a aumentar) y Transversal 91.
- Disminuciones: Carrefour Avenida 68 (35% F3 vs. H) y Salitre Alameda (40% F3 vs. H).

3.1.1.17.2. Cadmio

Las concentraciones de cadmio en el río Salitre estuvieron por debajo del límite de detección

(0,001 mg/L). Este mismo comportamiento se presentó en los registros históricos, aunque el límite de detección de dicho periodo (0,0002 mg/L) fue inferior al actual. Se puede asumir que las concentraciones de cadmio fueron tan bajas en el río Salitre que no hubo un impacto por este contaminante. Se debe resaltar que en los monitoreos de la fase 3 (2011-2012) en los puntos Calle 53 y Transversal 91 las concentraciones tendieron a aumentar, ya que los valores no se acercaron al límite de detección, como había ocurrido en los periodos previos (figura 3.22).

3.1.1.17.3. Cinc

El comportamiento del cinc en el río Salitre (figura 3.23) fue similar al del bario, aunque el aumento se observó hasta el punto Calle 53. A partir de allí las concentraciones tendieron a mantenerse constantes aguas abajo; además, los rangos de variación fueron pequeños. El cinc encontrado en el primer punto es de origen natural y no afecta la calidad del agua. Entre Parque Nacional y Arzobispo, y entre Arzobispo y Calle 53 se notaron los cambios más importantes en las concentraciones de

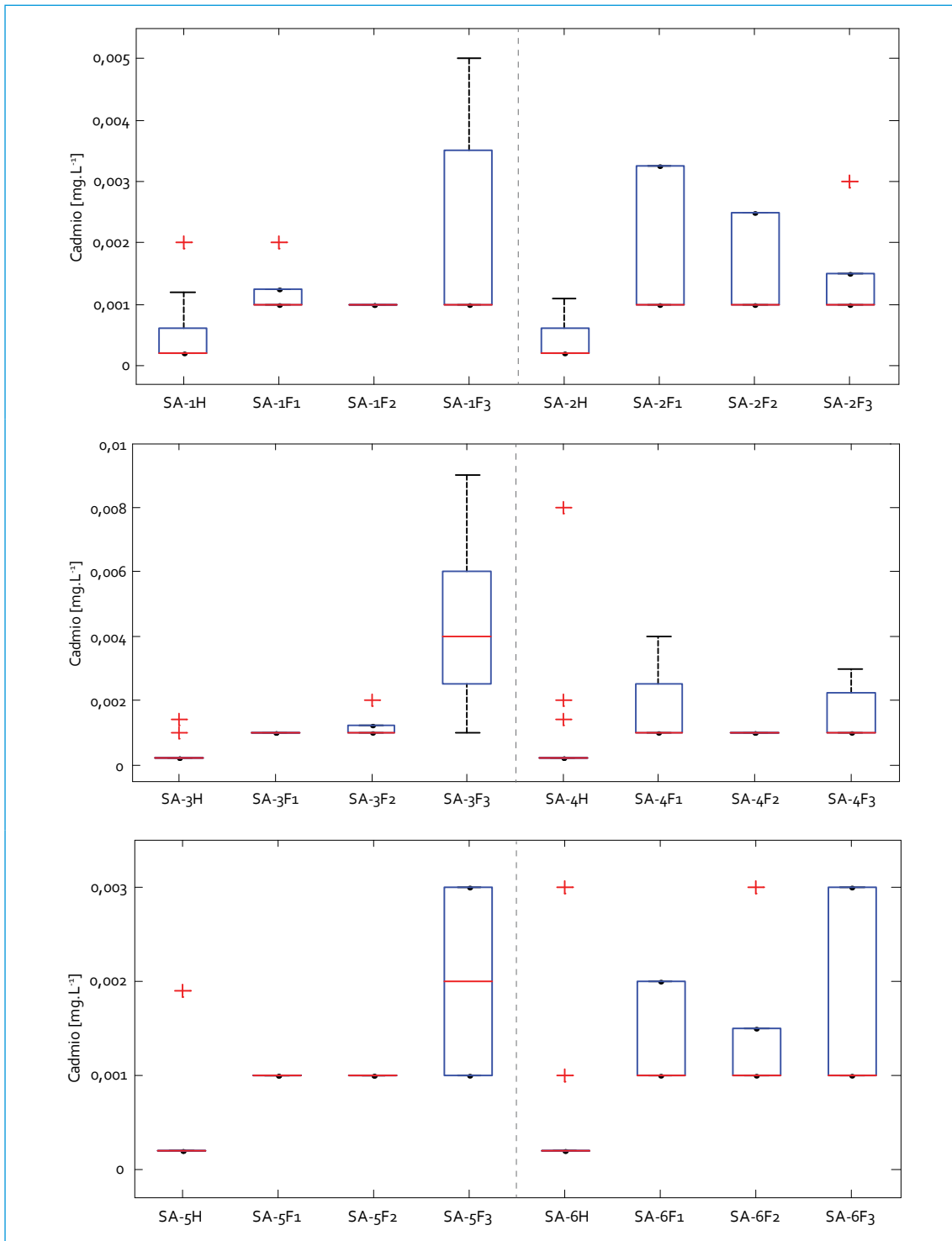


FIGURA 3.22. Perfil de cadmio: río Salitre

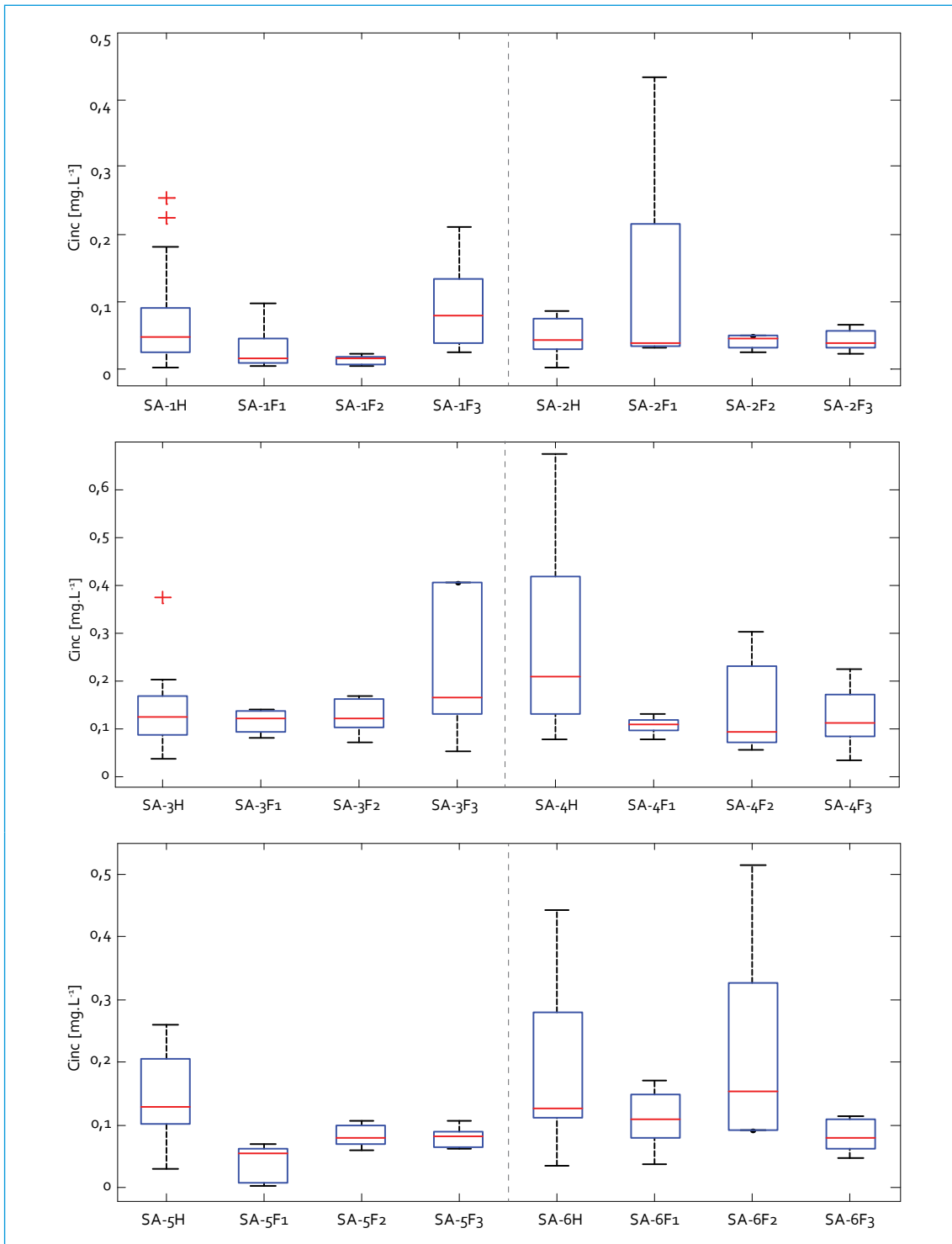


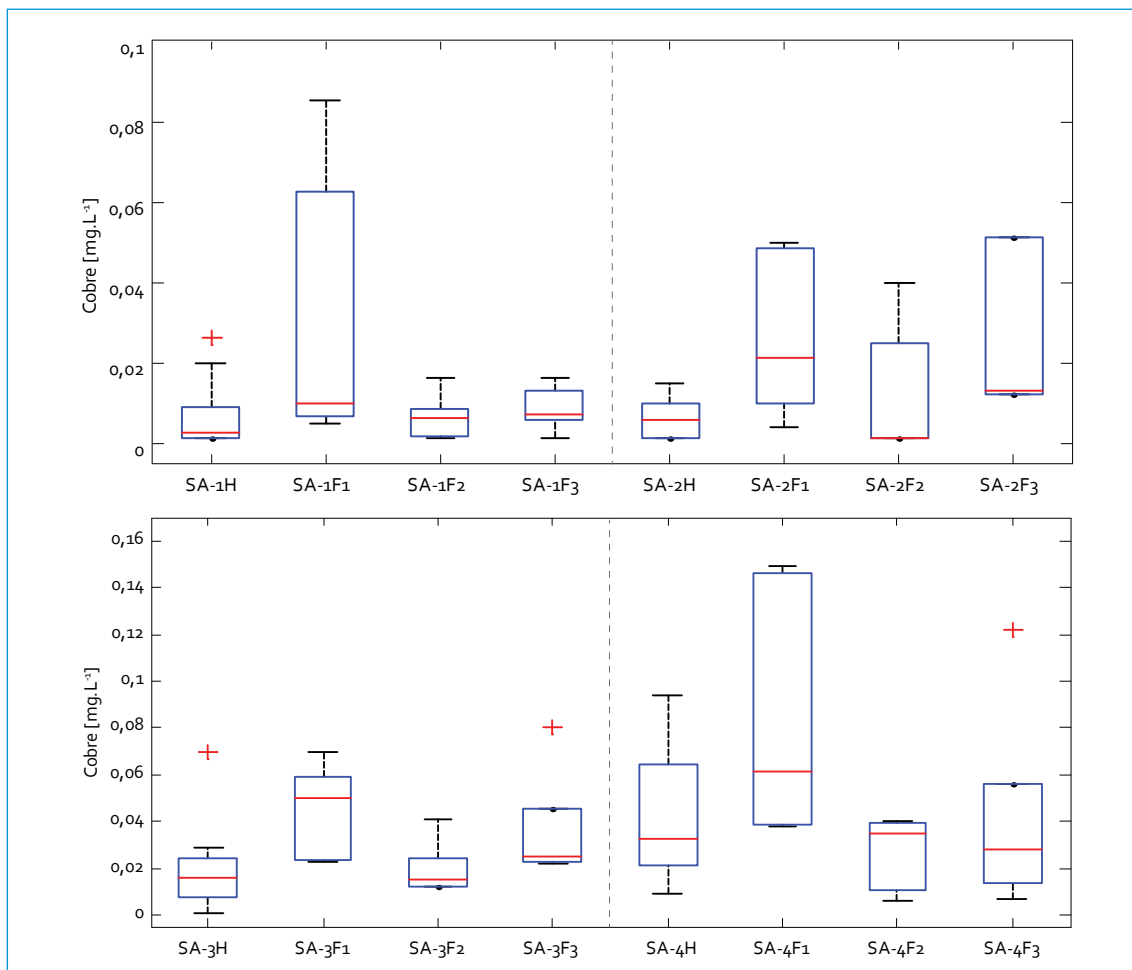
FIGURA 3.23. Perfil de cinc: río Salitre

cinc, lo cual muestra que las aguas residuales vertidas en este sector del río aumentan de cierta manera la calidad natural. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Arzobispo y Calle 53.
- Disminuciones: Carrefour Avenida 68 (45% F3 vs. H), Transversal 91 (36% F3 vs. H) y Salitre Alameda (38% F3 vs. H).
- Aumentos: Parque Nacional (42% F3 vs. H).

3.1.1.17.4. Cobre

En la figura 3.24 se presenta el comportamiento de las concentraciones de cobre en el río Salitre. Al igual que el bario, el cobre aumentó hasta el punto Carrefour Avenida 68 y se mantuvo constante hasta la desembocadura. Entre Arzobispo y Calle 53 se notaron los cambios más importantes en las concentraciones de este metal. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:



Continúa

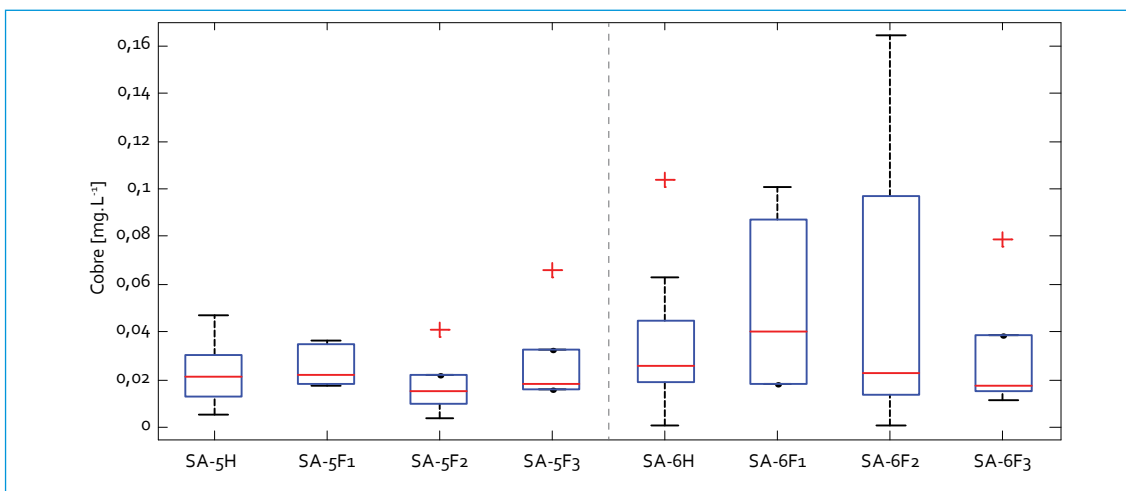


FIGURA 3.24. Perfil de cobre: río Salitre

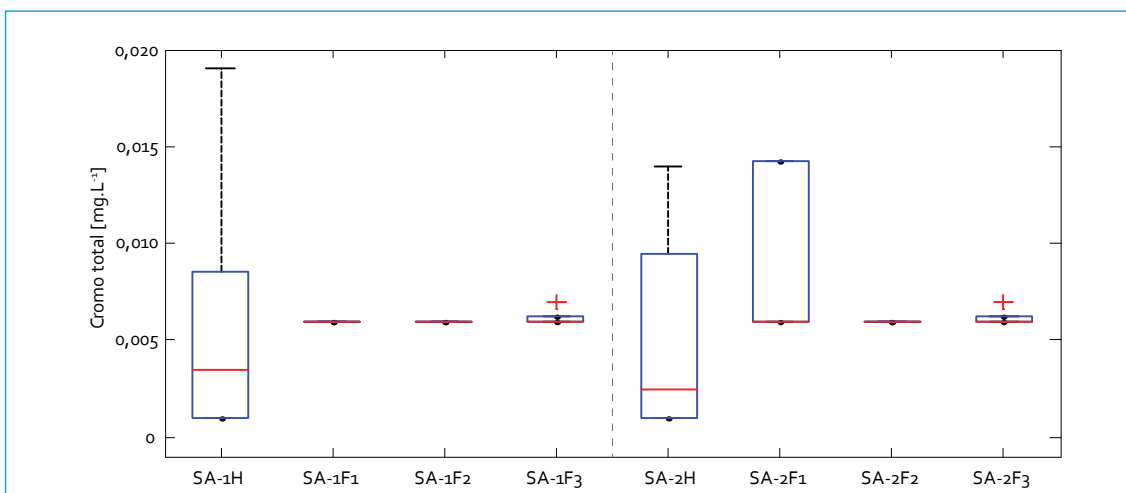
- Constantes: Carrefour Avenida 68 (excepto la fase 2, en la cual el cobre tendió a aumentar) y Transversal 91.
- Disminuciones: Salitre Alameda (35% F3 vs. H).
- Aumentos: Parque Nacional (64% F3 vs. H), Arzobispo (58% F3 vs. H) y Calle 53 (36% F3 vs. H).

tante a lo largo del río, a excepción de un leve aumento que se presentó entre Arzobispo y Carrefour Avenida 68. La mayoría de las concentraciones fueron cercanas al límite de detección (0,006 mg/L). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

3.1.1.17.5. Cromo total

El comportamiento de las concentraciones de cromo total (figura 3.25) tendió a ser cons-

- Constantes: Parque Nacional, Arzobispo, Transversal 91 y Salitre Alameda.
- Disminuciones: Carrefour Avenida 68 (54% F3 vs. H).
- Aumentos: Calle 53 (69% F3 vs. H).



Continúa

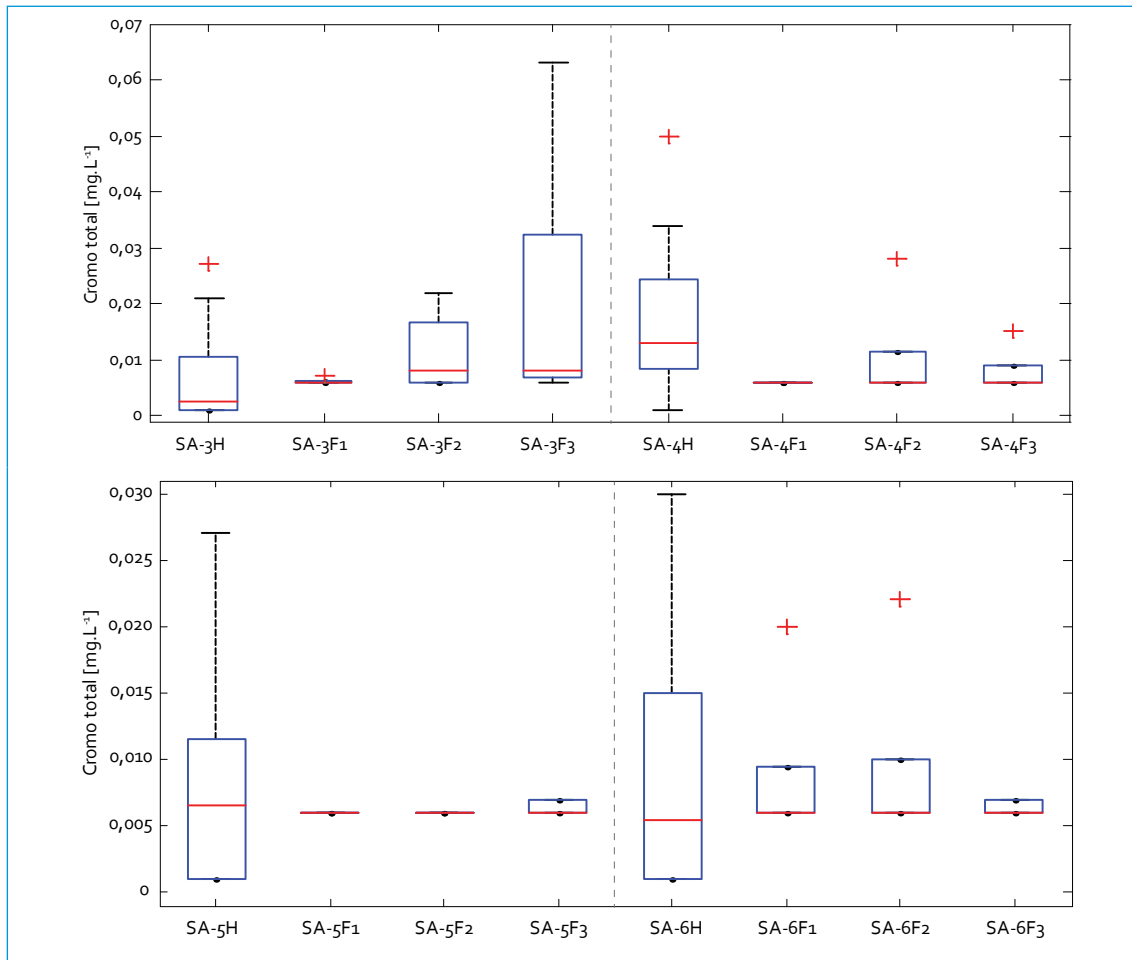


FIGURA 3.25. Perfil de cromo total: río Salitre

3.1.1.17.6. Manganeso

A diferencia de los demás metales analizados, las concentraciones de manganeso aumentaron a lo largo del río (figura 3.26); el incremento más importante se notó entre Parque Nacional y Arzobispo. El manganeso encontrado en el primer punto es de origen natural y no afecta la calidad del agua. Por el contrario, las concentraciones encontradas en Arzobispo ponen en evidencia que las aguas residuales vertidas en este sector del río aumentan de cierta manera la calidad natural. En términos generales, se notó un comportamiento constante del manganeso a lo largo del tiempo;

sin embargo, en Arzobispo los monitoreos de la fase 1 (2009-2010) registraron las más altas concentraciones de manganeso, y en Salitre Alameda ocurrió algo similar en los monitoreos de la fase 2 (2010-2011).

3.1.1.17.7. Níquel

En los primeros puntos se encontraron los niveles más bajos de níquel, y luego, a partir del punto Calle 53, se notó un aumento que se mantuvo en rangos similares aguas abajo (figura 3.27). Así como sucedió con el cromo total, la mayoría de concentraciones de níquel en el río fueron cercanas al límite de detección (0,001 mg/L).

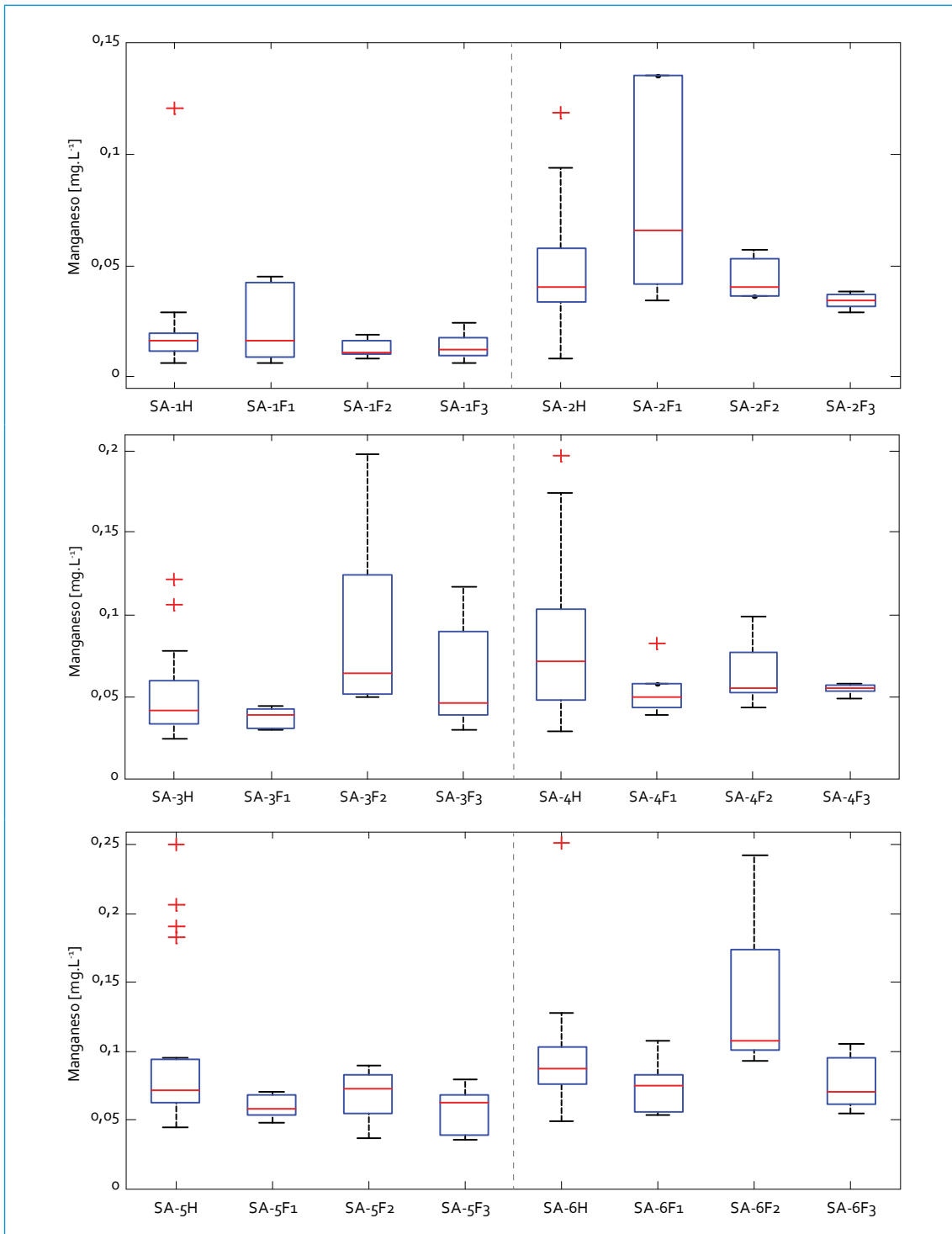


FIGURA 3.26. Perfil de manganeso: río Salitre

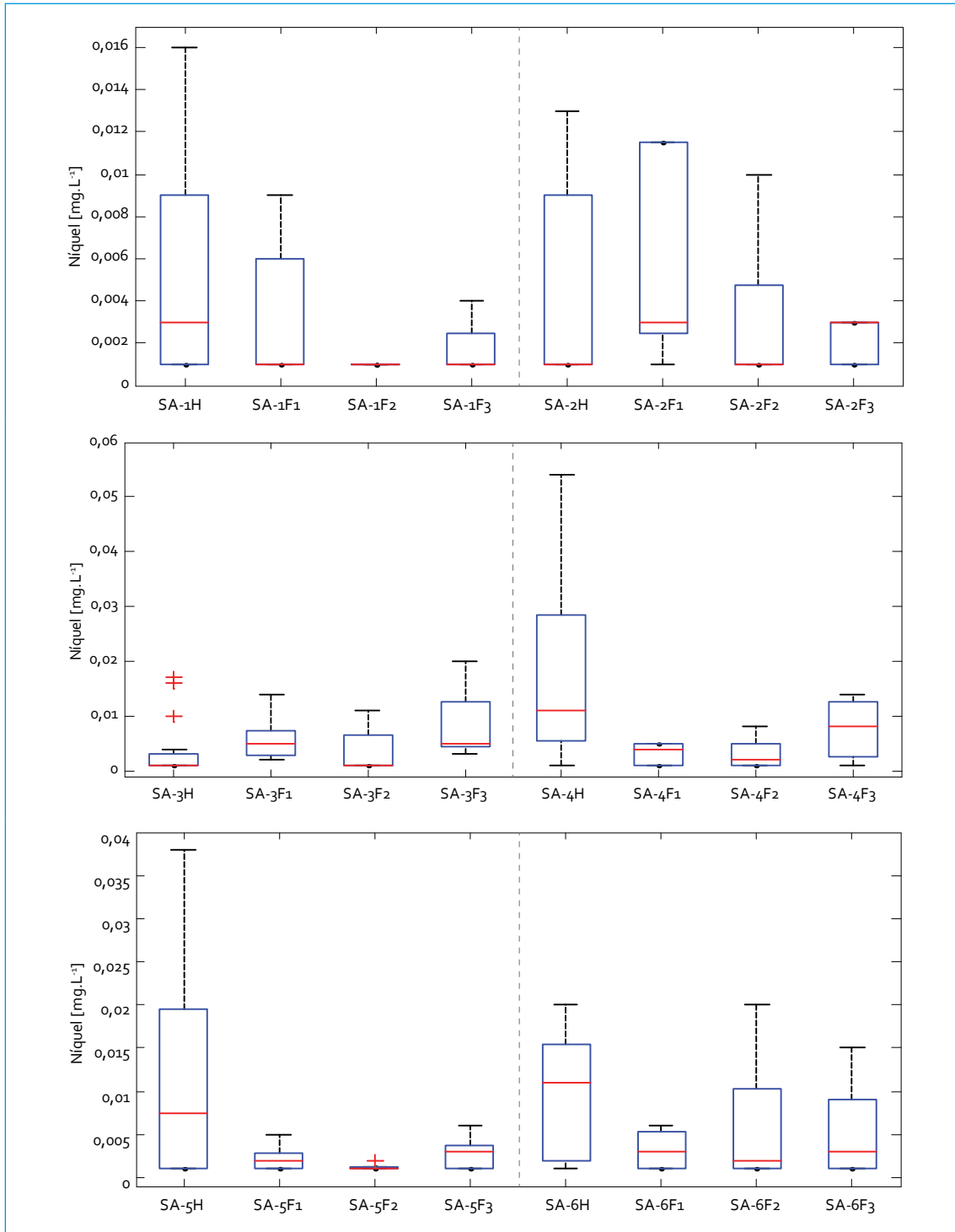


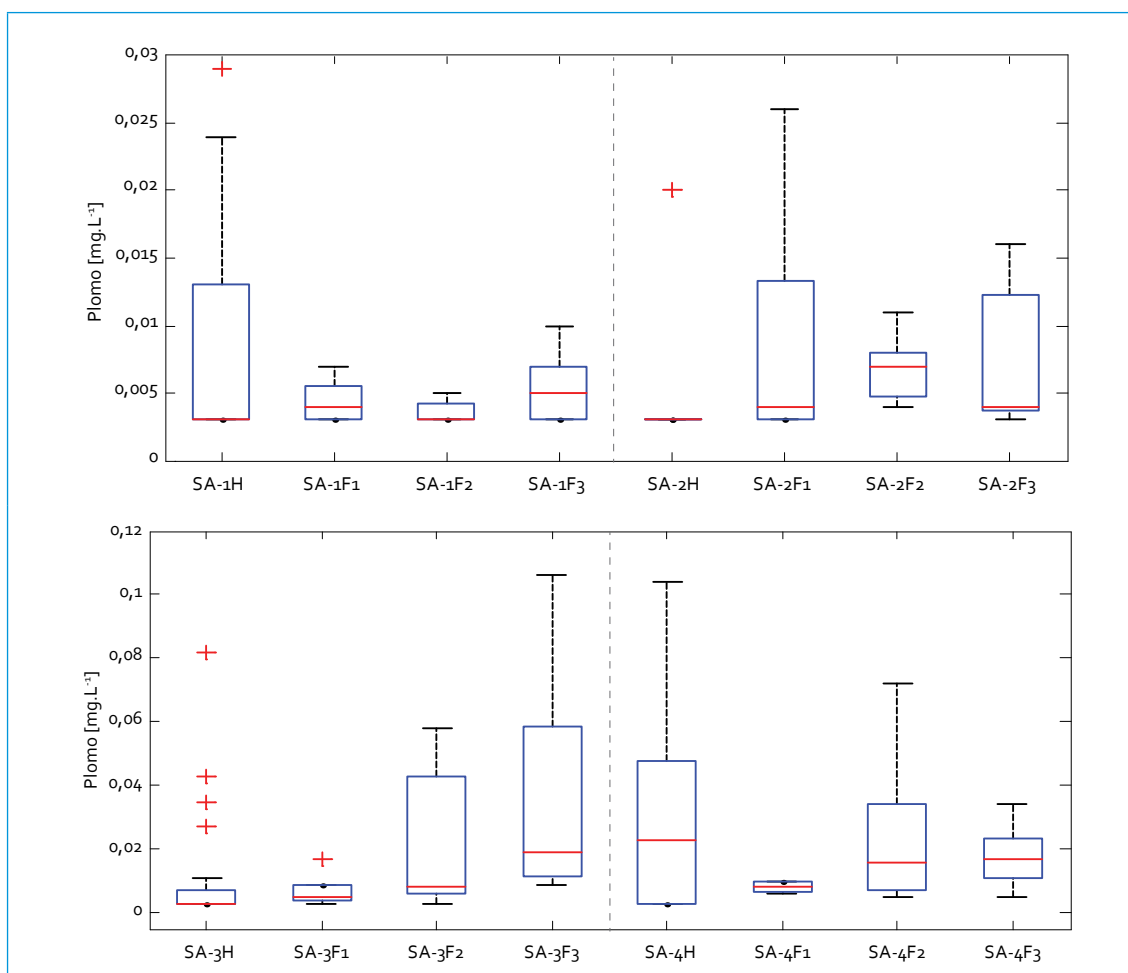
FIGURA 3.27. Perfil de níquel: río Salitre

Las concentraciones que sobrepasaron el límite de detección variaron entre 0,002 y 0,054 mg/L; Carrefour Avenida 68 fue el punto que registró el valor máximo. Es importante mencionar que el impacto no es crítico. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Disminuciones: Parque Nacional (67% F₃ vs. H), Transversal 91 (60% F₃ vs. H) y Salitre Alameda (73% F₃ vs. H).
- Aumentos: Arzobispo (67% F₃ vs. H), Calle 53 (80% F₃ vs. H) y Carrefour Avenida 68 (50% F₃ vs. F₁).

3.1.1.17.8. Plomo

Los datos no presentaron variaciones importantes (figura 3.28), pues se encontraron entre el límite de detección (0,003mg/L) y 0,011 mg/L. Las concentraciones más altas se presentaron en Calle 53, Carrefour y Salitre Alameda, y las más bajas, en Parque Nacional y Arzobispo. Aunque las medianas de las concentraciones de plomo tendieron a ser constantes a lo largo del río, hubo incrementos relativamente importantes entre Calle 53 y Carrefour. Al igual que sucedió con muchos parámetros, en Transversal 91 hubo una ten-



Continúa

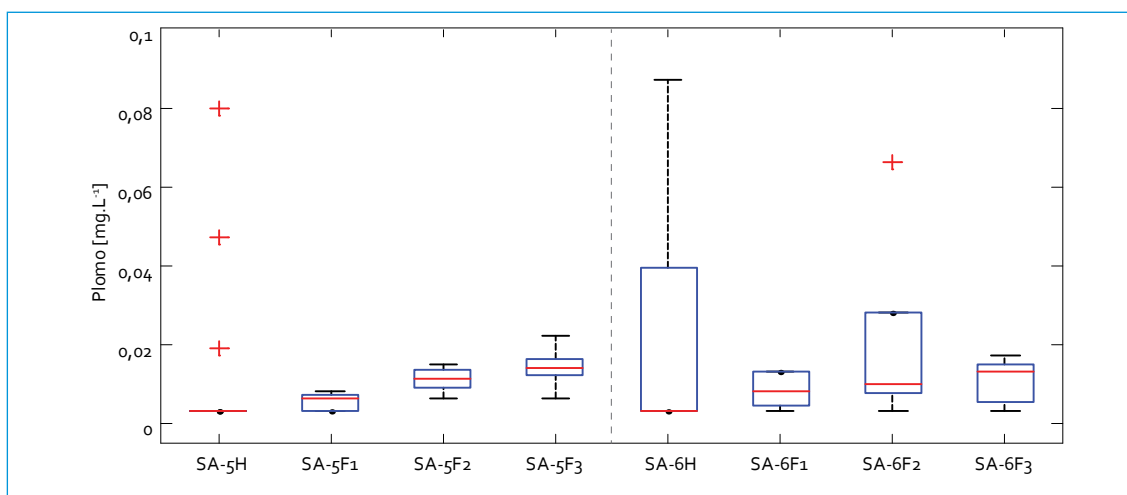


FIGURA 3.28. Perfil de plomo: río Salitre

dencia de disminución y las concentraciones se mantuvieron constantes aguas abajo. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Arzobispo y Carrefour Avenida 68 (excepto la fase 1, en la cual las concentraciones de plomo tendieron a ser bajas).
- Aumentos: Parque Nacional (40% F3 vs. H), Calle 53 (84% F3 vs. H), Transversal 91 (79% F3 vs. H) y Salitre Alameda (77% F3 vs. H).

3.1.2. Cargas contaminantes

3.1.2.1. DBO_5

El perfil longitudinal de cargas de DBO_5 en el río Salitre se presenta en la figura 3.29, donde se puede observar un aumento gradual en las cargas de DBO_5 , lo cual muestra el alto impacto de los vertimientos una vez el río entra en el perímetro urbano y su incidencia en la condición con la que desemboca en el río Bogotá. Igualmente, en la tabla 3.2 se puede observar

el cambio de las cargas promedio entre los tramos del río con diferencias significativas (alrededor del 70%).

TABLA 3.2. Carga promedio transportada DBO_5 : río Salitre

Parámetro	Río Salitre (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
DBO_5	2,6	758	2440	7375

Las cargas del primer tramo corresponden a Parque Nacional, donde se encontró poca variación de los datos: el rango estuvo entre 0,6 y 6,6 t/año. Las cargas en este punto son insignificantes en comparación con los demás tramos, lo que demuestra la buena condición del río antes de ser afectado por la urbanización. En relación con los resultados históricos (promedio: 3,2 t/año), la carga promedio actual se ha mantenido relativamente constante; sin embargo, frente a la fase 1 y la fase 2 (promedio: 0,6 y 0,8 t/año, respectivamente) se notó un aumento entre el 70% y el 80%. Es importante resaltar que este aumento está ligado al periodo hidrológico, ya que las con-

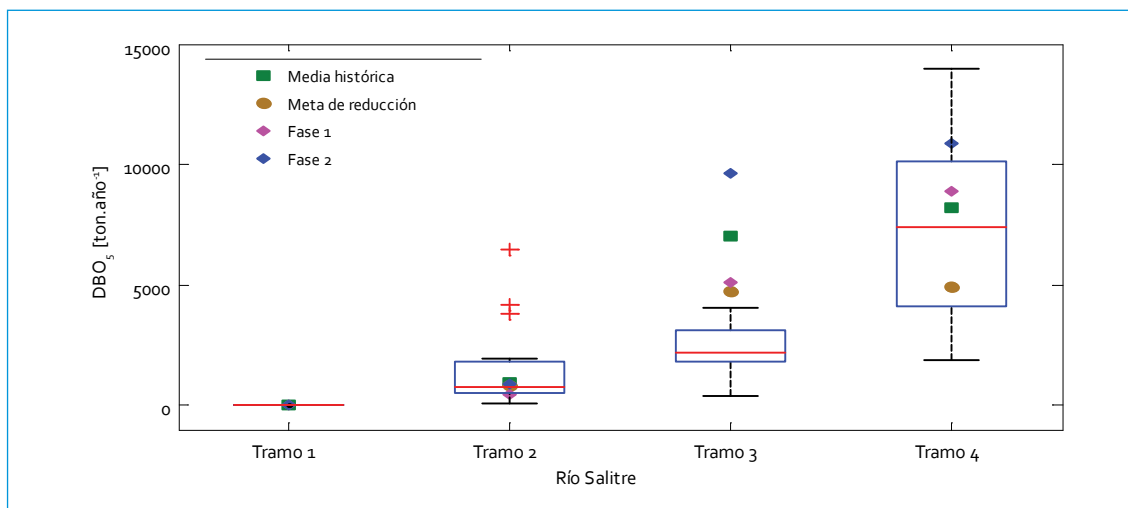


FIGURA 3.29. Perfil de carga DBO_5 : río Salitre

centraciones permanecieron constantes entre los periodos evaluados; para este periodo (fase 3) el caudal promedio (53 L/s) fue más alto que el registrado en promedio en la fase 1 (14 L/s) y la fase 2 (35 L/s).

Para el tramo 2 (punto de monitoreo Calle 53), las cargas fueron poco dispersas y se alejaron considerablemente de la condición natural del río, como consecuencia de los vertimientos, especialmente de alivios que operan mal. La media actual (758 t/año) no fue muy distante de la media histórica (967 t/año) ni de la media de la fase 2 (908 t/año). La diferencia de estas cargas promedio (histórica, fase 2 y fase 3) con la media de la fase 1 es poco significativa; sin embargo, se evidencia que la fase 1 tuvo menores cargas de DBO_5 en este tramo del río.

Por otra parte, en cuanto a la meta de reducción (850 t), esta se encuentra en cumplimiento, puesto que la diferencia entre la línea base (carga histórica) y la carga actual es de 209 t; sin embargo, todavía hacen falta esfuerzos para lograr la reducción establecida.

En el tramo 3 se presentaron cargas más elevadas que en el tramo anterior; estas va-

riaron entre 368 y 4078 t/año. Se notó una disminución de las cargas a lo largo del tiempo, pues se observó que la carga promedio actual (2440 t/año) fue inferior a la histórica (7041 t/año), a la de la fase 1 (5134 t/año) y a la de la fase 2 (9616 t/año). Bajo este escenario la meta de reducción (4750) ya está en cumplimiento casi al 100%, puesto que la diferencia entre la carga base y la carga actual es de 4601 t.

Por último, en el tramo 4 se observaron las mayores cargas del río; la carga promedio actual fue muy cercana a las cargas medias obtenidas en periodos previos (histórica, fase 1 y fase 2), lo cual muestra un comportamiento constante en la materia orgánica transportada en este tramo del río. A partir de estos resultados, todavía faltan muchos esfuerzos por lograr la meta de reducción, puesto que la reducción entre la carga de la línea base y la carga actual es muy pequeña (826 t) en comparación con la meta (4950 t).

3.1.2.2. DQO

Se notó un incremento en la carga promedio transportada a medida que el río atraviesa la

ciudad; sin embargo, el cambio más drástico se dio entre el primer tramo y el segundo (tabla 3.3 y figura 3.30).

TABLA 3.3. Carga promedio transportada DQO: río Salitre

Parámetro	Río Salitre (t/año)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
DQO	17	2442	6125	17658

En el tramo 1, las cargas de DQO fueron las más bajas, en comparación con los tramos siguientes, pues variaron entre 2,2 y 63 t/año. La carga media actual de DQO para este punto mostró, al igual que la DBO_5 , una tendencia de aumento frente a los demás periodos analizados; sin embargo, este aumento está relacionado con un periodo más húmedo (Q_{prom} actual: 53 L/s vs. Q_{prom} de otros periodos: entre 14 L/s y 35 L/s), ya que las concentraciones permanecieron relativamente constantes. A pesar de las diferencias entre los periodos, se debe resaltar que las cargas de DQO son muy bajas, lo cual denota una buena calidad del agua.

En el tramo 2 se presentó un incremento significativo en la carga media con respecto al

tramo anterior, lo cual está asociado con los vertimientos de agua residual doméstica. Las cargas mostraron una variación importante: entre 213 y 5757 t/año. La carga media de este tramo ha sido relativamente constante en referencia a la fase 2; sin embargo, frente a la carga promedio de la fase 1 y a los registros históricos se notaron aumentos entre el 40% y 50%, lo cual fue consecuencia de un periodo más húmedo. Por otra parte, la meta de reducción para este tramo (1100 t) significaría una alta remoción de la carga actualmente transportada. A partir de estos resultados aún no se evidencia un cumplimiento de la meta, puesto que la carga media actual ha aumentado con respecto a la línea base.

Para el tramo 3 también se presentó un incremento en la carga media con respecto al tramo anterior, lo cual también está asociado con los vertimientos de agua residual doméstica entre Calle 53 y Carrefour Avenida 68. A diferencia del tramo anterior, la carga media actual en el tramo 3 se redujo entre 40% y 69% en referencia a las cargas medias de los monitoreos históricos (10 872 t/año) y de la fase 2 (15 281 t/año). Sin embargo, en comparación

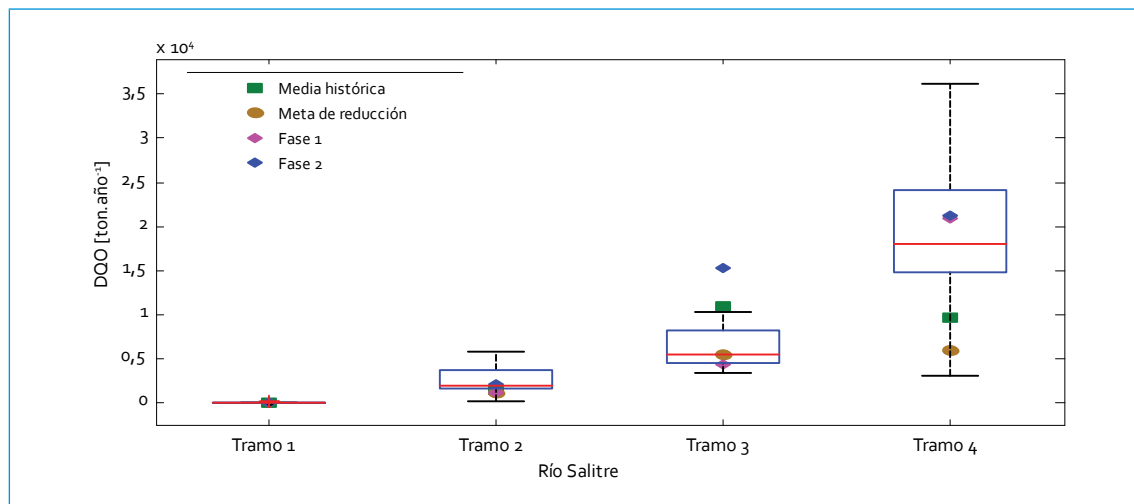


FIGURA 3.30. Perfil de cargas DQO: río Salitre

con la carga media de la fase 1 (1143 t/año) se notó un leve aumento (cerca del 30%). La diferencia en las cargas medias entre los periodos, en especial con la fase 1, se dio principalmente por la frecuencia en los monitoreos de la madrugada, los cuales tuvieron sensibilidad en el ajuste de las curvas de 24 horas en este tramo. Se debe resaltar que para el tercer trimestre de 2011 (por razones de seguridad) y en la fase 1, la cantidad de monitoreos de madrugada fue menor a los demás periodos. Se observó que bajo los resultados del 2011, la meta de reducción (5500 t) se encuentra en cumplimiento, debido a que la diferencia entre la carga promedio que se transporta actualmente en el tramo y la carga base es de 4747 t/año.

Finalmente, en el tramo 4 también se presentó un incremento en la carga media respecto al tramo anterior; esto muestra que después de los primeros vertimientos el aumento de las cargas a lo largo del río se hace de forma gradual. Las cargas en el tramo 4 fueron variables; el rango estuvo entre 3081 y 36145 t/año. En comparación con los periodos previos, la carga media actual del tramo 4 mostró un aumento de aproximadamente 45% frente al promedio

histórico (9716 t/año) y una similitud en referencia a la carga media de la fase 1 (20890 t/año) y de la fase 2 (21293 t/año). A partir de estos resultados aún no hay un cumplimiento de la meta de reducción (5900 t), puesto que las cargas han aumentado entre la línea base y la carga actual.

3.1.2.3. SST

El perfil longitudinal de las cargas de SST del río Salitre se presenta en la figura 3.31. La diferencia en cargas entre los tramos del río fue muy significativa (tabla 3.4) y constituye uno de los parámetros que presentaron mayor diferencia entre el primer tramo y el segundo. Cabe resaltar que, a diferencia de la mayoría de parámetros, el aumento de las cargas promedio de SST en el río Salitre no fue muy

TABLA 3.4. Carga promedio transportada de SST: río Salitre

Parámetro	Río Salitre (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
SST	8,5	2038	3285	4803

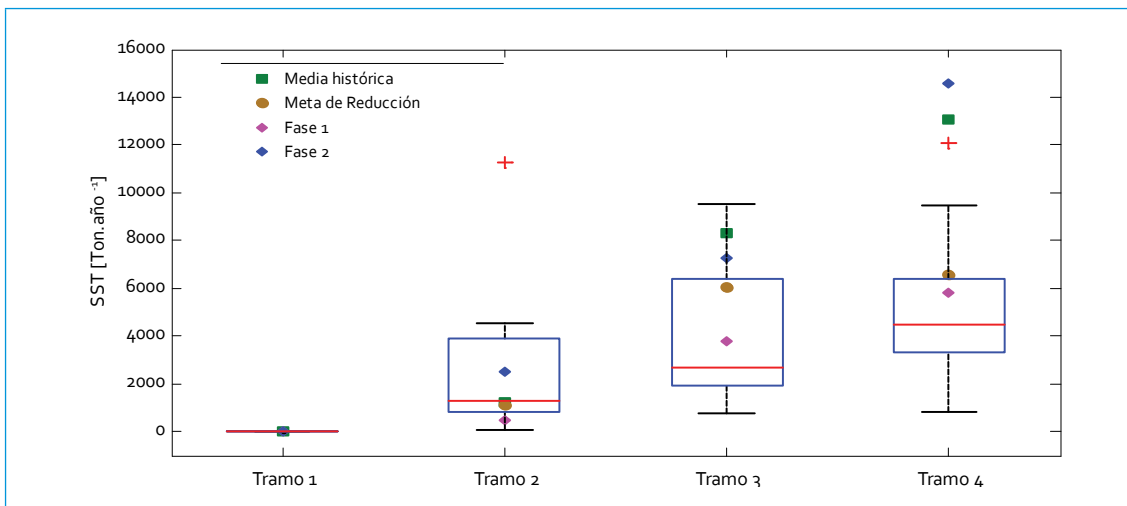


FIGURA 3.31. Perfil de cargas de SST: río Salitre

importante en los tramos 3 y 4, con diferencias cercanas al 30%.

En el tramo 1 las condiciones de calidad fueron buenas. La carga media de SST respecto a los otros tramos es muy pequeña: varía entre 1,2 y 24 t/año. En referencia a los demás periodos analizados, la carga media actual tuvo una tendencia de aumento; sin embargo, como se mencionó para la DBO_5 y la DOO , este aumento está relacionado principalmente con el caudal promedio actual (53 L/s), ya que las concentraciones se han mantenido constantes o han tendido a disminuir.

En el tramo 2, las cargas oscilaron entre 82 y 5210 t/año, lo cual muestra una dispersión en los datos. Se debe resaltar que la carga media de este tramo fue muy superior a la del primer tramo, lo cual da cuenta del alto impacto de las descargas de aguas residuales en el transporte de sólidos en el río. La carga promedio actual se encontró por encima de la media histórica (1227 t/año) y de la media de la fase 1 (632 t/año), con un aumento entre el 40% y 70%, respectivamente, en carga de SST a lo largo del tiempo. En referencia a la fase 2 (promedio: 2524 t/año), las cargas permanecieron relativamente constantes. Este aumento en la fase 2 y la fase 3 se asocia con la condición hidrológica húmeda que marcó los dos periodos, la cual se traduce en un mayor transporte de sólidos, no solo en el río, sino también en los canales que descargan al río (como el de la calle 45 con carrera 24). Por otro lado, con estos resultados todavía no se observa un cumplimiento de la meta de reducción para este tramo (1100 t) debido a que la carga promedio fue más elevada que la carga base.

Para el caso del tramo 3 se notó un aumento frente a la carga media del tramo anterior de 40%: este fue el parámetro que menor di-

ferencia tuvo entre el tramo 2 y el tramo 3. A pesar de esto, se debe resaltar que en el tramo 3 también se observó una variación importante de los datos, ya que el rango estuvo entre 786 y 9515 t/año. Por otro lado, comparando la carga media actual con los periodos previos, se observó una tendencia de reducción en cargas de SST en este tramo. Las reducciones estuvieron entre 55% y 60% en referencia a los periodos previos (históricos y fase 2). Como se mencionó para la DOO , en el tercer trimestre de 2011 (por cuestiones de seguridad) se redujo la frecuencia de monitoreos en la madrugada; como consecuencia, los resultados tendieron a ser más bajos, ya que se evitaron las ventanas donde había alta sensibilidad con las curvas de 24 horas. A partir de estos resultados, la meta de reducción (6050 t) se encuentra en cumplimiento, puesto que la diferencia entre la carga promedio que se transporta actualmente en el tramo y a la carga base es de 5051 t.

Por último, el tramo 4 transporta una carga de SST similar al tramo anterior, con un incremento del 30%. Así como en los tramos anteriores, la variabilidad de los datos de carga en el tramo 4 fue importante, con un rango de 853 t/año a 9499 t/año. La carga media actual disminuyó con respecto a la media histórica (13 070 t/año) y a la media de la fase 2 (14 592 t/año) un poco más del 60%. Sin embargo, frente a los resultados de la fase 1 (promedio: 5842 t/año) la carga actual fue muy similar, lo cual muestra que, así como sucedió con la DBO_5 y la DOO , las condiciones de las concentraciones y las del caudal de estos dos periodos fueron semejantes. Ante estos resultados, la meta de reducción (6600 t) ya está en cumplimiento del 100%, puesto que la diferencia entre la carga base y la carga actual es de 8267 t.

3.1.2.4. Nitrógeno total

De manera similar a los demás parámetros, las cargas de N_{total} tienen un comportamiento ascendente a lo largo del río (figura 3.32). Se observó un incremento significativo en las cargas de N_{total} a partir del tramo 2 (tabla 3.5). Las cargas del tramo 1 correspondieron a Parque Nacional, donde se encontró poca variación de los datos, con rango de 0,8 t/año a 8,2 t/año (figura 3.32). Al igual que las cargas de los demás parámetros, las de N_{total} en el primer tramo tendieron a aumentar como resultado de la condición hidrológica. Es posible que los eventos de lluvia aumenten la escorrentía y la cantidad de nutrientes que llegan al río en esta zona, donde no se conocen actividades antropogénicas que puedan incrementar la carga de nutrientes.

TABLA 3.5. Carga promedio transportada N_{total} : río Salitre

Parámetro	Río Salitre (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
N_{total}	3,1	265	715	2260

A partir del tramo 2, las cargas de N_{total} en el río aumentaron considerablemente. Aunque la diferencia en carga de N_{total} no fue tan importante como para la DBO_5 y los SST, la carga media en el tramo 2 aumentó más de 85 veces con respecto al tramo anterior, lo cual demuestra el fuerte impacto de las descargas de aguas residuales sobre la condición natural del río. En este tramo el rango de cargas de N_{total} estuvo entre 42 y 776 t/año; la carga promedio actual fue similar a la carga media de la fase 2 (240 t/año); sin embargo, frente a los demás periodos se notaron aumentos entre 35% y 45% (media histórica: 169 t/año; media de la fase 1: 148 t/año). A partir de estos resultados, la meta de reducción (135 t) todavía no se encuentra en cumplimiento, puesto que la carga actual fue mayor que la carga base.

Para el tramo 3 también se presentó un incremento en la carga media respecto al tramo anterior, lo cual está asociado, igualmente, con vertimientos de agua residual doméstica. En este tramo se observó poca variabilidad en los datos, con un rango de 350 t/año a 1178 t/año. La carga media actual fue inferior a la

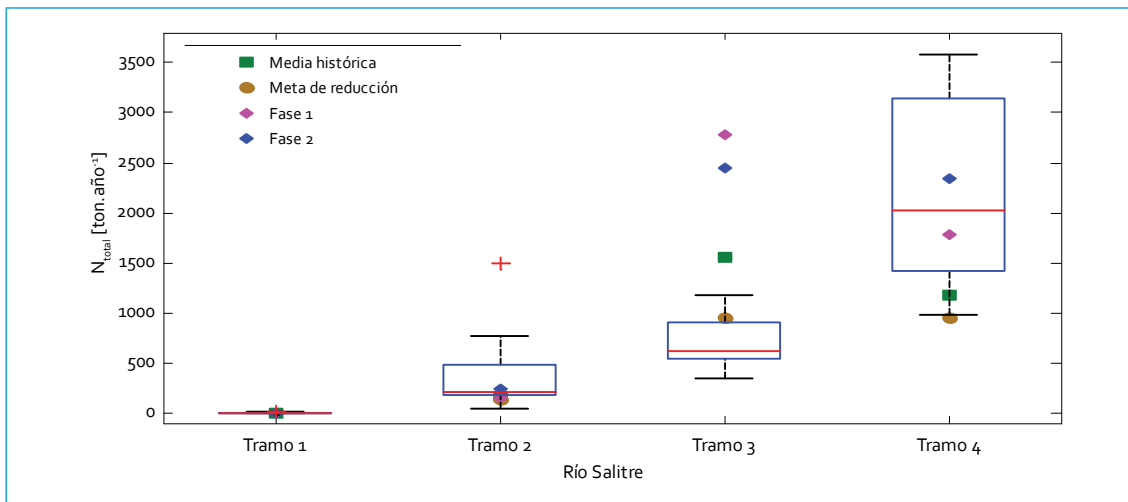


FIGURA 3.32. Perfil de cargas N_{total} : río Salitre

obtenida en los históricos (1552 t/año), en la fase 1 (2779 t/año) y en la fase 2 (2446 t/año), lo cual muestra reducciones entre 55% y 75%. Como se ha venido explicando, la sensibilidad de este tramo en la extrapolación de cargas en monitoreos de madrugada había mostrado resultados superiores a los registrados en este periodo, cuando se redujeron drásticamente las ventanas en la madrugada. A partir de estos resultados, se observó que la meta de reducción (950 t) se encuentra en un cumplimiento de casi un 100%, ya que la diferencia entre la carga base y la carga fue de 837 t.

Finalmente, en el tramo 4 se encontró un fuerte incremento en la variabilidad de los datos respecto a los tramos anteriores (entre 983 y 3583 t/año). En este tramo se espera que los niveles de nitrógeno se eleven como efecto de las descargas de agua residual doméstica que se vierten a lo largo del río. El promedio de carga mostró una tendencia de aumento respecto al promedio histórico (1180 t/año), aproximadamente en 50%; sin embargo, frente a los resultados de la fase 1 (promedio: 1782 t/año) y de la fase 2 (promedio: 2341 t/año), la carga media actual permaneció relativamente

igual. Por otro lado, con estos resultados todavía no se observa un cumplimiento de la meta de reducción para este tramo (950 t), debido a que la carga promedio actual fue más elevada que la carga base.

3.1.2.5. Fósforo total

Se encontró un incremento en la carga promedio transportada a medida que el río atraviesa la ciudad; sin embargo, así como para todos los otros parámetros, el cambio más drástico se dio entre el primer tramo y el segundo (tabla 3.6), donde se vio afectado por las primeras descargas de aguas residuales.

TABLA 3.6. Carga promedio transportada P_{total} : río Salitre

Parámetro	Río Salitre (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
P_{total}	0,2	26	79	307

Respecto a este parámetro, se observó que en el tramo 1 el comportamiento de las cargas tuvo poca variabilidad (figura 3.33): el rango

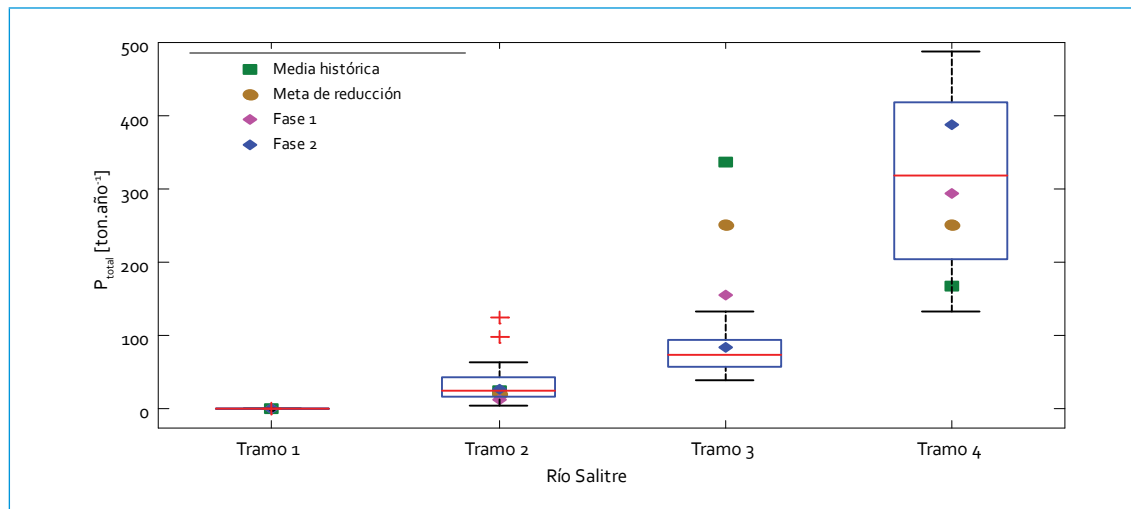


FIGURA 3.33. Perfil de cargas de P_{total} : río Salitre

estuvo entre 0,1 y 0,4 t/año. En relación con los resultados históricos, los de la fase 1 y los de la fase 2 (promedios: 0,1 t/año, 0,04 y 0,1 t/año, respectivamente), la carga promedio ha aumentado entre el 50% y el 80%, comportamiento similar a las cargas de materia orgánica, sólidos y nitrógeno. A pesar de estas variaciones, las cargas en este primer tramo siguen siendo muy inferiores a los demás tramos, lo cual muestra la buena calidad del punto.

En el tramo 2 se presentó un incremento significativo en la carga media respecto al tramo anterior, hecho asociado a los vertimientos de agua residual. Las cargas muestran poca variación: entre 5,1 y 64 t/año, con registros promedio de 26 t/año, cifras similares a la carga media obtenida en los registros históricos (25 t/año) y en la fase 2 (28 t/año). En relación con los resultados de la fase 1 (promedio: 13 t/año), la carga media actual aumentó 50%. Sin embargo, se debe resaltar que las condiciones de la fase 1 en cuanto a caudal favorecieron las cargas y fueron la mejor condición del tramo. A partir de estos resultados, la meta de reducción (20 t) todavía no se encuentra en cumplimiento, puesto que la carga actual es muy similar a la carga base.

Para el tramo 3 se apreció un aumento importante frente a la carga media del tramo anterior (70%). Las cargas en este tramo fueron un poco más variables: pasaron de 39 t/año a 133 t/año. Al igual que para el nitrógeno, la carga media actual (79 t/año) resultó ser menor que las cargas medias de los demás periodos (históricos y fase 1); igualmente, esta disminución se debe a la frecuencia de monitoreos en la madrugada y su extrapolación con las curvas de 24 horas. Se observó que bajo estos resultados, la meta de reducción (250 t) se está cumpliendo en el 100%, ya que la diferencia

entre la carga media actualmente transportada y la carga base es de 257 t.

Por otra parte, en el tramo 4 el promedio de cargas para este periodo de monitoreo (fase 3) supera la media del tramo anterior en casi cuatro veces. La variación de cargas de P_{total} en este tramo fue la más importante del río, con un rango entre 134 y 487 t/año. En comparación con los periodos previos, la carga media actual del tramo 4 mostró un aumento de aproximadamente 45% frente al promedio histórico (168 t/año) y fue similar a la carga media de la fase 1 (293 t/año) y de la fase 2 (388 t/año). La meta de reducción (250 t) no se encuentra aún en cumplimiento, puesto que la carga actual fue superior a la carga base.

3.1.2.6. Grasas y aceites

El perfil longitudinal de cargas de grasas y aceites en el río Salitre se presenta en la figura 3.34. Igualmente, en la tabla 3.7 se puede observar el cambio de las cargas promedio entre los tramos del río. Cabe resaltar que todos los parámetros analizados presentaron una fuerte diferencia entre el tramo 1 y el tramo 2, lo cual evidencia un sector del río donde el impacto de las descargas de aguas residuales sobre las condiciones naturales del río es la más importante; sin embargo, para el caso de las cargas de grasas y aceites la diferencia entre el tramo 1 y el 2 fue la más pequeña, en contraste con las cargas de materia orgánica y sólidos.

TABLA 3.7. Carga promedio transportada de grasas y aceites: río Salitre

Parámetro	Río Salitre (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
Grasas y aceites	11	267	1442	3875

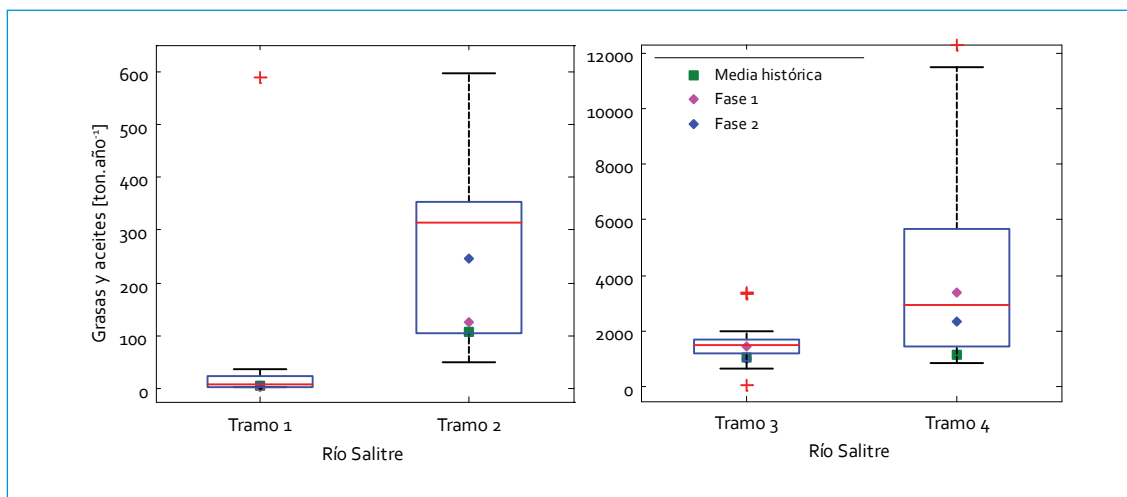


FIGURA 3.34. Perfil de cargas de grasas y aceites: río Salitre

Aunque esto no se puede apreciar en la gráfica, las cargas en el tramo 1 fueron poco variables, pues en la mayoría de los monitoreos las concentraciones fueron no detectables. Esto indica que esta parte del río no se vio afectada por este parámetro y demuestra una buena calidad del agua. En un par de monitoreos se presentaron concentraciones elevadas de grasas y aceites para el tramo que resultaron en cargas altas; por lo tanto, la carga media actual (11 t/año) parece ser mucho más elevada que la de los periodos previos.

Para el tramo 2, las cargas variaron entre 50 y 597 t/año, y la media (267 t/año) fue muy superior a la obtenida en el tramo anterior. Con referencia a las cargas promedio de los monitoreos históricos y de la fase 1, la carga media actual mostró un aumento entre el 50% y el 60% aproximadamente, como resultado de un aumento en los niveles de grasas y aceites en este punto del río, ya que la concentración promedio para este período (42 mg/L) fue la más alta desde los monitoreos históricos (promedio: 33 mg/L). En comparación con los resultados de la fase 2, aunque la concentración promedio de grasas y aceites (30 mg/L) no fue

muy diferente de la histórica, la temporada de lluvias que predominó en dicha fase influyó para obtener cargas similares (promedio: 247 t/año) a la carga actual.

En el tramo 3 se observó una menor dispersión en las cargas de grasas y aceites en comparación con el tramo anterior. Se notó, igualmente, un aumento significativo frente a la carga media del tramo anterior de aproximadamente 80%, y se constituye en uno de los parámetros que mayor diferencia presentaron entre esos dos puntos. Por otro lado, la carga media actual mostró una tendencia de aumento en referencia a la carga promedio histórica (1053 t/año) y frente a la media de la fase 2 (990 t/año). Esto denota que este parámetro, a diferencia de los demás, no es sensible a la extrapolación de cargas a partir de las curvas de 24 horas. Se debe resaltar que este aumento estuvo ligado a un aumento en las concentraciones promedio, ya que en este periodo (fase 3) la concentración media fue de 68 mg/L, mientras que en los monitoreos históricos y en la fase 2 la concentración media fue de 41 mg/L. Con referencia a las cargas de la fase 1, su similitud con la carga media actual se

dio en las altas concentraciones (promedio: 91 mg/L) que se presentaron para dicho periodo, ya que el periodo hidrológico fue predominantemente seco.

Por último, en el tramo 4 las cargas presentaron una variabilidad mayor que para el tramo anterior, con un rango entre 848 t/año y 11 457 t/año. En comparación con las cargas promedio de los periodos previos (históricos y fase 2), la carga actual aumentó entre el 40% y el 70%. Es importante mencionar que el factor que más influyó en las cargas de grasa y aceites de este tramo fue el periodo hidrológico; en el periodo más seco, correspondiente a los monitoreos históricos, la carga media (1172 t/año) fue la más baja; sin embargo, el promedio de concentraciones (35 mg/L) fue el más alto, contrario a lo sucedido en este periodo (fase 3), donde se presentó una época húmeda, la carga media fue la más elevada y la concentración media (19 mg/L) fue relativamente baja.

3.1.2.7. SAAM

Los cambios en carga media de SAAM de la fase 3 se presentan en la tabla 3.8; como se ha venido mencionando para los demás parámetros, la diferencia más importante en carga se dio entre el primer tramo y el segundo.

En el tramo 1, las cargas de SAAM fueron poco variables y muy bajas (figura 3.35); se notó un aumento entre el 35% y el 70% frente a la carga media histórica, de la fase 1 y de la fase 2. Sin embargo, este aparente aumento en las cargas estuvo influenciado principalmente por el caudal, ya que las concentraciones promedio de SAAM en esta parte del río han sido constantes, con una variación entre 0,1 mg/L y 0,16 mg/L.

TABLA 3.8. Carga promedio transportada de SAAM: río Salitre

Parámetro	Río Salitre (t/año)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
SAAM	0,3	37	172	518

Para el segundo tramo, la carga media aumentó con respecto al tramo anterior en aproximadamente 99%, lo cual muestra el efecto de las descargas de aguas residuales sobre las cargas de SAAM en el río. Aunque esto no se puede apreciar en la gráfica, las cargas mostraron una alta variabilidad, con un rango de 0,8 t/año a 73 t/año. En referencia a los resultados obtenidos para los periodos previos, la carga media actual fue superior a la histórica y a la de la fase 1, como resultado de un aumento en las concentraciones de SAAM, ya que el promedio para este periodo (5,1 mg/L) fue más alto que en los monitoreos históricos (promedio: 2,8 mg/L); además, hay que tener en cuenta que este periodo fue más húmedo que la fase 1, lo cual constituyó una condición más crítica.

En el tramo 3 se observó, igualmente, una dispersión en las cargas de SAAM; se encontró un aumento cercano al 60% frente a la carga media del tramo anterior. Por otra parte, se evidenció una tendencia de aumento, ya que la carga media actual fue superior en referencia a la histórica (55 t/año), a la de la fase 1 (119 t/año) y a la de la fase 2 (119 t/año). Se presume que las concentraciones registradas en los datos históricos (promedio: 2,2 mg/L) son muy bajas para lo que debería haber en este punto, pues ya se han recibido varias descargas de aguas residuales que muy probablemente aumentan la concentración media de SAAM en el río. El aumento de las cargas respecto a

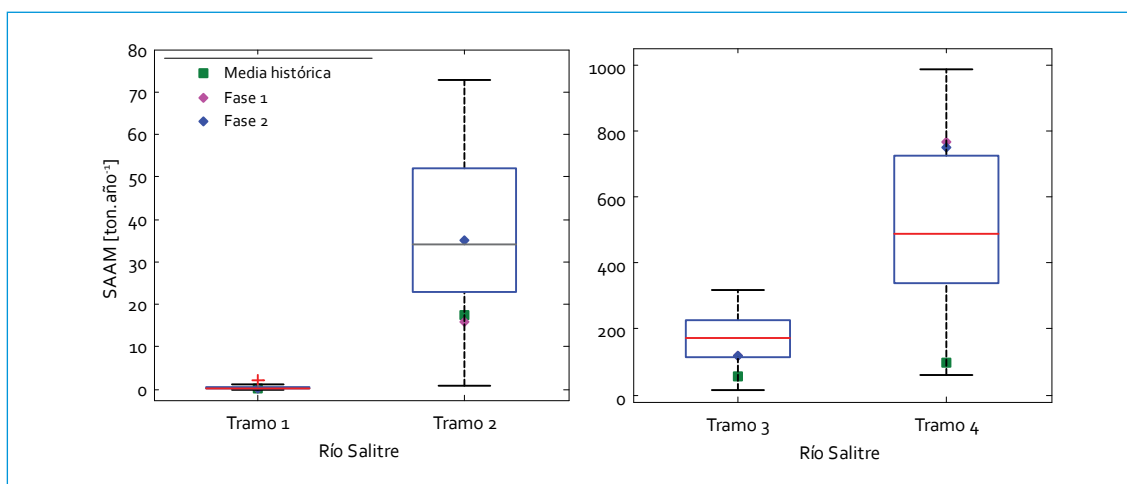


FIGURA 3.35. Perfil de cargas SAAM: río Salitre

la fase 1 y a la fase 2 estuvo influenciado por los caudales más que por las concentraciones, puesto que estas presentaron diferencias mínimas entre fases (de 5,4 mg/L a 8,7mg/L).

En el tramo 4 las cargas presentaron una variabilidad mayor que el tramo anterior, con un rango entre 61 y 986 t/año. La diferencia en carga fue importante, ya que, considerando que la carga para el tramo 3 fue alta comparada con los tramos anteriores, la carga media del tramo 4 aumentó el triple. Para este periodo (fase 3) la carga media fue bastante superior a la histórica (promedio: 98 t/año), aunque mantuvo un comportamiento relativamente constante frente a los resultados de la fase 1 (promedio: 766 t/año) y de la fase 2 (promedio: 748 t/año). Lo anterior demuestra que se ha presentado un incremento en la carga transportada de SAAM en el río a lo largo del tiempo, como consecuencia de un incremento en los caudales, especialmente entre los monitoreos históricos y los monitoreos de los últimos tres años. Al igual que en el tramo anterior, debido a las descargas que ha recibido el río a lo largo de su recorrido, se esperan altos caudales en el último tramo.

3.2. Calidad del agua (wqi)

En el tramo 1 del río Salitre solo se encuentra un punto de monitoreo (Parque Nacional); sobre este punto se obtuvo un total de 140 datos, de los cuales 3 no alcanzaron los objetivos de calidad. A partir de la estimación del wqi, la calidad del agua en este primer tramo fue **buena**. El único parámetro que no logró el objetivo de calidad fue el pH (tabla 3.9).

Se debe resaltar que la frecuencia que tuvo el pH en no alcanzar los objetivos de calidad fue relativamente baja: solo el 20% de los datos fueron inferiores al rango establecido en la Resolución 5731 de 2008 (6-9 unidades). Los datos que no lograron el objetivo de pH se encontraron medianamente cercanos al límite inferior (6 unidades) en un rango de variación entre 5,5 y 5,8. Comparando el wqi de este periodo (2011-2012) con el wqi del periodo anterior (2010-2011), la calidad de este tramo se ha mantenido en la misma categoría (**buena**), sin embargo el valor del wqi aumentó de un periodo a otro (2011-2012: 94 vs. 2010-2011: 88). Este pequeño cambio en la calidad está relacionado con la disminución de variables

que no alcanzan los objetivos. Para el periodo 2011-2012 solo se obtuvo un parámetro (pH) por fuera del rango del objetivo, mientras que para el periodo 2010-2011 se encontraron dos parámetros (oxígeno disuelto y pH). Cabe resaltar que en otros periodos el pH fue una de las variables que con mayor frecuencia excedieron el objetivo.

En el tramo 2 de este río hay dos puntos de monitoreo (Arzobispo y Carrera 30 con Calle 53), con un total de datos de 291, de los cuales 88 no lograron los objetivos de calidad. La calidad de agua de este tramo fue **pobre**, muy cercana al límite superior de la categoría (0-44), lo cual muestra que está muy cerca de ser marginal. Cabe resaltar que todos los parámetros, excepto el pH, sobrepasaron los objetivos de calidad; los coliformes fecales, el N_{total} , los SST y las grasas y aceites fueron los parámetros más críticos (tabla 3.10); entre el 61% y 39% de los datos de estos parámetros excedieron los objetivos de calidad.

A diferencia del primer tramo, con mucha frecuencia el tramo 2 no alcanzó los objetivos

de calidad y, además, algunos valores se alejaron en gran cuantía de los objetivos, especialmente en SST y grasas y aceites. El punto Arzobispo presentó una mejor calidad que Calle 53; tan solo el 4% de los datos de calidad de este punto sobrepasaron lo establecido en la Resolución 5731 de 2008; por el contrario en Calle 53, el 55% de los datos excedieron los objetivos. Del total de datos de coliformes (tanto de Arzobispo como de Calle 53), el 61% de los datos estuvieron por encima del objetivo de calidad (1×10^6 NMP/100 mL); esta fue la variable más crítica del tramo. Igualmente, todos los datos de N_{total} que no alcanzaron el objetivo se presentaron en el punto Calle 53.

Los parámetros SST, SAAM y grasas y aceites mostraron la misma cantidad de datos que excedieron los objetivos de calidad; además, la mayoría de estos datos se presentaron en Calle 53, lo cual demuestra que este punto es el más afectado por las descargas de aguas residuales del tramo 2. La DBO₅, la DQO y los SAAM también excedieron los objetivos en varios monitoreos; sin embargo, la frecuencia

TABLA 3.9. WQI río Salitre: tramo 1

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	0	F1	10,0
DBO ₅	0	F2	2,14
DQO	0	NSE	0,001
N_{total}	0	F3	0,14
P_{total}	0	WQI	94,09
SST	0		
Grasas y aceites	0		
Coliformes fecales	0		
pH	3		
SAAM	0		

fue levemente inferior, por lo que no se consideran variables críticas para el tramo, pero sí importantes en la definición de la calidad del agua. Se debe resaltar que en la mayoría de variables se notaron diferencias marcadas entre Arzobispo y Calle 53, ya que el 100% de los datos de oxígeno, materia orgánica, nutrientes, sólidos y grasas y aceites en Arzobispo estuvieron dentro de lo establecido, mientras que el 55% de los datos en Calle 53 estuvieron por encima de los objetivos. Es importante tener en cuenta que después de los eventos de lluvia del periodo 2010-2011 es posible que los alivios se colmaten y den como resultado un mayor número de datos que exceden los objetivos en este punto del río.

Al comparar el WQI de este periodo con el del periodo 2010-2011, la calidad del agua de este tramo empeoró: pasó de categoría **marginal** a **pobre**. Es importante notar que la calidad del agua en el periodo 2011-2012 mostró una cercanía al límite superior de la categoría **pobre** ($0 < \text{WQI} < 44$); por lo tanto, el cambio de categoría no necesariamente muestra diferencias

significativas en la calidad del agua del tramo. Aunque el valor del WQI no cambió de manera importante entre los dos periodos (pasó de 49 a 44) se notaron algunas diferencias que favorecieron la calidad en el periodo 2010-2011. La cantidad de variables que no lograron los objetivos fue menor en el periodo 2010-2011, ya que todos los valores de P_{total} y pH se mantuvieron dentro de lo establecido, mientras que para el periodo 2011-2012 el único parámetro que estuvo dentro de los objetivos fue pH. También se observó que en este periodo los valores que excedieron los objetivos se alejaron un poco más de los objetivos; en Calle 53 los valores que excedieron los objetivos de SAAM y N_{total} en el periodo 2011-2012 (rango SAAM: 3,6 mg/L-10 mg/L; rango N_{total} : 23mg/L-54 mg/L) se alejaron más de los objetivos que los valores que superaron la norma en el periodo 2010-2011 (rango SAAM: 3,7 mg/L-8,6 mg/L; rango N_{total} : 23 mg/L-43 mg/L).

En el tramo 3 están los puntos Calle 53 y Carrefour Avenida 68, con 296 datos en total, de los cuales 152 no alcanzaron los objetivos

TABLA 3.10. WQI río Salitre: tramo 2

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	5	F1	90,0
DBO ₅	10	F2	30,2
DQO	9	NSE	0,27
N_{total}	12	F3	21,22
P_{total}	2	WQI	43,83
SST	11		
Grasas y Aceites	11		
Coliformes fecales	17		
pH	0		
SAAM	11		

de calidad; de acuerdo con el cálculo del WQI, la calidad del agua en este tramo fue **pobre** (tabla 3.11). En general se notó que la calidad del agua en los dos puntos de este tramo fue homogénea, aunque el punto Calle 53 presentó una calidad levemente mejor que Carrefour Avenida 68; el 41% de los datos de calidad en Calle 53 sobrepasaron lo establecido en la Resolución 5731 de 2008, y en Carrefour el 62% de los datos excedieron los objetivos.

Los parámetros más críticos fueron los coliformes fecales, las SAAM y las grasas y aceites; dentro de estos, los coliformes fecales fueron el parámetro que más veces excedió el objetivo de calidad (el 89% de los datos de coliformes superaron 10^6 NMP/100 mL). A diferencia de los tramos 1 y 2, en el tramo 3 el alto porcentaje de datos de coliformes fecales que excedió el objetivo muestra la afectación de las descargas de aguas residuales domésticas en este tramo del río. También se presentó una cantidad importante de datos de grasas y aceites y de las SAAM por encima del objetivo, algunos con cifras realmente elevadas. Por ejemplo, en el

caso de grasas y aceites el rango de los datos que excedieron los objetivos fue entre 38 mg/L y 103 mg/L, y en el caso de las SAAM fue entre 3,6 mg/L y 13 mg/L. Por otro lado, tanto la DBO_5 , la DQO, el N_{total} y los SST mostraron casi la misma cantidad de datos en exceder los objetivos de calidad, la mayoría de estos se presentaron en Carrefour Avenida 68. Se debe resaltar que para el oxígeno disuelto se notó una marcada diferencia en los datos de Calle 53 y Carrefour, ya que el 100% de los datos de oxígeno disuelto en Calle 53 estuvieron por encima del objetivo, mientras que en Carrefour el 80% de los datos estuvieron por debajo del objetivo.

Al igual que el tramo anterior, en el tramo 3 se notó una variación en el WQI de este periodo y el del periodo 2010-2011. Es decir, hubo un empeoramiento de la calidad y esta cambió de categoría **marginal** a **pobre**. El valor del WQI cambió entre los dos periodos (pasó de 50 a 38) y se encontraron diferencias que muestran un deterioro en la calidad en el periodo 2011-2012. Así como en el tramo 2, la cantidad de variables que no lograron los

TABLA 3.11. WQI río Salitre: tramo 3

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	12	F1	90,0,
DBO_5	17	F2	51,4
DQO	16	NSE	0,36
N_{total}	17	F3	26,71
P_{total}	6	WQI	38,22
SST	16		
Grasas y aceites	21		
Coliformes fecales	25		
pH	0		
SAAM	22		

objetivos del tercer tramo fue menor en el periodo 2010-2011, ya que todos los valores de P_{total} y pH se mantuvieron dentro de lo establecido, mientras que para el periodo 2011-2012 el único parámetro que estuvo dentro de los objetivos fue el pH. También se observó que la cantidad de valores que excedieron los objetivos de oxígeno disuelto, DBO_5 , N_{total} y P_{total} fue mucho mayor en el periodo 2011-2012. Por otro lado, los valores que excedieron los objetivos de N_{total} y SST y, en menor proporción, de coliformes fecales en este periodo (rango de N_{total} : 40 mg/L-58 mg/L, rango de SST: 163 mg/L-497 mg/L, rango de coliformes fecales: $2,1 \times 10^6$ mg/L- $4,6 \times 10^7$ NMP/100 mL) se alejaron más de los objetivos que los valores que superaron la norma en el periodo 2010-2011 (rango de N_{total} : 23 mg/L-50 mg/L, rango de SST: 101 mg/L-273 mg/L, rango de coliformes fecales: $1,1 \times 10^6$ mg/L- $2,4 \times 10^7$ NMP/100 mL), lo cual muestra que en el último periodo se elevaron los niveles de N_{total} y de SST.

Por último, en el tramo 4 (Carrefour Avenida 68, Transversal 91 y Salitre Alameda) el WQI mostró una calidad del agua **pobre**. Este tramo contó con un total de 439 datos, de los cuales 147 no alcanzaron los objetivos de calidad. Al igual que el tramo anterior, todos los parámetros, a excepción del pH, sobrepasaron los objetivos de calidad al menos una vez, como se puede ver en la tabla 3.12; el WQI para este tramo fue de 39.

Los parámetros que con más frecuencia superaron los objetivos de calidad fueron el oxígeno disuelto, las SAAM, los coliformes fecales y las grasas y aceites. El 91% de los datos de oxígeno disuelto fueron inferiores a 0,5 mg/L, el 78% de los datos de SAAM estuvieron por encima de 3 mg/L, el 76% de los datos de coliformes fecales fueron superiores a 1×10^6 NMP/100 mL y el 50% de los datos de grasas

y aceites excedieron 30 mg/L; los datos anteriores (muestran que en la gran mayoría de monitoreos la calidad del agua fue muy baja en relación con estos parámetros. Los valores de oxígeno disuelto fueron lejanos al objetivo de calidad (rango entre 0,01 mg/L y 0,29 mg/L) lo que hace de este parámetro el más crítico del tramo.

Los puntos Transversal 91 y Salitre Alameda presentaron una calidad levemente mejor para este tramo que Carrefour Avenida 68, ya que de todos los valores registrados en Transversal 91, el 30% no alcanzó los objetivos de calidad del tramo 4 y en Salitre Alameda este indicador fue del 27%; mientras que en Carrefour Avenida 68 el 62% de los datos sobrepasaron los objetivos. Se debe resaltar que en Transversal 91 y en Salitre Alameda todos los datos de materia orgánica, sólidos y pH estuvieron dentro de lo establecido; sin embargo, fueron los puntos que presentaron las concentraciones más bajas de oxígeno en el tramo.

Al comparar el WQI de este periodo con el del periodo 2010-2011, la calidad de este tramo, al igual que la del anterior, cambió de categoría **marginal** a **pobre**. Se notó un cambio en los valores del WQI, lo cual está relacionado principalmente con un aumento en la cantidad de variables y datos que no alcanzaron los objetivos y la lejanía entre los datos y los objetivos de calidad. Al igual que en los dos tramos anteriores, en el periodo 2010-2011 todos los valores de P_{total} y pH se mantuvieron dentro de lo establecido, mientras que para el periodo 2011-2012 el único parámetro que estuvo dentro de los objetivos fue el pH. Aunque en los dos periodos las variables críticas fueron las mismas (oxígeno disuelto, coliformes fecales y SAAM) se observó que la cantidad de valores que excedieron los objetivos fue mayor en el

TABLA 3.12 WQI del río Salitre: tramo 4

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	VARIABLES	Valor
Oxígeno disuelto	41	F1	90,0
DBO ₅	10	F2	39,6
DQO	10	NSE	0,57
N _{total}	14	F3	36,27
P _{total}	5	WQI	39,48
SST	9		
Grasas y aceites	21		
Coliformes fecales	29		
pH	0		
SAAM	35		

periodo 2011-2012, especialmente en los datos de DBO₅ y P_{total}. Por otro lado, los valores que excedieron los objetivos de oxígeno disuelto, N_{total} y grasas y aceites en el periodo 2011-2012 (rango de oxígeno disuelto: 0,01 mg/L-0,29 mg/L, rango de N_{total}: 40 mg/L-58 mg/L, rango de grasas y aceites: 36 mg/L-163 mg/L) se alejaron más de los objetivos que los valores que

superaron la norma en el periodo 2010-2011 (rango de oxígeno disuelto: 0,05 mg/L-0,35 mg/L, rango de N_{total}: 40 mg/L-50 mg/L, rango de grasas y aceites 31 mg/L-110 mg/L), lo cual muestra que en el último periodo se elevaron los niveles contaminantes a lo largo del río.

La figura 3.36 presenta el mapa de calidad para el río Salitre.

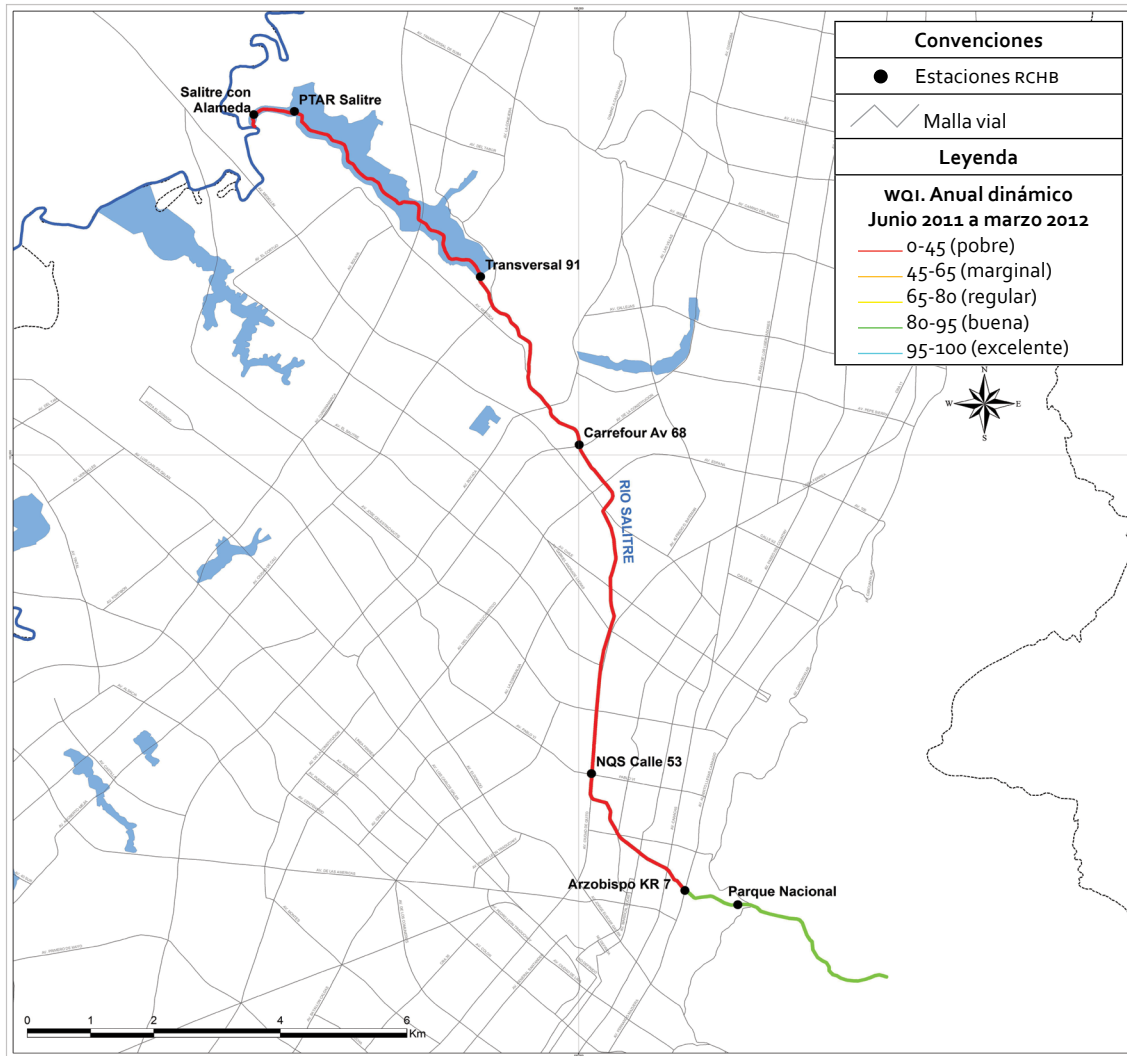


FIGURA 3.36. Mapa de calidad: río Salitre

4. RÍO FUCHA

4.1. Resultados del monitoreo físicoquímico

El río Fucha se encuentra en una cuenca mayoritariamente doméstica en sus tramos alto y medio, donde los vertimientos de aguas residuales afectan la calidad del agua a lo largo de su recorrido por la ciudad. A partir del punto Avenida Boyacá, se nota la presencia de aguas residuales de tipo industrial, ya que se empieza a registrar mayor presencia de metales pesados, junto con valores de DQO y conductividad muy altos. Se ha podido verificar que el primer punto de monitoreo (El Delirio) goza de muy buena calidad de agua; sin embargo, a partir

de la carrera 7.^a, donde el río es canalizado, se observa el gran impacto que tiene sobre la calidad del agua la entrada del río al perímetro urbano, donde las descargas de las aguas residuales aumentan en gran medida las concentraciones de contaminantes. A continuación se presenta un análisis de la evolución de los parámetros de calidad a lo largo del tiempo; la nomenclatura en las gráficas de cada parámetro se detalla en la tabla 4.1.

Durante todos los periodos de monitoreo evaluados la calidad de agua es excelente en el primer punto de monitoreo (El Delirio), pues a lo largo de los años se registraron muy bajas concentraciones de contaminantes, junto

TABLA 4.1. Nomenclatura: río Fucha

Nomenclatura	Nombre del punto	Nomenclatura	Periodo
FU-1	El Delirio	H	Históricos: 2006-2007
FU-2	Fucha Carrera 7. ^a	F1	Fase 1: 2009-2010
FU-3	Avenida Ferrocarril	F2	Fase 2: 2010-2011
FU-4	Avenida Las Américas	F3	Fase 3: 2011-2012
FU-5	Avenida Boyacá		
FU-6	Visión Colombia		
FU-7	Zona Franca		
FU-8	Fucha Alameda		

con altas concentraciones de oxígeno disuelto. Luego de este punto, el río Fucha entra a la ciudad y empieza a recibir un sinnúmero de vertimientos de agua residual doméstica. Lo anterior se refleja en el punto Carrera 7.^a, donde las condiciones de calidad de agua han desmejorado en los últimos dos años, lo que genera una alarma, pues se observó un aumento en materia orgánica, SST, sulfuros y algunos metales. El punto Avenida Ferrocarril no sufrió cambios importantes en calidad; aquí los parámetros más críticos son materia orgánica, SST, oxígeno disuelto y coliformes. Por otro lado, en Avenida Las Américas las concentraciones de nutrientes, DBO₅ y SST disminuyeron en los últimos años de monitoreo, lo que pudo ser el resultado del aumento de lluvias o bien, de un mejoramiento de la calidad del agua. En Avenida Boyacá se confirma la presencia de vertimientos de agua residual industrial pues en este punto se han registrado otros contaminantes que no se habían registrado aguas arriba de este punto de monitoreo. Por último, en el tramo 4 del río Fucha se observan las condiciones más críticas en calidad del agua, en donde no se observó alguna mejoría en los últimos años de monitoreo. Esta situación no va

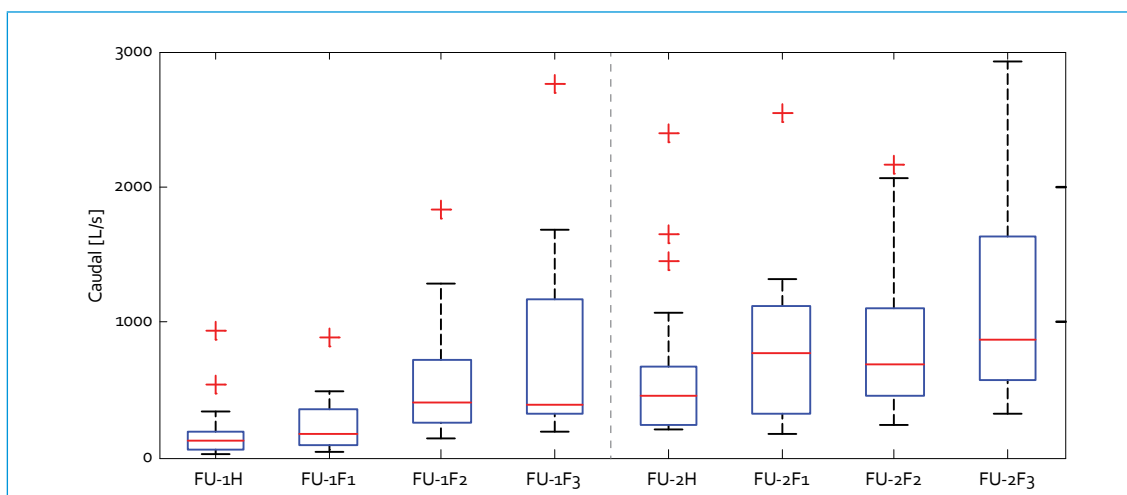
a cambiar hasta no eliminar los grandes interceptores que vierten a lo largo de este tramo.

4.1.1. Validación de datos: diagramas de cajas

4.1.1.1. Caudal

El caudal del río Fucha muestra un aumento a lo largo de su recorrido por la ciudad (figura 4.1). La cuenca alta del río presenta bajos caudales, y el aumento de descargas genera un incremento en caudales a medida que el río avanza por la ciudad. El cambio más significativo se observa a partir del punto Visión Colombia, donde el caudal aumenta en aproximadamente 4000 L/s. Dado que cada periodo de monitoreo tuvo una condición hidrológica particular, en términos generales se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Caudales constantes: Carrera 7.^a, Avenida Boyacá, Visión Colombia (a excepción de la fase 2, donde se presentó el mayor caudal), Zona Franca y Fucha Alameda (a excepción de la fase 2, donde se presentó el mayor caudal).



Continúa

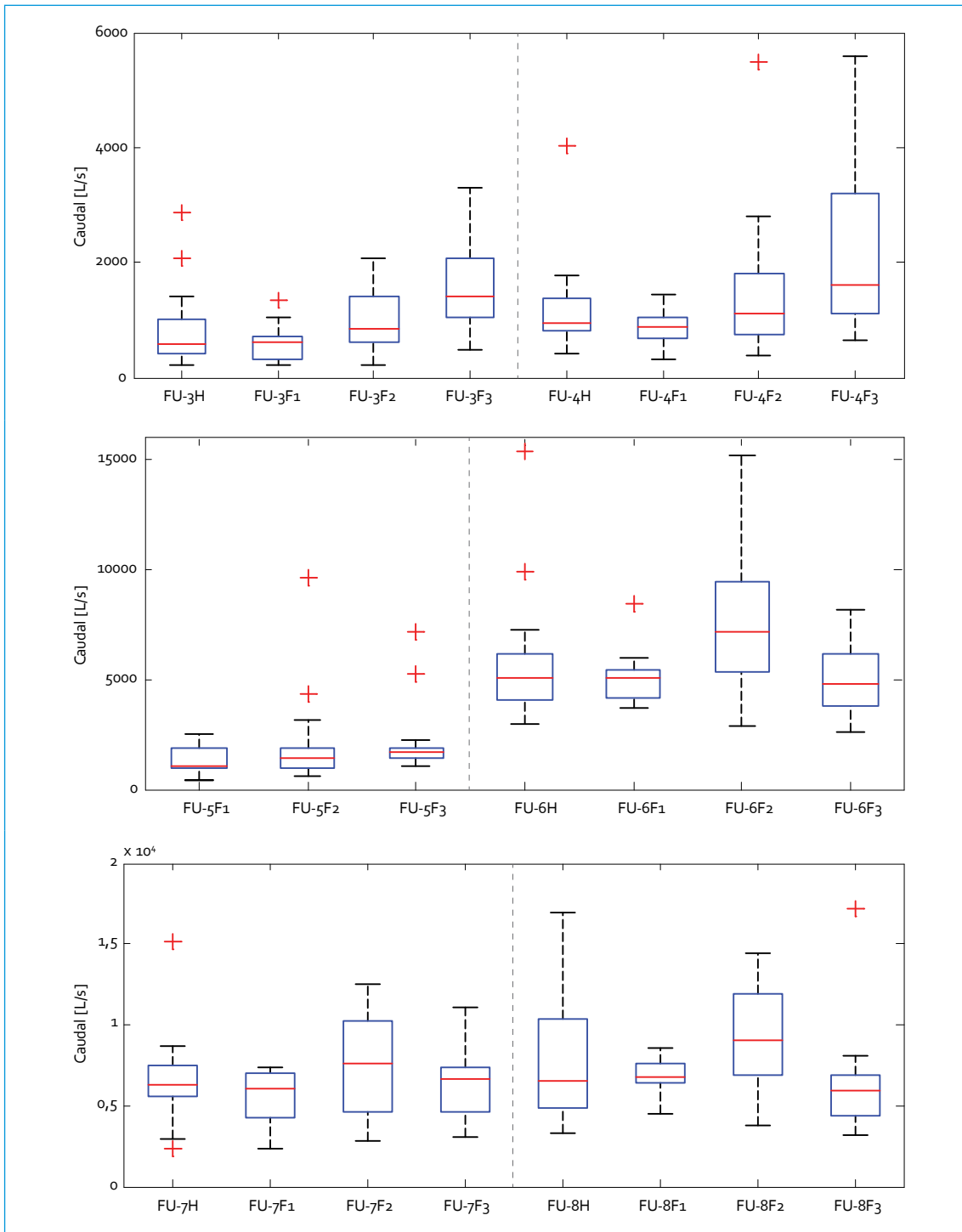


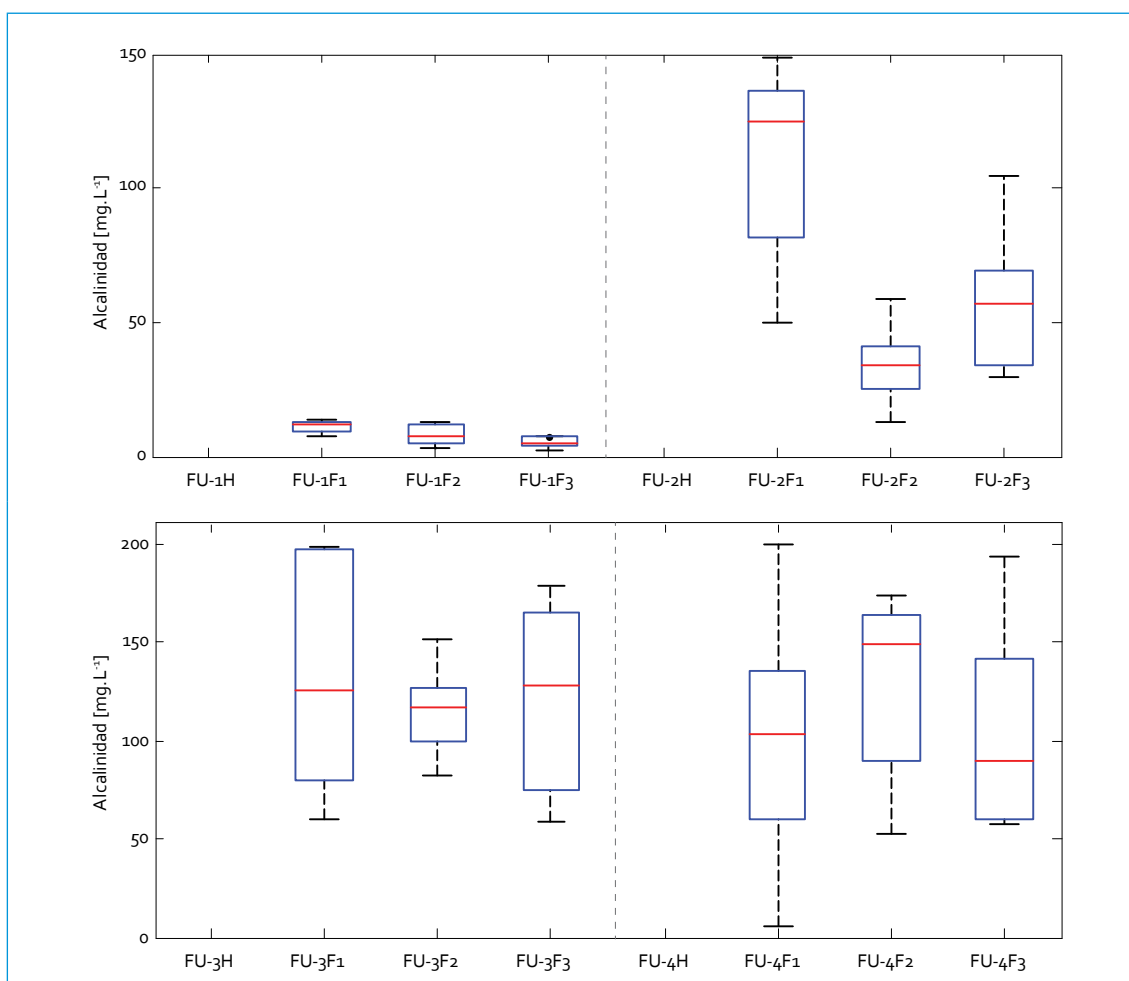
FIGURA 4.1. Perfil del caudal: río Fucha

- Aumentos en caudal: El Delirio (70% F₃ vs. H), Avenida Ferrocarril (58% F₃ vs. H) y Avenida Las Américas (41% F₃ vs. H).

Las temporadas más secas de monitoreo fueron los registros históricos (2006-2007) y la fase 1 (2009-2010). Las últimas fases, desde el segundo semestre del 2010 hasta el primer semestre del 2012, reflejan la fuerte temporada de lluvia que se presentó en la ciudad, lo cual aumentó de manera significativa los caudales del río Fucha en la mayoría de puntos.

4.1.1.2. Alcalinidad

Las principales especies que marcan alcalinidad son hidróxidos, bicarbonatos, carbonatos y fosfatos, entre otros; por lo tanto, la alcalinidad se puede asociar a una posible fuente de aguas residuales domésticas o industriales. El comportamiento de la alcalinidad en el río Fucha es ascendente a medida que llega a su desembocadura (figura 4.2). Se observó un cambio importante en las concentraciones de alcalinidad en el punto Carrera 7.^a, donde la concentración aumentó diez veces en relación



Continúa

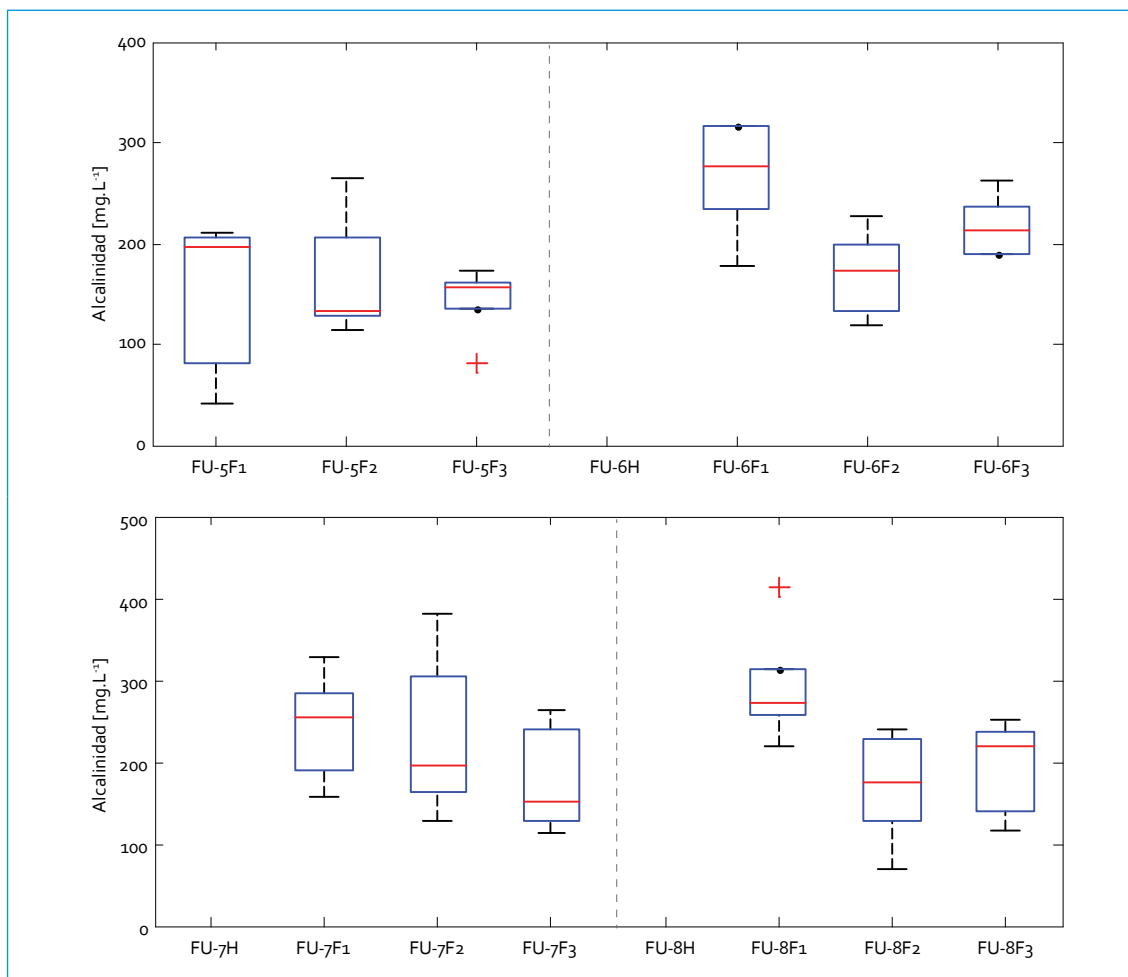


FIGURA 4.2. Perfil de alcalinidad: río Fucha

con el punto El Delirio. En la cuenca media, para la fase 1 el rango de variabilidad fue el mayor, con valores de 5 y 200 mg/L en el punto Avenida Las Américas. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: Avenida Ferrocarril, Avenida Las Américas FU-4 (a excepción de la fase 2, donde se presentó la mayor mediana), Avenida Boyacá y Visión Colombia (con diferencias no mayores al 30% entre las fases).
- Disminuciones: El Delirio (56% F₃ vs. F₁), Carrera 7.^a (55% F₃ vs. F₁) y Zona Franca (40% F₃ vs. F₁).

La temporada de lluvias afectó las concentraciones de alcalinidad, pues para la fase 2 (2010-2011) se obtuvo la mediana más baja de los periodos en el caso de Carrera 7.^a, Avenida Boyacá, Visión Colombia y Fucha Alameda. Las últimas fases, desde el segundo semestre del 2010 hasta el primer semestre del 2012, registraron altas precipitaciones que afectaron la alcalinidad en la mayoría de puntos. En relación

con lo anterior, se observó que en la fase 1 las medianas fueron las más altas.

4.1.1.3. Dureza

Para El Delirio los registros de dureza fueron muy bajos, con medianas por debajo de 15 mg/L, mientras que en Fucha Alameda las medianas estuvieron por el orden de los 100 mg/L, aunque hubo registros de 300 mg/L (figura 4.3). En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

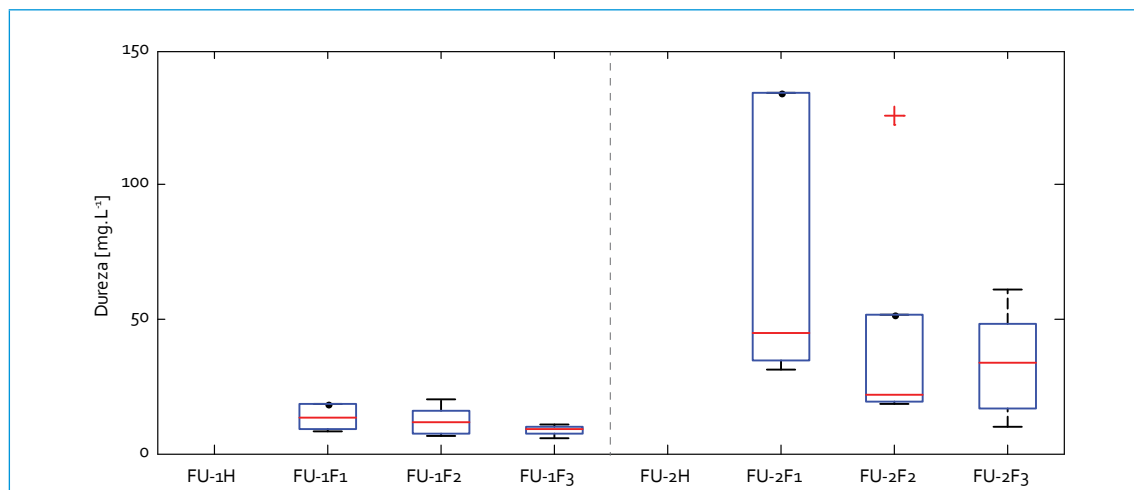
- Constantes: Carrera 7.^a, Avenida Boyacá, Zona Franca y Fucha Alameda (a excepción de F2, donde para todos estos puntos se registró la mediana más alta).
- Aumentos: Avenida Ferrocarril (34% F3 vs. F1).
- Disminuciones: El Delirio (33% F3 vs. F1), Avenida Las Américas (38% F3 vs. F1) y Visión Colombia (58% F3 vs. F1).

En la fase 2 se registraron altas concentraciones para la mayoría de puntos; por su parte, las medianas para las fases 1 y 3 guardan

cierta similitud, especialmente en el tramo 4 del río. Los mayores rangos de variabilidad se obtuvieron en las fases 1 y 2.

4.1.1.4. pH

El comportamiento del pH fue semejante en los diversos periodos y su variación entre los puntos de monitoreo no fue considerable (figura 4.4). Para el punto El Delirio se observó un comportamiento constante respecto a los registros históricos y de las fases 1, 2 y 3. A partir de Carrera 7.^a el pH aumentó un poco y siguió sin mayores variaciones hasta el punto Avenida Boyacá, donde se registraron los valores más altos (9,37 unidades), lo cual muestra el efecto negativo que tienen las descargas de agua residual de tipo industrial aguas arriba de este sitio de monitoreo. A partir de este punto, el pH siguió un comportamiento similar en Visión Colombia, Zona Franca y Fucha Alameda, donde las medianas histórica y de las fases 1, 2 y 3 se encontraron en condiciones neutras. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:



Continúa

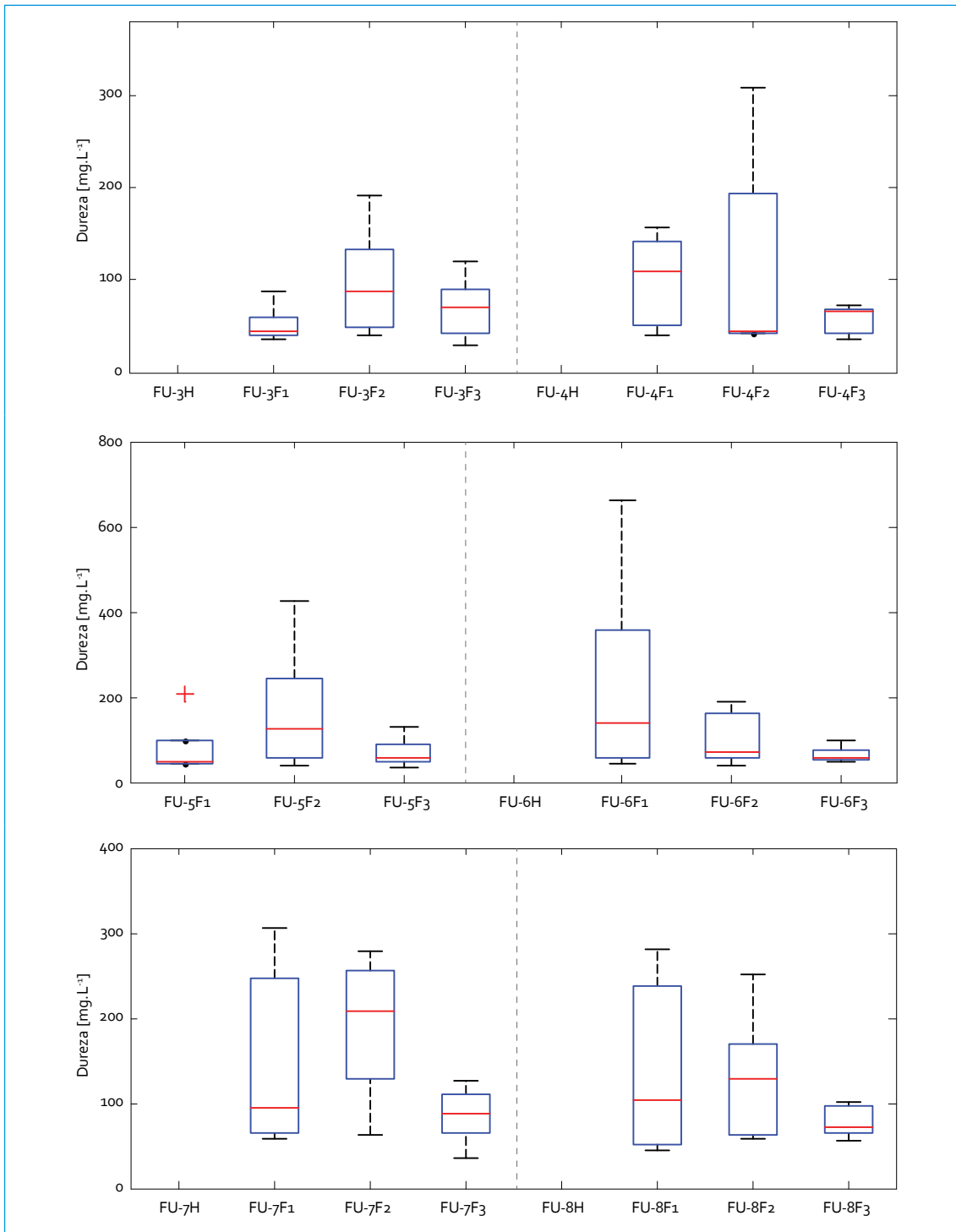
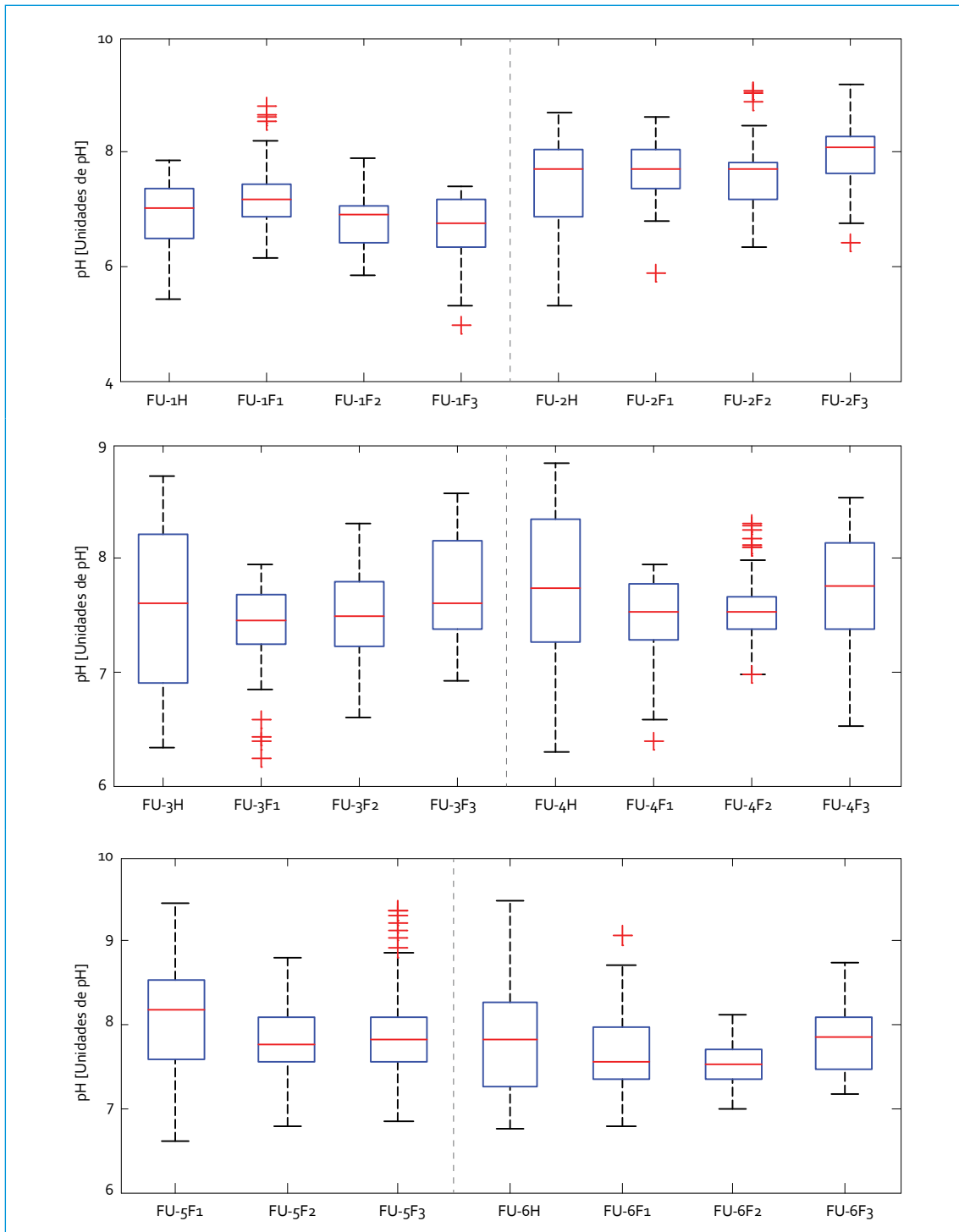


FIGURA 4.3. Perfil de dureza: río Fucha



Continúa

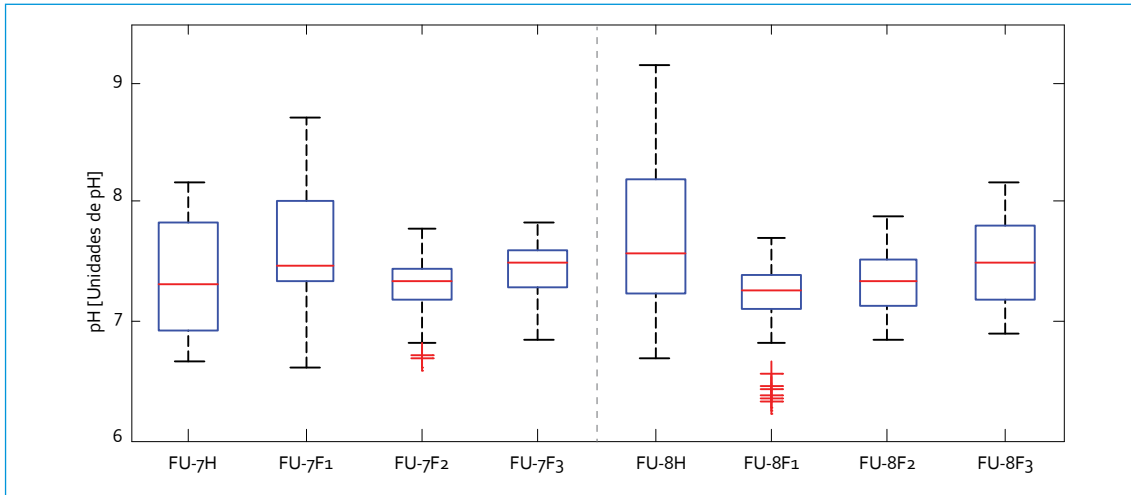


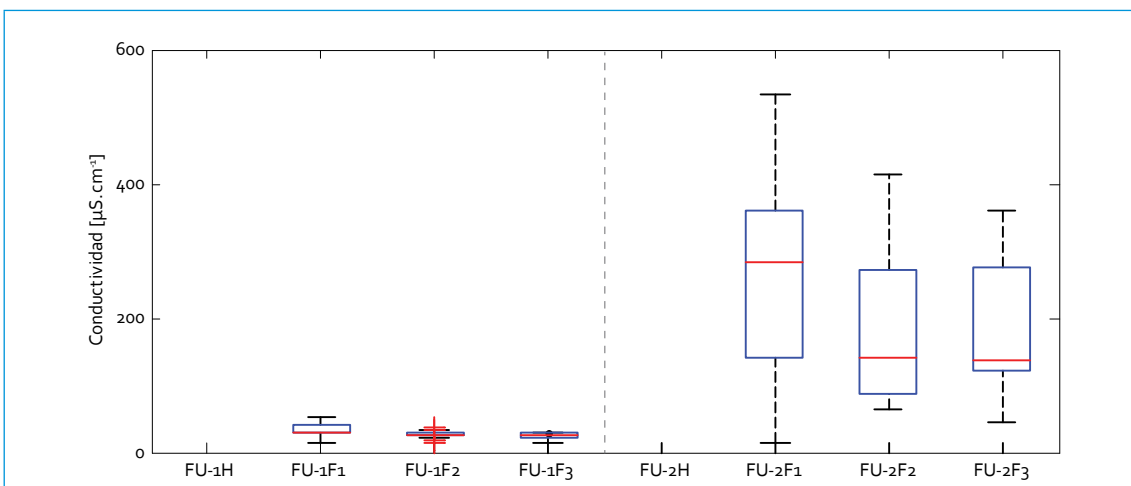
FIGURA 4.4. Perfil de pH: río Fucha

- Los dos primeros puntos de monitoreo no presentaron variaciones importantes para los diferentes periodos.
- Para los puntos Avenida Ferrocarril y Avenida Las Américas el rango de variación fue mayor en el periodo histórico.
- Los mayores registros de pH se obtuvieron en el punto Avenida Boyacá.

4.1.1.5. Conductividad

Aunque no existan valores históricos para este parámetro, es importante monitorear la

conductividad en el río Fucha, ya que muestra posibles afectaciones provenientes de las descargas de agua residual. La medición de conductividad permite obtener una aproximación indirecta de la presencia de contaminantes en el agua. Entre otros parámetros determinantes de calidad de agua, la conductividad también demuestra una afectación importante por causa de las descargas que están ubicadas especialmente aguas arriba de la Avenida Boyacá. Se presentaron diferencias significativas entre los primeros puntos de monitoreo (figura 4.5) y los puntos en la cuenca baja del río Fucha.



Continúa

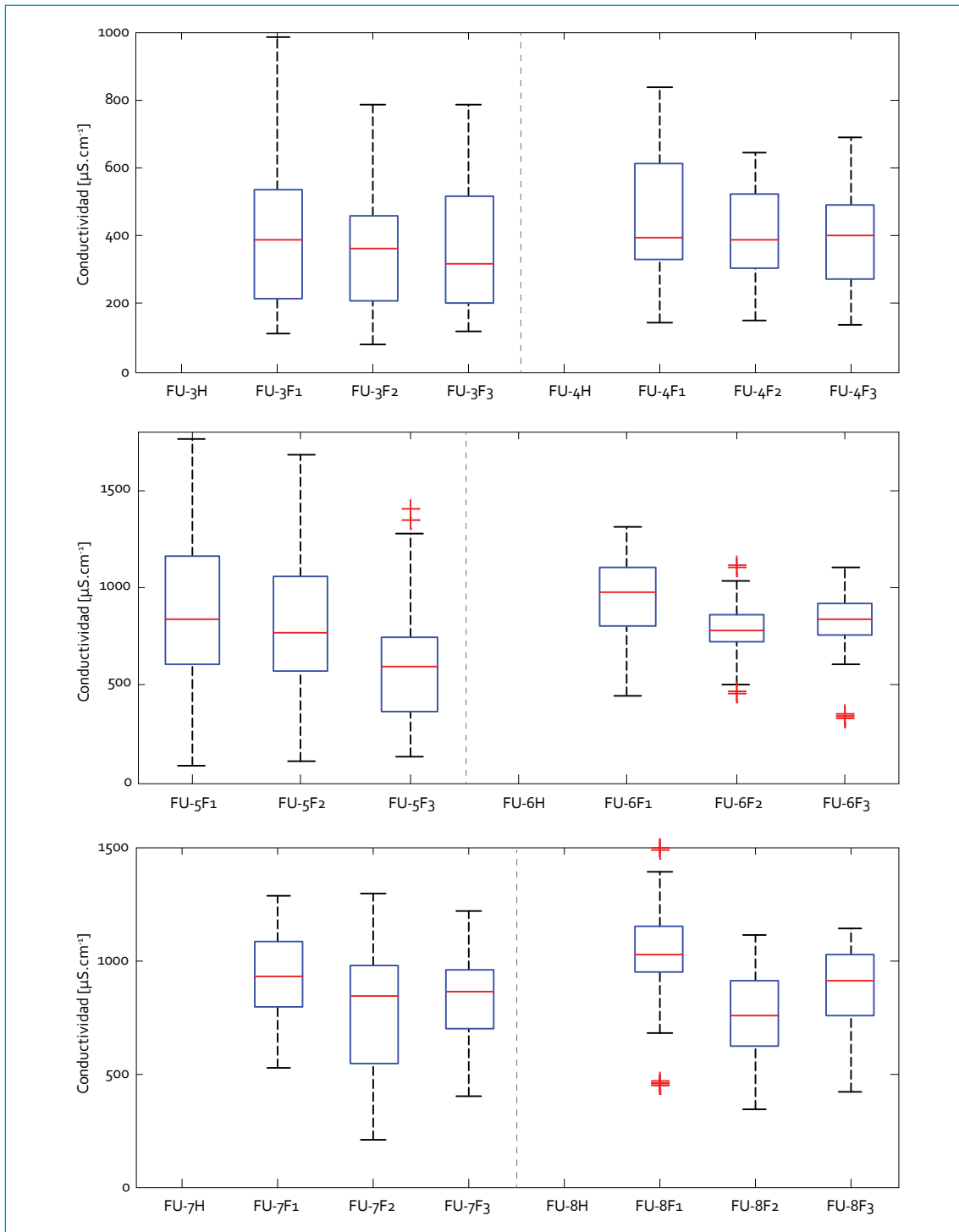


FIGURA 4.5. Perfil de conductividad: río Fucha

En el punto Avenida Boyacá la conductividad aumentó considerablemente, y llegó a valores de hasta 1754 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A partir de la figura se puede identificar un aumento en la conductividad a medida que el río va llegando a su desembocadura. En la parte alta del río (El Delirio) la mediana para todas las fases fue muy similar (menor a 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mientras que en Fucha Alameda fue de 908 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la fase 3. Esto confirma claramente la afectación que presenta en el río a lo largo de su recorrido. En términos generales, se notaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

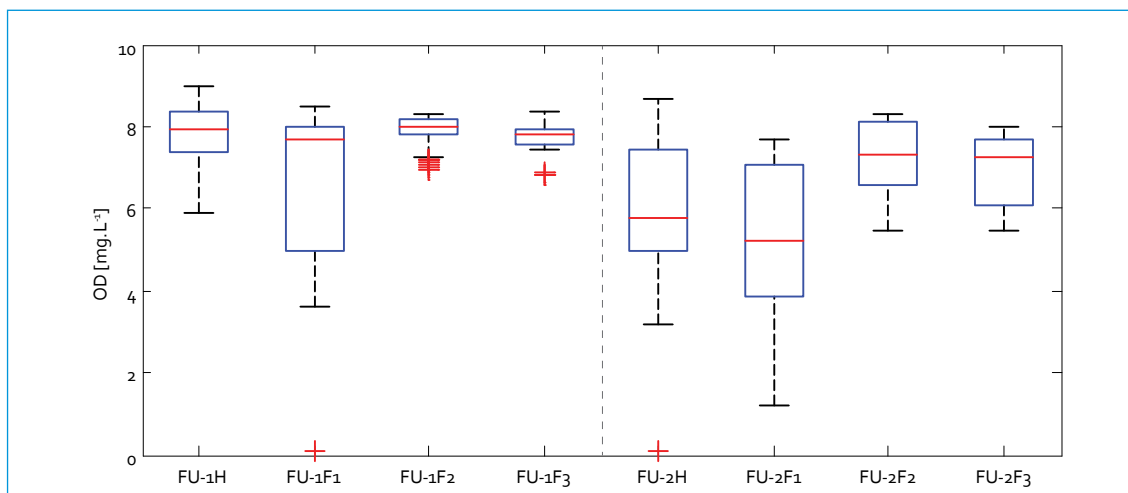
- Constantes: El Delirio, Carrera 7.^a (para las dos últimas fases), Avenida Ferrocarril y Avenida Las Américas.
- Se observó una disminución en la conductividad para el punto Avenida Boyacá (29% F₃ vs. F₁).
- En la fase 2 se registraron las medianas más bajas para Zona Franca y Fucha Alameda.

4.1.1.6. Oxígeno disuelto

Se observaron diferencias significativas entre los puntos El Delirio y Carrera 7.^a respecto a

los puntos aguas abajo (figura 4.6). Para El Delirio las medianas de concentración se mantuvieron constantes en todos los periodos de monitoreo, lo cual refleja la buena calidad del agua a esta altura del río. En el punto Carrera 7.^a las concentraciones de oxígeno disuelto tendieron a disminuir un poco, hecho que se relaciona con que en este punto el río es canalizado y entra al perímetro urbano. A partir de Avenida Ferrocarril la concentración cayó abruptamente, como resultado de las numerosas descargas que vierten al río Fucha grandes cargas contaminantes y llevan a que el río pierda su capacidad de asimilación y autodepuración. En el tramo 4 los valores de oxígeno disuelto se encuentran en el orden de 1 mg/L; en este punto no se ha notado una mejoría en los últimos 3 años. En términos generales, se observaron los siguientes comportamientos a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio, Avenida Boyacá, Visión Colombia, Zona Franca y Fucha Alameda.
- Aumentos: Carrera 7.^a (40% F₃ vs. F₁), Avenida Ferrocarril (12 veces mayor en F₃ vs. H) y Avenida Las Américas (ocho veces mayor en F₃ vs. H).



Continúa

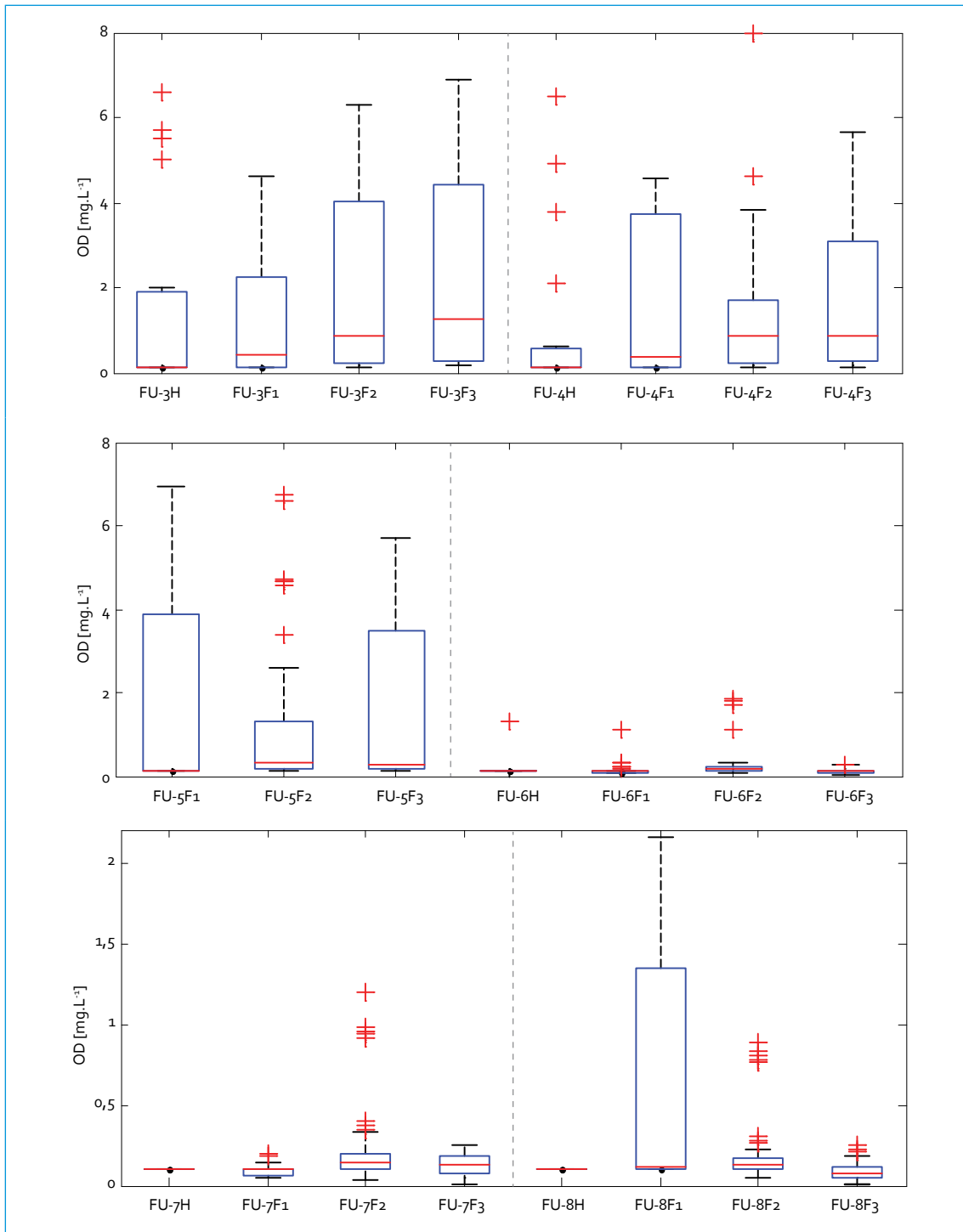


FIGURA 4.6. Perfil de oxígeno disuelto: río Fucha

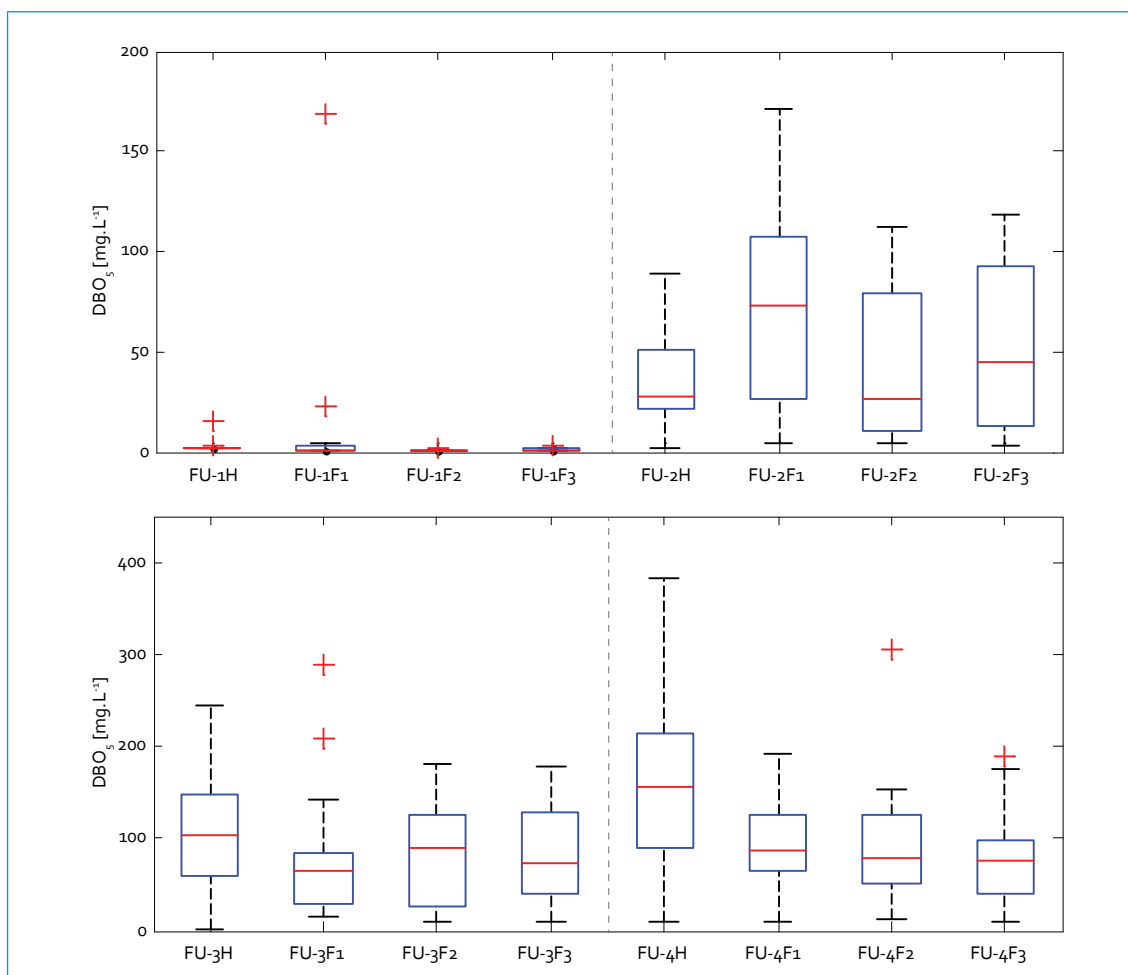
A partir de estas tendencias se puede inferir que la temporada de invierno afectó las concentraciones de oxígeno disuelto, pues para las últimas dos fases (2010-2011 y 2011-2012) las medianas fueron las más altas en los tramos 2 y 3.

4.1.1.7. DBO_5

La DBO_5 tuvo un comportamiento ascendente a lo largo del río Fucha. Se apreció un aumento en la concentración a partir del punto de monitoreo Carrera 7.^a y hasta el punto Visión Colombia, donde se incrementó significativa-

mente la concentración, debido a la descarga de los interceptores Fucha, Boyacá y del Sur, que se encuentran aguas arriba de este punto de monitoreo (figura 4.7). Dado que cada periodo de monitoreo tuvo un comportamiento distinto entre las diferentes fases, en términos generales se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio (con medianas de concentración menores a 2 mg/L), Avenida Ferrocarril (diferencias menores al 30%), Zona Franca y Fucha Alameda (a excepción de la fase 2, donde se obtuvo la mediana más baja).



Continúa

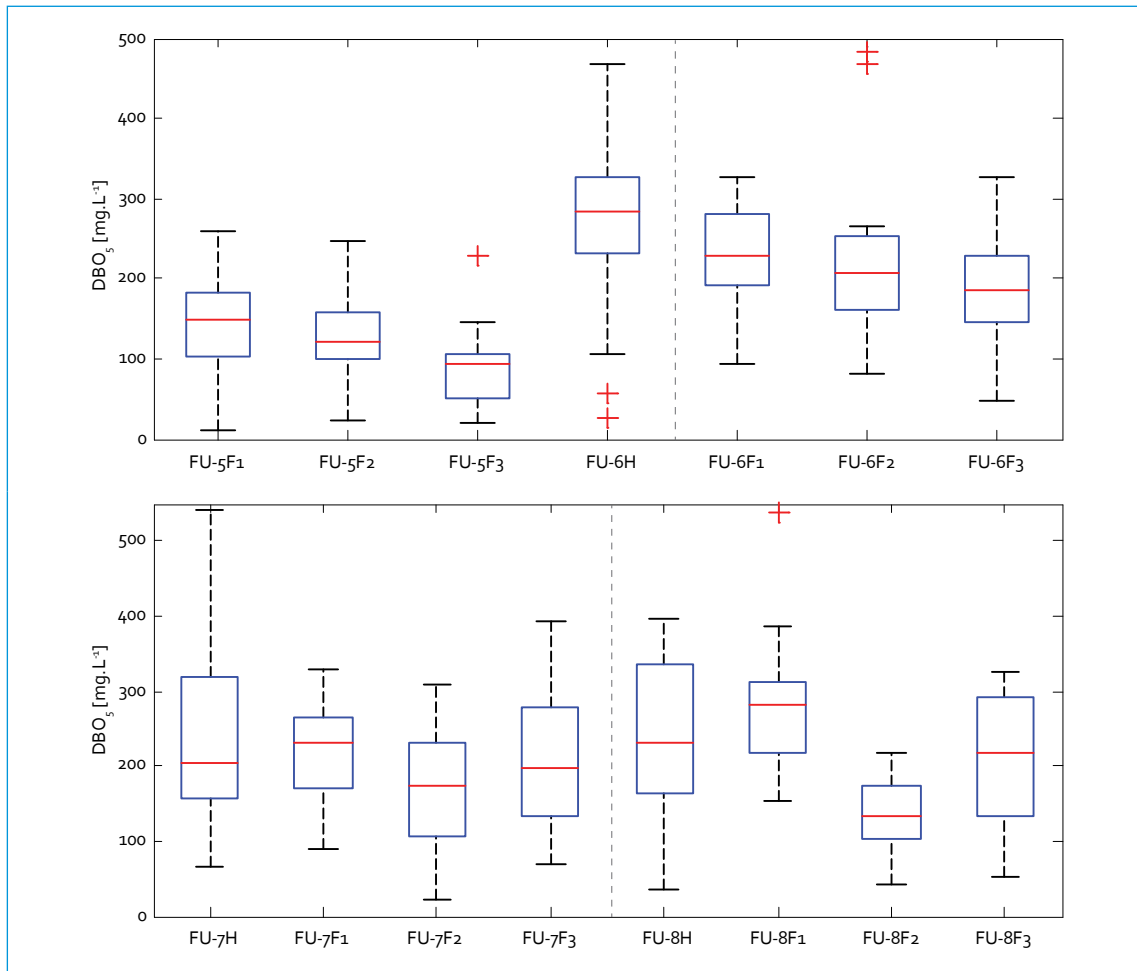


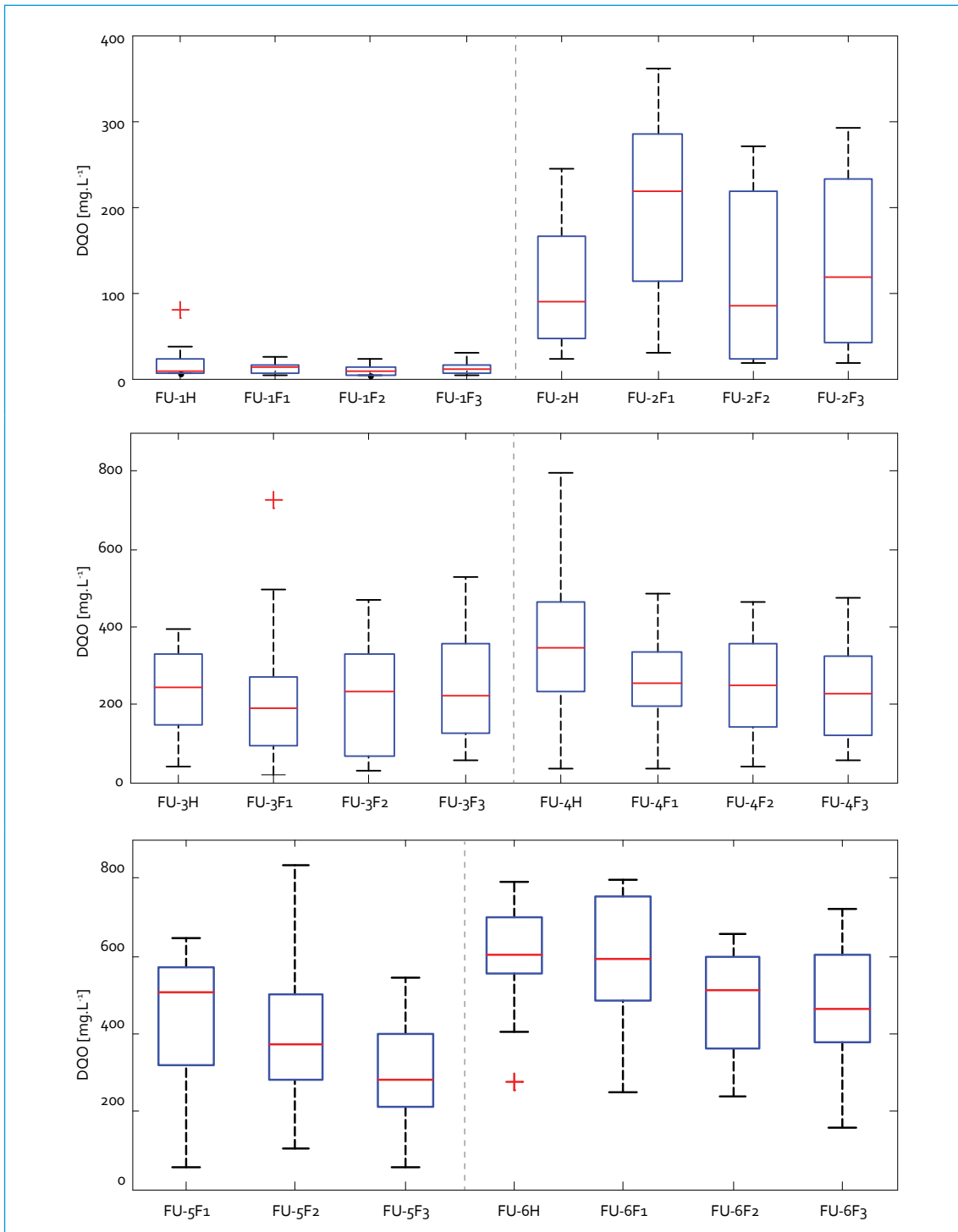
FIGURA 4.7. Perfil de DBO_5 : río Fucha

- Aumentos: Carrera 7.^a (60% F3 vs. H).
- Disminuciones: Avenida Las Américas (52% F3 vs. H), Avenida Boyacá (37% F3 vs. F1) y Visión Colombia (34% F3 vs. H).

Las diferentes condiciones hidrológicas en los monitoreos afectaron la dinámica de concentraciones; para la fase histórica y la fase 1, la DBO_5 fue mayor, mientras que en las fases 2 y 3 las lluvias generaron dilución en las concentraciones. A pesar de lo anterior, la mayoría de puntos de monitoreo no registraron cambios importantes (mayores al 30%) entre las diferentes fases.

4.1.1.8. DQO

Al igual que la DBO_5 , la DQO se incrementó a lo largo del río Fucha (figura 4.8). Se observó un importante aumento en la concentración de la DQO desde del punto de monitoreo Carrera 7.^a hasta el punto Visión Colombia. Durante los diferentes periodos de monitoreo, en la fase 1 (2009-2010) se registraron las mayores concentraciones en este parámetro, especialmente en los puntos de monitoreo Carrera 7.^a, Avenida Boyacá, Zona Franca y Fucha Alameda. Dado que para cada periodo se observaron diferentes dinámicas en las concentraciones de DQO,



Continúa

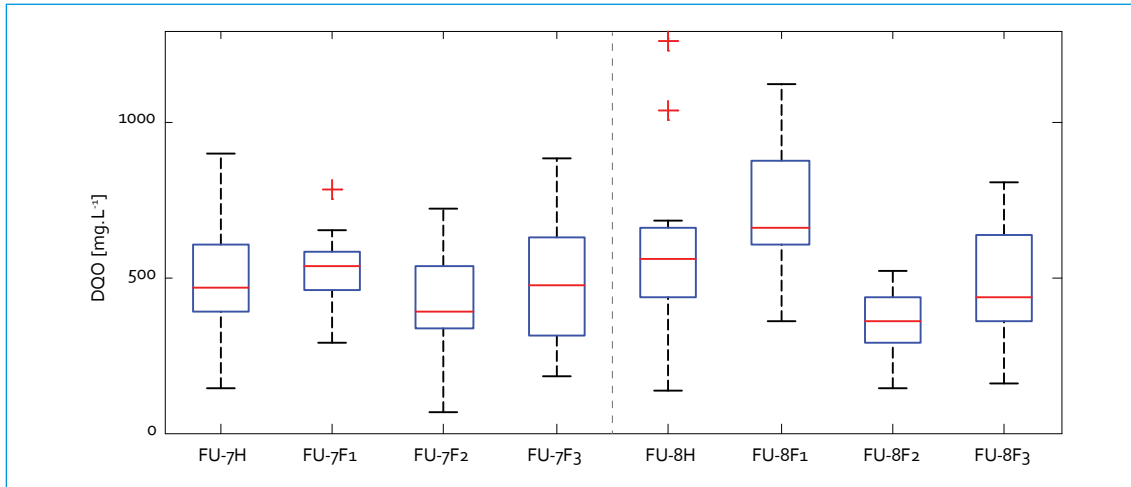


FIGURA 4.8. Perfil de DOO: río Fucha

a continuación se presentan los principales cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio, Carrera 7.^a (a excepción de F1), Avenida Ferrocarril, Visión Colombia (diferencias menores al 25%) y Zona Franca.
- Disminuciones: Avenida Boyacá (45% F3 vs. F1).
- Se observó un ligero aumento en Carrera 7.^a (32% F3 vs. H); en Fucha Alameda no se identificó una tendencia, pues la única similitud se dio entre la fase histórica y la fase 3, mientras que las concentraciones de la fase 1 fueron muy altas (665 mg/L), y las de la fase 2, las más bajas (361 mg/L).

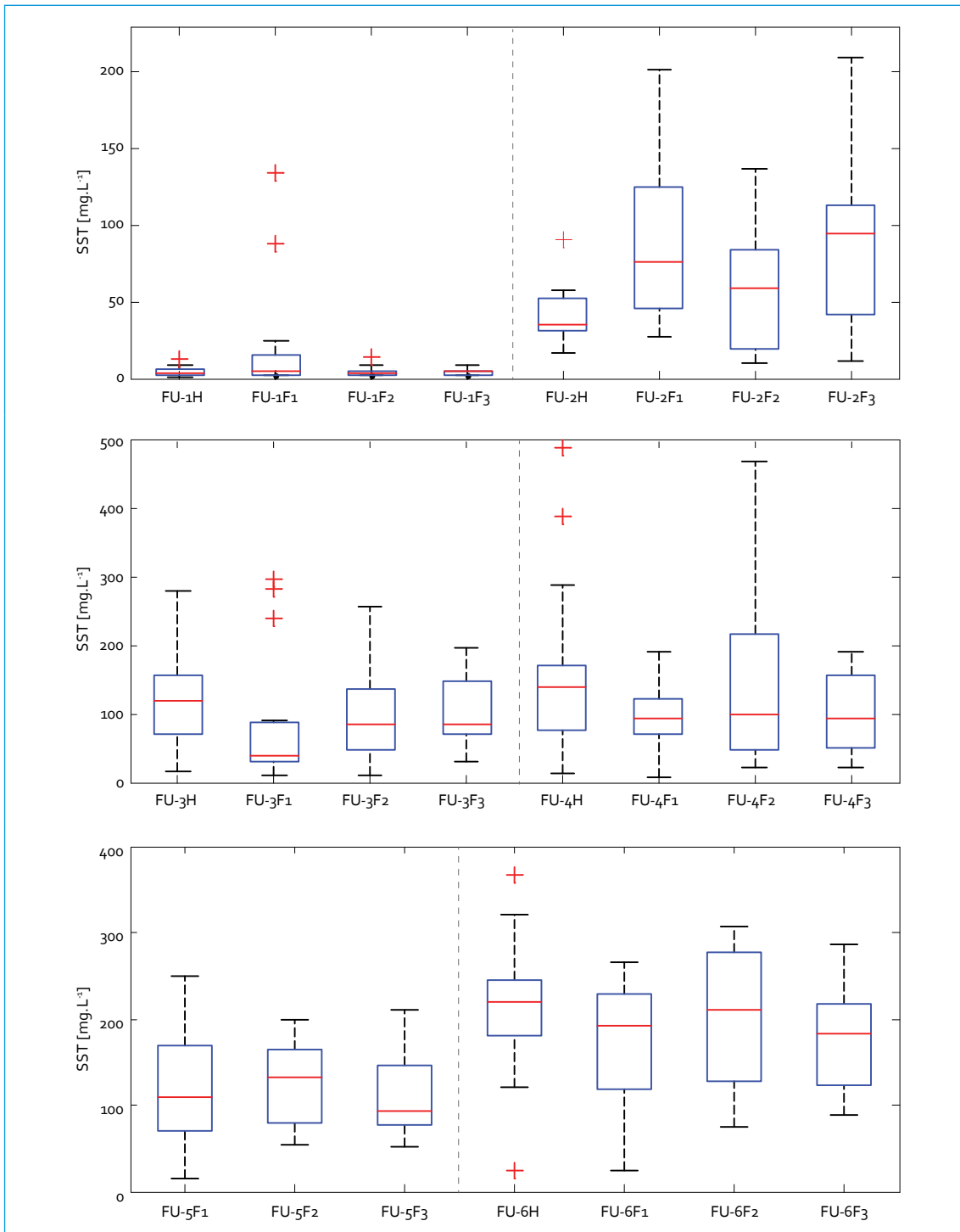
La mayoría de puntos de monitoreo no registraron cambios importantes entre las diferentes fases; por lo tanto, las variaciones que se observaron son el resultado de la condición hidrológica del momento.

4.1.1.9. SST

En general se presentó una gran variabilidad en los datos registrados para la mayoría de puntos

monitoreados (figura 4.9). El comportamiento de los SST en el punto El Delirio no se afectó, ya que las medianas para los diferentes monitoreos fueron similares; además, el rango de valores se encontró dentro del comportamiento típico para este punto. En el punto Carrera 7.^a las concentraciones en SST aumentaron en gran medida, lo cual refleja la afectación por las descargas de aguas residuales; así, a medida que el río llega a su desembocadura las concentraciones alcanzan, aproximadamente, los 1000 mg/L en Zona Franca. Los cambios observados fueron producto de las condiciones hidrológicas que predominaron en los monitoreos: lluvias que generaron varios efectos en las concentraciones de SST, disminución por dilución, aumento de SST por el arrastre de partículas al río o resuspensión de estas. Sin embargo, esta situación no afectó de manera importante las medianas de concentración en sí, ya que en la mayoría de puntos las condiciones fueron constantes. En términos generales, se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio, Avenida Boyacá, Visión Colombia, Zona Franca y Fucha



Continúa

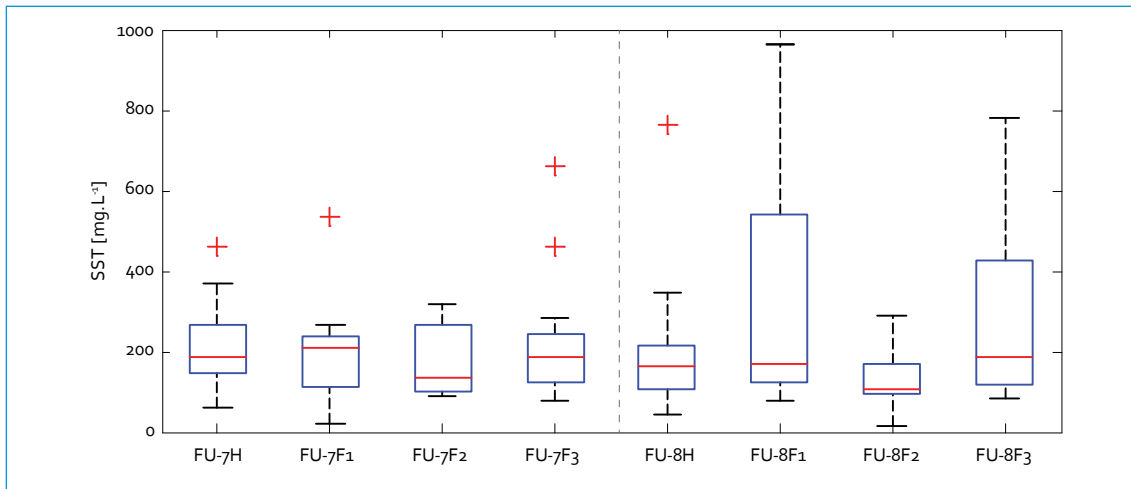


FIGURA 4.9. Perfil de SST: río Fucha

Alameda (con rangos de variabilidad amplios en las fases 1 y 3).

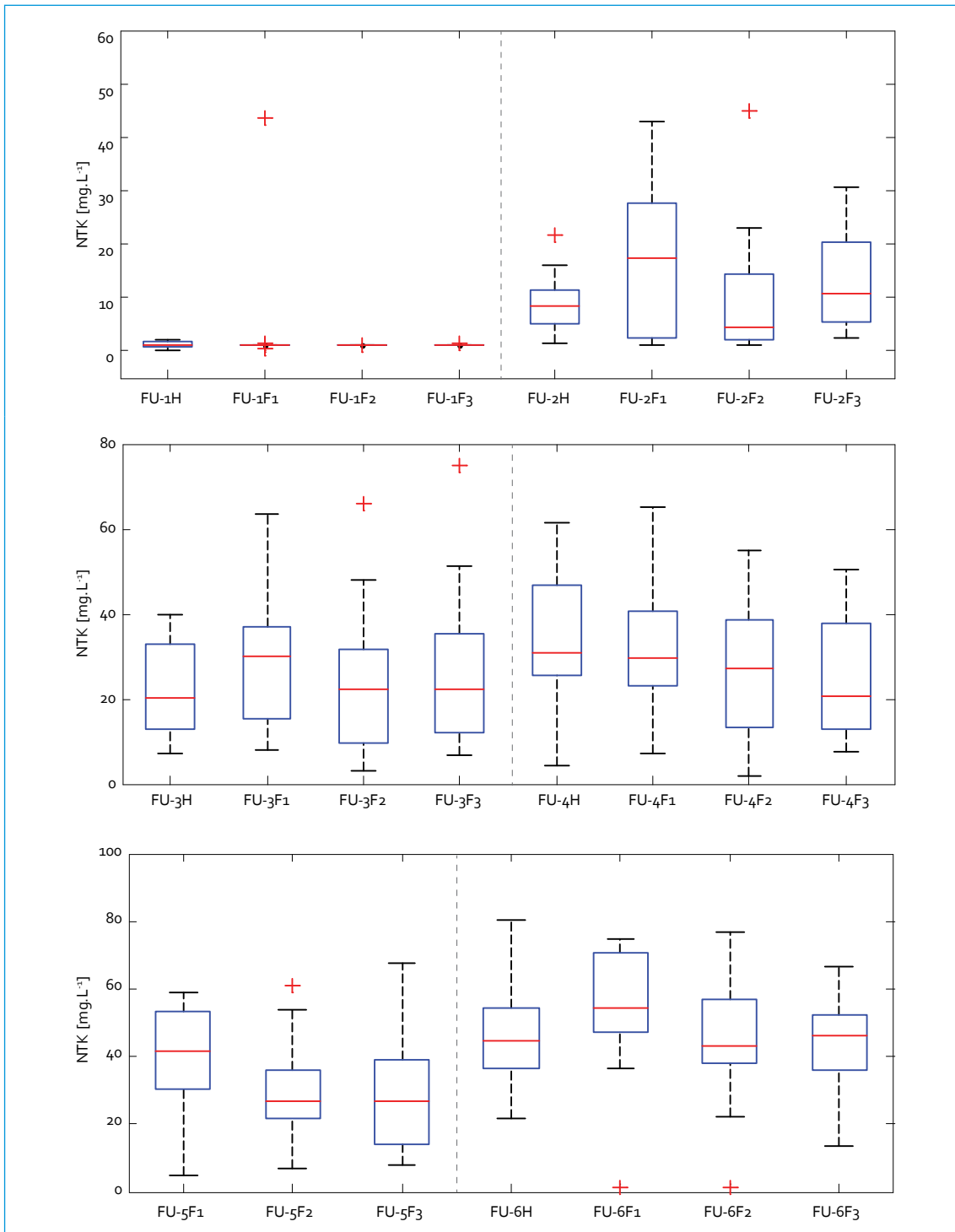
- Aumentos: Carrera 7.^a (casi tres veces mayor F3 vs. H).
- Disminuciones: Avenida Ferrocarril (30% F3 vs. H) y Avenida Las Américas (30% F3 vs. H).

4.1.1.10. Nitrógeno total

Para el punto El Delirio el comportamiento del nitrógeno ha sido constante en el tiempo, ya que las medianas de concentración tanto para NTK como N_{total} se encuentran por debajo de 2 mg/L. A partir del punto Carrera 7.^a se observó un incremento importante en las concentraciones de nitrógeno hasta el punto Visión Colombia, donde aumentó significativamente la concentración, causada, como se mencionó, por las diferentes descargas de agua residual a lo largo del río. Luego de Visión Colombia, las concentraciones siguieron sin cambios importantes hasta la desembocadura en el río Bogotá. En términos generales, se notaron los siguientes cambios en NTK y N_{total} a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio, Avenida Ferrocarril (excepto F1, cuya mediana fue la mayor), Visión Colombia (excepto F1, cuya mediana fue la mayor), Zona Franca (excepto F1, cuya mediana fue la mayor) y Fucha Alameda (excepto F1, cuya mediana fue la mayor).
- Aumentos: Carrera 7.^a (NTK: 27% F3 vs. H, N_{total} : 200% F1 vs. H).
- Disminuciones: Avenida Las Américas (NTK: 24% F3 vs. H, N_{total} : 31% F1 vs. F3) y Avenida Boyacá (NTK y N_{total} : 35% F3 vs. H).

Se apreció que para la mayoría de puntos las concentraciones de NTK y N_{total} tuvieron un comportamiento similar y no hubo cambios significativos durante los diferentes periodos de monitoreo (figuras 4.10 y 4.11); la fase 1 registró las mayores concentraciones. Por otro lado, se observó que para el punto Carrera 7.^a las condiciones de calidad de agua desmejoraron en los últimos dos años, lo que genera una alarma, pues este aumento también se observó en materia orgánica, SST, sulfuros y algunos metales.



Continúa

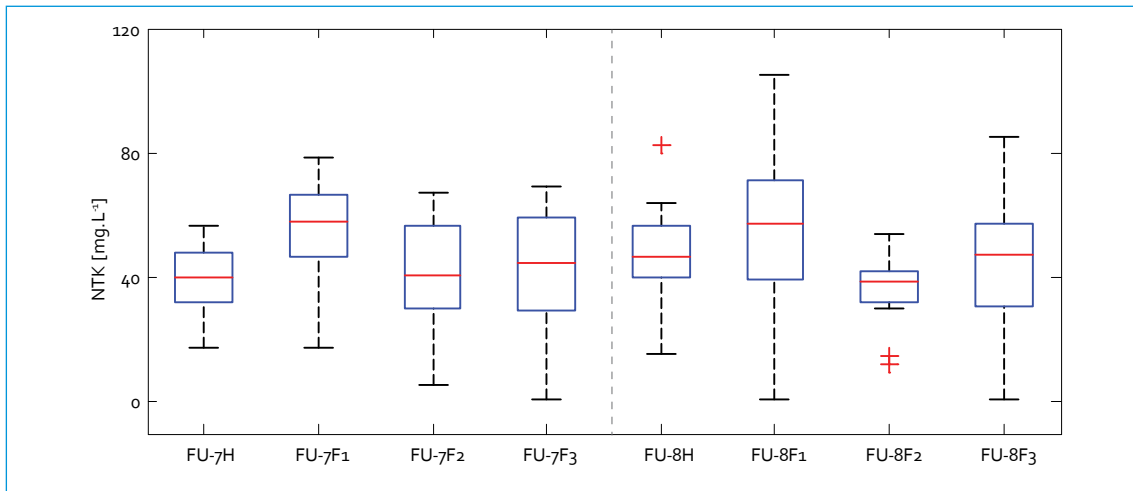
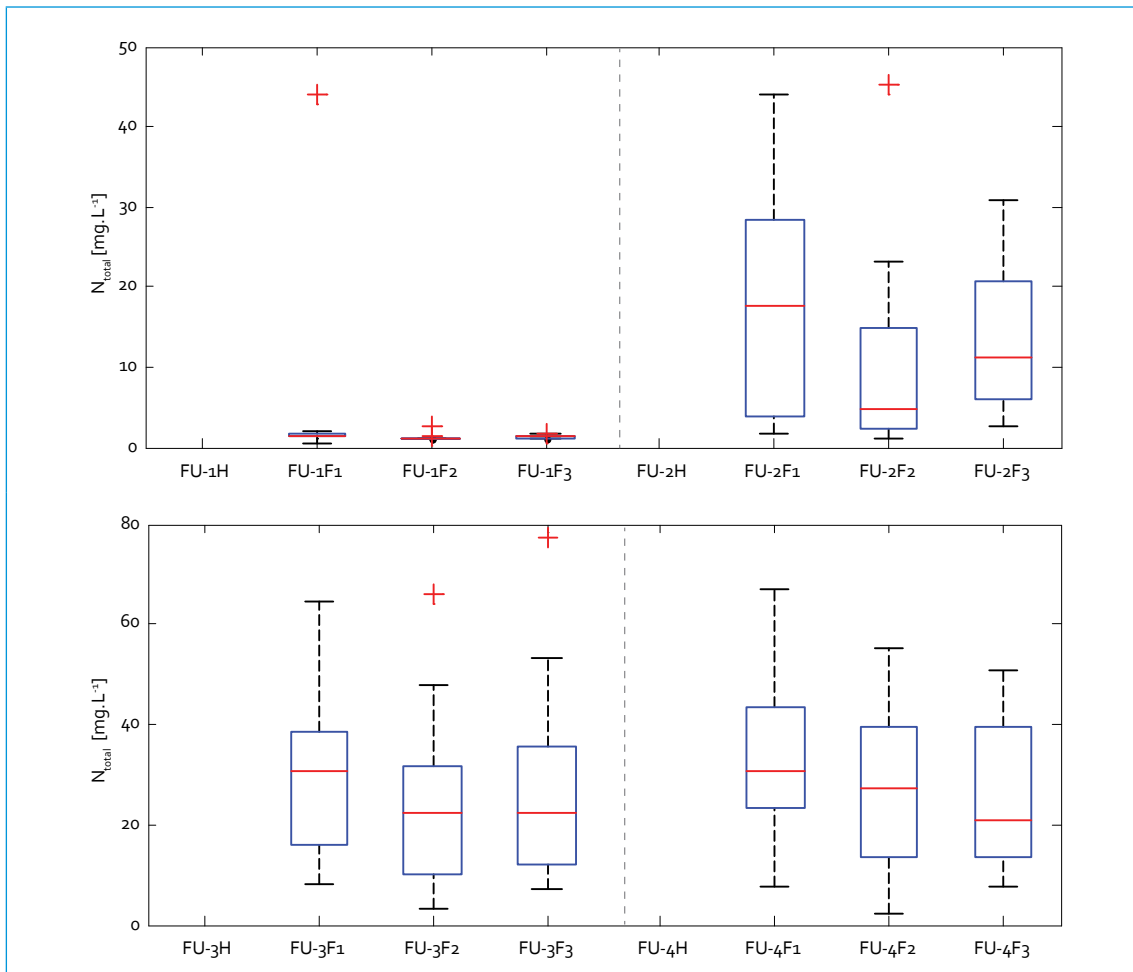


FIGURA 4.10. Perfil de NTK: río Fucha



Continúa

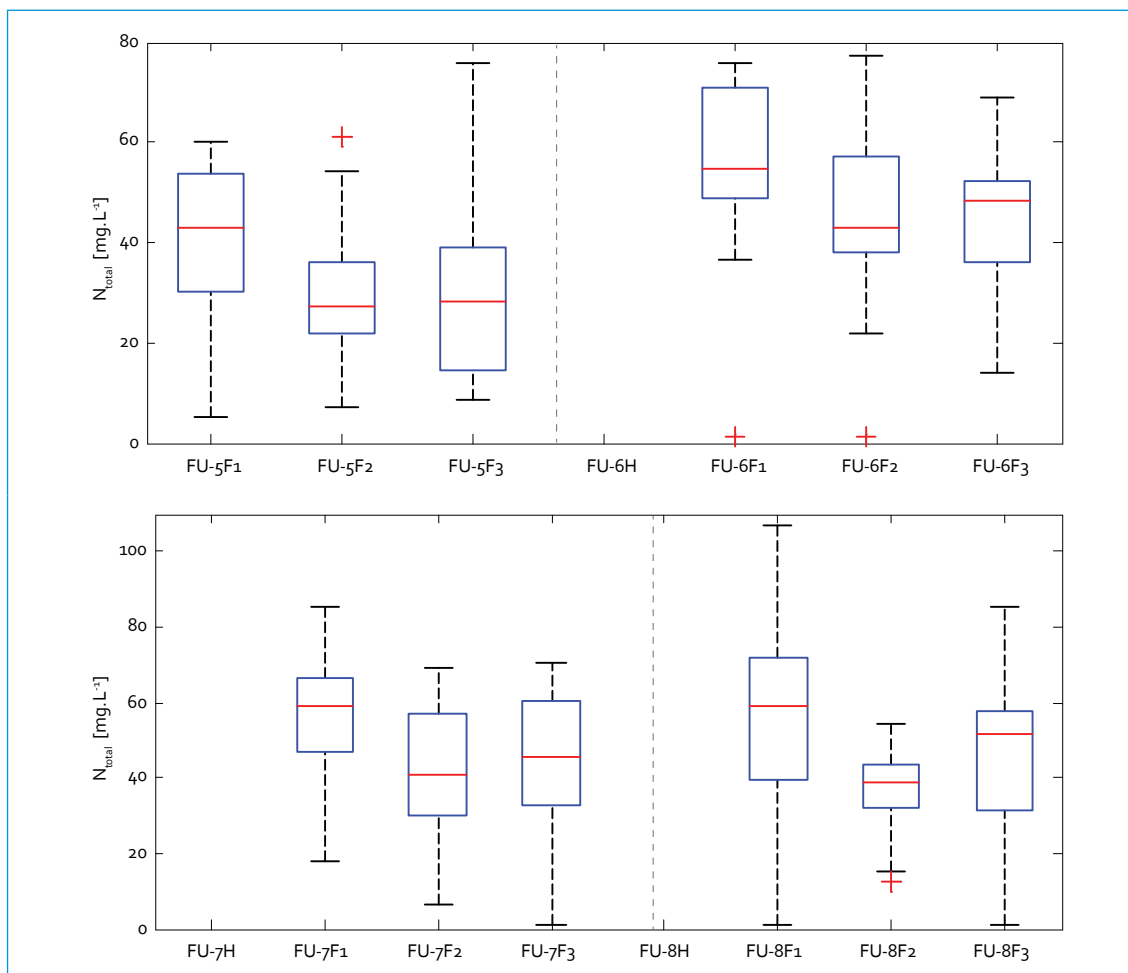
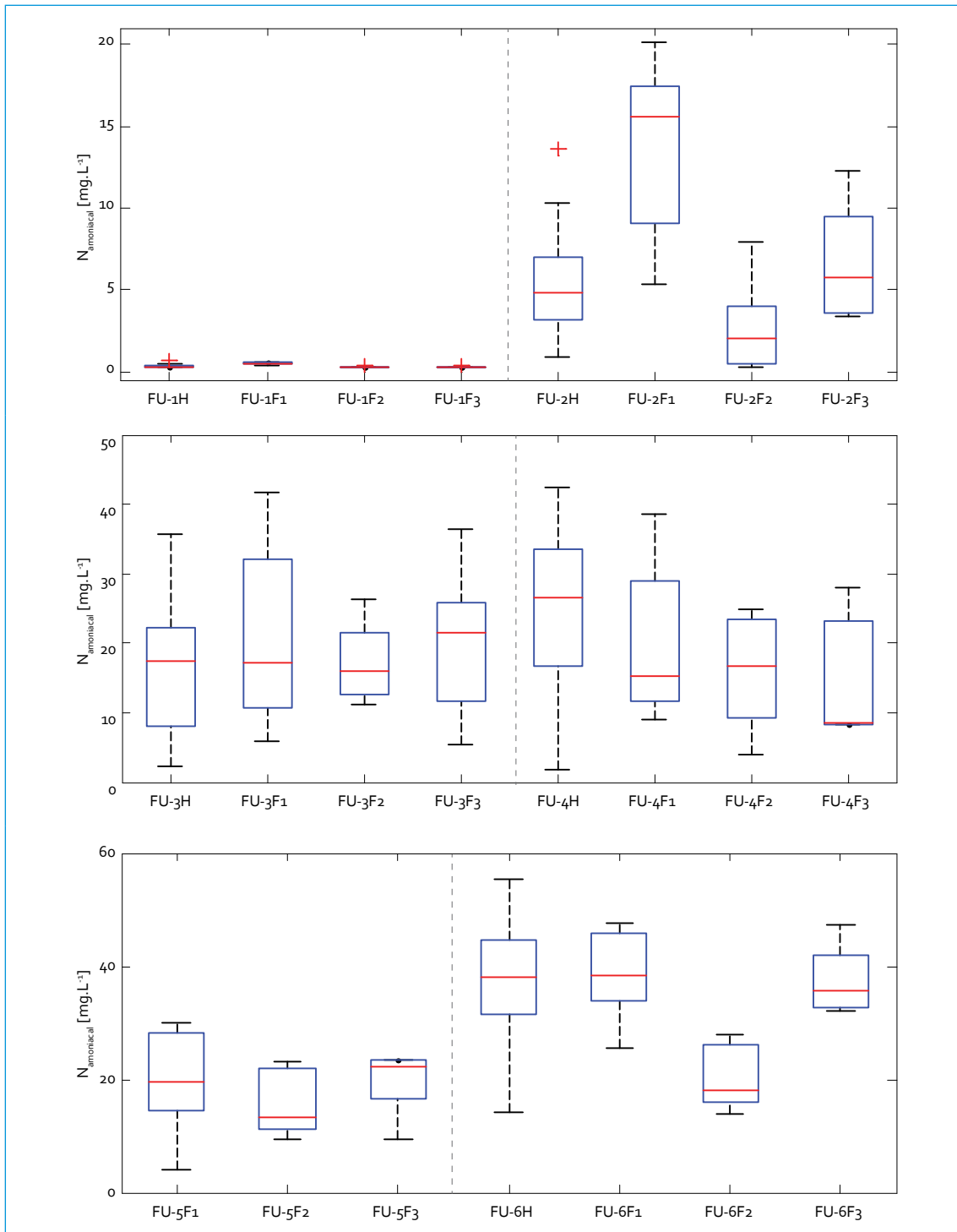


FIGURA 4.11. Perfil de N_{total} : río Fucha

En la figura 4.12 se presentan las concentraciones para $N_{amoniacal}$, cuyo comportamiento es muy similar al observado en NTK y N_{total} . Una vez más, en el punto El Delirio las concentraciones son muy bajas, muy cercanas al límite de detección, lo que refleja muy baja contaminación. Caso similar se observó para los nitritos y los nitratos, ya que ambos se presentaron en muy bajas concentraciones (cercanas al límite de detección). En Carrera 7.^a se observó el gran impacto que tienen en el río al entrar a la ciudad, pues las concentraciones de nitrógeno aumentaron significativamente, producto de las descargas de agua residual doméstica. Luego hay otro aumento importante

desde Visión Colombia hasta la desembocadura, donde se registraron concentraciones de $N_{amoniacal}$ de hasta 83 mg/L en Fucha Alameda. En términos generales, se notaron los siguientes cambios en $N_{amoniacal}$ a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio, Carrera 7.^a (excepto F1, cuya mediana fue la mayor), Avenida Ferrocarril (excepto F3, cuya mediana fue la mayor), Avenida Boyacá (excepto F2, cuya mediana fue la menor), Visión Colombia (excepto F2, cuya mediana fue la menor), Zona Franca y Fucha Alameda (excepto F2, cuya mediana fue la menor).



Continúa

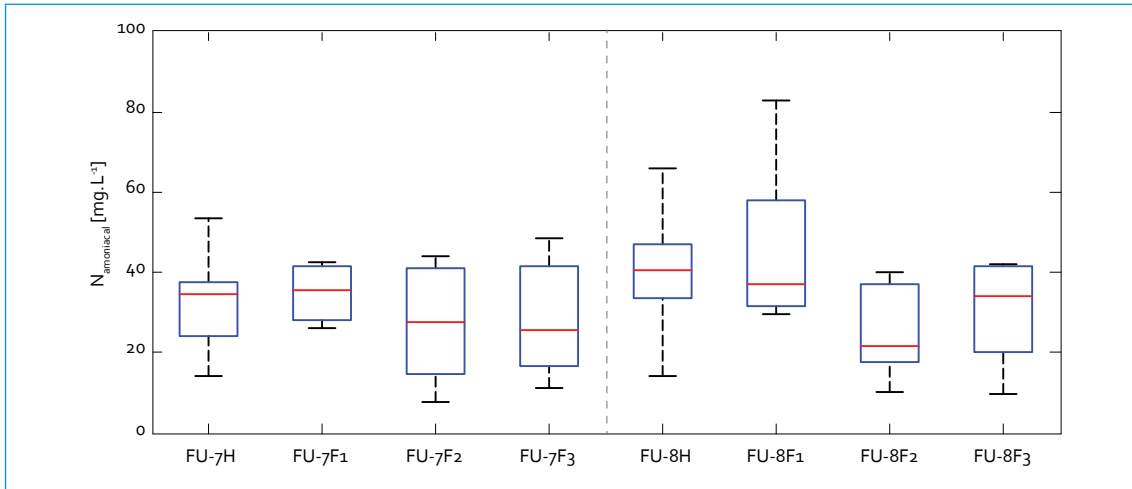


FIGURA 4.12. Perfil de $N_{amoniacal}$: río Fucha

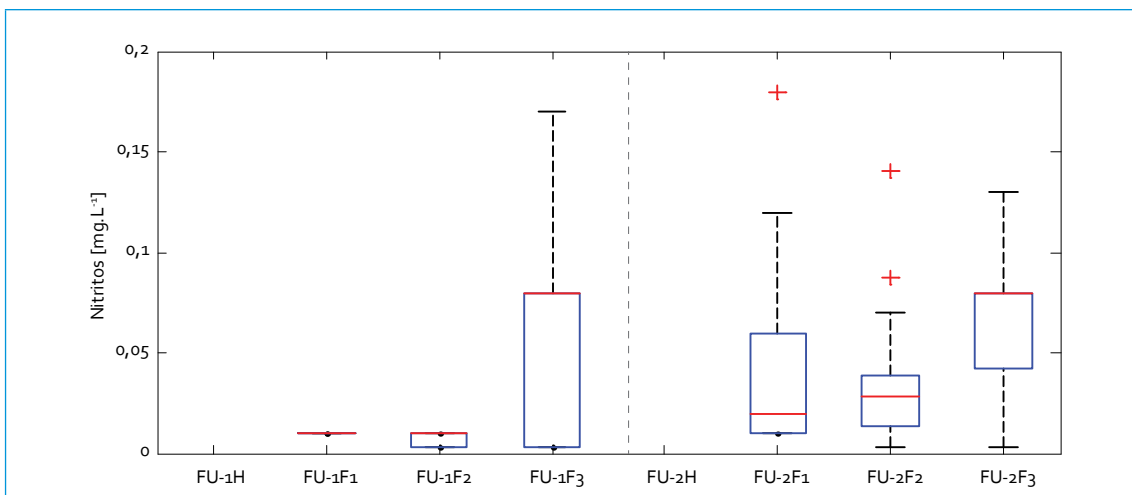
- Disminuciones: Avenida Las Américas FU-4 (68% F3 vs. H).

Al igual que para NTK y N_{total} , el comportamiento de $N_{amoniacal}$ fue constante en la mayoría de puntos de monitoreo; para la fase 2 se registraron las menores concentraciones por dilución, gracias al fuerte periodo de lluvias.

En cuanto a nitritos y nitratos, el rango de variabilidad en los datos es mayor a partir del punto El Delirio (figuras 4.13 y 4.14). El contenido de nitritos y nitratos en el río depende de las concentraciones de oxígeno disuelto y

de la cantidad de nitrógeno presente. En los primeros puntos del río se registraron mayores concentraciones de nitritos y nitratos, debido a que en estos puntos (FU-2, FU-3 y FU-4) las concentraciones de oxígeno disuelto, aunque han disminuido respecto a El Delirio, todavía registran valores mayores a 2 mg/L, lo cual permite que se lleven a cabo procesos de nitrificación. En términos generales, se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio. En NO_2 para Carrera 7.^a, Avenida Ferrocarril, Avenida



Continúa

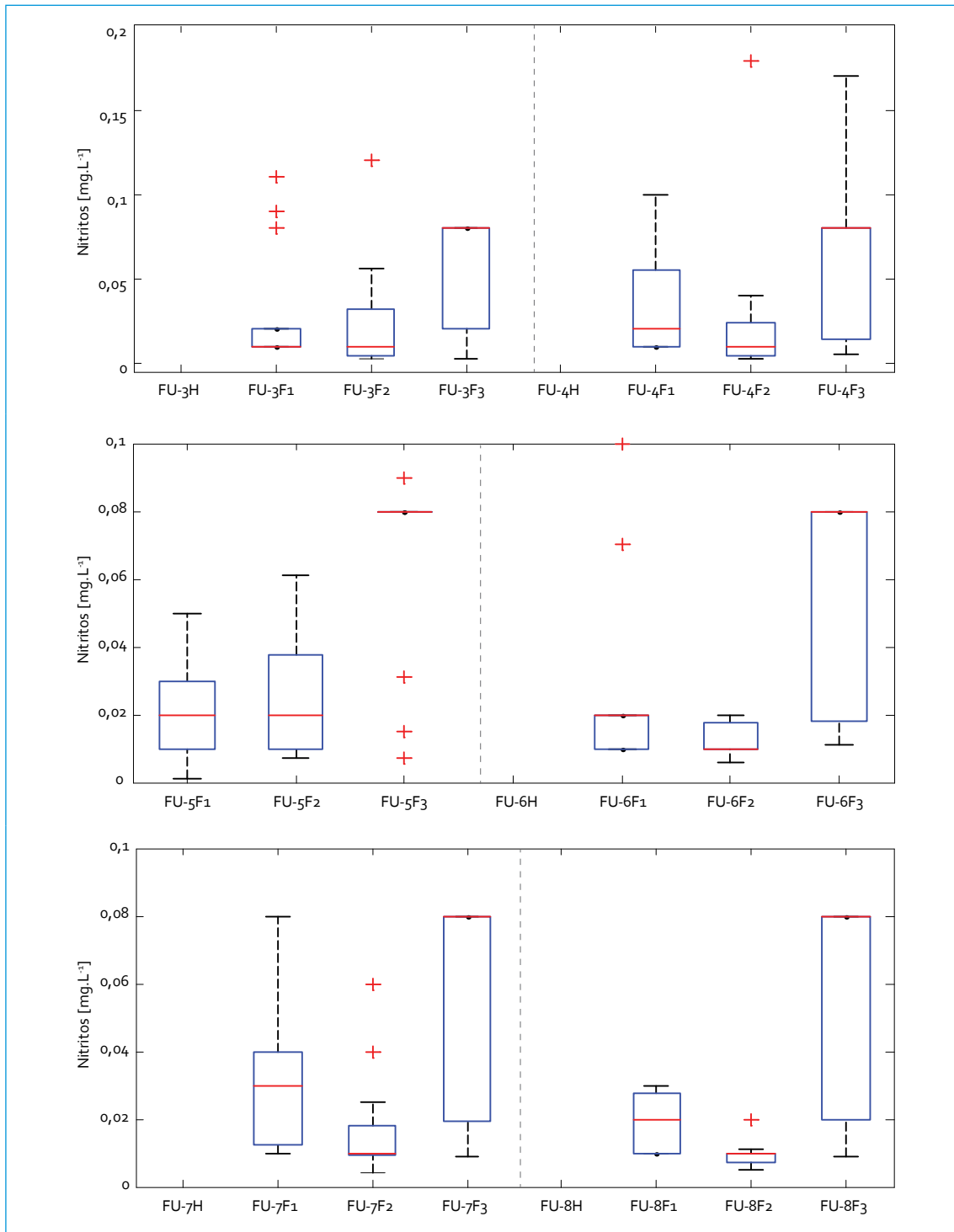
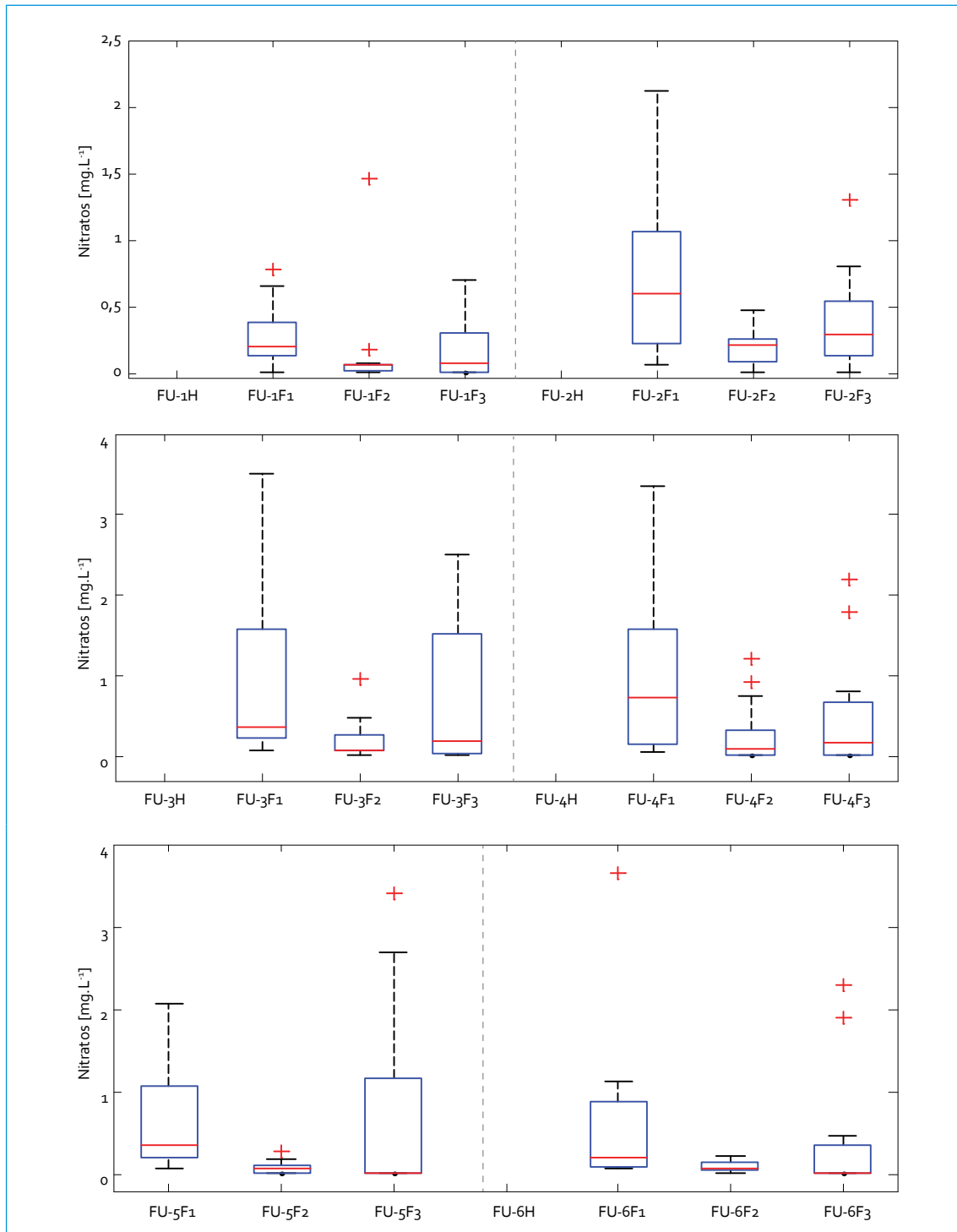


FIGURA 4.13. Perfil de nitritos: río Fucha



Continúa

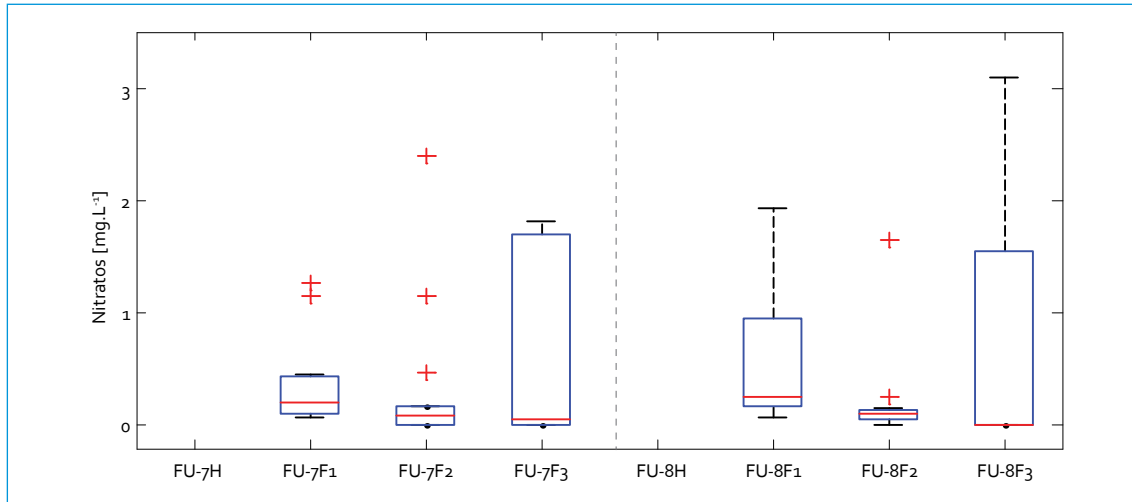


FIGURA 4.14. Perfil de nitratos: río Fucha

Las Américas, Avenida Boyacá, Visión Colombia, Zona Franca y Fucha Alameda (la variación de esta última se debe al cambio en el límite de detección).

- Disminuciones: Carrera 7.^a (NO_3 : 50% F3 vs. F1), Avenida Ferrocarril (NO_3 : 50% F3 vs. F1), Avenida Las Américas (NO_3 : 75% F3 vs. F1), Avenida Boyacá (NO_3 : 30% F3 vs. F1), Visión Colombia (NO_3 : 90% F3 vs. F1), Zona Franca (NO_3 : 80% F3 vs. F1) y Fucha Alameda (NO_3 : 95% F3 vs. F1).

Para los nitritos, las concentraciones registradas en los diferentes periodos de monitoreo no han variado significativamente; los rangos de variabilidad se deben al cambio en el límite de detección de la técnica analítica utilizada. Para los nitratos se nota una disminución en todos los puntos de monitoreo, cuyas máximas concentraciones se registraron durante la fase 1 (2009-2010).

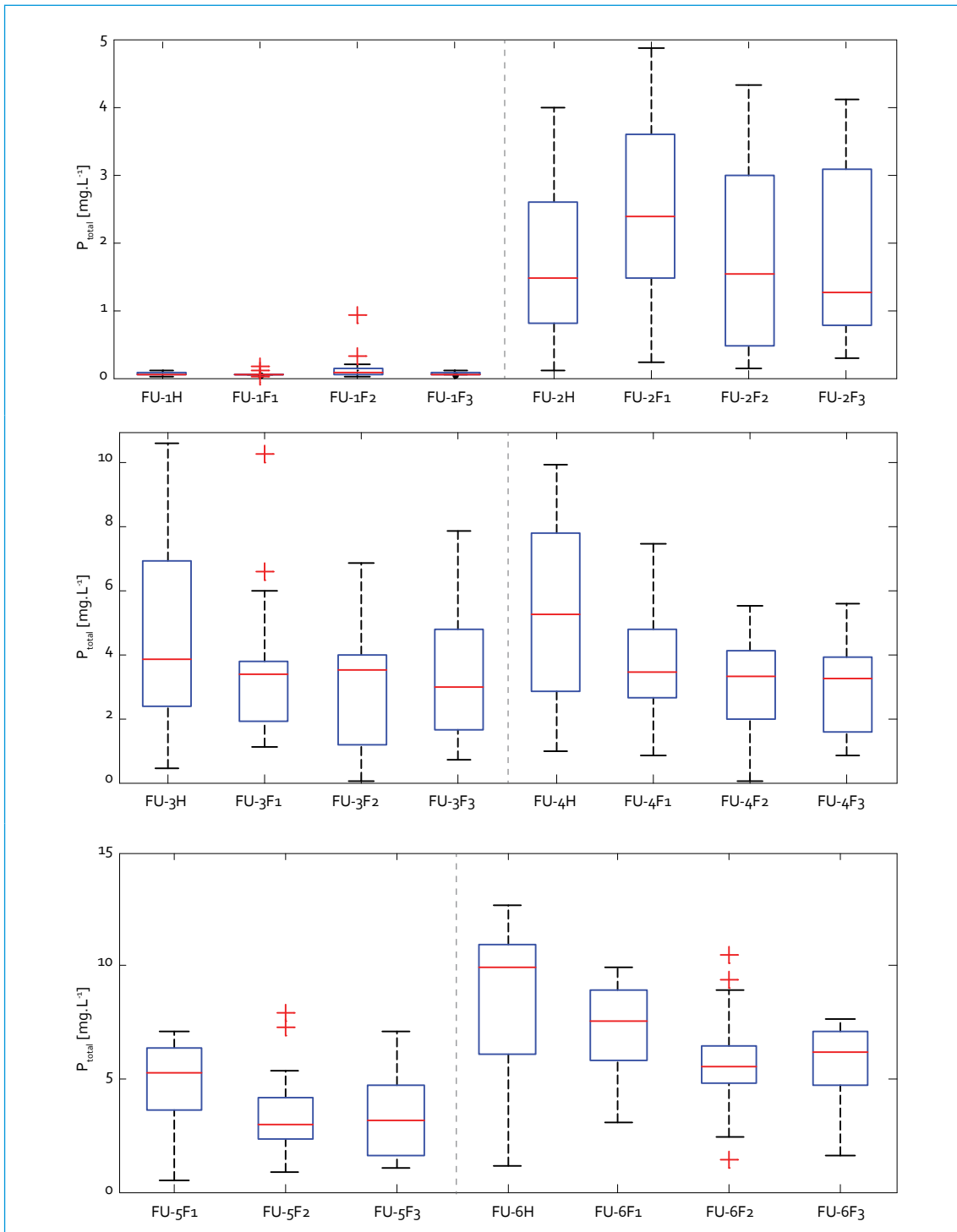
4.1.1.11. Fósforo total

Al igual que para el caso de la materia orgánica, se observó un incremento en la concentración

de P_{total} a partir del punto de monitoreo Carrera 7.^a hasta el punto Visión Colombia, donde se incrementó significativamente la concentración; a partir de este punto el comportamiento de las medianas fue similar hasta la desembocadura del río (figura 4.15). Para el punto El Delirio las concentraciones de P_{total} se mantuvieron muy bajas; la mediana de concentración aumentó veinticinco veces en el punto Carrera 7.^a. En términos generales, se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio, Carrera 7.^a (excepto F1, cuya mediana fue la mayor), Avenida Ferrocarril (excepto F3, cuya mediana fue la menor), Zona Franca (excepto F2, cuya mediana fue la menor) y Fucha Alameda (excepto F2, cuya mediana fue la menor).
- Disminuciones: Avenida Las Américas (38% F3 vs. H), Avenida Boyacá (41% F3 vs. H) y Visión Colombia (38% F3 vs. H).

Para la mayoría de puntos las concentraciones de fósforo total permanecieron constantes,



Continúa

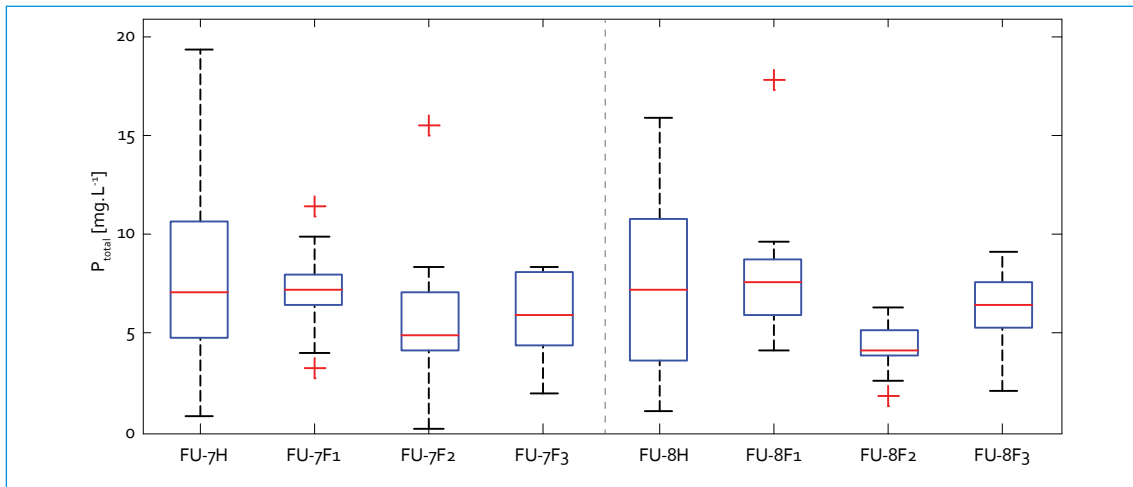


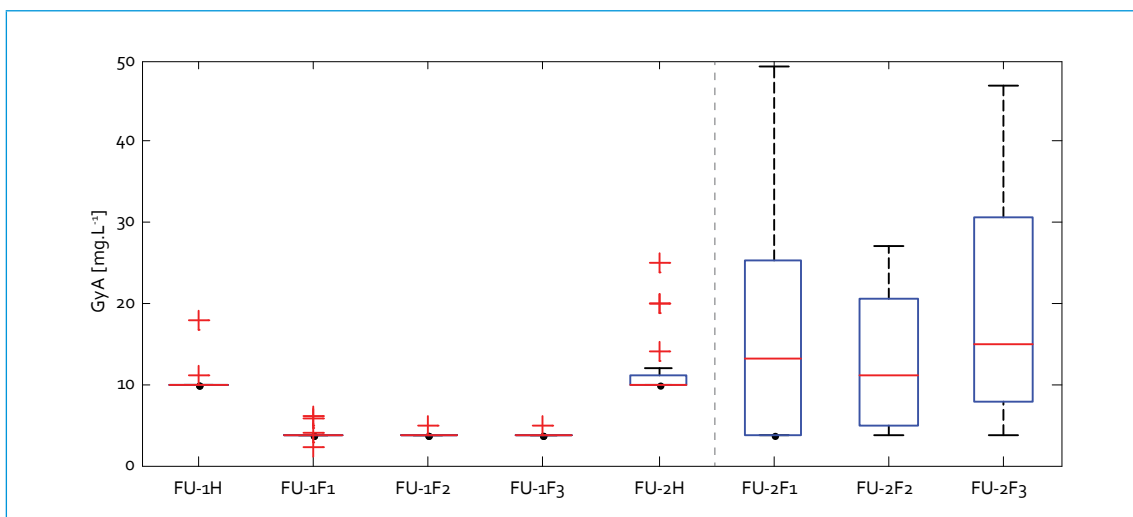
FIGURA 4.15. Perfil de P_{total} - río Fucha

con excepción de la fase 2 (2010-2011), donde se registraron las menores concentraciones. Esta situación se presentó por el aumento en las lluvias, lo cual pudo generar una dilución en las concentraciones. Por último, se resalta la tendencia decreciente en contaminantes para el punto Avenida Las Américas, como nutrientes y SST.

4.1.1.12. *Grasas y aceites*

Para el punto El Delirio las concentraciones de grasas y aceites se mantuvieron muy bajas y se

notó un comportamiento constante, teniendo en cuenta que los valores estuvieron por debajo del límite de detección (3,6 mg/L). Las peores condiciones en términos de grasas y aceites se observaron desde el punto Visión Colombia hasta Fucha Alameda, donde es evidente la alta presencia de este contaminante en el río, pues este se acumula en la superficie del agua y se generan registros de hasta 16 547 mg/L y 2635 mg/L en Visión Colombia y Fucha Alameda, respectivamente (figura 4.16). En términos generales, se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:



Continúa

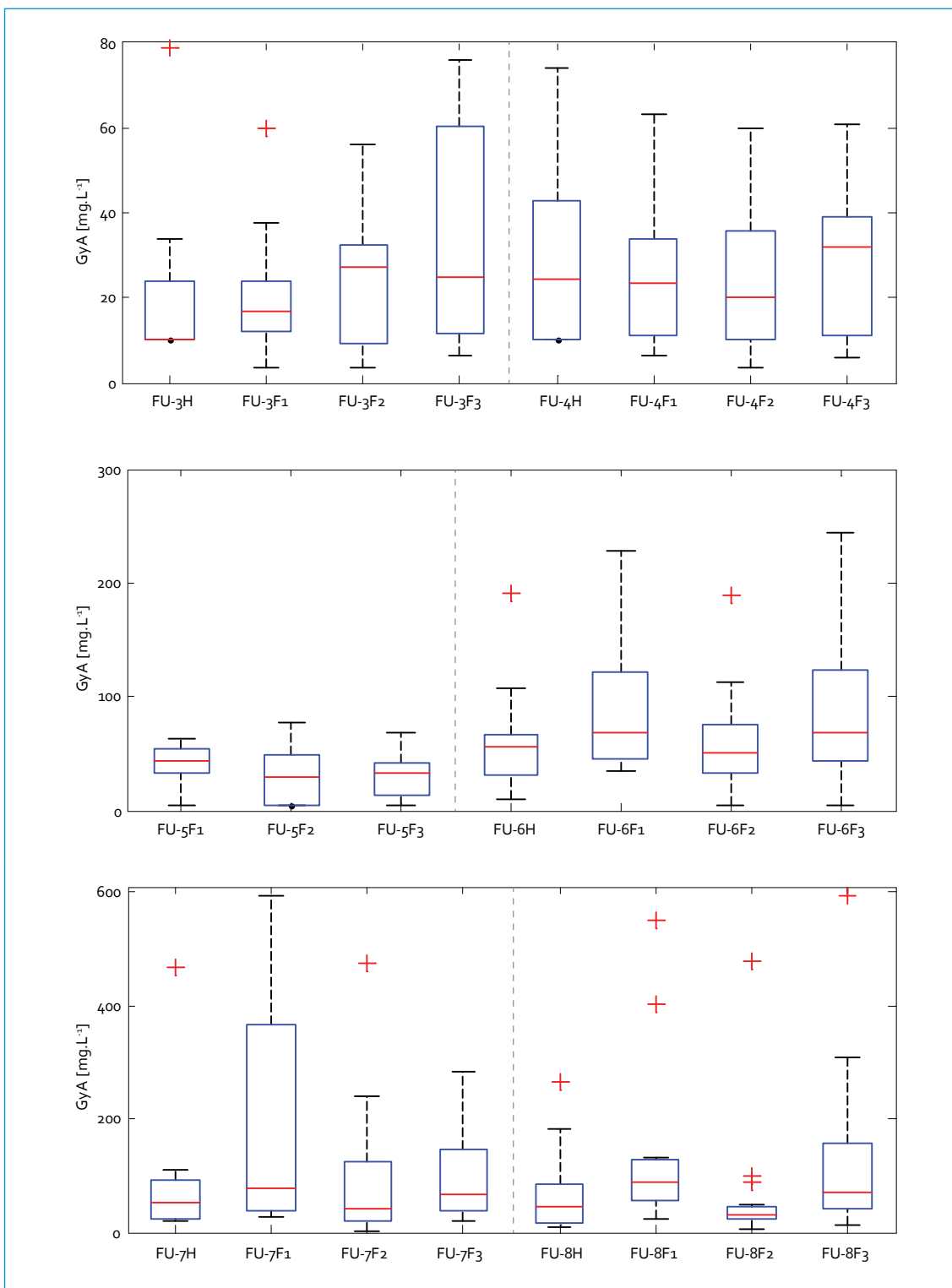


FIGURA 4.16. Perfil de grasas y aceites: río Fucha

- Constantes: El Delirio, Avenida Las Américas (excepto F₃, cuya mediana fue la mayor), Avenida Boyacá, Visión Colombia, Zona Franca (excepto F₁, cuya mediana fue la mayor).
- Aumentos: Carrera 7.^a (50% F₃ vs. H), Avenida Ferrocarril (2,5 veces más F₃ vs. H) y Fucha Alameda (60% F₃ vs. H, excepto F₂, cuya mediana fue la menor).

Se puede ver que para la mayoría de puntos las concentraciones de grasas y aceites permanecieron sin cambios importantes, hecho que refleja las condiciones críticas de contaminación por grasas y aceites, especialmente en los últimos puntos de monitoreo del río Fucha. Esta situación genera un detrimento importante en la calidad del agua, pues causa pérdida de asimilación en el río, debido a que este contaminante no es biodegradable; además, hace que el río pierda no solo capacidad de autodepuración, sino también estética.

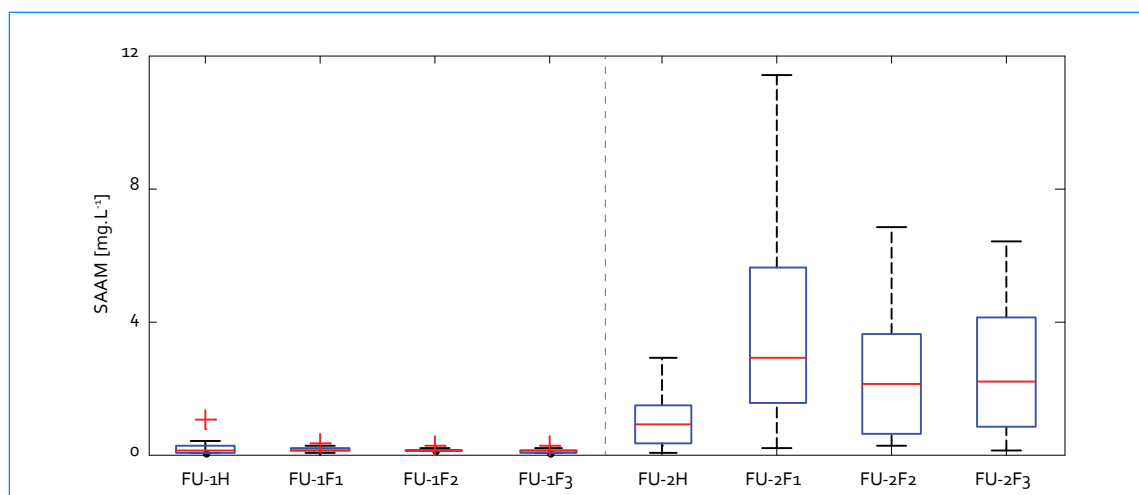
4.1.1.13. SAAM

La presencia de estas sustancias es un claro indicador de contaminación por descargas de

aguas residuales domésticas. Para el punto El Delirio las concentraciones de SAAM siguieron siendo muy bajas, y su comportamiento fue constante en el tiempo. Para todos los puntos de monitoreo (excepto El Delirio) las medianas de las fases 1, 2 y 3 superaron en gran medida la histórica. En términos generales, se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio, en las últimas tres fases para Carrera 7.^a, Avenida Ferrocarril, Avenida Las Américas, Visión Colombia y Zona Franca.
- Aumentos: Carrera 7.^a (2,4 veces más F₃ vs. H), Avenida Ferrocarril (2,2 veces más F₃ vs. H), Avenida Las Américas (2 veces más F₃ vs. H), Visión Colombia (2,6 veces más F₃ vs. H), Zona Franca (3,8 veces más F₃ vs. H) y Fucha Alameda (3,4 veces más F₃ vs. H).
- Disminuciones: Avenida Boyacá (36% F₃ vs. F₁).

Es notorio el fuerte impacto causado por las descargas de agua residual a lo largo del río Fucha; además, esto disminuye el poder autodepurador del río, ya que estos compuestos



Continúa

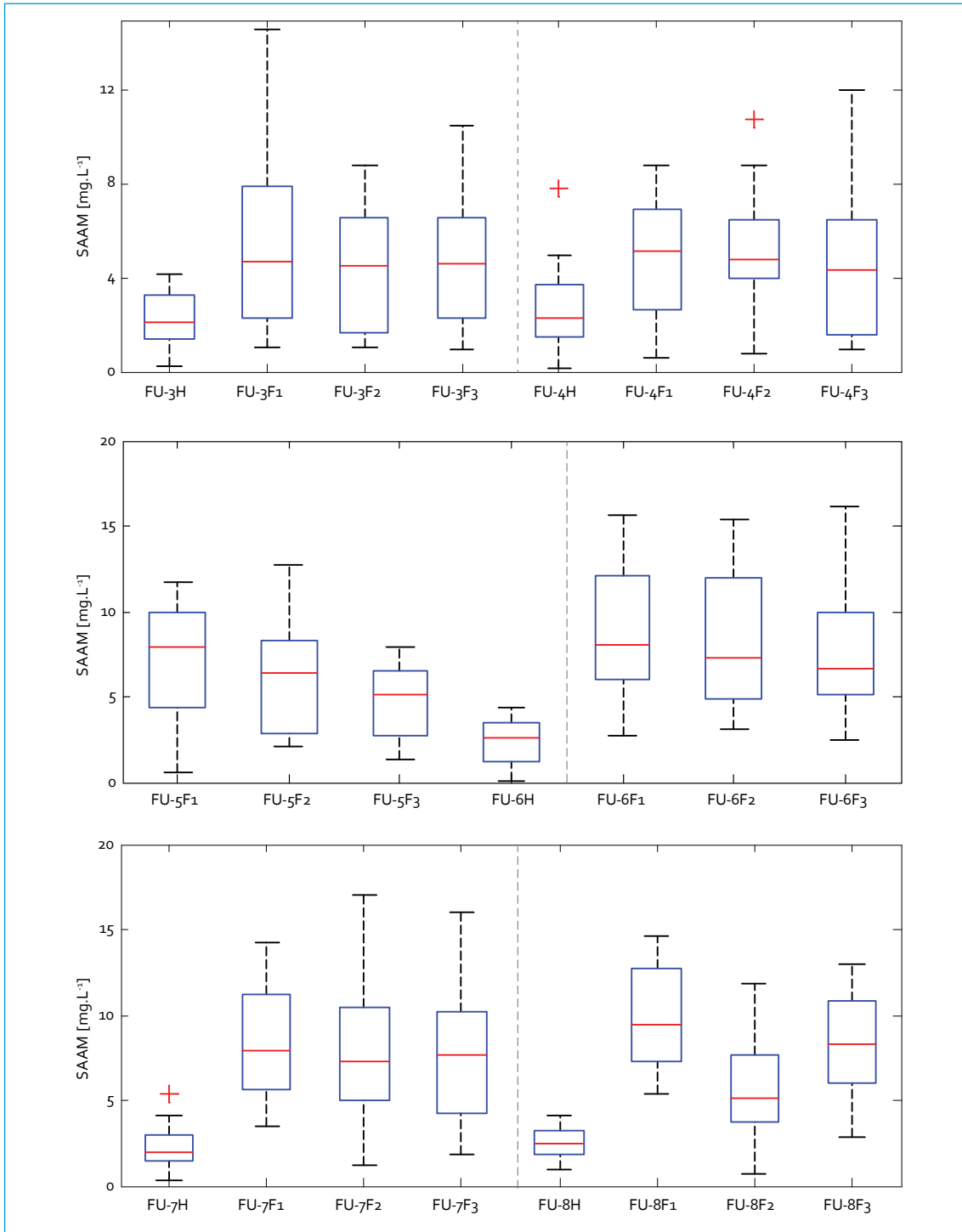


FIGURA 4.17. Perfil de SAAM: río Fucha

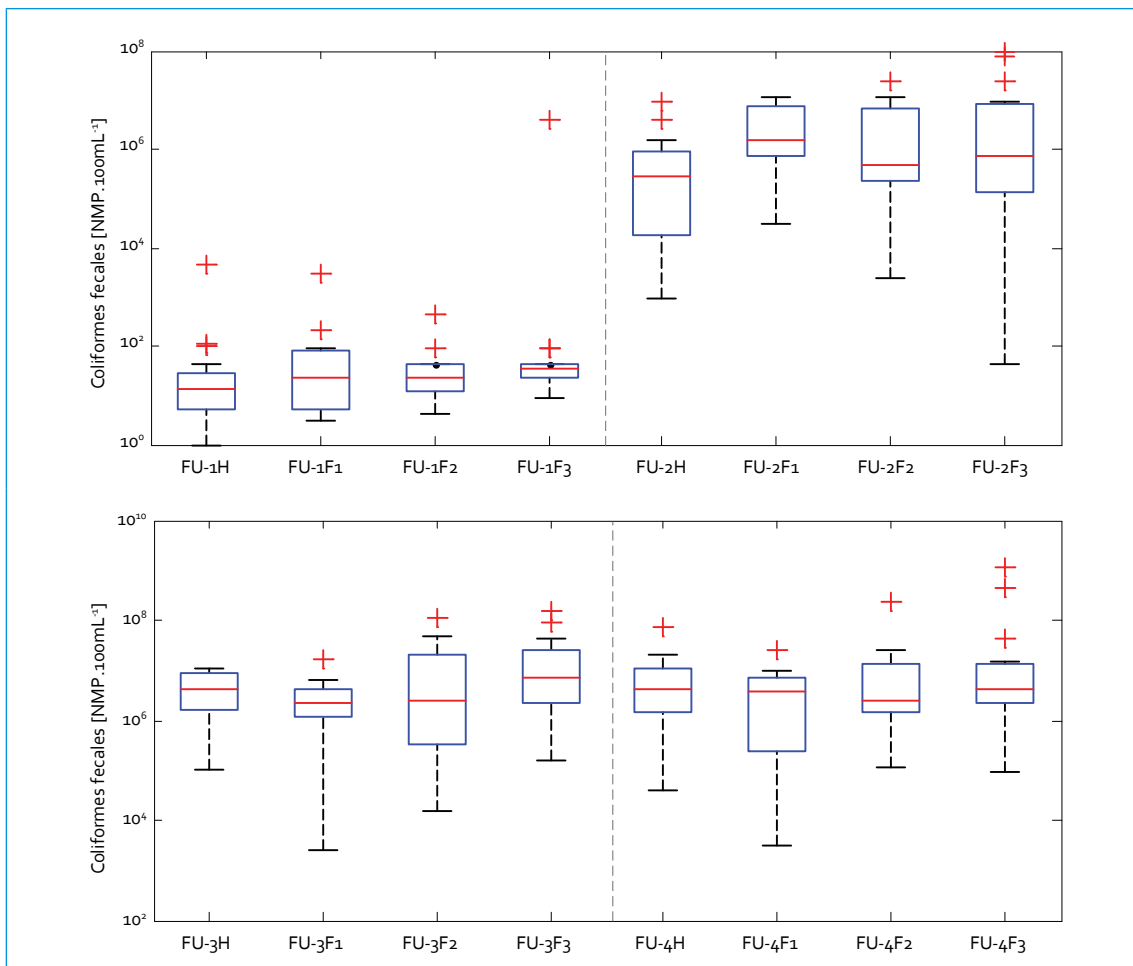
son poco biodegradables. En conclusión, se confirmó el aumento de SAAM respecto a los registros históricos, producto de la acumulación de este contaminante en el río. Para las últimas tres fases se observó un comportamiento constante en SAAM.

4.1.1.14. *Coliformes fecales*

Al observar los registros para las diferentes fases se puede ver que a partir del punto Carrera 7.^a las medianas de concentración se encontraron entre 10^5 y 10^7 NMP/100 mL (figura 4.18). En El Delirio los valores registrados a lo

largo del tiempo son bastante bajos, lo que era de esperarse, ya que no hubo alteraciones de calidad a esta altura del río. Aguas abajo el río se ve claramente afectado por aguas residuales domésticas, pues las concentraciones de coliformes aumentaron significativamente, con valores de hasta 10^9 NMP/100 mL. En términos generales se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: Carrera 7.^a (excepto F1, cuya mediana fue mayor), Avenida Ferrocarril, Avenida Las Américas y Avenida Boyacá.



Continúa

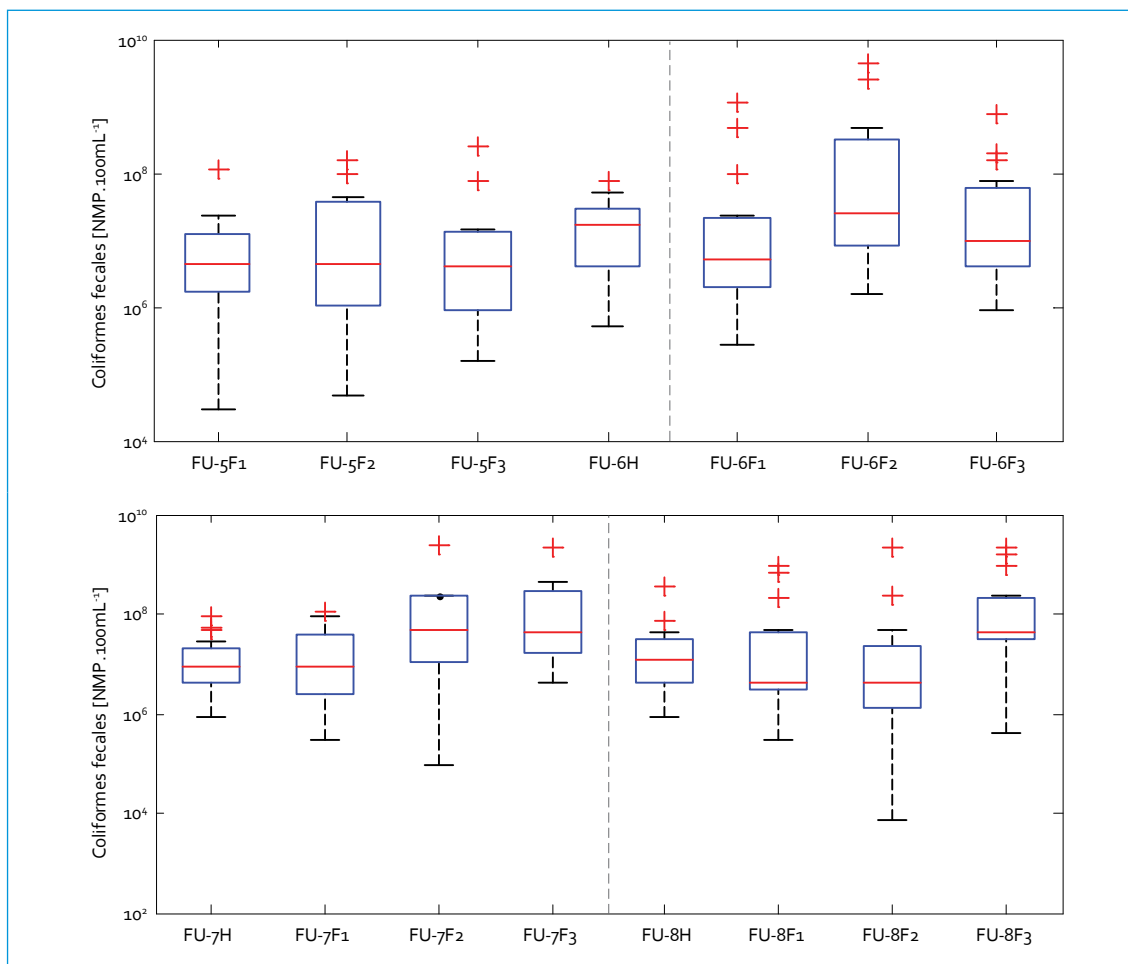


FIGURA 4.18. Perfil de coliformes fecales: río Fucha

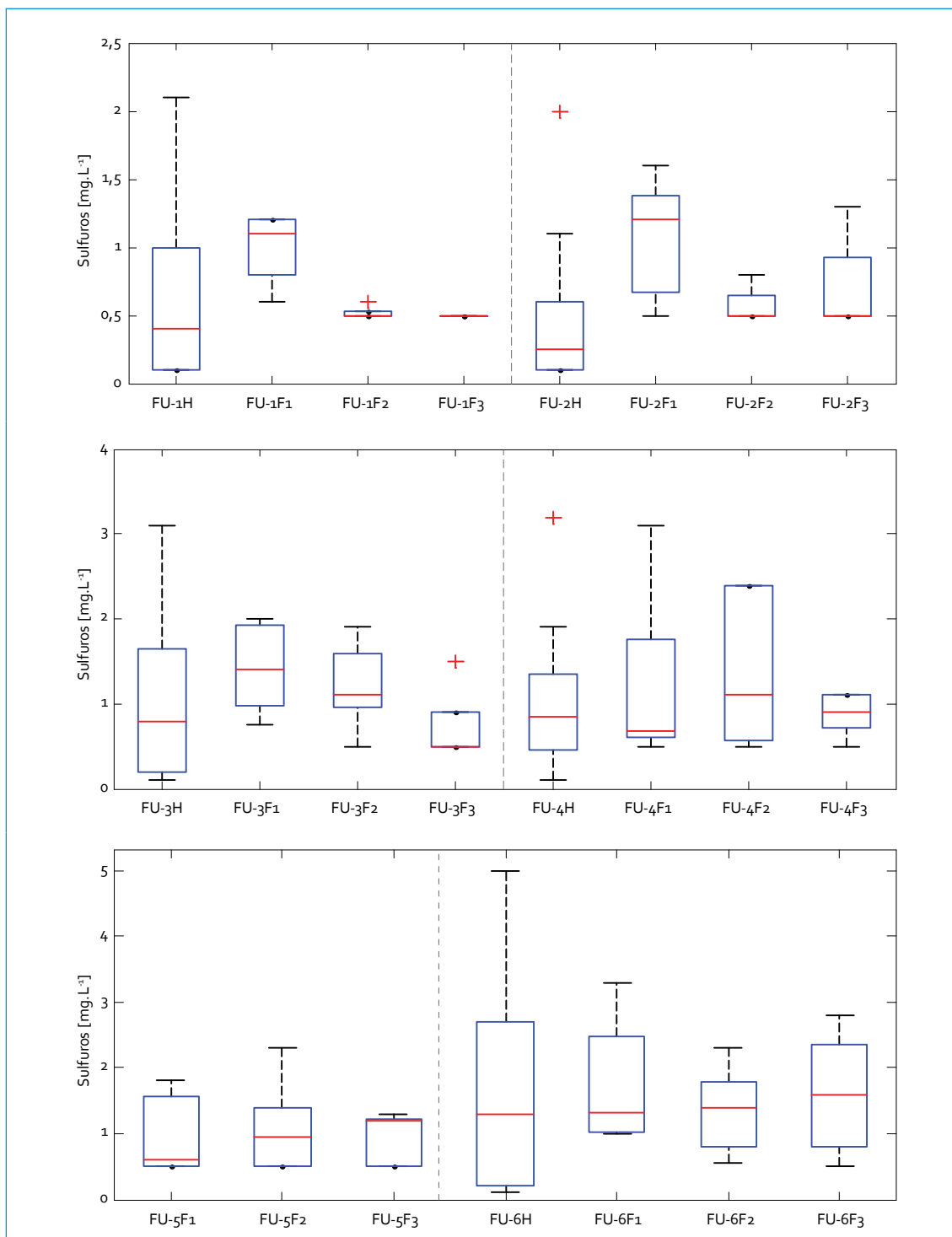
- Aumentos: El Delirio (dos veces más F₃ vs. H) y Zona Franca (cinco veces más F₃ vs. H).
- Disminuciones: Visión Colombia (43% F₃ vs. H) y Fucha Alameda (63% F₁ y F₂ vs. H).

Como se puede observar, en cuatro de los ocho puntos de monitoreo del río Fucha el comportamiento de las concentraciones para coliformes fecales no tuvo cambios significativos, ya que las medianas para cada fase estuvieron en el mismo orden de magnitud. La tendencia de este parámetro no fue tan eviden-

te como en otros contaminantes; los rangos de variabilidad fueron bastante amplios. Lo anterior refleja la dinámica de las descargas de aguas residuales domésticas, pues las mayores concentraciones se detectaron en monitoreos de la mañana y de la tarde, y las menores, en monitoreos de la noche o de la madrugada.

4.1.1.15. Sulfuros

La presencia de sulfuros en el río indica una acción bacteriológica anaerobia, típica en aguas residuales. Dado lo anterior, se espera que en los puntos de monitoreo donde los niveles de



Continúa

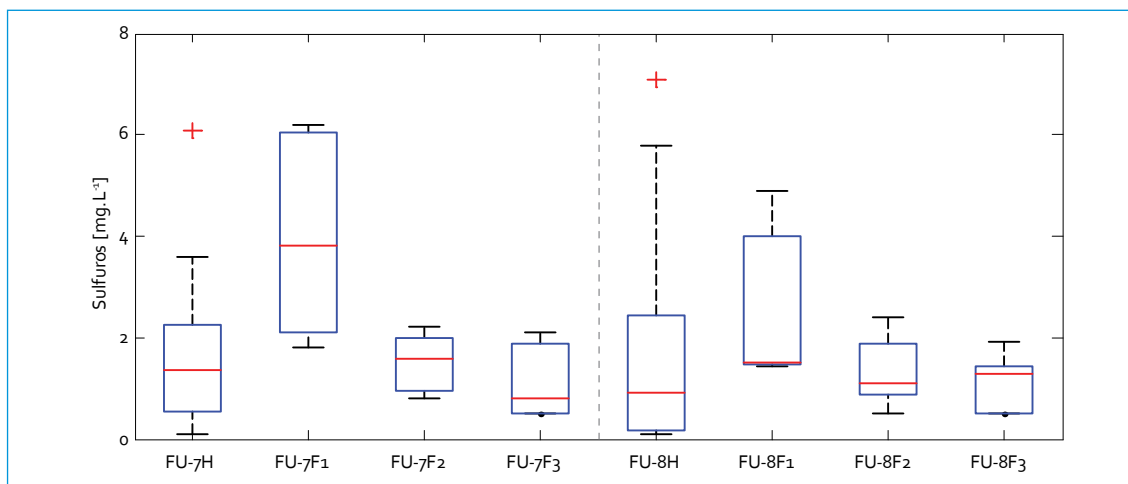


FIGURA 4.19. Perfil de sulfuros: río Fucha

OD son muy bajos o nulos, la concentración de sulfuros aumente. En la figura 4.19 se aprecia que las mayores concentraciones de sulfuros se encuentran a partir del punto Av. Ferrocarril hasta Fucha Alameda. Para el punto El Delirio, donde el agua es de buena calidad, las concentraciones de sulfuros son muy bajas y se encuentran dentro del rango histórico (0,1-2 mg/L), por lo que no se evidencia alguna afectación en la calidad de agua para este punto. A medida que el río avanza por la ciudad, la concentración de sulfuros aumenta hasta llegar a valores de 7mg/L en Fucha Alameda. En términos generales se notarán los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

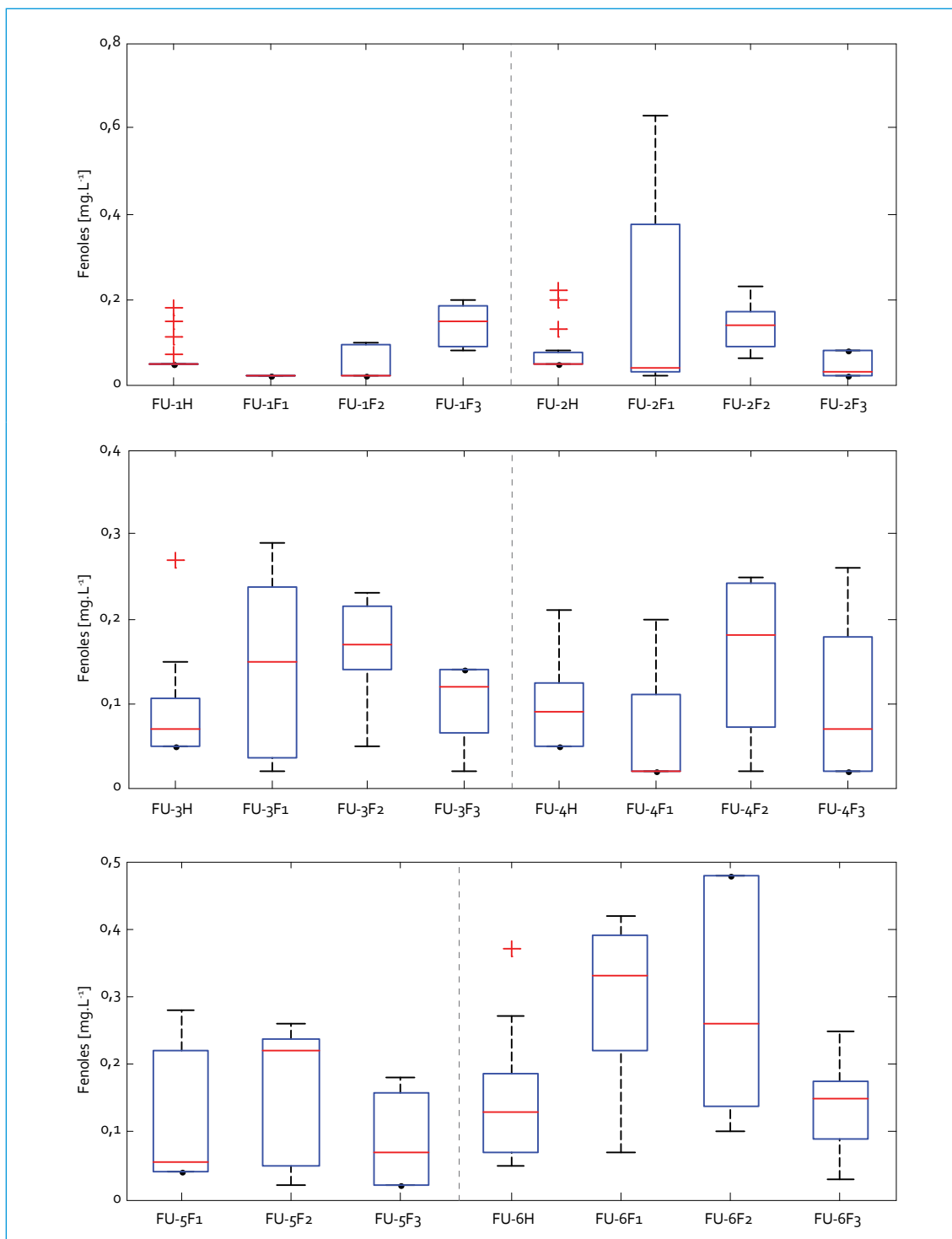
- Constantes: El Delirio (excepto F₁, cuya mediana fue la menor), Av. Américas (excepto F₂, cuya mediana fue la mayor), Visión Colombia, Zona Franca (excepto F₁, cuya mediana fue mayor).
- Aumentos: Carrera 7^a (mediana dos veces mayor en F₃ vs. H), Av. Boyacá (mediana dos veces mayor en F₃ vs. F₁) y Fucha Alameda (45% F₃ vs. H).

- En Avenida ferrocarril, las fases 1 y 2 registraron un aumento en las medianas, pero en la F₃ la mediana bajó a valores similares al periodo histórico.

4.1.1.16. Fenoles

La figura 4.20 muestra que las concentraciones de fenoles aumentaron a partir del punto Carrera 7^a. Para el punto El Delirio la mayoría de concentraciones de fenoles fueron no detectables (<0,02 mg/L); por lo tanto, no hay evidencia alguna de afectación en la calidad del agua para este punto. Los mayores rangos de variabilidad se observaron en las fases 1 y 2, donde se identificaron los siguientes comportamientos:

- Constantes: Carrera 7^a (excepto F₂, cuya mediana fue la mayor), Avenida Boyacá (excepto F₁, cuya mediana fue la mayor) y Fucha Alameda (excepto F₁, cuya mediana fue la mayor).
- Aumentos: El Delirio (la mediana de la fase 3 fue tres veces mayor que H) y Avenida Ferrocarril (60% F₃ vs. H).



Continúa

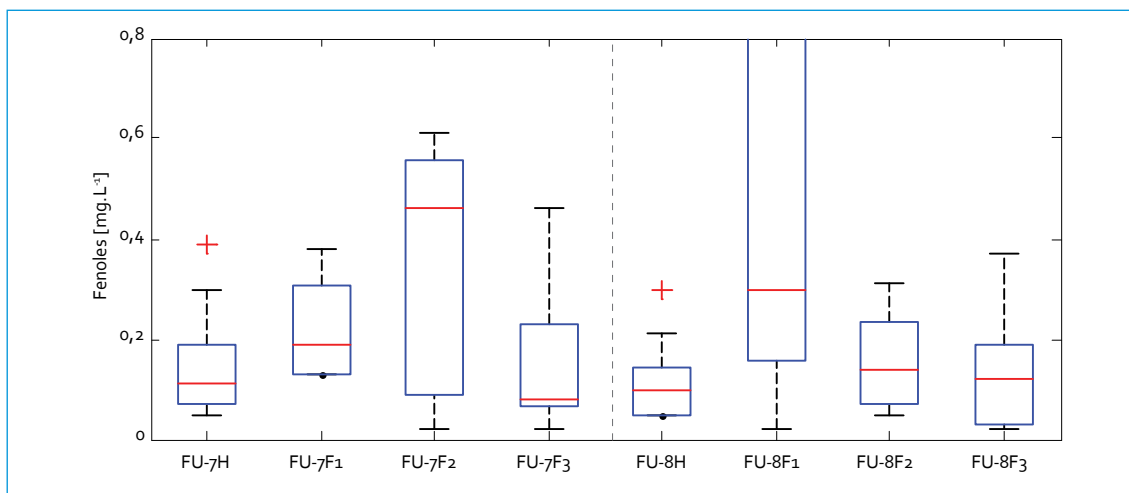


FIGURA 4.20. Perfil de fenoles: río Fucha

- En Avenida Las Américas, Visión Colombia, Zona Franca, la mediana de F3 y la histórica son muy similares; sin embargo, en F1 y F2 no se identifica una tendencia.

En términos generales, no es claro el comportamiento que tuvieron las concentraciones de fenoles en la mayoría de puntos, pues se presentaron aumentos y disminuciones sin importar la condición hidrológica de los monitoreos. A simple vista, durante la fase 1 se obtuvieron medianas más bajas y en la fase 2 las medianas fueron mayores. Para la fase 3 los registros se asemejaron a los datos históricos.

4.1.1.17. Metales

4.1.1.17.1. Bario

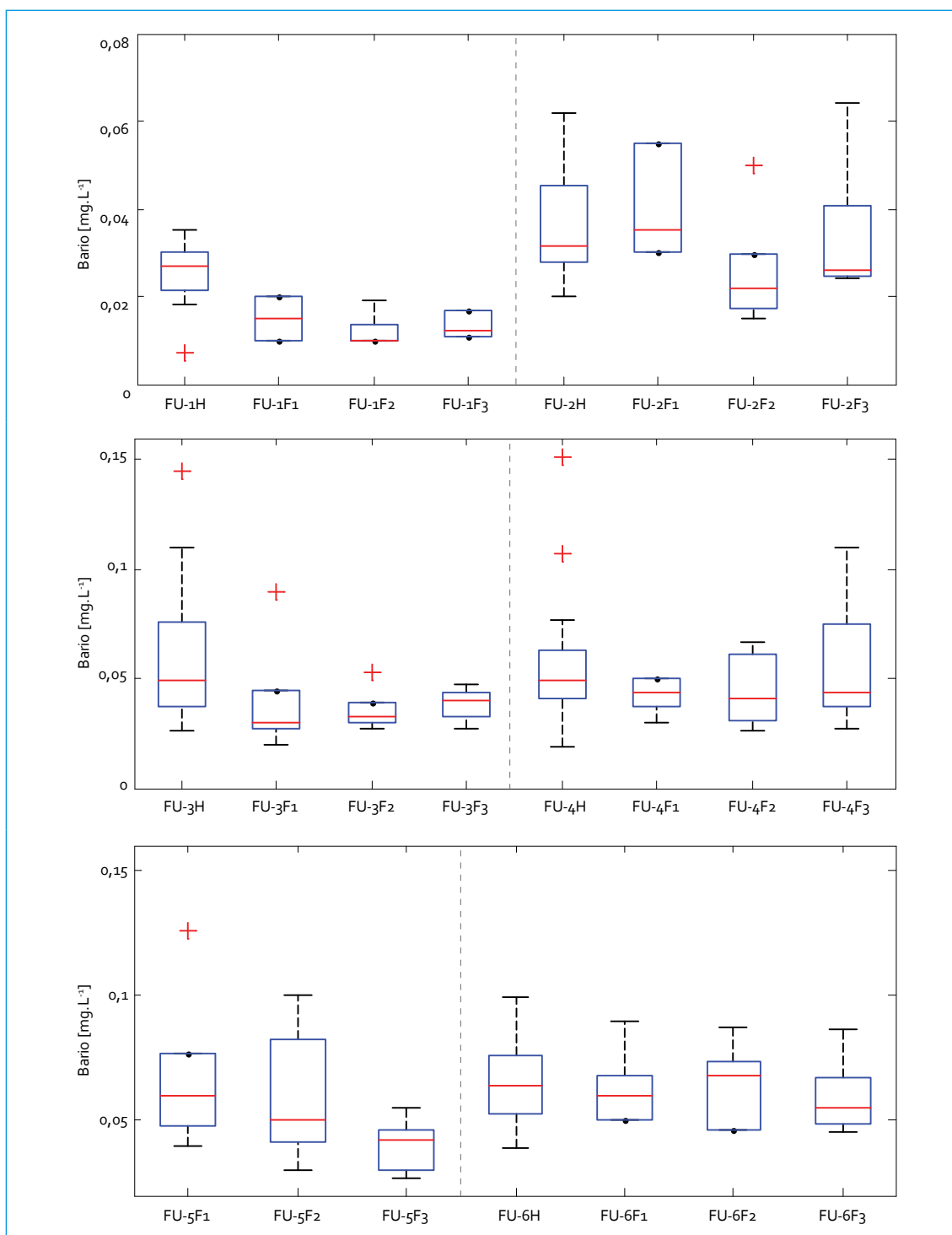
Las concentraciones de bario aumentaron a partir del punto Carrera 7.^a. Para el punto El Delirio la mayoría de concentraciones de bario estuvieron por debajo de 0,04 mg/L, lo que muestra nula afectación en la calidad del agua para este punto. A partir de ahí, las concentra-

ciones aumentan; Zona Franca es el punto que mayores concentraciones de bario registra, con valores de hasta 0,2 mg/L (figura 4.21). En términos generales se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: El Delirio (en las últimas tres fases), Carrera 7.^a (excepto F2, donde la mediana fue menor), Avenida Ferrocarril, Avenida Las Américas y Visión Colombia.
- Disminuciones: Avenida Boyacá (30% F3 vs. F1), Zona Franca (30% F3 vs. H) y Fucha Alameda (30% F3 vs. H).
- Durante el periodo histórico y la fase 1 se registraron los mayores valores de bario para los puntos El Delirio, Carrera 7.^a y Fucha Alameda, en cuyos casos se observó que el rango de variabilidad fue más amplio.

4.1.1.17.2. Cadmio

La figura 4.22 muestra que las concentraciones de cadmio aumentan a partir del punto Avenida Boyacá. Para el punto El Delirio en todos los pe-



Continúa

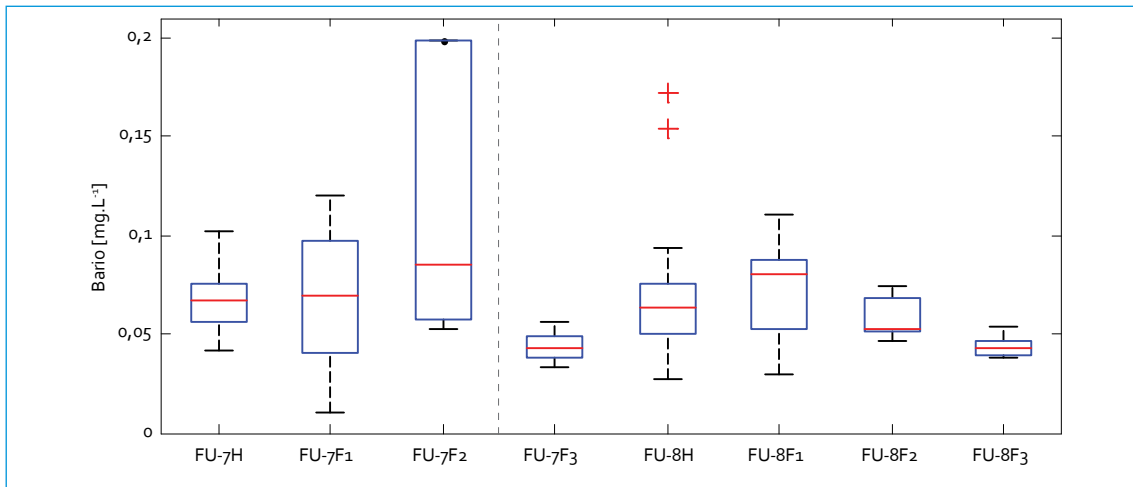
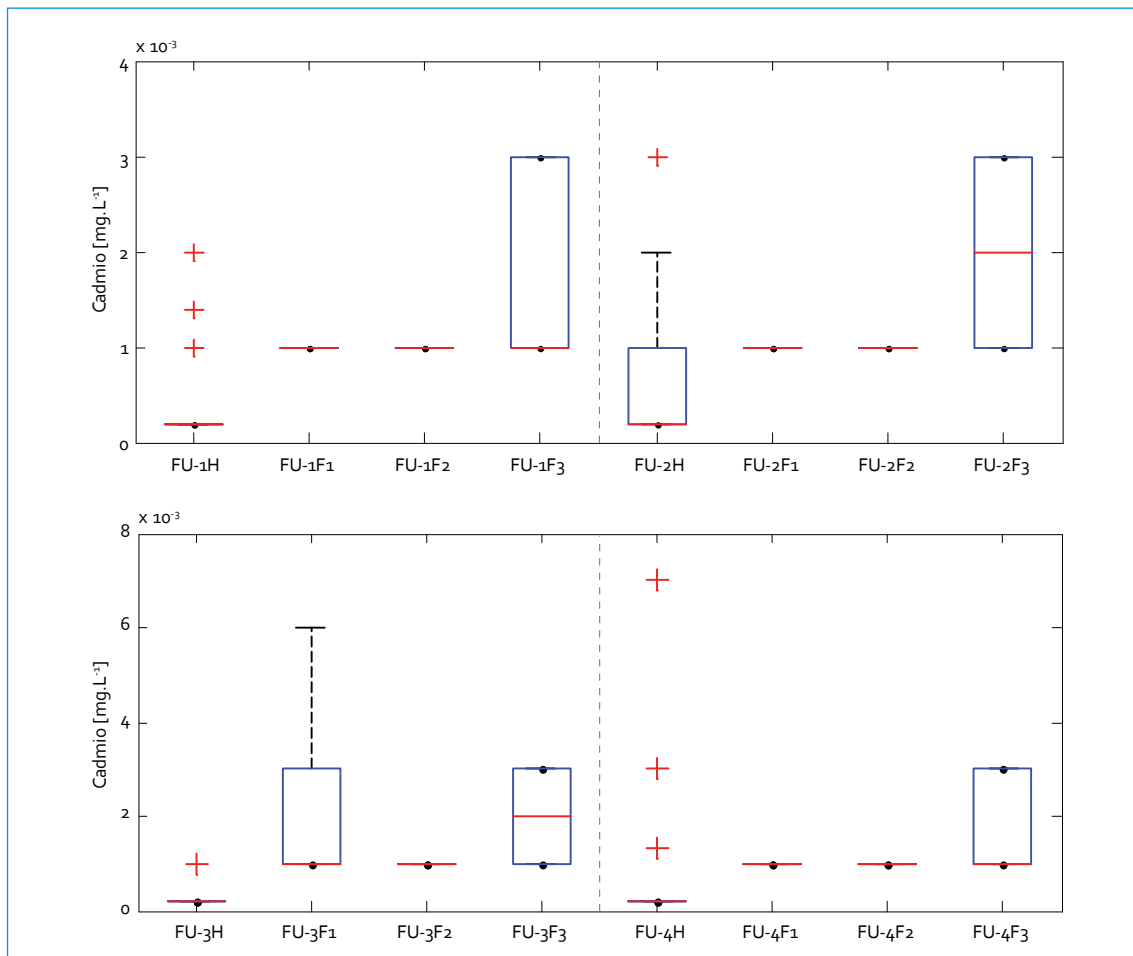


FIGURA 4.21. Perfil de bario: río Fucha



Continúa

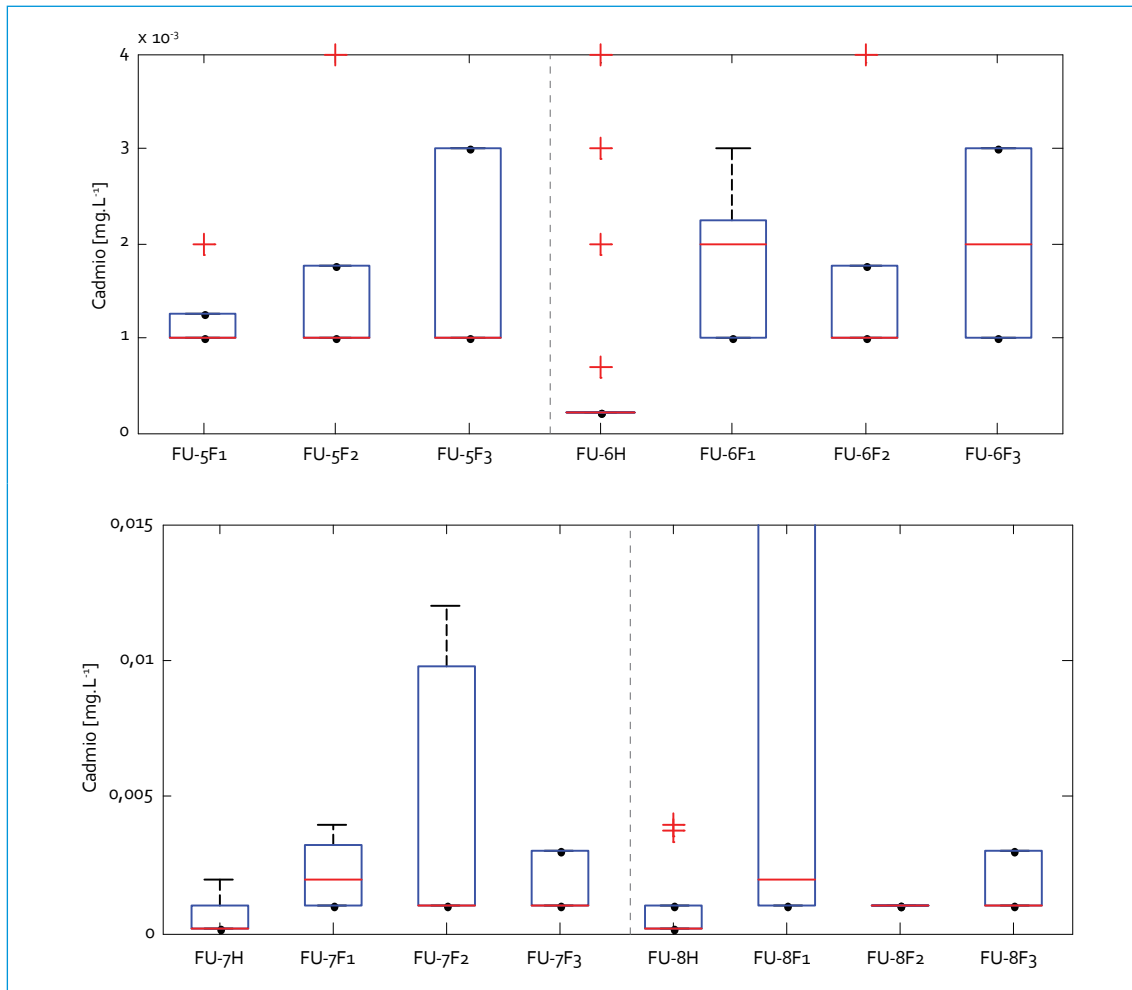


FIGURA 4.22. Perfil de cadmio: río Fucha

riodos las medianas de cadmio correspondieron al valor del límite de detección ($<0,001 \text{ mg/L}$); por lo tanto, no hubo afectación en la calidad del agua. En Carrera 7.^a y Avenida Ferrocarril las concentraciones de cadmio siguieron siendo bajas, excepto en la fase 3, donde se observó para ambos puntos un leve aumento en la mediana. En Avenida Las Américas y Avenida Boyacá la presencia de cadmio aumentó muy poco; sin embargo, las medianas para todas las fases fueron idénticas. A partir de Visión Colombia las concentraciones aumentaron y los rangos de variabilidad fueron más amplios (especialmente en las últimas tres fases), lo cual

muestra una afectación de descargas de aguas residuales industriales, sustentada por las mayores concentraciones de cadmio en el agua. En Zona Franca el rango de variación fue mayor que el de Visión Colombia, con concentraciones de hasta $0,012 \text{ mg/L}$. Por último, en el punto Fucha Alameda las medianas de concentración fueron muy similares para los diferentes periodos, pero en la fase 1 se registraron las mayores concentraciones. En conclusión, no se identificaron cambios significativos en las medianas para cada periodo monitoreado; los rangos de variabilidad fueron mayores durante la fase 3 en los primeros seis puntos del río Fucha.

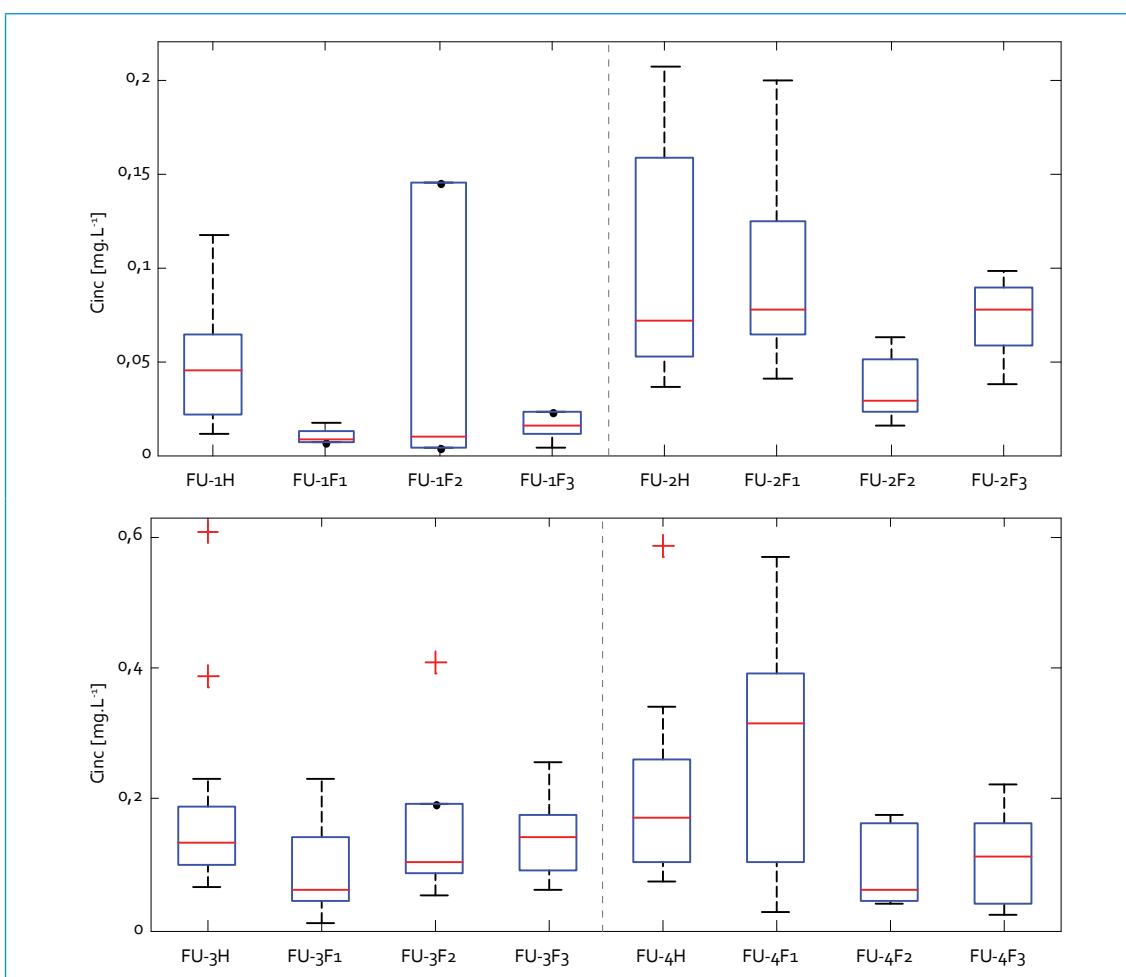
4.1.1.17.3. Cinc

Las concentraciones de cinc ascendieron en mayor proporción a partir del punto Avenida Boyacá (figura 4.23). Para este metal se observó que los rangos de variabilidad fueron más amplios en comparación con metales como el cadmio o el bario. Se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: Carrera 7.^a (excepto en F₂, cuya mediana fue 50% menor), Avenida Ferrocarril (excepto en F₁, cuya mediana fue 50% menor) y Visión Colombia.

- Disminuciones: El Delirio (67% F₃ vs. H), Avenida Las Américas (35% F₃ vs. H; 64% F₃ vs. F₁), Avenida Boyacá (48% F₃ vs. F₁), Zona Franca (56% F₃ vs. H) y Fucha Alameda (59% F₃ vs. H).

Las diferentes condiciones hidrológicas en los monitoreos afectaron la dinámica de las concentraciones. No se definió un comportamiento para cada fase de monitoreo, pues los puntos tuvieron respuestas diferentes en las concentraciones de cinc. A pesar de la variabilidad en los valores registrados, se observó que para la mayoría de puntos las medianas



Continúa

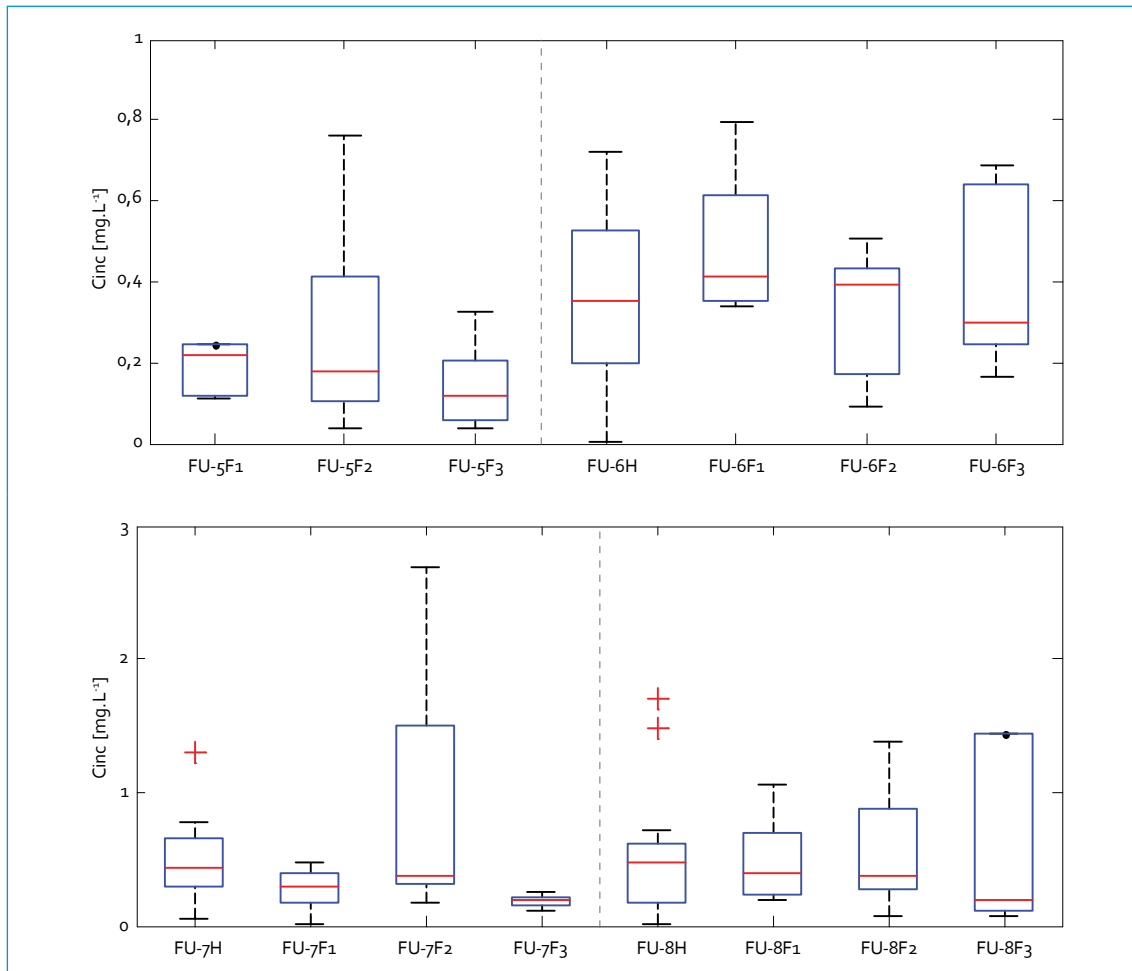


FIGURA 4.23. Perfil de cinc: río Fucha

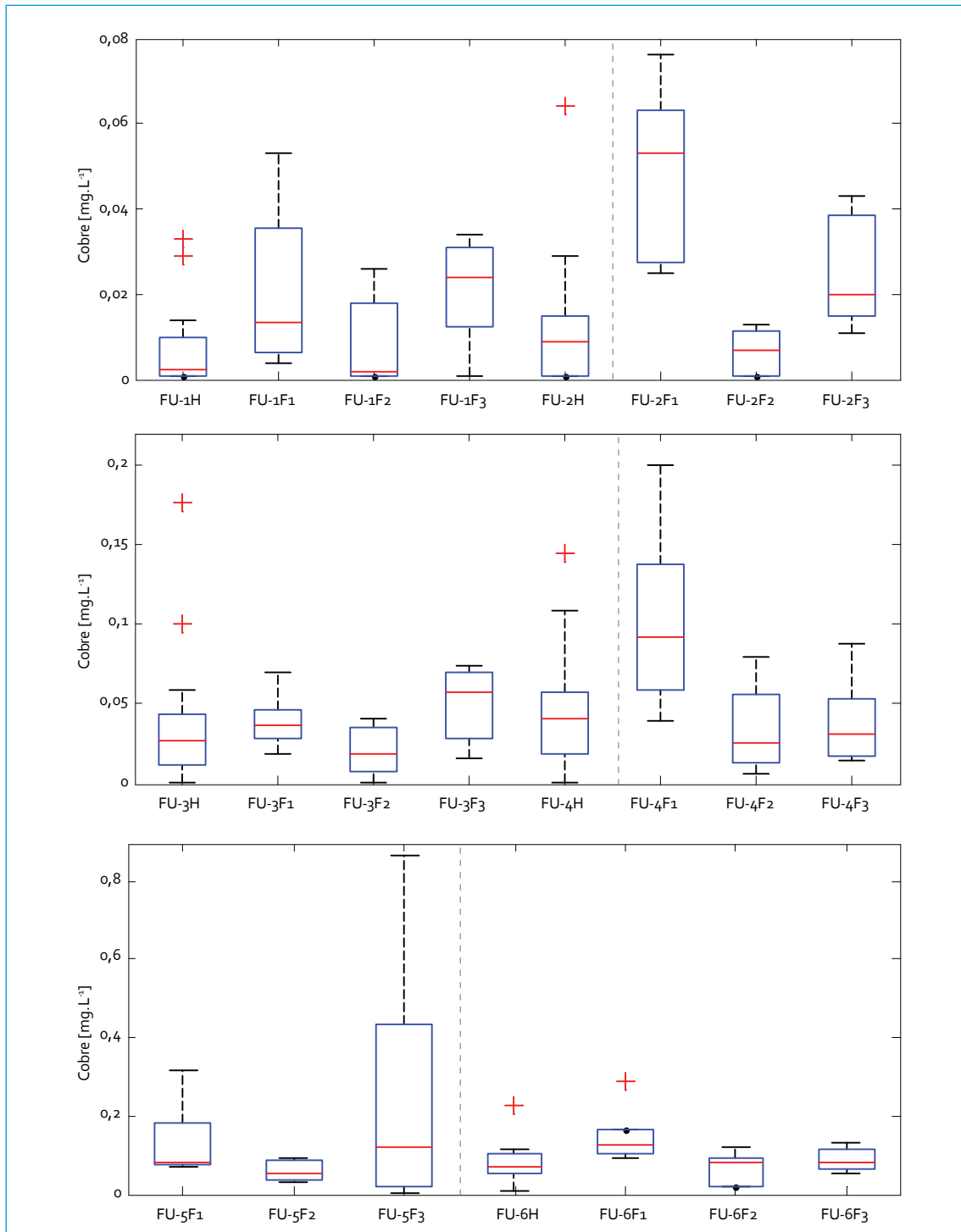
de concentración disminuyeron respecto a los registros históricos.

4.1.1.17.4. Cobre

Para los puntos El Delirio y Carrera 7.^a los valores de este metal no superaron los 0,1 mg/L, en contraste con Avenida Boyacá, donde se registraron valores mayores a 0,8 mg/L (figura 4.24). Las medianas de la fase 1 fueron las mayores de todos los puntos de monitoreo, hecho que refleja una condición crítica de contaminación. En términos generales, se

notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

- Constantes: Avenida Las Américas (excepto F1, cuya mediana fue la más alta) y Visión Colombia (excepto F1, donde fue más alta).
- Aumentos: El Delirio (ocho veces más F3 vs. H), Carrera 7.^a (dos veces más F3 vs. H), Avenida Ferrocarril (dos veces más F3 vs. H), Avenida Boyacá (35% F3 vs. F1) y Fucha Alameda (50% F3 vs. H).
- En Zona Franca no se identificó una tendencia, pues durante las fases 1 y 2 se



Continúa

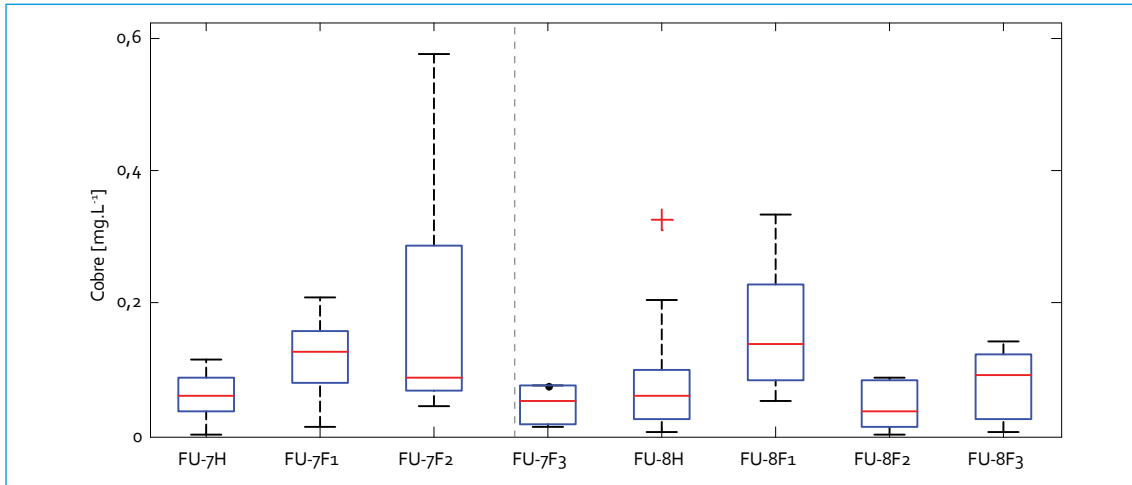


FIGURA 4.24. Perfil de cobre: río Fucha

registró un aumento en las medianas, pero las medianas histórica y de la fase 3 son muy similares.

A partir de estas tendencias se puede inferir que las concentraciones de cobre han aumentado en los últimos tres años de monitoreo; la fase 1 registró las mayores concentraciones no solo de cobre, sino de los demás metales.

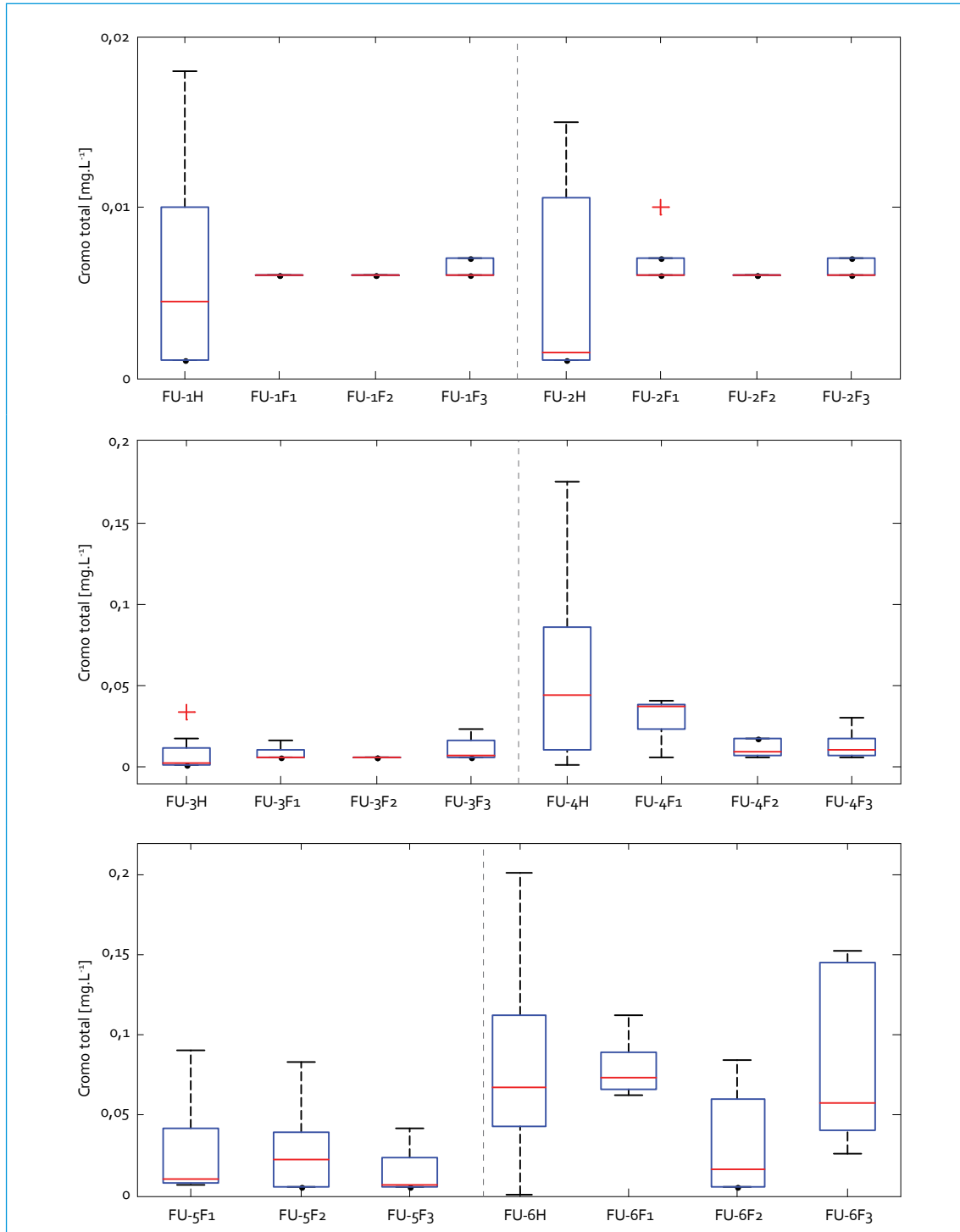
- Constantes: El Delirio, Carrera 7.^a, Avenida Ferrocarril, Avenida Boyacá (excepto F1, donde fue mayor), Visión Colombia (excepto F2, donde fue menor) y Fucha Alameda (excepto F1, donde fue mayor).
- Disminuciones: Avenida Las Américas (77% F3 vs. H) y Zona Franca (65% F3 vs. H).

4.1.1.17.5. Cromo total

La figura 4.25 muestra que las medianas de concentración de cromo total estuvieron por debajo del límite de detección hasta el punto Avenida Ferrocarril (<0,006 mg/L), lo que denota nula afectación en la calidad de agua para este punto. A partir del punto Avenida Las Américas las concentraciones se incrementaron, y fue Zona Franca el punto que mayores concentraciones registró. Las concentraciones de cromo total permanecieron constantes, sin importar las condiciones hidrológicas que se presentaron en los monitoreos. En términos generales, se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:

4.1.1.17.6. Manganeso

En la figura 4.26 se aprecia que las concentraciones de manganeso aumentaron a partir del punto Carrera 7.^a. En El Delirio todas las concentraciones de manganeso fueron bajas y su presencia se debió a condiciones naturales; no se presentaron afectaciones, ya que las medianas de las fases 1, 2 y 3 y la histórica son similares. A partir del punto Visión Colombia la mediana de concentración aumentó el doble respecto al punto anterior y siguió sin mayores variaciones hasta la desembocadura. En términos generales, se notaron los siguientes cambios a lo largo del tiempo:



Continúa

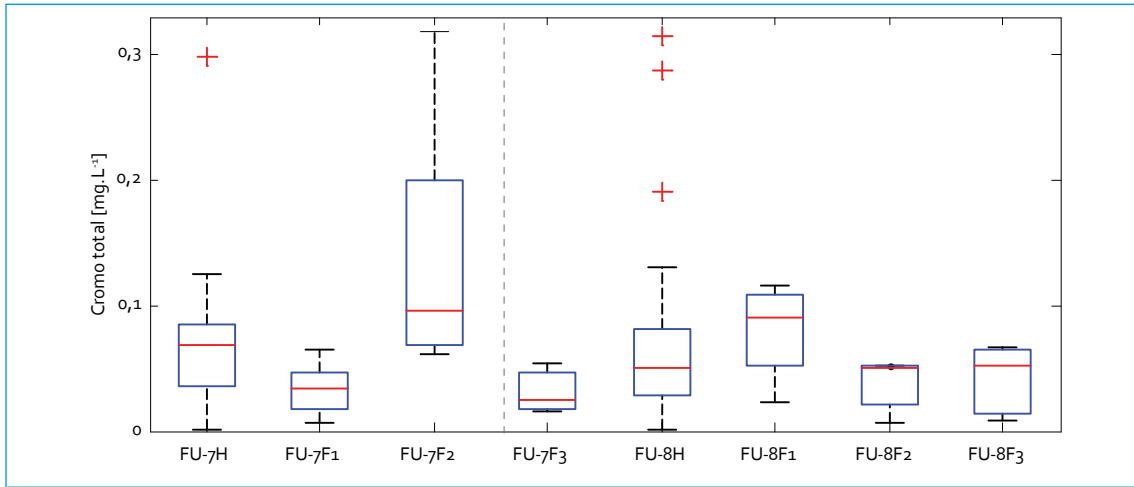
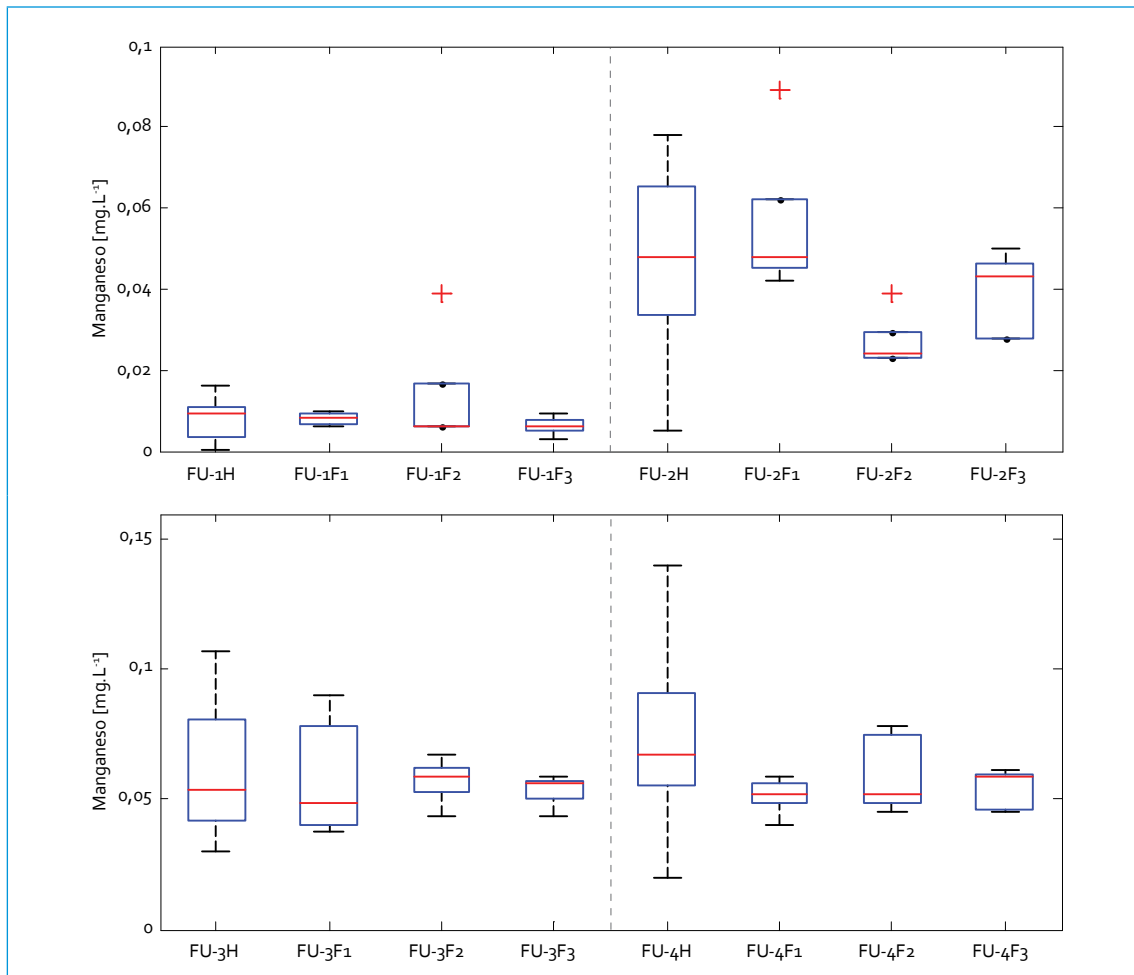


FIGURA 4.25. Perfil de cromo total: río Fucha



Continúa

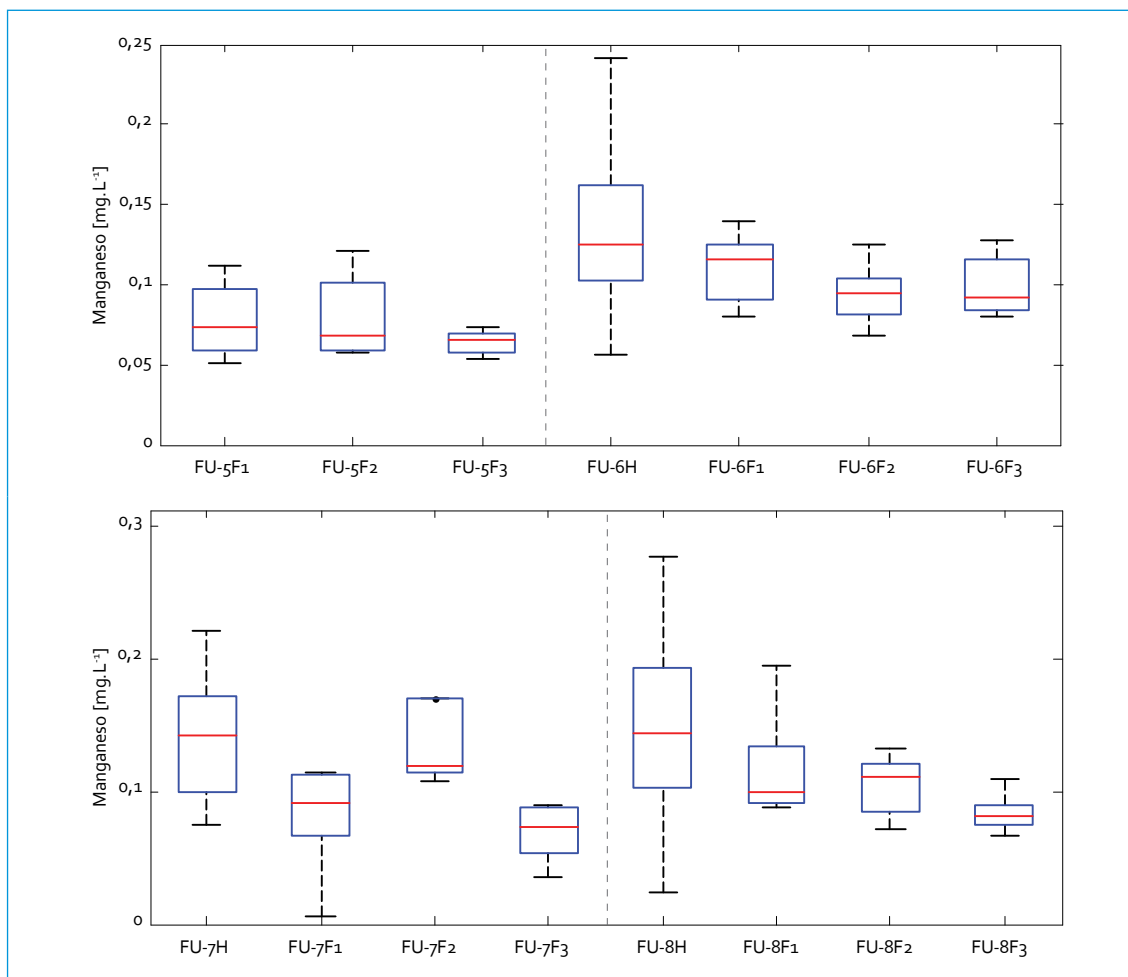


FIGURA 4.26. Perfil de manganeso: río Fucha

- Constantes: El Delirio, Carrera 7.^a (excepto F2, donde fue 50% menor), Avenida Ferrocarril, Avenida Las Américas y Avenida Boyacá.
- Disminuciones: Leve disminución en Visión Colombia (26% F3 vs. H), especialmente en el rango de variabilidad, Zona Franca (48% F3 vs. H) y Fucha Alameda (43% F3 vs. H).

Al igual que para el cromo total, las concentraciones de manganeso han permanecido constantes; sus rangos de variabilidad fueron mayores en el periodo histórico.

4.1.1.17.7. Níquel

Las concentraciones de níquel aumentan a partir del punto Avenida Las Américas. Una vez más, se nota la afectación de los interceptores Fucha, Boyacá, del Sur y Kennedy, pues las concentraciones de níquel se incrementaron a partir de Visión Colombia. Las concentraciones de este metal permanecieron constantes (figura 4.27), y la fase 2 mostró las medianas más bajas, posiblemente por el aumento de las lluvias en este periodo de monitoreo (2010-2011). Según los registros obtenidos en los diferentes

periodos de monitoreos, se identificaron los siguientes comportamientos:

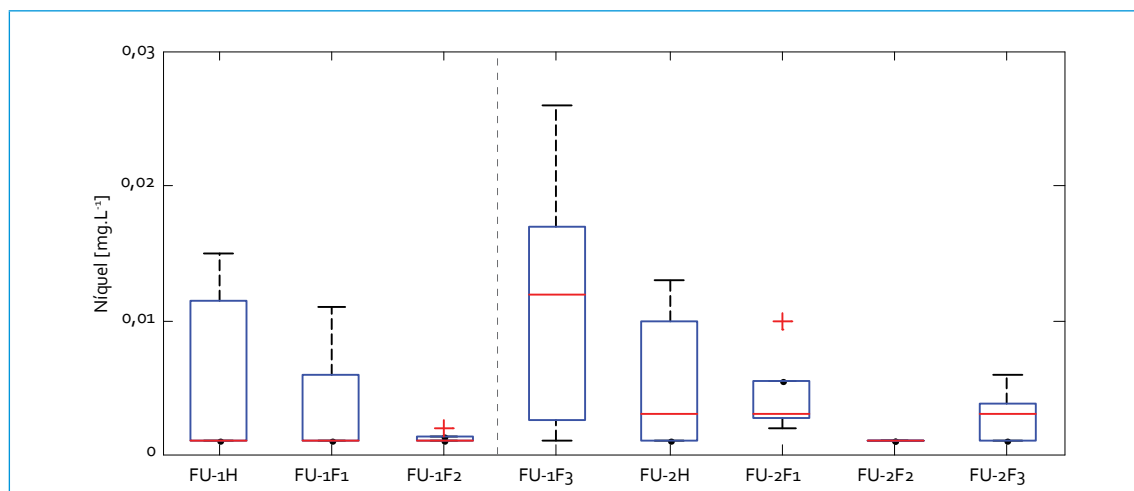
- Constantes: Carrera 7.^a (excepto F₂, donde fue menor), Avenida Las Américas (excepto F₂, donde fue menor), Visión Colombia (excepto F₂, donde fue menor), Zona Franca (excepto F₂, donde fue mayor) y Fucha Alameda (excepto F₂, donde fue menor).
- Aumentos: El Delirio (la mediana de la fase 3 fue 11 veces mayor a H, F₁ y F₂), Avenida Ferrocarril (la mediana de la fase 3 fue 3,5 veces mayor a H) y Avenida Boyacá (la mediana de la fase 3 fue 2 veces mayor a F₁).

4.1.1.17.8. Plomo

El plomo aumentó a partir del punto Carrera 7.^a. El punto El Delirio registró valores por debajo del límite de detección para la mayoría de datos (< 0,003 mg/L), lo que denota nula afectación por este parámetro en la calidad del agua para este punto. Al igual que para el caso de cobre, el comportamiento que predominó en los diferentes periodos de monitoreo fue

el aumento en las medianas de concentración de plomo, especialmente en las fases 1 y 2, que registraron mayores concentraciones. Los puntos Avenida Boyacá, Visión Colombia, Zona Franca y Fucha Alameda presentaron las condiciones más críticas de contaminación, no solo para plomo, sino para los demás metales, lo que sugiere la necesidad de generar acciones prioritarias correctivas sobre este tramo del río Fucha (figura 4.28). A continuación se presentan las variaciones y comportamientos que tuvo este metal en el río Fucha en los diferentes años de monitoreo:

- Constantes: El Delirio, Avenida Boyacá (excepto F₃, cuya mediana fue ligeramente mayor) y Visión Colombia (excepto F₁, cuya mediana fue mayor).
- Aumentos: Carrera 7.^a (la mediana de F₃ fue 2,3 veces mayor que H), Avenida Ferrocarril (la mediana de F₃ fue 7 veces mayor a H), Avenida Las Américas (la mediana de F₃ fue 6 veces mayor a H), Zona Franca (40% F₃ vs. H) y Fucha Alameda (la mediana de F₃ fue 3,3 veces mayor a H).



Continúa

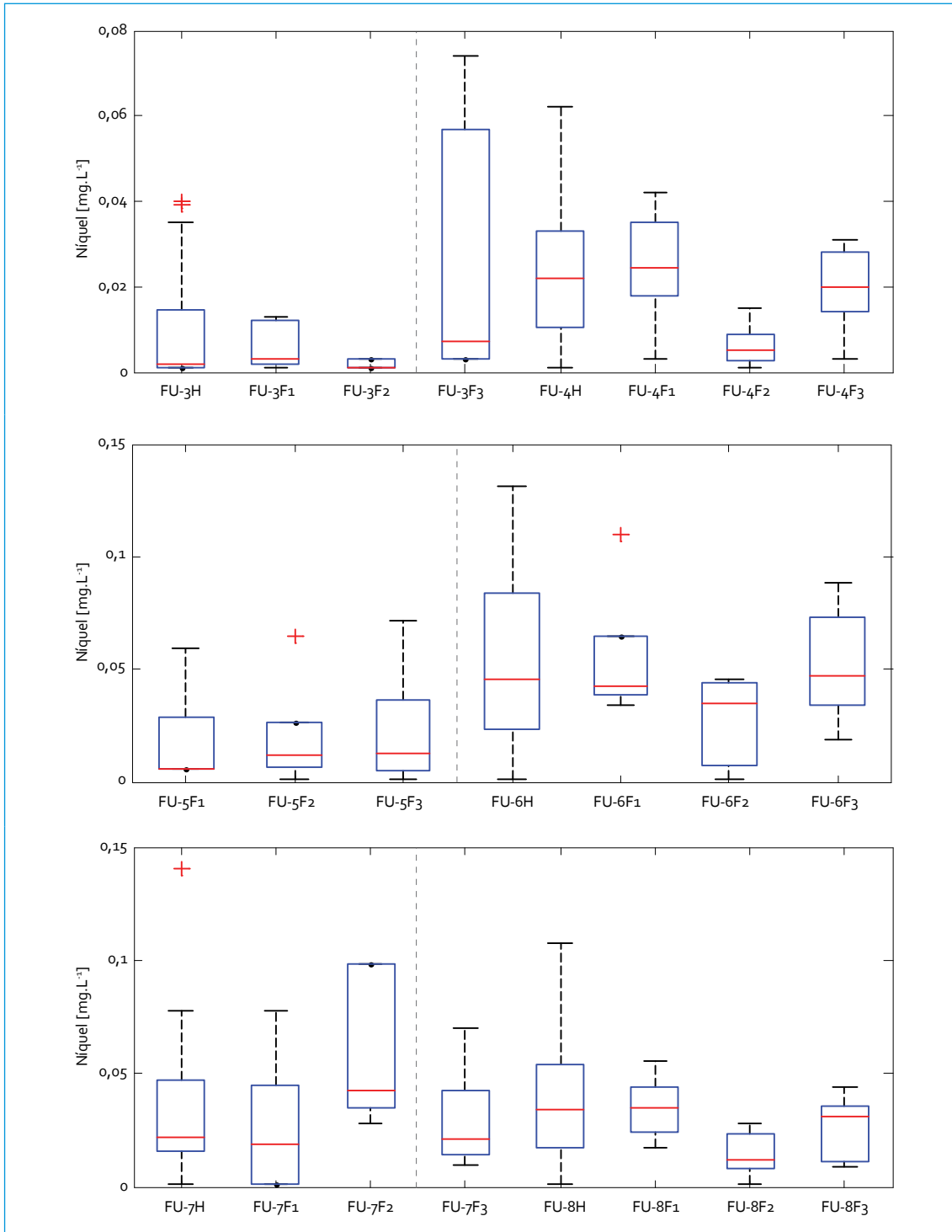
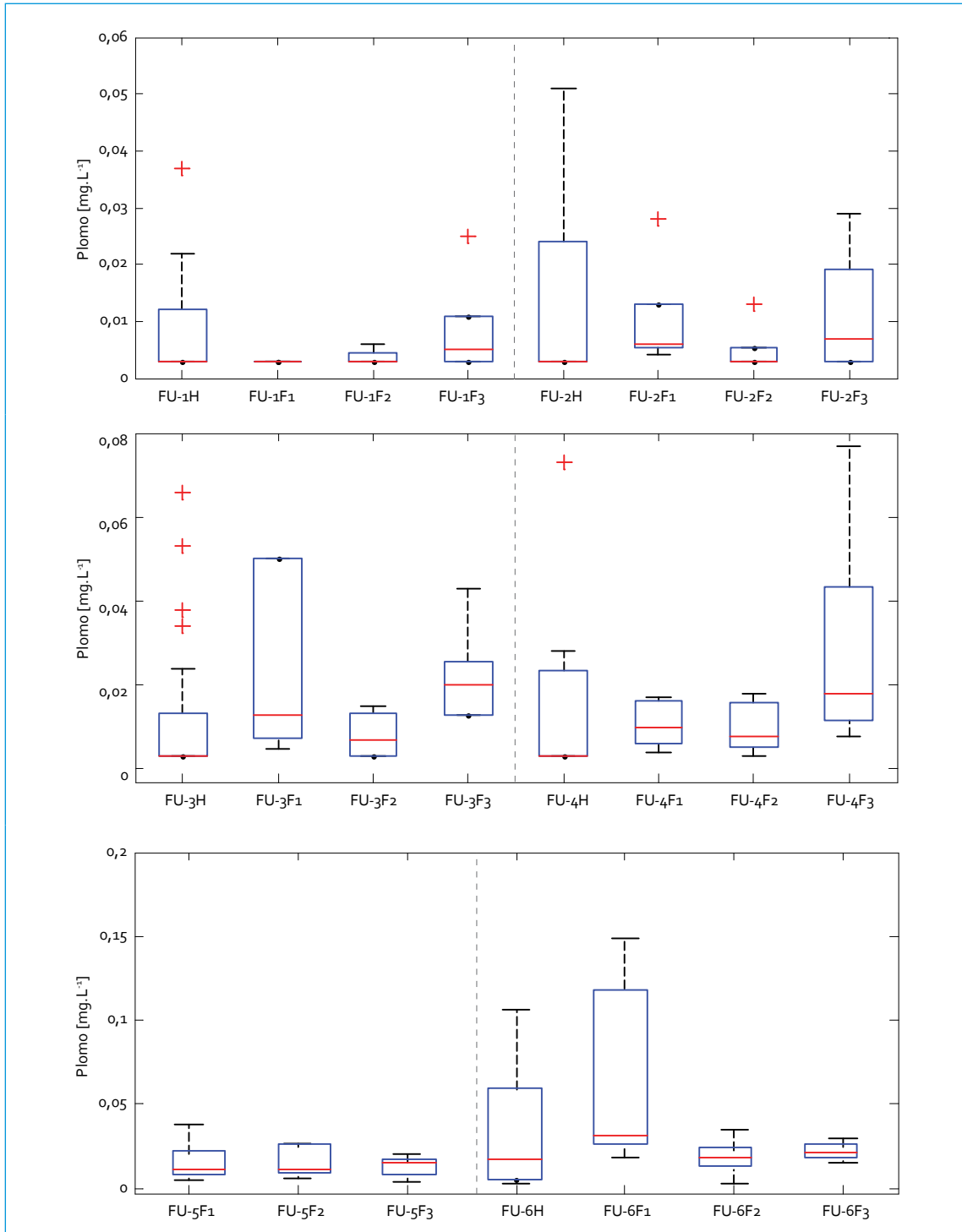


FIGURA 4.27. Perfil de níquel: río Fucha



Continúa

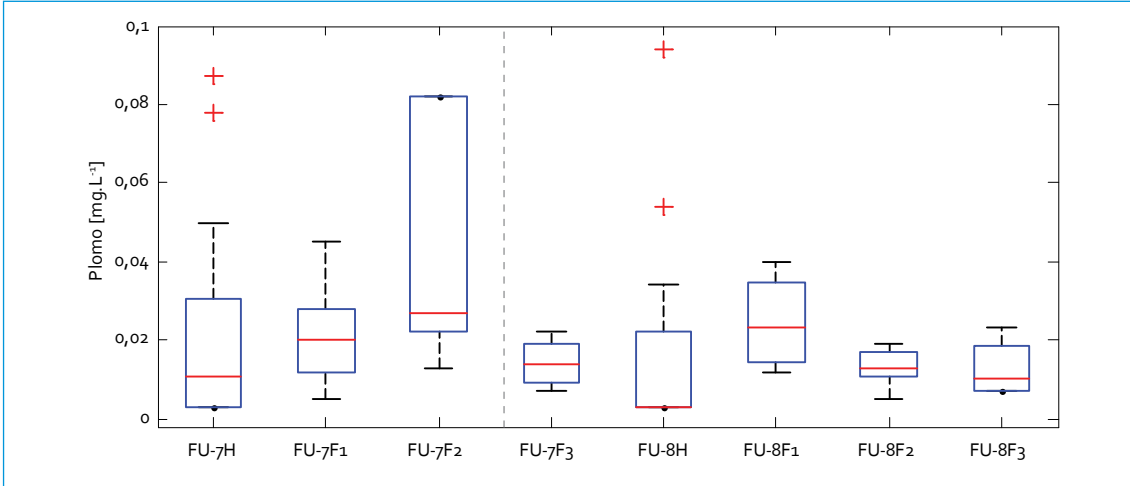


FIGURA 4.28. Perfil de plomo: río Fucha

4.1.2. Cargas contaminantes

4.1.2.1. DBO₅

Las cargas de DBO₅ tuvieron un comportamiento ascendente a lo largo del río (figura 4.29). Se observó un incremento significativo en las cargas de DBO₅ a partir del tramo 2 (tabla 4.2), causado por las descargas de los interceptores Fucha, Boyacá, del Sur y Kennedy, que se encuentran en este tramo.

TABLA 4.2. Carga promedio transportada DBO₅: río Fucha

Parámetro	Río Fucha (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
DBO ₅	36	4331	5677	31867

Dada la buena calidad que tiene el tramo 1, no existen metas de reducción para cargas. Dentro de las cargas obtenidas para la fase 3, la carga media (36 t/año) es mayor que la media

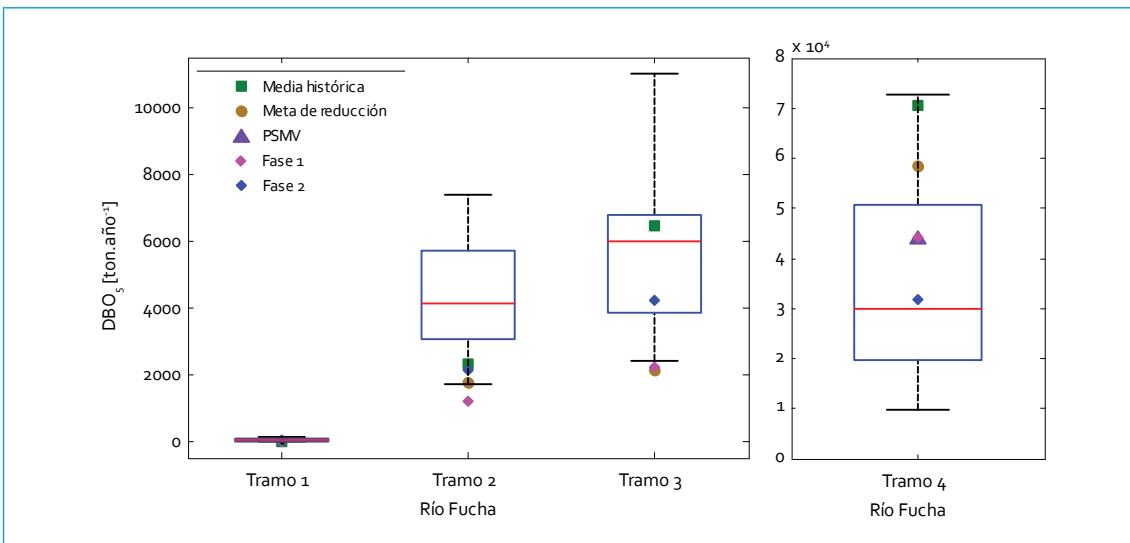


FIGURA 4.29. Perfil de cargas DBO₅: río Fucha

histórica (6,6 t/año), que la de la fase 1 (7 t/año) y que la de la fase 2 (18 t/año), lo cual se atribuye al aumento en los caudales en El Delirio en el segundo semestre del 2011 (promedio: 761 L/s), por la temporada de altas lluvias que predominó. Dado que las concentraciones de DBO_5 no fueron altas, el promedio para la fase 3 fue 1,4 mg/L; en este punto se presentan muy buenas condiciones de calidad.

En el tramo 2 hubo un incremento fuerte de la carga contaminante; el promedio de carga actual (4331 t/año) es el doble del promedio histórico (2313 t/año), lo cual refleja un comportamiento vulnerable a las condiciones hidrológicas predominantes. Durante la fase 3 se presentó una época invernal en el segundo semestre de 2011, que causó que la carga transportada aumentara hasta el punto que superó las cargas medias de las campañas anteriores. Los promedios para la fase 1 (1198 t/año) y la fase 2 (2137 t/año) estuvieron dentro del rango inferior de las cargas registradas en la fase 3, lo que refleja una afectación por el registro de caudales más altos, teniendo en cuenta que las concentraciones fueron mayoritariamente constantes en la fase 3 (variaciones menores al 30%).

En el tramo 3 se constató una leve reducción de la carga media actual (5677 t/año) respecto a la histórica (6447 t/año). Esta situación ha sido más evidente en campañas de monitoreo anteriores; en esta campaña se registraron caudales altos y, por ende, cargas más altas. Esta reducción en la carga se atribuye a una disminución en las concentraciones de DBO_5 en la fase 3. Al comparar el valor medio actual entre las cargas, en la fase 3 se registran mayores cargas (5677 t/año) que en la fase 1 (2209 t/año) y en la fase 2 (4215 t/año). Es im-

portante tener claro que para estos periodos de monitoreo los promedios de cargas se afectan por el aumento de caudal, debido al periodo de lluvias. Respecto a las metas de reducción propuestas (1750 y 2150 t para tramos 2 y 3, respectivamente), el tramo 2 no alcanzó la meta teniendo en cuenta la carga base (promedio histórico) y la carga actual. En el tramo 3, en cambio, se ha alcanzado en la fase 3 el 36% de la meta propuesta.

El tramo 4 presentó cargas de mayores magnitudes que para los demás tramos, debido a las importantes descargas que recibe. Respecto a la media obtenida para la fase 1 (44 228 t/año) y para la fase 2 (31 727 t/año), la carga actual no difiere considerablemente (31 867 t/año); además, hubo una indudable disminución de los promedios respecto al histórico (70 594 t/año). Lo anterior se traduce en que para la fase 3 se ha cumplido el 66% la meta de reducción (58 500 t); por lo tanto, se refleja un mejoramiento considerable en la calidad del agua de este tramo.

El PSMV solo toma en cuenta el tramo 4 y para la DBO_5 establece una remoción de carga de 43 728 t para el 2012. Teniendo en cuenta el valor del PSMV, se puede ver que se ha logrado una reducción del 89%, lo cual, sumado al efecto de la meta de reducción, indica que el cambio para este tramo puede ser muy positivo para el saneamiento del río Fucha.

4.1.2.2. DQO

La figura 4.30 presenta el comportamiento de cargas de DQO a lo largo del río Fucha. Se observó un incremento en las cargas de DQO a partir del tramo 2 (tabla 4.3).

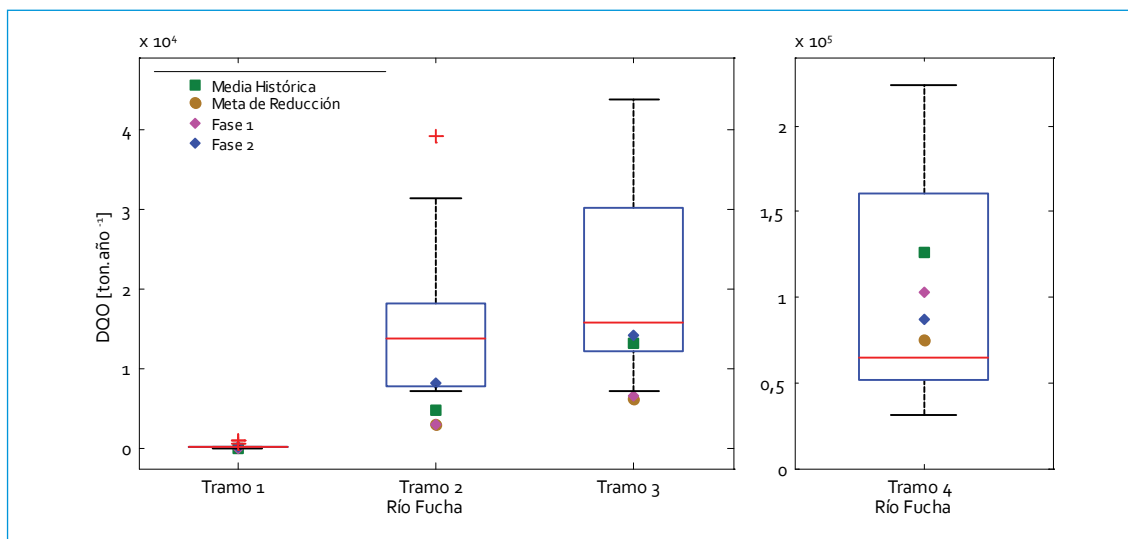


FIGURA 4.30. Perfil de cargas DQO: río Fucha

TABLA 4.3. Carga promedio transportada DQO: río Fucha

Parámetro	Río Fucha (t/año)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
DQO	139	14074	21079	101386

Dentro de las cargas obtenidas para el tramo 1, la carga media para esta fase (139 t/año) es 2,6 veces mayor a la media histórica (54 t/año). Es importante resaltar el importante aumento del caudal promedio respecto al histórico (139 L/s vs. 629 L/s), el cual afectó el comportamiento de las cargas. Situación similar se presentó para las cargas medias de DQO de la fase 1 (68 t/año) y la fase 2 (129 t/año), pues se notó el incremento causado por el aumento en los caudales. Sin embargo, teniendo en cuenta que el promedio de la concentración de DQO para la fase 3 fue de 12 mg/L, no hay indicios de eventos de contaminación.

En el tramo 2 se observó el fuerte impacto en la calidad del agua en el río, consecuencia de la entrada al perímetro urbano; en este caso los promedios de carga para las fases

anteriores están por debajo de la carga media actual (14 074 t/año). Se debe tener en cuenta la diferencia entre los periodos de monitoreos analizados y las condiciones hidrológicas que predominaron en cada campaña, ya que para la fase 3 el promedio de concentración fue el más bajo de las fases (72 mg/L), teniendo en cuenta que para las fases 1 y 2 estuvo en cerca de 230 mg/L. Lo anterior lleva a pensar que las cargas se vieron afectadas por la época invernal, la cual posiblemente causó una dilución de las concentraciones. La meta de reducción propuesta para el tramo 2 del río Fucha fue 2950 t, pero su cumplimiento hasta el momento ha sido nulo.

Para el tramo 3 se ve un comportamiento similar al tramo 2, pues se evidencia un aumento importante en la carga respecto a las fases anteriores (carga actual: 21 079 t/año). La carga media de la fase 2 (14 172 t/año) no difiere significativamente del promedio histórico (13 071 t/año), pero sí de la carga media obtenida para la fase 1 (6490 t/año), que es incluso menor a la carga histórica. Lo anterior corresponde a la temporada de lluvias que incrementó los

caudales a partir de la fase 2, sumado a una reducción del 30% de las concentraciones de DQO en la fase 3 respecto al periodo histórico. Si se toma en cuenta que la meta de reducción propuesta fue de 6200 t, es imperceptible el cumplimiento de este objetivo.

Para el tramo 4 se registró el aumento hasta en un orden de magnitud de las cargas transportadas respecto a los tramos anteriores. Al comparar el promedio histórico (126 397 t/año) con el obtenido en este periodo de monitoreo (101 386 t/año) se observó una disminución, que se tradujo en 33% de cumplimiento de la meta de reducción (75 300 t).

La comparación de las cargas medias transportadas para las diferentes fases, muestra que el comportamiento ha sido constante, pues los promedios se encuentran dentro de un rango de variación pequeño.

4.1.2.3. SST

Las cargas de SST, al igual que sucedió con la DBO_5 y la DOO , tuvieron un comportamiento ascendente a lo largo del río (figura 4.31). El tramo 4 fue claramente el más afectado por

estas cargas provenientes de los vertimientos de los interceptores Fucha, Boyacá y del Sur, que se encuentran aguas abajo del punto Avenida Boyacá (tabla 4.4).

TABLA 4.4. Carga promedio transportada SST: río Fucha

Parámetro	Río Fucha (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
SST	131	5604	6614	54310

Dentro de las cargas obtenidas en el tramo 1 para la fase 3, la carga media fue 131 t/año y se observó un aumento importante respecto a la media histórica (11 t/año) y a las cargas promedio obtenidas en la fase 1 (99 t/año) y fase 2 (55 t/año). Este comportamiento fue recurrente durante los últimos meses de monitoreo, pues el aparente aumento en carga es atribuible al incremento en los caudales durante las diferentes fases, dado que las concentraciones de SST en El Delirio no han variado significativamente (promedio: 4 mg/L).

En el tramo 2 el promedio histórico (2505 t/año) es muy similar al valor obtenido para la fase 2 (2406 t/año), pero mayor que la carga

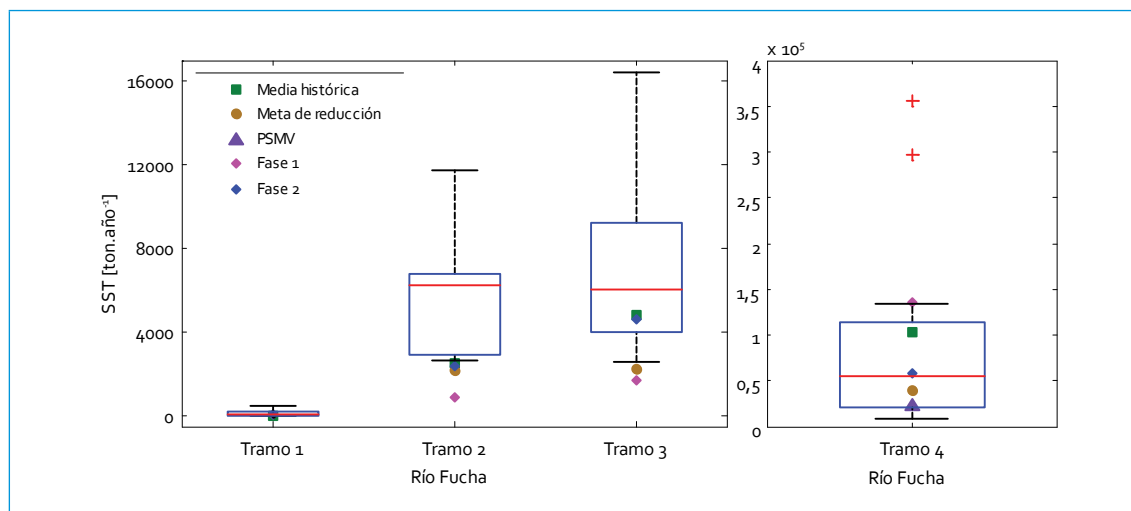


FIGURA 4.31. Perfil de cargas SST: río Fucha

media para la fase 1 (920 t/año), lo cual refleja un comportamiento dinámico en las cargas transportadas a lo largo del tiempo. La carga media actual es aun mayor a estos valores (5604 t/año) y al igual que con los parámetros anteriores, el incremento en los caudales fue la razón principal de este cambio, dado que las concentraciones medias de SST en la fase 3 disminuyeron en 30% respecto al periodo histórico. Aún no se ha alcanzado la meta de reducción propuesta para este tramo (2150 t).

En el tramo 3 el promedio histórico de 4842 t/año es similar al obtenido en la fase 2 (4595 t/año). No obstante, en la fase 3 se incrementaron las cargas (promedio actual: 6614 t/año) aún más teniendo en cuenta la carga media para la fase 1 (1685 t/año). Dado este comportamiento, la meta de reducción propuesta (2250 t) para este tramo no se ha alcanzado.

Por último, para el tramo 4 el promedio histórico es 103 527 t/año, el cual está por encima de la carga media actual. Para este tramo ocurrió lo contrario de los tramos anteriores, pues se observó una tendencia descendente en las cargas transportadas a lo largo del tiempo. En la fase 1 se obtuvo una carga media muy alta (135 654 t/año) que fue el resultado del registro de altas concentraciones en SST (cerca de 1000 mg/L) y caudales no muy altos. Para la fase 2 predominó la época de lluvias, lo que generó una disminución de las concentraciones de SST (promedio: 125 mg/L) respecto a la fase 1 y un aumento en el caudal promedio (9000 L/s), lo cual redujo la carga transportada (57 869 t/año). Para la fase 3 las concentraciones de SST aumentaron un poco; no obstante, la carga media actual (54 310 t/año) no difirió mucho de la registrada en la fase 2. Para este tramo la meta de reducción propuesta fue 39 300 t; tomando como referencia el promedio histórico (carga base) y la carga actual, la meta de reducción y la propuesta por

el PSMV ya se cumplieron. Hay consistencia en el cumplimiento de la meta de reducción para SST en los últimos años de monitoreo.

4.1.2.4. Nitrógeno total

De forma similar a los demás comportamientos, las cargas de N_{total} tuvieron un comportamiento ascendente a lo largo del río (tabla 4.5). Al igual que para los anteriores parámetros, se observó un incremento significativo en las cargas de N_{total} a partir del tramo 2 (figura 4.32).

TABLA 4.5. Carga promedio transportada N_{total} : río Fucha

Parámetro	Río Fucha (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
N_{total}	26	1250	1437	8765

La carga media de la fase 3 fue 6,5 veces mayor a la histórica. No hay evidencia de un aumento en las concentraciones que pueda indicar un evento de contaminación (promedio de la fase 3: 1,3 mg/L), lo que muestra el efecto del registro de caudales más altos a partir de la fase 1 hasta ahora (de 245 a 629 L/s en la fase 3).

Para el tramo 2, los valores promedio histórico (569 t/año), de la fase 1 (424 t/año) y de la fase 2 (617 t/año), demuestran un comportamiento poco variable a lo largo del tiempo. No obstante, si se compara con la carga media actual (1250 t/año) se nota un incremento por efecto de los mayores caudales en este periodo de monitoreo. La meta de reducción propuesta para este tramo (350 t) hasta el momento no se ha logrado.

El tramo 3 muestra un comportamiento dinámico ascendente, ya que la carga media de la fase 1 (728 t/año) es la menor, mientras que la carga media de la fase 2 (1061 t/año) y

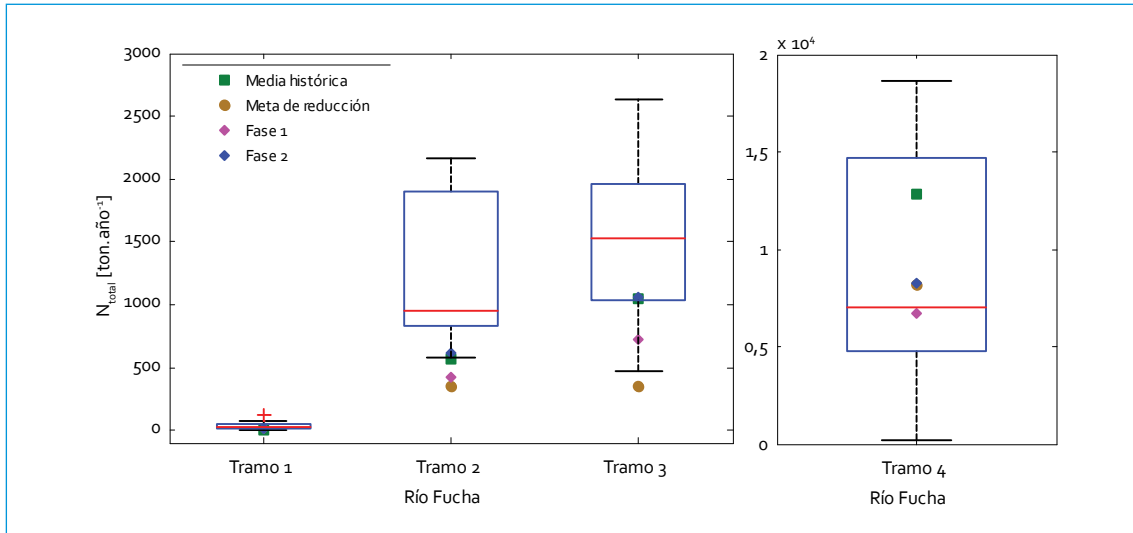


FIGURA 4.32. Perfil de cargas de N_{total} : río Fucha

la actual (1437 t/año) son mucho más altas y similares entre sí. Al igual que para los demás parámetros, la razón del aumento en las cargas es el registro de caudales más altos, pues el promedio actual de caudal (2151 L/s) fue el mayor de todas las fases. Teniendo en cuenta la meta de reducción propuesta para este tramo (350 t), el promedio histórico y el actual, la reducción no es evidente hasta el momento.

En el tramo 4 persiste la misma variabilidad en las cargas, las cuales, además, aumentan considerablemente respecto a los demás tramos. El tramo 4 tiene las peores condiciones de calidad en cuanto a cargas de nitrógeno total. El promedio actual es 8765 t/año y respecto al promedio histórico (12 830 t/año) muestra una disminución en la carga que representa el 50% de cumplimiento con la meta de reducción propuesta (8200 t). En relación con la carga media obtenida en la fase 1 (6737 t/año) y la fase 2 (8247 t/año), hay un comportamiento poco variado frente a las cargas obtenidas en la fase 3; esto corrobora una disminución de la carga transportada para nitrógeno en los últimos tres años.

4.1.2.5. Fósforo total

Dentro de las cargas obtenidas para el tramo 1, en la fase 3 el promedio actual (tabla 4.6) es mayor al promedio histórico (0,2 t/año), pero es resultado del aumento en caudal, mas no de concentración (promedio actual: 0,1 mg/L). La misma situación se presentó con la carga media obtenida en la fase 1 (0,3 t/año) y en la fase 2 (1,4 t/año), lo cual obedece a la dinámica de caudales registrada durante los monitoreos.

TABLA 4.6. Carga promedio transportada P_{total} : río Fucha

Parámetro	Río Fucha (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
P_{total}	1	142	172	1229

Para el tramo 2 la carga media actual (142 t/año) fue mayor que las registradas en las fases anteriores (figura 4.33). El promedio histórico para este tramo (115 t/año) no se alejó mucho del promedio actual, pero este superó las cargas medias obtenidas en las fases 1 y 2. Si se compara la carga media actual con

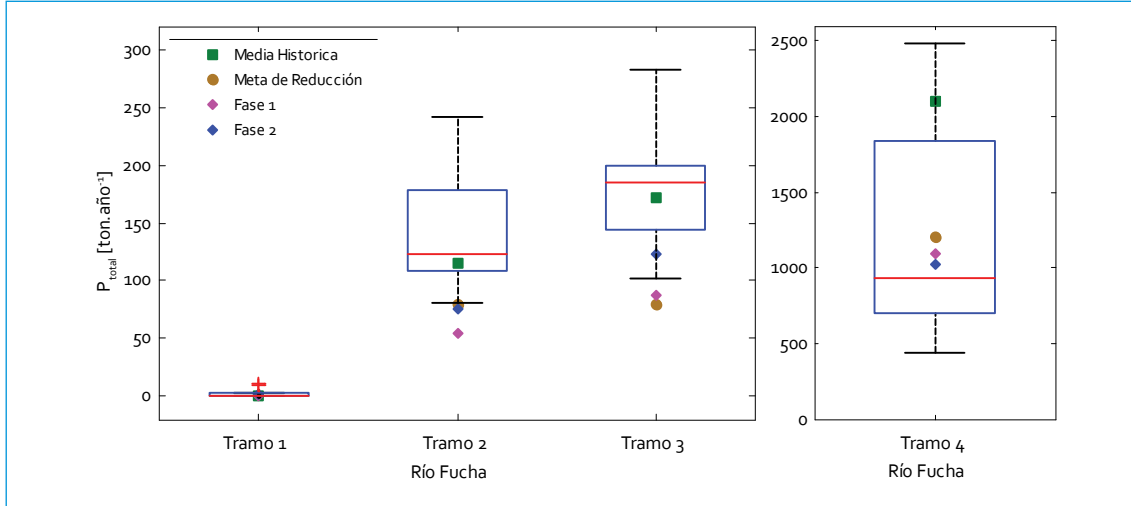


FIGURA 4.33. Perfil de cargas P_{total} : río Fucha

la carga base o histórica, no se ha alcanzado la meta de reducción propuesta para este tramo (80 t).

En el tramo 3 el promedio histórico (123 t/año) fue similar a la carga media actual (172 t/año), pero este valor superó las cargas medias obtenidas en las fases anteriores, especialmente la de la fase 1, cuya carga obtenida (87 t/año) fue la menor. Si se toman en cuenta la carga base y la carga actual, el cumplimiento de la meta de reducción es, hasta el momento, nulo. Para el tramo 4 entre el promedio histórico (2105 t/año) y el promedio actual (1229 t/año) hay una notoria mejoría, pues en relación con la meta de reducción (1200 t) se ha logrado el 73%. Respecto al promedio de carga obtenido en la fase 1 (1091 t/año) y en la fase 2 (1018 t/año), se observó una similitud con la carga actual: hay una disminución en la carga de fósforo; además, el promedio en la fase 1 es igual a 9 mg/L, y en fase 3, 6 mg/L.

4.1.2.6. Grasas y aceites

En la figura 4.34 se observó un aumento de la carga de grasas y aceites transportada entre el primer tramo y el segundo.

TABLA 4.7. Carga promedio transportada de grasas y aceites: río Fucha

Parámetro	Río Fucha (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
Grasas y aceites	166	1125	1373	14 020

La carga de grasas y aceites en el tramo 1 del río Fucha presentó variaciones, pues el valor medio actual (tabla 4.7) es mucho mayor que las cargas medias histórica (55 t/año), de la fase 1 (39 t/año) y de la fase 2 (92 t/año). Al igual que sucedió con los demás contaminantes monitoreados, esto es consecuencia de los caudales altos que se midieron en este

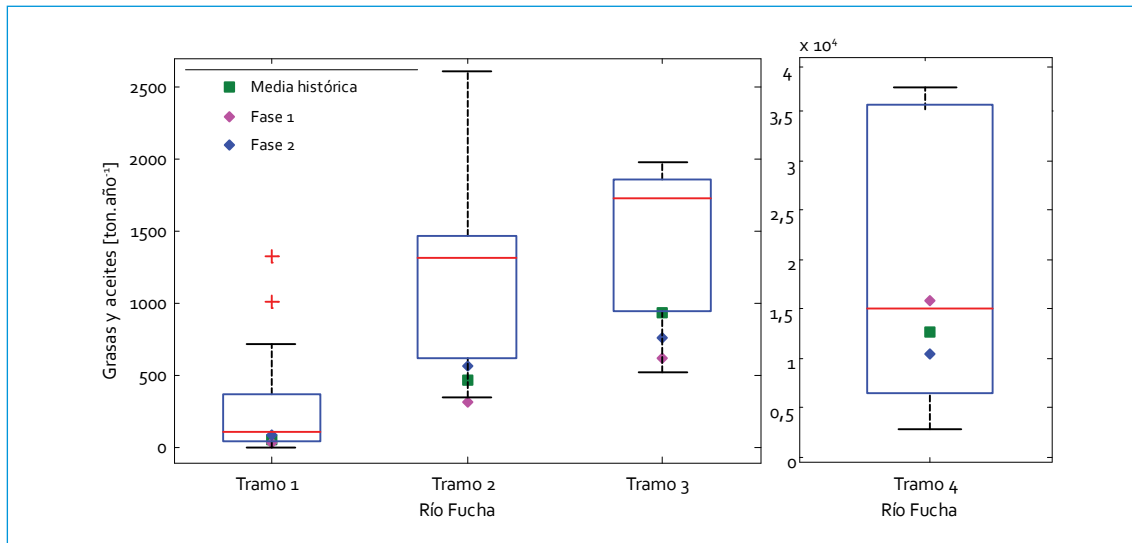


FIGURA 4.34. Perfil de cargas grasas y aceites: río Fucha

periodo, pues la mayoría de concentraciones durante la fase 3 fueron menores al límite de detección (3,6 mg/L). En el tramo 2 también se constató un incremento de las cargas respecto al promedio histórico (470 t/año) y a las fases de monitoreo anteriores. El promedio de la fase 3 (1125 t/año) indica que el aumento en el caudal (1616 L/s) afectó las cargas transportadas en este tramo. Sumado a lo anterior, se ha podido corroborar el aumento en las concentraciones en relación con el periodo histórico, cuyos registros en las fases 1, 2 y 3 superan en más del doble los valores obtenidos en el periodo histórico.

Para el tramo 3, la carga media actual (1373 t/año) es mayor al promedio histórico (938 t/año) y a las fases anteriores. Para este periodo se presentó un aumento en el caudal promedio a 2151 L/s, que incluso ha sido el promedio más alto entre las diferentes fases; además, también se nota un fuerte

aumento en las concentraciones de grasas y aceites para las últimas tres fases en relación con el periodo histórico, lo que justifica este comportamiento.

Respecto al tramo 4, el promedio histórico (12 594 t/año) es similar al promedio actual (14 020 t/año); lo mismo ocurrió con la carga media obtenida en la fase 1 (15 889 t/año) y en la fase 2 (10 340 t/año). Esto se esperaba, ya que para el punto Fucha Alameda las condiciones de calidad respecto a grasas y aceites no han presentado alguna mejoría y la calidad del agua es crítica respecto a este contaminante.

4.1.2.7. SAAM

Al igual que para los anteriores parámetros (tabla 4.8), se observó un incremento en las cargas de SAAM a partir del tramo 2, donde es evidente la presencia considerable de estas

sustancias tensoactivas hasta la desembocadura del río.

TABLA 4.8. Carga promedio transportada SAAM: río Fucha

Parámetro	Río Fucha (t/año)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
SAAM	2,7	203	230	1355

El comportamiento de las SAAM en el tramo 1 del río Fucha presentó muy pocas variaciones en comparación con los tramos aguas abajo del río (figura 4.35). El valor promedio actual (2,7 t/año) es mayor al histórico (0,60 t/año) y a las cargas medias para las fases anteriores; no obstante, se ve una buena calidad de agua en este tramo, pues la concentración media para la fase 3 es 0,1 mg/L.

Para los tramos 2 y 3, el promedio histórico para cada uno es 46 y 104 t/año, respectivamente, y las cargas promedio actuales son 203 y 230 t/año, respectivamente. En ambos tramos fue notorio el aumento con relación al periodo histórico, lo cual muestra que durante las últimas tres fases las cargas medias se encontraron dentro de un rango de comporta-

miento similar. El aumento es atribuible a que las concentraciones registradas para las fases 1, 2 y 3 han duplicado los registros históricos.

Finalmente, en el tramo 4 se presentaron las condiciones más críticas de calidad respecto a cargas de SAAM. La cantidad de carga transportada aumentó considerablemente comparada con el tramo 3. Hubo un importante incremento, ya que el promedio histórico de SAAM para ese tramo (483 t/año) ya está fuera del rango de cargas registradas para esta fase, pues para la fase 3 la carga promedio fue 1355 t/año, muy similar a las cargas obtenidas en la fase 1 (1628 t/año) y la fase 2 (1223 t/año). Lo anterior indica un comportamiento poco variable entre estos periodos, a pesar de que los caudales se han incrementado en las fases 2 y 3.

4.2. Calidad del agua (woi)

En el tramo 1 de este río hay un punto (El Delirio) para el cual se calculó el woi con un total de datos de 143, de los cuales 3 no alcanzaron los objetivos de calidad; de esta manera, la calidad del agua en este tramo es **buena**. Los

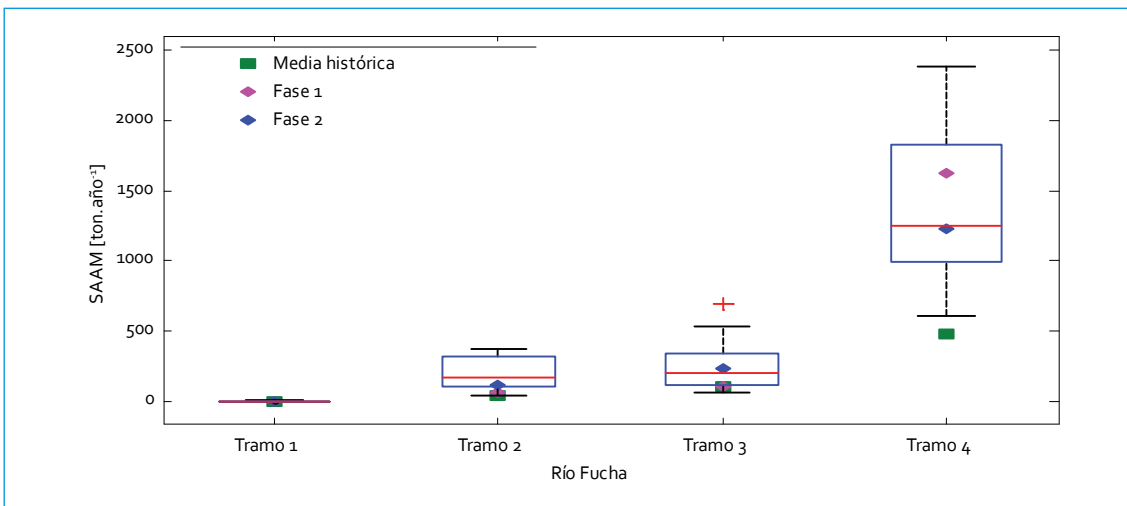


FIGURA 4.35. Perfil de cargas SAAM: río Fucha

parámetros que registraron estos valores fueron fósforo total (2 datos) y pH (1 dato), cuyos registros estuvieron muy cerca del objetivo de calidad. Lo anterior refleja que no hay perturbaciones en la calidad del agua en El Delirio. Como se puede ver en la tabla 4.9, el WQI para este tramo fue 88, lo cual es congruente con las características propias de este punto de monitoreo, pues no hay impactos generados por descargas de aguas residuales.

Al comparar el WQI del periodo 2011-2012 (88) con el de 2010-2011 (94), el tramo 1 permanece en la misma categoría, aunque se observe una leve disminución del WQI para este año. Lo anterior no quiere decir que la calidad del agua se haya deteriorado, pues este fue un efecto de la sensibilidad que tiene el cálculo del WQI en los tramos altos de los ríos cuando se registran valores que estén fuera del objetivo de calidad. Esto también se corrobora con el WQI obtenido en el periodo 2009-2010 (88).

En el tramo 2 de este río hay dos puntos (Carrera 7 y Avenida Ferrocarril), con un total de datos de 293, de los cuales 135 (46%) no cumplieron con los objetivos de calidad; así,

la calidad de agua de este tramo es **pobre**. En todos los parámetros, al menos un valor no alcanzó los objetivos de calidad de este tramo; los más críticos son los SST (87% sobrepasó el objetivo), la DBO₅ y la DQO (tabla 4.10). Es importante resaltar el cambio drástico en la calidad del agua: el tramo anterior tuvo categoría **bueno** en el WQI, pero cuando el río Fucha entra al perímetro urbano los contaminantes más críticos indican la afectación de la calidad del agua, debida principalmente a las descargas de aguas residuales domésticas.

Para este tramo se observó que el punto Carrera 7.^a es el que presenta mejor calidad, pues todos los valores de oxígeno disuelto registrados en este periodo de monitoreo cumplieron con el objetivo de calidad (4 mg/L). Para este punto el parámetro que más se alejó del objetivo de calidad fue el de los SST; para Avenida Ferrocarril, las concentraciones de oxígeno disuelto se alejaron en gran medida del objetivo de calidad, debido al aumento en materia orgánica que agota las concentraciones de oxígeno y supera las capacidades de autodepuración que tiene el río. Al comparar

TABLA 4.9. WQI río Fucha: tramo 1

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	0	F1	20,0
DBO ₅	0	F2	2,0
DQO	0	NSE	0,00
N _{total}	0	F3	0,23
P _{total}	2	WQI	88,39
SST	0		
Grasas y aceites	0		
Coliformes fecales	0		
pH	1		
SAAM	0		

TABLA 4.10. WQI río Fucha: tramo 2

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	11	F1	100
DBO ₅	17	F2	46,0
DQO	17	NSE	0,79
N _{total}	11	F3	44,23
P _{total}	12	WQI	31,49
SST	26		
Grasas y aceites	11		
Coliformes fecales	13		
pH	1		
SAAM	16		

el wqi del periodo 2011-2012 con el wqi del periodo 2010-2011 (37), se corrobora que el tramo 2 del río Fucha sigue en categoría **pobre**, y además con un wqi muy bajo como para pensar que suba fácilmente de categoría. Para este año el wqi fue un poco menor, lo que pudo ser causa del registro de mayores concentraciones para los monitoreos realizados en el 2012, ya que predominó el periodo seco y, por lo tanto, se pudieron concentrar los contaminantes. El comportamiento de la calidad del agua en el tramo 2 ha persistido en los últimos años, ya que el wqi de 2009-2010 fue igual al obtenido en este año.

En el tramo 3 (Avenida Las Américas y Avenida Boyacá) se generaron 293 datos, de los cuales 70 excedieron los objetivos, lo que conduce a que la calidad de agua de este tramo sea **marginal**. Para este tramo se alcanzaron los objetivos de calidad en tres parámetros: DBO₅, fósforo total y pH. Sin embargo, de los parámetros que cumplieron los objetivos, los más críticos fueron coliformes fecales (67% los incumple), SAAM (60%) y SST (30%) (tabla

4.11). A partir de este tramo se observan mayores impactos en la calidad del agua, pues se suma el efecto de las descargas de agua residual de origen industrial. Al comparar el wqi de 2011-2012 con el wqi de 2010-2011 (56), se aprecia que la calidad de este tramo sigue siendo **marginal**, con valores del wqi muy similares para los dos últimos años. Hubo un ligero aumento en el índice de calidad a partir del año 2010, pues el wqi de 2009-2010 fue de 46 unidades.

Durante todos los años de monitoreo se ha visto que la categoría del wqi sube del tramo 2 al tramo 3, lo cual no refleja un mejoramiento de la calidad del agua, sino un efecto de la variación de los objetivos de calidad en el tercer tramo. Los diferentes registros obtenidos en los puntos Avenida Ferrocarril y Avenida Las Américas presentan variaciones muy pequeñas (del orden del 20%), por lo que el aumento del wqi se refiere a que los objetivos son menos exigentes en el tramo 3; por ejemplo, el objetivo de calidad para DBO₅ pasa de 50 mg/L en el tramo 2 a 250 mg/L en el tramo 3.

TABLA 4.11. WQI río Fucha: tramo 3

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	7	F1	70,0
DBO ₅	0	F2	24,0
DQO	7	NSE	0,08
N _{total}	7	F3	7,02
P _{total}	0	WQI	57,10
SST	8		
Grasas y aceites	7		
Coliformes fecales	16		
pH	0		
SAAM	18		

Por último, el tramo 4 tiene tres puntos de monitoreo (Visión Colombia, Fucha Zona Franca y Fucha con Alameda), sobre los cuales se generaron 434 datos de calidad, de los cuales 232 (53%) excedieron los objetivos, por lo que la calidad relativa del agua de este tramo es **pobre**. Con excepción del pH, ningún parámetro alcanzó los objetivos de calidad;

los más críticos fueron los coliformes fecales (95% los incumplió), el oxígeno disuelto (91%), las SAAM (87%) y el N_{total} (82%) (tabla 4.12). En los tramos medios y bajos del río se empiezan a notar parámetros críticos, como las grasas y aceites y las SAAM, cuya respuesta es la acumulación de estos contaminantes debido a su baja biodegradabilidad. En este tramo las

TABLA 4.12. WQI río Fucha: tramo 4

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	41	F1	90,0
DBO ₅	14	F2	53,0
DQO	28	NSE	0,49
N _{total}	30	F3	32,69
P _{total}	5	WQI	36,68
SST	15		
Grasas y aceites	24		
Coliformes fecales	36		
pH	0		
SAAM	39		

condiciones de calidad del agua no han tenido mejoría, pues es en esta parte del río donde se recibe la mayoría de la carga contaminante, que proviene de interceptores como Fucha, Boyacá, del Sur y Kennedy, y del canal San Francisco.

De acuerdo con lo anterior, el valor w_{OI} del periodo 2011-2012 es muy similar a los

índices obtenidos en los periodos 2010-2011 (42) y 2009-2010 (35), lo cual se esperaba, pues estos interceptores drenan aguas residuales de grandes áreas de la ciudad, por lo que la solución a la problemática actual en este tramo es eliminar estos grandes vertimientos. La figura 4.36 presenta el mapa de calidad para el río Fucha.

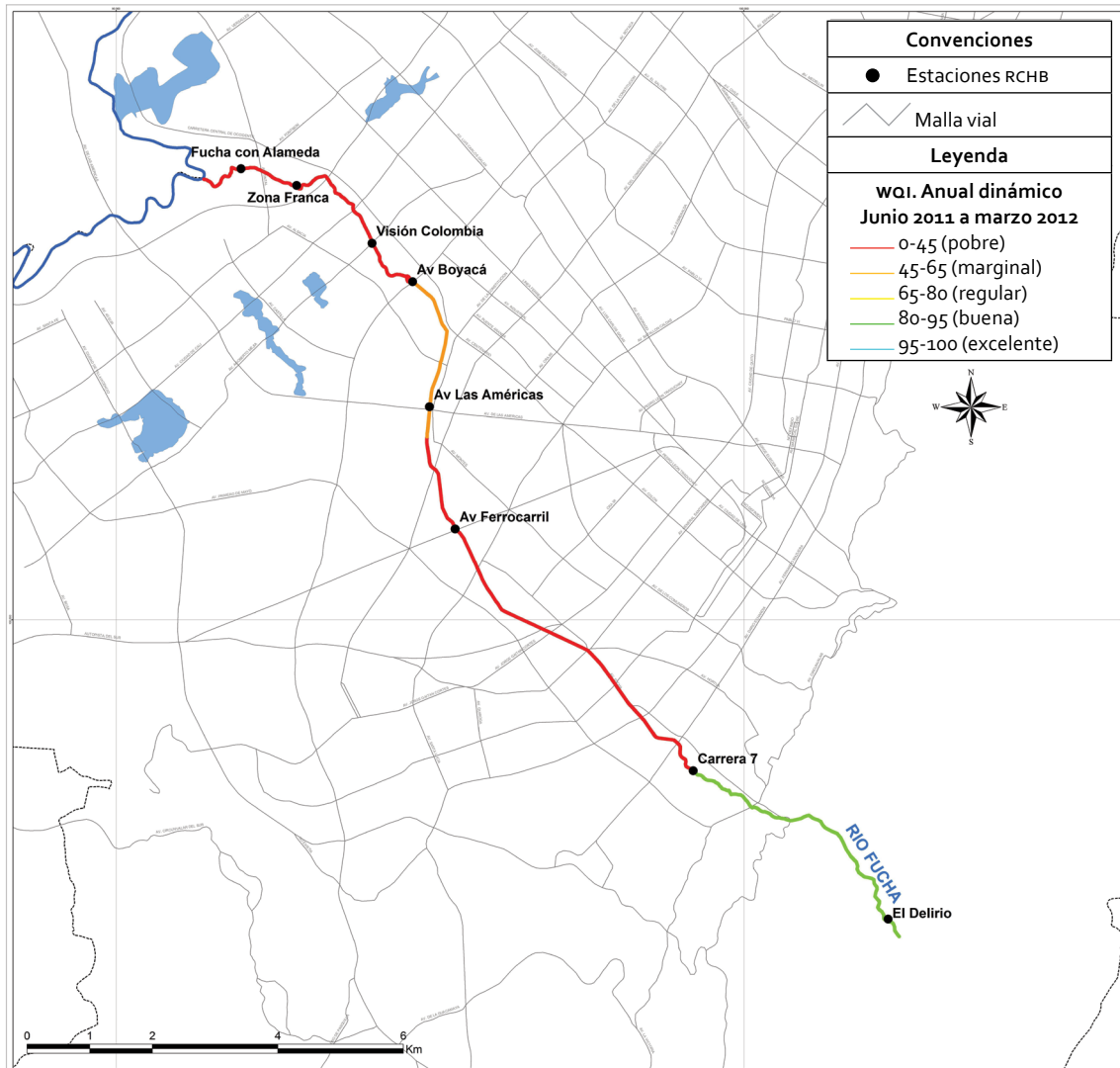


FIGURA 4.36. Mapa de calidad: río Fucha

5. RÍO TUNJUELO

5.1. Resultados del monitoreo físicoquímico

El caudal en los primeros puntos de monitoreo del río Tunjuelo (La Regadera y UAN) presenta un comportamiento especial, debido a la operación del embalse La Regadera, a cargo de la EAAB: aumenta hasta en tres órdenes de magnitud cuando se abren las compuertas del embalse, lo cual afecta a su vez la concentración de los diferentes parámetros evaluados.

El río Tunjuelo muestra las mejores condiciones de calidad en la parte alta de la cuenca

(La Regadera y UAN), pero empieza a decaer en Yomasa. La mayor diferencia en las concentraciones contaminantes se dio en dos puntos principales: Doña Juana, a causa de la naturaleza de los vertimientos que se realizan en este punto (lixiviados procedentes del relleno sanitario Doña Juana y descargas de las canteiras que operan en el sector), y Transversal 86, debido al vertimiento del interceptor Tunjuelo Medio. Esto demuestra que los vertimientos de aguas residuales generan un impacto negativo sobre la calidad del agua.

TABLA 5.1. Nomenclatura: río Tunjuelo

Nomenclatura	Nombre del punto	Nomenclatura	Periodo
TU-1	La Regadera	H	Históricos: 2006-2007
TU-2	UAN	F1	Fase 1: 2009-2010
TU-3	Yomasa	F2	Fase 2: 2010-2011
TU-4	Doña Juana	F3	Fase 3: 2011-2012
TU-5	Barrio México		
TU-6	San Benito		
TU-7	Makro Autosur		
TU-8	Transversal 86		
TU-9	Puente de la Independencia		
TU-10	Isla Pontón San José		

Al comparar los valores registrados en periodos anteriores con los actuales, se notó una variabilidad en las medianas de las concentraciones para todos los puntos de monitoreo en los diferentes parámetros evaluados; el mejor escenario se presentó durante la fase 2, lo cual se asocia a procesos de dilución a causa de la temporada de lluvias presentada durante ese periodo. A continuación se presenta un análisis de la evolución de los parámetros de calidad a lo largo del tiempo. La nomenclatura en las gráficas de cada parámetro se detalla en la tabla 5.1.

5.1.1. Validación de datos: diagramas de cajas

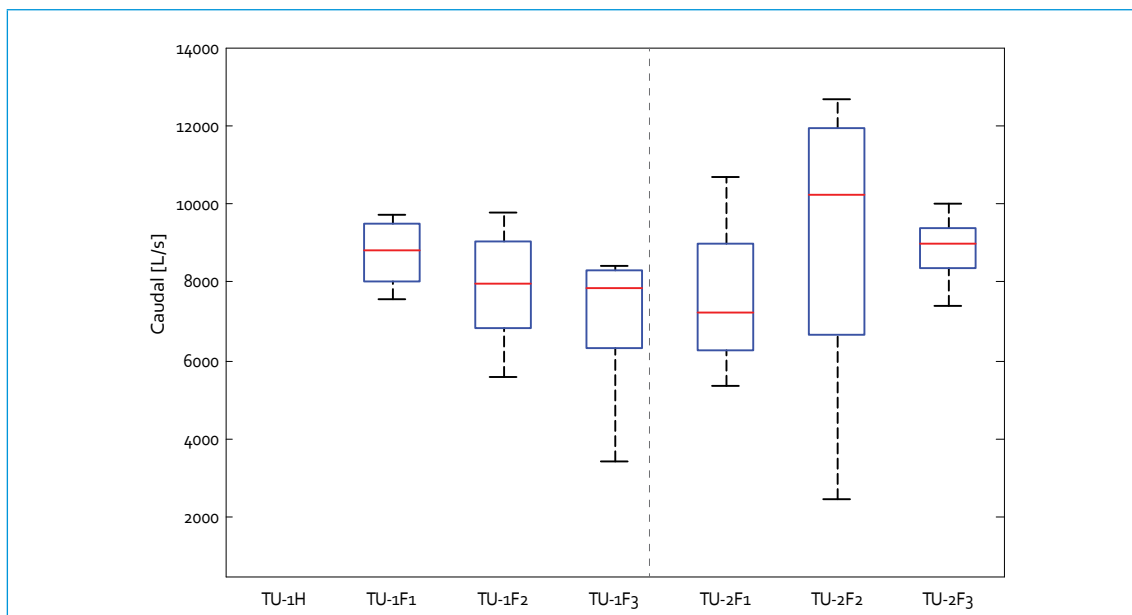
5.1.1.1. Caudal

El caudal aumenta a lo largo del río Tunjuelo; los puntos de monitoreo ubicados en la parte alta de la cuenca, La Regadera y UAN, tienen los caudales más bajos de todo el trayecto del río. Sin embargo, a causa de la operación del em-

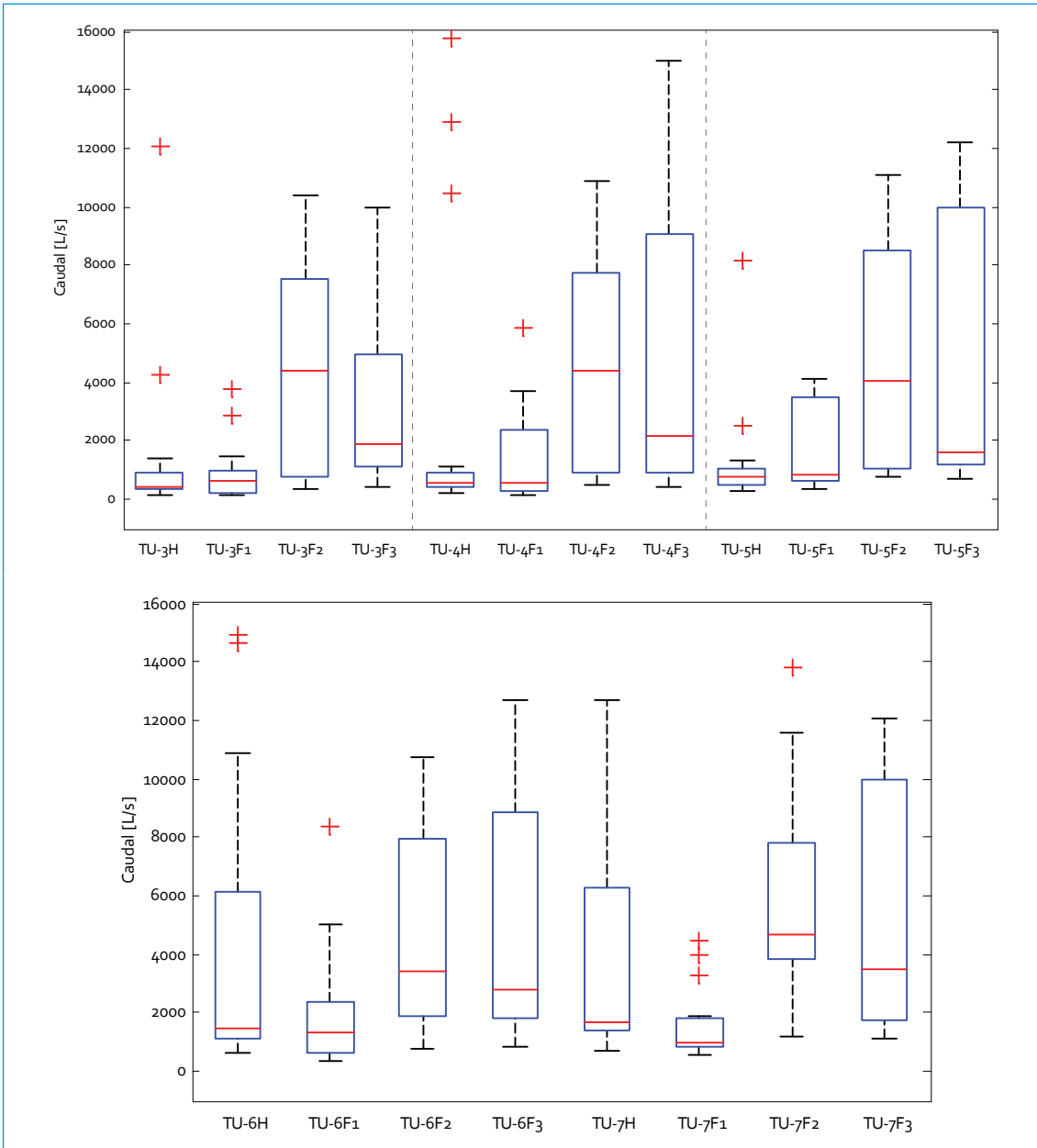
balse La Regadera (ejecutada por la EAAB), el caudal del río Tunjuelo se ve afectado en estos primeros puntos, ya que cuando las compuertas del embalse se abrieron, los caudales en TU-1 estuvieron entre 3413 y 9785 L/s, y en TU-2, entre 2430 y 12 672 L/s (figura 5.1). Cuando se mantuvieron cerradas, los caudales no superaron los 40 L/s en TU-1 ni los 800 L/s en TU-2 (figura 5.2).

Los valores de los caudales entre Yomasa y Makro Autosur aumentaron levemente conforme se avanzó en el río; en Transversal 86 hubo un incremento más significativo, debido a la descarga del interceptor Tunjuelo Medio. Durante el periodo de monitoreo se presentaron los siguientes comportamientos:

- Caudales constantes: La Regadera y UAN; ambos casos, cuando se abrieron las compuertas.
- Aumento en caudal: Yomasa (320% F3 vs. H), Doña Juana (202% F3 vs. H), Barrio México (109% F3 vs. H), San Benito (87% F3 vs. H), Makro Autosur (89% F3 vs. H)



Continúa



Continúa

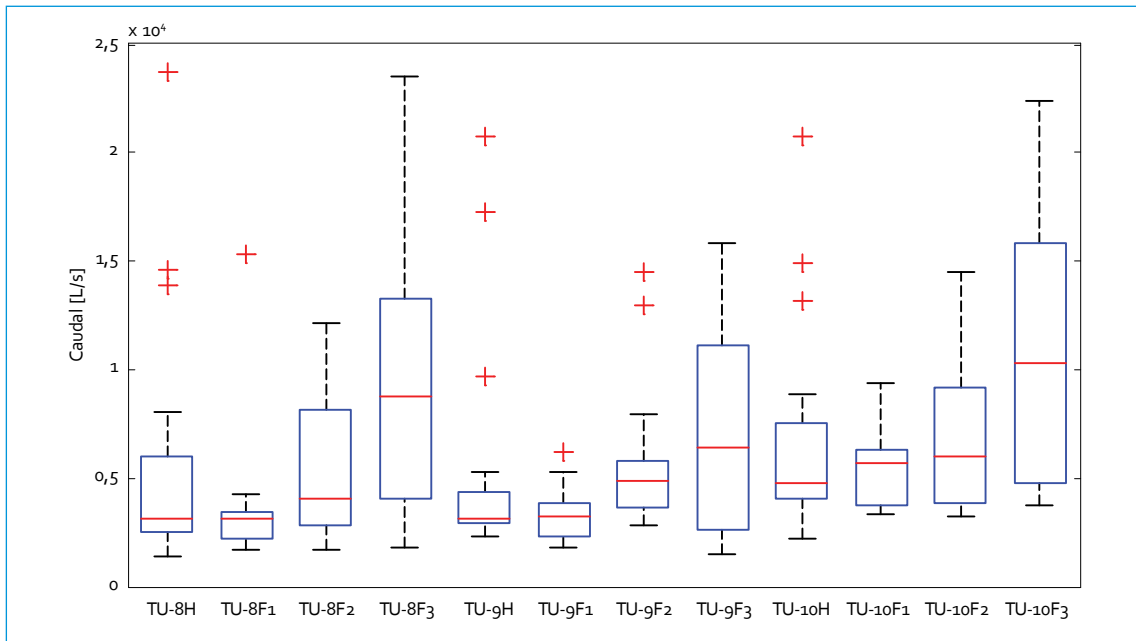


FIGURA 5.1. Perfil de caudales con compuertas abiertas: río Tunjuelo

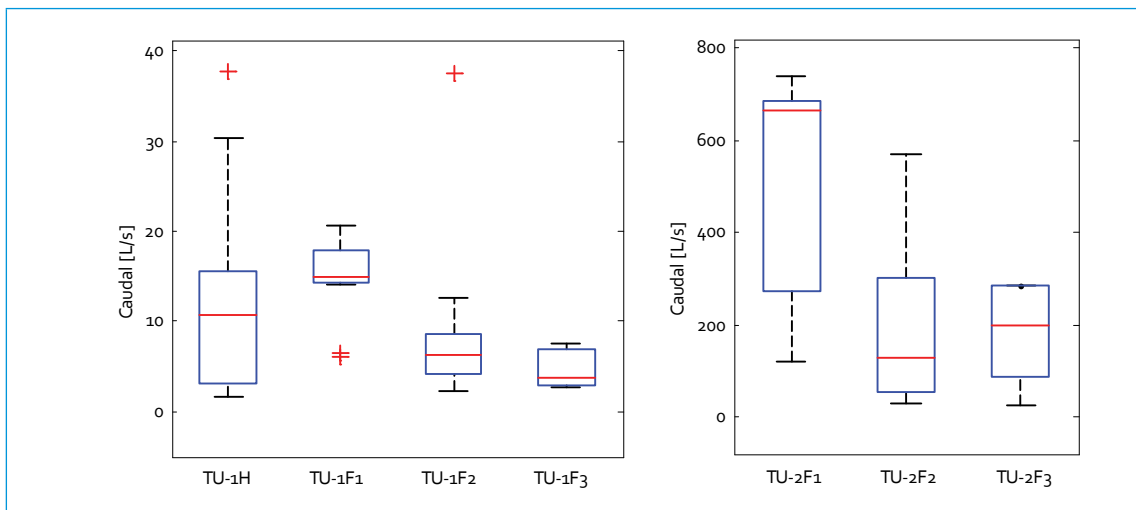


FIGURA 5.2. Perfil de caudales con compuertas cerradas: río Tunjuelo

- vs. H), Transversal 86 (180% F₃ vs. H),
 Puente de la Independencia (101% F₃ vs.
 H) e Isla Pontón (115% F₃ vs. H).
- Disminución en caudal: La Regadera,
 cuando las compuertas se mantuvieron
 cerradas (a excepción de la fase 1: 62%
 F₃ vs. H), y UAN, cuando las compuertas
 se mantuvieron cerradas (70% F₃ vs. F₁).

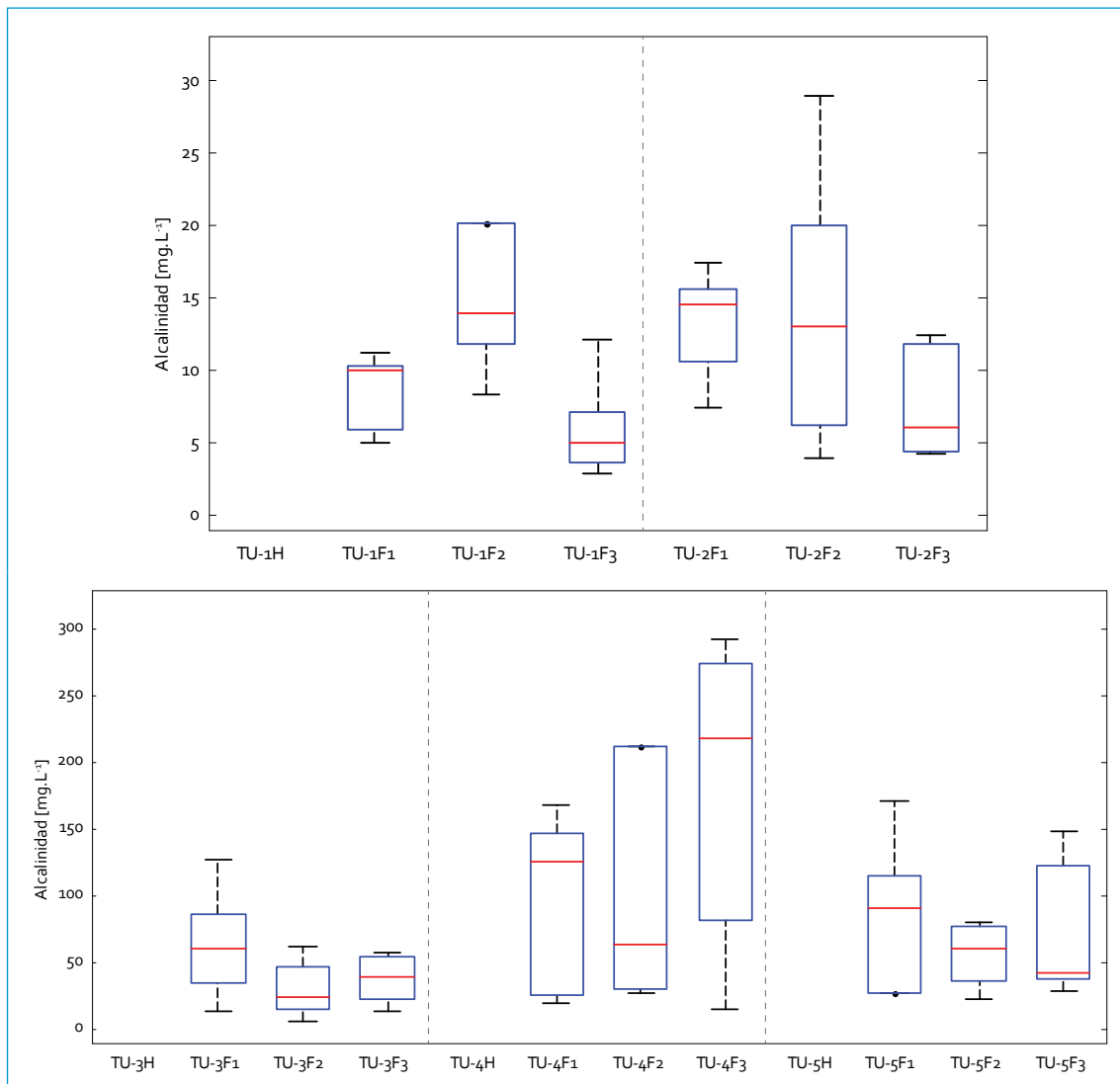
No obstante, al comparar los caudales
 frente a la fase 2, desde La Regadera hasta
 Makro Autosur se presentaron disminuciones
 entre el 19% y el 60% (a causa de las lluvias
 presentadas durante el segundo semestre de
 2010 y el primer semestre de 2011).

5.1.1.2. Alcalinidad

En la figura 5.3 se presenta el comportamiento de la alcalinidad, la cual depende principalmente de la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. A partir de los datos, se observó que las concentraciones aumentaron a lo largo del río, desde el punto más alto, La Regadera, hasta Isla Pontón. También se pudo apreciar que en Doña Juana se presentó un aumento significativo, debido a la operación de canteras en la zona, las cuales aportan este tipo de

compuestos al río, así como el vertimiento de los lixiviados provenientes del relleno sanitario Doña Juana. El valor de la alcalinidad disminuyó en Barrio México, ya que aguas arriba de este punto, en la zona de minas inundadas (ZMI), se llevan a cabo procesos de sedimentación. Durante el periodo de monitoreo se establecieron los siguientes comportamientos:

- Constante: San Benito e Isla Pontón.
- Aumentos: Doña Juana (74% F₃ vs. F₁).



Continúa

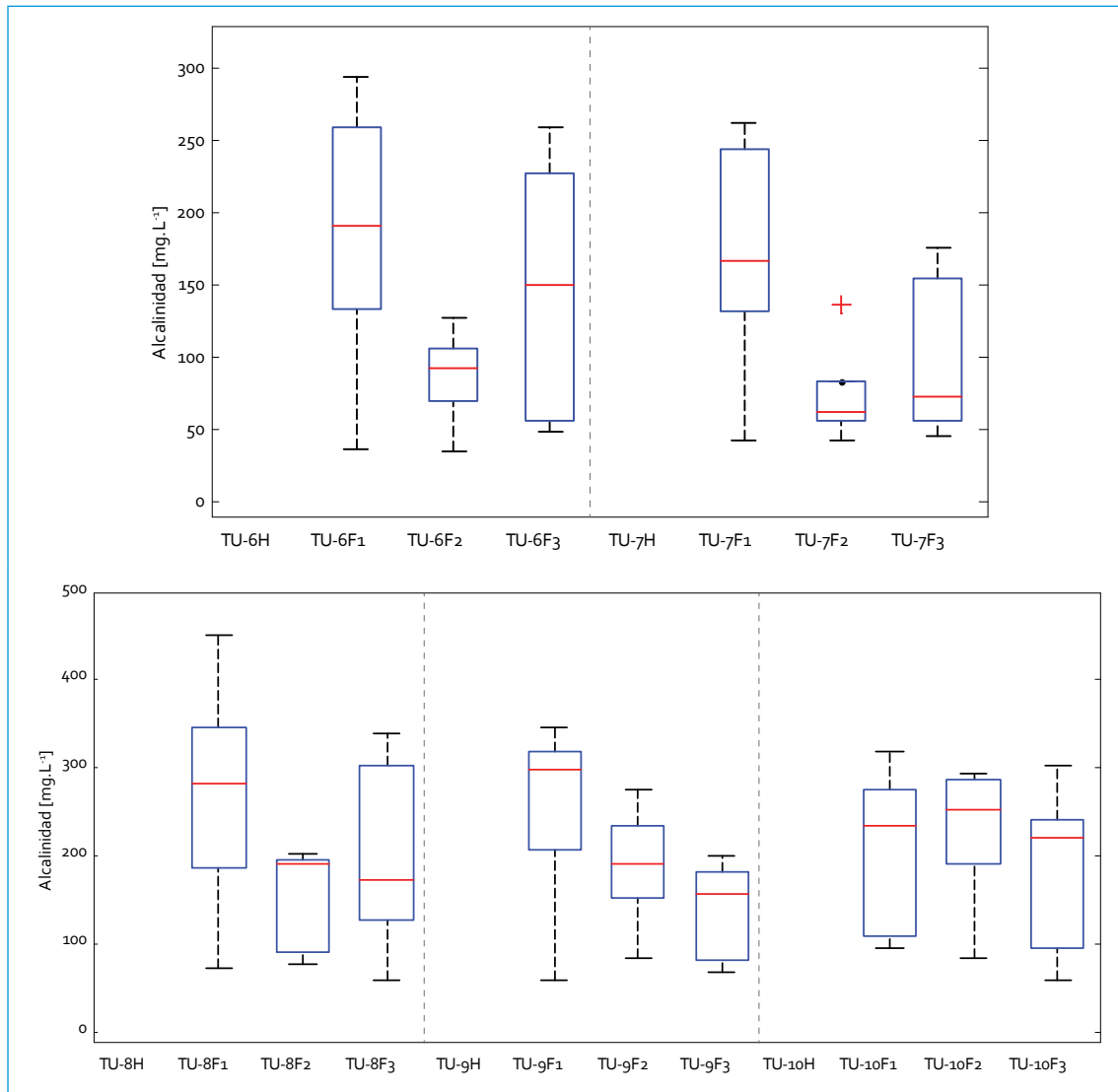


FIGURA 5.3. Perfil de alcalinidad: río Tunjuelo

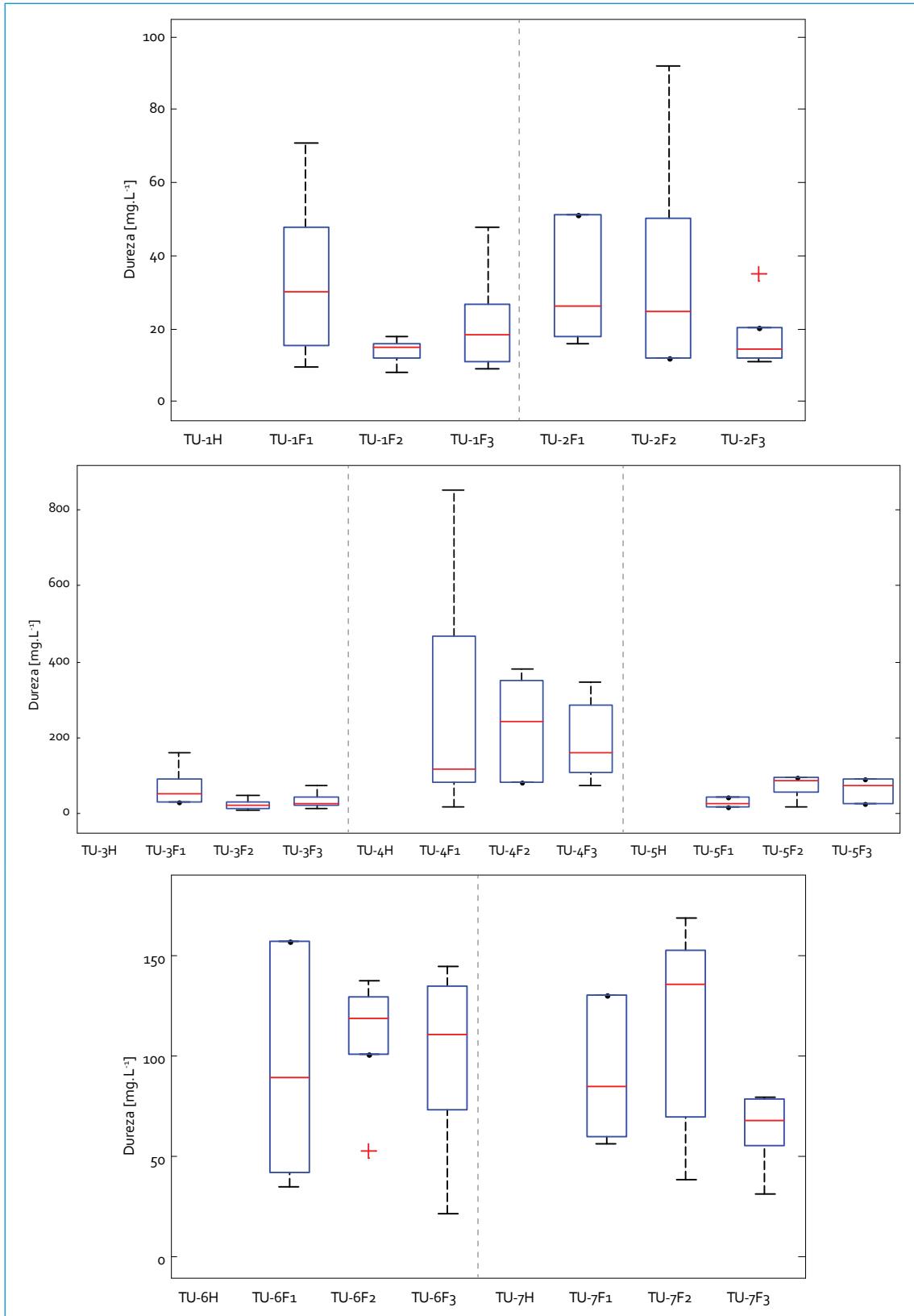
- Disminuciones: La Regadera (50% F3 vs. F1), UAN (59% F3 vs. F1), Yomasa (34% F3 vs. F1), Barrio México (54% F3 vs. F1), Makro Autosur (34% F3 vs. F1), Transversal 86 (38% F3 vs. F1) y Puente de la Independencia (47% F3 vs. F1).

Al comparar la alcalinidad frente a la fase 2, los valores aumentaron en Yomasa, San Benito y Makro Autosur; permanecieron constantes

en Transversal 86 y Puente de la Independencia, y en los demás puntos disminuyeron.

5.1.1.3. Dureza

Se puede ver que este parámetro presentó un comportamiento similar al de la alcalinidad, con pico en Doña Juana (figura 5.4); no obstante, a partir de San Benito y hasta Isla Pontón, este parámetro tuvo concentraciones



Continúa

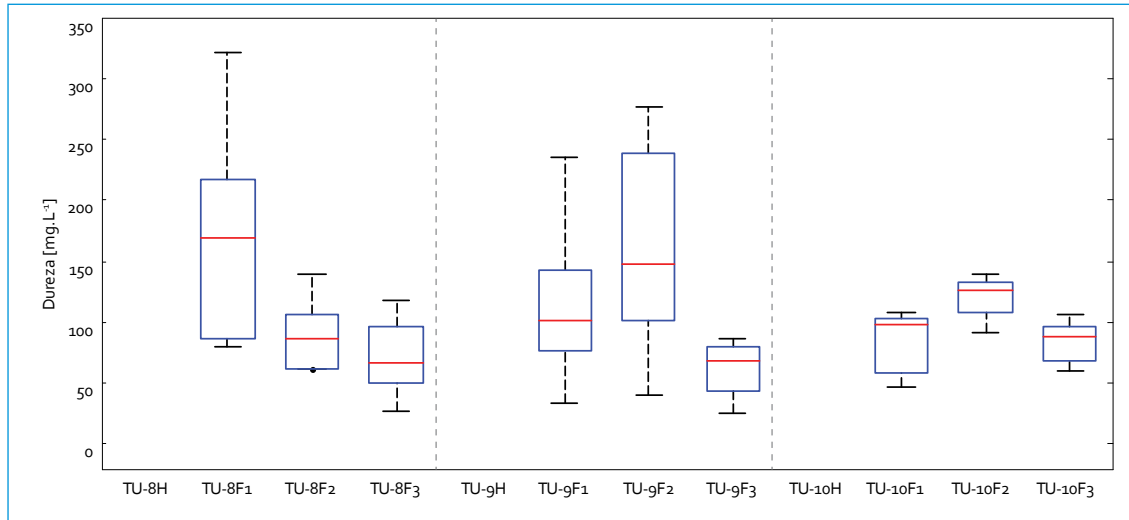


FIGURA 5.4. Perfil de dureza: río Tunjuelo

relativamente constantes. Respecto a la fase 2, la concentración se mantuvo constante en La Regadera, Barrio México y Transversal 86; disminuyó en Doña Juana y Makro Autosur, y aumentó en Yomasa. En términos generales, durante los últimos años se presentaron los siguientes comportamientos:

- Constantes: San Benito, Makro Autosur e Isla Pontón.
- Aumentos: Doña Juana (37% F3 vs. F1) y Barrio México (176% F3 vs. F1).
- Disminuciones: La Regadera (40% F3 vs. F1), UAN (46% F3 vs. F1), Yomasa (48% F3 vs. F1), Transversal 86 (61% F3 vs. F1) y Puente de la Independencia (32% F3 vs. F1).

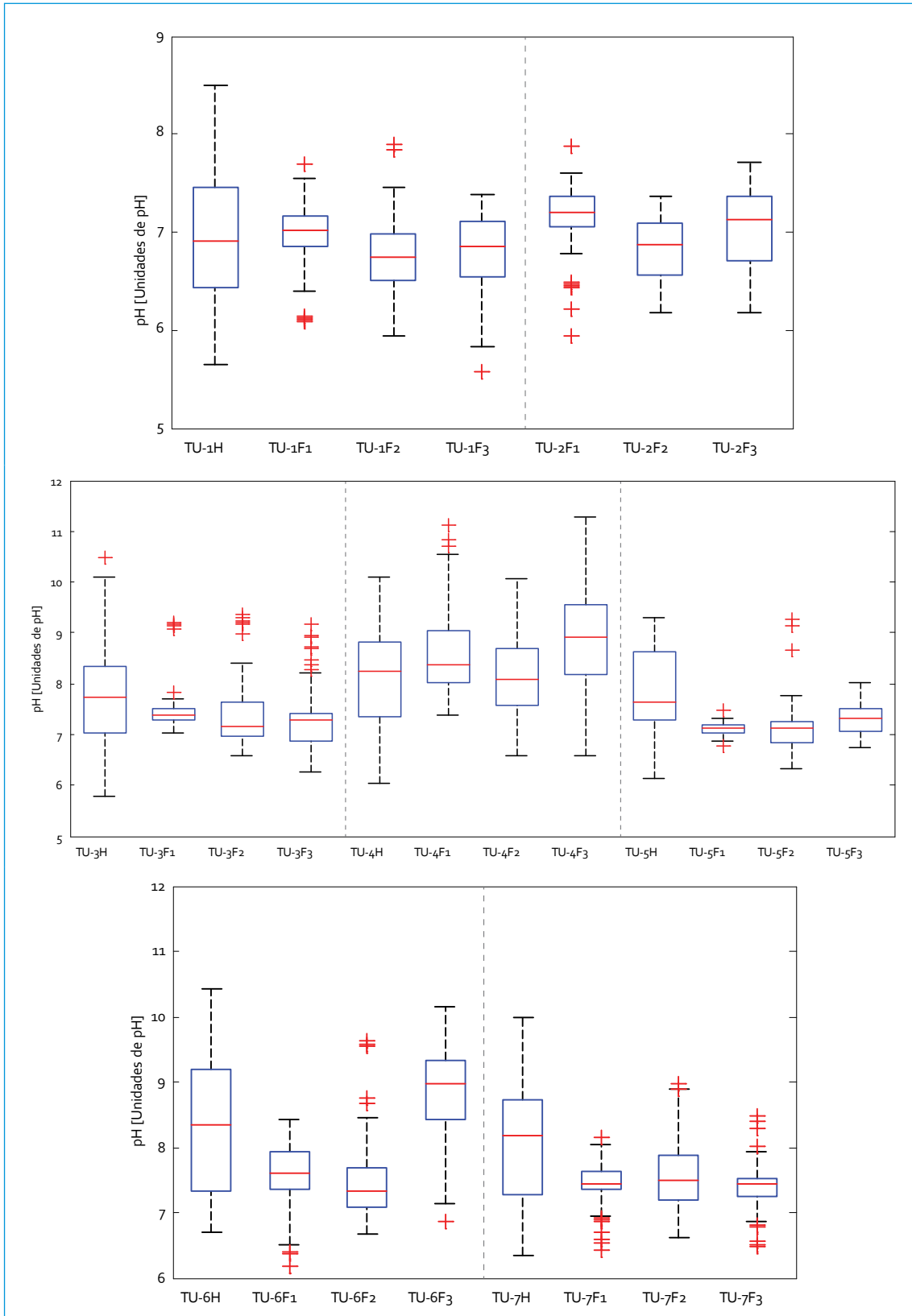
5.1.1.4. pH

El comportamiento longitudinal del pH se muestra en la figura 5.5, donde se puede observar que, en general, los valores del pH presentaron un carácter neutro, a excepción de Doña Juana y San Benito, donde se registraron los mayores valores (medias cercanas a 9).

En el caso de Doña Juana, el incremento está relacionado con el vertimiento de los lixiviados provenientes del relleno sanitario Doña Juana, y en San Benito se asocia al vertimiento de la quebrada Chiguaza. En Transversal 86 se presenta otro incremento, debido a la descarga del interceptor Tunjuelo Medio. Durante el periodo de monitoreo, todos los puntos presentaron un comportamiento constante en el tiempo, con máximos incrementos en Doña Juana (8% F3 vs. H) y San Benito (7% F3 vs. H). Cabe resaltar que en los puntos restantes hubo disminución respecto a los datos históricos; el mayor cambio se presentó en Puente de la Independencia (10% F3 vs. H).

5.1.1.5. Conductividad

En la figura 5.6 se puede apreciar el incremento de este parámetro a lo largo del trayecto del río: comenzó con un valor de 39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en La Regadera y alcanzó los 547 en Isla Pontón. El perfil de la conductividad presentó un pico en Doña Juana, como consecuencia de los vertimientos de lixiviados provenientes de relleno sanitario, así como un incremento importante



Continúa

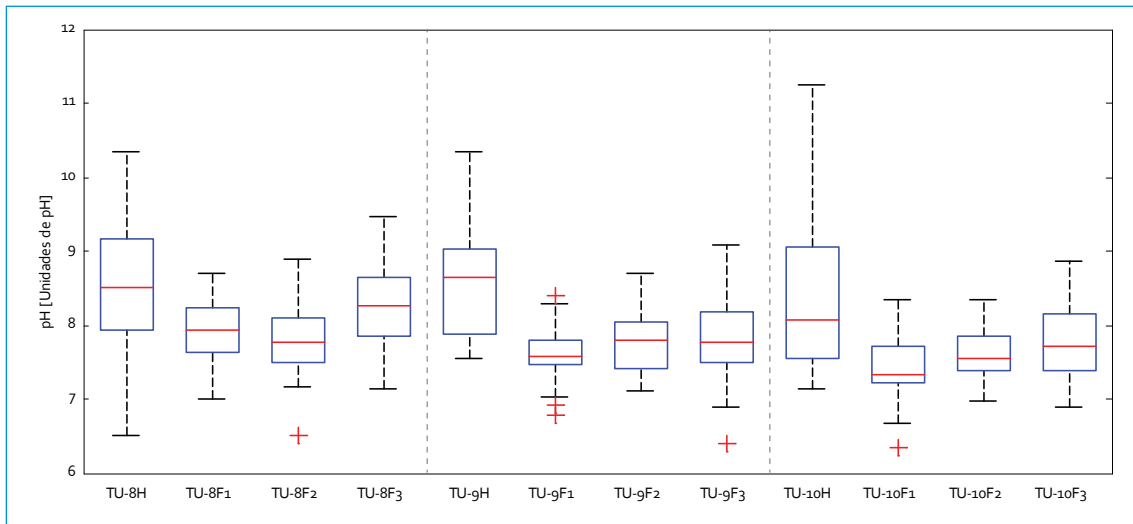
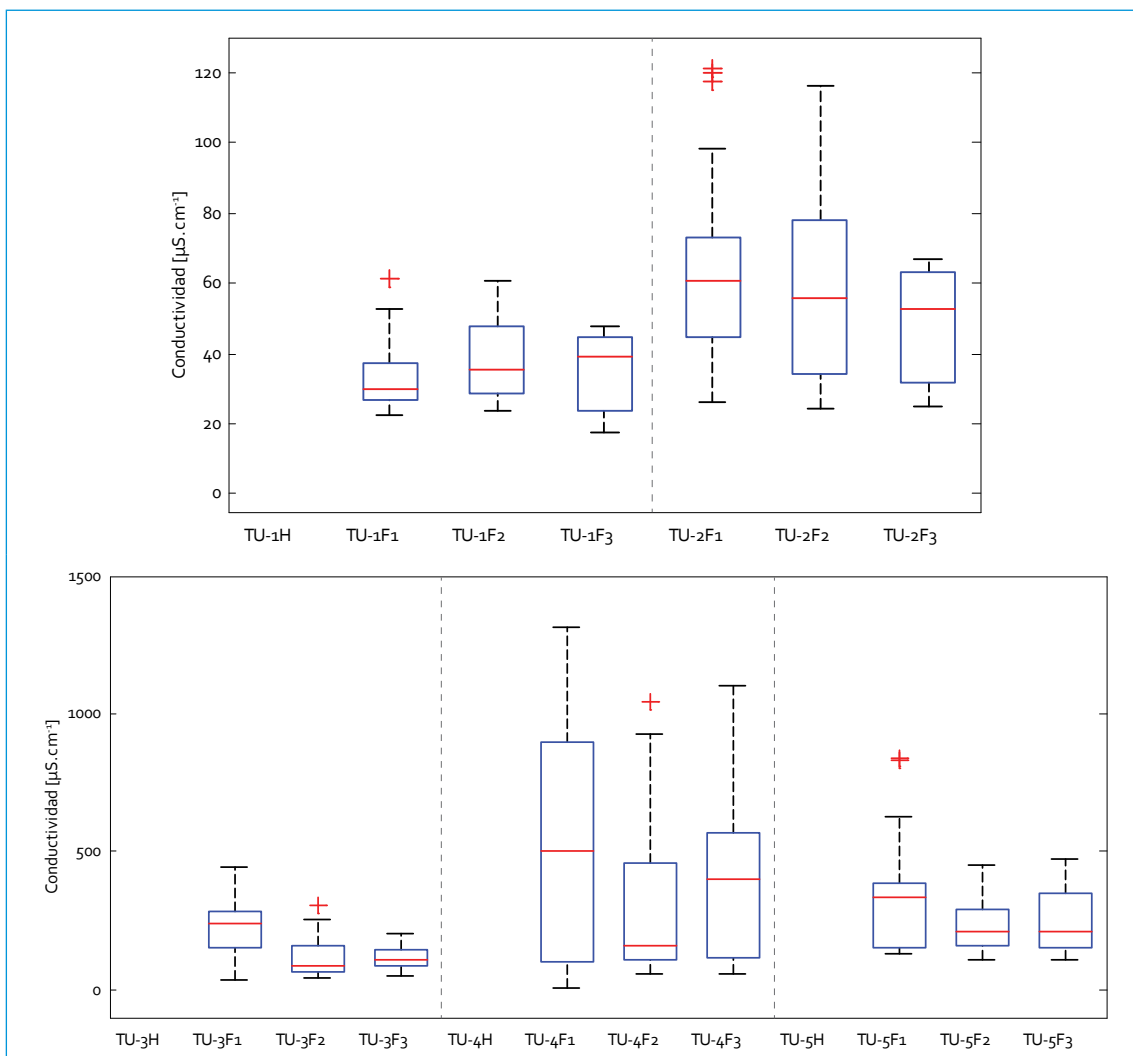


FIGURA 5.5. Perfil de pH: río Tunjuelo



Continúa

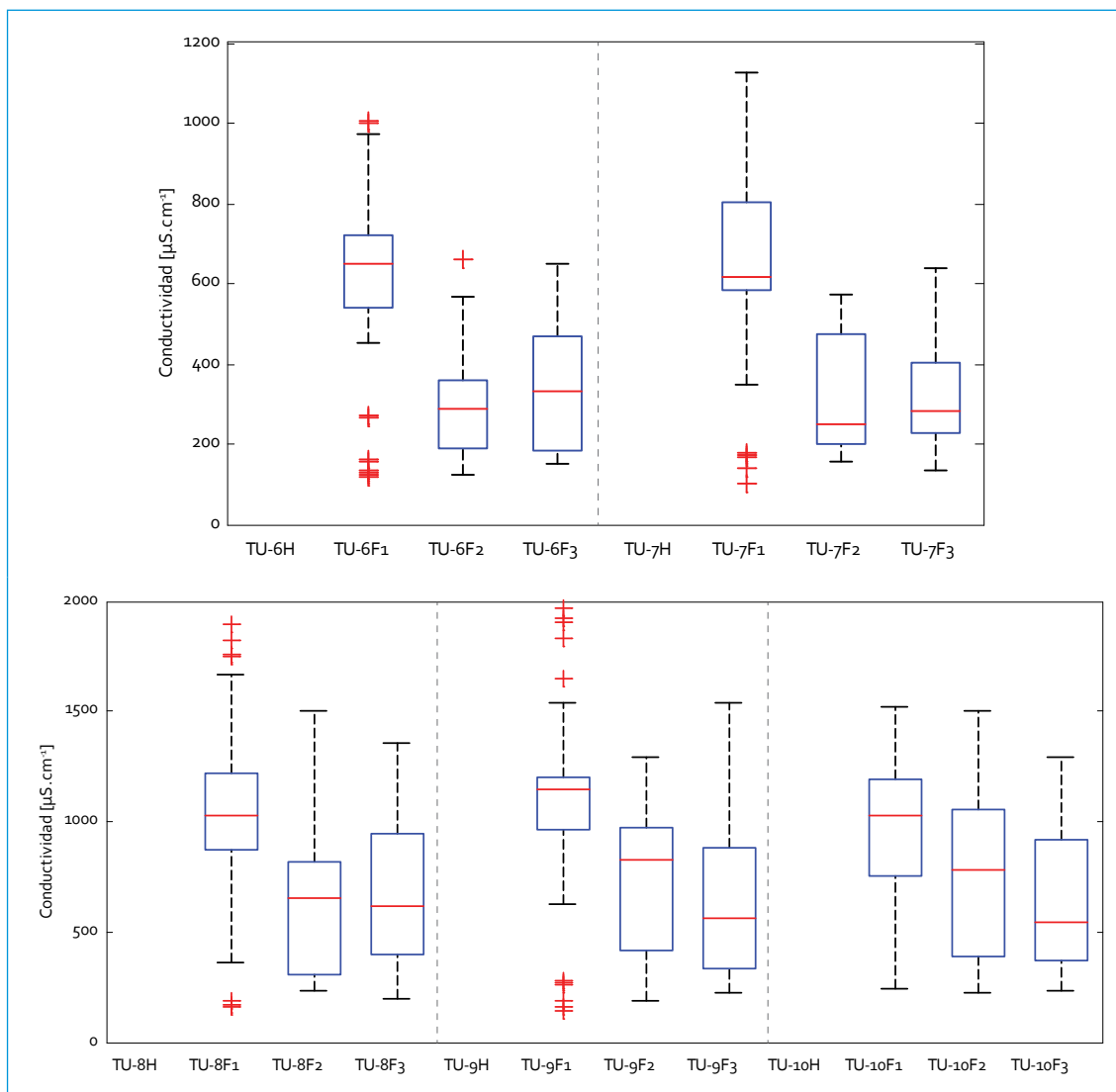


FIGURA 5.6. Perfil de conductividad: río Tunjuelo

en Transversal 86, debido, de nuevo, a la descarga del interceptor Tunjuelo Medio. Respecto a la fase 2, los valores de la conductividad se mantuvieron constantes, a excepción de Doña Juana, donde hubo un incremento del 158% (F3 vs. F2). Durante el periodo de monitoreo se presentaron los siguientes comportamientos:

- Constantes: UAN y Doña Juana (a excepción de la fase 2).
- Aumento: La Regadera (32% F3 vs. F1).

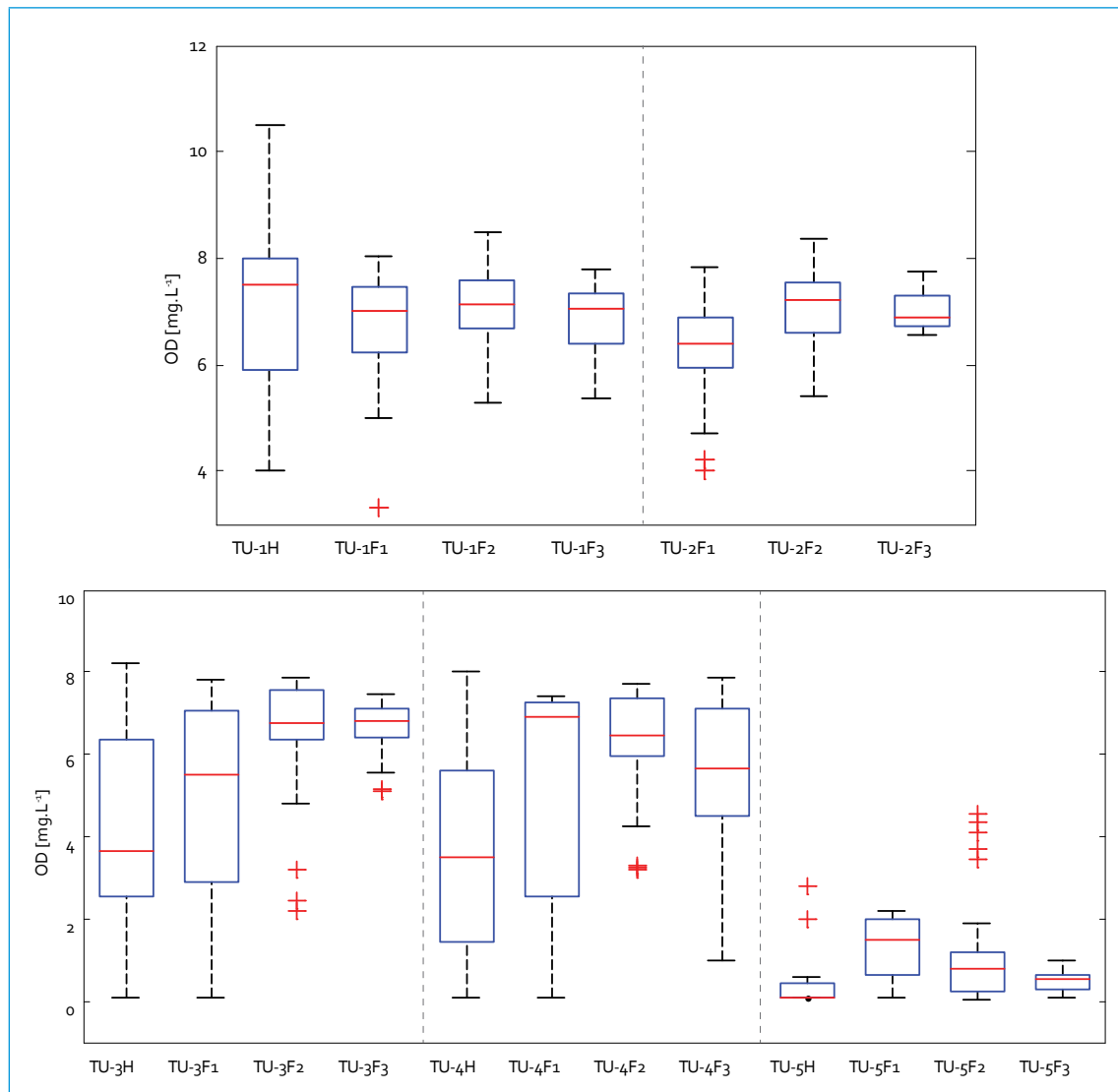
- Disminuciones: Yomasa (57% F3 vs. F1), Barrio México (37% F3 vs. F1), San Benito (49% F3 vs. F1), Makro Autosur (54% F3 vs. F1), Transversal 86 (40% F3 vs. F1), Puente de la Independencia (51% F3 vs. F1) e Isla Pontón (47% F3 vs. F1).

5.1.1.6. Oxígeno disuelto

Se apreciaron dos condiciones en el río: la primera de ellas, en los tres primeros puntos de

monitoreo, donde la concentración de oxígeno disuelto (7 mg/L) fue cercana a la concentración de saturación; la segunda, en Doña Juana, donde el oxígeno disuelto empezó a disminuir, comportamiento que se intensificó desde Barrio México hasta Isla Pontón, donde la concentración del oxígeno fue cercana a los 0,3 mg/L, lo que refleja el alto grado de contaminación en este tramo (figura 5.7). A partir de Barrio México hasta Isla Pontón, durante el periodo 2006-2007 (históricos), se registraron concentraciones de oxígeno disuelto de 0,1

mg/L (límite de detección para este periodo), por lo que los valores registrados durante la fase 3 (0,3 mg/L) reflejan un incremento, sin que ello implique una mejora en la condición del río. Por otro lado, al comparar las medianas de las concentraciones respecto a la fase 1 para los primeros puntos (de La Regadera a Doña Juana), estas se mantuvieron constantes, y a partir de Barrio México hasta Isla Pontón la concentración disminuyó (excepto en Transversal 86). Durante el periodo de monitoreo se presentaron los siguientes comportamientos:



Continúa

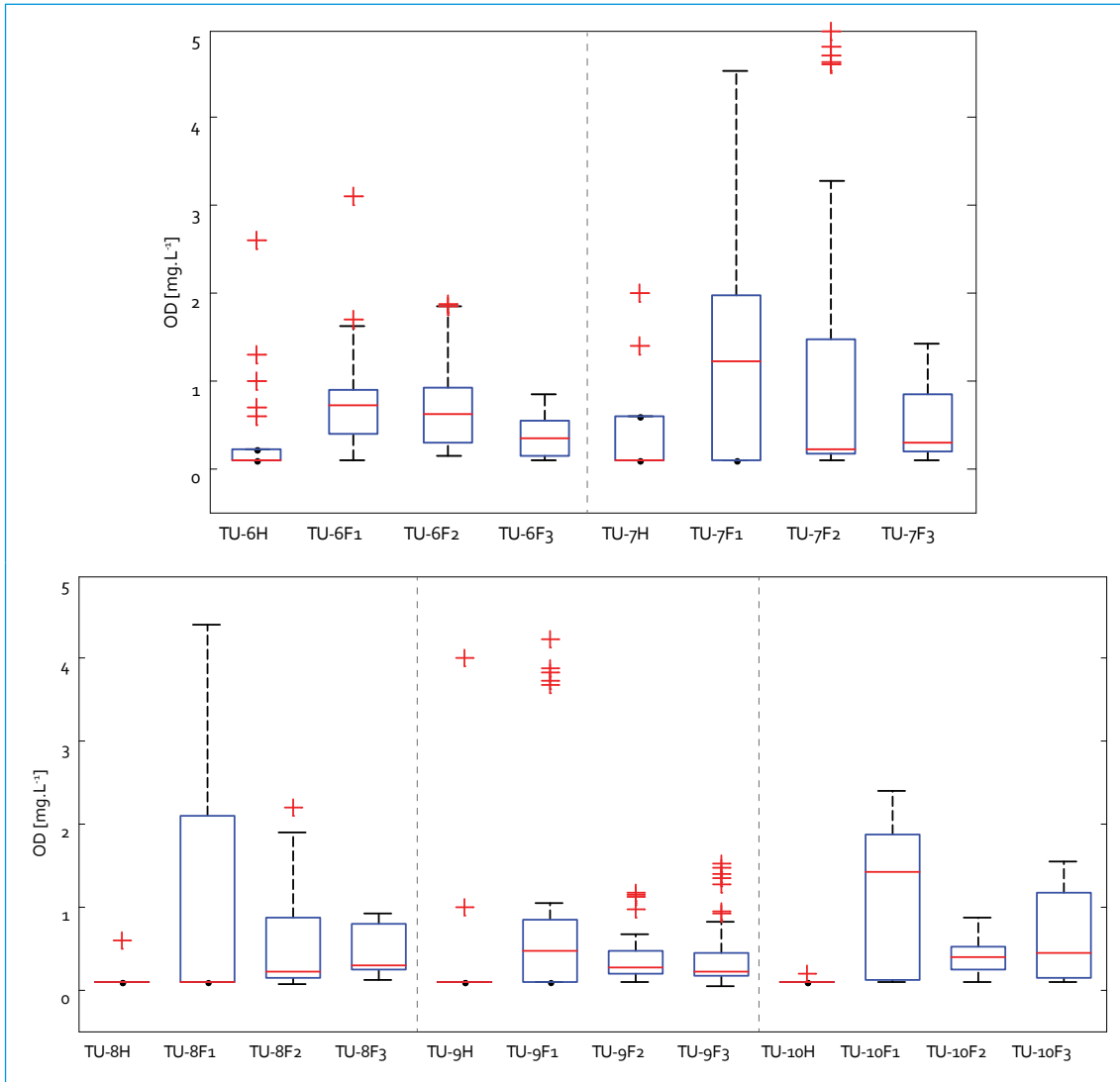
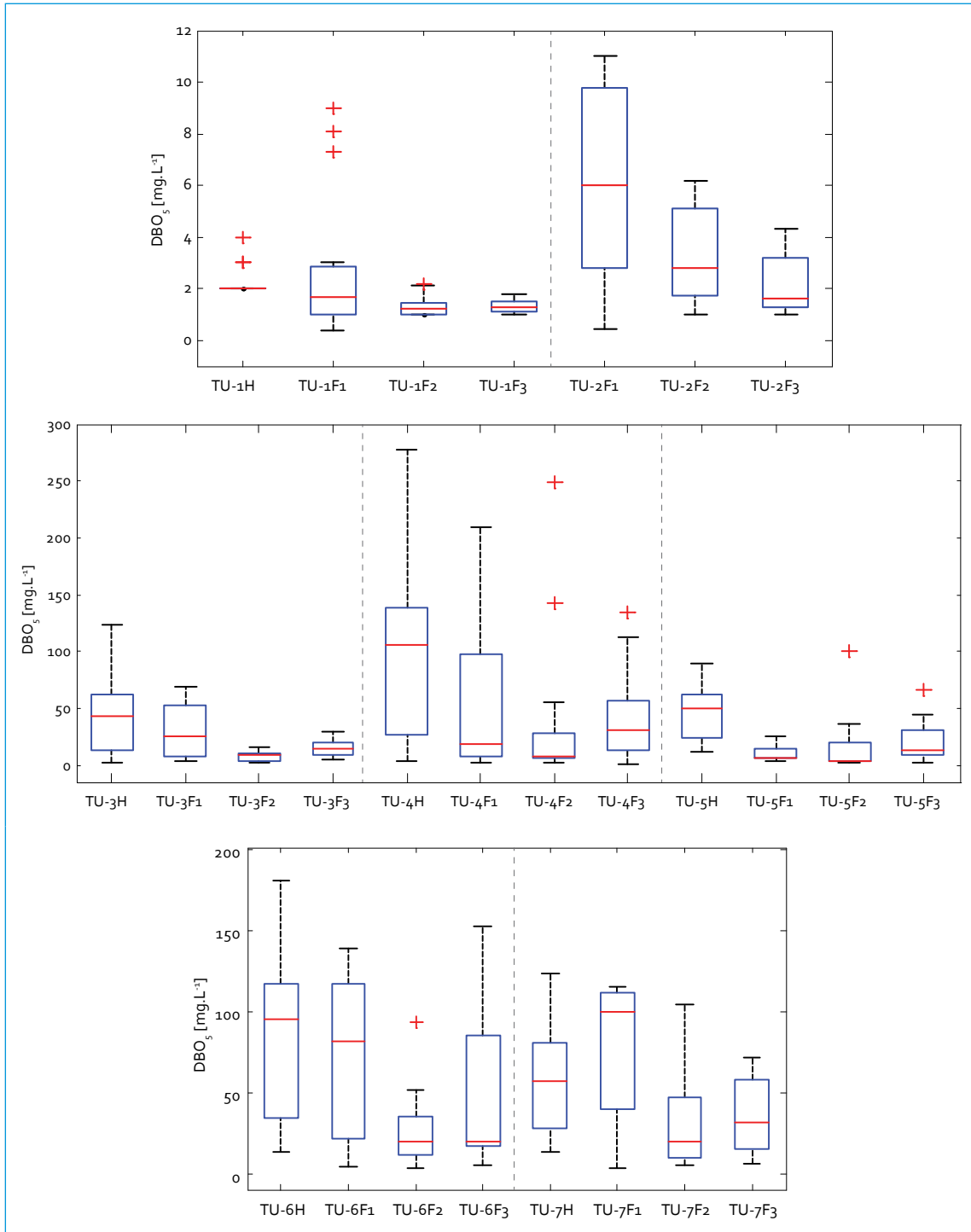


FIGURA 5.7. Perfil de oxígeno disuelto: río Tunjuelo

- Constante: La Regadera y UAN (respecto a la fase 1, no hay datos históricos).
- Aumentos: Yomasa (86% F₃ vs. H), Doña Juana (61% F₃ vs. H), Barrio México (420% F₃ vs. H), San Benito (230% F₃ vs. H), Makro Autosur (210% F₃ vs. H), Transversal 86 (200% F₃ vs. H), Puente de la Independencia (120% F₃ vs. H) e Isla Pontón (340% F₃ vs. H).

5.1.1.7. DBO₅

El perfil longitudinal de DBO₅ en el río Tunjuelo (figura 5.8) muestra que las mayores concentraciones se presentaron en Transversal 86, Puente de la Independencia e Isla Pontón, a causa de la descarga del interceptor Tunjuelo Medio aguas arriba del punto Transversal 86; aunado a esto, el comportamiento del pH, de la



Continúa

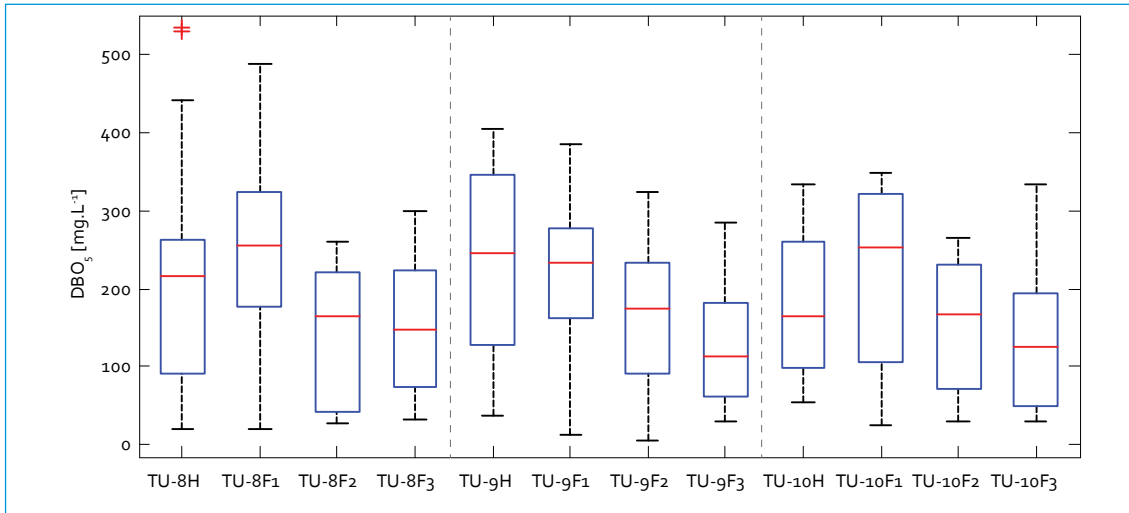


FIGURA 5.8. Perfil de DBO_5 : río Tunjuelo

conductividad y del oxígeno disuelto demuestra que este es uno de los puntos de monitoreo críticos del río. Otro punto donde se observó un incremento fue en Doña Juana, aunque este fue menos significativo. Durante la fase 3 se presentó una mejora respecto a este parámetro en todos los puntos, con disminuciones en la concentración: La Regadera (35% F_3 vs. H), UAN (73% F_3 vs. F_1), Yomasa (68% F_3 vs. H), Doña Juana (71% F_3 vs. H), Barrio México (74% F_3 vs. H), San Benito (79% F_3 vs. H), Makro Autosur (45% F_3 vs. H), Transversal 86 (32% F_3 vs. H), Puente de la Independencia (54% F_3 vs. H) e Isla Pontón (24% F_3 vs. H). Esta mejoría se mostró también frente a las fases anteriores, a excepción de Yomasa (aumentó 59% F_3 vs. F_2), Doña Juana (aumentó 71% F_3 vs. F_1 y 295% F_3 vs. F_2), Barrio México (aumentó 89% F_3 vs. F_1 y 238% F_3 vs. F_2) y Makro Autosur (aumentó 57% F_3 vs. F_2). En general, las mejores condiciones se dieron durante las fases 2 y 3, debido a la temporada de lluvias (mayores caudales), lo que llevó a que en el río se dieran procesos de dilución.

5.1.1.8. DQO

En la figura 5.9 se observa un leve incremento de la DQO en los primeros siete puntos y un súbito aumento en Transversal 86, aun cuando en Barrio México las concentraciones tendieron a disminuir. En La Regadera se midieron las concentraciones más bajas de DQO en el río (10 mg/L), las cuales aumentaron hasta alcanzar los 308 mg/L en Isla Pontón. Al igual que en la DBO_5 , las concentraciones de la DQO presentaron picos, el primero en Doña Juana y el segundo en Transversal 86. Respecto a las fases anteriores, se observó mejoría y en el peor de los casos hubo comportamiento constante. Durante el periodo de monitoreo se presentaron los siguientes comportamientos:

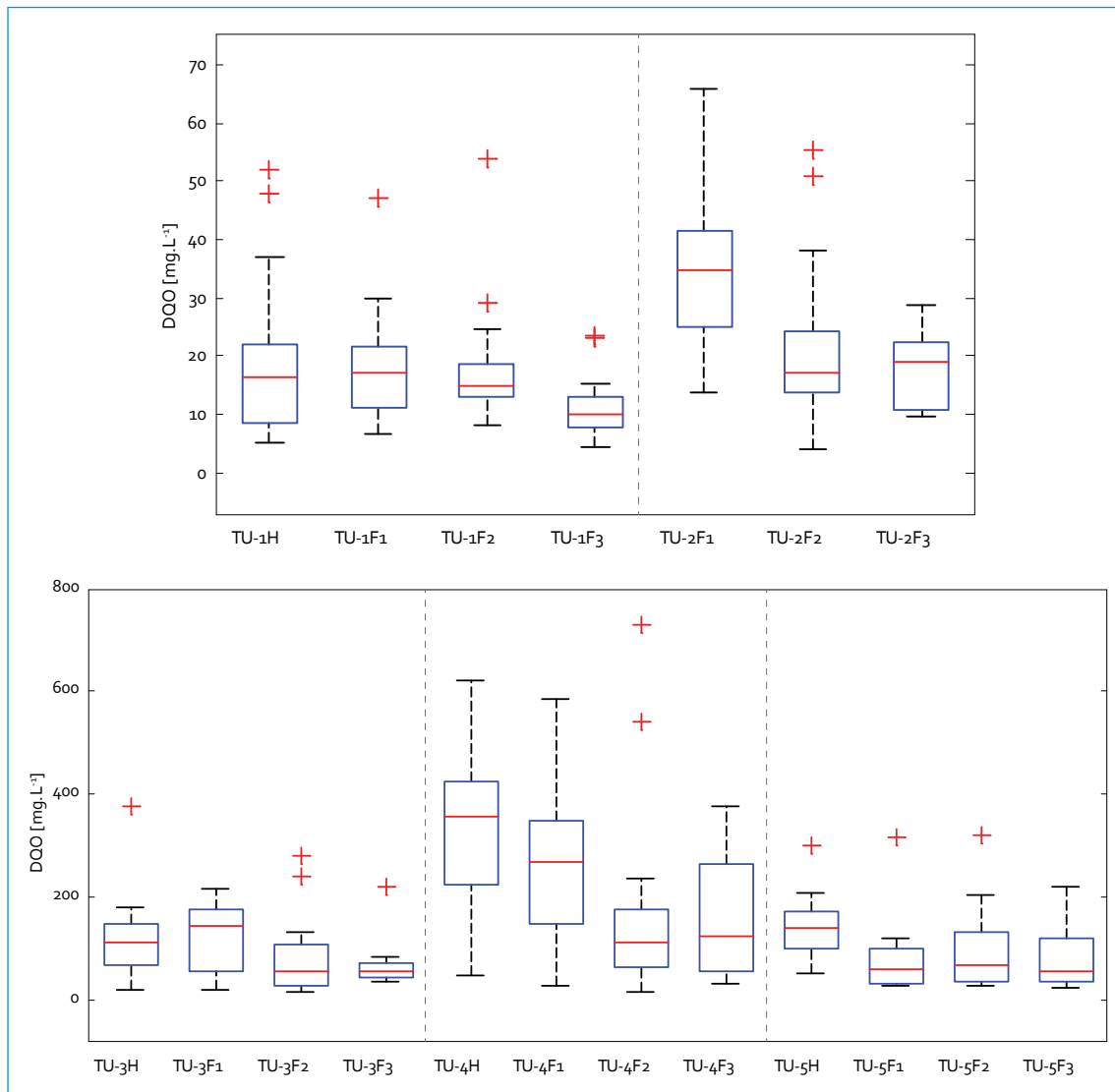
- Constantes: Makro Autosur y Transversal 86.
- Disminuciones: La Regadera (40% F_3 vs. H), UAN (45% F_3 vs. F_1), Yomasa (49% F_3 vs. H), Doña Juana (63% F_3 vs. H), Barrio México (59% F_3 vs. H), San Benito (45%

F3 vs. H), Puente de la Independencia (35% F3 vs. H) e Isla Pontón (37% F3 vs. H).

5.1.1.9. SST

El perfil longitudinal de las concentraciones de SST en el río Tunjuelo muestra que las mayores concentraciones de sólidos se encuentran en Doña Juana (750 mg/L), debido a que las canteras que operan en la zona realizan descargas

en el río (figura 5.10). Los primeros puntos presentaron valores bajos de SST (menores a 24 mg/L) en comparación con los demás puntos de monitoreo. Cabe resaltar que pese a las bajas concentraciones presentadas en La Regadera durante la fase 3 (24 mg/L), el incremento registrado es importante, porque el valor histórico registrado fue menor (8 mg/L). En términos generales, para los diferentes ejercicios de monitoreo se presentaron los siguientes comportamientos:



Continúa

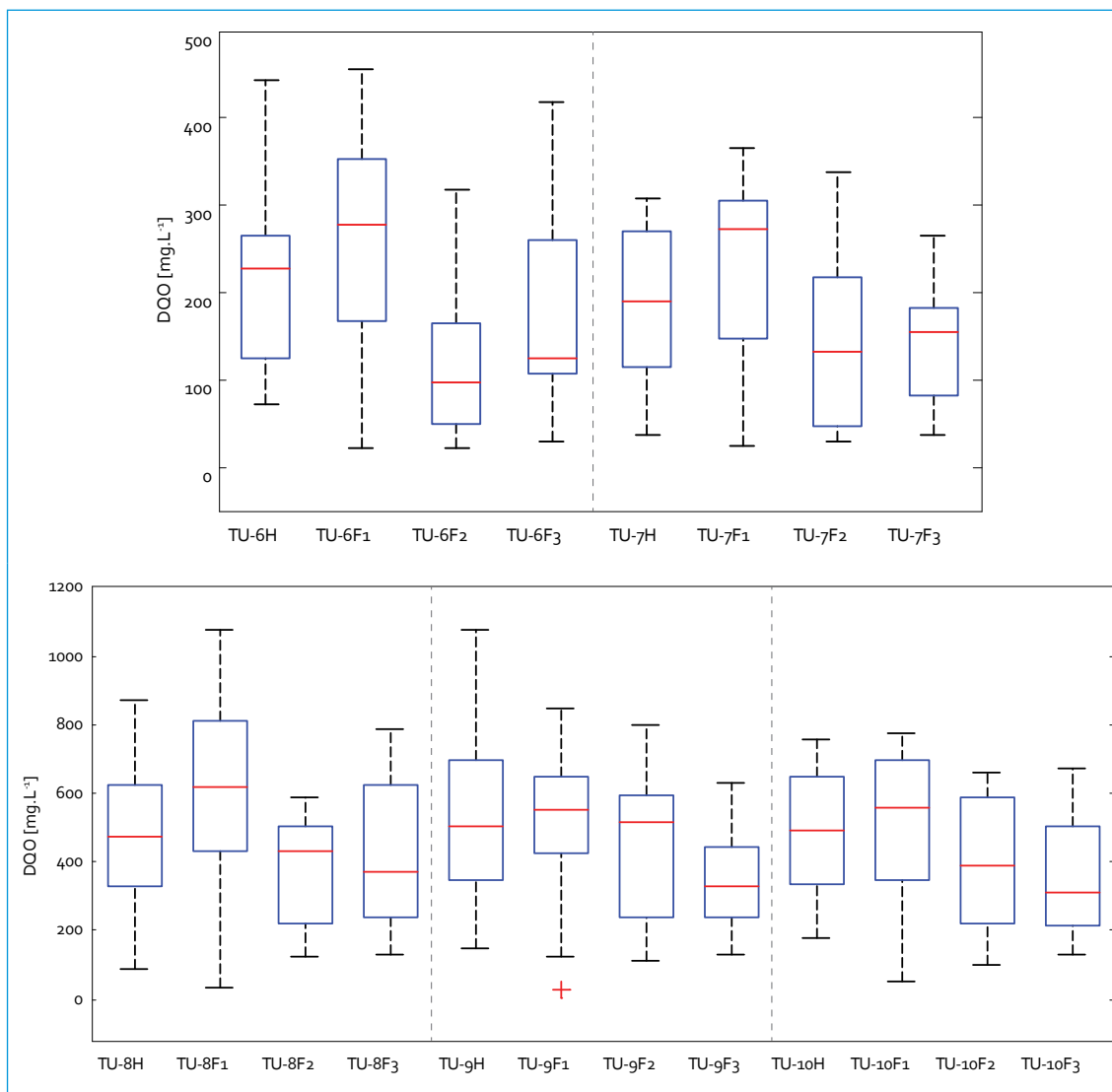
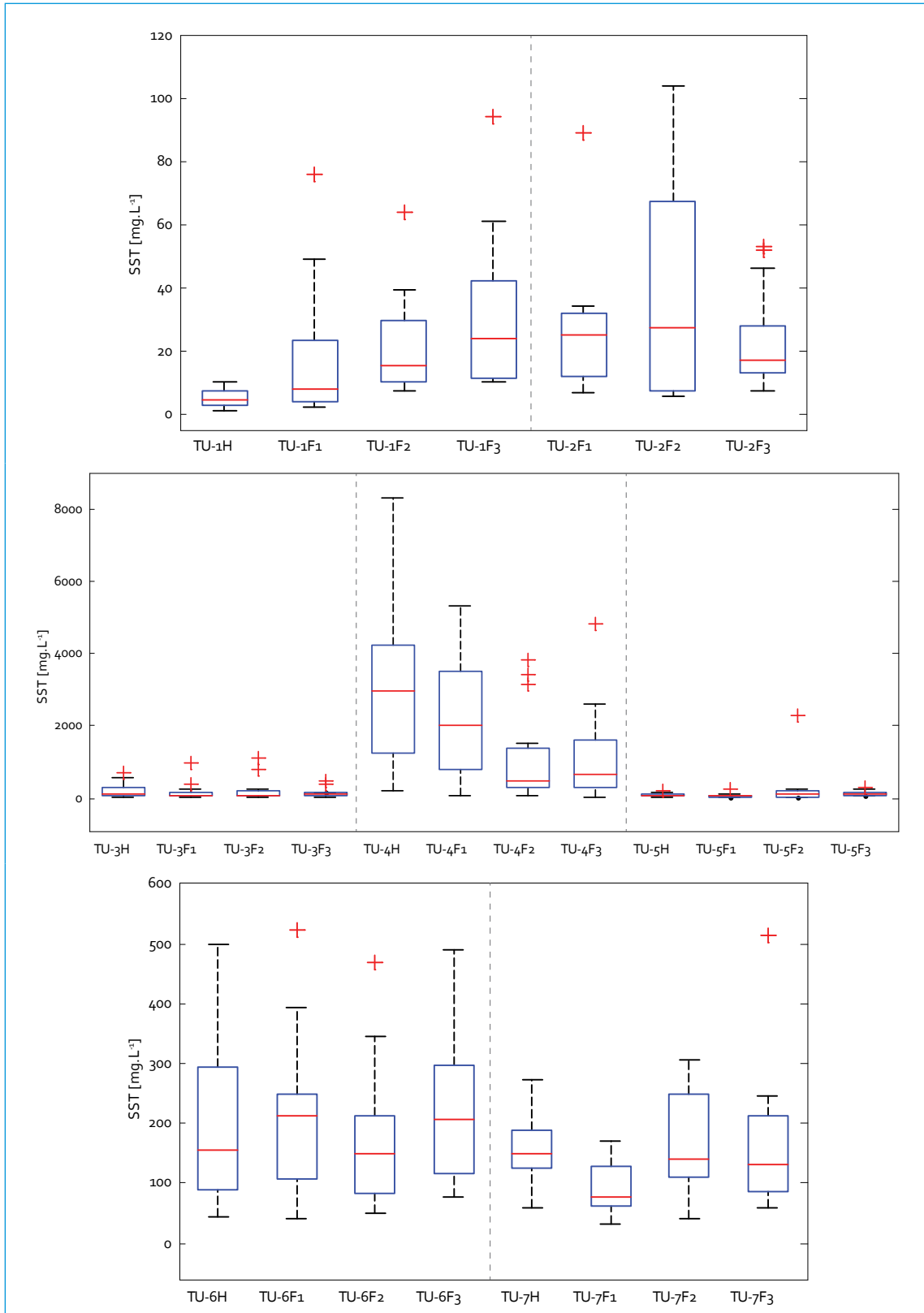


FIGURA 5.9. Perfil de DOO: río Tunjuelo

- Constantes: Yomasa, Makro Autosur (excepto la fase 1, con un aumento del 130%), Transversal 86 (excepto la fase 1 y la fase 2, que aumentaron 41% y 45%, respectivamente), Puente de la Independencia e Isla Pontón (excepto la fase 1, que aumentó 39%).
- Aumentos: La Regadera (433% F3 vs. H), Barrio México (57% F3 vs. H) y San Benito (34% F3 vs. H).
- Disminuciones: UAN (32% F3 vs. F1) y Doña Juana (75% F3 vs. H).

5.1.1.10. Nitrógeno total

La figura 5.11 presenta el perfil longitudinal de NTK. Las concentraciones de este parámetro aumentaron a lo largo del río, con el incremento más importante en Transversal 86. Respecto a los periodos anteriores, el NTK



Continúa

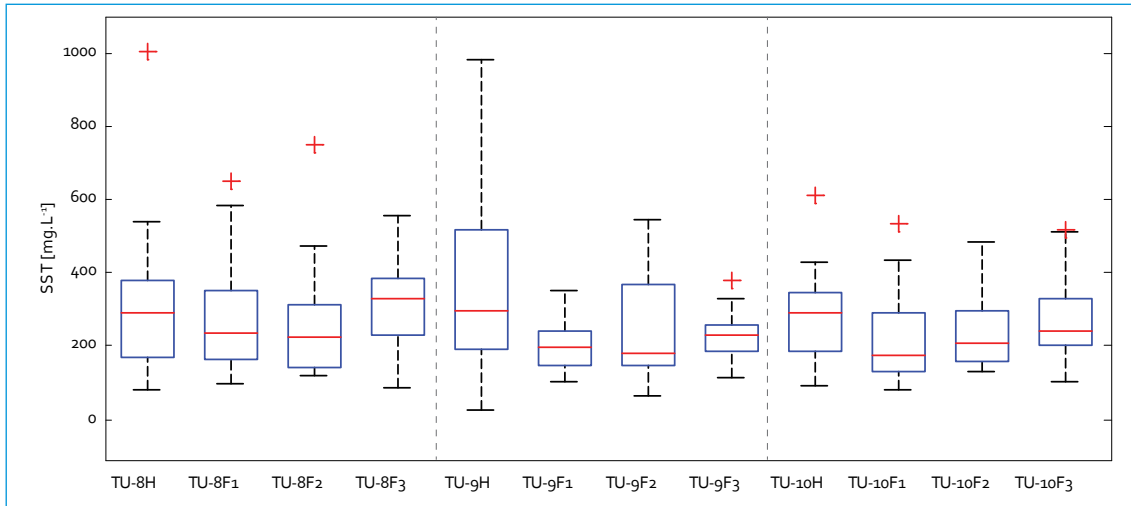
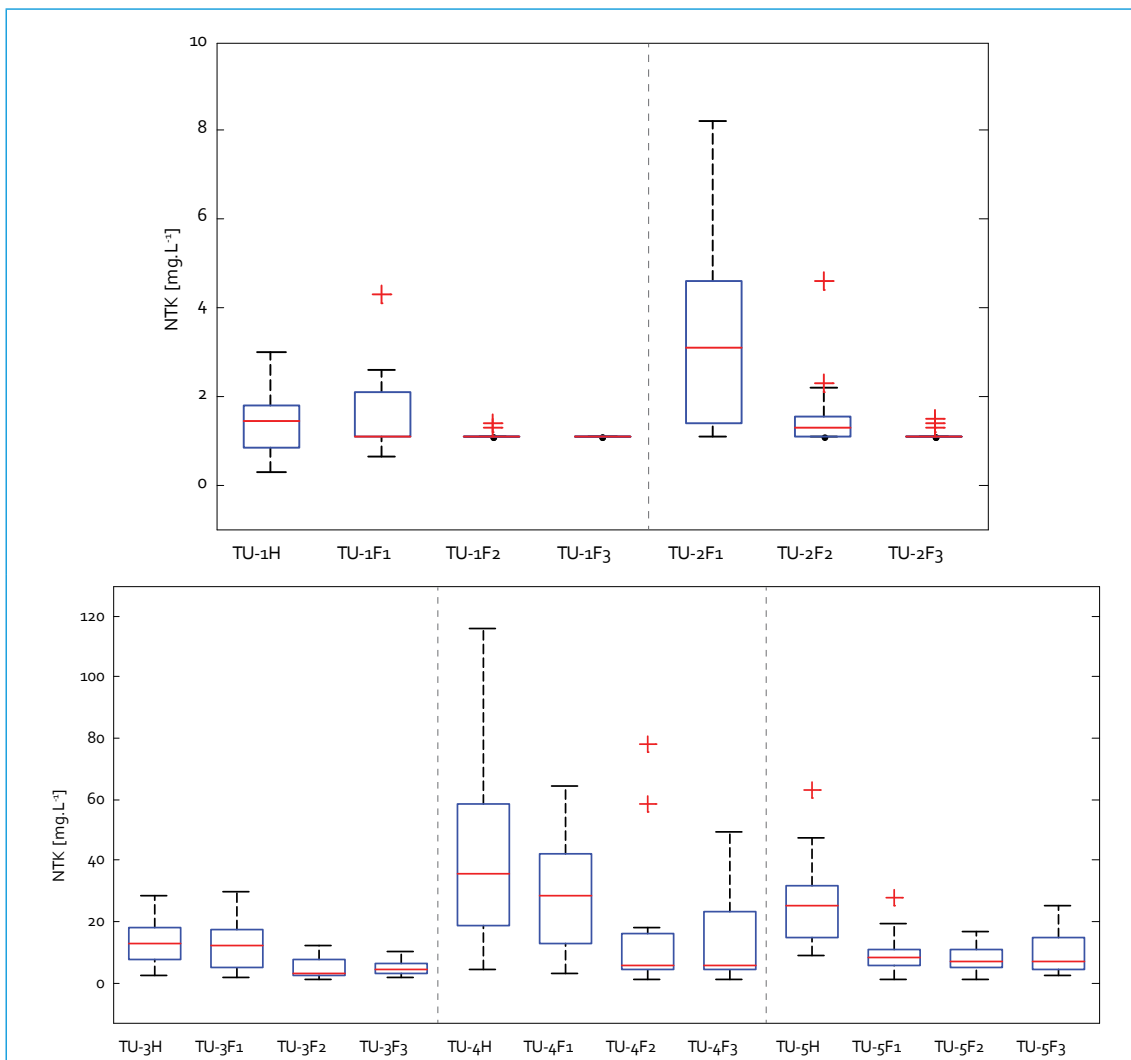


FIGURA 5.10. Perfil de SST: río Tunjuelo



Continúa

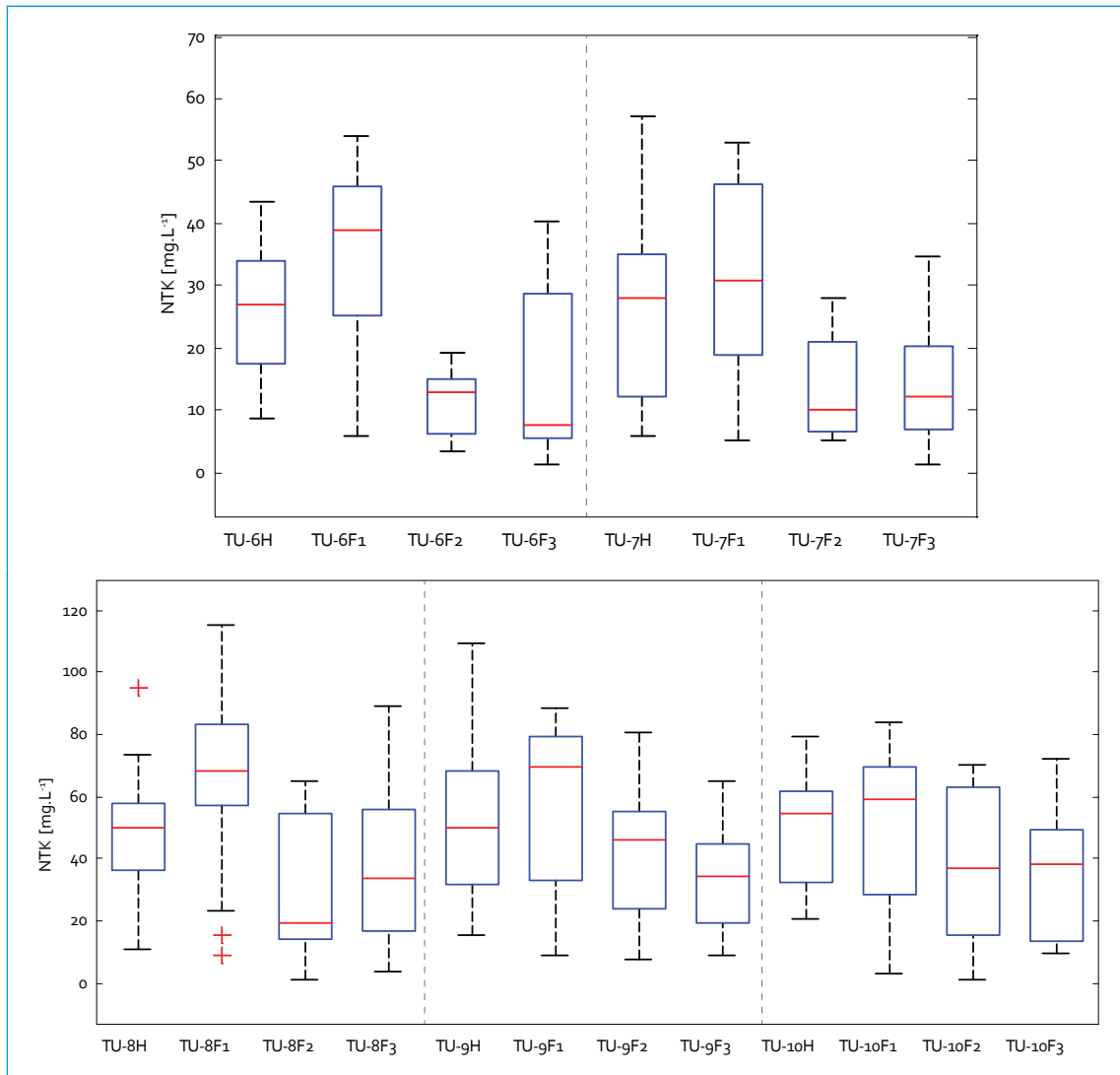
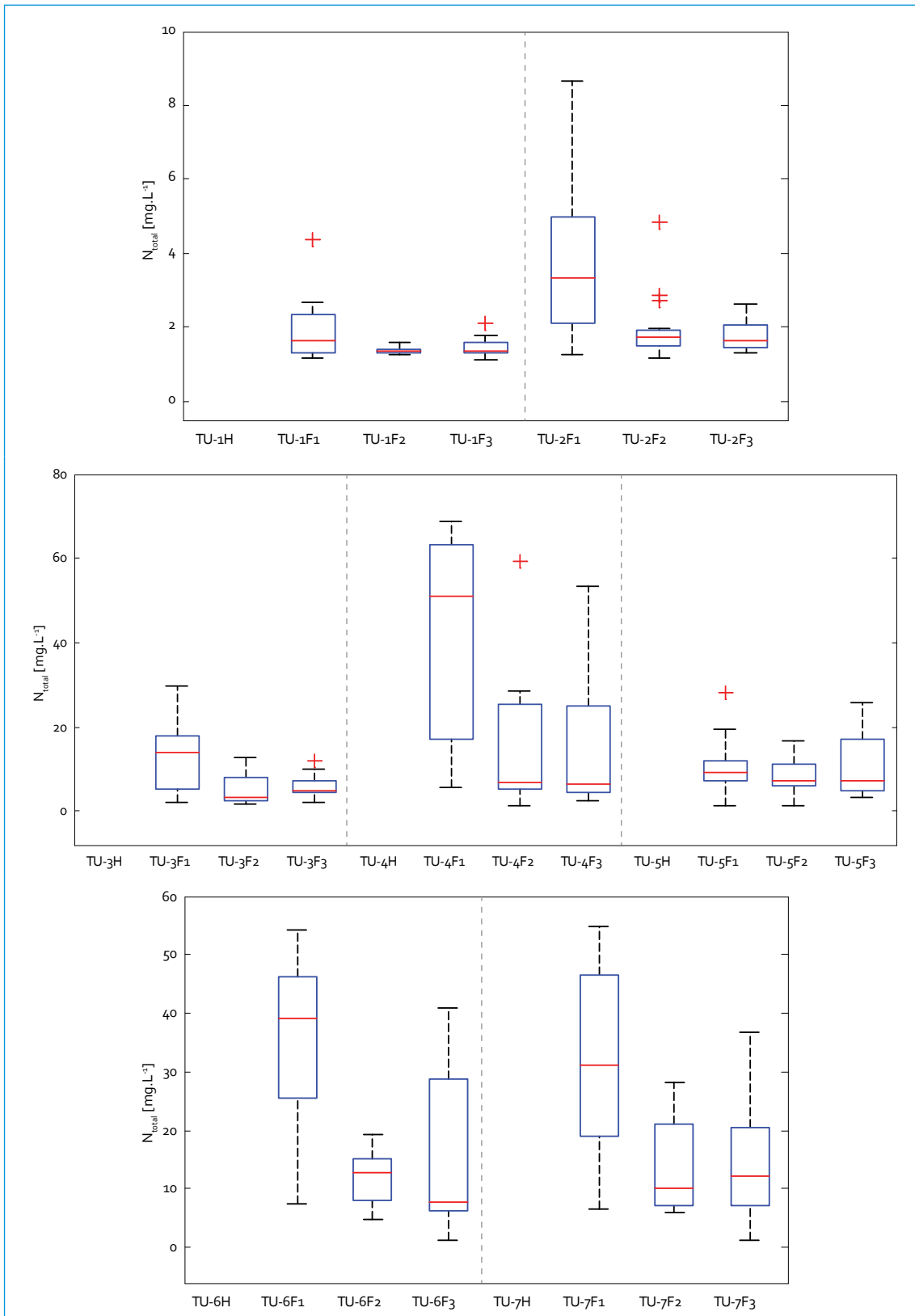


FIGURA 5.11. Perfil de NTK: río Tunjuelo

durante la fase 3 presentó una mejora en todos los puntos, con disminución en concentración: La Regadera (27% F3 vs. H), UAN (64% F3 vs. F1), Yomasa (69% F3 vs. H), Doña Juana (84% F3 vs. H), Barrio México (72% F3 vs. H), San Benito (72% F3 vs. H), Makro Autosur (58% F3 vs. H), Transversal 86 (33% F3 vs. H), Puente de la Independencia (32% F3 vs. H) e Isla Pontón (29% F3 vs. H). No obstante, al comparar la fase 3 con la fase 2, hubo incrementos en Yomasa (48%), así como en Transversal 86 (76%).

Por su parte el N_{total} presentó el mismo comportamiento al NTK (figura 5.12), debido a que este último denota los compuestos nitrogenados, excepto los nitritos y nitratos. Respecto a los periodos anteriores, durante la fase 3 el N_{total} también presentó mejora en todos los puntos: La Regadera (16% F3 vs. F1), UAN (52% F3 vs. F1), Yomasa (64% F3 vs. F1), Doña Juana (87% F3 vs. F1), Barrio México (21% F3 vs. F1), San Benito (80% F3 vs. F1), Makro Autosur (61% F3 vs. F1), Transversal 86 (51%



Continúa

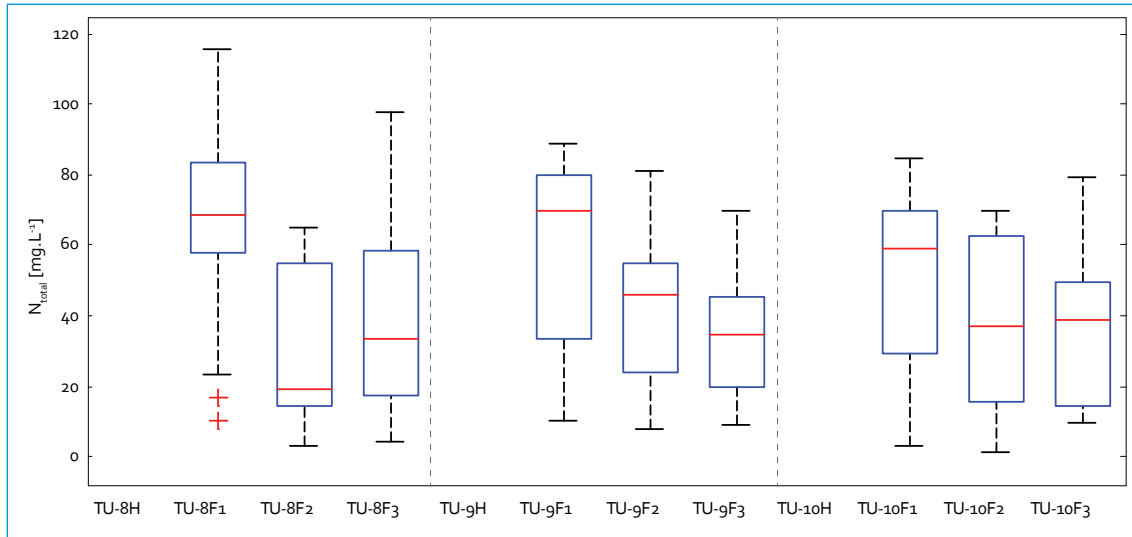


FIGURA 5.12. Perfil de N_{total} : río Tunjuelo

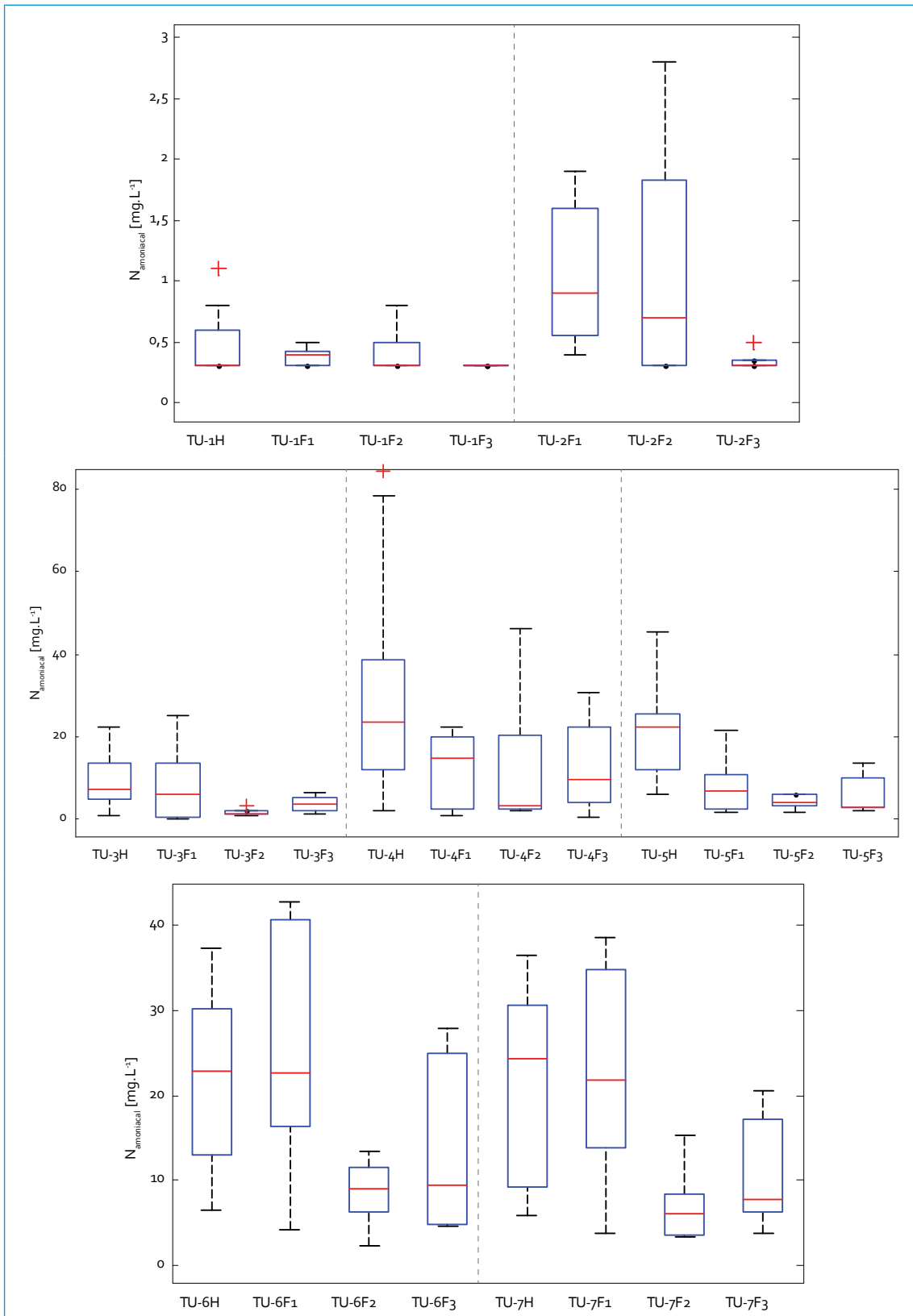
F3 vs. F1), Puente de la Independencia (51% F3 vs. F1) e Isla Pontón (35% F3 vs. F1). Al igual que el NTK, al comparar la fase 3 con la fase 2 se presentaron incrementos en Yomasa (47%) y en Transversal 86 (76%).

En cuanto al nitrógeno amoniacal, se presentó un aumento progresivo a lo largo de río: comenzó en La Regadera, con una concentración de 0,3 mg/L, y llegó a los 29,6 mg/L en Isla Pontón, con picos en Doña Juana y en Transversal 86, debido a los vertimientos mencionados (figura 5.13). Respecto a la fase 2, hubo desmejora en Yomasa, Doña Juana, Makro Autosur y Transversal 86, aun cuando el comportamiento mejoró durante el periodo de monitoreo:

- Constantes: La Regadera, Doña Juana e Isla Pontón
- Disminuciones: UAN (67% F3 vs. F1), Yomasa (40% F3 vs. F1), Barrio México (57% F3 vs. F1), San Benito (58% F3 vs. F1), Makro Autosur (60% F3 vs. F1), Transversal 86 (36% F3 vs. F1) y Puente de la Independencia (51% F3 vs. F1).

En el caso de los nitritos, la concentración registrada fue constante en todos los puntos, con un valor de 0,08 mg/L, a excepción de Doña Juana, donde se presentó un incremento importante: una concentración de 0,15 mg/L (figura 5.14). Durante la fase 3 se presentó un retroceso en la calidad en todos los puntos, con aumentos entre el 60% y el 70%, a excepción de Doña Juana, donde se presentó una disminución del 74%. Es importante resaltar que las medianas de las concentraciones registradas para la fase 3 coinciden con el límite de detección (es decir, la concentración de nitritos podría ser menor a la registrada), el cual aumentó para el periodo comprendido entre julio del 2011 y diciembre del mismo año, por lo que los incrementos registrados resultaron ser tan significativos al compararlos con fases anteriores cuando los límites de detección fueron menores.

En el caso de los nitratos, se presentó un incremento a lo largo de los primeros cuatro puntos de monitoreo del río Tunjuelo (figura 5.15), como consecuencia de las concentraciones de oxígeno disuelto en estos puntos, lo



Continúa

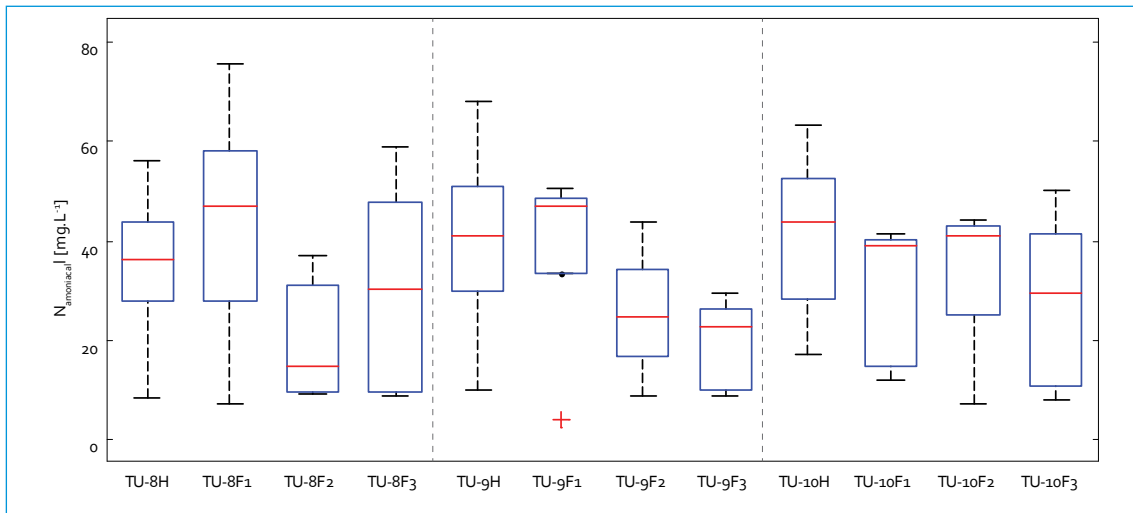
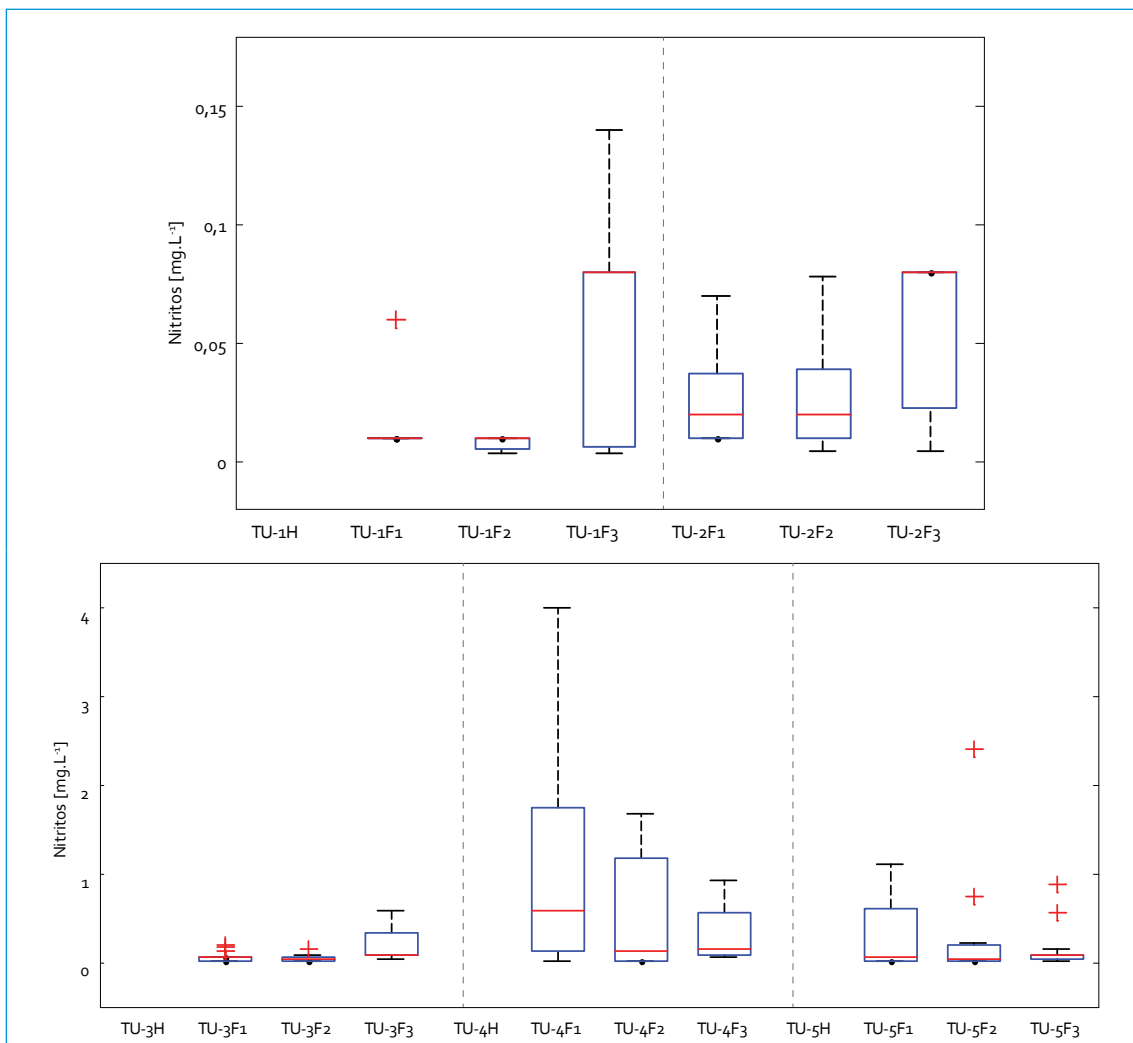


FIGURA 5.13. Perfil de $N_{amoniacal}$: río Tunjuelo



Continúa

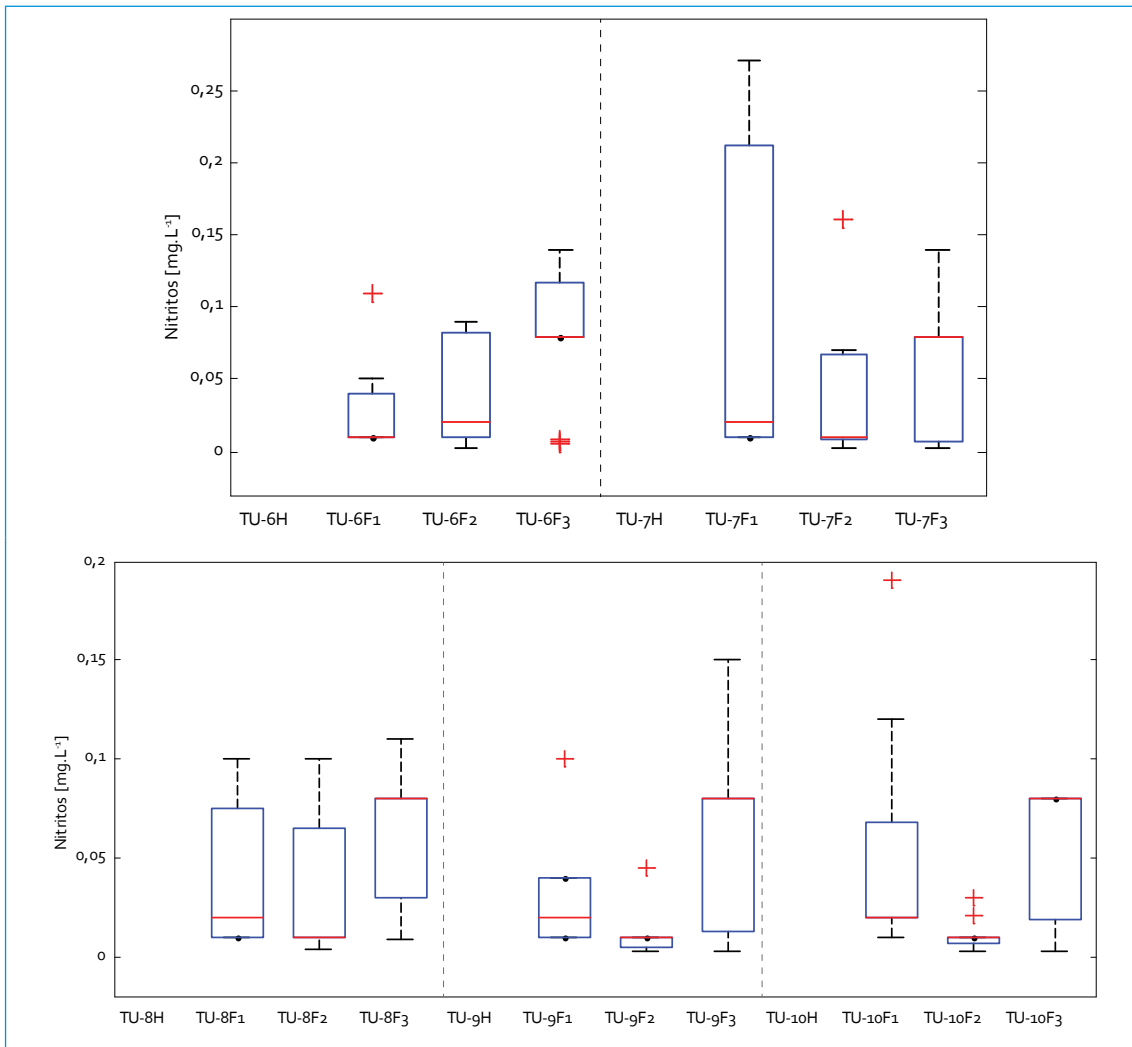
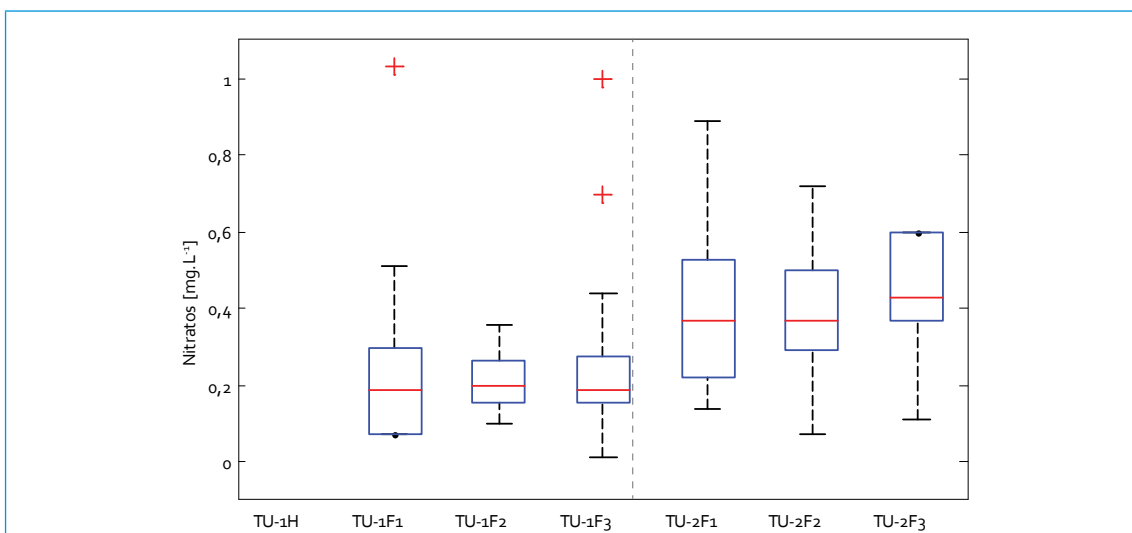


FIGURA 5.14. Perfil de nitritos: río Tunjuelo



Continúa

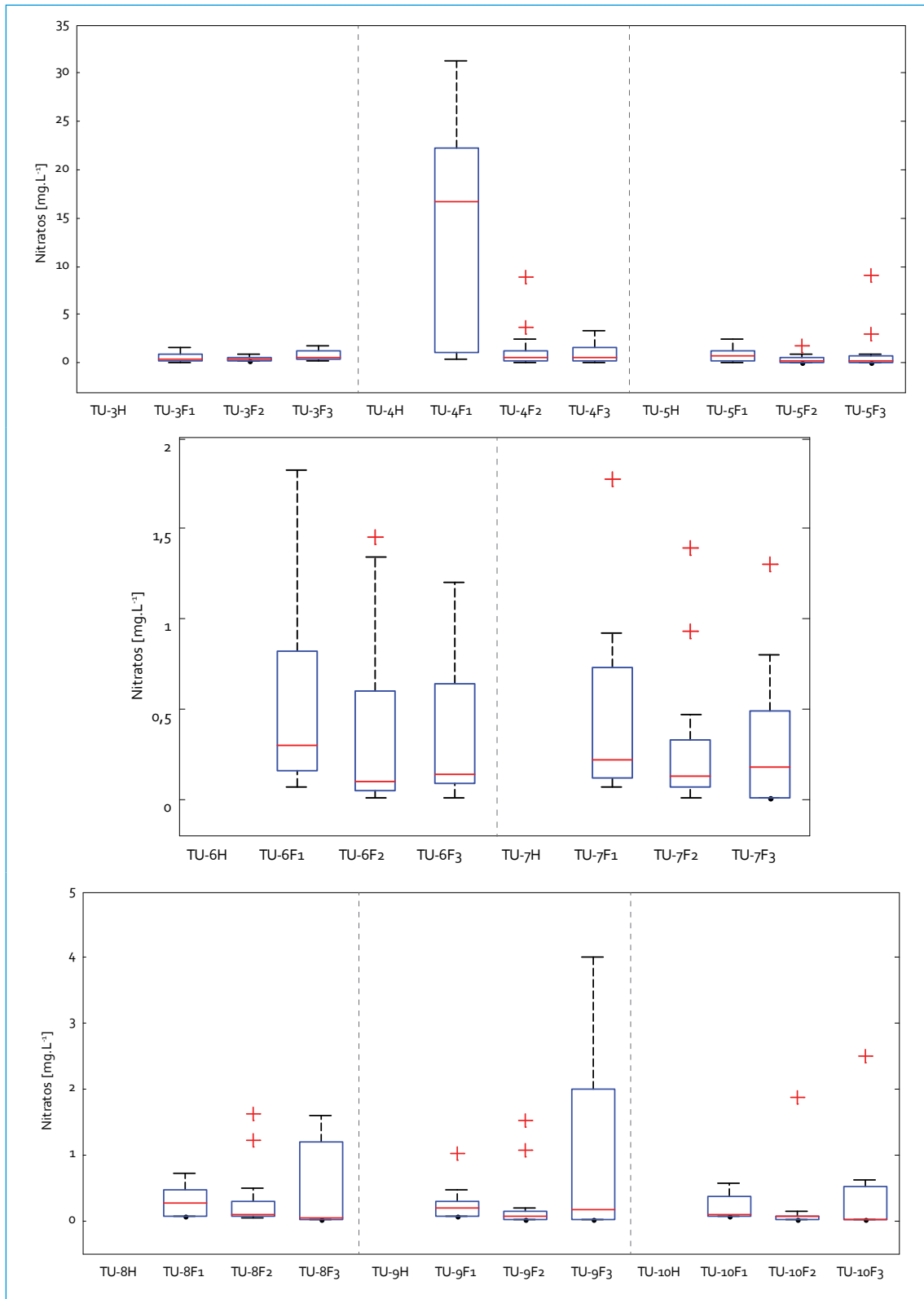


FIGURA 5.15. Perfil de nitratos: río Tunjuelo

cual favorece los procesos de nitrificación. En el punto Barrio México, se apreció una disminución significativa de nitratos, debido a que aguas arriba de este punto, en la ZMI, se llevan procesos de sedimentación y de eutroficación, y el buchón se encarga de fijar el nitrógeno, con lo cual disminuye su concentración en el agua. Después de este punto la concentración de nitratos se mantuvo relativamente constante; la menor concentración se registró en Isla Pontón (0,01 mg/L). Durante los periodos de monitoreo se presentaron los siguientes comportamientos:

- Constantes: La Regadera, UAN, Yomasa, Makro Autosur y Puente de la Independencia (excepto respecto a la fase 2, cuando aumentó).
- Aumento: Yomasa (73% F₃ vs. F₁).
- Disminuciones: Doña Juana (96% F₃ vs. F₁), Barrio México (68% F₃ vs. F₁), San Benito (53% F₃ vs. F₁), Transversal 86 (81% F₃ vs. F₁) e Isla Pontón (89% F₃ vs. F₁).

5.1.1.11. Fósforo total

El fósforo total presentó un ligero incremento a lo largo del río (figura 5.16). Su comportamiento fue similar al de los SST, con el cambio más importante de la concentración en Doña Juana, debido, de nuevo, a la descarga de lixiviados desde el relleno sanitario Doña Juana. En Barrio México (aguas abajo) se presentó una disminución en la concentración, a causa de los procesos de eutroficación y sedimentación; a partir de este punto las medianas mostraron un ligero incremento, hasta alcanzar un valor de 3,9 mg/L en Isla Pontón. Al comparar las medianas de la fase 3 con las históricas, se encontró que hubo una disminución en todos

los puntos, excepto en La Regadera, donde hubo un incremento del 60%. Es importante hacer énfasis en la disminución que presentó el fósforo total en Doña Juana respecto a los valores históricos y a los registrados en las fases anteriores.

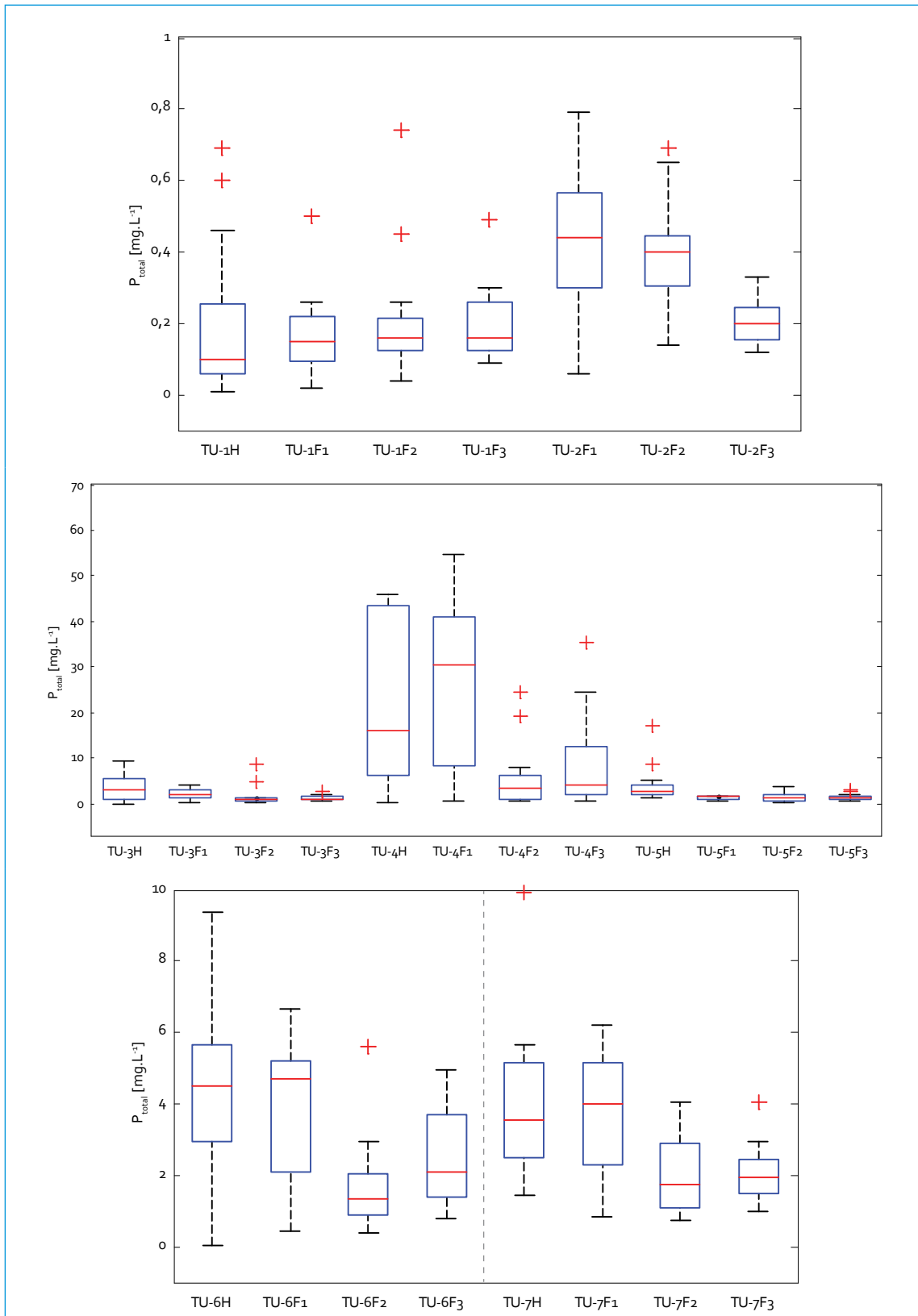
5.1.1.12. Grasas y aceites

En la figura 5.17 se puede observar un ligero incremento de las concentraciones de grasas y aceites a partir de San Benito, respecto a los puntos de monitoreo aguas arriba (se triplica la concentración), así como un incremento importante en Transversal 86, donde alcanzó una concentración de 58 mg/L, a causa de la descarga del interceptor Tunjuelo Medio, el cual trae una carga de aguas residuales significativa. El comportamiento de las concentraciones respecto a fases anteriores ha variado:

- Constantes: UAN (respecto a la fase 1), San Benito, Makro Autosur e Isla Pontón
- Aumentos: Transversal 86 (33% F₃ vs. H) y Puente de la Independencia (44% F₃ vs. H).
- Disminuciones: La Regadera (64% F₃ vs. H), Yomasa (55% F₃ vs. H), Doña Juana (53% F₃ vs. H) y Barrio México (63% F₃ vs. H).

5.1.1.13. SAAM

El perfil longitudinal de las SAAM en el río Tunjuelo mostró un comportamiento similar al de grasas y aceites, con las más altas concentraciones en los últimos puntos (entre Transversal 86 e Isla Pontón) y con registros cercanos a los 4,5 mg/L (figura 5.18). Las concentraciones de SAAM mejoraron respecto a la fase 1, a excepción de Barrio México, y se mantuvieron



Continúa

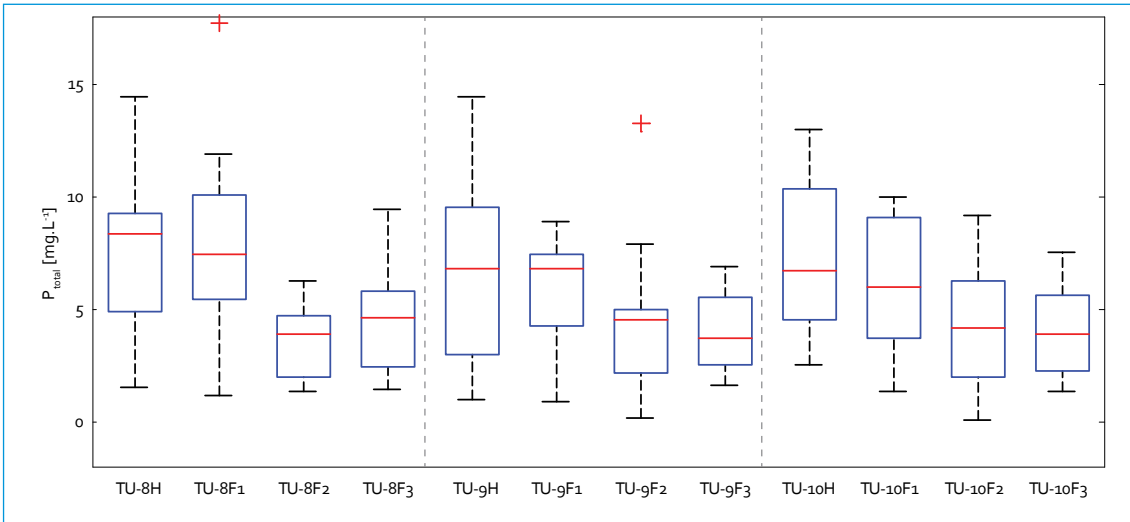
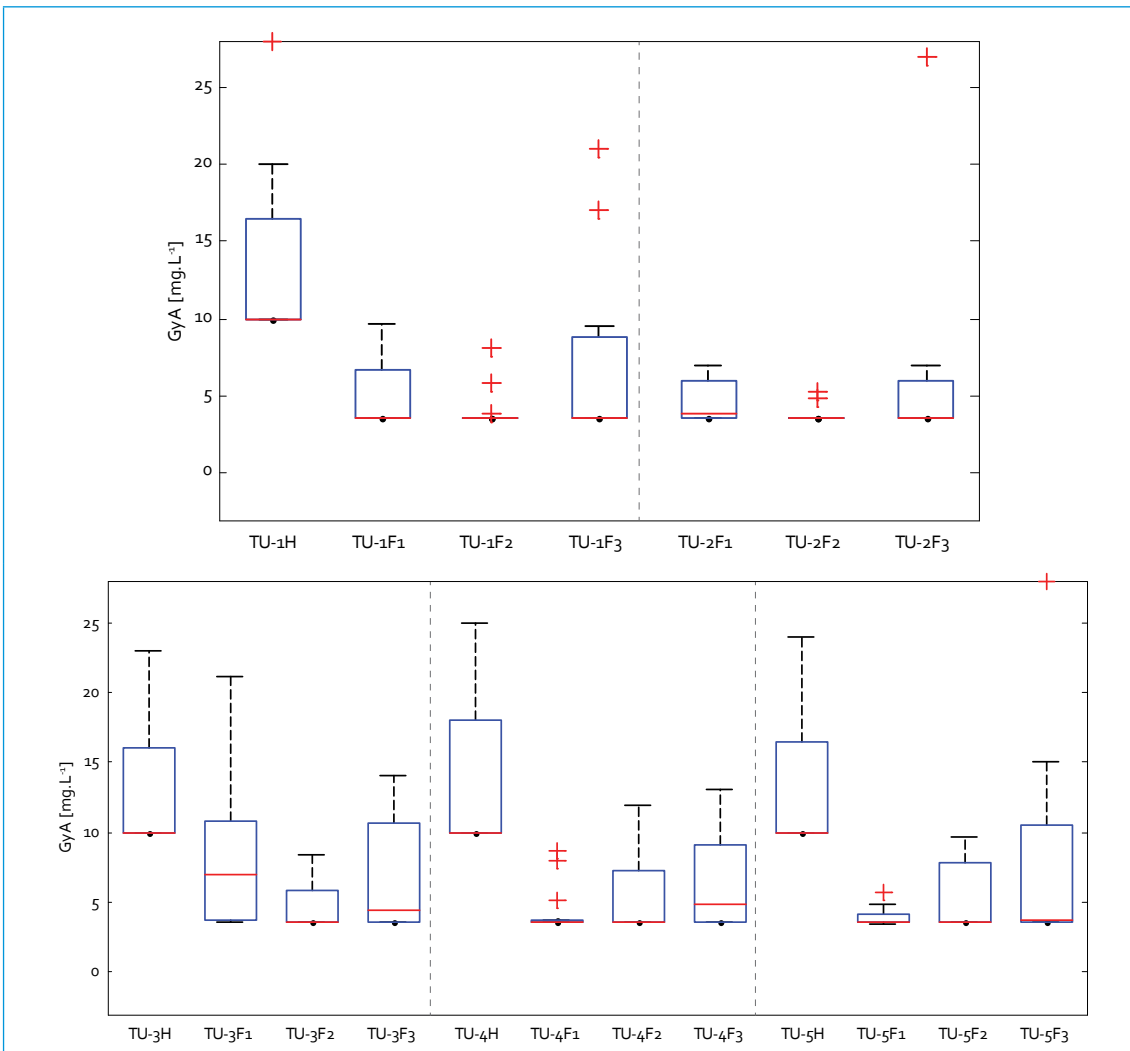


FIGURA 5.16. Perfil de P_{total} : río Tunjuelo



Continúa

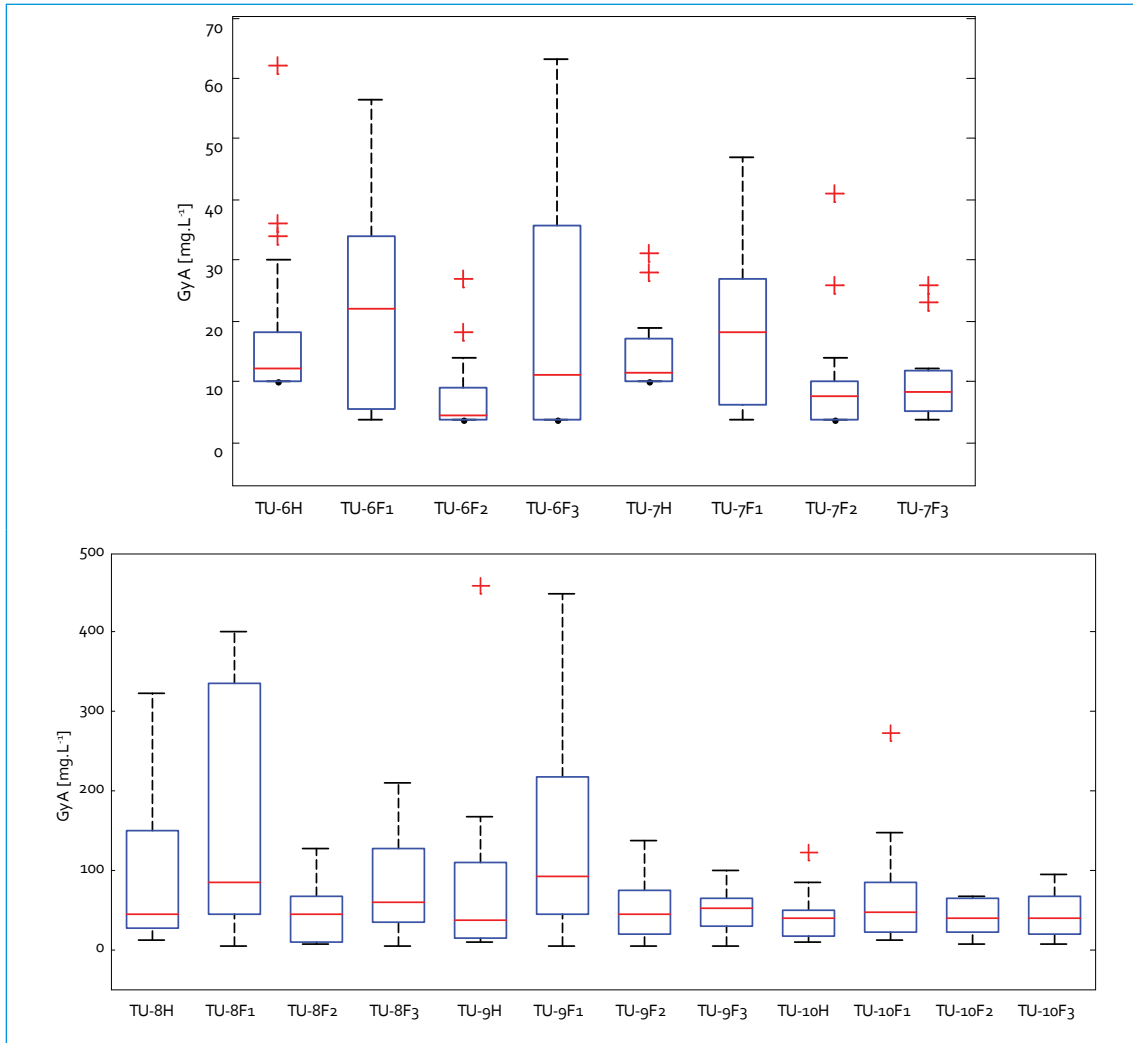
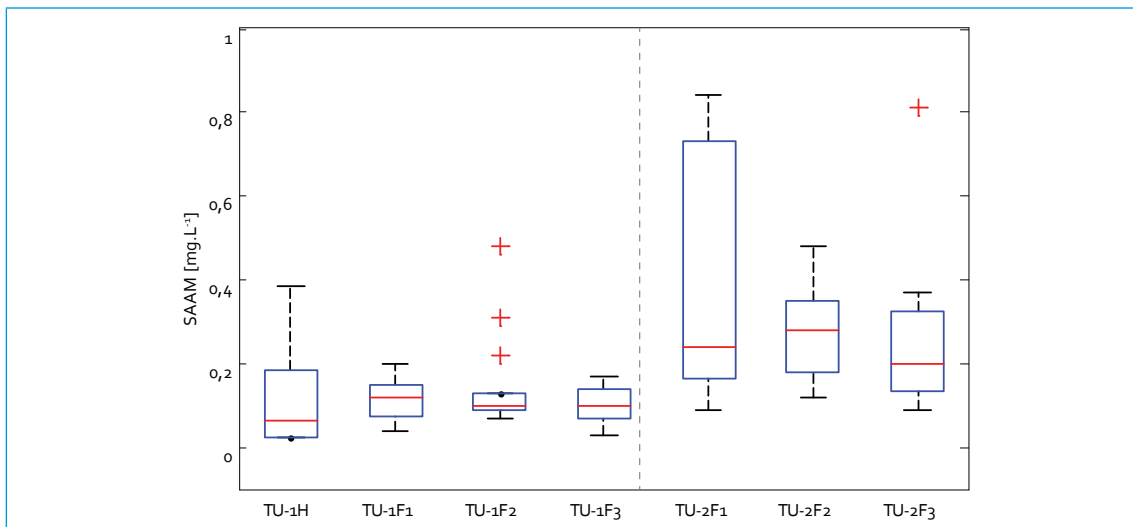


FIGURA 5.17. Perfil de grasas y aceites: río Tunjuelo



Continúa

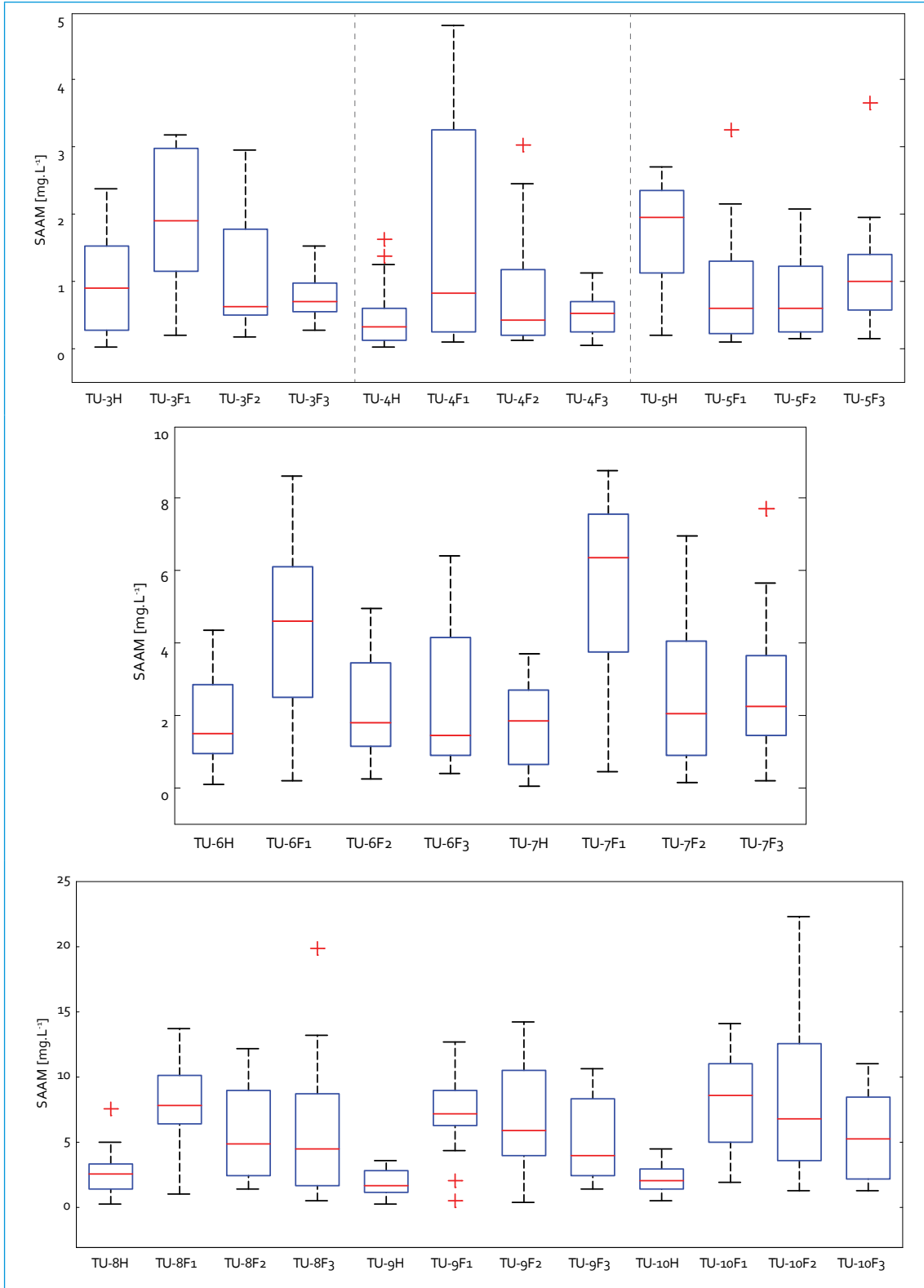


FIGURA 5.18. Perfil de SAAM: río Tunjuelo

constantes respecto la fase 2, a excepción de Barrio México (aumento) y Puente de la Independencia (disminución). En general, se presentaron los siguientes comportamientos:

- Constantes: UAN (respecto a F1 y F2), Yomasa, San Benito y Makro Autosur; para estos puntos (excepto UAN), durante la fase 1 se presentaron concentraciones menores.
- Aumentos: La Regadera (53% F3 vs. H), Doña Juana (68% F3 vs. H), Transversal 86 (80% F3 vs. H), Puente de la Independencia (132% F3 vs. H) e Isla Pontón (159% F3 vs. H).
- Disminución: Barrio México (46% F3 vs. H).

5.1.1.14. *Coliformes fecales*

El perfil longitudinal de las concentraciones de coliformes fecales se presenta en la figura 5.19. Se ve que los primeros dos puntos tuvieron los valores más bajos; el primer incremento se presentó en Yomasa, debido al vertimiento de la quebrada Yomasa, que trae consigo aguas residuales domésticas. Los puntos con mayores valores de coliformes fueron Transversal 86 y Puente de la Independencia, con $6,4 \times 10^6$ y $9,3 \times 10^6$ NMP/100 mL, respectivamente. En general, los valores de coliformes mejoraron respecto a la fase 1, a excepción de La Regadera, Yomasa y Barrio México, y mejoraron o se mantuvieron constantes respecto la fase 2, a excepción de Yomasa, Doña Juana, San Benito, Makro Autosur y Transversal 86. La disminución más significativa se presentó en Transversal 86 respecto a la fase 1: pasó de

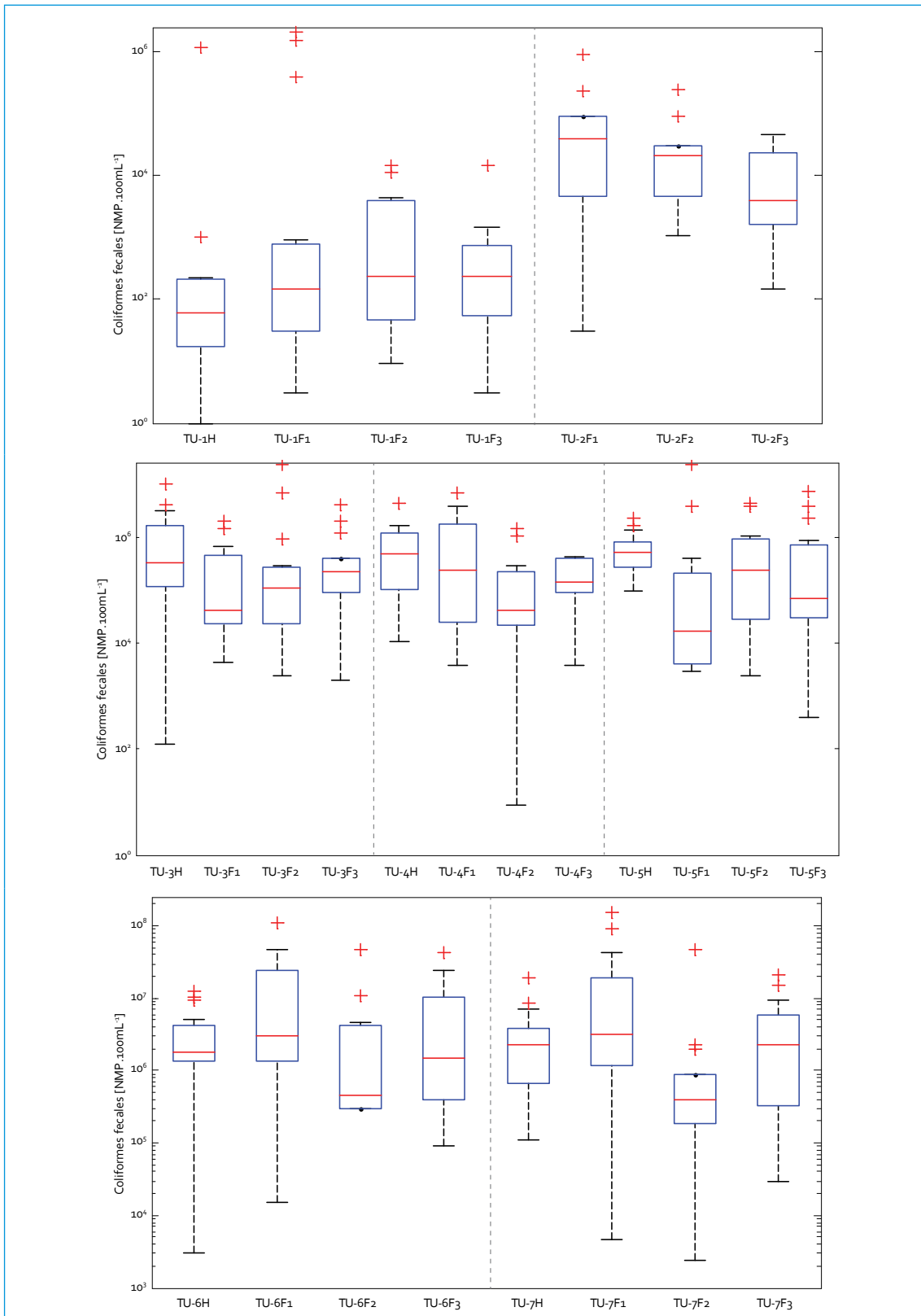
$9,3 \times 10^7$ a $6,4 \times 10^6$ NMP/100 mL. Durante los monitoreos se apreciaron los siguientes comportamientos:

- Constantes: San Benito, Makro Autosur, Transversal 86 y Puente de la Independencia.
- Aumento: La Regadera (288% F3 vs. H).
- Disminuciones: UAN (90% F3 vs. F1), Yomasa (33% F3 vs. H), Doña Juana (71% F3 vs. H), Barrio México (86% F3 vs. H) e Isla Pontón (62% F3 vs. H).

5.1.1.15. *Sulfuros*

En los primeros tres puntos de monitoreo se registraron las menores concentraciones, las cuales estuvieron, en general, por debajo del límite de detección (0,5 mg/L). El primer aumento de sulfuros se presentó en Doña Juana, y a partir de San Benito se apreció un incremento importante en la concentración, debido a que las bajas concentraciones de oxígeno en el agua (figura 5.20) favorecen los procesos anaerobios y, por lo tanto, la presencia de sulfuros; a esto se suman las diferentes descargas de agua de tipo doméstico que se realizan en el río.

Durante la fase 3 se presentó un comportamiento constante frente a la fase 1, a excepción de los últimos tres puntos, ya que en Transversal 86 aumentó (33% F3 vs. F1) y en Puente de la Independencia e Isla Pontón disminuyó (37% y 34% F3 vs. F1, respectivamente). En la fase 2 se constató un comportamiento similar, ya que fue constante en todos los puntos, a excepción de San Benito, donde aumentó, y de Isla Pontón, donde disminuyó.



Continúa

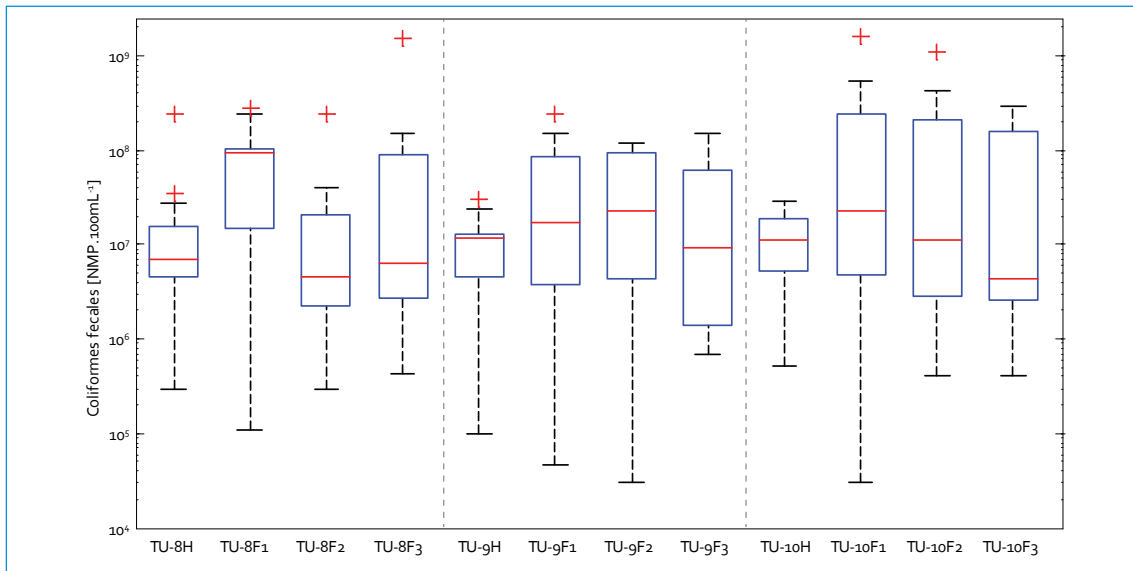
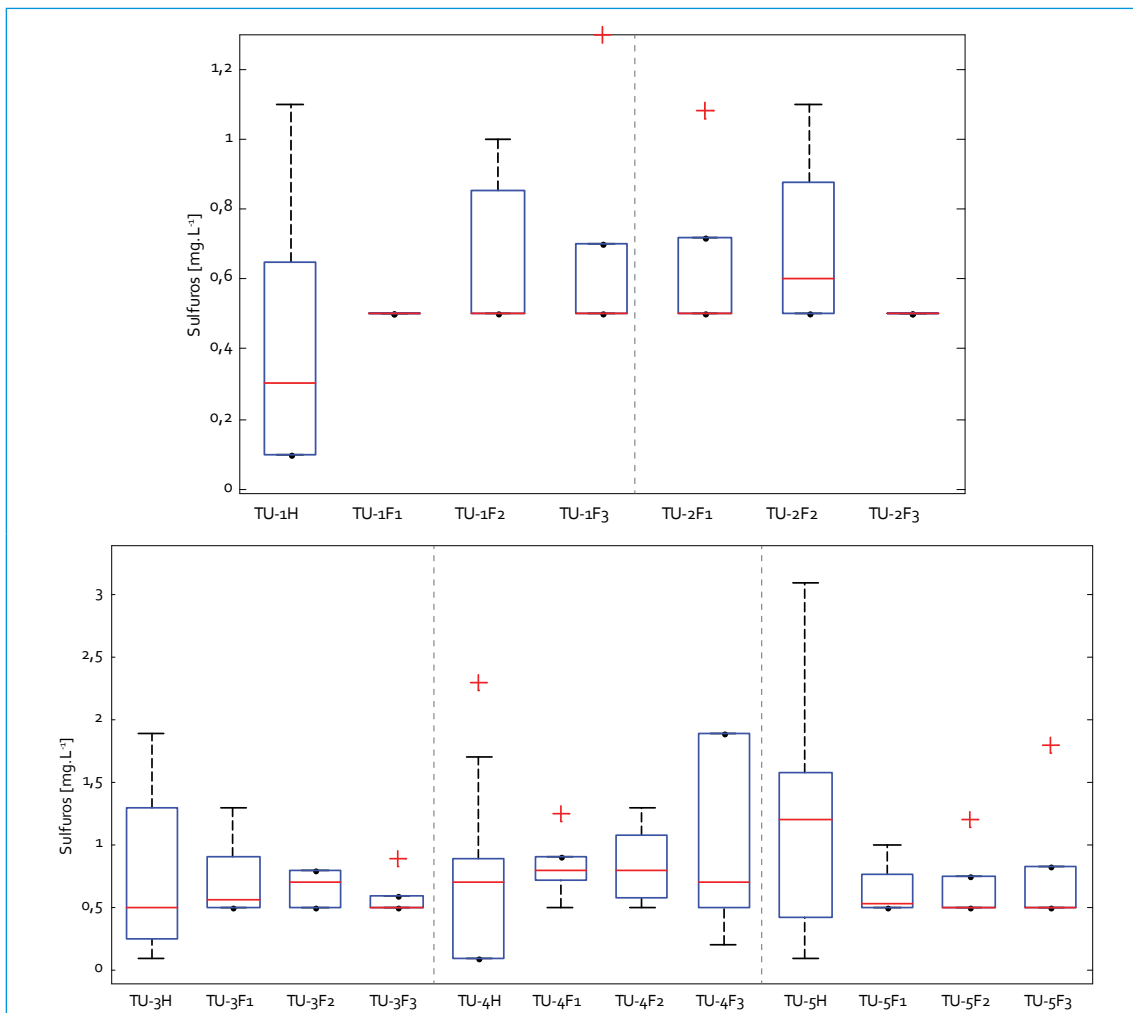


FIGURA 5.19. Perfil de coliformes fecales: río Tunjuelo



Continúa

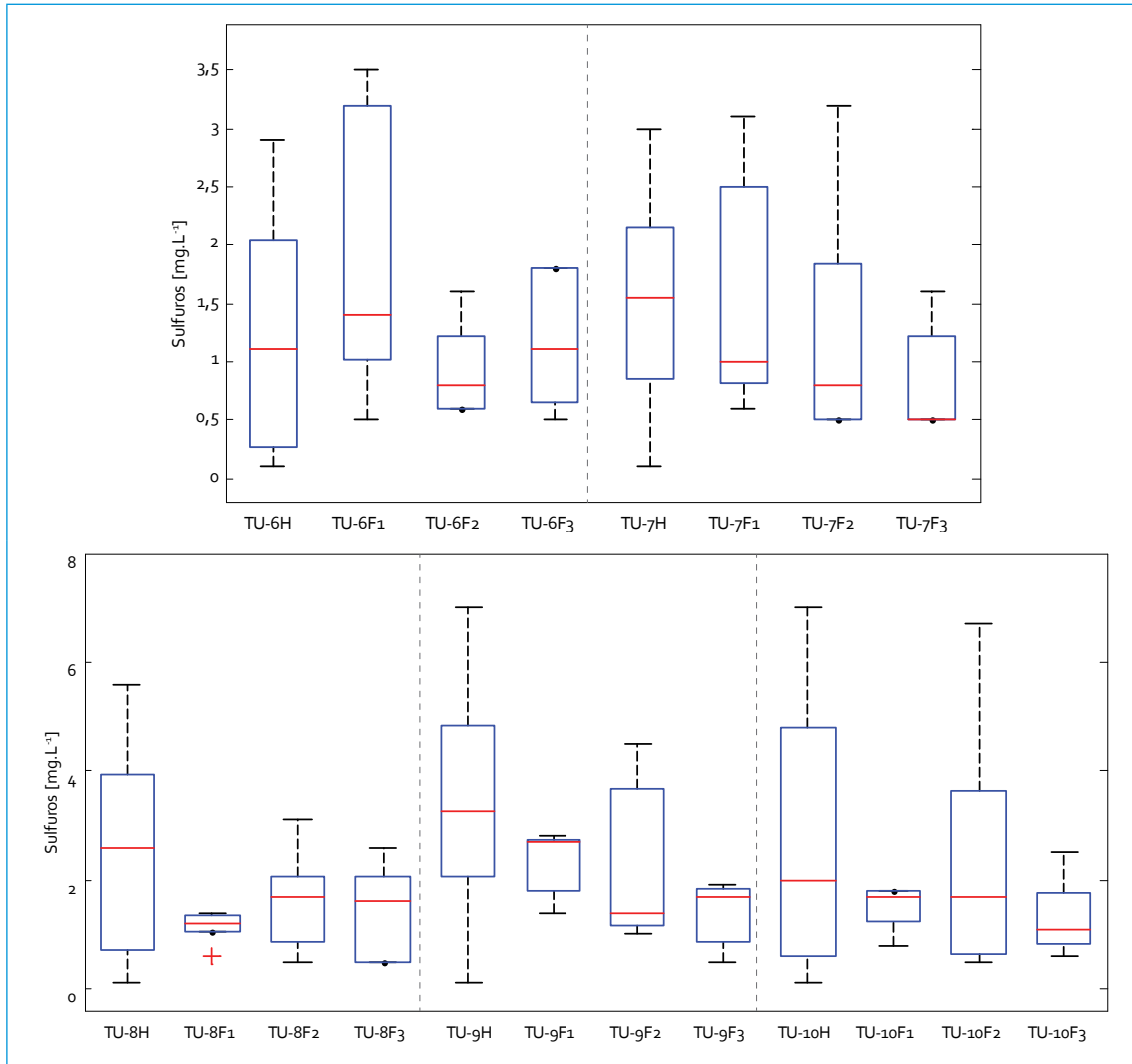


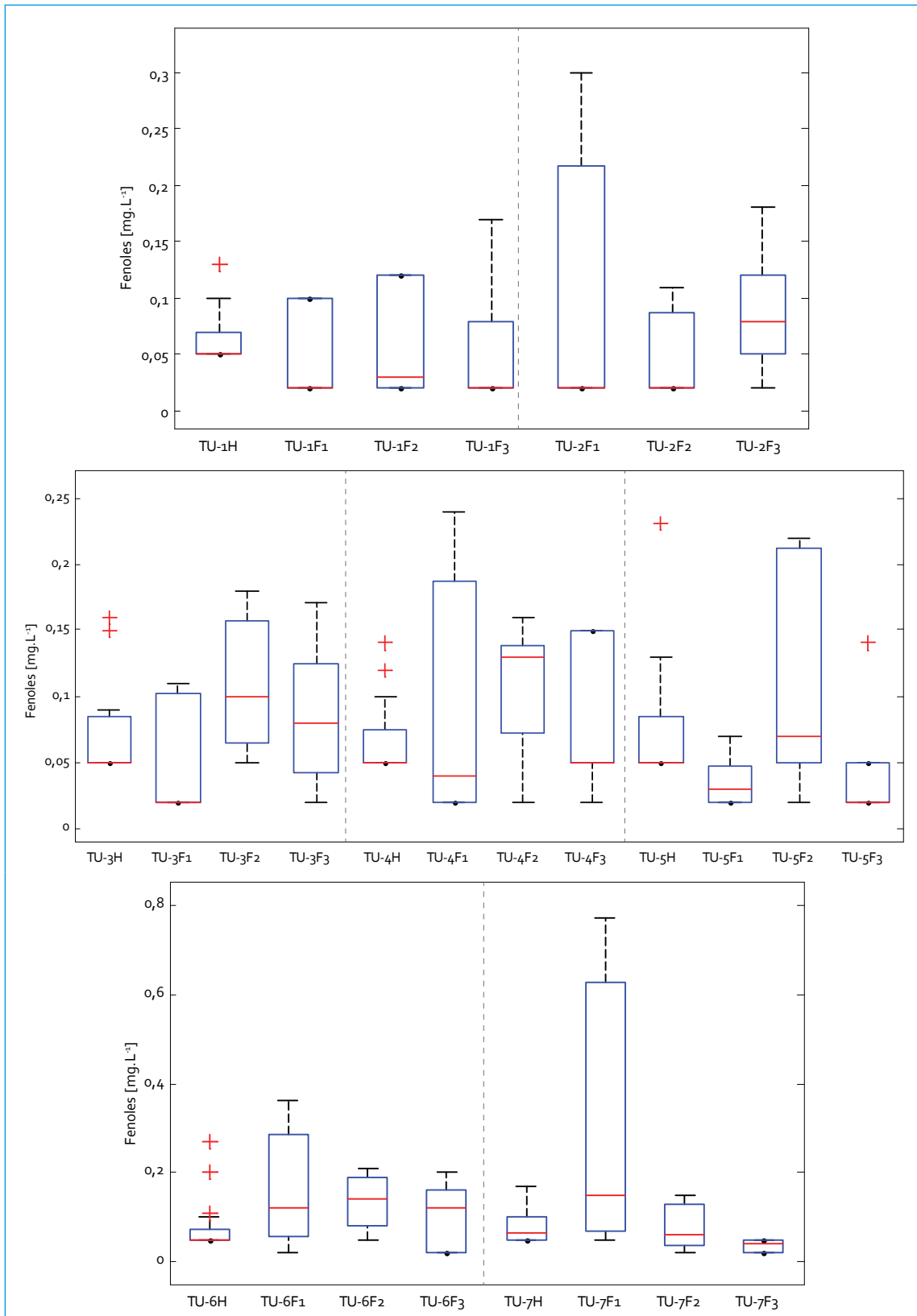
FIGURA 5.20. Perfil de sulfuros: río Tunjuelo

5.1.1.16. Fenoles

En la figura 5.21 se corrobora que los puntos con menor concentración de fenoles fueron La Regadera y Barrio México. En San Benito y en Transversal 86 hay aportes de estos compuestos por los vertimientos de tipo residual. La concentración registrada en UAN (0,08 mg/L) cambió significativamente respecto a las dos fases anteriores, cuando se registraron concen-

traciones cercanas al límite de detección (0,02 mg/L). En cuanto al comportamiento frente a fases anteriores, en general fue constante o mejoró, excepto en Yomasa (aumentó frente a la fase 1) y en Transversal 86 (aumentó frente a la fase 2). Durante los diferentes periodos de monitoreo se presentaron los siguientes comportamientos:

- Constantes: Doña Juana y Puente de la Independencia.



Continúa

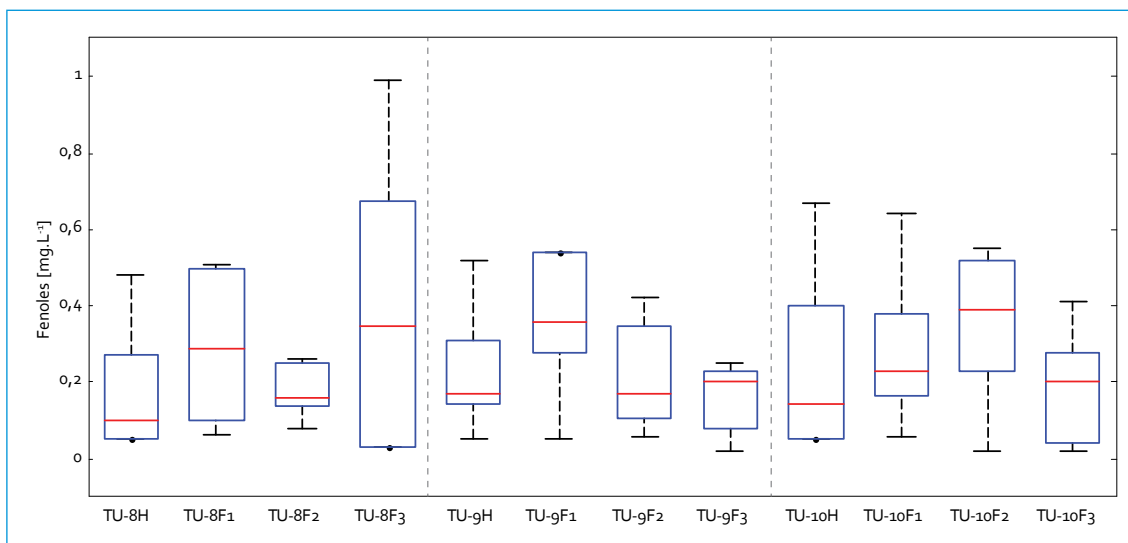


FIGURA 5.21. Perfil de fenoles: río Tunjuelo

- Aumentos: UAN (300% F₃ vs. F₁), Yomasa (60% F₃ vs. H), San Benito (140% F₃ vs. H), Transversal 86 (250% F₃ vs. H) e Isla Pontón (38% F₃ vs. H).
- Disminuciones: La Regadera (60% F₃ vs. H), Barrio México (60% F₃ vs. H) y Makro Autosur (31% F₃ vs. H).

5.1.1.17. Metales

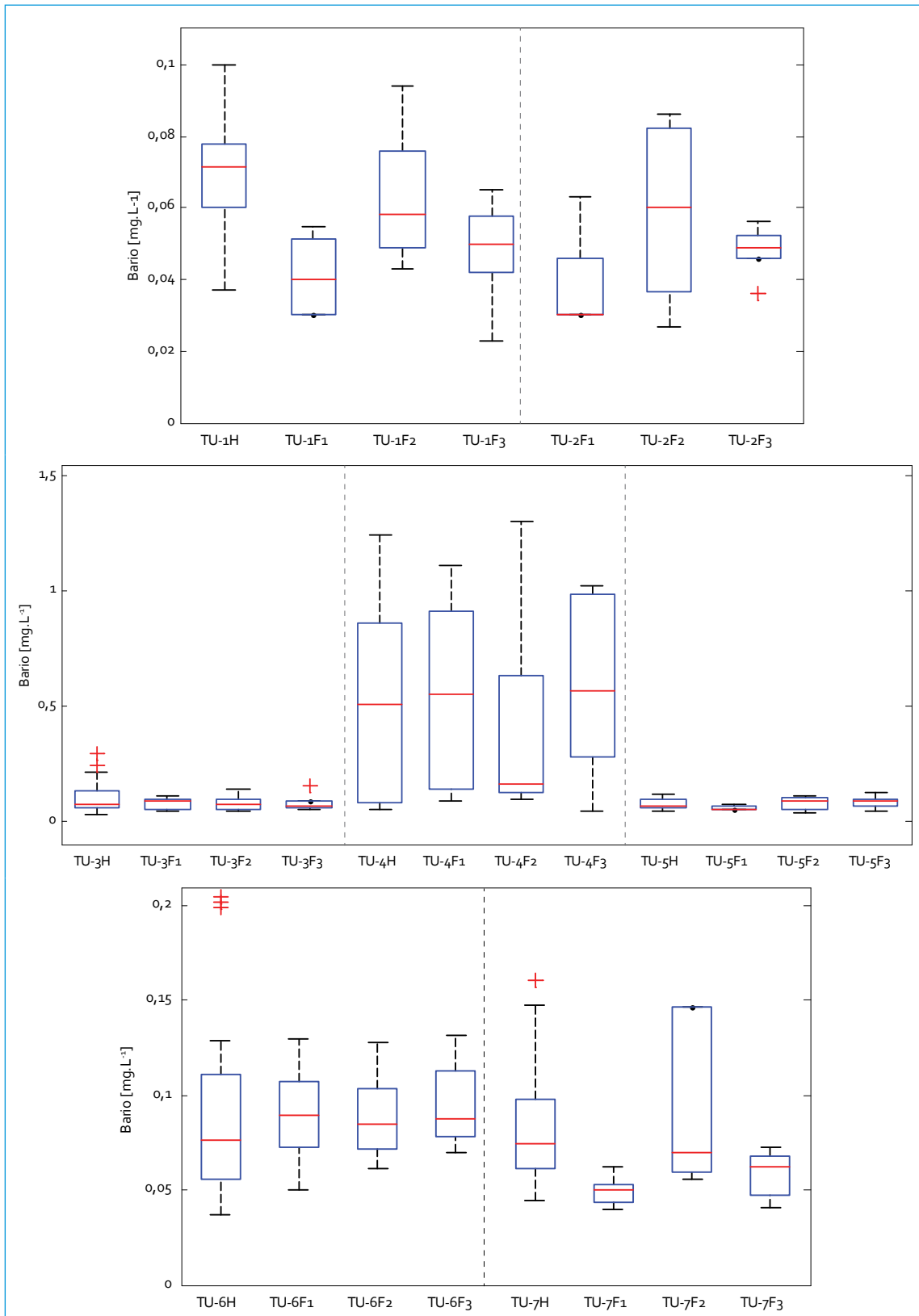
5.1.1.17.1. Bario

Las concentraciones de bario fueron constantes a largo del río, con valores cercanos a los 0,07 mg/L, excepto en el punto Doña Juana, donde la concentración alcanzó un valor de 0,8 mg/L, debido a los lixiviados procedentes del relleno sanitario (figura 5.22). Respecto a los periodos anteriores, este parámetro tuvo un comportamiento similar: presentó un valor constante en todos los puntos, a excepción de Doña Juana, donde aumentó 55%, 43% y 396% en relación con el histórico, la fase 1 y la fase 2, respectivamente. Así mismo, hubo incremen-

tos respecto a la fase 1 en UAN, Barrio México, Makro Autosur y Puente de la Independencia.

5.1.1.17.2. Cadmio

El cadmio presentó un comportamiento similar al bario, donde la mayoría de valores registrados estuvieron por debajo del límite de detección, el cual fue de 0,001 mg/L durante el 2011 y de 0,003 mg/L durante el 2012, lo que explica la variación de los datos, reflejada en la amplitud de algunas cajas (figura 5.23). En el punto de Doña Juana, se alcanzó un valor máximo de 0,02 mg/L. Respecto a los datos históricos, en todos los puntos hubo incrementos, debido a que en el periodo comprendido entre el 2006 y el 2007, las concentraciones estuvieron en general por debajo del límite de detección, el cual fue menor (0,0002 mg/L) al utilizado en la última fase. Lo mismo ocurre al compararlo frente a las fases 1 y 2, cuando el límite de detección fue 0,001 mg/L. Sin embargo, hubo disminuciones del 50% en San Benito y Transversal 86 frente a la fase 1.



Continúa

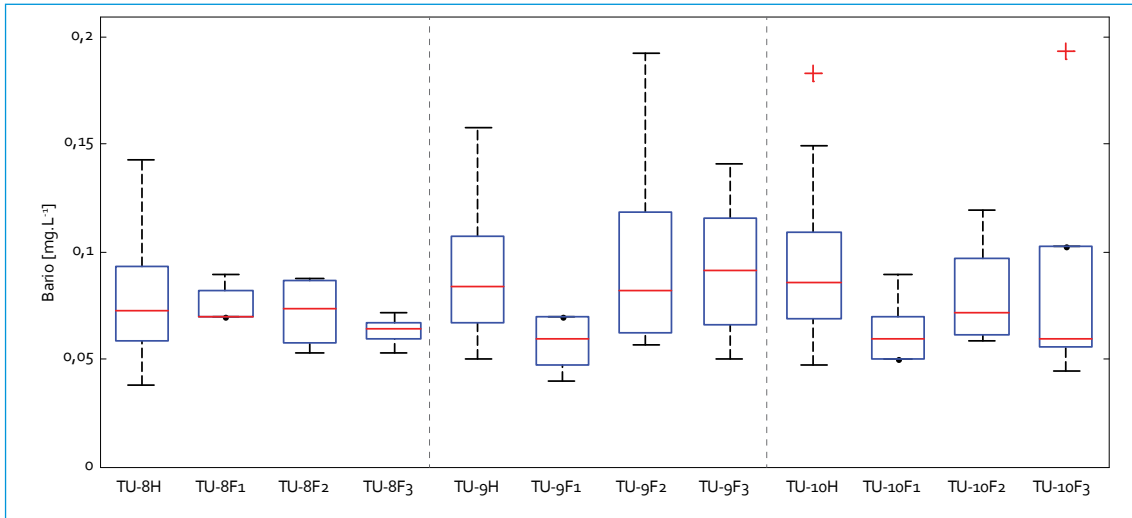
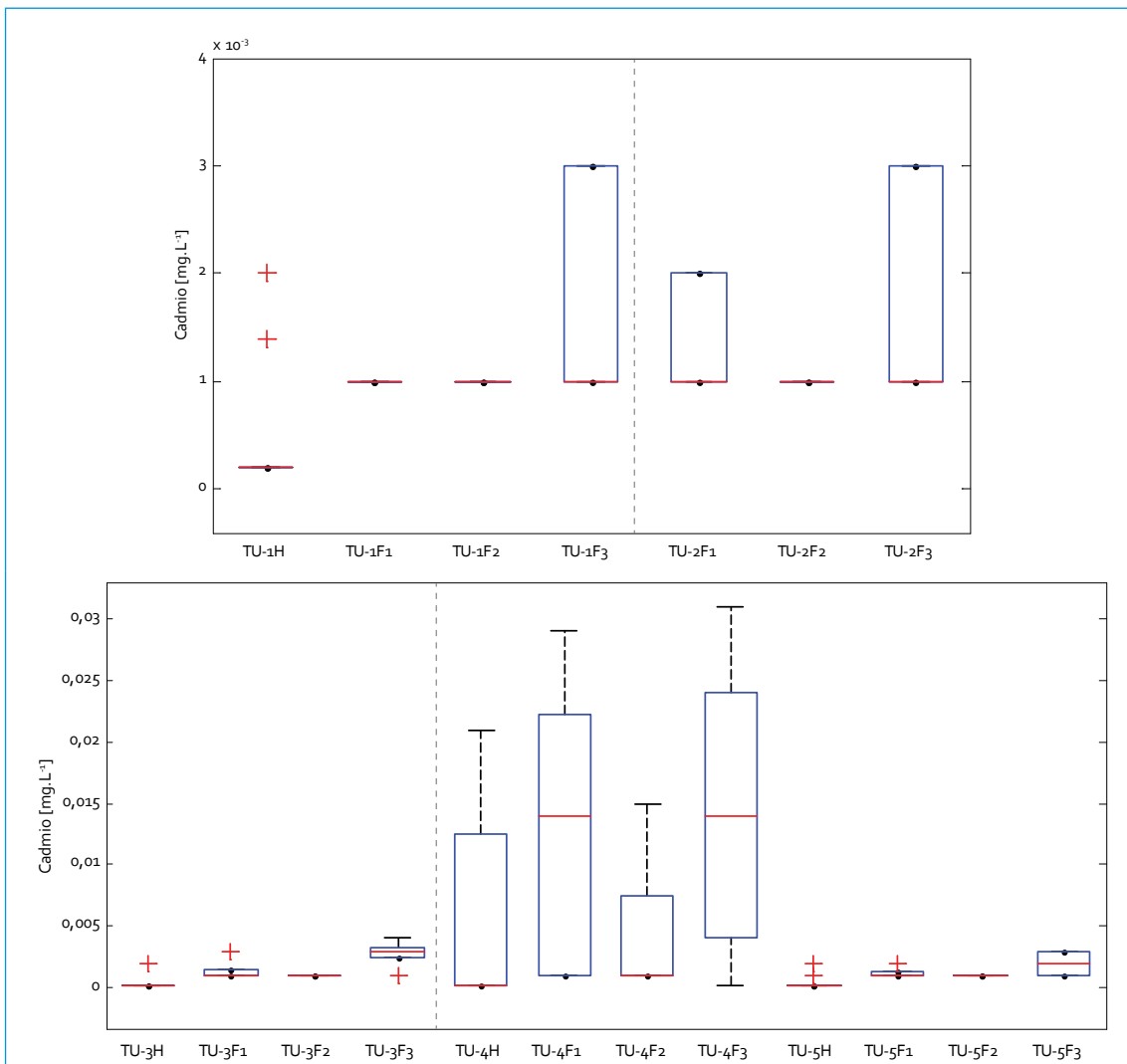


FIGURA 5.22. Perfil de bario: río Tunjuelo



Continúa

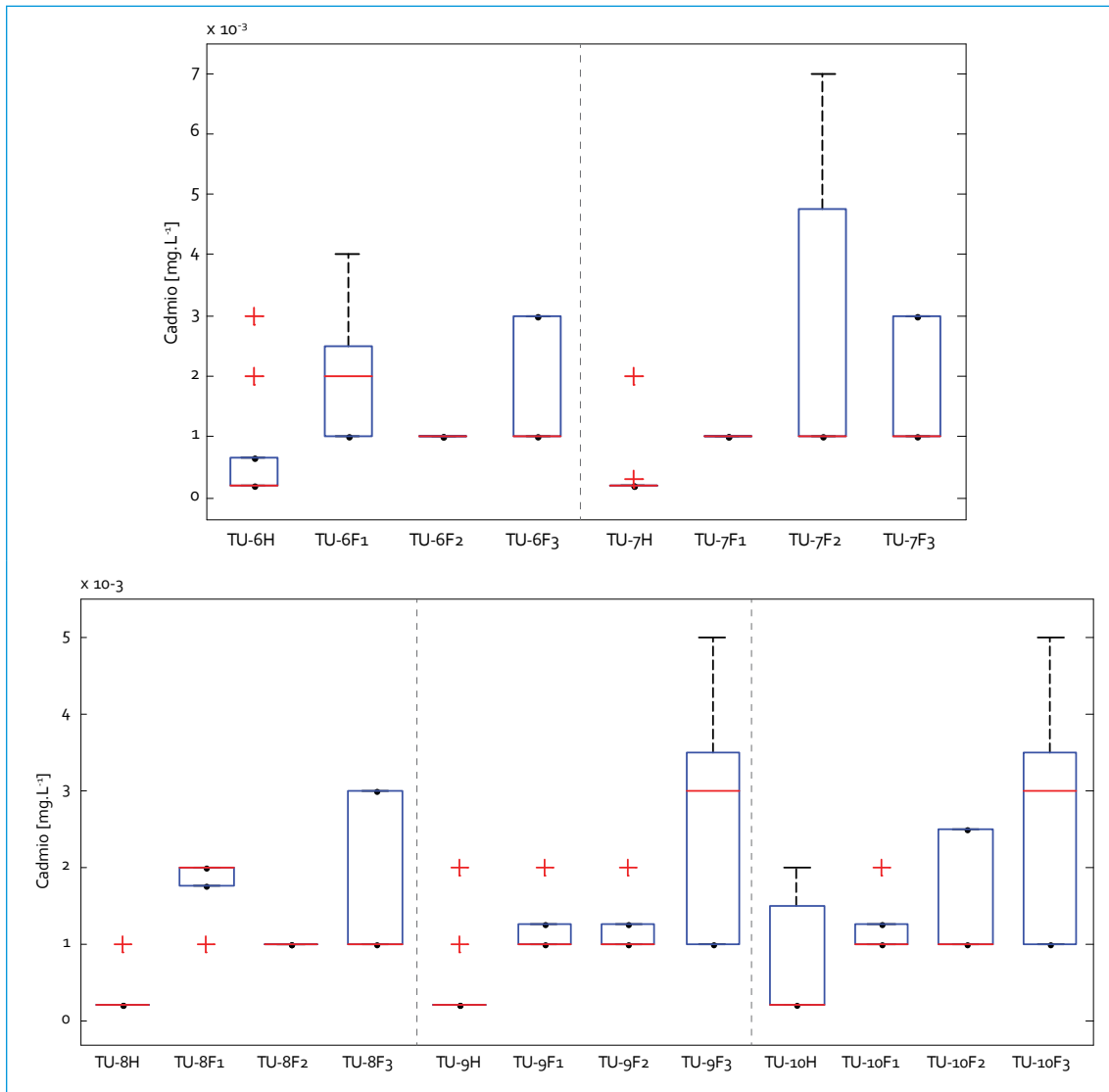
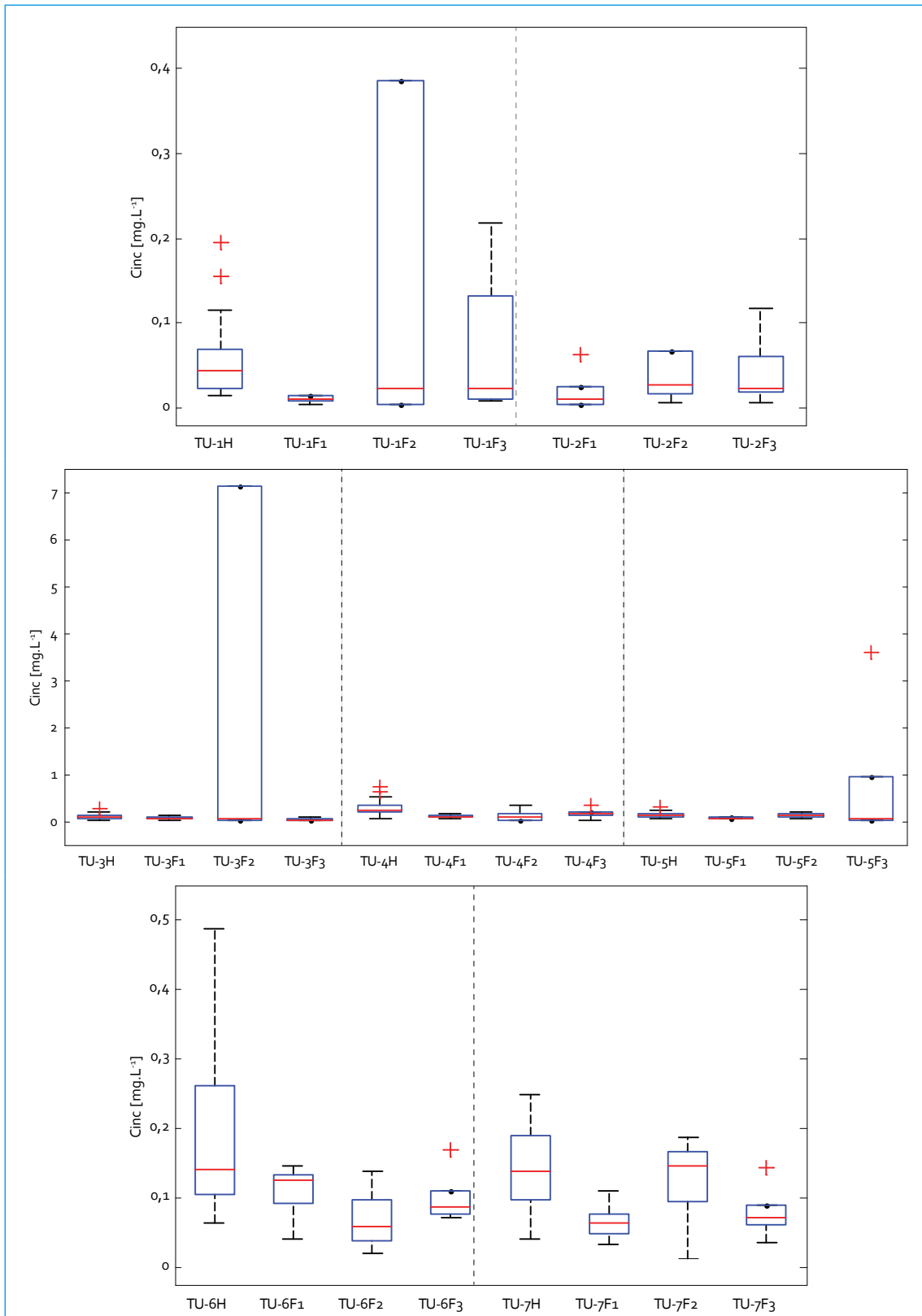


FIGURA 5.23. Perfil de cadmio: río Tunjuelo

5.1.1.17.3. Cinc

En la figura 5.24 se encuentra el perfil longitudinal del cinc, donde se aprecia que la concentración de este metal fue constante en los primeros tres puntos de monitoreo, con valores cercanos a los 0,025 mg/L. En Doña Juana, se presentó la concentración máxima (0,2 mg/L), mientras que en Barrio México

la concentración disminuyó por procesos de sedimentación, y en los puntos siguientes se presentó un incremento, hasta alcanzar los 0,13 mg/L en Isla Pontón. Respecto a los datos históricos, hubo una disminución en todos los puntos, y respecto a fases anteriores, se presentaron aumentos en La Regadera (F3 vs. F1), UAN (F3 vs. F1), Doña Juana (F3 vs. F1 y F3 vs. F2) y San Benito (F3 vs. F2).



Continúa

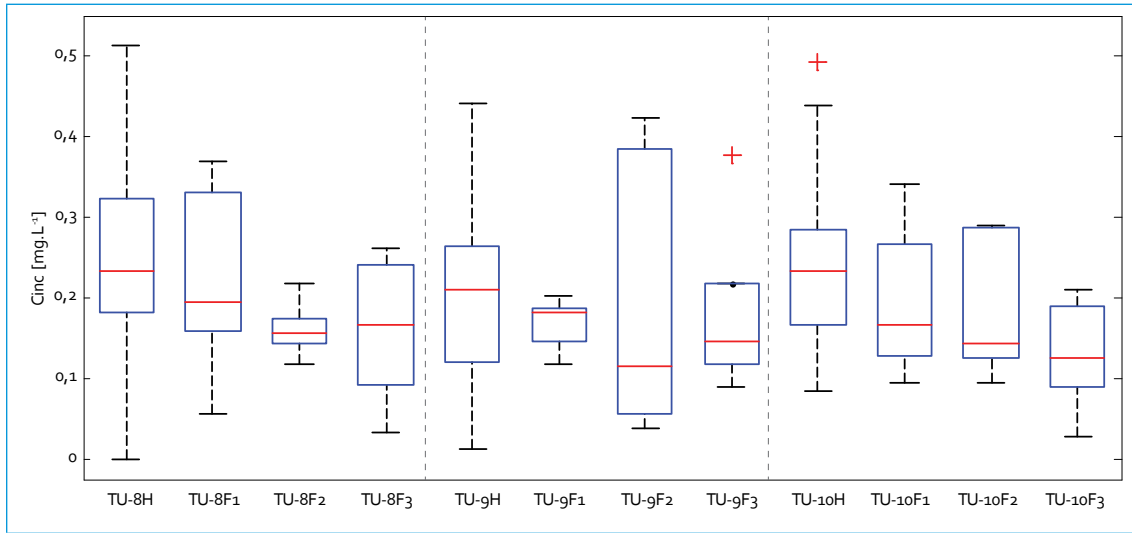


FIGURA 5.24. Perfil de cinc: río Tunjuelo

5.1.1.17.4. Cobre

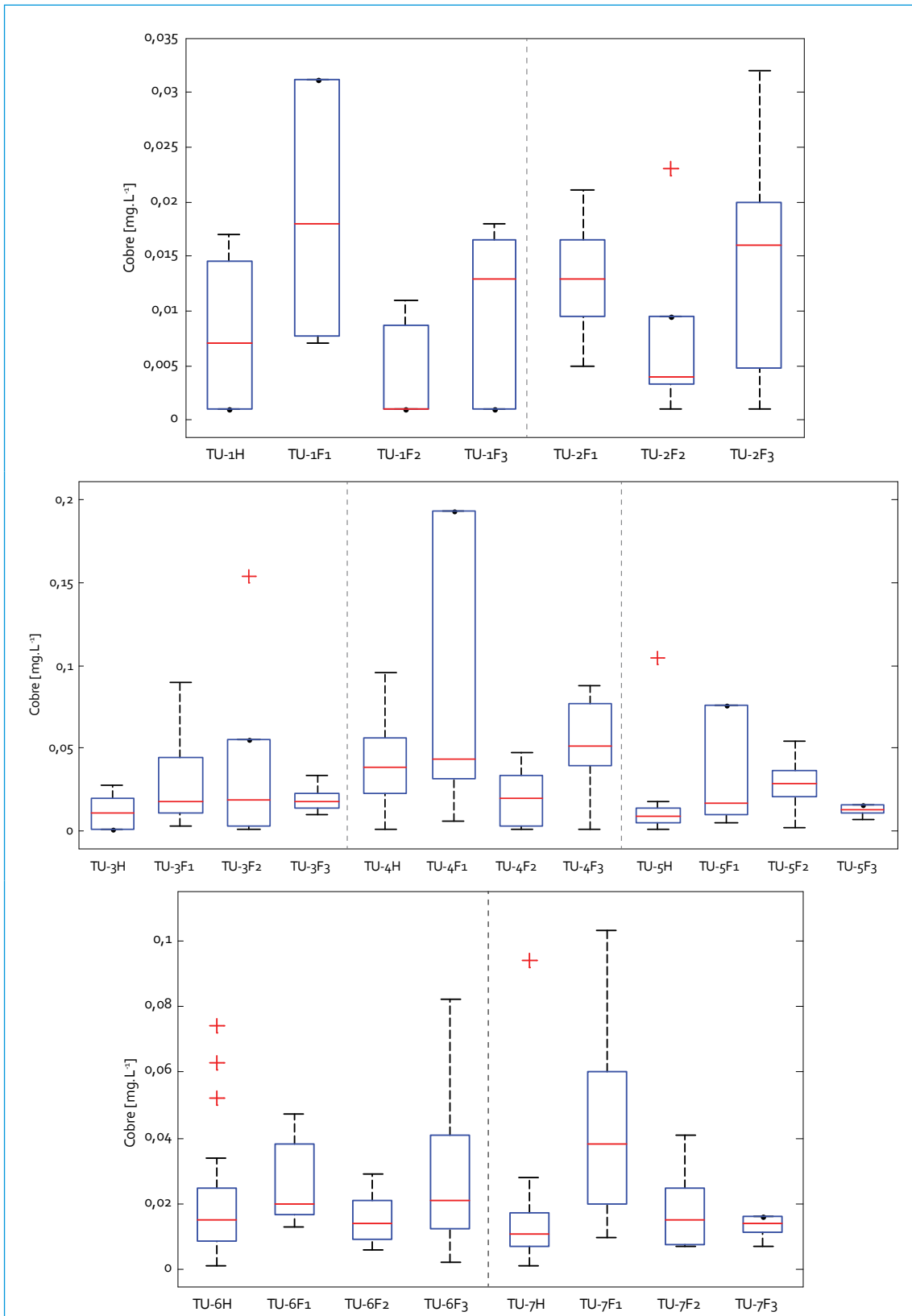
El cobre tuvo las concentraciones más bajas en La Regadera y Barrio México, con valores de 0,013 mg/L, y presentó dos picos, uno en Doña Juana y otro en Transversal 86, donde alcanzó valores de 0,054 y 0,036 mg/L, respectivamente (figura 5.25). Frente a la fase 1, en general las concentraciones de cobre se mantuvieron constantes, con mejoras en Makro Autosur, Puente de la Independencia e Isla Pontón. Frente a la fase 2, aumentaron en La Regadera, UAN, Doña Juana, San Benito y Puente de la Independencia, y disminuyeron en Barrio México e Isla Pontón. Durante los diferentes periodos de monitoreo se observaron los siguientes comportamientos:

- Constantes: UAN, Barrio México, San Benito y Puente de la Independencia
- Aumentos: La Regadera (86% F3 vs. H), Yomasa (64% F3 vs. H), Doña Juana 40(% F3 vs. H), Makro Autosur (45% F3 vs. H) y Transversal 86 (33% F3 vs. H).

- Disminución en concentración: Isla Pontón (54% F3 vs. H).

5.1.1.17.5. Cromo total

El cromo presentó una concentración cercana a los 0,007 mg/L en los primeros siete puntos, excepto en Doña Juana (0,09 mg/L); en Transversal 86 alcanzó el valor máximo (0,38 mg/L); aguas abajo, gracias a las condiciones meándricas del río y a la pendiente baja, se favorecieron los procesos de sedimentación y disminuyó la concentración del metal (figura 5.26). Durante los monitoreos se registró aumento en un solo punto, La Regadera (200% F3 vs. H); en los siguientes tres puntos fue constante (UAN, Yomasa, Doña Juana), y disminuyó en los puntos restantes: Barrio México (59% F3 vs. H), San Benito (59% F3 vs. H), Makro Autosur (71% F3 vs. H), Transversal 86 (52% F3 vs. H), Puente de la Independencia (80% F3 vs. H) e Isla Pontón (87% F3 vs. H). Respecto a fases anteriores, fue constante en la mayoría de los puntos; sin embargo, en Doña Juana aumentó



Continúa

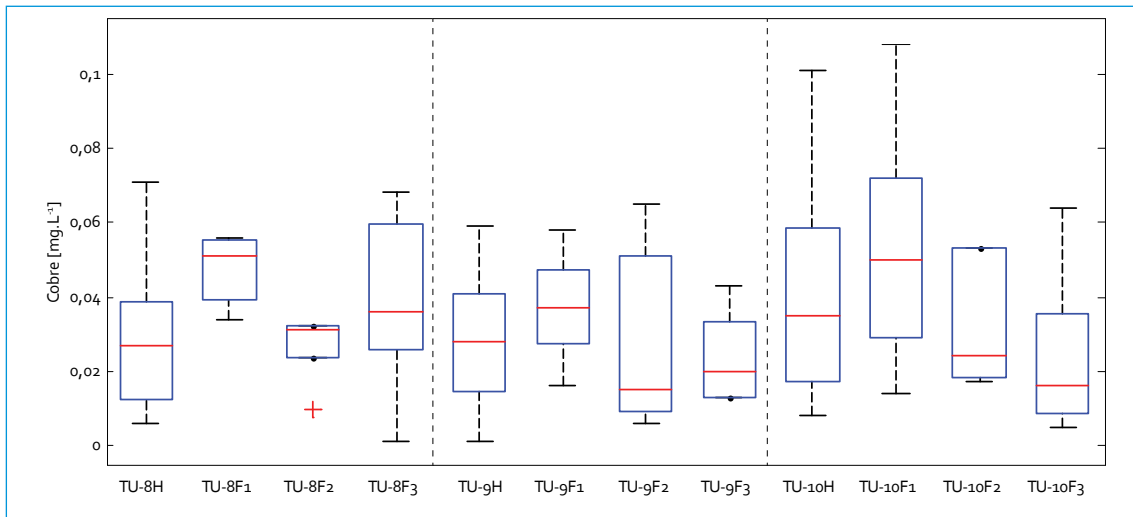
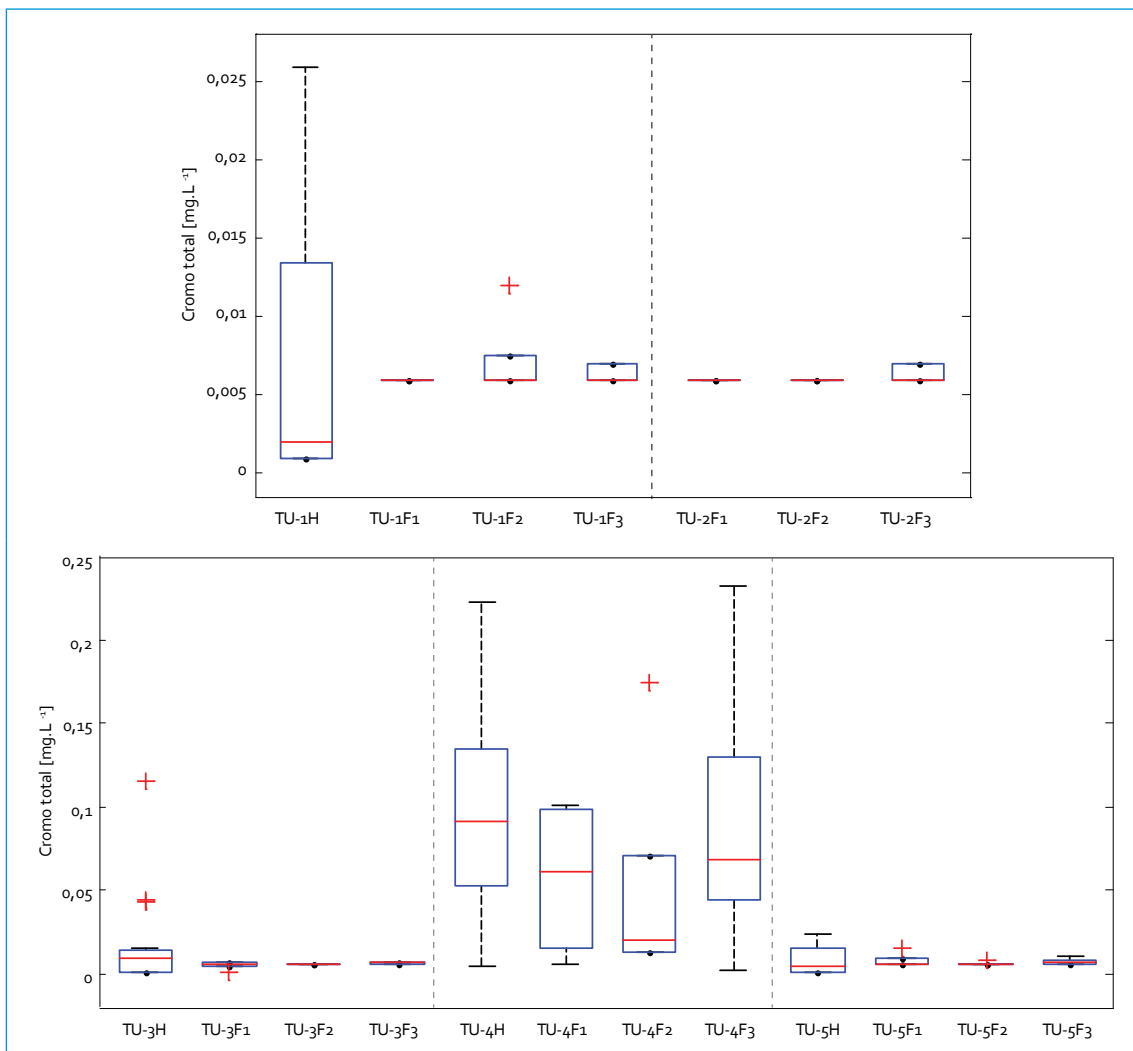


FIGURA 5.25. Perfil de cobre: río Tunjuelo



Continúa

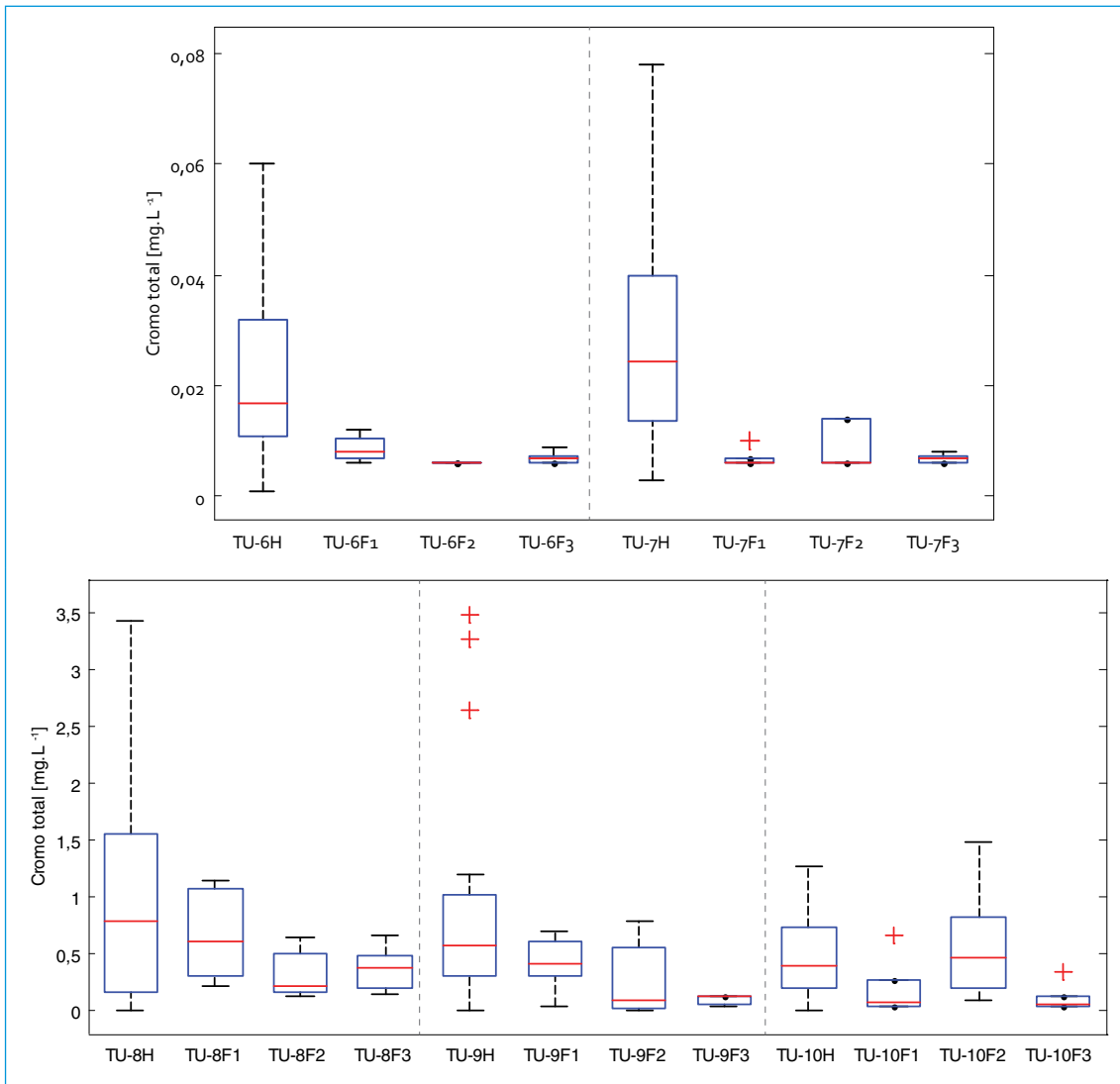


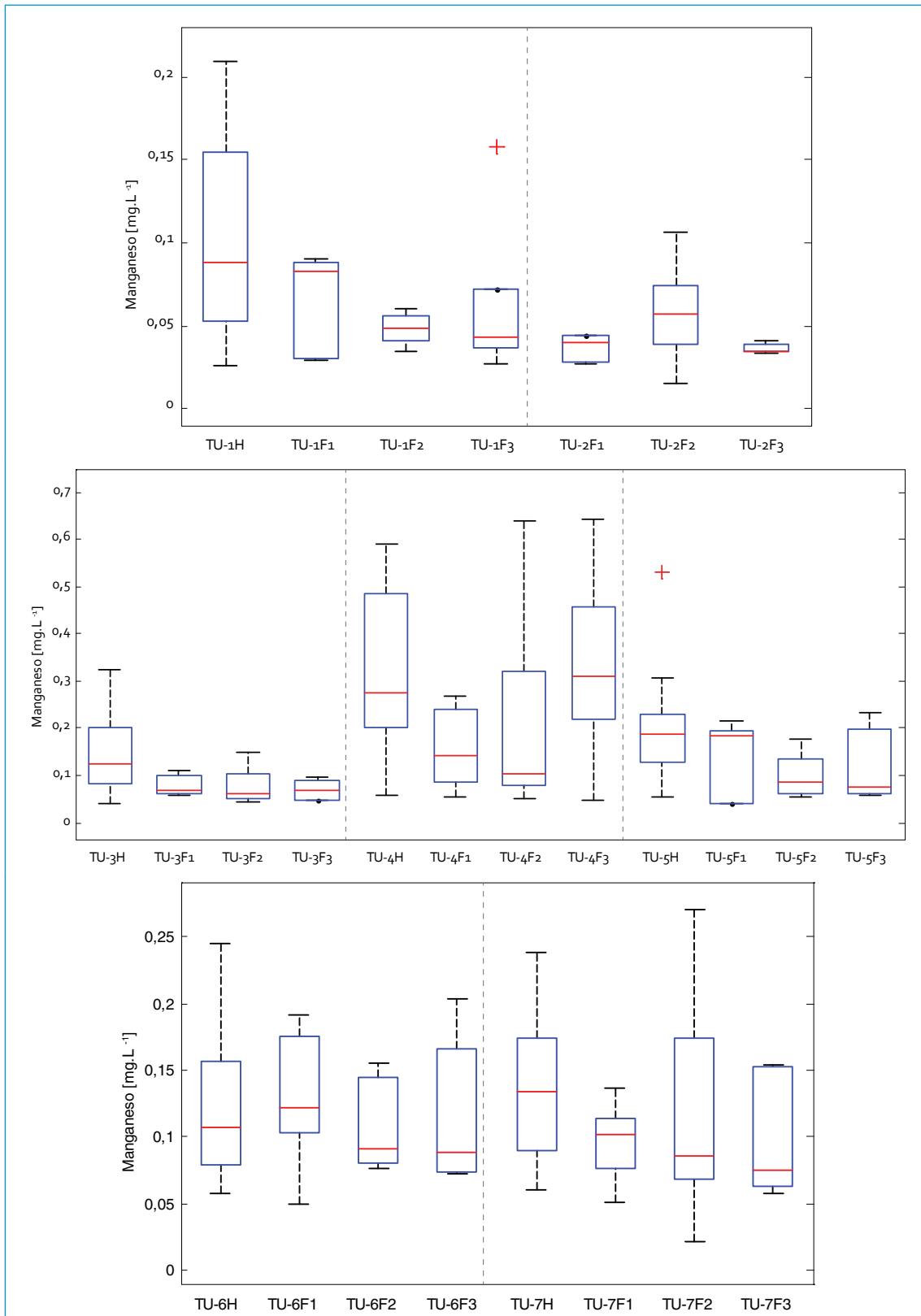
FIGURA 5.26. Perfil de cromo total: río Tunjuelo

respecto a F1 y F2, en Transversal 86 aumentó respecto a F2, en Puente de la Independencia aumentó respecto a F2 y en Isla Pontón disminuyó respecto a F2.

5.1.1.17.6. Manganeseo

Los primeros tres puntos presentaron concentraciones cercanas a los 0,05 mg/L (figura 5.27); en Doña Juana se alcanzó el valor máximo (0,34

mg/L) y en los últimos seis puntos (desde Barrio México hasta Isla Pontón) las concentraciones fueron cercanas a los 0,09 mg/L. Respecto a las fases anteriores, la concentración del manganeso disminuyó a lo largo del río, y en el peor de los casos se mantuvo constante, a excepción de Doña Juana (frente a las dos fases anteriores) y Puente de la Independencia (frente a la fase 2). En general se observaron los siguientes comportamientos:



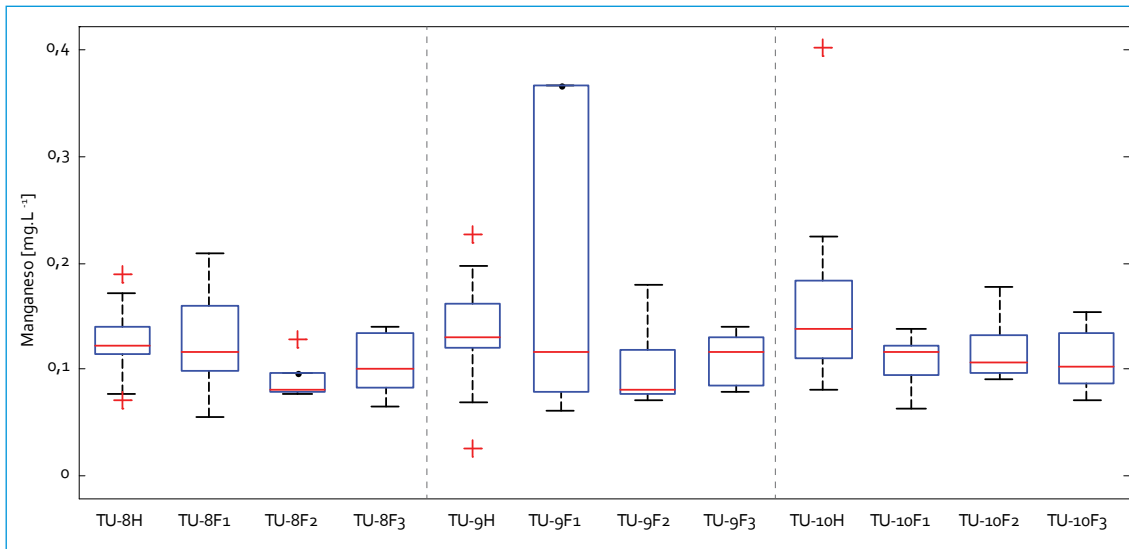


FIGURA 5.27. Perfil de manganeso: río Tunjuelo

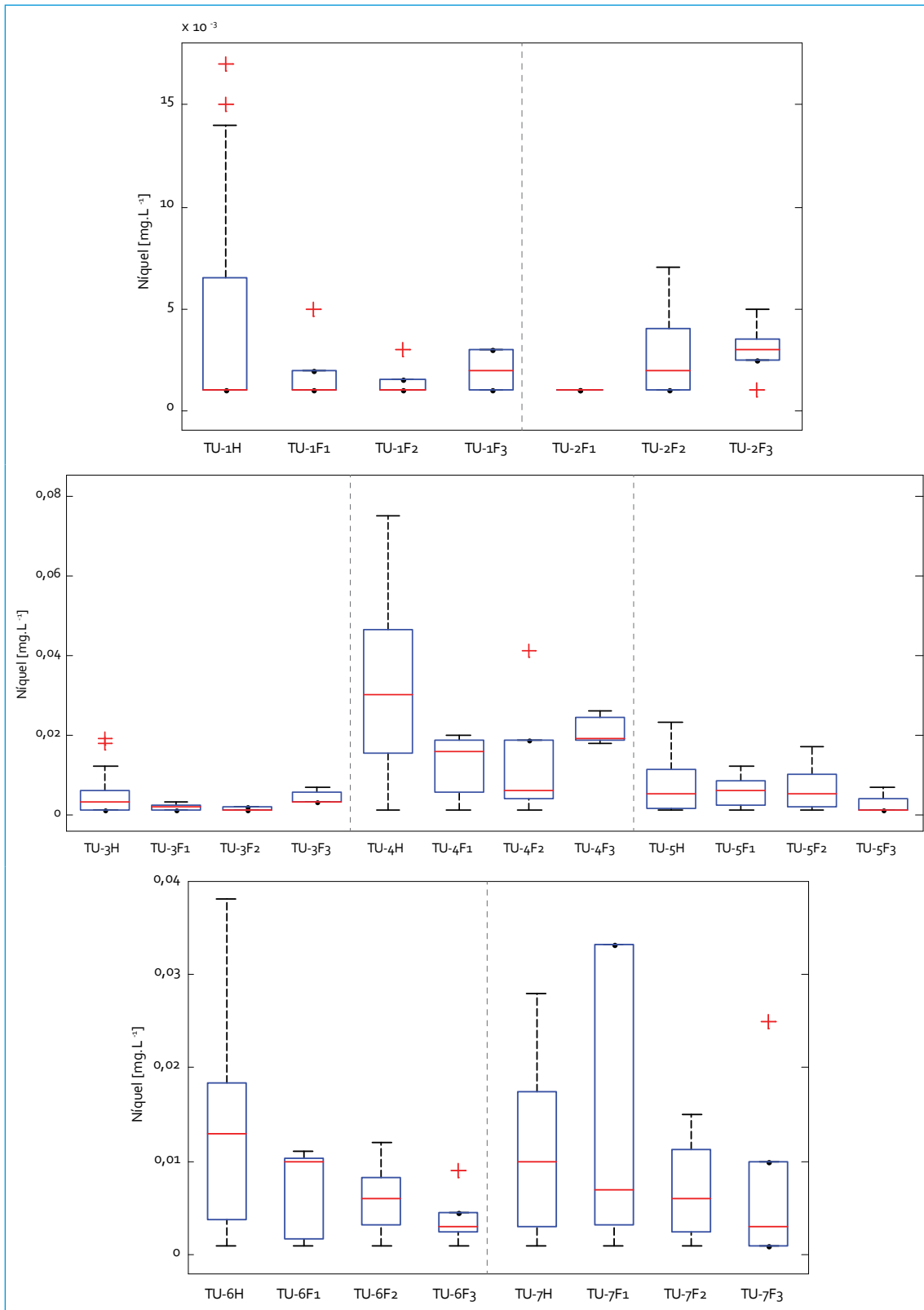
- Constantes: UAN, Doña Juana, San Benito, Transversal 86, Puente de la Independencia e Isla Pontón.
- Disminuciones: La Regadera (51% F3 vs. H), Yomasa (46% F3 vs. H), Barrio México (31% F3 vs. H) y Makro Autosur (39% F3 vs. H).
- Constantes: Yomasa y Transversal 86.
- Aumentos: La Regadera (100% F3 vs. H) y UAN (200% F3 vs. F1).
- Disminuciones: Doña Juana (37% F3 vs. H), Barrio México (92% F3 vs. H), San Benito (77% F3 vs. H), Makro Autosur (70% F3 vs. H), Puente de la Independencia (63% F3 vs. H) e Isla Pontón (70% F3 vs. H).

5.1.1.17.7. Níquel

Al igual que el bario, las concentraciones de níquel fueron constantes a largo del río, con la mayoría de los valores registrados por debajo del límite de detección o cercanos a este (0,001 y 0,003 mg/L para el 2011 y 2012, respectivamente), excepto en Doña Juana, donde la concentración alcanzó un valor de 0,019 mg/L, y en Transversal 86, donde alcanzó un valor de 0,007 mg/L (figura 5.28). En fases anteriores, hubo incrementos en Yomasa (respecto a las fases 1 y 2), Doña Juana (respecto a la fase 2) y Puente de la Independencia (respecto a las fases 1 y 2). Se apreciaron los siguientes comportamientos:

5.1.1.17.8. Plomo

El perfil longitudinal del plomo (figura 5.29) fue similar al del manganeso. Las concentraciones de los primeros tres puntos tuvieron registros cercanos a 0,005mg/L. De nuevo, en Doña Juana se alcanzó el valor máximo (0,028 mg/L; en los últimos seis puntos (desde Barrio México hasta Isla Pontón) los valores fueron cercanos a los 0,017 mg/L. Respecto a los datos históricos, se presentaron aumentos en todos los puntos (a excepción de UAN): La Regadera (67% F3 vs. H), Yomasa (367% F3 vs. H), Doña Juana (197% F3 vs. H), Barrio México



Continúa

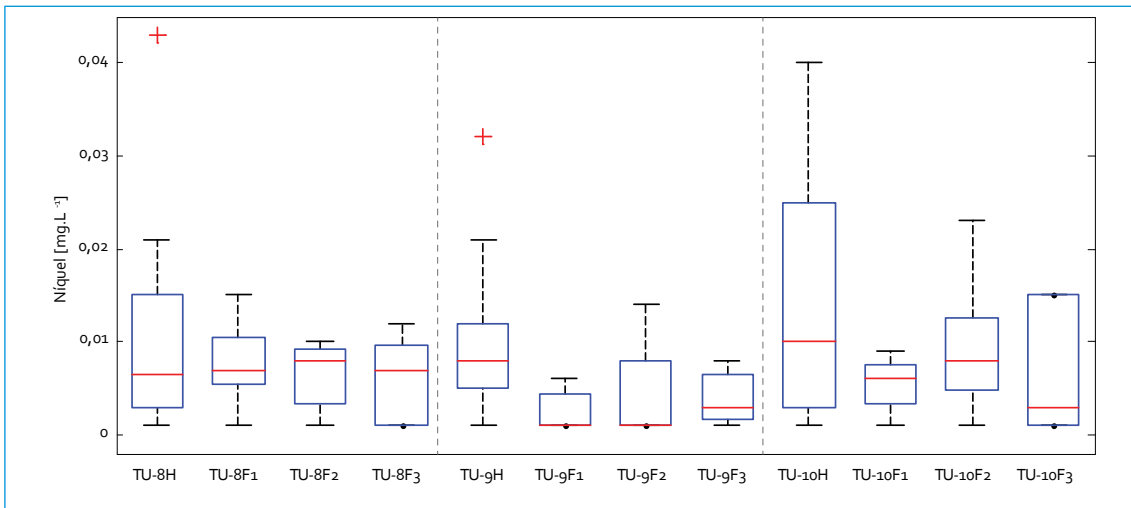
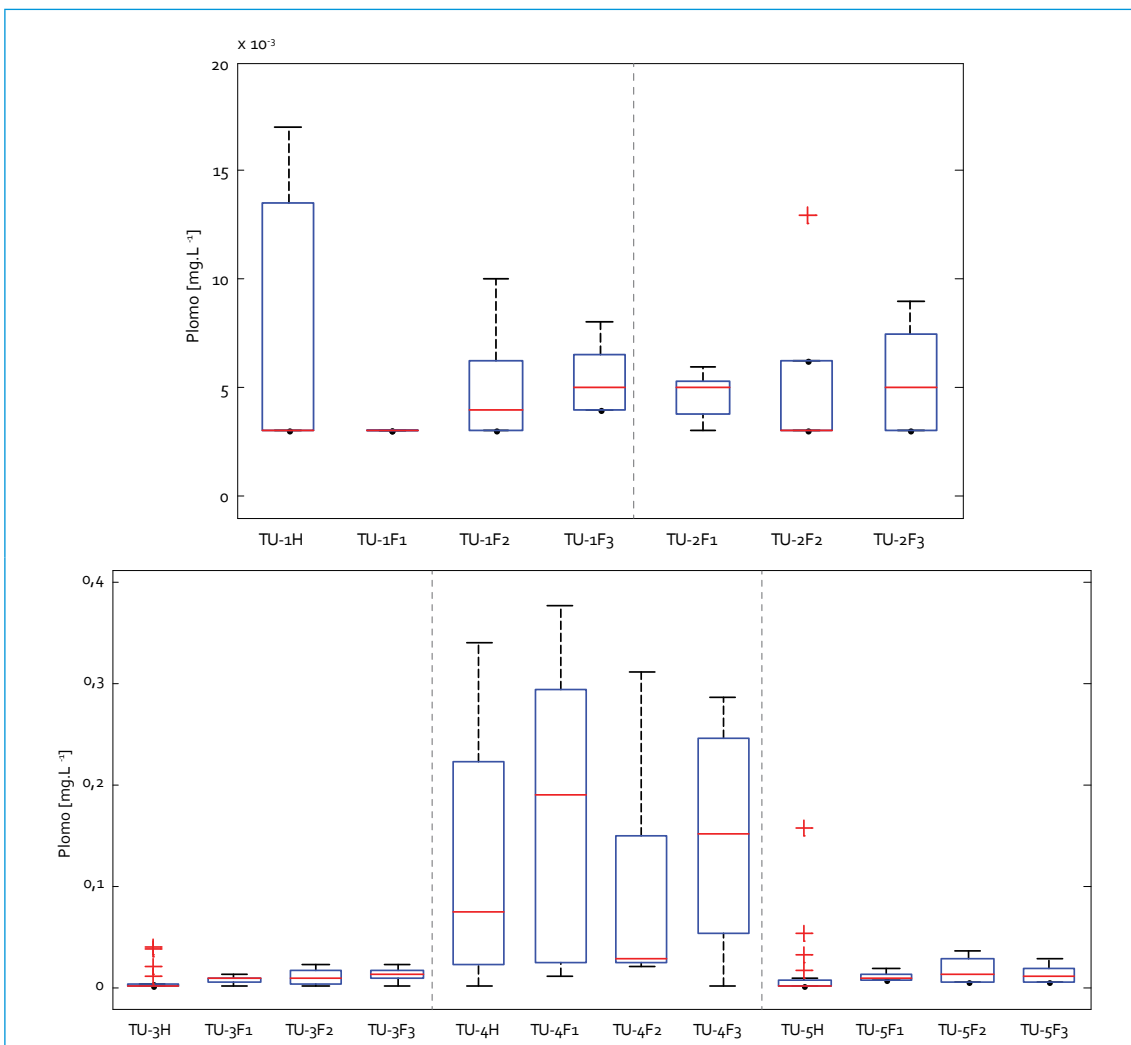


FIGURA 5.28. Perfil de níquel: río Tunjuelo



Continúa

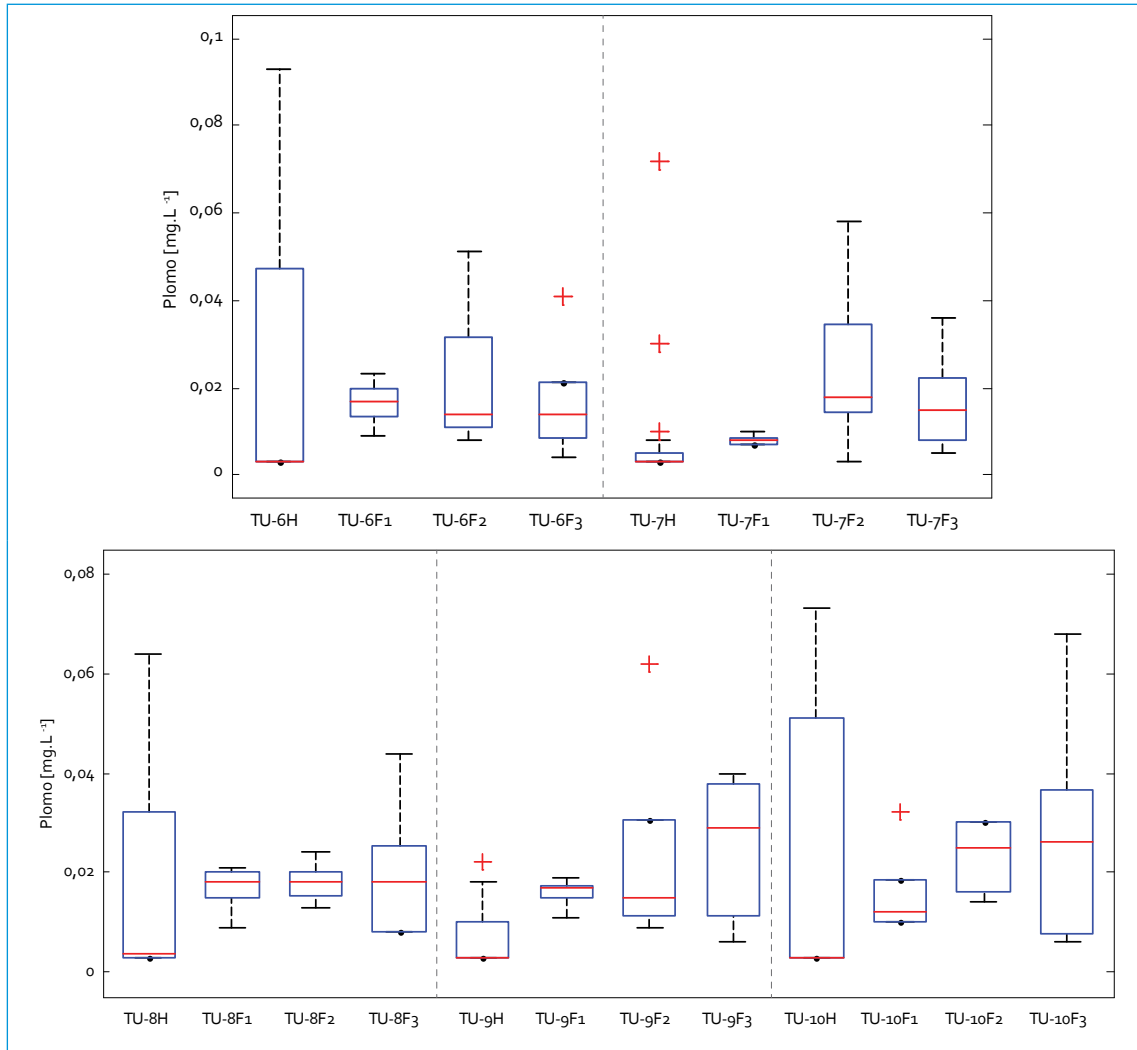


FIGURA 5.29. Perfil de plomo: río Tunjuelo

(267% F₃ vs. H), San Benito (367% F₃ vs. H), Makro Autosur (383% F₃ vs. H), Transversal 86 (414% F₃ vs. H), Puente de la Independencia (867% F₃ vs. H) e Isla Pontón (767% F₃ vs. H). En relación con las fases anteriores, en general se mantuvo constante, pero hubo aumentos en algunos puntos: La Regadera (respecto a la fase 1), UNA TU-2 (respecto a la fase 2), Yomasa (respecto a las fases 1 y 2), Doña Juana (respecto a la fase 2), Makro Autosur (respecto a la fase 1) y Puente de la Independencia (respecto a las fases 1 y 2).

5.1.2. Cargas contaminantes

5.1.2.1. DBO₅

En la tabla 5.2 se presenta la carga promedio transportada de DBO₅ en la fase 3. Este parámetro presentó un aumento a lo largo del río: comenzó con una carga de 132 t/año en el tramo 1 y llegó a su valor máximo de 32 469 t/año en el tramo 4. Los aumentos más significativos se presentaron en el tramo 2, debido a las descargas de las quebradas La Tasa y Yomasa,

y en el tramo 4, debido a que aguas arriba se encuentra la descarga del interceptor Tunjuelo Medio, el cual aporta una cantidad importante de materia orgánica. La disminución en el tramo 3 está relacionada con procesos de sedimentación y biodegradación que se llevan a cabo en la ZMI.

TABLA 5.2. Carga promedio transportada DBO_5 : río Tunjuelo

Parámetro	Río Tunjuelo (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
DBO_5	132	5475	2333	32 469

El perfil longitudinal de cargas de DBO_5 en el río Tunjuelo se presenta en la figura 5.30, donde se muestran dos escalas, debido a la diferencia entre las cargas de los primeros tramos respecto al último, con el fin de apreciar mejor los cambios entre los tramos y la dispersión de los datos. Estos valores se comparan con la media histórica, con los valores de las fases 1 y 2, con el PSMV y con las metas de reducción (esta última, solo a partir del segundo tramo).

En el tramo 1 el promedio de la carga superó por un gran margen la media histórica (0,5 t/año) y la media de la fase 1 (20 t/año) y fue constante respecto a la fase 2. Puesto que no se disminuyó la carga respecto a la media histórica, es claro que aún no se ha avanzado en el tiempo para alcanzar la meta del PSMV. No obstante, es importante resaltar que en este tramo el caudal se ve influenciado por la operación del embalse La Regadera, lo que afectó las cargas registradas en los diferentes periodos, teniendo en cuenta que las concentraciones no tuvieron una variación importante (promedio: 1,6 mg/L), excepto durante la fase 1, cuando se alcanzó una concentración promedio máxima igual a 3,7 mg/L.

Para el caso del tramo 2, se notó un aumento considerable frente a la carga media del tramo anterior; el cambio entre los dos puntos fue de casi 42 veces, lo lleva a que este sea el parámetro que mayor diferencia tuvo entre los dos tramos. Las cargas de DBO_5 para este tramo (punto de monitoreo Doña Juana) fueron más variables y más elevadas que las

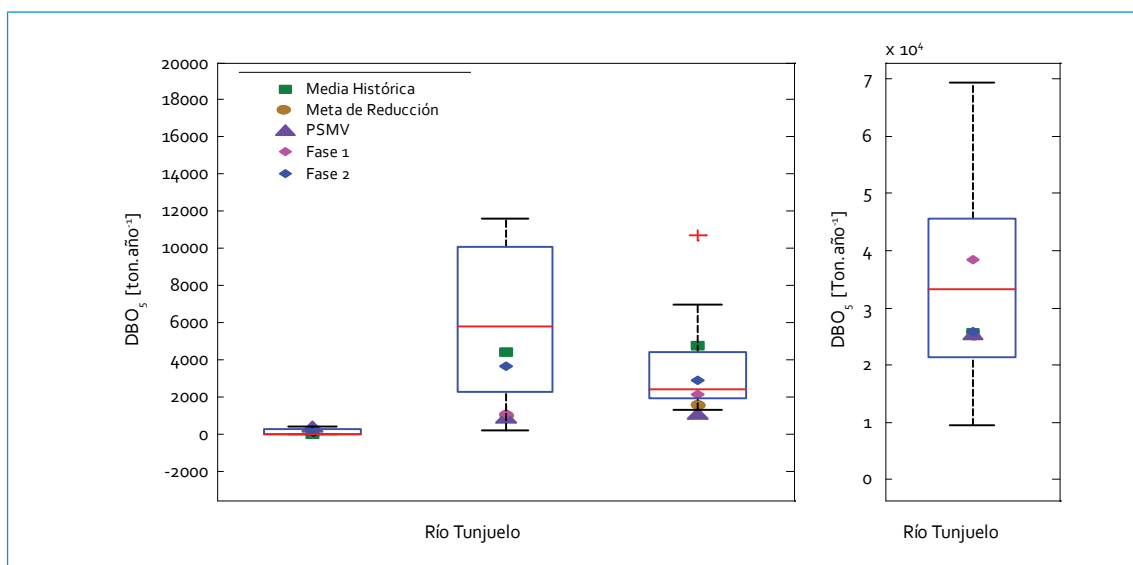


FIGURA 5.30. Perfil de cargas DBO_5 : río Tunjuelo

del tramo 1, ya que las cargas fluctuaron en un rango de 199 a 11 566 t/año. Por otro lado, en el tramo 2 hubo un aumento de cargas a lo largo del tiempo, pues se observó que la carga promedio actual fue relativamente constante respecto a la histórica (4380 t/año), y aumentó respecto a la fase 1 (1104 t/año) y a la fase 2 (3656 t/año), lo que muestra que la calidad del agua desmejoró respecto a las fases anteriores cuando se había observado una reducción de carga. Acorde con lo anterior, durante este periodo no se alcanzaron las metas de reducción ni del PSMV.

En el tramo 3 la variabilidad de los datos fue menor a la del tramo anterior, con cargas entre 1288 t/año y 6966 t/año. La media actual fue constante respecto a la fase 1 (2106 t/año) y a la fase 2 (2895 t/año), y disminuyó respecto al histórico (4773 t/año), así que al reducir la carga en 2440 t, se cumplió totalmente con la meta de reducción (1550 t) y la del PSMV (1000 t). En el último tramo las cargas cambiaron de manera significativa respecto al tramo 3: su valor se incremento en casi 14 veces, como consecuencia de las altas concentraciones de DBO_5 aportadas por el interceptor Tunjuelo Medio. La carga para este tramo se mantuvo constante respecto al histórico (25 580 t/año) y respecto las fases anteriores, por lo que no se alcanzó la meta de reducción ni del PSMV.

5.1.2.2. DQO

La carga de DQO tuvo una tendencia al aumento a lo largo del río y se mantuvo constante en los tramos intermedios. Como se ve en la tabla 5.3, los incrementos más significativos también se presentaron en el segundo tramo (aumentó once veces respecto al primero) y en el cuarto (aumentó nueve veces respecto al tercero). La figura 5.31 presentó el perfil longitudinal

de DQO. El importante aumento de DQO en el tramo 2, con relación al tramo 1, refleja el gran impacto de las descargas residuales que se realizan en el río, teniendo en cuenta que las cargas estuvieron entre 3225 y 22 943 t/año. La media de DQO actual estuvo por encima del promedio histórico (8992 t/año) y de la fase 1 (3797 t/año), lo que muestra aumentos del 13% y 168%, respectivamente, y un valor constante frente a la fase 2 (10 440 t/año). El valor de la carga media durante la fase 1 se asoció a las condiciones climáticas (tiempo seco). Según lo anterior, no se está cumpliendo con las metas de reducción.

TABLA 5.3. Carga promedio transportada DQO: río Tunjuelo

Parámetro	Río Tunjuelo (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
DQO	913	10 186	10 302	94 108

El tramo 3 mostró un comportamiento constante frente a la carga media del tramo anterior; este fue uno de los parámetros que menor diferencia tuvo entre los tramos 2 y 3. A pesar de esto, se debe resaltar que en el tramo 3 también se observó una variación importante de los datos, ya que el rango estuvo entre 4711 t/año y 47 066 t/año. En cuanto a periodos anteriores, hubo una disminución frente al promedio histórico (11 730 t/año), lo que implica una reducción de 1429 t; es decir, se cumplió con el 27% de la meta. Por otro lado, hubo una desmejora respecto la fase 1 (7340 t/año) y una mejora respecto a la fase 2 (15 553 t/año). Finalmente, en el tramo 4 se presentó un incremento importante respecto al tramo anterior, pues se alcanzó una carga de 94 108 t/año. Al analizar las cargas en el tiempo, la carga promedio actual aumentó

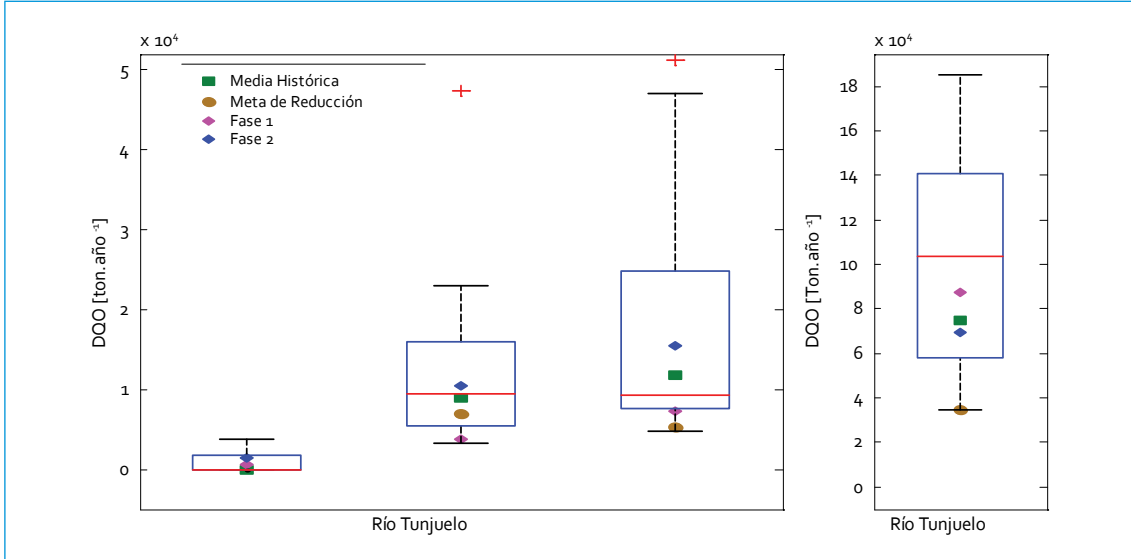


FIGURA 5.31. Perfil de cargas DOO: río Tunjuelo

con relación al histórico (74 893 t/año), a la fase 1 (87 742 t/año) y a la fase 2 (69 337 t/año), lo que causó que no se alcanzaran las metas de reducción.

5.1.2.3. SST

La tabla 5.4. y la figura 5.32 muestran que las cargas de SST, al igual que las de la DBO₅, aumentaron a lo largo del río, con una disminución significativa en el tercer tramo: comenzó en La Regadera con 4052 t/año y alcanzó su valor máximo en Isla Pontón, con 96 100 t/año.

TABLA 5.4. Carga promedio transportada SST: río Tunjuelo

Parámetro	Río Tunjuelo (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
SST	4052	54 379	25 551	96 100

Pese a que el primer tramo presentó las menores cargas, se evidenció una variación significativa, ya que los valores oscilaron entre las 0,78 y 13 161 t/año. En general, se ha venido

presentando un aumento en las cargas en el tiempo, donde el incremento más significativo se dio respecto al histórico (1,3 t/año), mientras que los cambios frente las fases 1 y 2 representaron aumentos alrededor de cuatro y dos veces, respectivamente. Debido a lo anterior, es claro que no se logró la meta del PSMV.

La carga para el segundo tramo aumentó hasta once veces respecto al tramo anterior, lo cual se debe a las descargas de sólidos generados por las canteras explotadas cerca a la ronda del río. La variación de los datos fue importante, con cargas entre 5680 y 164 863 t/año, lo que refleja el impacto causado por las actividades desarrolladas en la zona. Respecto a la media histórica (56 300 t/año) y a la fase 2, hubo una pequeña disminución, y respecto a la fase 1, se mantuvo aproximadamente constante. La reducción respecto a la media histórica implicó un cumplimiento del 9% de la meta de reducción y del 100% del PSMV, lo que indica que aún faltan esfuerzos para cumplir la meta de reducción. Por su parte, la carga del tercer tramo disminuyó casi en 50% respecto al tra-

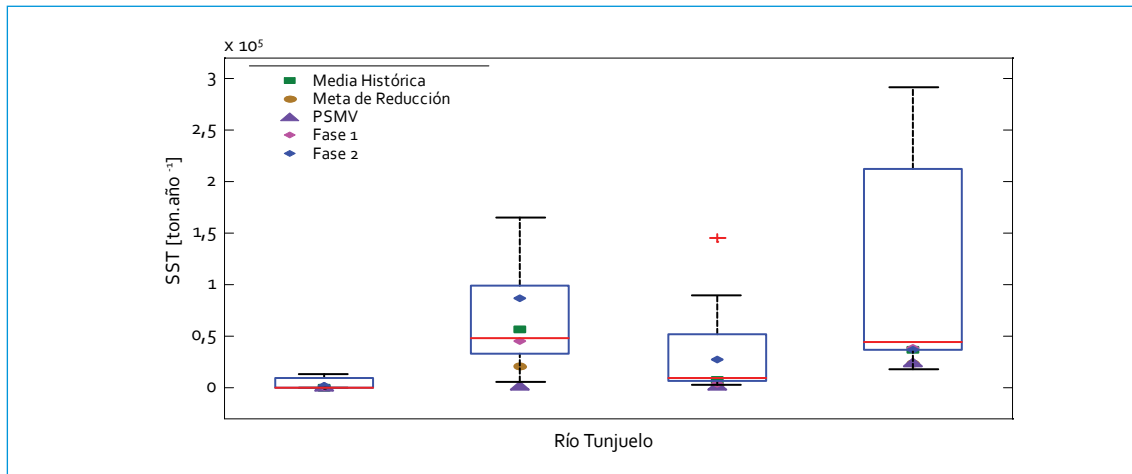


FIGURA 5.32. Perfil de cargas SST: río Tunjuelo

mo 2, debido a la sedimentación que se lleva a cabo en la ZMI. Sin embargo, la carga aumentó respecto a la media histórica y a la media de la fase 1, pero se mantuvo constante respecto a la fase 2. Los resultados anteriores muestran que no se alcanzaron las metas de reducción ni del PSMV. En el último tramo la carga aumentó hasta trece veces respecto al tramo anterior, a causa de los vertimientos del interceptor Tunjuelo Medio. Respecto a periodos anteriores, solo se presentaron incrementos de la carga, lo que implica que se requieren más esfuerzos para el cumplimiento de la meta.

5.1.2.4. Nitrógeno total

En la figura 5.33 se encuentra el perfil longitudinal del nitrógeno total. Como sucedió con la materia orgánica, se observaron dos rangos de valores para las cargas, los más bajos corresponden a los primeros tres tramos (tabla 5.5.).

TABLA 5.5. Carga promedio transportada N_{total} : río Tunjuelo

Parámetro	Río Tunjuelo (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
N_{total}	122	1083	1074	8258

En el primer tramo se registran los valores más bajos. Aunque en el perfil longitudinal no sea tan claro, las cargas tuvieron una variabilidad importante, pues oscilaron entre 0,12 y 386 t/año. La media de la carga actual estuvo por encima del histórico (0,38 t/año), lo cual se asocia a los altos caudales presentados durante la última fase, ya que las concentraciones fueron relativamente constantes. Cabe resaltar que durante los monitoreos históricos se presentaron las mayores concentraciones de nitrógeno total (2,1 mg/L). Respecto a otros periodos, se presentó un aumento significativo frente al histórico (0,38 t/año) y a la fase 1 (78 t/año), mientras que frente a la fase 2 se mantuvo constante.

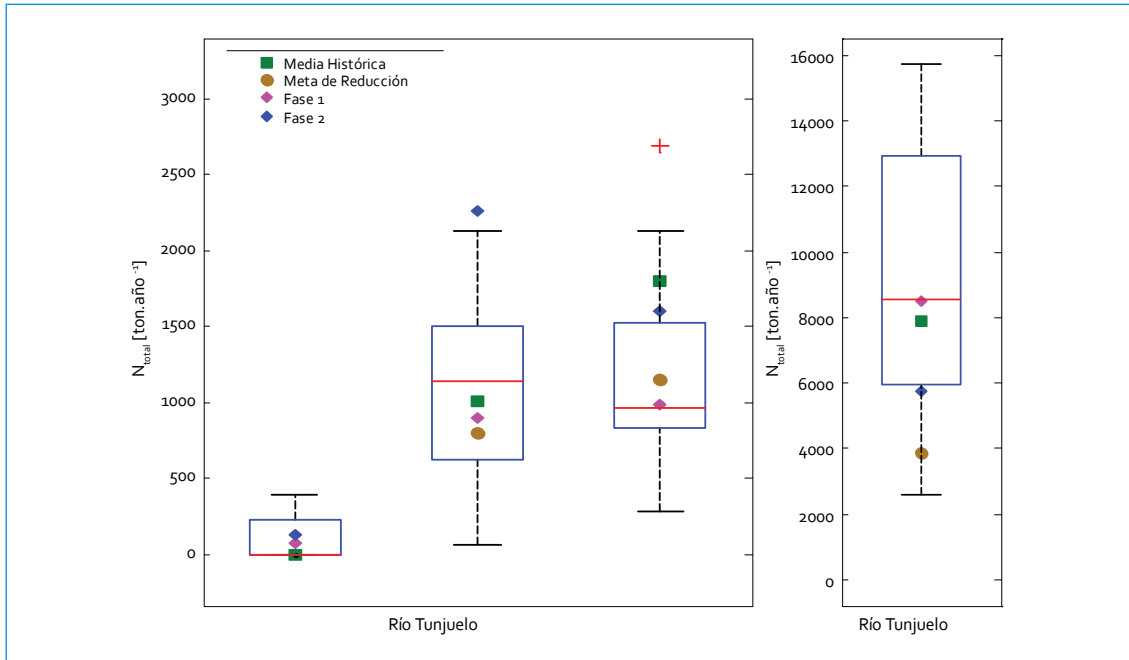


FIGURA 5.33 Perfil de cargas N_{total} : río Tunjuelo

En el caso del tramo 2 hubo un aumento en la carga respecto al tramo anterior, debido a los lixiviados generados por el relleno sanitario Doña Juana. Las cargas oscilaron entre 59 y 2133 t/año; se mantuvieron constantes respecto a los datos históricos (no se alcanzó la meta de reducción) y a la fase 1, y presentaron una disminución del 52% respecto a la fase 2. En el tramo 3 se observó una variabilidad menor en los datos, con una pequeña disminución respecto al tramo anterior, a causa de los procesos de sedimentación y eutroficación que se llevan a cabo aguas arribas de Barrio México. Se presentó una disminución de la carga media respecto a la histórica, lo cual se reflejó en el 64% de cumplimiento de la meta. En el último tramo hubo un incremento significativo de hasta casi ocho veces respecto al tramo anterior, con cargas entre 2605 y 15 730 t/año.

Con relación a la carga histórica y a la fase 1, se mantuvo aproximadamente constante y aumentó respecto a la fase 2. No se alcanzó la meta de reducción en este tramo.

5.1.2.5. Fósforo total

Aunque esto no se puede apreciar en la gráfica, las cargas en el tramo 1 presentaron alta variabilidad, con valores entre 0,009 y 54 t/año. Respecto a los periodos anteriores, se observó que la carga aumentó, lo que se atribuye a la temporada de lluvia o a la operación del embalse La Regadera, hechos que pueden influir en las cargas (figura 5.34). Cuanto más húmedo el periodo, mayores fueron las cargas; sumado a esto, la concentración para este tramo no varió de forma significativa a lo largo del tiempo: su valor promedio fue de 0,21 mg/L (tabla 5.6).

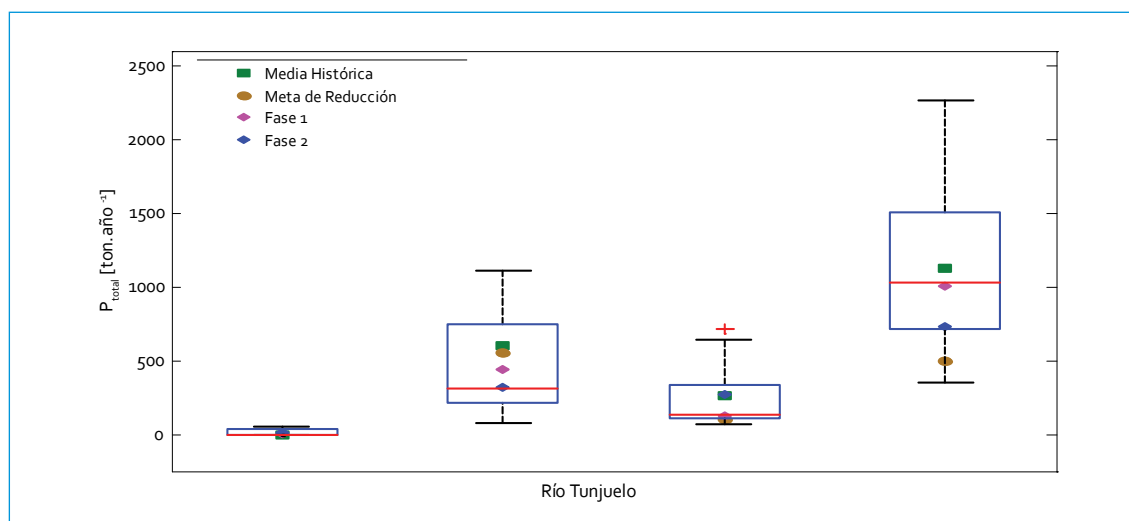


FIGURA 5.34 Perfil de cargas P_{total} : río Tunjuelo

TABLA 5.6. Carga promedio transportada P_{total} : río Tunjuelo

Parámetro	Río Tunjuelo (t/año)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
P_{total}	17	427	191	1053

En el tramo 2 se presentó un incremento significativo en la carga media respecto al tramo anterior, lo cual está asociado, como se mencionó, con los vertimientos de lixiviados. Las cargas muestran una variación importante, entre 77 y 8626 t/año, con una carga promedio de 427 t/año, menor a la histórica (603 t/año), constante frente a la carga obtenida en la fase 1 (441 t/año) y mayor en relación a la fase 2 (323 t/año), lo cual muestra una tendencia variable de cargas a lo largo del tiempo. A partir de estos resultados, la meta de reducción (550 t/año) se alcanzó en 32%.

En cuanto al tercer tramo la carga decreció respecto al tramo anterior, debido a la fijación de nutrientes que ocurre en este tramo, como se mencionó. Respecto a periodos anteriores se presentó una disminución frente a la carga

histórica (264 t/año), así como frente a la fase 2 (274 t/año); sin embargo, hubo un incremento respecto a la fase 1 (122 t/año). Se alcanzó un cumplimiento del 73% de la meta de reducción en este tramo.

Para el último tramo se presentó un incremento en la carga hasta alcanzar 1053 t/año. En comparación con la media histórica (1127 t/año) y con la fase 1 (1002 t/año), la carga actual permaneció constante; sin embargo, se notó un aumento respecto a la fase 2 (730 t/año). Según lo anterior, se cumplió con el 15% de la meta de reducción (500 t).

5.1.2.6. Grasas y aceites

La presencia de grasas y aceites se relaciona con vertimientos de tipo residual doméstico, los cuales se presentan a lo largo del río Tunjuelo. La tabla 5.7 muestra que las grasas y aceites en los primeros tres puntos tuvieron un incremento leve conforme se avanzó en el recorrido del río; en el último tramo se presentó un cambio más significativo: un aumento de veintiséis veces respecto al tramo anterior,

por esta razón se muestran dos escalas para representar su perfil longitudinal (figura 5.35). Este parámetro fue el que presentó un mayor cambio entre los tramos 3 y 4.

TABLA 5.7. Carga promedio transportada de grasas y aceites: río Tunjuelo

Parámetro	Río Tunjuelo (t/año)			
	T1	T2	T3	T4
Grasas y aceites	465	583	565	14 846

Las cargas de grasas y aceites en el tramo 1 del río Tunjuelo oscilaron entre 0,26 y 1838 t/año, lo que refleja una alta variabilidad: la carga media estuvo por encima de la histórica (9,8 t/año), fue constante respecto a la fase 1 (151 t/año) y disminuyó respecto a la fase 2 (523 t/año). En el tramo 2 la variabilidad de los datos aumentó, con cargas entre 52 y 11 698 t/año. La

media actual (583 t/año) se mantuvo constante respecto al histórico (474 t/año) y a la fase 2 (617 t/año) y aumentó frente a la fase 1 (153 t/año). En el tercer tramo la carga se mantuvo constante respecto al histórico (620 t/año) y a fase 1 (520 t/año) y disminuyó respecto a la fase 2 (1737 t/año); para este tramo la carga estuvo asociada a las condiciones climáticas (caudal), ya que la concentración se mantuvo relativamente constante durante todos periodos evaluados (15 mg/L). Para el último tramo se presentó un incremento importante en la carga de grasas y aceites a causa del vertimiento de aguas residuales procedentes del interceptor Tunjuelo Medio. La media de la carga de grasas y aceites presentó un aumento respecto al histórico (265%), a la fase 1 (42%) y a la fase 2 (72%). Así como en el tramo anterior, la carga se asoció al cambio del caudal, ya que la concentración fue cercana a los 46 mg/L.

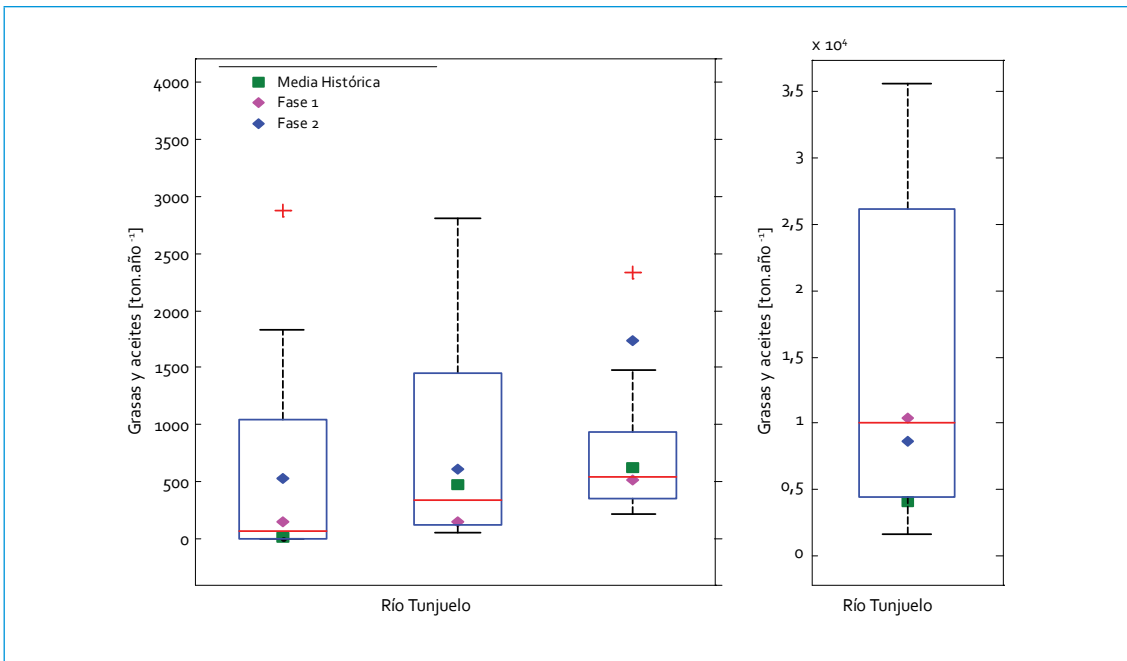


FIGURA 5.35. Perfil de cargas de grasas y aceites: río Tunjuelo

5.1.2.7. SAAM

El perfil longitudinal de las cargas de las SAAM del río Tunjuelo se muestra en la figura 5.36. Su comportamiento fue similar al de las grasas y aceites, lo que se explica porque su naturaleza también es de tipo doméstico. El último tramo tuvo un incremento de doce veces respecto al tramo 3 (tabla 5.8).

TABLA 5.8. Carga promedio transportada SAAM: río Tunjuelo

Parámetro	Río Tunjuelo (t/año)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
SAAM	7	56	150	1825

En el tramo 1 se presentó una alta variación de las cargas, las cuales oscilaron entre 0,003 y 42 t/año. Como se puede observar en la tabla

5.8, el valor promedio actual (7 t/año) estuvo por encima del promedio histórico (0,09 t/año) y de la carga media de la fase 1 (5,6 t/año); sin embargo, disminuyó respecto a la fase 2 (8,0 t/año). La variación de los datos para el tramo 2 se mantuvo, con cargas entre 6.9 y 317 t/año. La carga media actual aumentó más del 100% respecto al promedio histórico y a la fase 1, y en 27% en referencia a la fase 2, lo que muestra que la carga ha venido incrementándose con el tiempo. Por otro lado, aunque la carga aumentó en el tramo 3, hubo un comportamiento constante respecto a periodos anteriores (aunque estuvieron ligeramente por encima), excepto frente a la fase 2, para la cual se presentó una disminución del 53%. En el tramo 4, como se mencionó, hubo un cambio significativo en la carga, que representó aumentos frente a todos los periodos anteriores, principalmente respecto al histórico.

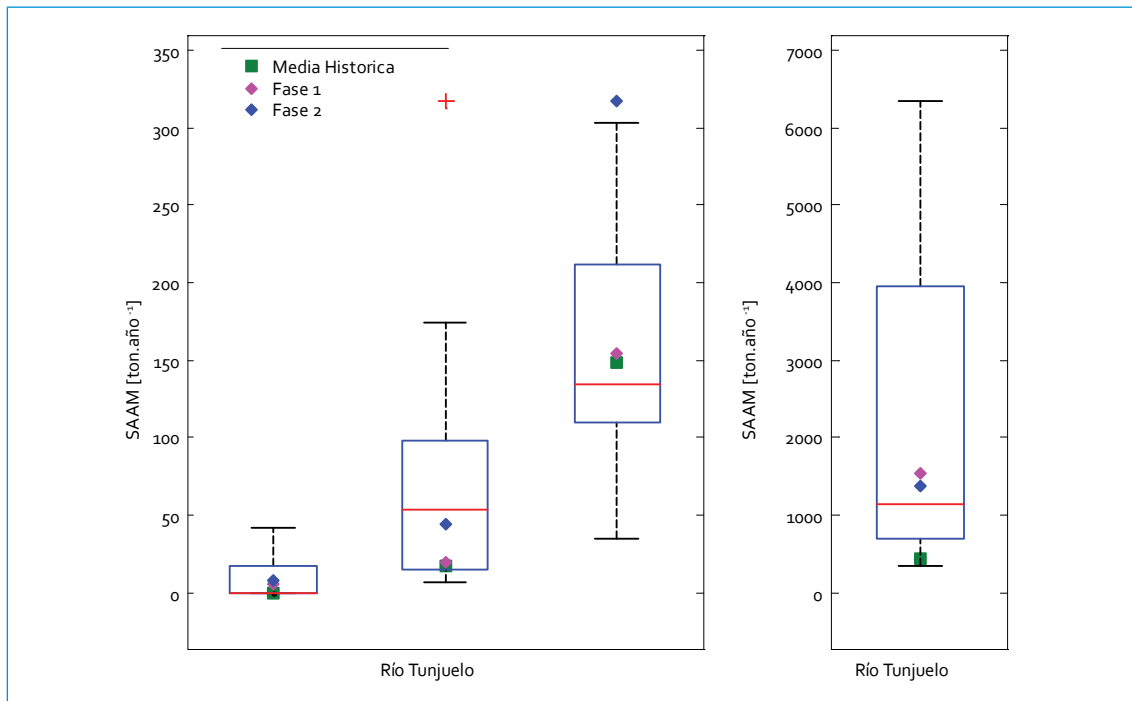


FIGURA 5.36. Perfil de cargas SAAM: río Tunjuelo

5.2. Calidad del agua (WQI)

Debido a la operación del embalse La Regadera, el caudal en el río Tunjuelo se vio alterado de forma significativa: aumentó su valor hasta en tres órdenes de magnitud cuando las compuertas del embalse se abrieron, lo cual afectó las concentraciones de algunos parámetros en el agua y, a su vez, influyó en el valor del índice de calidad del agua. Por lo anterior, se consideró importante analizar dos escenarios para evaluar la dinámica de la calidad del agua en función del régimen de caudales en el primer tramo, el cual es el más sensible. El escenario 1 corresponde a todos los datos registrados (caudales entre 2,7 y 84,21 L/s), y el escenario 2, a la operación del embalse con las compuertas cerradas (caudales entre 2,7 y 7,5 L/s). En el primer tramo de este río hay un solo punto de monitoreo, La Regadera. Para el caso del escenario 1, se registraron 132 datos, de los cuales 24 (18%) no lograron el objetivo de calidad (tabla 5.9). El WQI fue **regular**; se mantuvo constante respecto al período 2010-

2011 y empeoró respecto al período 2009-2010, cuando se calificó como **bueno**.

Los parámetros evaluados que más se alejaron del objetivo de calidad durante todos los períodos fueron, en orden de importancia, SST, oxígeno disuelto, P_{total} y coliformes fecales. El parámetro crítico siempre ha sido SST, para el cual el porcentaje de datos que excedieron el objetivo de calidad ha venido aumentando: 43%, 69% y 85%, para los períodos 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012, respectivamente.

Para el escenario 2 se registraron 65 datos, de los cuales 11 (17%) no alcanzaron el objetivo de calidad. Los parámetros que no lograron los objetivos fueron SST, oxígeno disuelto y P_{total} (tabla 5.10). Es importante resaltar que el WQI para este tramo fue de 79,67, el cual, al redondearse (80), quedó clasificado dentro del rango de WQI **bueno** ($80 \leq WQI \leq 94$). Al compararlo con los períodos anteriores, el WQI se ha mantenido constante, ya que siempre se ha calificado como **bueno**. Por otro lado, los parámetros evaluados que más se alejaron del objetivo de calidad durante todos los períodos

TABLA 5.9. WQI río Tunjuelo: tramo 1 (escenario 1)

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	6	F1	40
DBO ₅	0	F2	18,2
DQO	0	NSE	0,18
N _{total}	0	F3	15,19
P _{total}	5	WQI	73,16
SST	11		
Grasas y aceites	0		
Coliformes fecales	2		
pH	0		
SAAM	0		

TABLA 5.10. WQI río Tunjuelo: tramo 1 (escenario 2)

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	4	F1	30
DBO ₅	0	F2	16,9
DQO	0	NSE	0,08
N _{total}	0	F3	7,31
P _{total}	2	WQI	79,67
SST	5		
Grasas y Aceites	0		
Coliformes fecales	0		
pH	0		
SAAM	0		

fueron los mismos del escenario 1, donde los SST fueron el parámetro crítico durante los periodos 2009-2010 y 2011-2012, y el segundo más crítico durante el periodo 2010-2011. Los datos que superaron el objetivo de calidad (10mg/L) variaron entre el 43% y el 71%. El siguiente parámetro crítico fue el oxígeno disuelto, para el cual los datos que excedieron el objetivo (7mg/L) estuvieron entre el 8% y 67%.

Al comparar los dos escenarios, se presentaron mejores condiciones en el primer tramo cuando las compuertas se mantuvieron cerradas, hecho reflejado de una forma representativa en el WQI, que cambia de **regular** al evaluarlo con todos los datos, a **bueno**, con los datos registrados mientras se mantuvieron las compuertas cerradas. Esto se asocia principalmente a que los grandes caudales presentados cuando, con las compuertas del embalse abiertas produjeron en el río procesos de resuspensión de contaminantes, afectando la calidad de agua del río. Asimismo, al analizar todos los datos, el número de parámetros que no alcanzaron los objetivos disminuyó de

cuatro para el escenario 1 (tabla 5.9), a tres para el escenario 2 (tabla 5.10), lo que afecta el cálculo del WQI.

En el segundo tramo de este río hay dos puntos (Yomasa y Doña Juana), con un total de 276 datos; de estos, el 16% no cumplió el objetivo de calidad, por lo cual la calidad del agua de este tramo se calificó como **marginal**. Conforme se avanza en la trayectoria del río, el número de parámetros que exceden los objetivos de calidad aumenta, ya que para este tramo seis de diez parámetros no cumplieron con los objetivos (tabla 5.11). La calidad en este tramo del río durante el periodo 2009-2010 fue **pobre**, mejoró en el periodo 2010-2011, cuando se clasificó como **regular**, pero decayó en el periodo 2011-2012, cuando se calificó como **marginal**. La mejora presentada durante el periodo 2010-2011 se puede asociar a la temporada de lluvias que se presentó, la cual tuvo efectos de dilución de los diferentes contaminantes, hecho que disminuyó su concentración. El parámetro crítico durante todos los periodos fue SST, para el cual el porcentaje

TABLA 5.11. WQI río Tunjuelo: tramo 2

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	0	F1	60
DBO ₅	1	F2	15,6
DQO	7	NSE	0,46
N _{total}	5	F3	31,60
P _{total}	9	WQI	59,83
SST	15		
Grasas y Aceites	0		
Coliformes fecales	0		
pH	6		
SAAM	0		

de datos lejos del objetivo varió entre el 58% y el 64%, seguido por el P_{total}, para el cual los datos que excedieron el objetivo estuvieron entre el 23% y el 53%. Otros parámetros importantes fueron el N_{total}, la DQO y el pH, los cuales presentaron una menor cantidad de datos por encima del objetivo durante el mismo intervalo de tiempo.

En el tercer tramo hay cuatro puntos de monitoreo (Doña Juana, Barrio México, San Benito y Makro Autosur), para los cuales se analizaron 579 datos; de estos, el 27% sobrepasó los objetivos de calidad, por lo cual la calidad del agua se clasificó como **pobre**. En este caso ningún parámetro alcanzó los objetivos de calidad, y los parámetros que más excedieron el objetivo fueron oxígeno disuelto, N_{total} y P_{total} (tabla 5.12). El deterioro de la calidad del agua en este tramo se da principalmente por las descargas de aguas residuales domésticas, debido al hecho de que se registraron nuevos parámetros que no satisficieron los objetivos, como las grasas y aceites, los coliformes fec-

les y las SAAM, contaminantes asociados a este tipo de vertimientos.

Respecto a los períodos anteriores, el WQI para el 2011-2012 se clasificó como **pobre**, igual que durante el periodo 2009-2010. La mejora presentada en el periodo 2010-2011 (**marginal**), al igual que en el segundo tramo, se asocia a la temporada de lluvias. Durante los períodos evaluados el parámetro crítico en este tramo fue el oxígeno disuelto, donde los datos que estuvieron por debajo del objetivo de calidad (1,0 mg/L) representaron el 60%, el 55% y el 70% para los períodos 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012, respectivamente. Por otro lado, los datos de los SST que sobrepasaron el objetivo tendieron a aumentar, con el 43%, 50% y 58% para los mismos períodos.

En el último tramo del río (comprendido por los puntos de monitoreo Makro Autosur, Transversal 86, Puente de la Independencia e Isla Pontón), el 31% de los 586 datos registrados no alcanzó los objetivos de calidad; al igual que en el tercer tramo, ningún pará-

TABLA 5.12. WQI río Tunjuelo: tramo 3

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	42	F1	100
DBO ₅	2	F2	26,9
DQO	16	NSE	0,43
N _{total}	17	F3	29,99
P _{total}	6	WQI	37,75
SST	33		
Grasas y Aceites	6		
Coliformes fecales	12		
pH	13		
SAAM	9		

metro cumplió con el objetivo (tabla 5.13). El parámetro que más excedió el objetivo fue coliformes totales, con el 75% de los datos, porcentaje que aumentó de forma significativa respecto a los otros tramos (aguas arriba), a causa de los vertimientos de aguas residuales domésticas. Seguido a este parámetro se en-

contró el oxígeno disuelto, con el 73% de los datos por debajo del objetivo, lo que refleja la calidad **pobre** a esta altura del río. Respecto a los períodos anteriores, la calidad siempre se ha calificado como **pobre**. Los parámetros que presentaron comportamiento más crítico durante todos los períodos evaluados fueron

TABLA 5.13. WQI río Tunjuelo: tramo 4

Parámetro	Núm. de datos que no alcanzan el objetivo de calidad	Variables	Valor
Oxígeno disuelto	43	F1	100
DBO ₅	5	F2	31,2
DQO	12	NSE	0,25
N _{total}	12	F3	20,07
P _{total}	1	WQI	38,41
SST	12		
Grasas y aceites	23		
Coliformes fecales	42		
pH	1		
SAAM	32		

coliformes fecales, oxígeno disuelto, SAAM y grasas y aceites; sin embargo, a lo largo del tiempo varió su carácter crítico, pues durante en el periodo 2009-2010 el parámetro que más sobrepasó el objetivo de calidad fue SAAM (con el 88% de los datos por fuera del objetivo de calidad); durante el periodo 2010-2011 el parámetro que más se alejó del objetivo de calidad correspondió a oxígeno disuelto, con el 73% de los datos por debajo del objetivo, y durante el periodo 2011-2012 el parámetro crítico fue coliformes fecales, con el 75% de los datos por fuera del objetivo.

Es importante aclarar que aunque en la tabla 5.13 el oxígeno disuelto tiene una mayor cantidad de datos que no alcanzaron el objetivo respecto a los coliformes fecales, estos últimos fueron más críticos porque al momento de realizar el análisis estadístico se descartó más información (datos atípicos), lo que implicó que la cantidad de datos lejos del objetivo para coliformes representará un porcentaje mayor respecto al total de datos. Las figuras 5.37 y 5.38 presentan los mapas de calidad para los dos escenarios del río Tunjuelo.

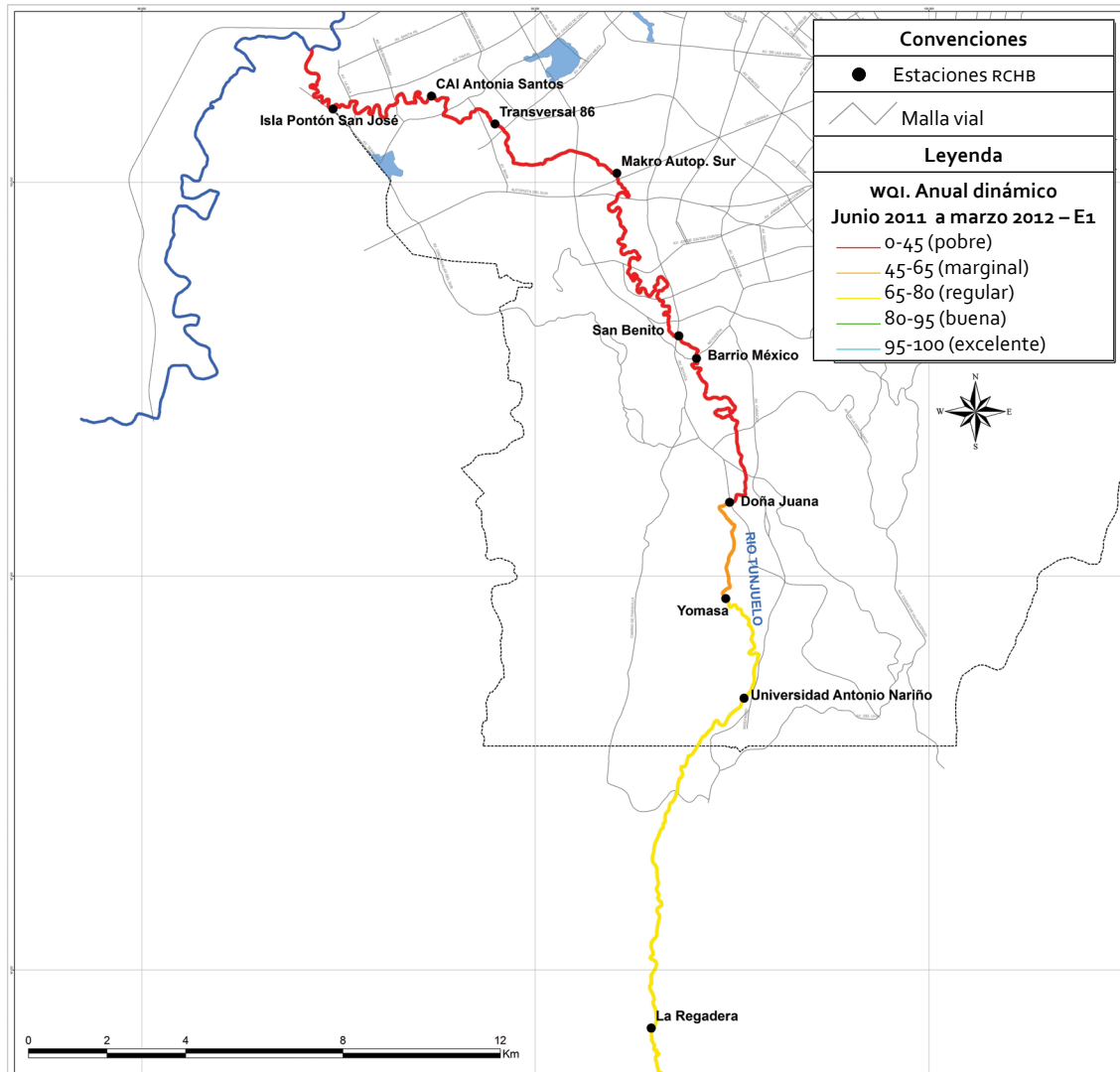


FIGURA 5.37. Mapa de calidad: río Tunjuelo (escenario 1).

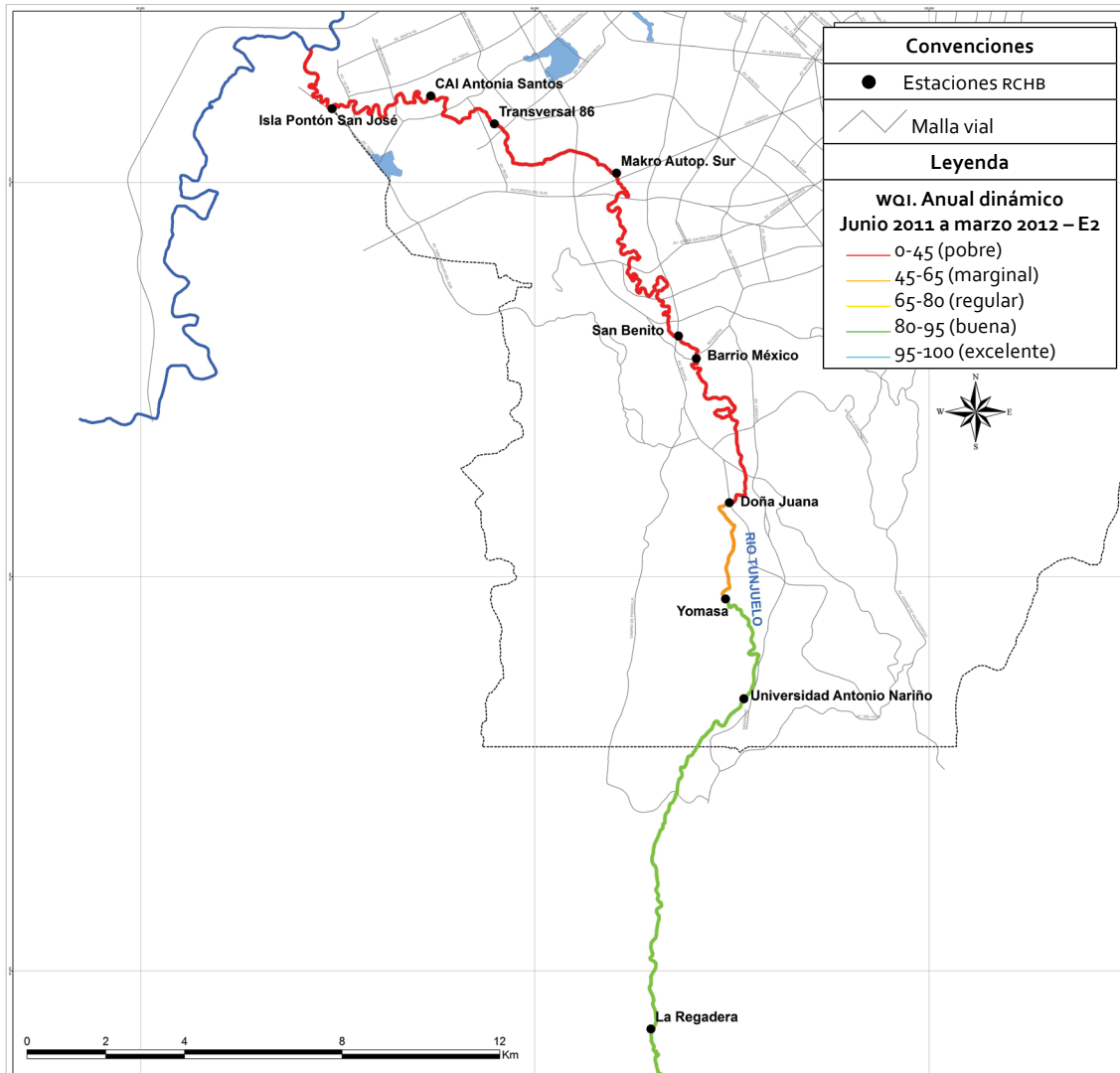


FIGURA 5.38. Mapa de calidad: río Tunjuelo (escenario 2).

6. ESTADO DE LOS RÍOS EN BOGOTÁ

Dentro de todos los contaminantes monitoreados en los ríos, se encontró que en casi la totalidad de las muestras el arsénico, el mercurio y el cianuro fueron inferiores a los límites de detección (0,004 mg/L, 0,002 mg/L y 0,5 mg/L, respectivamente). En la tabla 6.1 se presenta la cantidad de datos dentro de la categoría “no detectables” y los que marcaron concentraciones superiores al límite de detección (casillas resaltadas en gris).

Se debe resaltar que en el 2012 los límites de detección de arsénico y de mercurio cam-

biaron; por lo tanto, las concentraciones de arsénico fueron < 0,007 mg/L, y las de mercurio, < 0,003 mg/L. Dentro del total de datos de arsénico, mercurio y cianuro, el 97%, el 100% y el 100%, respectivamente, están por debajo del límite de detección. Un comportamiento similar se presentó en los datos históricos, lo cual indica que el agua de los ríos evaluados no presenta impacto alguno por contaminación con arsénico, mercurio o cianuro. Es importante resaltar que no es común encontrar arsénico como elemento libre en aguas naturales, debido a que es poco soluble; por su parte, el

TABLA 6.1. Resultados arsénico, mercurio y cianuro

Río	Punto	n	Arsénico (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Cianuro (mg/L)
Torca	TO-Bosque de Pinos	5	< 0,004	< 0,002	0,5
	TO-Calle 161	5	< 0,004	< 0,002	0,5
	TO-Jardines de Paz	5	< 0,004	< 0,002	0,5
	TO-San Simón	5	< 0,004	< 0,002	0,5
Salitre	SA-Parque Nacional	5	< 0,004	< 0,002	0,5
	SA-Arzobispo	5	< 0,004	< 0,002	0,5
	SA-Calle 53	5	< 0,004	< 0,002	0,5
	SA-Carrefour	5	< 0,004	< 0,002	0,5
	SA-Transversal 91	5	< 0,004	< 0,002	0,5
	SA-Alameda	5	< 0,004	< 0,002	0,5

Continúa

Fucha	FU-Delirio	5	<0,004	<0,002	0,5
	FU-Carrera 7. ^a	4	<0,004	<0,002	0,5
		1	0,012		
	FU-Ferrocarril	5	<0,004	<0,002	0,5
	FU-Américas	5	<0,004	<0,002	0,5
	FU-Boyacá	5	<0,004	<0,002	0,5
	FU-Visión Colombia	4	<0,004	<0,002	0,5
		1	0,012		
	FU-Zona Franca	5	<0,004	<0,002	0,5
FU-Alameda	5	<0,004	<0,002	0,5	
Tunjuelo	TU-Regadera	4	<0,004	<0,002	0,5
		1	0,006		
	TU-UAN	5	<0,004	<0,002	0,5
	TU-Yomasa	4	<0,004	<0,002	0,5
		1	0,011		0,5
	TU-Doña Juana	5	<0,004	<0,002	0,5
	TU-México	5	<0,004	<0,002	0,5
	TU-San Benito	5	<0,004	<0,002	0,5
		1	0,008		
	TU-Makro Autosur	5	<0,004	<0,002	0,5
	TU-Tranversal 86	5	<0,004	<0,002	0,5
TU-Puente de la Independencia	5	<0,004	<0,002	0,5	
TU-Isla Pontón	5	<0,004	<0,002	0,5	
Bogotá	BO-Puente el Común	3	<0,004	<0,002	0,5
	BO-Cierre	2	<0,004	<0,002	0,5
		1	0,011		

mercurio tiende a acumularse en sedimentos en los cuerpos de agua superficial.

6.1. Río Torca

Las concentraciones de la mayoría de contaminantes aumentaron a lo largo del río hasta el punto Jardines de Paz. El cambio más

importante entre las concentraciones se dio entre Bosque de Pinos y Calle 161, especialmente en materia orgánica, sólidos, nutrientes, coliformes totales y fecales, manganeso y bario. También se debe resaltar que hubo parámetros que permanecieron constantes en este sector del río (entre Bosque de Pinos y Calle 161), como pH, temperatura, cadmio,

cinc, cromo y níquel, lo que permite pensar que los vertimientos aguas arriba de Calle 161 no presentan concentraciones importantes de dichos contaminantes que afecten la calidad natural del agua.

Por otro lado, Calle 161 y Jardines de Paz tendieron a registrar las máximas concentraciones de contaminantes, y constituyen los puntos críticos del río Torca. Entre Jardines de Paz y San Simón se observaron disminuciones en las concentraciones de contaminantes; el factor que mejora de cierta manera la calidad del agua en el río puede estar ligado a la dilución, a la depuración por parte del humedal o al efecto del buchón.

En comparación con los monitoreos históricos (2006-2007) y la fase 1 (2009-2010) las concentraciones en San Simón han tendido a disminuir, lo que puede indicar una dilución de los contaminantes, puesto que el caudal tuvo un aumento de entre el 55% y el 65% (tablas 6.2 y 6.3). De forma similar, en Bosque de Pinos la tendencia fue de disminución; sin embargo, está relacionada con el cambio del punto de monitoreo: durante los monitoreos históricos y la fase 1 el punto de referencia de calidad del río Torca era Canal El Cedro y a partir de la fase 2 (segundo semestre del 2010) este punto se cambió a Bosque de Pinos. Las grandes diferencias que se encontraron entre Canal El Cedro y Bosque de Pinos muestran que entre estos dos puntos hay aportes de aguas residuales con altos contenidos de materia orgánica y coliformes. Por lo tanto, el punto actual de monitoreo (Bosque de Pinos) se ajusta más a ser un referente de calidad del agua del río Torca.

Los puntos Calle 161 y Jardines de Paz han mostrado que entre la fase 2 (2010-2011) y la fase 3 (2011-2012) las condiciones del río han tendido a empeorar, especialmente en los pa-

rámetros de tipo 1 (tabla 6.2); sin embargo, es necesario robustecer la información de estos puntos para establecer una tendencia, ya que los caudales en estos dos periodos de monitoreo han tendido a ser altos, como reflejo de una temporada húmeda.

La calidad del río Torca estuvo entre **excelente** y **marginal** a lo largo de su recorrido por la ciudad; dado que la calidad del agua en el tramo 1 fue excelente, no se encontró ningún parámetro crítico. Por el contrario, en el tramo 2, los parámetros críticos fueron oxígeno disuelto, coliformes fecales y NTK; esto muestra que el impacto de la calidad del agua está dado por las descargas de aguas residuales domésticas, las cuales se caracterizan por su alto contenido de coliformes y detergentes. Comparando los resultados actuales con los periodos previos, se pudo establecer una mejoría en la calidad del agua del primer tramo y un deterioro en el segundo tramo, donde la categoría cambia de **regular** a **marginal**.

6.2. Río Salitre

El río Salitre se encuentra en una cuenca mayoritariamente doméstica, donde los vertimientos de aguas residuales afectan la calidad del agua del río a lo largo de su recorrido por la ciudad. El primer punto de monitoreo (Parque Nacional) denota una buena calidad; sin embargo, a partir de la carrera 7.^a, donde el río es canalizado, las descargas de las aguas residuales aumentan en gran medida las concentraciones de contaminantes.

Las concentraciones de la mayoría de contaminantes aumentaron a lo largo del río Salitre, hasta el punto Carrefour. Los cambios más importantes entre las concentraciones se presentaron entre Parque Nacional y Arzobispo, y entre Arzobispo y Calle 53. También

TABLA 6.2. Resumen del comportamiento de contaminantes tipo 1: río Torca

Punto	Caudal	pH	Cond	OD	DBO ₅	DQO	SST	NTK	N _{total}	P _{total}	GyA	NTK	C. fecales	C. totales
Bosque de Pinos TO-1	D	C		A	D	D	D	D		C	C	D	D	D
	77%			30%	80%	33%	73%	85%	98%			99%		
Calle 161 TO-2	D	C	D	C	D	D	D	D	D	C	C	D	D	D
	33%		83%	88%	50%	68%	91%	99%	99%					
Jardines de Paz TO-3	A	C	C	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	36%		56%	62%	61%	53%	50%	53%	50%			82%		
San Simón TO-4	D	C	C	C	A	A		A	C	A	A	A	A	A
	37%		52%	32%	38%	32%	32%	35%	66%			76%		
F3 vs. Hist.	A	C			D	D		D		D	D	D	D	D
	65%		70%	56%	45%	64%	57%	85%	74%					
F3 vs. F1	A	C	C	D	D	D	D	D	D	D	C	D	D	C
	55%		57%	47%	36%	46%	55%							

A: Aumento. C: Constante. D: Disminución.

TABLA 6.3. Resumen del comportamiento de contaminantes tipo 2: río Torca

Punto	Fenoles	Sulfuros	Bario	Cadmio	Cinc	Cobre	Cr _{total}	Manganeso	Níquel	Plomo
Bosque de Pinos TO-1	F3 vs. Hist.	C	D	C	A	A	C	D	C	A
	F3 vs. F1	C	72%	C	30%	31%	C	88%	C	40%
Calle 161 TO-2	F3 vs. F2	C	D	C	A	C	C	D	C	C
	F3 vs. F1	C	69%	C	80%	73%	C	79%	C	C
Jardines de Paz TO-3	F3 vs. F2	C	C	C	A	C	C	C	C	C
	F3 vs. F1	C	C	C	46%	C	C	C	C	C
San Simón TO-4	F3 vs. Hist.	D	C	A	D	A	C	D	A	A
	F3 vs. F1	60%	71%	90%	62%	66%	C	32%	67%	38%
San Simón TO-4	F3 vs. F2	D	D	D	D	D	D	C	D	A
	F3 vs. F1	71%	64%	66%	60%	86%	63%	C	50%	74%

A: Aumento. C: Constante. D: Disminución.

se debe resaltar que hubo parámetros que permanecieron constantes, como pH, temperatura, cadmio, cromo total y manganeso, lo que permite pensar que los vertimientos de aguas residuales no presentan concentraciones importantes de dichos contaminantes que afecten la calidad natural del agua.

Por otro lado, en Calle 53 y Carrefour Avenida 68 se registraron algunas de las máximas concentraciones de los contaminantes, y son los puntos más susceptibles a descargas de contaminantes o están muy cercanos a zonas de mezcla. Entre Carrefour y Transversal 91, las medianas de las concentraciones tendieron a disminuir, hecho relacionado con una dilución de los contaminantes, ya que aguas arriba de la transversal 91 se reciben las descargas del canal Córdoba y del Club Los Lagartos.

En general, los rangos de caudal para la mayoría de los puntos fueron superiores en la fase 2 (2010-2011) y la fase 3 (2011-2012), frente a los rangos de la fase 1 y los históricos, especialmente en Parque Nacional. A pesar de la temporada húmeda, las concentraciones de los contaminantes tendieron a mantenerse constantes en el tiempo, y algunas aumentaron, como las de los coliformes fecales, los sólidos y el plomo. Se debe resaltar que los metales fueron los parámetros que mayores disminuciones mostraron a lo largo del tiempo, especialmente el cobre (tablas 6.4 y 6.5). Estos resultados ponen en evidencia la falta de obras de saneamiento en el río Salitre, ya que desde el 2006 el río viene manteniendo concentraciones de contaminantes muy similares a lo largo del tiempo, sin indicios de mejoras significativas.

En relación con el índice de calidad hídrica, la variación en la calidad del río se dio a partir del tramo 2, que pasó de una clasificación **buena** (en el tramo 1) a **pobre**, y se mantuvo

de esta manera hasta el tramo 4. En el tramo 1 se notó que el único parámetro crítico fue el pH, aunque los valores que no alcanzaron los objetivos no se alejaron lo suficiente para deteriorar la calidad del tramo, es posible que la condición natural del río tienda a valores bajos de pH. En el tramo 2 se observó una mayor cantidad de parámetros críticos (coliformes fecales, SST, N_{total} y GyA); además, se notó que el punto Arzobispo presenta una mejor calidad que Calle 53. Por su parte, en el tramo 3 los parámetros más críticos fueron coliformes fecales, GyA y NTK; el primero de estos fue el parámetro que más veces excedió el objetivo de calidad. Por último, en el tramo 4 los parámetros que con más frecuencia superaron los objetivos de calidad fueron oxígeno disuelto, coliformes fecales y NTK. Dada la recurrencia de los coliformes fecales en exceder los objetivos, la calidad **pobre** del río a partir del segundo tramo se puede atribuir a las descargas de aguas residuales domésticas. En comparación con el WQI de periodos previos, se observó un comportamiento constante en la clasificación del tramo 1, pero los otros tramos mostraron deterioro: pasaron de categoría **marginal** a **pobre**, como consecuencia de un aumento en los datos que exceden los objetivos y de la lejanía de dichos datos con los objetivos de calidad.

6.3. Río Fucha

Para la fase 3 se observa que en la mayoría de los puntos de monitoreo del río Fucha el caudal superó lo obtenido en la fase 1 y en el periodo histórico. Esta variación se presentó en mayor proporción en los primeros cuatro puntos de monitoreo, cuya situación generó variaciones en las concentraciones de los diferentes parámetros a lo largo de las fases. En alcalinidad y dureza se presenta un comportamiento sin

TABLA 6.4. Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 1: río Salitre

Punto	Caudal	pH	Cond.	OD	DBO ₅	DQO	SST	NTK	N _{total}	P _{total}	GYA	NTK	C. fecales	C. totales
Parque Nacional SA-1	A	C		C	C	D	C	C		D	C	C	D	D
	52%					32%				37%			87%	91%
Arzobispo SA-2	A	C	C	C	C	C	C	C	C	A	C	C	C	C
	71%									64%				
Calle 53 SA-3	C	C		C	A	C	A	C		A	D	A	A	A
					74%		33%			37%		51%	99%	95%
Carrefour Av. 68 SA-4	C	C	C	C	A	C	A	C	C	C	C	C	A	A
					47%		59%						91%	84%
Transversal 91 SA-5	A	C		A	C	C	C	C		C	A	A	A	C
	53%			64%							64%	44%	56%	
Salitre Alameda SA-6	A	C	C	C	A	C	A	C	C	C	C	C	A	A
	42%				37%		35%						72%	35%
Parque Nacional SA-1	C	C		A	C	C	A	C		D	A	A	A	C
				49%			30%			33%		80%	44%	
Arzobispo SA-2	A	C	C	A	C	C	A	C	C	C	C	C	A	C
	38%			49%			45%						42%	
Calle 53 SA-3	A	C		A	C	C	C	C		C	A	A	C	C
	50%			41%							66%	63%		
Carrefour Av. 68 SA-4	A	C	C	D	C	C	C	C	C	C	A	C	A	A
	43%			45%							59%	44%	44%	78%
Transversal 91 SA-5	A	C		D	C	C	D	C		C	C	A	D	D
	57%			40%			34%					60%	80%	71%
Salitre Alameda SA-6	C	C	A	D	C	C	C	A	A	C	C	C	D	C
			33%	94%				40%					65%	

A: Aumento. C: Constante. D: Disminución.

TABLA 6.5. Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 2: río Salitre

Punto	Fenoles	Sulfuros	Bario	Cadmio	Cinc	Cobre	Cr _{total}	Manganeso	Níquel	Plomo
Parque Nacional SA-1	F3 vs. Hist.	C	C	C	A	A	C	C	D	A
	F3 vs. F1	C	C	C	42%	64%	C	C	67%	40%
Arzobispo SA-2	F3 vs. Hist.	C	C	C	A	A	C	C	A	C
	F3 vs. F1	C	C	C	82%	30%	C	D	67%	C
Calle 53 SA-3	F3 vs. Hist.	A	C	A	C	A	A	C	A	A
	F3 vs. F1	38%	C	95%	C	36%	69%	C	80%	84%
Carrefour Avenida 68 SA-4	F3 vs. Hist.	C	D	C	D	C	D	C	C	C
	F3 vs. F1	D	35%	C	45%	C	54%	C	C	C
Transversal 91 SA-5	F3 vs. Hist.	C	C	A	D	C	C	C	D	A
	F3 vs. F1	44%	46%	90%	36%	C	C	C	60%	79%
Salitre Alameda SA-6	F3 vs. Hist.	C	D	C	D	D	C	C	A	A
	F3 vs. F1	74%	50%	50%	33%	C	C	C	33%	57%
	F3 vs. Hist.	C	A	C	D	D	C	C	D	A
	F3 vs. F1	D	48%	40%	38%	D	C	C	73%	77%
		38%	C	C	C	58%	C	C	C	A
										38%

A: Aumento. C: Constante. D: Disminución.

mayores variaciones a lo largo del tiempo, al igual que en los parámetros tomados en campo (pH, temperatura y conductividad). En El Delirio y en los últimos puntos de monitoreo, hay un comportamiento constante del oxígeno disuelto para todos los años de monitoreo. Situación contraria a la que se presentó en Carrera 7.^a, Avenida del Ferrocarril y Avenida de Las Américas, pues la temporada de invierno afectó las concentraciones de oxígeno disuelto, ya que en las últimas dos fases (2010-2011 y 2011-2012) las medianas fueron las más altas.

En materia orgánica y SST, las diferentes condiciones hidrológicas en los monitoreos afectaron la dinámica de concentraciones. Así, para la fase histórica y la fase 1 las medianas fueron mayores, mientras que en las fases 2 y 3 las lluvias generaron dilución en las concentraciones. A pesar de lo anterior, los puntos de monitoreo, en su mayoría, no registraron cambios importantes (mayores al 30%) entre las diferentes fases, por lo que las variaciones que se observan son el resultado de la condición hidrológica del momento (tabla 6.6).

En relación con nutrientes, se observó que la fase 1 registró las mayores concentraciones, mientras que en la fase 2 (2010-2011) se registraron las menores concentraciones. En cuanto a grasas y aceites, se observó que la mayoría de puntos permanecieron sin cambios importantes, lo cual refleja las condiciones críticas de contaminación por grasas y aceites, especialmente en los últimos puntos de monitoreo del río. Para NTK es evidente el fuerte impacto causado por las descargas de agua residual a lo largo del río. Se confirmó el aumento de NTK respecto a los registros históricos, producto de la acumulación de este contaminante en el río. Para las últimas tres fases se observó un comportamiento constante en NTK.

En coliformes totales y fecales la tendencia es igualmente de aumento, consecuencia de la dinámica de las descargas de aguas residuales domésticas, pues las mayores concentraciones se detectan en monitoreos hechos en la mañana y en la tarde, mientras que las menores se registran en monitoreos de la noche o de la madrugada. En fenoles no es claro el comportamiento que tuvieron las concentraciones en la mayoría de puntos, pues se presentaron aumentos y disminuciones sin importar la condición hidrológica. A simple vista, durante la fase 1 se obtuvieron medianas más bajas y en la fase 2 las medianas fueron mayores. Para la fase 3, los registros se asemejaron a los datos históricos.

En cuanto al contenido de metales, se evidencia que en el punto de monitoreo Zona Franca se reportan las mayores concentraciones para todos los metales. Para bario, durante la fase 2 se obtuvieron las medianas más altas en Visión Colombia y Zona Franca. En cinc, se observó que para la mayoría de puntos las medianas de concentración disminuyeron respecto a los registros históricos (tabla 6.7). En cambio, en cobre, níquel y plomo, las concentraciones han aumentado en los últimos tres años de monitoreo; la fase 1 registró las mayores concentraciones no solo en cobre, sino en los demás metales. Con excepción del cinc, los otros metales monitoreados presentaron un comportamiento sin mayores variaciones.

En relación con el wqi, el tramo 1 del río Fucha registra condiciones de muy buena calidad del agua, sin evidencia alguna de perturbaciones generadas por actividades antropogénicas. La calidad del agua en los últimos años ha permanecido constante y tiene posibilidades de aumentar a la máxima categoría del wqi. El tramo 2, que comprende el río en su entrada

TABLA 6.6. Resumen del comportamiento de contaminantes del tipo 1: río Fucha

Punto	Caudal	pH	Cond.	OD	DBO ₅	DQO	SST	NTK	N _{total}	P _{total}	G/A	NTK	C. fecales	C. totales
El Delirio FU-1	F3 vs. Hist.	A		C	C	C	C	C		C	C	D	A	D
	70%	C										35%	55%	96%
Carrera 7. ^a FU-2	F3 vs. F1	A	C	C	C	C	C	C	C	A	C	D	C	C
	58%	C								33%				
Avenida del Ferrocarriil FU-3	F3 vs. Hist.	A		C	A	C	A	C		C	A	A	A	C
	48%	C			38%		63%				49%	59%	57%	
Avenida de las Américas FU-4	F3 vs. F1	C	D	C	D	D	C	D	D	D	A	C	D	C
	41%	C	41%		39%	46%		38%	37%	47%	32%		55%	
Avenida Boyacá FU-5	F3 vs. Hist.	A		A	C	C	C	C		C	A	A	A	D
	41%	C		88%	52%	34%		34%			60%	55%	33%	34%
Visión Colombia FU-6	F3 vs. F1	A	C	A	C	C	A	C	D	C	C	C	A	A
	46%	C		64%				31%					44%	60%
Zona Franca FU-7	F3 vs. Hist.	A	D	A	D	D	C	D	D	D	D	D	D	D
	38%	C	36%	61%	36%	44%		35%	35%	41%	44%	36%	42%	36%
Fucha Alameda FU-8	F3 vs. Hist.	C		C	D	C	C	C		D	C	A	D	A
	40%	C			34%					38%		62%	43%	54%
Fucha Alameda FU-8	F3 vs. F1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A
	48%	C											51%	69%
Fucha Alameda FU-8	F3 vs. Hist.	C		C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A
	70%	C										74%	80%	69%
Fucha Alameda FU-8	F3 vs. F1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A
	90%	C											90%	82%

A: Aumento. C: Constante. D: Disminución.

TABLA 6.7. Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 2: río Fucha

Punto	Fenoles		Sulfuros	Bario	Cadmio	Cinc	Cobre	Cr _{total}	Manganeso	Níquel	Plomo
	F3 vs. Hist.	F3 vs. F1									
Delirio FU-1	A		C	D	C	D	A	C	D	A	A
	67%			56%		67%	90%		33%	92%	40%
Carrera 7ª FU-2	A		D	C	C	A	A	C	C	A	A
	87%		55%			47%	44%		C	92%	40%
Avenida del Ferrocarril FU-3	D		C	C	A	C	A	C	C	C	A
	40%				90%		55%		C	C	57%
Avenida de las Américas FU-4	C		D	C	A	C	D	C	C	C	C
			58%		50%		62%		C	C	C
Avenida Boyacá FU-5	A		D	C	A	C	A	A	C	A	A
	42%		38%		90%		54%	64%	C	71%	85%
Visión Colombia FU-6	C		D	C	A	C	A	C	C	A	A
			64%		50%		38%		C	57%	35%
Zona Franca FU-7	C		C	C	C	C	C	D	C	C	A
								77%	C	C	83%
Fucha Alameda FU-8	A		C	C	C	D	D	D	C	C	A
	71%					34%	66%	73%	C	C	44%
Delirio FU-1	C		A	D	C	D	C	D	C	A	A
			50%	30%		47%		30%	C	54%	31%
Carrera 7ª FU-2	C		C	C	A	C	C	C	C	C	C
					90%				C	C	C
Avenida del Ferrocarril FU-3	D		C	C	C	C	D	C	C	C	D
	55%						35%		C	C	37%
Avenida Boyacá FU-5	C		D	D	C	D	C	D	D	C	C
			41%	35%		56%		65%	49%	C	C
Visión Colombia FU-6	D		D	D	D	D	D	C	C	C	D
			79%	39%	50%	36%	60%		C	C	30%
Zona Franca FU-7	C		A	D	A	D	A	C	D	C	A
			31%	98%	100%	59%	33%		43%	C	70%
Fucha Alameda FU-8	D		C	D	A	D	D	D	C	C	D
	60%			99%	100%	51%	34%	42%	C	C	57%

A: Aumento. C: Constante. D: Disminución.

a la ciudad, se afecta de manera importante, pues el índice de calidad cae abruptamente a la categoría **pobre**, debido a los vertimientos de aguas residuales que agotan los niveles de oxígeno disuelto, en conjunto con un aumento en las cargas contaminantes, especialmente en SST y materia orgánica. A partir del tramo 3, parámetros como NTK, coliformes fecales y oxígeno disuelto, se alejaron aún más de los objetivos de calidad, ya que los contaminantes empezaron a acumularse debido a que el río Fucha ya no está en las capacidades de asimilar las cargas. El WQI para este tramo ha oscilado entre 46 y 57 unidades, y ha permanecido en la categoría **marginal** en los últimos años, acompañado de un ligero aumento en el valor WQI a partir del 2010. Como se ha aclarado, esto no quiere decir que la calidad del agua mejore con respecto al tramo 2, pues el cambio en el WQI es la respuesta de la calidad del tramo 3 con objetivos de calidad menos restrictivos. Finalmente, en el tramo 4 la categoría del WQI vuelve a caer a **pobre**; en este tramo, en los diferentes años evaluados el WQI ha variado entre 35 y 42 unidades. El índice de calidad más alto se obtuvo en el periodo 2010-2011, como reflejo del periodo de la predominancia de lluvias.

6.4. Río Tunjuelo

Por último, en el río Tunjuelo el caudal presenta un incremento constante y su aumento entre los puntos de monitoreo es causado por las numerosas descargas realizadas a lo largo del río. Sin embargo, los primeros dos puntos se ven drásticamente alterados por la operación del embalse La Regadera, el cual aumenta el caudal hasta en tres órdenes de magnitud cuando se abren las compuertas, lo que a su vez modifica las concentraciones de los diferentes

contaminantes en el agua. En el río Tunjuelo se presentó un comportamiento especial, ya que los primeros siete puntos (desde La Regadera hasta Makro Autosur) registraron los mayores caudales a lo largo de los diferentes periodos de monitoreo durante la fase 2. En los últimos tres puntos de monitoreo (desde Transversal 86 hasta Isla Pontón) se presentaron los mayores caudales durante la fase 3.

En general, los primeros puntos de monitoreo del río (La Regadera y UAN) presentaron concentraciones bajas para los diferentes parámetros evaluados; el primer aumento de las concentraciones se presentó en Yomasa, debido al vertimiento de la quebrada del mismo nombre, en la cual se realizan descargas de agua residual doméstica. Los puntos críticos fueron Doña Juana (debido a los lixiviados provenientes del relleno sanitario y de las canteras que operan en la zona) y Transversal 86 (a causa de la descarga del interceptor Tunjuelo Medio), lo que se refleja en todos los parámetros evaluados. Por otro lado, en Barrio México se presentó disminución de las concentraciones, la cual se debió a los procesos de sedimentación y eutroficación que se llevan a cabo en la zona de minas inundadas (ZMI) aguas arriba de este punto.

Solo el pH tuvo un comportamiento aproximadamente constante a lo largo de río. El oxígeno disuelto registró los mayores valores en la parte alta de la cuenca y decayó a partir de Doña Juana. Los parámetros que presentaron su mayor pico en Doña Juana fueron: dureza, sólidos, fósforo total, nitratos y nitritos; los que presentaron el pico principal en Transversal 86 fueron: conductividad, DBO_5 , DQO, grasas y aceites, coliformes totales, fenoles y nitrógeno amoniacal; los demás parámetros —como alcalinidad, NTK, nitrógeno total, NTK— presentaron sus mayores valores en Isla Pontón.

En el caso de los metales, todos presentaron su mayor concentración en Doña Juana, a excepción del cromo, cuyo pico más significativo se dio en Transversal 86; en el caso del cinc, cobre y cromo hubo aportes importantes en Transversal 86.

Al evaluar las condiciones del río en el tiempo, se concluye que el mejor escenario se presentó durante la fase 2, cuando se obtuvieron menores concentraciones para los diferentes parámetros monitoreados, lo cual se asocia a que durante este periodo se presentaron los mayores caudales, lo que genera procesos de dilución. Las condiciones menos favorables se presentaron para los datos históricos y la fase 1, que en este caso se asocia con los bajos caudales registrados durante estos periodos. En las tablas 6.8 y 6.9 se encuentran registrados los cambios presentados en cada punto para todos los parámetros evaluados, respecto a los datos históricos y la fase 1.

Se analizó el WQI para un primer escenario con todos los datos y un segundo escenario con los datos cuando las compuertas de La Regadera estaban cerradas. Al evaluar los datos para el segundo escenario, la calidad del río fue mejor (**buena**) respecto a la obtenida para el escenario 1 (**regular**). Esto se debe al drástico aumento del caudal durante la apertura de

las compuertas del embalse, el cual produce en este tramo del río procesos de resuspensión de partículas que afectan los parámetros evaluados.

A lo largo del trayecto del río se aprecia la disminución en su calidad: se clasifica como **marginal** en el segundo tramo y como **pobre** en los últimos dos tramos, donde los vertimientos de tipo doméstico afectan significativamente la calidad del agua. Respecto a periodos anteriores, el tramo 1 para el escenario 1 se mantuvo constante frente al periodo anterior (**regular**) y presentó una desmejora frente al 2009-2010, cuando se clasificó **bueno**; en caso del escenario 2, el WQI se mantuvo constante respecto a los dos periodos anteriores (**bueno**). En cuanto a los últimos dos tramos, el WQI se clasificó como **pobre** durante todos los periodos, a excepción del tramo 3 durante 2010-2011, cuando se calificó como **marginal**; además, para este mismo periodo, el tramo 4 presentó un WQI mayor (aunque tuvo la misma calidad). Esta mejoría presentada en 2010-2011 está asociada a que durante este periodo se presentaron las precipitaciones más altas, las cuales generaron procesos de dilución de los contaminantes en el río que disminuyeron su concentración y, por lo tanto, afectaron de forma positiva el WQI.

TABLA 6.8. Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 1: río Tunjuelo

Punto	Caudal	Cond	OD	DBO ₅	DOO	SST	NTK	Ntotal	Ptotal	GyA	NTK	C. fecales
Regadera TU-1	D		C	D	D	A	C		A	D	A	A
	35%			35%	40%	433%			60%	64%	53%	288%
UAN TU-2	D	A	C	C	D	A	C	C	C	C	C	A
	57%	32%			42%	200%						53%
Yomasa TU-3	D	C	C	D	D	D	D	D	D	C	C	D
	58%			73%	45%	32%	64%	52%	55%			90%
Doña Juana TU-4	A		A	D	D	C	D		D	D	C	D
	320%		86%	68%	49%		69%		71%	55%		33%
Barrio México TU-5	A	D	C	D	D	C	D	D	D	D	D	A
	213%	57%		47%	61%		67%	64%	58%	36%	63%	435%
San Benito TU-6	A		A	D	D	D	D		D	D	A	D
	202%		61%	71%	63%	75%	84%		71%	53%	68%	71%
Makro Autosur TU-7	A	C	C	A	D	D	D	D	D	A	D	D
	230%			71%	51%	63%	80%	87%	85%	31%	36%	38%
Transversal 86 TU-8	A		A	D	D	A	D		D	D	D	D
	109%		420%	74%	59%	57%	72%		55%	63%	46%	86%
Puente de la Inde- pendencia TU-9	A	D	D	A	C	A	C	C	C	C	A	A
	93%	37%	65%	89%		104%					65%	312%
Isla Pontón San José TU-10	A		A	D	D	A	D	D	D	D	D	D
	87%		230%	79%	45%	34%	72%		54%	C	C	C
Punto de la Inde- pendencia TU-9	A	D	D	D	D	C	D	D	D	D	D	D
	110%	49%	55%	75%	55%		81%	80%	55%	50%	69%	50%
Isla Pontón San José TU-10	A		A	D	D	A	D	D	D	D	D	D
	89%		210%	45%	C	C	58%		42%	C	C	C
Punto de la Inde- pendencia TU-9	A	D	D	D	D	A	D	D	D	D	D	D
	216%	54%	75%	69%	45%	130%	62%	61%	49%	52%	72%	41%
Isla Pontón San José TU-10	A		A	D	D	A	D	D	D	A	A	A
	180%		200%	32%	C	C	33%		45%	33%	80%	C
Punto de la Inde- pendencia TU-9	A	D	A	D	D	A	D	D	D	D	D	D
	180%	40%	200%	42%	40%	41%	51%	51%	38%	31%	42%	93%
Isla Pontón San José TU-10	A		A	D	D	C	D	D	D	A	A	C
	101%		120%	54%	35%		32%		46%	44%	132%	C
Isla Pontón San José TU-10	A	D	D	D	D	C	D	D	D	D	D	D
	96%	51%	52%	52%	41%		51%	51%	46%	44%	45%	45%
Isla Pontón San José TU-10	A		A	C	D	C	C		D	C	A	D
	115%		340%		37%				42%		159%	62%
Isla Pontón San José TU-10	A	D	D	D	D	A	D	D	D	C	D	D
	83%	47%	69%	51%	45%	39%	35%	35%	35%	C	39%	81%

A: Aumento. C: Constante. D: Disminución.

TABLA 6.9. Resumen del comportamiento de los contaminantes tipo 2: río Tunjuelo

Punto	Fenoles	Sulfuros	Bario	Cadmio	Cinc	Cobre	Cr _{total}	Manganeso	Níquel	Plomo
Regadera TU-1	F3 vs. Hist.	A	D	A	D	A	A	D	A	A
	F3 vs. F1	C	C	C	A	C	200%	51%	100%	67%
UAN TU-2	F3 vs. Hist.	A	A	A	A	A	C	D	A	A
	F3 vs. F1	300%	63%	C	C	C	C	46%	200%	C
Yomasa TU-3	F3 vs. Hist.	A	C	A	D	A	C	D	C	A
	F3 vs. F1	300%	C	1400%	60%	64%	C	46%	A	367%
Doña Juana TU-4	F3 vs. Hist.	C	A	A	C	A	C	C	D	A
	F3 vs. F1	C	55%	7900%	A	40%	C	C	37%	197%
Barrio México TU-5	F3 vs. Hist.	D	C	A	D	C	D	D	D	A
	F3 vs. F1	33%	A	A	63%	C	59%	31%	92%	267%
San Benito TU-6	F3 vs. Hist.	A	C	A	D	C	D	C	D	A
	F3 vs. F1	140%	72%	100%	C	C	C	60%	83%	C
Makro Autosur TU-7	F3 vs. Hist.	D	C	A	D	A	D	D	D	A
	F3 vs. F1	31%	A	400%	38%	45%	71%	39%	70%	383%
Transversal 86 TU-8	F3 vs. Hist.	D	C	C	C	D	C	C	D	A
	F3 vs. F1	70%	43%	C	C	58%	C	C	57%	81%
Puente de la Independencia TU-9	F3 vs. Hist.	A	C	A	C	A	D	C	C	A
	F3 vs. F1	250%	A	400%	D	33%	52%	C	C	414%
Isla Pontón San José TU-10	F3 vs. Hist.	C	C	A	C	C	39%	C	C	C
	F3 vs. F1	C	33%	50%	C	D	D	C	C	C
	F3 vs. Hist.	C	C	A	D	C	D	C	D	A
	F3 vs. F1	38%	48%	1400%	31%	C	80%	C	63%	867%
	F3 vs. Hist.	A	A	A	C	D	D	C	A	A
	F3 vs. F1	38%	52%	200%	C	46%	71%	C	200%	71%
	F3 vs. Hist.	C	C	A	D	D	D	C	D	A
	F3 vs. F1	C	34%	200%	C	68%	32%	C	D	A
										117%

A: Aumento. C: Constante. D: Disminución.

7. OBJETIVOS DE CALIDAD

A partir de los monitoreos de los últimos años en los cuatro principales ríos de Bogotá —Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo—, se observó que los tramos altos de los ríos tienen un buen cumplimiento de los objetivos de calidad, lo que sugiere que en un futuro estos objetivos podrían llegar a ser más estrictos, con el fin de preservar la buena calidad del agua y brindar un mejor ecosistema para la vida acuática. Por otro lado, las cuencas medias y, especialmente, las bajas presentan porcentajes de cumplimiento muy bajos, incluso inferiores al 20%, lo que muestra que es prioritario orientar las obras de saneamiento a los puntos críticos para, de esta manera, cumplir mejor los objetivos de calidad.

En la mayoría de tramos altos de los ríos las concentraciones de materia orgánica, sólidos, nutrientes, tensoactivos y grasas y aceites estuvieron por debajo de los objetivos de calidad. A partir de este análisis se propone que en un futuro los objetivos de calidad limiten cualquier uso inadecuado del agua en estos puntos de los ríos, preservando así las condiciones para el sostenimiento de los ecosistemas. En algunos casos es difícil establecer el valor más adecuado como objetivo de calidad más estricto, sobre todo para aquellos valores que estuvieron por debajo del límite de detección.

En cuanto al río Torca (tabla 7.1), el primer tramo mostró un cambio importante desde la fase 2 cuando se empezó a monitorear en Bosque de Pinos. La calidad de agua en este punto se acerca más a un referente de calidad

TABLA 7.1. Resumen del cumplimiento de los objetivos de calidad (oc): río Torca

Torca: tramo 1										
	pH	OD	DBO ₅	DQO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
oc (mg/L)	6 - 9	3	15	50	20	1	20	1	5	1,0E+05
Históricos	75%	90%	89%	89%	88%	80%	90%	100%	65%	90%
Fase 1	100%	79%	67%	86%	71%	87%	100%	87%	33%	73%
Fase 2	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	89%	100%	100%
Fase 3	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Continúa

Torca: tramo 2										
	pH	OD	DBO ₅	DOO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
OC (mg/L)	6 - 9	0,5	150	300	150	4	30	6	40	1,0E+06
Históricos	95%	24%	88%	85%	89%	95%	95%	85%	93%	25%
Fase 1	99%	62%	100%	93%	78%	67%	97%	100%	100%	53%
Fase 2	96%	70%	100%	96%	100%	92%	96%	100%	100%	79%
Fase 3	100%	60%	89%	87%	95%	71%	93%	91%	91%	55%

que la del punto Canal El Cedro. En el tramo 2, los parámetros más críticos fueron el oxígeno disuelto y los coliformes fecales, por lo que es indispensable interceptar los vertimientos con altos contenidos de coliformes y materia orgánica que estén potenciando el consumo de oxígeno disuelto.

En el tramo alto, el río Salitre mostró niveles de oxígeno disuelto de la categoría “no óptimos”. Dado que en esta parte del río no existen vertimientos, se puede estudiar un poco más a fondo los factores que afectan la concentración de oxígeno disuelto, como la temperatura, los procesos biológicos o las condiciones hidráulicas propias del punto de monitoreo. En el segundo tramo el punto crítico para la mayoría de parámetros fue Calle 53; los vertimientos que se encuentran aguas arriba afectan en gran medida la calidad del agua y deben ser prioridad para el saneamiento de la

cuenca. En términos generales, entre el 50% y 70% de los datos en el tramo 2 cumplieron los objetivos (tabla 7.2), a excepción del pH, el oxígeno disuelto y el fósforo total, que mostraron estar más acordes con los referentes de calidad del tramo. En los tramos 3 y 4, la frecuencia con la que los datos de calidad se encuentran por fuera de los objetivos es más elevada, y se llega a un cumplimiento por debajo del 20%. El punto crítico en este sector fue Carrefour Avenida 68 para la mayoría de parámetros; la baja calidad obedece a las descargas de los colectores Las Delicias y La Vieja.

Por su parte, en el río Fucha los puntos más críticos reflejan el impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas e industriales que recibe esta cuenca. El primer punto crítico, Avenida Ferrocarril, muestra bajos niveles de cumplimiento (tabla 7.3), debido a tanto los vertimientos de aguas residuales domésticas

TABLA 7.2. Resumen del cumplimiento de los objetivos de calidad (OC): río Salitre

Salitre: tramo 1										
	pH	OD	DBO ₅	DOO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
OC (mg/L)	6-9	7	5	35	10	1	10	1	5	1,0E+05
Históricos	79%	76%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Fase 1	99%	8%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Fase 2	84%	40%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Fase 3	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Continúa

Salitre: tramo 2										
	pH	OD	DBO ₅	DQO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
OC (mg/L)	6-9	2	80	200	80	3	20	6	20	1,0E+06
Históricos	100%	83%	60%	56%	60%	83%	90%	83%	63%	58%
Fase 1	97%	68%	69%	68%	66%	67%	67%	100%	67%	67%
Fase 2	99%	74%	74%	66%	63%	50%	50%	100%	63%	63%
Fase 3	100%	83%	67%	68%	61%	63%	61%	93%	60%	39%
P. crítico	-	SA-Cl53	SA-Cl53	SA-Cl53	SA-Cl53	SA-Cl53	SA-Cl53	SA-Cl53	SA-Cl53	SA-Cl53
Salitre: tramo 3										
	pH	OD	DBO ₅	DQO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
OC (mg/L)	6-9	0,5	150	350	150	3	30	6	40	1,0E+06
Históricos	100%	72%	81%	63%	67%	70%	88%	50%	63%	20%
Fase 1	97%	39%	53%	58%	72%	23%	33%	77%	43%	33%
Fase 2	99%	37%	55%	48%	87%	31%	38%	100%	69%	38%
Fase 3	100%	60%	43%	47%	45%	27%	28%	80%	43%	11%
P. crítico	-	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-CL53
Salitre: tramo 4										
	pH	OD	DBO ₅	DQO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
OC (mg/L)	6-9	0,5	150	350	150	3	30	6	40	1,0E+06
Históricos	100%	27%	83%	50%	82%	68%	77%	53%	65%	18%
Fase 1	98%	15%	74%	75%	79%	24%	64%	78%	64%	31%
Fase 2	100%	35%	73%	76%	84%	13%	63%	100%	63%	42%
Fase 3	100%	9%	78%	78%	80%	22%	50%	89%	69%	24%
P. crítico	-	SA-Alameda	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Alameda	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Carre-four	SA-Carre-four

TABLA 7.3. Resumen del cumplimiento de los objetivos de calidad (OC): río Fucha

Fucha: tramo 1										
	pH	OD	DBO ₅	DQO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
OC (mg/L)	6-9	7	5	35	10	0,5	10	0,1	3	1,0E+03
Históricos	90%	84%	100%	89%	100%	100%	100%	95%	100%	100%
Fase 1	100%	55%	100%	100%	69%	100%	100%	100%	100%	100%

Continúa

Fase 2	98%	94%	100%	100%	100%	100%	100%	78%	100%	100%
Fase 3	93%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	87%	100%	100%
Fucha: tramo 2										
	pH	OD	DBO ₅	DOO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
oc (mg/L)	6-9	4	50	150	30	3	25	3	20	1,0E+06
Históricos	98%	54%	49%	51%	14%	83%	98%	63%	75%	58%
Fase 1	100%	36%	39%	34%	22%	43%	83%	57%	40%	33%
Fase 2	100%	58%	29%	35%	22%	47%	59%	47%	59%	59%
Fase 3	97%	63%	43%	43%	13%	47%	62%	60%	62%	48%
P. crítico	-	FU-Ferrocarril	FU-Ferrocarril	FU-Ferrocarril	-	FU-Ferrocarril	FU-Ferrocarril	FU-Ferrocarril	FU-Ferrocarril	FU-Ferrocarril
Fucha: tramo 3										
	pH	OD	DBO ₅	DOO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
oc (mg/L)	6-9	0,2	250	400	150	4	40	8	40	1,0E+06
Históricos	100%	13%	85%	65%	67%	93%	88%	93%	83%	63%
Fase 1	99%	39%	97%	60%	70%	27%	57%	100%	60%	40%
Fase 2	100%	51%	100%	56%	67%	19%	56%	100%	63%	31%
Fase 3	100%	77%	100%	77%	73%	40%	77%	100%	77%	33%
P. crítico	-	FU-Boyacá	-	FU-Boyacá	FU-Boyacá	-	FU-Boyacá	-	FU-Boyacá	FU-Boyacá
Fucha: tramo 4										
	pH	OD	DBO ₅	DOO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
oc (mg/L)	6-9	0,2	250	400	200	4	60	8	40	1,0E+06
Históricos	95%	0%	53%	16%	57%	93%	70%	51%	38%	16%
Fase 1	100%	0%	58%	16%	53%	4%	47%	67%	24%	24%
Fase 2	100%	6%	68%	40%	50%	30%	65%	83%	26%	17%
Fase 3	100%	9%	69%	38%	63%	13%	41%	89%	33%	5%
P. crítico	-	FU-Alameda	FU-VisiónC	FU-VisiónC	FU-VisiónC	FU-VisiónC	FU-VisiónC	FU-VisiónC	FU-VisiónC	-

de la cuenca alta media, como a las descargas de la carrera 5 con calle 12 sur y los canales San Blas, Albina y Río Seco. En este sector, la mayor afectación se debe a la materia orgánica, los sólidos y los tensoactivos. Es importante

resaltar que a pesar de que Avenida Ferrocarril sea el punto crítico en el tramo 2, en el punto Carrera 7.^a la calidad del agua se ha deteriorado en el tiempo, ya que el cumplimiento ha disminuido respecto a los datos históricos. Dado

lo anterior, se debe fijar la atención en todo el tramo 2 del río Fucha para identificar impactos recientes en la calidad del agua.

El tercer punto, Avenida Boyacá, refleja la calidad de las descargas de la zona industrial de la ciudad, y Visión Colombia, el último punto crítico, muestra el alto impacto que generan las descargas de los interceptores Boyacá, Fucha y Sur, especialmente por las altas concentraciones de coliformes fecales y el alto consumo de oxígeno disuelto.

Finalmente, en el río Tunjuelo el tramo 1 reflejó muy buena calidad de agua en la mayoría de parámetros. Al igual que sucedió con el tramo 1 del río Salitre, en el Tunjuelo se presentaron concentraciones bajas de oxígeno disuelto. No hay otro factor que indique algún impacto por contaminación, de manera que la diferencia entre los métodos utilizados para la medición de oxígeno se pudo reflejar en los valores reportados. Los puntos más críticos del río Tunjuelo se encuentran a partir del tramo 2 (tabla 7.4). El primero es Doña Juana, donde se observa el gran impacto negativo de los lixiviados del relleno sanitario y de las descargas pro-

venientes de la explotación minera en la zona. Lo anterior genera un aumento considerable en las concentraciones de metales, nutrientes y sólidos, que alejan en gran proporción la posibilidad de cumplir con los objetivos de calidad. Por lo tanto, se debe dar prioridad a las acciones correctivas para intervenir estas descargas y así lograr un mejoramiento en la calidad del agua. En el tramo 3, nuevamente el punto Doña Juana presenta condiciones críticas para nutrientes y sólidos; le sigue el punto San Benito, afectado por la descarga de la quebrada Chiguaza, particularmente en materia orgánica y coliformes fecales. Por último, en el tramo 4 el cumplimiento de los objetivos de calidad se reduce considerablemente; en este tramo el punto Puente Independencia es el más afectado por materia orgánica, sólidos y SAAM. Por otro lado, el punto Transversal 86 presenta condiciones poco óptimas en nutrientes y coliformes fecales. En este tramo se descargan numerosos vertimientos de agua residual, entre los que se encuentra el interceptor Tunjuelo Medio, que genera un gran impacto en el río por sus altas cargas contaminantes.

TABLA 7.4. Resumen del cumplimiento de los objetivos de calidad (oc): río Tunjuelo

Tunjuelo: tramo 1										
	pH	OD	DBO ₅	DQO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
oc (mg/L)	6-9	7	5	35	10	0,5	20	0,2	3	1,0E+03
Históricos	85%	68%	100%	94%	95%	100%	100%	90%	100%	100%
Fase 1	100%	59%	100%	100%	57%	100%	100%	67%	100%	100%
Fase 2	100%	56%	100%	100%	14%	100%	100%	88%	100%	88%
Fase 3	100%	57%	100%	100%	15%	100%	100%	62%	100%	85%
Tunjuelo: tramo 2										
	pH	OD	DBO ₅	DQO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
oc (mg/L)	6-9	2	100	200	120	3	20	3	20	1,0E+06
Históricos	87%	78%	73%	62%	26%	100%	93%	40%	53%	78%

Continúa

Fase 1	87%	83%	87%	62%	43%	80%	97%	47%	63%	73%
Fase 2	93%	100%	100%	94%	29%	100%	100%	63%	88%	88%
Fase 3	79%	100%	96%	75%	42%	100%	100%	65%	83%	100%
P. crítico	-	-	TU-DJuana	TU-DJuana	TU-DJuana	-	-	TU-DJuana	TU-DJuana	TU-DJuana
Tunjuelo: tramo 3										
	pH	OD	DBO ₅	DOO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
oc (mg/L)	6-9	1	100	200	150	3	20	5	20	1,0E+06
Históricos	84%	21%	73%	53%	51%	90%	98%	69%	34%	61%
Fase 1	94%	56%	70%	47%	57%	57%	77%	62%	45%	48%
Fase 2	100%	48%	100%	94%	66%	78%	94%	84%	88%	78%
Fase 3	78%	30%	97%	73%	42%	84%	89%	89%	72%	77%
P. crítico	-	TU-SBenito	TU-SBenito	TU-DJuana	TU-DJuana	TU-MakroS	TU-SBenito	TU-DJuana	TU-DJuana	TU-SBenito
Tunjuelo: tramo 4										
	pH	OD	DBO ₅	DOO	SST	SAAM	GyA	P _{total}	N _{total}	C. fecales
oc (mg/L)	6-9	0,5	250	500	300	3	50	8	50	1,0E+06
Históricos	76%	3%	76%	65%	68%	74%	79%	66%	63%	20%
Fase 1	100%	55%	65%	48%	91%	13%	53%	80%	45%	20%
Fase 2	100%	13%	94%	63%	87%	19%	53%	100%	66%	31%
Fase 3	98%	27%	92%	80%	79%	45%	60%	98%	80%	25%
P. crítico	-	TU-Ptelnde	TU-Ptelnde	TU-Ptelnde	TU-Ptelnde	TU-IslaPon	TU-Tv86	TU-Tv86	TU-IslaPon	TU-Tv86

BIBLIOGRAFÍA

- AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND ENVIRONMENT AND CONSERVATION COUNCIL (ANZECC) & THE AGRICULTURE AND RESOURCE MANAGEMENT COUNCIL OF AUSTRALIA AND NEW ZEALAND (2000). *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality* (vols. 1 y 2). Canberra. Recuperado de http://www.mincos.gov.au/__data/assets/pdf_file/0014/316121/contents.pdf.
- BROWN, L. & BARNWELL, T. (1987). *Enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS. Documentation and user model*. s. l.: Environmental Research Laboratory Office of Research and Development. United States Environmental Protection Agency. Athens: Georgia.
- CAMACHO, L. & LEES, M. (1999). Multilinear discrete lag-cascade for channel routing. *Journal of Hydrology* 226, 30-47.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME) (2007). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Imidacloprid. En *Canadian environmental quality guidelines*. Winnipeg: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CARREIRA, A. M. (2007). De las perturbadoras y conflictivas relaciones de los bogotanos con sus aguas. *Tabula Rasa* (6), 263-285.
- CHAPRA, S. C., PELLETIER, G. J. & TAO, H. (2006). *QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality V2.04: Documentation and users manual*. Medford (Oregon, Estados Unidos): Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University.
- DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY (DWAf) (1996). *South African water quality guidelines* (vol. 7: *Aquatic ecosystems*). Pretoria: DWAf.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM) (1999). *Mediciones hidrométricas*. Bogotá: Subdirección de Hidrología, Ideam.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE & EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (2008). *Calidad de sistema hídrico de Bogotá*. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (1985). *Guidelines for deriving numerical national water quality criteria for the protection of aquatic organisms and their uses*. Washington: EPA.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), OFFICE OF WATER (1986). *Quality criteria for water*. Washington: EPA.

- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), OFFICE OF WATER (2007). *Aquatic life ambient freshwater quality criteria: copper*. Washington: EPA.
- (2009). *National recommended water quality criteria*. Washington: EPA.
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES & SECRETARÍA DISTRICTAL DE AMBIENTE (2010). *Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2008-2009)*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
- (2011). *Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2009-2010)*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (UNAL) & CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL RÍO GRANDE DE LA MAGDALENA (2007). *Estudios e investigaciones de las obras de restauración ambiental y de navegación del canal del Dique: modelación matemática, hidráulica y de calidad del agua del canal del Dique*. Bogotá.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (UNAL) & EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (EAAB), (2009). *Modelación dinámica de la calidad de agua del río Bogotá*. Bogotá.