

AUNAR ESFUERZOS PARA LA APROPIACIÓN TECNOLÓGICA Y DEL CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL CONTEXTO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLIN Y LA FORMULACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN

CONVENIO 1050 DE 2016



INFORME RESUMEN DE CALIDAD SUPERFICIAL



Medellín, Febrero de 2018

**AUNAR ESFUERZOS PARA LA APROPIACIÓN TECNOLÓGICA Y DEL
CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO
HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL CONTEXTO DE LA
OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN Y LA
FORMULACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN**

CONVENIO 1050 DE 2016

INFORME RESUMEN DE CALIDAD SUPERFICIAL



EJECUTA:



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

<http://www.udea.edu.co/>

UN PROYECTO DE:



Medellín, Febrero de 2018



AUNAR ESFUERZOS PARA LA APROPIACIÓN TECNOLÓGICA Y DEL CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL CONTEXTO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN Y LA FORMULACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN



Aunar esfuerzos para la apropiación tecnológica y del conocimiento para la gestión integral del recurso hídrico superficial y subterráneo, en el contexto de la operación de la red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín y la formulación de instrumentos de planificación– Convenio 1050 de 2016.

Un proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Eugenio Prieto Soto, Director
María del Pilar Restrepo Mesa, Subdirectora Ambiental

Ejecuta
Universidad de Antioquia
Mauricio Alviar Ramírez
Rector

Equipo de Trabajo:

Lina Claudia Giraldo Buitrago, Coordinación General; Rubén Alberto Agudelo García, Asesor de Coordinación; Carolina Zapata Vanegas, Ingeniero Logístico y de Calidad; Sandra Eugenia Flórez Hoyos, Asistente Administrativa; John Fredy Carmona Castaño, Ingeniero Sanitario Coordinador Operativo de la Red; Camilo César Castro Jiménez, Especialistas Calidad de Aguas; Alejandra Cifuentes Zapata, Ingeniera de Apoyo Monitoreo; Santiago Felipe Hidalgo Gaona, Ingeniero Modelación y Apoyo Monitoreo; Julián David Rojo Hernández, Ingeniero en Hidrología; Lina Claudia Giraldo Buitrago, Asesora de Modelación; Néstor Jaime Aguirre Ramírez, Asesor Biológico; Oscar David Álvarez Villa, Asesor de Hidrología; Diana Cristina Atehortúa Rivera, Yina Sofía Racinez Jaramillo, Vanessa Jaramillo Orozco, Joan Camilo Benítez Mejía, José Manuel Fernández Montes, Santiago Vásquez Sogamoso; Auxiliares y/o Practicantes de Ingeniería Operación de la Red Superficial; Nixon Arley Aristizábal Niño, Profesional en SIG; Andrés Felipe López Gómez, Ingeniero de Sistemas para Bases de Datos Agua Superficial; Carlos Andrés Jaramillo Osorio, Ingeniero Líder Estaciones Automáticas; Juan Manuel Osorio Zapata, Ingeniero de Apoyo Estaciones Automáticas; Andrés Camilo Zapata Moreno, Ingeniero Analista de Datos; Federico Zapata Tordecilla, Carlos Andrés Ardila Duque, Luis Gerardo Arcila Sáenz, Robinson Sepúlveda Salazar, Alexander Castro Herrera, Auxiliares de Ingeniería Estaciones Automáticas; Juan de Dios Delgado Lastra, Asesor Estadístico; Teresita Betancur Vargas, Coordinadora Hidrogeóloga; Paola Andrea Palacio Buitrago, Profesional para Modelación Aguas Subterráneas; Cristina Martínez Uribe, Profesional Manejo de Base de Datos Espacial; Juliana Ossa Valencia; Profesional en interpretación química e isotópica del agua subterránea; Ángela Díaz Torres, Asistente Administrativa; Manuel Antonio González Romero, Andrés Felipe Tapias Gutiérrez, María Stephanía Vélez Ortiz, Brayan Andrés Arenas González, Estudiantes auxiliares Operación Red Subterránea; Ángel José Cardona Pérez, Apoyo Revisión Expedientes; Alejandro Martínez Ayala, Profesional Sistemas Fortalecimiento Redes; Juan Carlos Rodríguez Arboleda, Ingeniero en gestión ambiental y territorial; Alexander Ossa Montoya, Profesional con experiencia en gestión tecnológica Fortalecimiento Redes; Alba Mery Upegüi Posada, Profesional área social y profesional para



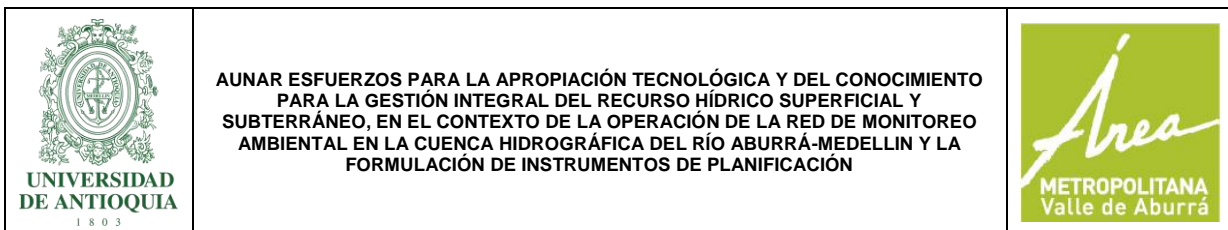
AUNAR ESFUERZOS PARA LA APROPIACIÓN TECNOLÓGICA Y DEL CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL CONTEXTO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN Y LA FORMULACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN



gestión ajuste de la red, fortalecimiento de redes; Álvaro Zapata Zapata, Profesional experto en perforación; Clara Zuluaga Marín, Coordinadora general del PORH, Nora Elena Villegas Jiménez, Asesora PORH; Pamela Isabel Múnera López, Yamile Castaño Cuervo, Profesionales del área social; Primitivo Hernández Almanza, Jaime Norberto Guarín Ocampo, Leny Yohana Cano Agudelo, María Fernanda Cardenas Agudelo, Lucrecia Ester Zapata Múnera, Israel Palacio Herrera, María Julieth Londoño Duque, Tulio Jairo Londoño Molina, Dany Yilban Cano Torres, Paulo César López Galeano, Juan David Osorio Múnera, Erika María Builes Rendón, Roberto Mejía Ruiz, Oscar David Álvarez Villa, Juan Carlos Rodríguez Arboleda, Guillermo León Moreno Soto, Clara Zuluaga Marín, Profesionales Especializados PORH; Dany Yilban Cano Torres, Profesional con experiencia en formulación de proyectos, Yaneth Daza González, ingeniera PORH y profesional de enlace con el equipo social, Daniel Cardona Arredondo, Comunicador PORH, Luis Fernando Castro Henao, Profesional metas de reducción; Diana Marcela Quintero Posada, Johan Sebastián León Mora, Andrés Octavio Pérez Brand, Alexander Castro Herrera, Estudiantes Auxiliares PORH; Lina Claudia Giraldo Buitrago, Coordinación General Consulta Previa; Clara Zuluaga Marín, Coordinadora general del PORH (Consulta Previa), Pamela Isabel Múnera López, Yamile Castaño Cuervo, Profesionales del área social Consulta Previa, Yanneth Bibiana Daza Vargas, Profesional ambiental Consulta Previa, Yina Sofía Racinez Jaramillo, Auxiliar de ingeniería Consulta Previa, Ángel José Cardona Pérez, Apoyo PMAA Consulta Previa; Nelson Ricardo Ramírez García, Comunicador Operación de la Red Plan Comunicacional; Daniel Cardona Arredondo, Comunicador campaña de sensibilización; Elizabeth Flórez Córdoba, Profesional técnico campaña de sensibilización; Diana Cristina Atehortúa Rivera, Alexander Castro Herrera, Auxiliares Plan Comunicacional; Clara Zuluaga Marín, Profesional apoyo Plan de Divulgación; Natalia Galeano Cardona, Edwin Mauricio Moreno Orozco, Actores campaña de sensibilización; Teresita Betancur Vargas, Coordinadora General PMAA; Paola Andrea Palacio Buitrago, Coordinadora del componente hidrogeológico PMAA; Maribel Fernández Agudelo, Connie Paola López Gómez, Alba Mery Upegüí Posada, Coordinación del Componente Área Social PMAA; Carlos Guillermo Mora Acú; Profesional Área Social de Apoyo PMAA; Yanet Maritza Moncada Velásquez, Profesional de Apoyo del Área Social; Rodrigo Alonso Díaz Correa, Profesional del área de hidrogeología; Miriam de Jesús Benjumea Hernández, Ingeniera Experta en Gestión Ambiental con experiencia en Planes de Manejo PMAA; Deisy Yurani Rivera Arias, Comunicadora PMAA; Cristina Martínez Uribe, Profesional Experto en SIG con Experiencia en Base de Datos Espaciales e Hidrogeología; Guillermo León Moreno Soto, Ingeniero con experiencia en prospectiva; Ángela Díaz Torres, Asistente Auxiliar PMAA; María Alejandra Vela Castillo, Andrea Velásquez Uribe, Wendy María Gómez Duque, Eliana Laylim Dosa Ávila, Tatiana María Gómez Duque, Andrés Felipe Tapias Gutiérrez, Brayan Andrés Arenas González, Luis Gerardo Arcila Sáenz, Estudiantes Auxiliares PMAA.

Interventoría COLNET:

María Alejandra Echeverri Arango, Coordinadora; Norberth Ayala Ocampo, Apoyo a la Coordinación Componente Administrativo y Financiero; José Javier Jaramillo, Responsable Componente Operación Agua Superficial – Hidrología e Hidráulica; Leonardo García, Responsable de Calidad y Modelación; Luis Fernando Quintero, Responsable Operación Agua Subterráneas; Sandra Patiño, Responsable PMAA; Diana Álvarez, Responsable Componente



Comunicaciones; Laura Hernández, Componente SIG; Edwin Cadavid, Componente Financiero; Jorge Ceballos, Apoyo a la Coordinación, Diana Alvarez, Comunicadora.

Supervisión Área Metropolitana del Valle de Aburrá:

Margarita María Cardona Gallo; Profesional Universitario, Olga Amparo Velázquez Lozano; Profesional Universitario, Raúl Alexander Cardona Pareja, Profesional Contratista; Ángela Soto Isaza, Profesional Contratista; Vanessa García Leoz, Profesional Contratista; Sara Lizbeth Salamanca Arias, Profesional Contratista; Catalina Castaño Castrillón, Profesional Contratista; Yessica Yuliana Bedoya Valencia, Profesional Contratista (Supervisión y Apoyo Programa de Gestión Ambiental).

28 de febrero de 2018, Medellín



AUNAR ESFUERZOS PARA LA APROPIACIÓN TECNOLÓGICA Y DEL CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL CONTEXTO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN Y LA FORMULACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	8
2	ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS AÑO 2017 (RESUMEN POR ESTACIÓN).....	8
2.1	RESERVA ALTO DE SAN MIGUEL (E0).....	8
2.2	SAN MIGUEL (E1).....	9
2.3	PRIMAVERA (E2).....	10
2.4	ANCÓN SUR (E3).....	11
2.5	ANTES DE SAN FERNANDO (E5).....	14
2.6	DESPUÉS DE SAN FERNANDO (E6).....	17
2.7	AULA AMBIENTAL (E8).....	20
2.8	PUENTE ACEVEDO (E9).....	23
2.9	PUENTE MACHADO (E11).....	26
2.10	NIQUÍA (E21).....	29
2.11	ANCÓN NORTE (E12).....	32
2.12	PAPELSA (E16).....	35
2.13	PUENTE GABINO (E20).....	38
3	RESUMEN PERFIL DE CALIDAD DEL AGUA PARA EL AÑO 2017.....	41
3.1	ANÁLISIS CALIDAD DEL AGUA RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN POR ESTACIÓN.....	41
3.2	ANÁLISIS CALIDAD DEL AGUA RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN POR CAMPAÑAS DE MONITOREO.....	44
3.3	ANÁLISIS EXPLORATORIO MULTIVARIADO SUNRAY.....	47
3.4	ANÁLISIS FACTORIAL CALIDAD DEL AGUA RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN.....	49
3.5	ANÁLISIS CLÚSTER EN CAMPAÑAS Y ESTACIONES DE MONITOREO RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN.....	53
4	RESUMEN ESTADÍSTICO TEMPORAL Y POR NIVELES DE CAUDAL.....	55

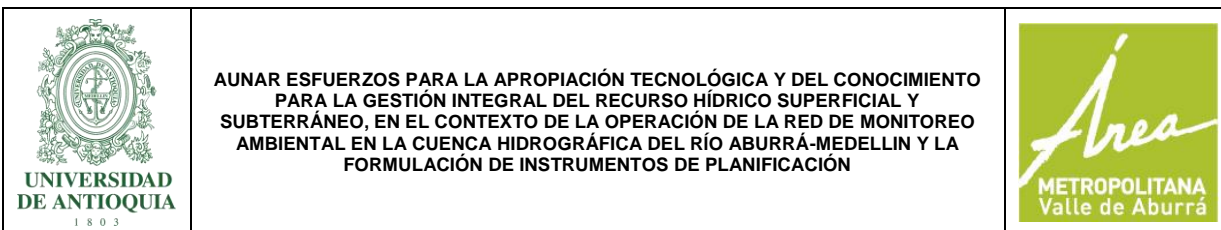
TABLAS

Tabla 1.	Conjunto de datos estación Reserva Alto de San Miguel (E0).....	9
Tabla 2.	Conjunto de datos estación San Miguel (E1).....	10
Tabla 3.	Conjunto de datos estación Primavera (E2).....	11
Tabla 4.	Resumen estadístico estación Ancón Sur (E3).....	12
Tabla 5.	Resumen estadístico estación Antes de San Fernando (E5).....	15
Tabla 6.	Resumen estadístico estación Después de San Fernando (E6).....	18
Tabla 7.	Resumen estadístico estación Aula Ambiental (E8).....	21
Tabla 8.	Resumen estadístico estación Puente Acevedo (E9).....	24
Tabla 9.	Resumen estadístico estación Puente Machado (E11).....	27
Tabla 10.	Resumen estadístico estación Niquía (E21).....	30
Tabla 11.	Resumen estadístico estación Ancón Norte (E12).....	33
Tabla 12.	Resumen estadístico estación Papelsa (E16).....	36
Tabla 13.	Resumen estadístico estación Puente Gabino (E20).....	39
Tabla 14.	Correlación variables fisicoquímicas e hidrobiológicas río Aburrá-Medellín.....	50
Tabla 15.	Análisis factorial río Aburrá-Medellín.....	50
Tabla 16.	Prueba de rangos múltiples factor WQ_1 en campañas de monitoreo.....	51

Tabla 17. Prueba de rangos múltiples factor WQ_1 en estaciones de monitoreo.....52

FIGURAS

Figura 1. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Ancón Sur (E3)	14
Figura 2. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Antes de San Fernando (E5) ...	17
Figura 3. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Después de San Fernando (E6)	20
Figura 4. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Aula Ambiental (E8).....	23
Figura 5. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Puente Acevedo (E9)	26
Figura 6. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Puente Machado (E11)	29
Figura 7. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Niquía (E21).....	32
Figura 8. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Ancón Norte (E12).....	35
Figura 9. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Papelsa (E16).....	38
Figura 10. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Puente Gabino (E20).....	41
Figura 11. Gráfico de Caja y Bigotes variables fisicoquímicas e hidrobiológicas en estaciones río Aburrá-Medellín.....	44
Figura 12. Gráfico de Caja y Bigotes variables fisicoquímicas e hidrobiológicas en campañas de monitoreo río Aburrá-Medellín	47
Figura 13. Interpretación y descripción de las variables en el gráfico de estrella	47
Figura 14. Gráfico de estrellas para estaciones en el río Aburrá-Medellín en cinco campañas de monitoreo	49
Figura 15. Medias del factor WQ_1 para las campañas y las estaciones de monitoreo en el río Aburrá-Medellín	51
Figura 16. Variación del factor WQ_1 entre campañas y estaciones de monitoreo en el río Aburrá-Medellín	53
Figura 17. Dendograma en campañas y estaciones río Aburrá-Medellín.....	54
Figura 18. Variación temporal ICA Global y SST río Aburrá-Medellín	55
Figura 19. Variación ICA Global y SST río Aburrá-Medellín por caudales	56



1 INTRODUCCIÓN

En el documento se presenta un análisis estadístico del conjunto de datos recolectado para el río Aburrá-Medellín a partir de campañas de muestra completa realizadas durante el año 2017, con la finalidad de analizar el comportamiento de las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas en trece estaciones de monitoreo localizadas a lo largo del cuerpo de agua y en diferentes épocas hidrológicas; adicionalmente, se analiza el índice ICA-Global a nivel temporal y respecto a diferentes escenarios de caudales con la finalidad de detectar cambios en la calidad del cuerpo de agua.

2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS AÑO 2017 (RESUMEN POR ESTACIÓN)

Presenta el resumen estadístico obtenido para las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas en cada estación de monitoreo durante las campañas de muestra completa realizadas en el transcurso de 2017, el resumen incluye medidas de tendencia central y de variabilidad. Se destaca que en las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0), San Miguel (E1) y Primavera (E2) se registraron valores inferiores al límite de detección del método para la mayoría de las variables evaluadas en las campañas de monitoreo realizadas, por lo tanto, en los sitios de muestreo mencionados previamente se presentan los resultados obtenidos para las diferentes jornadas realizadas.

2.1 RESERVA ALTO DE SAN MIGUEL (E0)

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas en la estación Reserva Alto de San Miguel (E0). En E0 se registraron bajos valores para las variables fisicoquímicas evaluadas (valores inferiores a los límites de detección del método para la mayoría de ellas), mientras que los datos recolectados para el índice biológico BMWP/Col evidencian que la corriente presenta una buena calidad. Lo anterior, se relaciona con la implementación de medidas de protección en la zona, las cuales permiten preservar el recurso hídrico.

Tabla 1. Conjunto de datos estación Reserva Alto de San Miguel (E0)

FECHA	22/02/2017	26/04/2017	10/07/2017	02/08/2017	27/09/2017
T Agua (°C)	16.30	15.20	16.70	17.40	16.10
pH (U de pH)	7.20	7.00	6.49	6.60	6.93
Oxígeno disuelto (mg/L)	7.50	8.10	7.60	7.60	7.68
Conductividad eléctrica (µS/cm)	26.60	22.30	26.10	26.10	24.70
DBO5 (mg/L)	<3.04	<3.04	<3.04	<3.04	<3.04
DQO (mg/L)	<10.00	<10.00	<10.00	<10.00	<10.00
P-Total (mg P/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PO4 (mg P/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
P -Org (mg P/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO3 (mg N/L)	0.26	<0.3	0.16	0.13	0.16
NO2 (mg N/L)	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015
N - Org (mg N/L)	<1.00	<1.00	<1.00	1.10	<1.00
NTK (mg N/L)	<1.00	<1.00	<1.00	1.10	<1.00
SST (mg/L)	<10.00	<5.00	12.00	11.00	<5.00
ST (mg/L)	36.00	60.00	38.00	41.00	33.00
STV (mg/L)	<10.00	43.00	<25.00	<25.00	<25.00
SDT (mg/L)	26.00	55.00	26.00	30.00	28.00
STF (mg/L)	26.00	17.00	27.00	30.00	25.00
SSED (mL/L-h)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	<3.00	<3.00	6.00	4.60	<3.00
Color verdadero (UPC)	5.00	27.00	4.90	4.10	4.90
SAAM (mg SAAM/L)	<0.10	<0.20	<0.10	<0.10	<0.20
BMWP Col	102.00	76.00	99.00	106.00	86.00
Q(m ³ /s)		2.15	0.63	0.57	0.93
E - Coli (NMP/100 ml)	1.00E+01	6.00E+01	9.80E+01	2.70E+01	1.90E+01
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.47E+03	2.19E+03	2.42E+03	2.42E+03	2.42E+03

2.2 SAN MIGUEL (E1)

En la Tabla 2 se muestra el conjunto de datos obtenidos para las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas en la estación San Miguel (E1) durante las campañas de monitoreo realizadas en el año 2017.

Los registros evidencian que en E1 se cumplieron los objetivos de calidad para las variables evaluadas durante las campañas de monitoreo realizadas, sin embargo, la conductividad eléctrica presentó valores superiores a 30,00 µS/cm en todas las jornadas ejecutadas, lo cual se puede relacionar con la fracción disuelta aportada a la corriente a través de vertimientos de aguas residuales o fuentes difusas como la escorrentía. En la campaña correspondiente al 26 de abril, la DQO y los sólidos suspendidos totales presentaron valores superiores a los criterios de calidad establecidos para la estación, vinculado con las condiciones meteorológicas registradas en el transcurso de la jornada, puesto que se registraron eventos de lluvia previo a la campaña y durante la misma, que generaron resuspensión de sedimentos.

Se destaca que en la campaña realizada el 2 de agosto se registró un valor significativo para la conductividad eléctrica correspondiente a 150,31 µS/cm, vinculado a un vertimiento realizado sobre la quebrada La Mina entre las 11:18 horas y las 14:00 horas, periodo en el que la conductividad eléctrica osciló entre 91,00 y 524,00 µS/cm.

Tabla 2. Conjunto de datos estación San Miguel (E1)

FECHA	22/02/2017	26/04/2017	10/07/2017	02/08/2017	27/09/2017
T Agua (°C)	18.78	17.31	18.33	18.48	17.72
pH (U de pH)	8.02	7.18	7.44	7.57	7.45
Oxígeno disuelto (mg/L)	7.14	7.28	7.26	7.19	7.18
Conductividad eléctrica (µS/cm)	37.31	31.43	35.08	105.31	36.92
DBO5 (mg/L)	<3.04	4.51	<3.04	<3.04	<3.04
DQO (mg/L)	<10.00	17.10	<10.00	<10.00	<10.00
P-Total (mg P/L)	<0.05	0.14	<0.05	<0.05	<0.05
PO4 (mg P/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
P -Org (mg P/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO3 (mg N/L)	0.27	0.52	0.25	0.90	0.32
NO2 (mg N/L)	0.015	<0.01	<0.015	<0.015	<0.015
N - Org (mg N/L)	1.12	<1.00	<1.00	<1.00	1.49
NTK (mg N/L)	1.12	<1.00	<1.00	<1.00	1.49
SST (mg/L)	<10.00	86.00	<5.00	9.00	10.00
ST (mg/L)	45.00	132.00	52.00	100.00	55.00
STV (mg/L)	18.00	35.00	<25.00	26.00	<25.00
SDT (mg/L)	35.00	46.00	47.00	91.00	45.00
STF (mg/L)	27.00	97.00	45.00	74.00	38.00
SSED (mL/L-h)	<0.10	0.50	<0.10	<0.10	<0.10
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	<3.00	<3.00	4.80	4.60	<3.00
Color verdadero (UPC)	8.00	29.00	6.30	4.90	6.30
SAAM (mg SAAM/L)	0.10	0.20	0.10	0.10	0.20
BMWP Col	100.00	88.00	87.00	67.00	38.00
Q(m ³ /s)	0.50	2.85	0.89	0.73	1.15
E - Coli (NMP/100 ml)	4.80E+02	8.60E+02	1.54E+03	7.10E+02	4.40E+02
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	2.42E+04	1.30E+04	1.20E+04	1.55E+04	4.88E+03

2.3 PRIMAVERA (E2)

En la Tabla 3 se presentan los registros obtenidos para las variables fisicoquímicas y biológicas en la estación Primavera (E2) a partir de las campañas de muestra completa realizadas en durante el año 2017. En cuanto a los objetivos de calidad, se destaca que la conductividad eléctrica y los sólidos suspendidos totales presentaron valores superiores a los criterios establecidos en todas las campañas realizadas, mientras que el color verdadero y el fósforo total registraron niveles superiores a 50,00 UPC y 0,30 mgP/L en las jornadas ejecutadas el 26 de abril y el 10 de julio. Lo anterior, se asocia a vertimientos de aguas residuales realizados sobre la corriente y sobre afluentes como la quebrada La Salada, como también, con las condiciones meteorológicas registradas durante las campañas, puesto que en época de lluvias se presentó una resuspensión de sedimentos debida a niveles significativos en la lámina de agua.

Se destaca que en el transcurso de la campaña realizada el 2 de agosto la conductividad eléctrica registró un valor promedio correspondiente a 127,39 µS/cm, lo cual se puede relacionar con el tránsito de la masa de agua afectada por un vertimiento de agua residual realizado sobre la quebrada La Mina, localizada aguas arriba de la estación San Miguel, y que se detectó en E1 a las 11:18 horas y que generó un incremento en la conductividad eléctrica en E2 entre las 13:00 y 15:00 horas y donde se registraron valores que oscilaron entre 113,90 y 350,00 µS/cm.

Tabla 3. Conjunto de datos estación Primavera (E2)

FECHA	22/02/2017	26/04/2017	10/07/2017	02/08/2017	27/09/2017
T Agua (°C)	19.72	17.98	18.97	19.05	18.53
pH (U de pH)	7.62	7.22	7.42	7.57	7.22
Oxígeno disuelto (mg/L)	7.59	7.89	7.39	7.50	7.62
Conductividad eléctrica (µS/cm)	62.68	48.16	59.81	127.39	56.84
DBO5 (mg/L)	5.90	4.50	<3.04	<3.04	4.21
DQO (mg/L)	16.40	16.30	<10	<10	<10
P-Total (mg P/L)	0.12	0.21	0.06	0.07	0.06
PO4 (mg P/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
P -Org (mg P/L)	0.07	0.07	<0.05	<0.05	<0.05
NO3 (mg N/L)	0.35	0.46	0.24	1.50	0.03
NO2 (mg N/L)	<0.015	<0.01	<0.015	<0.015	<0.015
N - Org (mg N/L)	1.16	<1	<1	1.74	1.84
NTK (mg N/L)	1.16	<1	<1	1.74	1.84
SST (mg/L)	16.00	216.00	26.00	21.00	189.00
ST (mg/L)	73.00	329.00	86.00	121.00	262.00
STV (mg/L)	22.00	60.00	<25	<25	40.00
SDT (mg/L)	57.00	113.00	60.00	100.00	73.00
STF (mg/L)	51.00	269.00	83.00	113.00	222.00
SSED (mL/L-h)	0.20	0.90	0.10	0.20	0.50
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	<3	<3	4.00	4.30	3.80
Color verdadero (UPC)	14.00	60.00	10.70	9.30	24.00
SAAM (mg SAAM/L)	0.11	0.20	0.10	0.10	0.20
BMWP Col	29.00	46.00	46.00	50.00	46.00
Q(m ³ /s)	1.08	6.96	1.73	1.60	2.63
E - Coli (NMP/100 ml)	1.72E+04	6.10E+03	8.10E+03	6.40E+03	1.72E+04
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	8.16E+04	3.87E+04	5.47E+04	9.80E+04	6.49E+04

2.4 ANCÓN SUR (E3)

En la Tabla 4 se muestra el resumen estadístico para las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas en la estación Ancón Sur (E3) durante las campañas completas realizadas en el año 2017, entretanto, en la Figura 11 se presentan los diagramas de cajas y bigotes.

Los resultados obtenidos para las variables evaluadas en la estación Ancón Sur (E3) se relacionan con los aportes de aguas residuales domésticas y no domésticas realizados directamente sobre la corriente aguas arriba del sitio de muestreo provenientes de los municipios de Caldas, La Estrella y Sabanera, como también, sobre quebradas afluentes como La Valeria (Q1), La Miel (Q2), La Grande (Q5) y La Bermejala (Q34), entre otras; asimismo, los datos registrados se vinculan a la composición de los vertimientos y a los caudales presentados durante la jornada.

Los resultados evidencian que la materia presente en la corriente estuvo constituida por compuestos biodegradables, en cuanto a los sólidos se observó una predominancia de las fracciones disuelta e inorgánica, lo anterior se puede atribuir a la composición de las aguas residuales vertidas sobre la corriente. La concentración de oxígeno disuelto osciló entre 5,37 y 7,81 mg/L, asociado a las condiciones hidráulicas del cuerpo de agua que favorecen el intercambio gaseoso entre la corriente y la atmósfera, pero que también están influenciadas por la presencia de materia orgánica e inorgánica susceptible de degradarse a través de procesos de oxidación. El conjunto de datos obtenido para el índice biológico BMWP osciló entre 8 y 21, lo cual evidencia que la calidad del agua varió entre crítica y muy crítica.

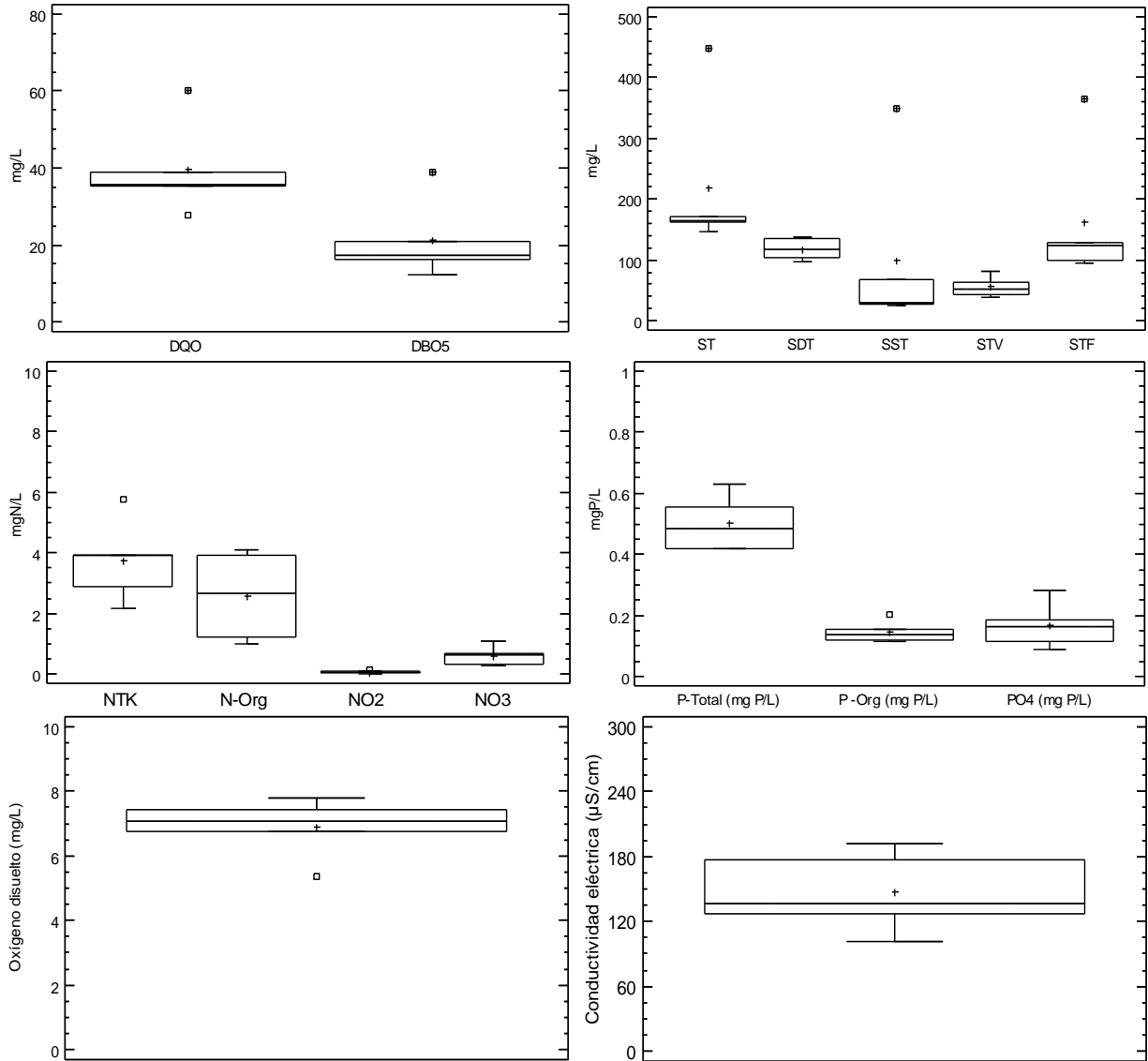
Tabla 4. Resumen estadístico estación Ancón Sur (E3)

VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.65	7.63	0.14	0.02	7.49	7.82	0.33
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	6.89	7.05	0.94	0.14	5.37	7.81	2.44
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	147.00	136.00	37.30	0.25	101.00	192.00	91.10
DBO ₅ (mg/L)	5.00	21.20	17.30	10.40	0.49	12.30	38.90	26.60
DQO (mg/L)	5.00	39.50	35.60	12.20	0.31	27.90	60.20	32.30
P-Total (mg P/L)	5.00	0.50	0.49	0.09	0.18	0.42	0.63	0.21
PO ₄ (mg P/L)	5.00	0.17	0.16	0.07	0.45	0.09	0.28	0.19
P-Org (mg P/L)	5.00	0.15	0.14	0.04	0.24	0.11	0.20	0.09
NO ₃ (mg N/L)	5.00	0.60	0.63	0.33	0.55	0.29	1.09	0.80
NO ₂ (mg N/L)	5.00	0.07	0.05	0.04	0.66	0.03	0.14	0.11
N - Org (mg N/L)	5	2.58	2.68	1.46	56.50%	1	4.1	3.1
NTK (mg N/L)	5.00	3.74	3.93	1.36	0.36	2.18	5.78	3.60
SST (mg/L)	5.00	100.00	30.00	141.00	1.40	26.00	350.00	324.00
ST (mg/L)	5.00	218.00	164.00	128.00	0.59	147.00	447.00	300.00
STV (mg/L)	5.00	55.60	51.00	17.70	0.32	38.00	82.00	44.00
SDT (mg/L)	5.00	118.00	117.00	18.20	0.15	97.00	137.00	40.00
STF (mg/L)	5.00	163.00	124.00	114.00	0.70	95.00	365.00	270.00
SSED (mL/L-h)	5.00	0.78	0.70	0.40	0.51	0.20	1.20	1.00
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	5.08	4.30	2.66	0.52	3.00	9.40	6.40
Color verdadero (UPC)	5.00	29.30	25.40	18.20	0.62	15.50	61.00	45.50
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	0.67	0.68	0.23	0.34	0.39	1.00	0.61
BMWP Col	5.00	11.60	10.00	7.02	0.60	3.00	21.00	18.00
Q (m ³ /s)	5.00	6.76	4.09	8.08	1.20	1.18	21.00	19.90
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	6.52E+05	5.20E+05	4.81E+05	73.80%	1.30E+05	1.43E+06	1.30E+06
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	2.45E+06	2.38E+06	7.19E+05	29.30%	1.40E+06	3.25E+06	1.85E+06

Se destaca que los valores extremos registrados en las variables DQO, DBO₅, Sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos totales fijos (STF) y color verdadero se relacionan con los altos niveles en la lámina de agua registrados durante la campaña ejecutada el 26 de abril de 2017, en la cual se registraron eventos de precipitación previo a la jornada y durante la misma y los cuales se caracterizaron por ser de intensidad alta.

En la estación Ancón Sur (E3) se registraron niveles superiores a los criterios de calidad establecidos para las variables DBO₅, DQO y conductividad eléctrica durante las campañas realizadas el 22 de febrero y 10 de julio, resultados que pueden atribuirse a bajos caudales que limitan la asimilación de contaminantes. En la campaña realizada el 26 de abril se obtuvieron niveles superiores a los objetivos establecidos para las variables sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, nitrógeno total Kjeldahl y color verdadero; debido a aportes difusos asociados al proceso de escorrentía y la resuspensión de sedimentos como consecuencia de las lluvias registradas en la cuenca y el incremento en el caudal de la corriente. En las jornadas de monitoreo ejecutadas en los meses de agosto y septiembre se presentaron niveles superiores a los criterios de calidad fijados para las variables DQO, conductividad eléctrica y nitrógeno total Kjeldahl, relacionadas con las cargas contaminantes aportadas a través de vertimientos de aguas residuales y a los bajos caudales reportados.

Se destaca que las variables grasas y aceites, oxígeno disuelto, pH del agua y fósforo total cumplieron con los criterios de calidad establecidos en la totalidad de las campañas realizadas, mientras que el color verdadero presentó un valor superior al objetivo durante la jornada ejecutada el 26 de abril, donde se registraron caudales altos.



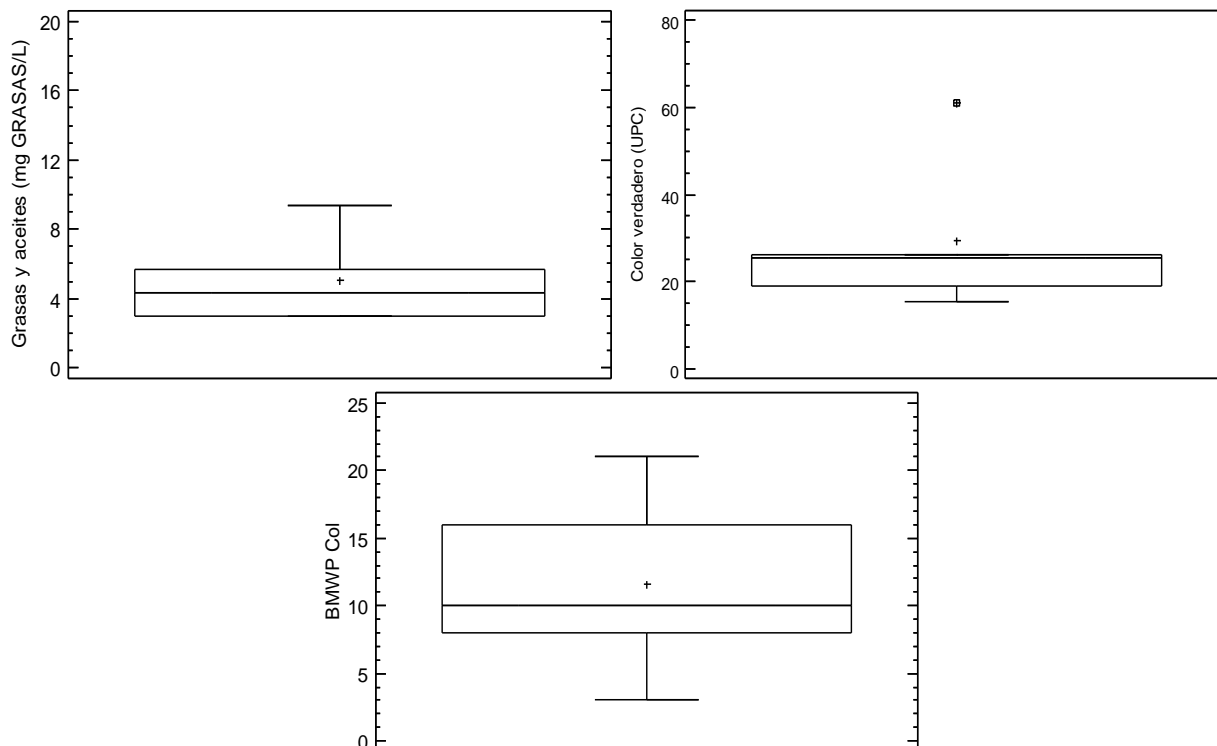


Figura 1. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Ancón Sur (E3)

2.5 ANTES DE SAN FERNANDO (E5)

El resumen estadístico obtenido para las variables fisicoquímicas y biológicas medidas en la estación Antes de San Fernando (E5) durante las campañas completas realizadas en el año 2017 se muestra en la Tabla 5. En la Figura 2 se presentan los diagramas de cajas y bigotes para las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas evaluadas en E5.

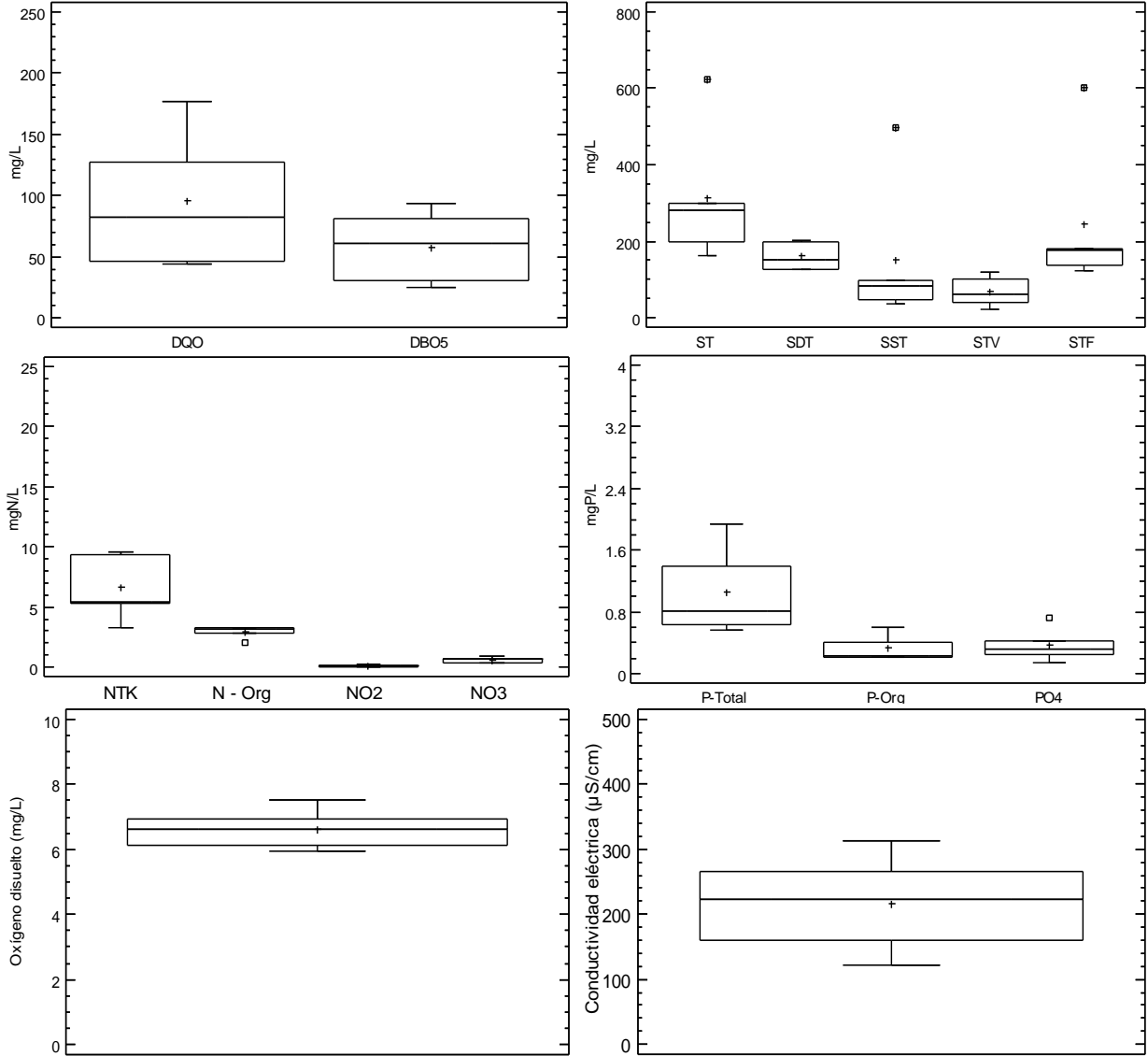
De acuerdo con los resultados obtenidos para las variables evaluadas, se destaca que en E5 predominó la materia biodegradable y las fracciones de sólidos disueltos e inorgánicos, asociado a las cargas contaminantes vertidas a la corriente aguas arriba del sitio de muestreo y que provienen de los municipios de Caldas, La Estrella, Sabaneta y Envigado, como también, a la confluencia de quebradas como Doña María (E4), La Doctora (Q3) y La Mina (Q25). Las concentraciones registradas para los nutrientes se relacionan con la composición de las aguas residuales descargadas a la corriente, mientras que las concentraciones reportadas para el oxígeno disuelto se vinculan a las condiciones hidráulicas de la corriente y la presencia en el cuerpo de agua de sustancias susceptibles de oxidarse. El índice biológico BMWP/Col osciló entre 2,00 y 8,00, valores que corresponden a aguas fuertemente contaminadas.

Tabla 5. Resumen estadístico estación Antes de San Fernando (E5)

VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.90	7.84	0.18	0.02	7.75	8.18	0.43
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	6.63	6.61	0.63	0.09	5.96	7.52	1.56
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	216.00	222.00	77.00	0.36	122.00	312.00	190.00
DBO ₅ (mg/L)	5.00	58.00	60.50	29.90	0.52	25.30	93.10	67.80
DQO (mg/L)	5.00	95.30	82.70	56.80	0.60	43.90	177.00	133.00
P-Total (mg P/L)	5.00	1.06	0.81	0.58	0.55	0.56	1.93	1.37
PO ₄ (mg P/L)	5.00	0.37	0.31	0.22	0.60	0.15	0.72	0.57
P-Org (mg P/L)	5.00	0.34	0.24	0.18	0.52	0.21	0.61	0.40
NO ₃ (mg N/L)	5.00	0.60	0.64	0.24	0.40	0.31	0.88	0.57
NO ₂ (mg N/L)	5.00	0.12	0.10	0.08	0.69	0.04	0.24	0.20
N - Org (mg N/L)	5.00	2.93	3.18	0.54	0.19	2.01	3.32	1.31
NTK (mg N/L)	5.00	6.61	5.45	2.76	0.42	3.33	9.60	6.27
SST (mg/L)	5.00	152.00	82.00	194.00	1.28	38.00	497.00	459.00
ST (mg/L)	5.00	313.00	281.00	182.00	0.58	163.00	623.00	460.00
STV (mg/L)	5.00	68.60	60.00	40.80	0.60	23.00	118.00	95.00
SDT (mg/L)	5.00	161.00	153.00	37.80	0.24	125.00	202.00	77.00
STF (mg/L)	5.00	244.00	178.00	200.00	0.82	124.00	600.00	476.00
SSED (mL/L-h)	5.00	0.96	1.10	0.47	0.49	0.30	1.50	1.20
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	11.90	5.90	16.00	1.35	3.00	40.30	37.30
Color verdadero (UPC)	5.00	68.60	51.90	57.50	0.84	25.40	165.00	139.00
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	1.26	0.92	0.83	0.66	0.42	2.35	1.93
BMWP Col	5.00	3.60	3.00	2.51	0.70	2.00	8.00	6.00
Q(m ³ /s)	5.00	8.85	6.03	8.36	0.94	2.13	23.10	21.00
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	1.29E+06	5.70E+05	1.37E+06	106.00%	4.20E+05	3.65E+06	3.23E+06
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	8.13E+06	6.10E+06	8.63E+06	106.00%	1.92E+06	2.30E+07	2.11E+07

Los valores extremos registrados para las variables Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Totales Fijos (STF) se relacionan con la resuspensión de sedimentos generada a partir de los altos caudales registrados en el transcurso de la campaña de monitoreo debido a las fuertes precipitaciones registradas previo a la jornada y durante la misma. La concentración registrada para las grasas y aceites correspondiente a 40,30 mg/L se puede relacionar con la descarga del bypass de la PTAR San Fernando, la cual no se encontraba en funcionamiento durante la jornada de monitoreo debido a procesos de mantenimiento, mientras que el valor extremo reportado para el color verdadero se vincula con un vertimiento de color amarillo proveniente de la PTAR San Fernando, realizado aguas arriba de E5 entre las 10:00 y 10:20 horas y que se caracterizó por generar un cambio notable en el color de la corriente. El color verdadero y las grasas y aceites presentaron valores superiores a los objetivos durante las jornadas ejecutadas el 22 de febrero y el 10 de julio respectivamente, debido a los eventos mencionados previamente.

En cuanto a los objetivos de calidad, se destaca que en E5 se presentaron niveles superiores a los criterios establecidos para las variables DBO₅, DQO y conductividad eléctrica en las campañas realizadas el 22 de febrero y el 10 de julio, mientras que el 26 de abril las variables sólidos suspendidos totales y color verdadero incumplieron los objetivos planteados debido a la resuspensión de sedimentos y el incremento en el caudal como resultado de los eventos de lluvia registrados en la cuenca. El 2 de agosto se registraron valores para la DBO₅ y la conductividad eléctrica levemente superiores a los criterios de calidad fijados, lo cual se puede relacionar con las cargas contaminantes aportadas a través de vertimientos de aguas residuales. En la campaña realizada el 27 de septiembre no se incumplieron los criterios de calidad establecidos en la Resolución Metropolitana 2016 de 2012.



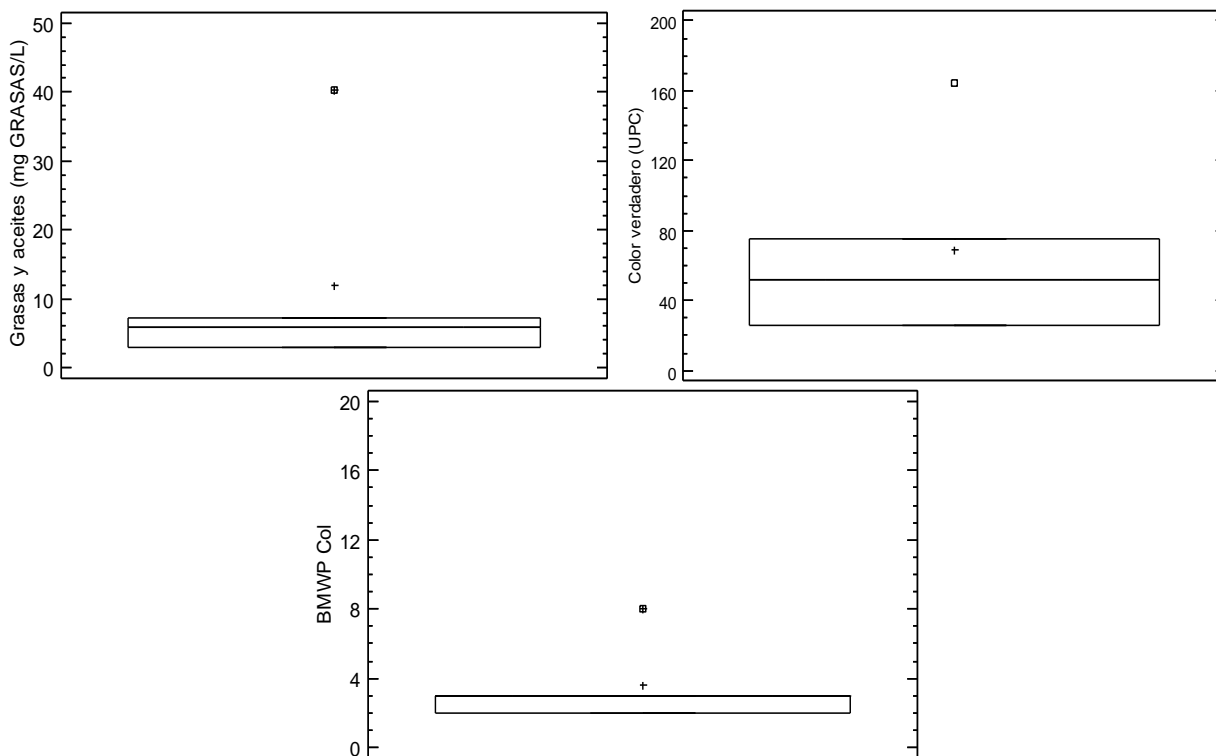


Figura 2. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Antes de San Fernando (E5)

2.6 DESPUÉS DE SAN FERNANDO (E6)

En la Tabla 6 se muestra el resumen estadístico obtenido para las variables fisicoquímicas y biológicas determinadas en la estación Después de San Fernando (E6) durante las campañas completas realizadas en el año 2017; en la Figura 3 se muestran los diagramas de cajas y bigotes para las variables evaluadas.

La estación Después de San Fernando (E6) está localizada aguas abajo de la confluencia de la quebrada La Ayurá (Q4) y de la descarga de aguas residuales tratadas provenientes de la PTAR San Fernando, de modo que el conjunto de datos registrado está influenciado por ambos aportes, además de las cargas contaminantes provenientes de los municipios de Caldas, La Estrella, Sabaneta, Envigado e Itagüí. Los resultados obtenidos evidenciaron que la mayor parte de las sustancias presentes en la corriente a la altura de E6 fueron compuestos biodegradables, se observó que predominaron las fracciones disueltas e inorgánicas, lo cual se puede relacionar con la composición de las aguas residuales vertidas a la corriente. Las concentraciones registradas para las variables evaluadas se pueden asociar con las cargas provenientes de la PTAR; en el caso de los nutrientes, los niveles reportados se vinculan con los procesos de descomposición en la etapa de lodos activados y que la planta no está diseñada para la remoción de nutrientes; en cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, los resultados se



AUNAR ESFUERZOS PARA LA APROPIACIÓN TECNOLÓGICA Y DEL CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL CONTEXTO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN Y LA FORMULACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN



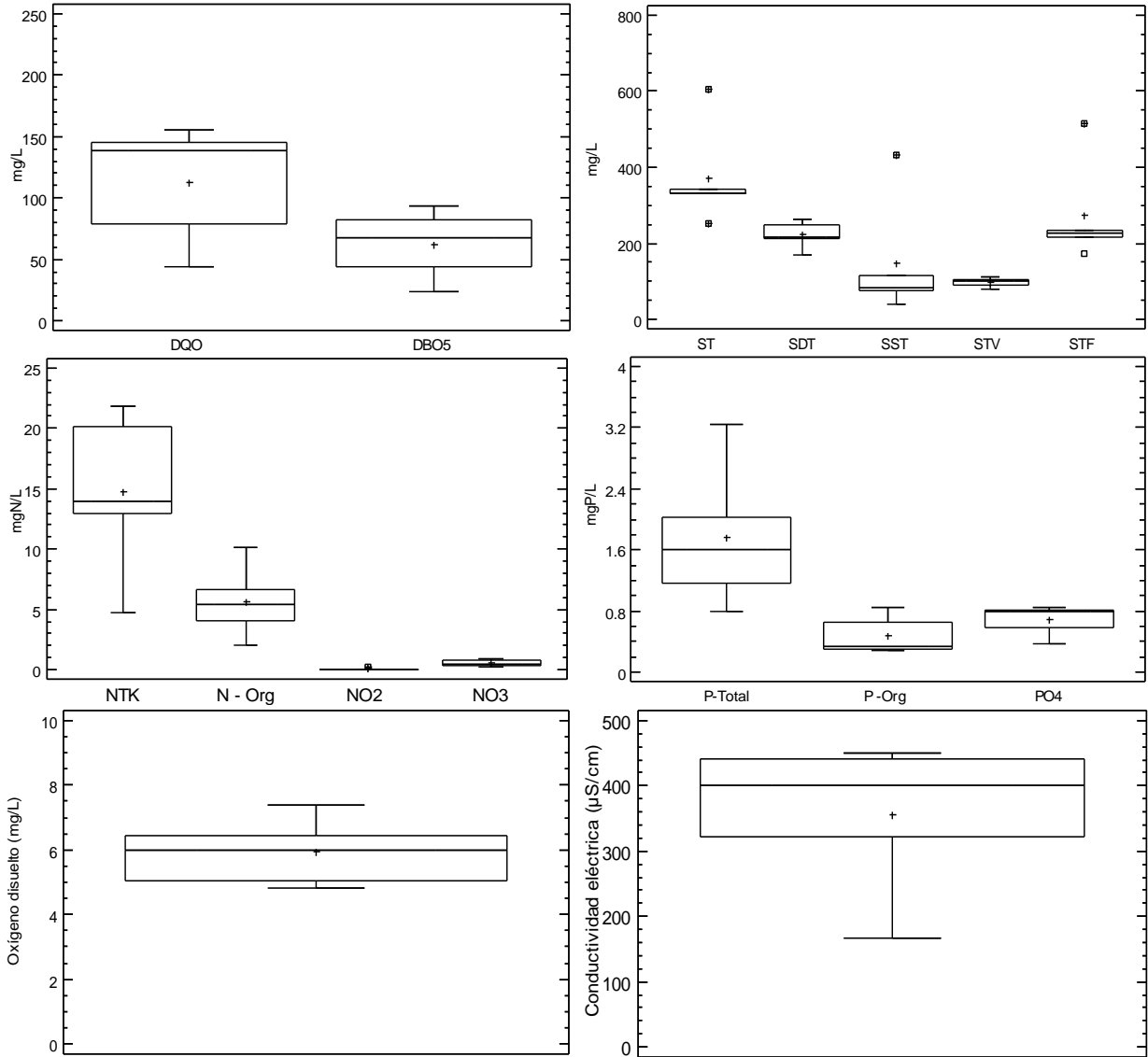
asocian con la inyección de este gas a la masa de agua residual en la etapa de tratamiento previamente mencionada, mientras que la concentración de grasas se puede relacionar con la remoción realizada en los sedimentadores primarios. Los resultados obtenidos para el índice biológico BMWP/Col evidencian que el cuerpo de agua en la estación Después de San Fernando (E6) se encuentra fuertemente contaminada.

Tabla 6. Resumen estadístico estación Después de San Fernando (E6)

VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.82	7.76	0.22	0.03	7.59	8.19	0.60
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	5.93	5.97	1.05	0.18	4.82	7.40	2.58
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	356.00	401.00	117.00	0.33	168.00	450.00	282.00
DBO5 (mg/L)	5.00	62.10	67.30	28.30	0.46	23.90	93.10	69.20
DQO (mg/L)	5.00	112.00	138.00	48.20	0.43	44.50	155.00	111.00
P-Total (mg P/L)	5.00	1.77	1.60	0.95	0.54	0.79	3.24	2.45
PO4 (mg P/L)	5.00	0.68	0.80	0.20	0.30	0.37	0.84	0.47
P -Org (mg P/L)	5.00	0.48	0.33	0.25	0.52	0.29	0.84	0.55
NO3 (mg N/L)	5.00	0.56	0.49	0.29	0.52	0.27	0.95	0.68
NO2 (mg N/L)	5.00	0.08	0.05	0.09	1.15	0.02	0.24	0.23
N - Org (mg N/L)	5.00	5.63	5.36	3.03	0.54	2.00	10.10	8.10
NTK (mg N/L)	5.00	14.80	14.00	6.76	0.46	4.77	21.80	17.00
SST (mg/L)	5.00	150.00	84.00	161.00	1.07	39.00	433.00	394.00
ST (mg/L)	5.00	372.00	332.00	134.00	0.36	253.00	604.00	351.00
STV (mg/L)	5.00	97.80	103.00	13.80	0.14	78.00	113.00	35.00
SDT (mg/L)	5.00	222.00	215.00	36.00	0.16	171.00	265.00	94.00
STF (mg/L)	5.00	274.00	229.00	136.00	0.50	175.00	514.00	339.00
SSED (mL/L-h)	5.00	2.14	1.40	1.61	0.75	1.30	5.00	3.70
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	6.88	6.70	2.84	0.41	3.40	11.30	7.90
Color verdadero (UPC)	5.00	66.70	56.30	23.70	0.36	46.70	106.00	59.70
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	1.54	1.27	0.92	0.60	0.70	3.06	2.36
BMWP Col	4.00	7.50	7.00	3.70	0.49	4.00	12.00	8.00
Q(m3/s)	5.00	12.10	11.20	7.04	0.58	6.47	24.10	17.60
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	1.12E+06	9.90E+05	6.32E+05	56.40%	4.10E+05	1.96E+06	1.55E+06
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	5.50E+06	5.79E+06	3.40E+06	61.90%	1.66E+06	1.05E+07	8.80E+06

Las concentraciones extremas registradas para los Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Totales Fijos (STF) se vinculan con la resuspensión de sedimentos como consecuencia de las precipitaciones registradas en la cuenca y el incremento en el caudal de la corriente, mientras que el valor extremo registrado para el color verdadero se vincula a un vertimiento de color amarillo reportado durante la campaña de monitoreo ejecutada el 22 de febrero, proveniente de la PTAR San Fernando y realizado en horas de la mañana aguas arriba de E5. Las concentraciones extremas registradas para las grasas y aceites se pueden relacionar con los procesos de remoción en la PTAR y con las cargas que llegan a la misma.

La evaluación de los objetivos de calidad en E6 evidenció que variables como DBO5, DQO, conductividad eléctrica, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total y color verdadero presentaron valores superiores a los criterios establecidos en la normatividad durante las jornadas ejecutadas en los meses de febrero, julio, agosto y septiembre, correspondientes a campañas de caudales bajo y medio. En contraste, en la campaña de caudales altos realizada en abril, las variables sólidos suspendidos totales (SST) y color verdadero incumplieron con los criterios fijados.



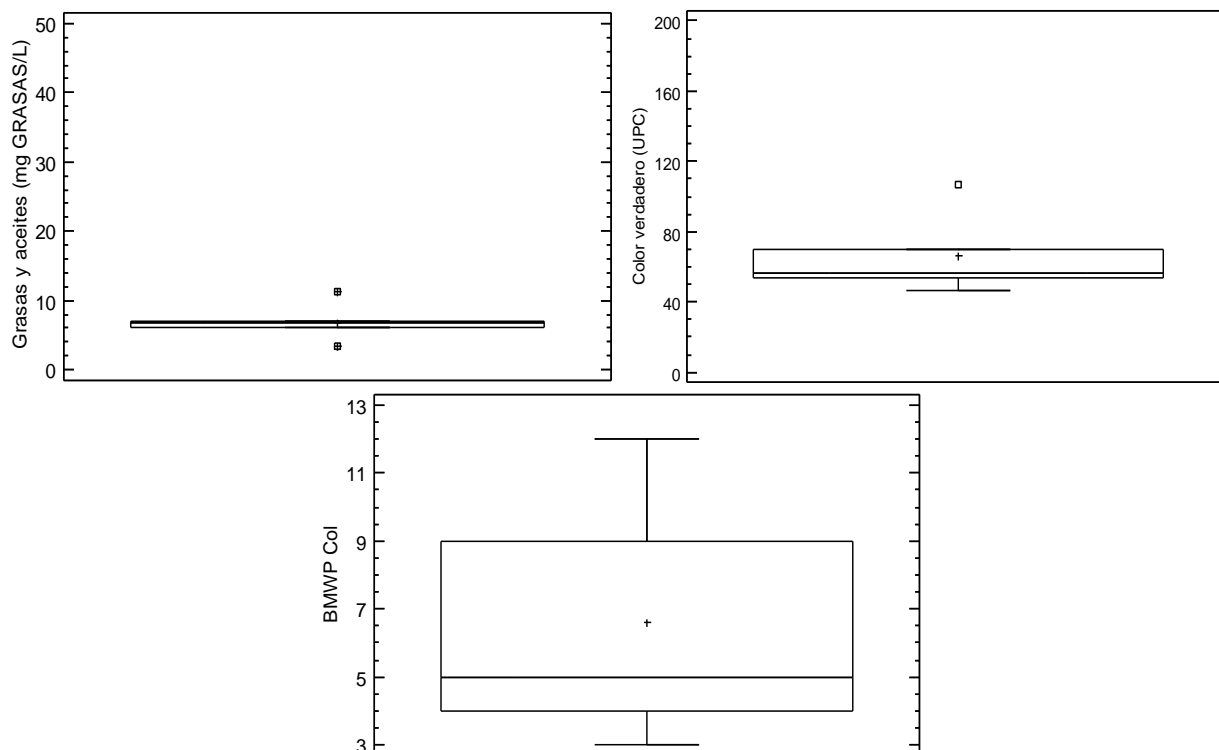


Figura 3. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Después de San Fernando (E6)

2.7 AULA AMBIENTAL (E8)

En la Tabla 7 se muestra el resumen estadístico obtenido para las variables fisicoquímicas y biológicas medidas en la estación Aula Ambiental (E8) en las campañas completas ejecutadas en el año 2017 y en la Figura 4 se muestran los diagramas de cajas y bigotes para las mismas.

En la estación Aula Ambiental (E8) predominó la materia biodegradable y las fracciones disuelta y fija para los sólidos, lo cual puede relacionarse con la composición y el tipo de agua residual vertida directamente a la corriente o de manera indirecta a través de la confluencia de quebradas como Altavista (Q8), La Picacha (Q20), La Hueso (Q9), Santa Elena (Q10) y La Iguaná (Q11). Las concentraciones registradas para el oxígeno disuelto se vinculan a las condiciones hidráulicas del cuerpo de agua, como también, a la presencia de materia orgánica e inorgánica susceptible de degradarse a través de procesos de oxidación. Se destaca que aguas arriba de E8 se localiza una serie de resaltos hidráulicos, que favorecen el intercambio gaseoso entre la corriente y la atmósfera. Se destaca que los nutrientes, las grasas y aceites, la conductividad eléctrica y el color verdadero registraron altos niveles en la estación Aula Ambiental, en contraste, el índice biológico BMWP/Col presentó bajos valores, que oscilaron entre 1,00 y 13,00, esto evidencia que a la altura de E8 el río se encuentra fuertemente contaminado.

Tabla 7. Resumen estadístico estación Aula Ambiental (E8)

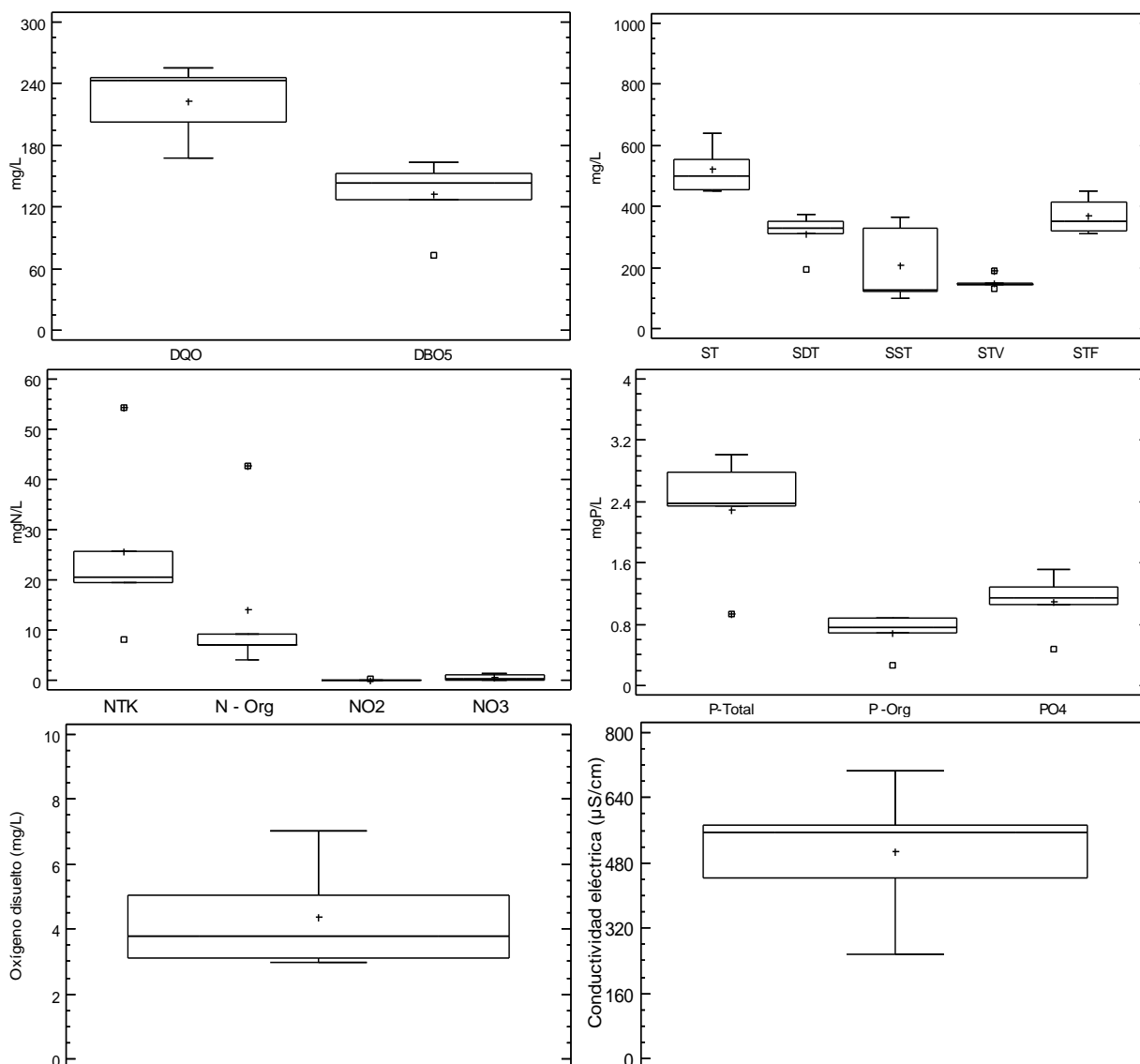
VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.71	7.75	0.10	0.01	7.56	7.79	0.23
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	4.39	3.78	1.69	0.38	2.98	7.04	4.06
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	507.00	556.00	168.00	0.33	256.00	705.00	449.00
DBO ₅ (mg/L)	5.00	132.00	143.00	35.70	0.27	72.90	164.00	91.10
DQO (mg/L)	5.00	223.00	243.00	37.20	0.17	167.00	255.00	88.00
P-Total (mg P/L)	5.00	2.29	2.38	0.81	0.35	0.94	3.01	2.07
PO ₄ (mg P/L)	5.00	1.09	1.14	0.39	0.36	0.47	1.51	1.04
P -Org (mg P/L)	5.00	0.69	0.75	0.26	0.37	0.26	0.89	0.63
NO ₃ (mg N/L)	5.00	0.58	0.17	0.60	1.04	0.11	1.36	1.25
NO ₂ (mg N/L)	5.00	0.09	0.03	0.13	1.36	0.02	0.31	0.30
N - Org (mg N/L)	5.00	14.00	7.10	16.20	1.16	3.98	42.80	38.80
NTK (mg N/L)	5.00	25.60	20.50	17.20	0.67	8.09	54.20	46.10
SST (mg/L)	5.00	207.00	126.00	127.00	0.61	101.00	363.00	262.00
ST (mg/L)	5.00	521.00	502.00	79.30	0.15	451.00	640.00	189.00
STV (mg/L)	5.00	150.00	143.00	22.30	0.15	129.00	188.00	59.00
SDT (mg/L)	5.00	313.00	331.00	71.20	0.23	193.00	376.00	183.00
STF (mg/L)	5.00	370.00	353.00	60.50	0.16	311.00	452.00	141.00
SSED (mL/L-h)	5.00	2.70	2.80	0.73	0.27	1.50	3.50	2.00
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	13.00	13.20	4.13	0.32	9.40	19.60	10.20
Color verdadero (UPC)	5.00	69.20	60.70	20.50	0.30	57.70	106.00	47.90
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	2.42	2.52	0.81	0.34	1.19	3.38	2.19
BMWP Col	5.00	4.60	3.00	4.83	1.05	1.00	13.00	12.00
Q(m ³ /s)	5.00	14.00	12.90	7.41	0.53	7.67	26.20	18.50
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	3.80E+06	2.60E+06	2.01E+06	52.90%	1.90E+06	6.40E+06	4.50E+06
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	3.15E+07	1.66E+07	2.94E+07	93.30%	4.30E+06	7.27E+07	6.84E+07

Los valores extremos observados para el nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico y sólidos totales volátiles (STV) se registraron durante la campaña realizada en febrero, de modo que éstos pueden relacionarse con las cargas contaminantes aportadas a la corriente y la baja asimilación de las mismas debido al bajo caudal, mientras que los valores reportados para la DBO₅, fósforo total, fósforo orgánico, ortofosfatos y sólidos disueltos totales (SDT) se relacionan con procesos de dilución puesto que en la campaña realizada el 26 de abril se presentaron precipitaciones de alta intensidad en la cuenca que generaron un incremento representativo en el caudal. El color verdadero registró un valor de 106,00 UPC en la jornada ejecutada el 22 de febrero, asociado a un vertimiento de color amarillo proveniente de la PTAR San Fernando y realizado en horas de la mañana aguas arriba de E5 y se detectó en horas posteriores debido al viaje de la masa de agua afectada.

En cuanto a la evaluación de los objetivos de calidad, se destaca que la DBO₅, DQO, conductividad eléctrica, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total y color verdadero presentaron valores superiores a los criterios de calidad establecidos en la Resolución Metropolitana 2016 de 2012 durante las campañas realizadas en febrero, julio, agosto y septiembre, en las cuales se registraron caudales bajos y medios, se resalta que en la campaña realizada el 10 de julio la PTAR San Fernando se encontraba fuera de operación debido a labores de mantenimiento, por lo que las cargas contaminantes aportadas a la corriente fueron mayores. Se destaca que en la campaña realizada en febrero se reportó una concentración de sólidos suspendidos totales superior al límite establecido, debido a eventos de lluvia registrados aguas arriba y en el sitio de muestreo en las horas de la tarde, lo que ocasionó un incremento en el nivel de la lámina de agua y la resuspensión de sedimentos.

En la jornada de monitoreo realizada en abril, se presentó un incumplimiento en los criterios de calidad para las variables DBO₅, DQO, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y

color verdadero, asociado a las cargas contaminantes aportadas por vertimientos de aguas residuales, como a la resuspensión de sedimentos debido al alto caudal registrado en la corriente. En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, éste presentó niveles inferiores al valor estipulado durante las campañas realizadas los meses de julio, agosto y septiembre; se destaca que en los monitoreos restantes se cumplió el objetivo de calidad debido a eventos de lluvia en la cuenca y al incremento en los caudales de la corriente que favorecieron el intercambio gaseoso entre el cuerpo de agua y la atmósfera.



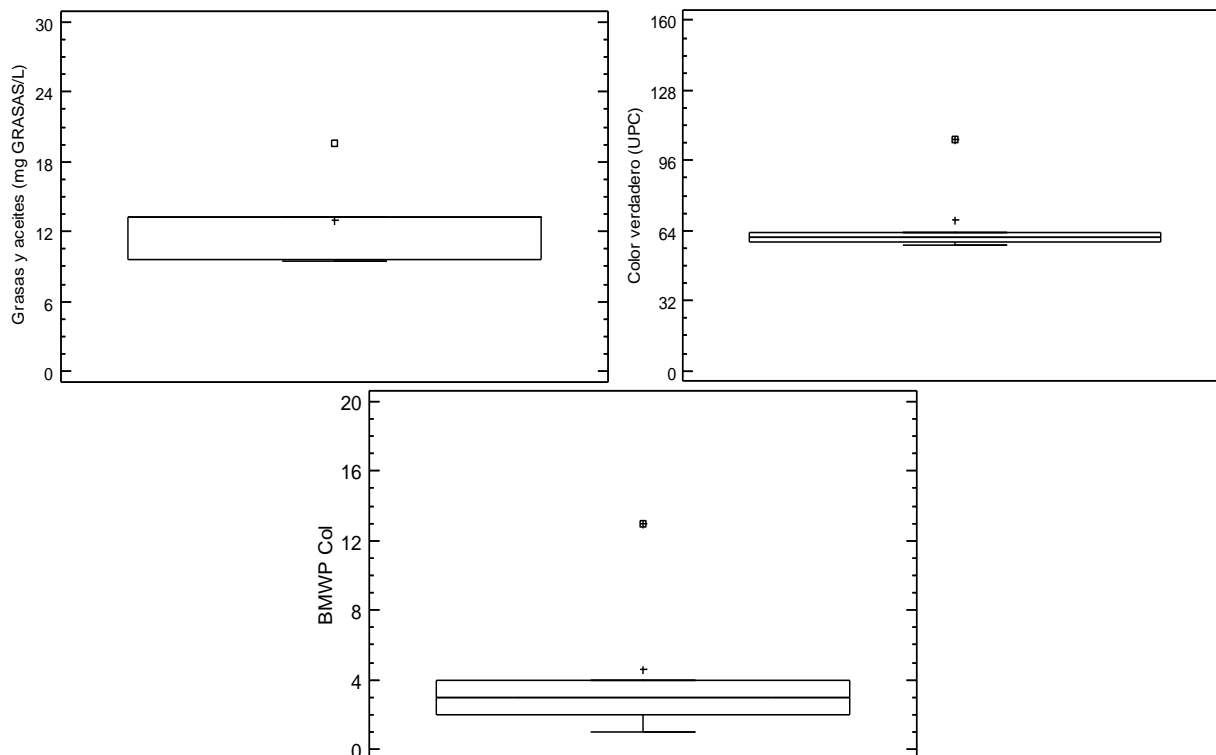


Figura 4. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Aula Ambiental (E8)

2.8 PUENTE ACEVEDO (E9)

En la

Tabla 8 se muestra el resumen estadístico para las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas durante las campañas completas realizadas en el año 2017 en la estación Puente Acevedo (E9) y en la Figura 11 se presentan los diagramas de cajas y bigotes para las mismas.

El conjunto de datos registrado en la estación Puente Acevedo (E9) está vinculado a las cargas contaminantes aportadas a través de los interceptores centrales de EPM y de la confluencia de las quebradas El Molino (Q22), La Bermejala (Q23) y La Rosa (Q12), entre otras. En las campañas realizadas durante el año 2017 se observó que en la corriente, a la altura de E9, predominaron los compuestos de carácter biodegradable y las fracciones disuelta y fija, altas concentraciones en los nutrientes y grasas y aceites, como también elevados valores para la conductividad eléctrica y el color verdadero, mientras que el oxígeno disuelto presentó bajas concentraciones debido a la descomposición de sustancias susceptibles a oxidarse. Los resultados reportados para el índice biológico BMWP/Col fueron inferiores a 15, de modo que la calidad del agua a la altura de E9 es muy crítica.

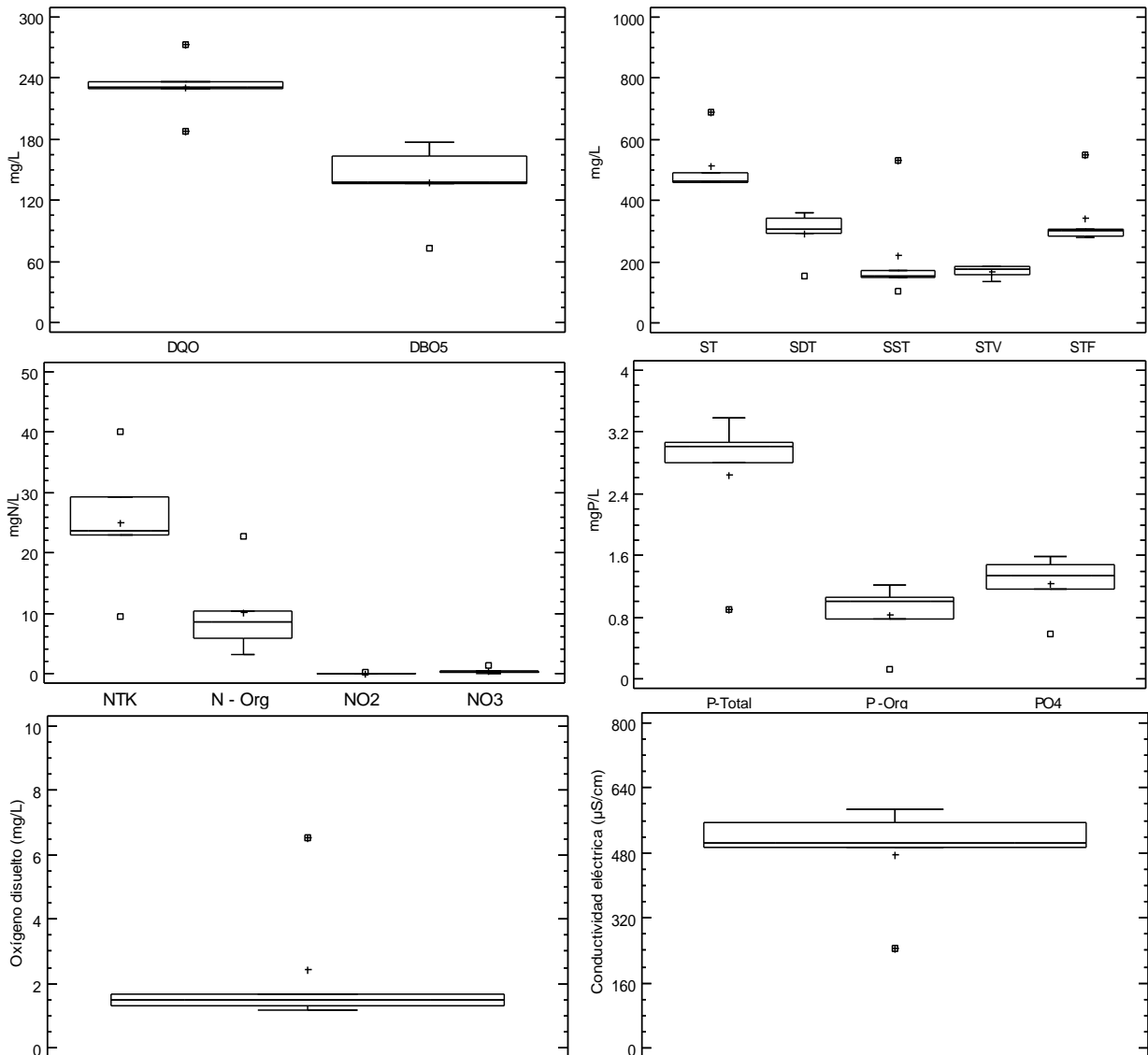
Tabla 8. Resumen estadístico estación Puente Acevedo (E9)

VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.63	7.55	0.18	0.02	7.54	7.94	0.40
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	2.44	1.49	2.30	0.95	1.18	6.54	5.36
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	476.00	504.00	135.00	0.28	244.00	586.00	343.00
DBO ₅ (mg/L)	5.00	138.00	138.00	39.80	0.29	73.30	177.00	104.00
DQO (mg/L)	5.00	232.00	231.00	30.20	0.13	188.00	273.00	85.00
P-Total (mg P/L)	5.00	2.64	3.02	0.99	0.38	0.91	3.38	2.47
PO ₄ (mg P/L)	5.00	1.23	1.34	0.39	0.32	0.59	1.58	0.99
P-Org (mg P/L)	5.00	0.83	1.01	0.43	0.52	0.12	1.22	1.10
NO ₃ (mg N/L)	5.00	0.50	0.25	0.55	1.09	0.09	1.43	1.34
NO ₂ (mg N/L)	5.00	0.11	0.03	0.15	1.40	0.02	0.36	0.35
N - Org (mg N/L)	5.00	10.20	8.50	7.56	0.74	3.24	22.80	19.60
NTK (mg N/L)	5.00	25.10	23.70	11.10	0.44	9.51	40.00	30.50
SST (mg/L)	5.00	221.00	153.00	176.00	0.79	102.00	532.00	430.00
ST (mg/L)	5.00	513.00	464.00	98.10	0.19	461.00	687.00	226.00
STV (mg/L)	5.00	169.00	178.00	20.50	0.12	137.00	186.00	49.00
SDT (mg/L)	5.00	292.00	308.00	81.00	0.28	155.00	359.00	204.00
STF (mg/L)	5.00	344.00	302.00	116.00	0.34	278.00	550.00	272.00
SSED (mL/L-h)	5.00	2.42	2.20	1.01	0.42	1.20	4.00	2.80
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	27.10	26.50	13.00	0.48	11.70	45.50	33.80
Color verdadero (UPC)	5.00	91.30	78.30	33.10	0.36	63.00	148.00	84.80
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	3.18	3.47	0.82	0.26	2.04	4.07	2.03
BMWP Col	5.00	3.80	1.00	5.21	1.37	1.00	13.00	12.00
Q(m ³ /s)	5.00	25.90	28.10	9.72	0.38	14.90	39.40	24.50
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	8.20E+06	9.10E+06	3.03E+06	36.90%	3.10E+06	1.10E+07	7.90E+06
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	5.67E+07	4.88E+07	4.57E+07	80.60%	1.09E+07	1.30E+08	1.19E+08

Las variables sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos fijos totales presentaron valores extremos, los cuales se registraron en la campaña de monitoreo ejecutada el 26 de abril y se deben al incremento en el caudal de la corriente y la resuspensión de sedimentos como resultado de los eventos de precipitación registrados en la cuenca previo a la jornada y durante la misma. En contraste, los valores atípicos y extremos observados para las variables conductividad eléctrica, DBO₅, DQO, fósforo total, fósforo orgánico, ortofosfatos, nitrógeno total Kjeldahl y nitrógeno orgánico se registraron en la misma jornada y se pueden vincular a procesos de dilución debido a los altos caudales reportados para la corriente y asociados a aportes difusos (escorrentía), entretanto, el valor extremo registrado para el oxígeno disuelto se vincula a las condiciones hidráulicas de la corriente reportadas en la campaña realizada en abril, puesto que un mayor caudal genera una mayor turbulencia y ello favorece el intercambio gaseoso entre el cuerpo de agua y la atmósfera. Por otro lado, el valor extremo registrado para el color verdadero se relacionó con vertimiento de color amarillo proveniente de la PTAR San Fernando y realizado aguas arriba de E5 en la mañana y detectado en E9 a las 15:00 horas en la campaña de monitoreo realizada el 22 de febrero.

Los objetivos de calidad se incumplieron para las variables DBO₅, DQO, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, nitrógeno total Kjeldahl y color verdadero en todas las campañas ejecutadas, excepto en la jornada realizada en abril donde se registraron caudales altos, resuspensión de sedimentos y se presentaron niveles superiores a los objetivos de calidad establecidos para las variables DQO, sólidos suspendidos totales y color verdadero. El incumplimiento de los objetivos en los meses de febrero, julio, agosto y septiembre se vinculan con los vertimientos de aguas residuales realizados sobre la corriente y sus afluentes, se resalta que la PTAR San Fernando se encontraba fuera de operación durante la jornada llevada a cabo

en julio, por lo tanto, los resultados obtenidos en tal campaña presentaron la influencia de este factor. Las grasas y aceites incumplieron los objetivos de calidad en las campañas correspondientes a los meses de julio y agosto, asociado a vertimientos puntuales sobre el cuerpo de agua y el mantenimiento realizado en la PTAR San Fernando que influyó en su operación.



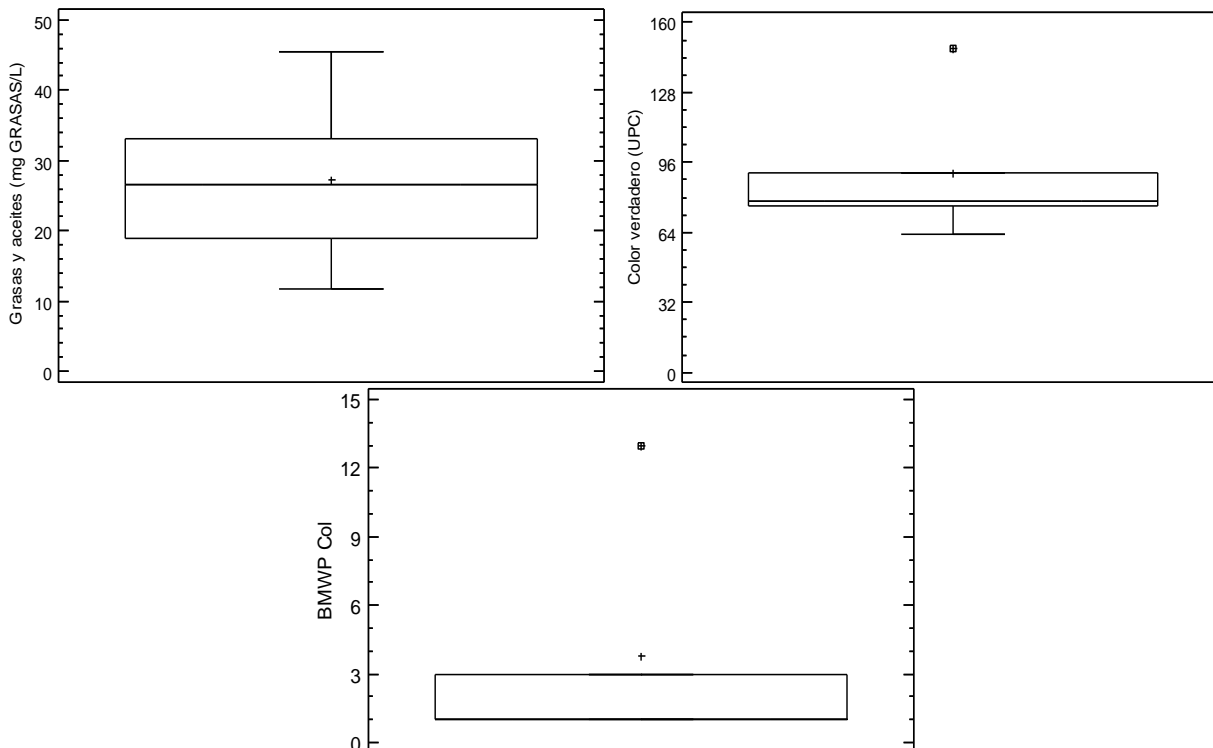


Figura 5. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Puente Acevedo (E9)

2.9 PUENTE MACHADO (E11)

En la Tabla 9 se muestra el resumen estadístico obtenido para las variables fisicoquímicas y biológicas medidas en la estación Puente Machado (E11) durante las campañas completas realizadas en el año 2017, en la Figura 6 se presentan los diagramas de cajas y bigotes obtenidos para las variables evaluadas.

La materia de carácter biodegradable predominó en la estación Puente Machado (E11) durante las campañas realizadas en el 2017, contrario a los datos registrados en estaciones ubicadas aguas arriba, en E11 se observa un cambio en la composición de los sólidos, puesto que se presentó una similitud entre los resultados obtenidos para los sólidos disueltos totales y los sólidos suspendidos totales, se resalta que los sólidos fijos totales fueron mayores a los sólidos volátiles totales, patrón observado en los sitios de muestreo localizados en el sur y centro de la cuenca. Lo anterior, se vincula a la composición y el tipo de vertimientos realizados sobre el cuerpo de agua, se destaca que aguas arriba de E11 confluyen quebradas como El Hato (Q14) y La García (E10), corrientes receptoras de aguas residuales provenientes de industrias mineras, en ese sentido, ambas corrientes influyen de manera significativa en el cuerpo de agua. Los resultados obtenidos evidenciaron altas concentraciones para los nutrientes y las grasas y aceites, así como niveles representativos en la conductividad eléctrica y el color

verdadero, por el contrario, el conjunto de datos obtenido para el índice biológico BMWP/Col y las concentraciones de oxígeno disuelto fueron bajas; esto se asocia a las cargas contaminantes aportadas por las quebradas El Hato (Q14), La García (E10) y La Madera (E13), entre otras, como también, a los vertimientos de aguas residuales realizados de manera directa sobre el cuerpo de agua. El índice biológico BMWP/Col osciló entre 1,00 y 5,00, de modo que la corriente a la altura de la estación Puente Machado (E11) se encuentra fuertemente contaminada.

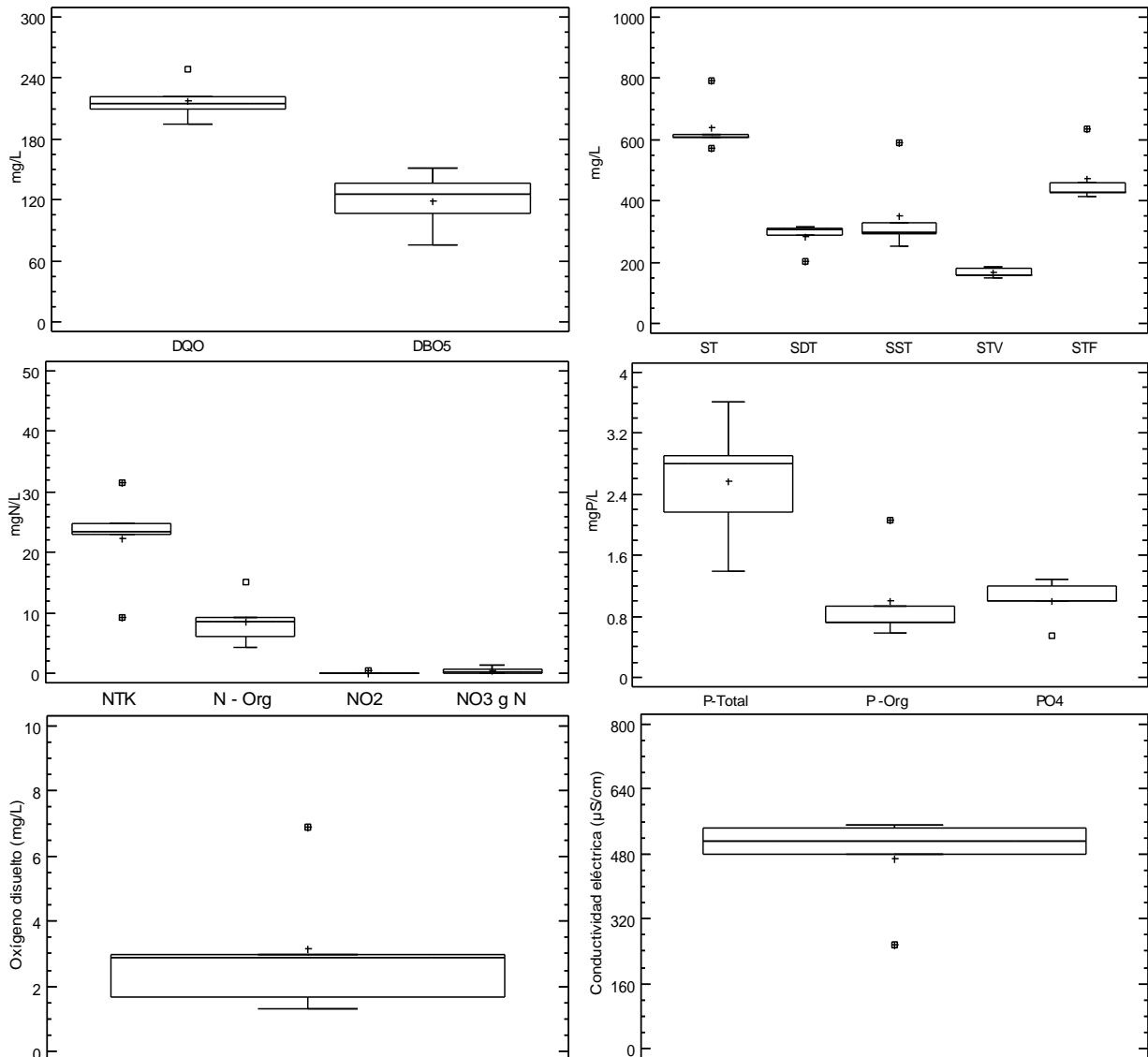
Tabla 9. Resumen estadístico estación Puente Machado (E11)

VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.69	7.69	0.23	0.03	7.46	8.00	0.54
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	3.14	2.88	2.22	0.71	1.29	6.88	5.59
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	468.00	511.00	122.00	0.26	255.00	551.00	296.00
DBO ₅ (mg/L)	5.00	119.00	126.00	29.70	0.25	75.10	152.00	76.90
DQO (mg/L)	5.00	218.00	215.00	20.20	0.09	194.00	249.00	55.00
P-Total (mg P/L)	5.00	2.58	2.81	0.84	0.33	1.39	3.62	2.23
PO ₄ (mg P/L)	5.00	1.01	1.01	0.29	0.28	0.55	1.29	0.74
P-Org (mg P/L)	5.00	1.00	0.73	0.60	0.60	0.58	2.06	1.48
NO ₃ (mg N/L)	5.00	0.50	0.19	0.56	1.11	0.09	1.38	1.29
NO ₂ (mg N/L)	5.00	0.10	0.02	0.15	1.48	0.02	0.37	0.36
N - Org (mg N/L)	5.00	8.67	8.50	4.10	0.47	4.34	15.10	10.80
NTK (mg N/L)	5.00	22.40	23.50	8.13	0.36	9.18	31.50	22.30
SST (mg/L)	5.00	352.00	298.00	134.00	0.38	254.00	588.00	334.00
ST (mg/L)	5.00	638.00	607.00	87.60	0.14	571.00	792.00	221.00
STV (mg/L)	5.00	166.00	158.00	17.00	0.10	147.00	187.00	40.00
SDT (mg/L)	5.00	286.00	308.00	47.20	0.17	204.00	317.00	113.00
STF (mg/L)	5.00	472.00	428.00	92.10	0.20	413.00	634.00	221.00
SSED (mL/L-h)	5.00	2.30	2.40	0.55	0.24	1.70	3.00	1.30
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	20.90	17.90	8.20	0.39	10.90	31.80	20.90
Color verdadero (UPC)	5.00	81.90	72.00	21.50	0.26	70.20	120.00	50.00
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	2.79	2.96	0.54	0.19	2.15	3.28	1.13
BMWP Col	5.00	2.20	1.00	1.79	0.81	1.00	5.00	4.00
Q(m ³ /s)	5.00	30.90	32.10	12.20	0.40	18.80	49.10	30.20
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	6.98E+06	5.80E+06	2.66E+06	38.20%	4.00E+06	1.04E+07	6.40E+06
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	4.06E+07	3.87E+07	2.14E+07	52.60%	1.48E+07	7.27E+07	5.79E+07

Las variables sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos fijos totales presentaron concentraciones significativamente altas en la campaña de monitoreo realizada durante el mes de abril, éstas se asocian a la resuspensión de sedimentos como resultado de los altos caudales registrados; en contraste, las variables nitrógeno total Kjeldahl, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica mostraron bajos niveles durante esta jornada, debido a procesos de dilución. El oxígeno disuelto mostró un incremento en su concentración en la jornada realizada en abril, producto del cambio en las condiciones hidráulicas que generan un aumento en la turbulencia y favorecen el intercambio gaseoso entre la corriente y la atmósfera. Entretanto, el valor extremo observado para el color verdadero se vincula a un vertimiento realizado aguas arriba de la estación de monitoreo durante la mañana y que se detectó en la tarde en E12.

Las variables DBO₅, DQO, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, nitrógeno total Kjeldahl y color verdadero incumplieron los objetivos de calidad establecidos para el tramo en las campañas de monitoreo realizadas en los meses de febrero, julio, agosto y septiembre, relacionado con las cargas contaminantes aportadas a la corriente, como también con factores como los caudales bajos o medios registrados durante las mismas y la salida de operación de la PTAR San Fernando debido a labores de mantenimiento. En contraste, las variables que presentaron niveles superiores a los objetivos de calidad durante la jornada ejecutada en abril

fueron DQO, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica y color verdadero; esto se vincula al alto caudal registrado en la campaña y la resuspensión de sedimentos. Las grasas y aceites presentaron una concentración superior al objetivo de calidad durante la campaña realizada el 10 de julio, relacionado con un vertimiento puntual realizado aguas arriba del sitio de toma de muestra.



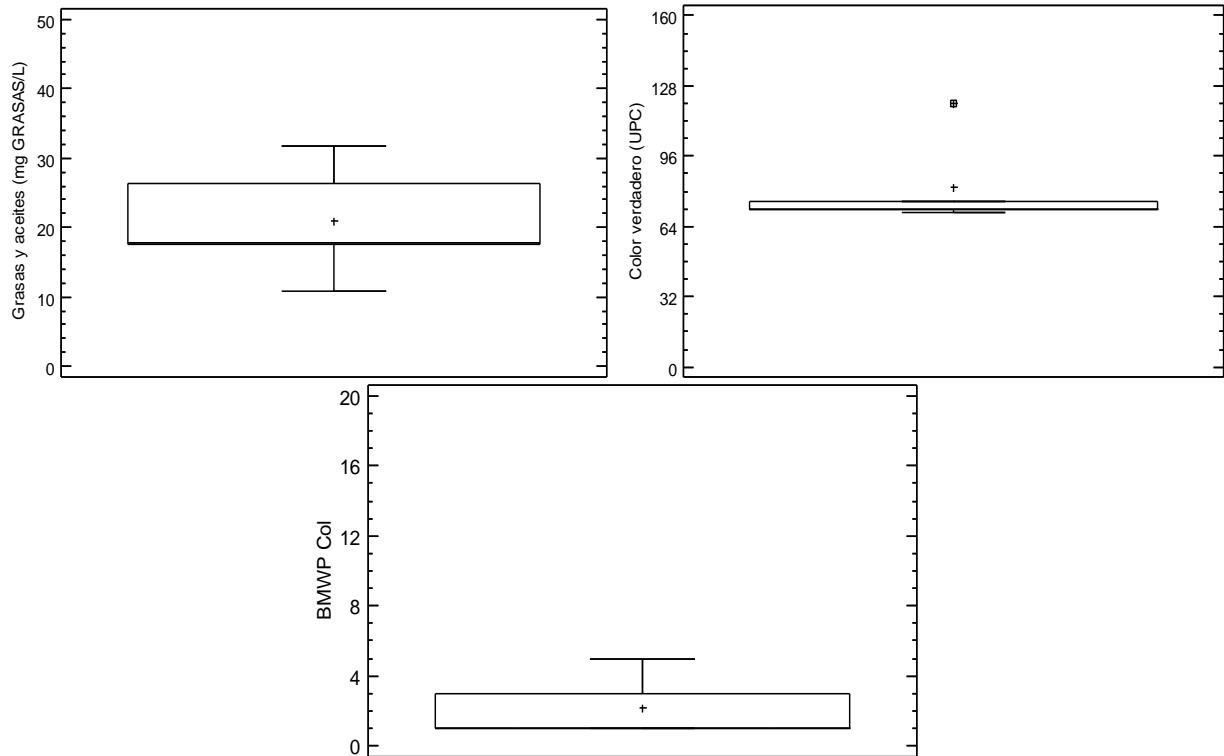


Figura 6. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Puente Machado (E11)

2.10 NIQUÍA (E21)

El resumen estadístico obtenido para las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas en la estación Niquía (E21) durante las campañas completas realizadas en el año 2017 se muestra en la Tabla 10, entretanto, en la Figura 7 se ilustran los diagramas de cajas y bigotes para estas variables.

El conjunto de datos registrado en la estación Niquía (E21) evidencia que en el cuerpo de agua predominaron los compuestos biodegradables y las fracciones suspendida y fija en cuanto a los sólidos, los niveles reportados para los nutrientes, conductividad eléctrica, grasas y aceites y color verdadero se caracterizaron por ser altos, mientras que los valores obtenidos para el índice biológico BMWP/Col y el oxígeno disuelto fueron bajos. Lo anterior, se relaciona con las cargas contaminantes aportadas a la corriente a través de vertimientos de aguas residuales, se destaca que los datos registrados para el índice biológico evidencian que la calidad del cuerpo de agua es muy crítica.

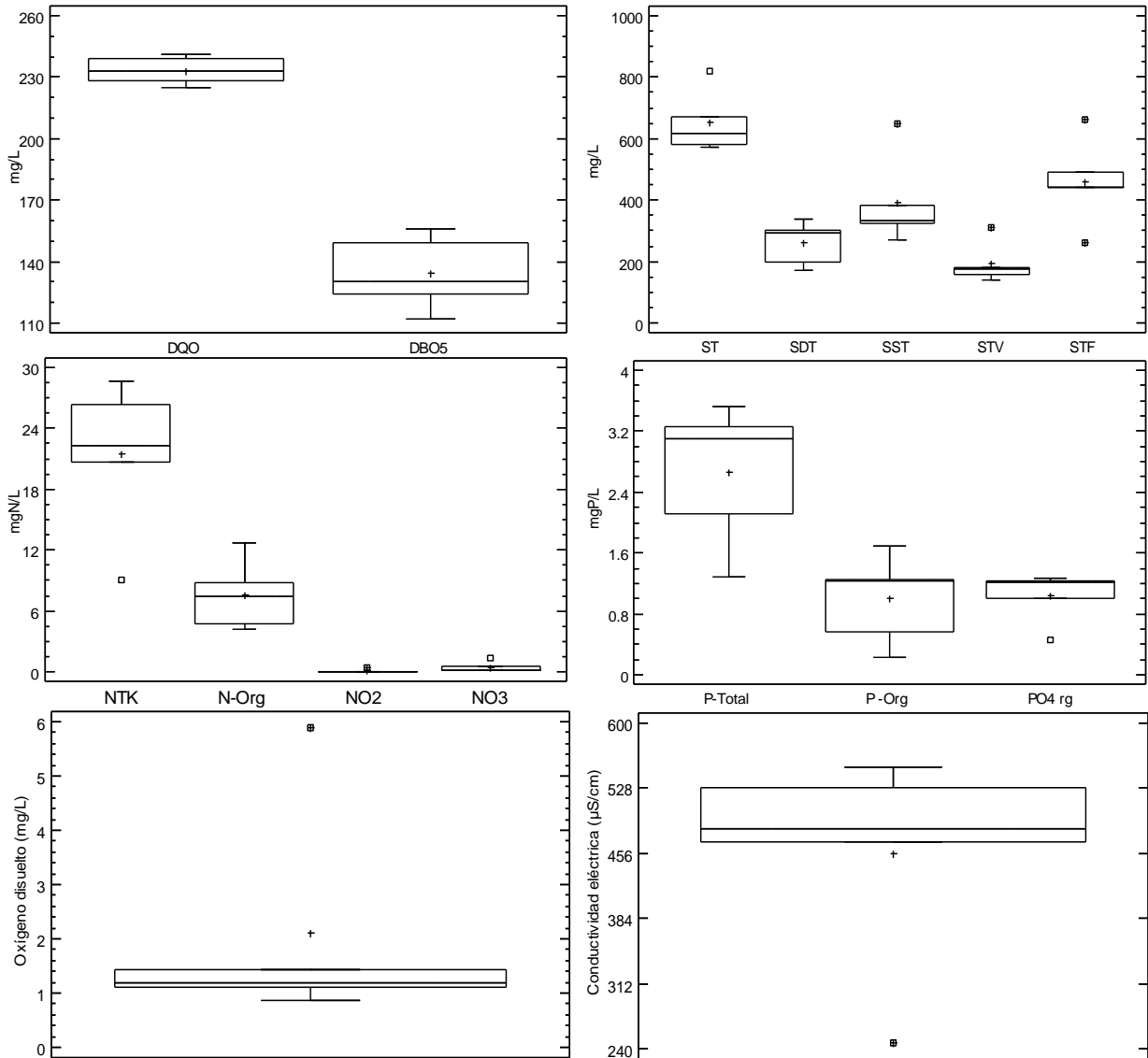
Tabla 10. Resumen estadístico estación Niquía (E21)

VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.51	7.50	0.16	0.02	7.33	7.71	0.38
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	2.10	1.18	2.13	1.01	0.87	5.89	5.02
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	456.00	483.00	121.00	0.27	247.00	550.00	304.00
DBO ₅ (mg/L)	5.00	134.00	130.00	18.10	0.14	112.00	156.00	44.00
DQO (mg/L)	5.00	233.00	233.00	6.87	0.03	225.00	241.00	16.00
P-Total (mg P/L)	5.00	2.66	3.11	0.94	0.35	1.28	3.53	2.25
PO ₄ (mg P/L)	5.00	1.04	1.21	0.34	0.33	0.46	1.26	0.80
P-Org (mg P/L)	5.00	1.00	1.24	0.59	0.59	0.24	1.70	1.46
NO ₃ (mg N/L)	5.00	0.44	0.17	0.54	1.22	0.09	1.35	1.26
NO ₂ (mg N/L)	5.00	0.10	0.02	0.16	1.62	0.02	0.38	0.37
N - Org (mg N/L)	5.00	7.61	7.50	3.41	0.45	4.24	12.70	8.46
NTK (mg N/L)	5.00	21.40	22.30	7.62	0.36	9.05	28.70	19.60
SST (mg/L)	5.00	392.00	332.00	148.00	0.38	271.00	647.00	376.00
ST (mg/L)	5.00	652.00	619.00	102.00	0.16	572.00	820.00	248.00
STV (mg/L)	5.00	193.00	176.00	67.40	0.35	139.00	310.00	171.00
SDT (mg/L)	5.00	261.00	293.00	71.90	0.28	173.00	340.00	167.00
STF (mg/L)	5.00	459.00	443.00	142.00	0.31	262.00	660.00	398.00
SSED (mL/L-h)	5.00	2.58	2.50	0.93	0.36	1.50	3.90	2.40
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	18.80	23.00	9.27	0.49	4.30	26.70	22.40
Color verdadero (UPC)	5.00	80.80	74.00	19.80	0.25	65.80	113.00	47.50
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	2.64	2.55	0.62	0.24	1.82	3.36	1.54
BMWP Col	5.00	3.80	3.00	3.11	0.82	1.00	8.00	7.00
Q(m ³ /s)	5.00	31.00	32.30	12.30	0.40	18.80	49.20	30.40
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	6.48E+06	7.00E+06	1.96E+06	30.30%	4.30E+06	9.00E+06	4.70E+06
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	3.20E+07	2.98E+07	1.55E+07	48.60%	1.44E+07	5.17E+07	3.73E+07

Los sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales fijos presentaron valores extremos en la estación Niquía, asociados a la resuspensión de sedimentos registrada en la campaña de monitoreo realizada el 26 de abril, puesto que las fuertes precipitaciones registradas en la cuenca previo y durante la jornada contribuyeron a incrementar el caudal de la corriente. En contraste, las variables nitrógeno total Kjeldahl y conductividad eléctrica presentaron niveles significativamente bajos en esta campaña de monitoreo, vinculados a procesos de dilución en la corriente debido a altos caudales. La concentración máxima obtenida para el oxígeno disuelto en E21 correspondió a 5,89 mg/L y se atribuye a las condiciones hidráulicas registradas para el cuerpo de agua en el transcurso de esta jornada, dado que se presentaron altos caudales y velocidades.

Las variables DBO₅, DQO, nitrógeno total Kjeldahl y color verdadero presentaron valores superiores a los objetivos de calidad establecidos en la Resolución Metropolitana 2016 de 2012 para el tramo 5 en la totalidad de las campañas ejecutadas en el año 2017. Se destaca que variables como el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica incumplieron con los límites establecidos en las jornadas realizadas en febrero, julio, agosto y septiembre; mientras que la concentración de sólidos suspendidos fue superior a 300,00 mg/L, excepto en la jornada realizada en septiembre. Las grasas y aceites mostraron una concentración superior a 20,00 mg/L en las campañas realizadas en julio y septiembre. Lo anterior, se relaciona con las cargas contaminantes vertidas a la corriente de manera directa e indirecta, como con los regímenes de caudales. Se destaca que en la campaña de monitoreo realizada el 26 de abril se presentó un caudal alto que generó el incremento en los niveles de variables como DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales y color verdadero debido a la resuspensión de sedimentos, en contraste, variables como los nutrientes y la conductividad eléctrica disminuyeron, asociado a procesos de dilución, mientras que la concentración de oxígeno disuelto aumentó debido a un mayor caudal, velocidad de la corriente e intercambio gaseoso con la atmósfera; entretanto, el

incumplimiento de los objetivos de calidad para las diferentes variables durante la campaña del 10 de julio se puede relacionar con vertimientos de agua residual sobre la corriente como con los procesos de mantenimiento realizados en la PTAR San Fernando.



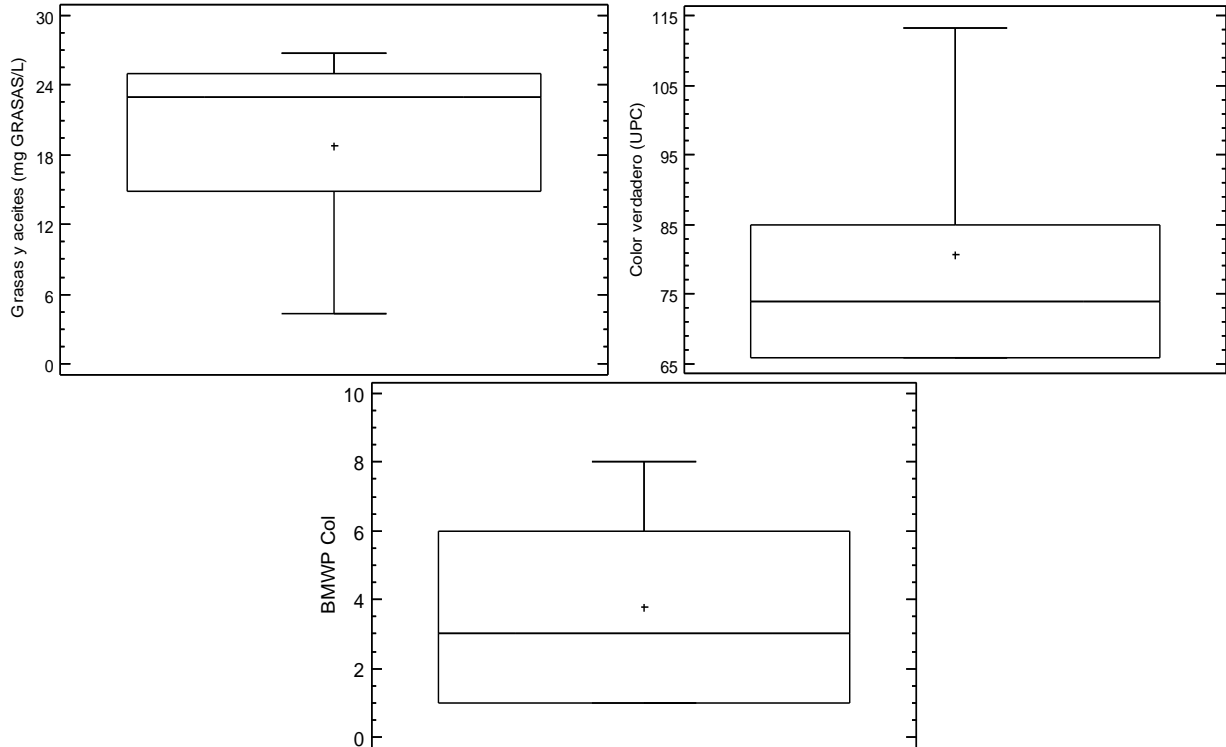


Figura 7. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Niquía (E21)

2.11 ANCÓN NORTE (E12)

En la Tabla 11 se muestra el resumen estadístico de las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas en la estación Ancón Norte (E12) durante las campañas completas realizadas en el año 2017, en la Figura 8 se presentan los diagramas de cajas y bigotes para estas variables.

El conjunto de datos registrado en la estación Ancón Norte (E12) se relaciona con las cargas contaminantes provenientes del municipio de Bello y una parte de Copacabana, aportada a través de vertimientos directos de aguas residuales domésticas y no domésticas y de quebradas afluentes como Piedras Blancas (Q15) y El Chuscal (Q32). Los resultados obtenidos evidencian que en la corriente predominaron los compuestos biodegradables y los sólidos fijos sobre los volátiles; en cuanto a los sólidos disueltos y suspendidos, se destaca que en la mayoría de las campañas se presentó una mayor concentración para los primeros, sin embargo, los segundos dominaron en las dos primeras fechas donde se registraron lluvias previas y durante la jornada. Las concentraciones de nutrientes y de sólidos se caracterizaron por ser altas, al igual que los niveles registrados para la conductividad eléctrica y el color verdadero, por el contrario, los resultados obtenidos para el índice biológico BMWP/Col y la concentración de oxígeno disuelto fueron bajas.

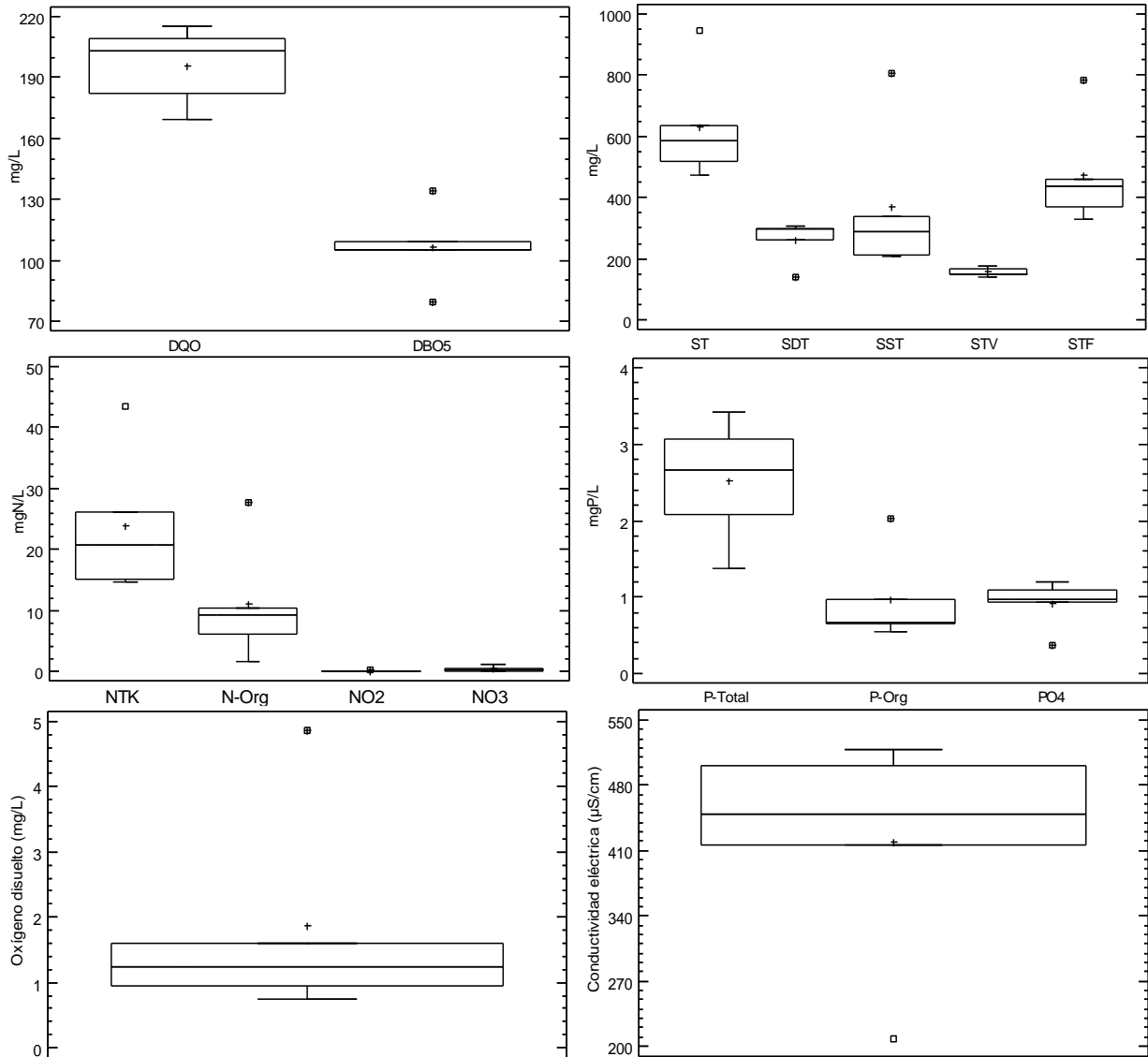
Tabla 11. Resumen estadístico estación Ancón Norte (E12)

VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.62	7.60	0.10	0.01	7.51	7.77	0.26
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	1.87	1.23	1.71	0.91	0.74	4.87	4.13
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	419.00	449.00	124.00	0.30	208.00	519.00	310.00
DBO ₅ (mg/L)	5.00	106.00	105.00	19.40	0.18	79.20	134.00	54.80
DQO (mg/L)	5.00	196.00	203.00	19.40	0.10	169.00	215.00	46.00
P-Total (mg P/L)	5.00	2.52	2.66	0.81	0.32	1.38	3.41	2.03
PO ₄ (mg P/L)	5.00	0.91	0.98	0.32	0.35	0.37	1.19	0.82
P -Org (mg P/L)	5.00	0.97	0.67	0.61	0.63	0.54	2.02	1.48
NO ₃ (mg N/L)	5.00	0.43	0.20	0.47	1.08	0.10	1.20	1.10
NO ₂ (mg N/L)	5.00	0.09	0.02	0.15	1.66	0.02	0.36	0.35
N - Org (mg N/L)	5.00	11.00	9.20	9.99	0.91	1.60	27.80	26.20
NTK (mg N/L)	5.00	24.00	20.70	11.90	0.50	14.60	43.50	28.90
SST (mg/L)	5.00	370.00	288.00	251.00	0.68	208.00	808.00	600.00
ST (mg/L)	5.00	631.00	586.00	188.00	0.30	471.00	947.00	476.00
STV (mg/L)	5.00	156.00	151.00	14.70	0.09	140.00	177.00	37.00
SDT (mg/L)	5.00	261.00	298.00	70.10	0.27	139.00	305.00	166.00
STF (mg/L)	5.00	475.00	435.00	179.00	0.38	331.00	782.00	451.00
SSED (mL/L-h)	5.00	2.74	2.80	0.94	0.34	1.60	3.80	2.20
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	27.60	19.40	27.80	1.01	8.80	76.20	67.40
Color verdadero (UPC)	5.00	73.00	72.40	13.60	0.19	56.30	92.50	36.20
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	2.45	2.76	0.59	0.24	1.69	2.93	1.24
BMWP Col	5.00	3.40	3.00	1.67	0.49	2.00	6.00	4.00
Q(m ³ /s)	5.00	46.60	43.20	25.70	0.55	24.70	87.80	63.00
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	6.80E+06	4.80E+06	3.36E+06	49.40%	3.70E+06	1.05E+07	6.80E+06
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	3.42E+07	2.76E+07	1.94E+07	56.80%	1.79E+07	6.48E+07	4.69E+07

Los valores extremos observados para los sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos fijos totales, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y DBO₅ se registraron en la campaña de monitoreo realizada el 26 de abril y se relacionan con los eventos de precipitaciones registrados previo a la jornada y durante la misma, y que se caracterizaron por tener una alta intensidad. Las lluvias reportadas en la cuenca generaron un incremento en el caudal de la corriente y a su vez, una resuspensión de sedimentos, por lo que variables como los sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos fijos totales mostraron un aumento representativo en su concentración; por el contrario, la conductividad eléctrica y la DBO₅ presentaron una disminución, asociado a procesos de dilución. La concentración de oxígeno disuelto presentó un aumento significativo durante esta jornada debido a las condiciones hidráulicas de la corriente, como mayor caudal y mayor velocidad de la masa de agua, que favorecieron el intercambio gaseoso con la atmósfera. Por otro lado, los nutrientes y las grasas presentaron altos registros en la jornada realizada el 22 de febrero, lo cual se puede vincular a los bajos caudales reportados durante la misma y por tanto, una menor capacidad de la corriente para asimilar los contaminantes.

En la estación Ancón Norte (E21) se registró un incumplimiento de los objetivos de calidad planteados para las variables DBO₅, DQO, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total Kjeldahl, grasas y aceites y color verdadero. Lo anterior, se relaciona con las cargas contaminantes aportadas aguas arriba del sitio de muestreo a través del vertimiento de aguas residuales domésticas y no domésticas, como también, a las condiciones hidráulicas de la corriente que, generalmente, en época de caudales bajos o medios generan una menor capacidad de la corriente para asimilar los contaminantes, mientras que en régimen de caudal alto se presentan diluciones o resuspensión de sedimentos. En las campañas realizadas en febrero, agosto y septiembre, correspondientes a caudales bajos y medios, las variables DBO₅, DQO, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, nitrógeno total

Kjeladhl, grasas y aceites y color verdadero incumplieron los objetivos de calidad establecidos; mientras que, en las campañas restantes, donde los caudales fueron altos, se registraron niveles superiores para la DQO, sólidos suspendidos totales y color verdadero.



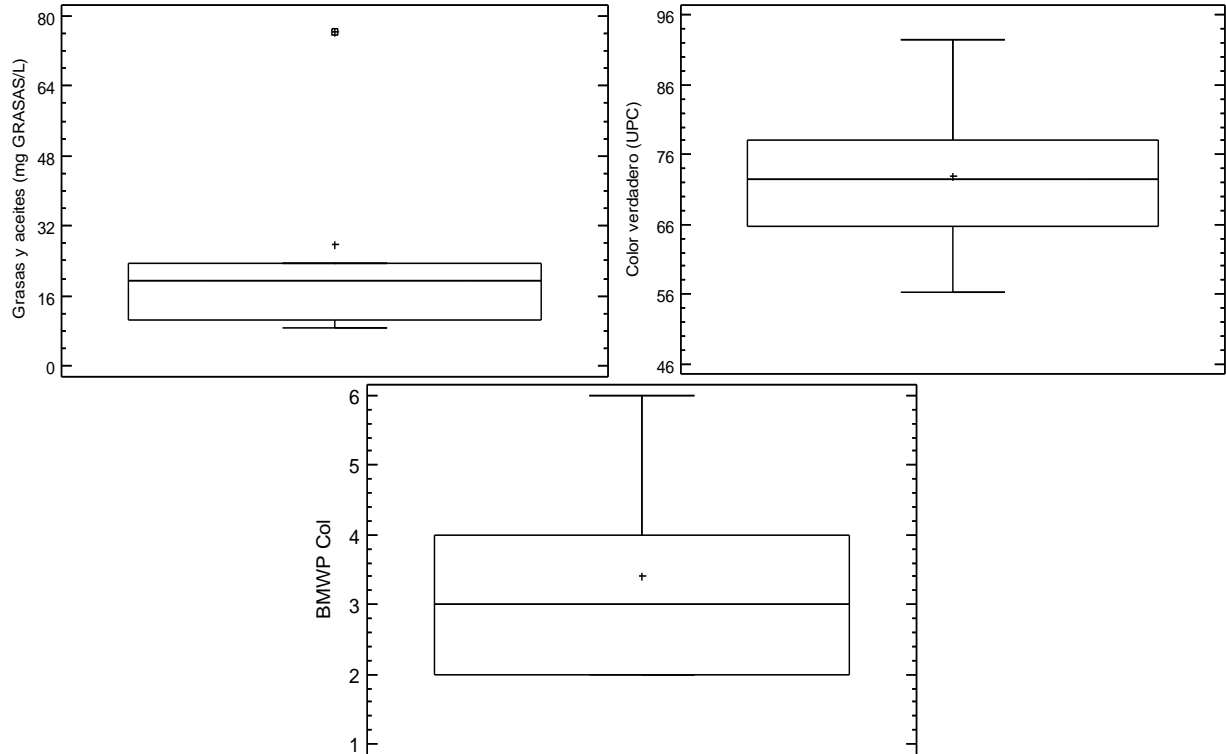


Figura 8. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Ancón Norte (E12)

2.12 PAPELSA (E16)

El resumen estadístico obtenido para las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas en la estación Papelsa (E16) durante las campañas completas realizadas en el año 2017 se muestra en la Tabla 12 y en la Figura 9 se muestran los diagramas de cajas y bigotes para las variables evaluadas.

En la estación Papelsa (E16), el conjunto de datos registrado se relaciona con los aportes de aguas residuales provenientes de la zona urbana del municipio de Barbosa, la confluencia de quebradas La López, Castillal, La Quiebra y Ovejas, entre otras y vertimientos asociados a industrias localizadas en la zona norte de la cuenca, asimismo, los resultados se vinculan fundamentalmente a la descarga de la central hidroeléctrica La Tasajera.

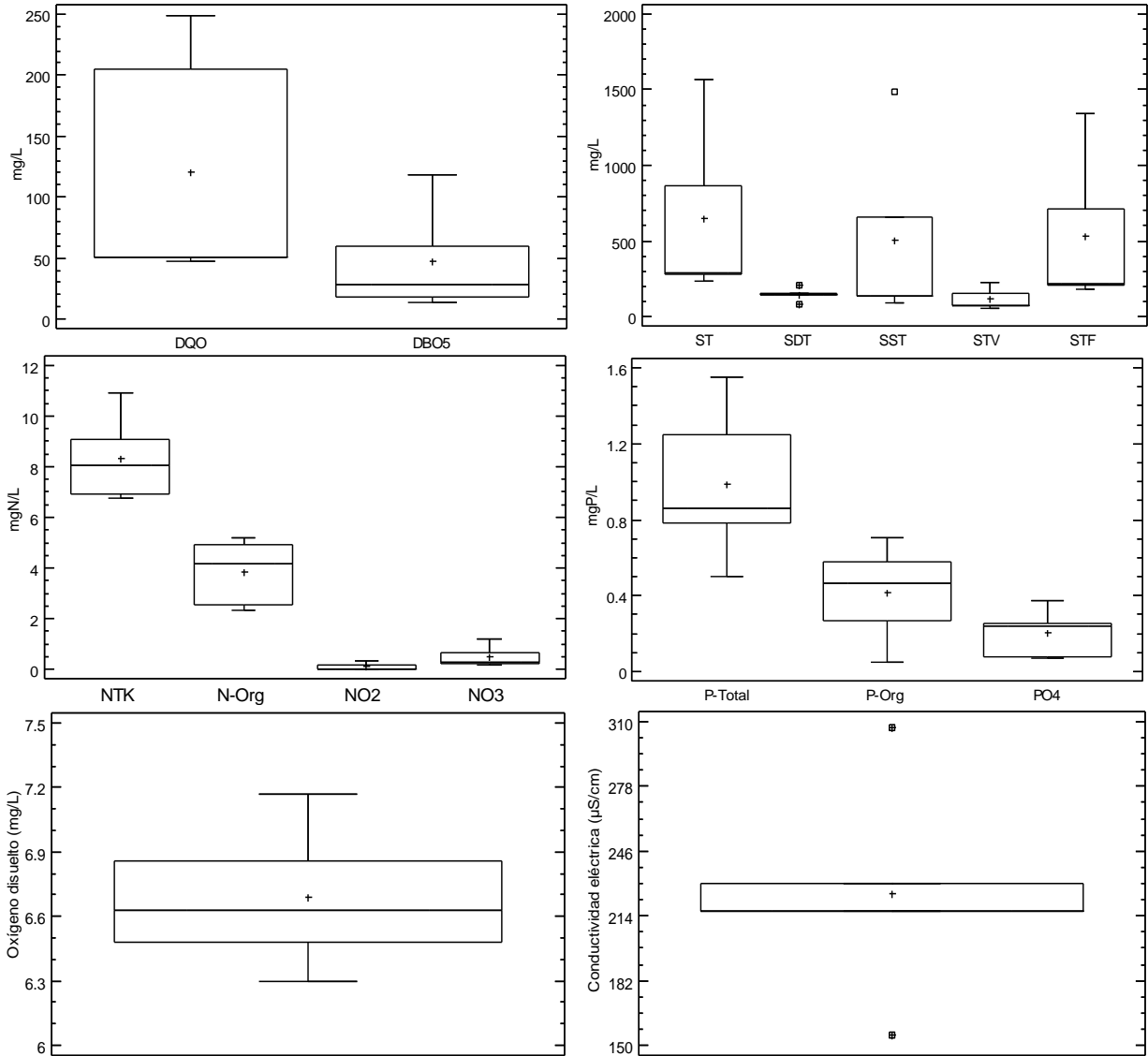
Los datos recolectados evidenciaron menores niveles para las variables fisicoquímicas evaluadas respecto a las estaciones de monitoreo anteriores, asociado a menores cargas contaminantes aportadas a la corriente como resultado de una disminución en la densidad poblacional, la dilución de los contaminantes vinculada con la descarga de La Tasajera y cambios en los usos del suelo, puesto que las actividades agropecuarias, silvopastoriles y agrosilvopastoriles presentan una mayor dominancia. Se destaca que las variables DQO,

sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales fijos mostraron una alta dispersión en los resultados obtenidos, vinculada a las cargas contaminantes vertidas a la corriente y a las condiciones hidráulicas de la misma, puesto que en las campañas de caudales bajos o medios se favoreció la sedimentación de los sólidos debido a una menor velocidad en el fluido, mientras que en las campañas de caudal alto se presentó resuspensión de este material. Las variables sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica y color verdadero presentaron valores extremos durante las campañas de monitoreo realizadas en febrero y abril, y se asocian a la resuspensión de sedimentos generada a partir de los caudales altos y medios registrados en el río como resultado de los eventos de lluvia reportados en la cuenca hidrográfica. Se destaca que la conductividad eléctrica presentó bajos niveles durante la segunda campaña, lo cual se puede relacionar con procesos de dilución. La alta concentración registrada para las grasas y aceites se puede vincular a vertimiento puntual realizado sobre la corriente.

Tabla 12. Resumen estadístico estación Papelsa (E16)

VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.32	7.27	0.13	0.02	7.20	7.48	0.28
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	6.69	6.63	0.34	0.05	6.30	7.17	0.87
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	225.00	216.00	54.40	0.24	155.00	307.00	152.00
DBO5 (mg/L)	5.00	47.30	28.00	43.30	0.92	13.50	118.00	105.00
DQO (mg/L)	5.00	121.00	50.90	98.30	0.82	47.40	249.00	202.00
P-Total (mg P/L)	5.00	0.99	0.86	0.41	0.42	0.50	1.55	1.05
PO4 (mg P/L)	5.00	0.20	0.24	0.13	0.63	0.07	0.38	0.30
P -Org (mg P/L)	5.00	0.41	0.46	0.26	0.63	0.05	0.70	0.65
NO3 (mg N/L)	5.00	0.52	0.27	0.44	0.85	0.19	1.22	1.03
NO2 (mg N/L)	5.00	0.11	0.02	0.13	1.24	0.02	0.31	0.30
N - Org (mg N/L)	5.00	3.82	4.15	1.32	0.35	2.35	5.18	2.83
NTK (mg N/L)	5.00	8.34	8.05	1.71	0.21	6.75	10.90	4.15
SST (mg/L)	5.00	501.00	140.00	597.00	1.19	92.00	1490.00	1390.00
ST (mg/L)	5.00	648.00	285.00	576.00	0.89	237.00	1570.00	1330.00
STV (mg/L)	5.00	115.00	74.00	70.60	0.62	57.00	223.00	166.00
SDT (mg/L)	5.00	146.00	145.00	44.70	0.31	82.00	208.00	126.00
STF (mg/L)	5.00	533.00	215.00	506.00	0.95	180.00	1350.00	1170.00
SSED (mL/L-h)	5.00	2.26	2.00	1.47	0.65	0.80	4.50	3.70
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	5.42	3.90	2.63	0.49	3.40	9.70	6.30
Color verdadero (UPC)	5.00	68.00	49.70	38.20	0.56	47.50	136.00	88.50
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	0.61	0.65	0.18	0.29	0.35	0.81	0.47
BMWP Col	5.00	6.80	7.00	0.84	0.12	6.00	8.00	2.00
Q (m3/s)	5.00	83.00	75.90	69.60	0.84	24.60	199.00	175.00
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	4.08E+05	3.60E+05	3.18E+05	77.90%	1.40E+05	9.30E+05	7.90E+05
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	5.13E+06	2.48E+06	5.30E+06	103.00%	1.43E+06	1.41E+07	1.27E+07

En cuanto a la evaluación de los objetivos de calidad, se destaca que las variables DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica y color verdadero registraron niveles superiores a los objetivos establecidos en las campañas de monitoreo realizadas en los meses de febrero y abril; en las cuales se registraron precipitaciones en la cuenca y generaron un incremento en el caudal y resuspensión de sedimentos; se destaca que el nitrógeno total Kjeldahl presentó una concentración superior al límite planteado. En contraste, en las jornadas ejecutadas en julio, agosto y septiembre, la conductividad eléctrica presentó valores superiores a los niveles establecidos, vinculado posiblemente a una menor capacidad de la corriente para asimilar los contaminantes puesto que en estas campañas se registraron caudales medios y bajos; la DQO registró valores superiores al objetivo de calidad en las jornadas ejecutadas los meses de julio y septiembre, mientras que el color verdadero incumplió el objetivo en la campaña realizada en julio.



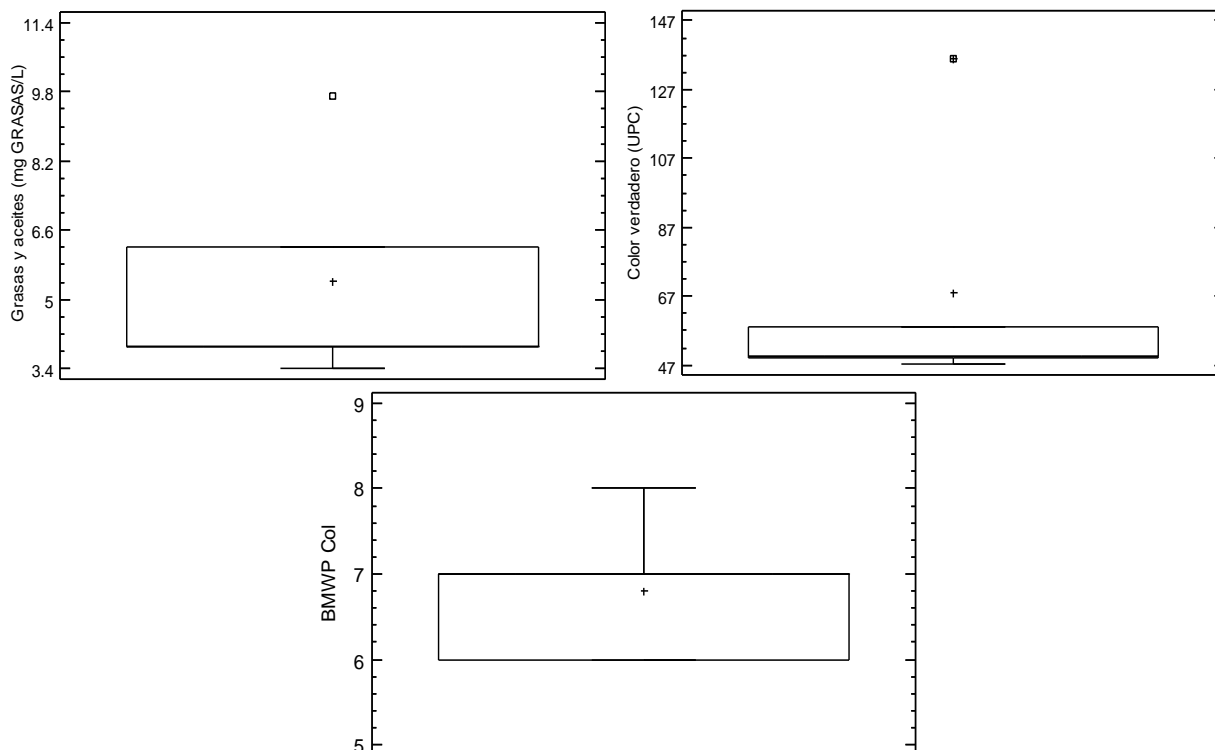


Figura 9. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Papelsa (E16)

2.13 PUENTE GABINO (E20)

En la Tabla 13 se muestra el resumen estadístico de las variables fisicoquímicas y biológicas evaluadas en la estación Puente Gabino (E20) durante las campañas completas ejecutadas en el año 2017, entretanto, en la Figura 10 se muestran los diagramas de cajas y bigotes para estas variables.

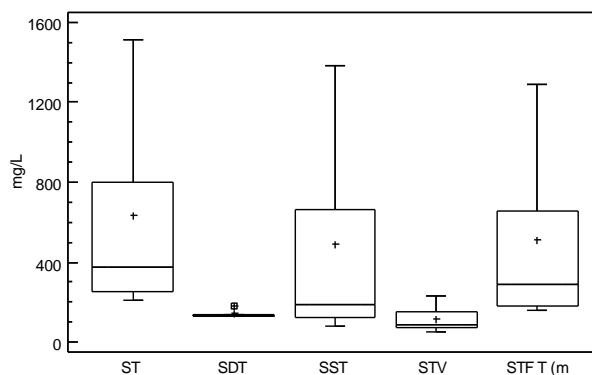
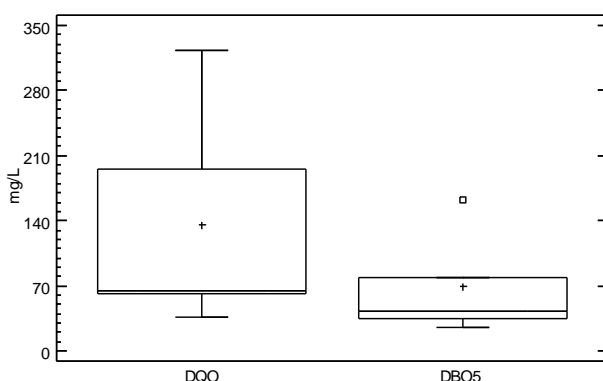
Los resultados registrados en la estación Puente Gabino (E20) se relacionan con las actividades agropecuarias desarrolladas en la zona norte de la cuenca, las aguas residuales provenientes de la zona rural y la confluencia de quebradas como La Jagua, San Pedro, Aguas Claras, Piedra Gorda, Arenales, Los Morros y río Grande, las cuales se caracterizan por presentar un bajo grado de intervención antrópica. En ese sentido, el conjunto de datos registrado para las variables fisicoquímicas evaluadas presentó menores niveles debido a una menor carga de agua residual aporta al río y a sus afluentes, como también, a procesos de dilución generados como resultado de las condiciones de calidad de los afluentes. Al igual que en E16, las variables DQO, sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos fijos totales presentaron alta dispersión que puede atribuirse a la resuspensión de sedimentos registrada durante las campañas de monitoreo ejecutadas en los meses de febrero y abril, debido a los eventos de lluvia registrados en la cuenca y el incremento en el caudal de la corriente. Los valores extremos

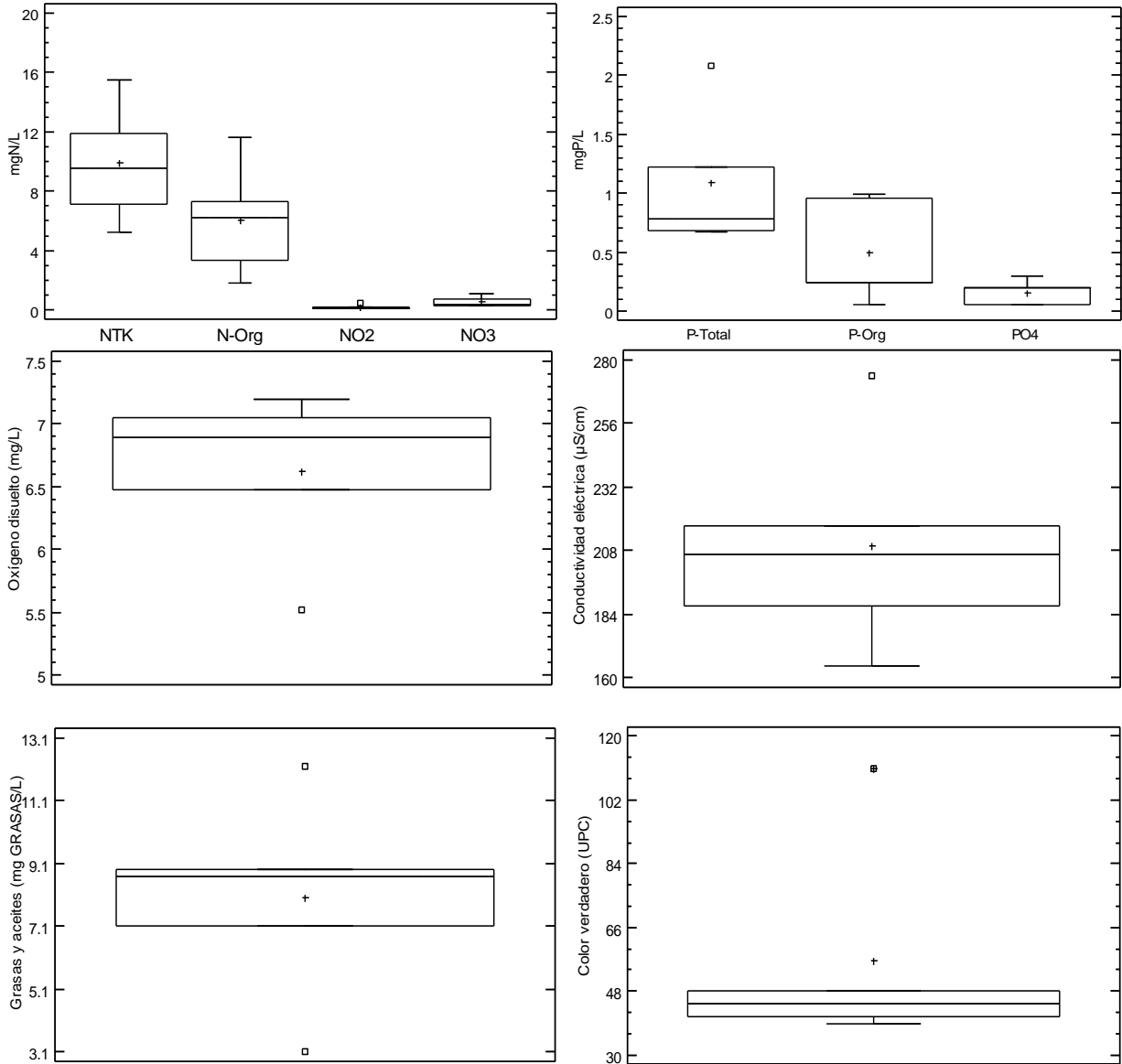
registrados para la DBO₅, fósforo total, conductividad eléctrica y color verdadero se vinculan a las condiciones descritas previamente, mientras que la alta concentración registrada para las grasas y aceites se vinculó a un vertimiento puntual.

Tabla 13. Resumen estadístico estación Puente Gabino (E20)

VARIABLES	NÚMERO DE DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (U de pH)	5.00	7.44	7.41	0.23	0.03	7.23	7.80	0.57
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.00	6.63	6.89	0.68	0.10	5.52	7.20	1.68
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5.00	210.00	207.00	41.10	0.20	165.00	274.00	110.00
DBO ₅ (mg/L)	5.00	69.10	43.30	56.20	0.81	26.10	163.00	137.00
DQO (mg/L)	5.00	136.00	65.20	121.00	0.89	37.10	323.00	286.00
P-Total (mg P/L)	5.00	1.09	0.78	0.60	0.55	0.68	2.08	1.40
PO ₄ (mg P/L)	5.00	0.16	0.19	0.11	0.67	0.05	0.29	0.24
P -Org (mg P/L)	5.00	0.50	0.25	0.44	0.89	0.05	0.99	0.94
NO ₃ (mg N/L)	5.00	0.55	0.33	0.35	0.62	0.31	1.09	0.78
NO ₂ (mg N/L)	5.00	0.19	0.12	0.16	0.84	0.07	0.47	0.40
N - Org (mg N/L)	5.00	6.06	6.26	3.79	0.63	1.81	11.60	9.79
NTK (mg N/L)	5.00	9.87	9.59	4.03	0.41	5.21	15.50	10.30
SST (mg/L)	5.00	488.00	190.00	552.00	1.13	78.00	1380.00	1310.00
ST (mg/L)	5.00	632.00	372.00	547.00	0.87	212.00	1520.00	1300.00
STV (mg/L)	5.00	117.00	85.00	71.90	0.61	51.00	228.00	177.00
SDT (mg/L)	5.00	144.00	134.00	21.70	0.15	130.00	182.00	52.00
STF (mg/L)	5.00	514.00	287.00	476.00	0.93	161.00	1290.00	1130.00
SSED (mL/L-h)	5.00	2.58	1.90	2.06	0.80	0.60	5.80	5.20
Grasas y aceites (mg GRASAS/L)	5.00	8.00	8.70	3.31	0.41	3.10	12.20	9.10
Color verdadero (UPC)	5.00	56.60	44.50	30.60	0.54	38.70	111.00	72.30
SAAM (mg SAAM/L)	5.00	0.43	0.54	0.27	0.63	0.12	0.73	0.61
BMWP Col	5.00	6.80	8.00	2.39	0.35	3.00	9.00	6.00
Q(m ³ /s)	5.00	104.00	85.40	67.70	0.65	45.20	221.00	176.00
E - Coli (NMP/100 ml)	5.00	3.28E+05	3.00E+05	8.93E+04	27.20%	2.10E+05	4.40E+05	2.30E+05
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	5.00	4.69E+06	2.48E+06	5.23E+06	111.00%	1.72E+06	1.40E+07	1.23E+07

Las variables DBO₅, DQO y conductividad eléctrica presentaron niveles superiores a los objetivos de calidad durante la totalidad de las campañas de monitoreo realizadas, excepto en julio, donde la solamente conductividad eléctrica incumplió los límites establecidos. Adicionalmente, en la campaña de febrero se incumplieron los objetivos para los sólidos suspendidos totales y nitrógeno total Kjeldahl y en abril, las variables sólidos suspendidos totales y color verdadero. Lo anterior, se relaciona con las cargas contaminantes aportadas a la corriente, como con los regímenes de caudales de la corriente.





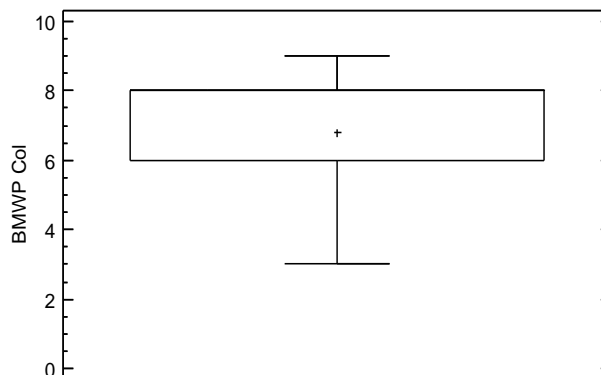


Figura 10. Variables fisicoquímicas e hidrobiológicas estación Puente Gabino (E20)

3 RESUMEN PERFIL DE CALIDAD DEL AGUA PARA EL AÑO 2017

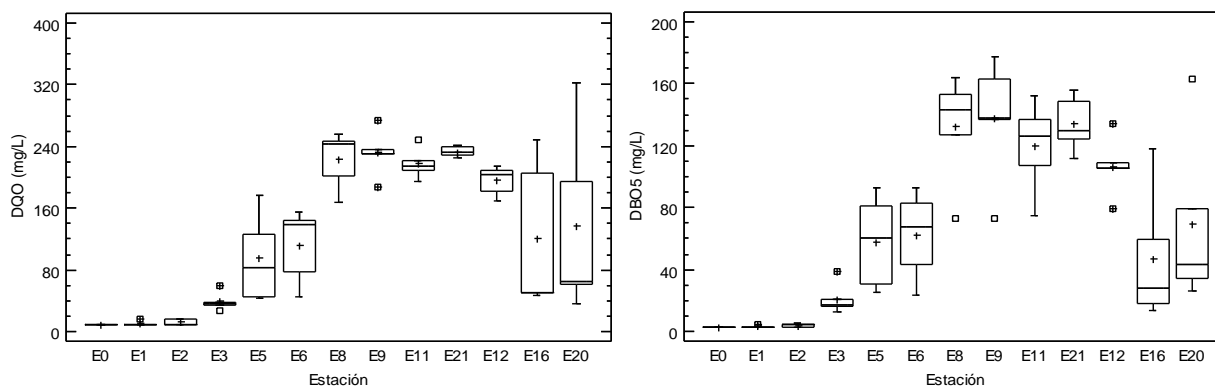
3.1 ANÁLISIS CALIDAD DEL AGUA RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN POR ESTACIÓN

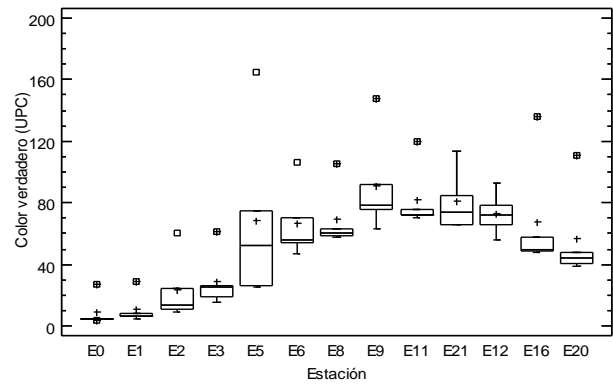
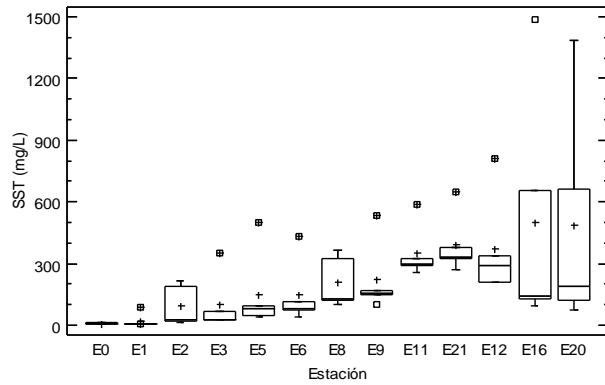
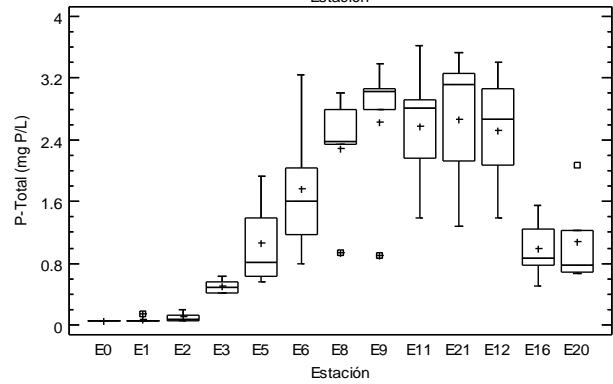
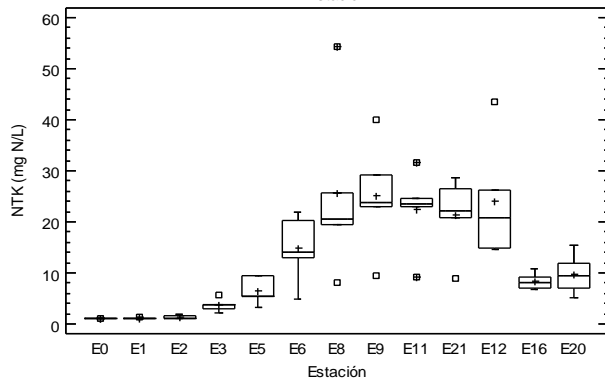
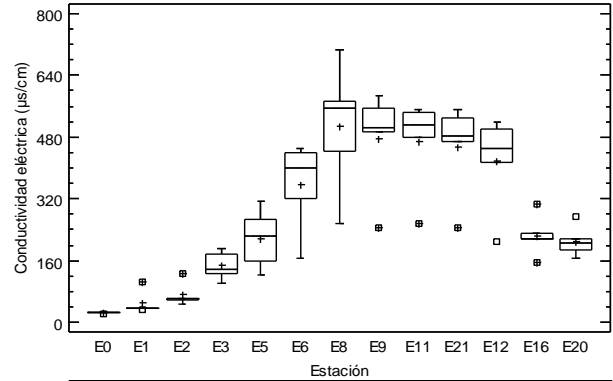
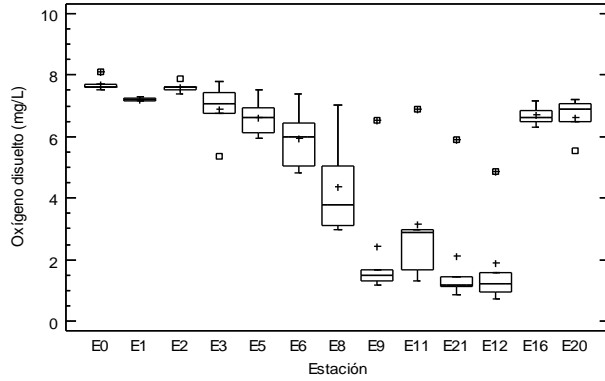
En la Figura 11 se muestran diagramas de cajas y bigotes para las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas monitoreadas durante las campañas de muestreo realizadas durante 2017 en doce estaciones de monitoreo sobre el río Aburrá-Medellín y un sitio sobre el río Porce.

El conjunto de datos registrados para la DQO, DBO₅, conductividad eléctrica, nutrientes y color verdadero presentaron una tendencia creciente entre las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0) y Ancón Norte (E12), mientras que en las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) se observó una disminución en los niveles de las variables evaluadas. En contraste, el oxígeno disuelto mostró una tendencia decreciente a lo largo del río y mostró un incremento representativo en E16 y E20, el índice biológico BMWP/Col presentó altos valores en E0 y E1 mientras que en las estaciones restantes se obtuvieron valores bajos, lo que se puede asociar con aguas de calidad dudosa a fuertemente contaminada. Lo anterior, se relaciona con los vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas realizados sobre la corriente y sus afluentes. Se destaca que las concentraciones registradas para los sólidos suspendidos totales mostraron un incremento a lo largo del río, vinculado a vertimientos de aguas residuales, como también a la resuspensión de sedimentos debido a altos caudales en la corriente registrados en las campañas de monitoreo realizadas en febrero y abril. Entre los vertimientos más relevantes realizados sobre el río se destacan las descargas de la PTAR San Fernando y de los Interceptores Centrales debido a la carga contaminante que aportan, mientras que la descarga proveniente de la central hidroeléctrica La Tasajera y río Grande se caracterizan por transportar menores niveles de contaminación, por lo que contribuyen a generar una dilución de los contaminantes y a incrementar la carga contaminante transportada por el río debido a sus altos caudales. Las quebradas afluentes como La Doctora, La Mina, La Altavista, La Picacha, La Hueso, Santa Elena, La Madera y La García, entre otras, constituyen también un aporte significativo de contaminantes en diferentes tramos del río.

La menor dispersión registrada para las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas evaluadas, así como los menores niveles, se presentaron en las estaciones Reserva Alto de San Miguel y San Miguel, puesto que en las zonas de influencia de éstas se registra una baja intervención antrópica; entretanto, en las estaciones restantes las variables mostraron un incremento y la dispersión observada para las mismas se puede relacionar con variaciones en las cargas contaminantes aportadas a la corriente a través de vertimientos de aguas residuales, como también, con los regímenes de caudales registrados, dado que éstos influyen en la capacidad de la corriente para asimilar los contaminantes. En las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0) y San Miguel (E1) se registraron menores niveles para las variables DQO, DBO₅, conductividad eléctrica, nutrientes y color verdadero, y mayores para el oxígeno disuelto y el índice biológico BMWP/Col; en contraste, en el tramo comprendido entre las estaciones Aula Ambiental (E8) y Ancón Norte (E12) se registraron los valores superiores para las variables fisicoquímicas e inferiores para el índice BMWP/Col, en ese sentido, el tramo E0-E1 corresponde a la zona mejor conservada, mientras que el tramo E8-E12 presenta la mayor criticidad.

Como se mencionó previamente, los valores extremos registrados para las variables fisicoquímicas se asociaron principalmente a la resuspensión de sedimentos generada a partir de eventos de precipitación registrados en la cuenca previo o durante las campañas de monitoreo realizadas en febrero y abril y el incremento en el caudal de la corriente debido a la escorrentía. De manera general, en las variables DQO, DBO₅ y color verdadero se observó un incremento en los niveles registrados para éstas, mientras que en la conductividad eléctrica se presentó una disminución asociada a procesos de dilución. El oxígeno disuelto presentó un incremento representativo en las concentraciones durante las jornadas donde se registró un aumento considerable en los niveles de la lámina de agua.





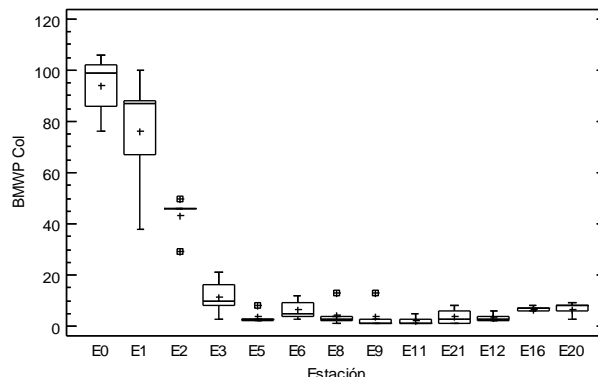


Figura 11. Gráfico de Caja y Bigotes variables fisicoquímicas e hidrobiológicas en estaciones río Aburrá-Medellín

3.2 ANÁLISIS CALIDAD DEL AGUA RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN POR CAMPAÑAS DE MONITOREO

En la Figura 12 se muestran los diagramas de cajas y bigotes que ilustran los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas durante las cinco campañas de monitoreo realizadas en el río Aburrá-Medellín. La dispersión observada en el conjunto de datos durante las diferentes jornadas ejecutadas muestra el gradiente a lo largo de la corriente para las variables evaluadas.

La DQO y la DBO₅ presentaron niveles similares durante las cinco campañas realizadas, sin embargo, la distribución de los datos presentó diferencias, puesto que en las primeras tres campañas éstos presentaron una asimetría negativa, mientras que en la campaña 4 y 5 la asimetría fue positiva; lo anterior, se relaciona con variaciones en las cargas contaminantes aportadas a la corriente, como también, los niveles en los caudales.

El conjunto de datos registrado para el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica presentó valores semejantes en las campañas ejecutadas, sin embargo, en la campaña 2, éstos mostraron una menor dispersión. En cuanto a la primera variable, se destaca que se presentó un incremento en los registros debido a un mayor caudal y velocidad de la corriente, lo cual favoreció una mayor tasa en el intercambio gaseoso entre la corriente y la atmósfera; respecto a la conductividad eléctrica, un mayor caudal generó procesos de dilución en el cuerpo de agua, por lo que los registros obtenidos para la conductividad eléctrica en esta jornada fueron inferiores. Se destaca que en la campaña 2 se registraron altos caudales debido a las intensas lluvias que se reportaron en la cuenca durante la jornada de muestreo y previo a la misma.

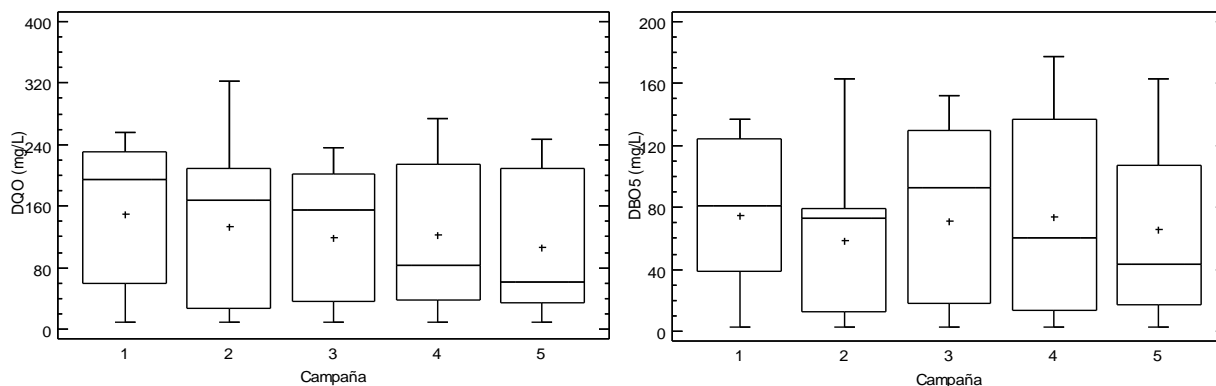
Los nutrientes mostraron diferencias en la distribución de los datos durante las campañas realizadas, se destaca que la campaña 2 se registraron menores concentraciones debido a procesos de dilución en la corriente. Las diferencias observadas en las distribuciones se pueden relacionar con variaciones en las cargas contaminantes aportadas a la corriente, como también,

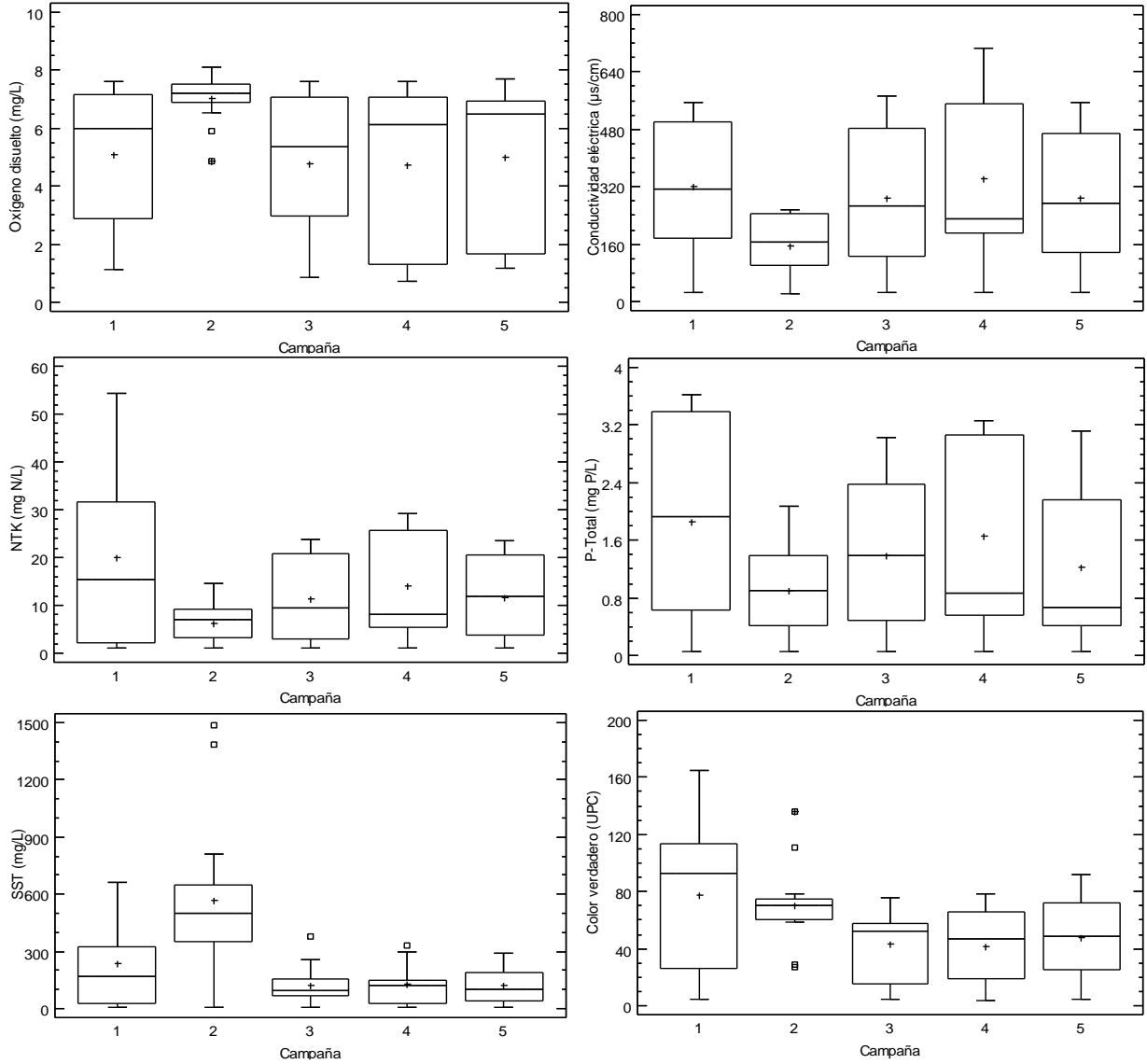
con los regímenes de caudales, puesto que éstos inciden en la capacidad de asimilación de los contaminantes.

Los SST mostraron una mayor dispersión en las dos primeras campañas, mientras que en las debido a resuspensión de sedimentos favorecida por el incremento en el caudal y los eventos de precipitación registrados en la cuenca; en las campañas 3, 4 y 5 se registró una menor dispersión en los datos, la cual se relaciona con los aportes de aguas residuales, principalmente, los vertimientos de tipo industrial asociados a la explotación de material para la construcción.

El BMWP/Col presentó valores similares durante las campañas realizadas, inferiores a 20 unidades, en ese sentido, la calidad del río osciló entre crítica y muy crítica en la mayoría de las estaciones estudiadas. En todas las campañas se presentaron valores extremos que pueden ser asociados a los puntajes obtenidos para el índice en los sitios de muestreo que presentan aguas limpias a moderadamente contaminadas, como Reserva Alto de San Miguel (E0), San Miguel (E1) y Primavera (E2).

El color verdadero presentó valores similares en las jornadas realizadas, se destaca que campañas 1 y 2 los datos presentaron una mayor dispersión, la cual puede estar relacionada con la resuspensión de sedimentos, conformados por material en descomposición o material coloidal, debido a las lluvias registradas en la cuenca que generaron un incremento en el caudal de la corriente.





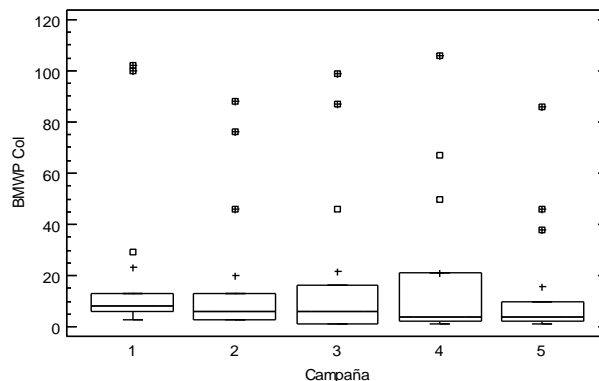


Figura 12. Gráfico de Caja y Bigotes variables fisicoquímicas e hidrobiológicas en campañas de monitoreo río Aburrá-Medellín

3.3 ANÁLISIS EXPLORATORIO MULTIVARIADO SUNRAY

Los gráficos de estrella son un método que permite analizar el peso o importancia de múltiples variables en una estación de monitoreo, para ello, los datos son representados mediante una estrella que constituye un elemento de la muestra, en este caso, una estación de monitoreo; la estrella está definida por un conjunto de radios que forman el mismo ángulo y que confluyen en un centro geométrico, cada radio representa una variable y su longitud es proporcional a la magnitud de la variable representada, relativizada al máximo valor que ésta alcanza en el conjunto de datos, es decir, la distancia de la arista al centro del polígono representa la importancia que tiene la variable dentro de la estación. Los gráficos de estrella se realizaron para cada campaña de monitoreo y se incluyeron las variables BMWP/Col, conductividad eléctrica, DQO, DBO₅, NTK, P Total, SST y oxígeno disuelto (Figura 13).

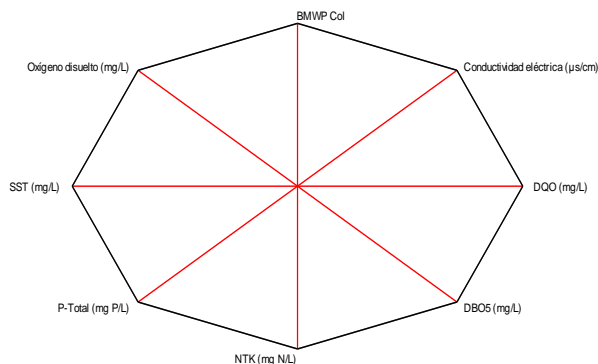


Figura 13. Interpretación y descripción de las variables en el gráfico de estrella

Los resultados obtenidos en las cinco campañas de monitoreo realizadas evidencian que en las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0) y San Miguel (E1) las variables de mayor importancia fueron la concentración de oxígeno disuelto y el índice biológico BMWP/Col, lo cual



AUNAR ESFUERZOS PARA LA APROPIACIÓN TECNOLÓGICA Y DEL CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL CONTEXTO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLIN Y LA FORMULACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN



se asocia a las condiciones hidráulicas de la corriente que favorecen el intercambio gaseoso entre el cuerpo de agua y la atmósfera; como también a la baja intervención antrópica en la zona de estudio, puesto que E0 se localiza en un área protegida, mientras que a la altura de E1 se han realizado pocos vertimientos de aguas residuales, por lo tanto, no se genera una demanda de oxígeno representativa y estas condiciones favorecen el desarrollo de taxones propios de corrientes oxigenadas que indican una buena o aceptable calidad del agua. En la estación Primavera (E2) se presentó una disminución significativa en la importancia del índice biológico BMWP/Col, la importancia del oxígeno disuelto se mantuvo, mientras que para las variables fisicoquímicas restantes se observó un incremento; lo anterior, es resultado de un aumento en la densidad poblacional en el territorio y una mayor carga contaminante aportada a través de vertimientos de aguas residuales.

En la estación Ancón Sur (E3), la concentración de oxígeno disuelto presentó una notable importancia debido a las condiciones hidráulicas del cauce, por otro lado, la importancia de las variables fisicoquímicas restantes mostró un incremento debido a vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas realizados a la corriente y sus afluentes, y provenientes de los municipios de Caldas, La Estrella y Sabaneta. Posteriormente, en las estaciones Antes de San Fernando (E5) y Después de San Fernando (E6) se presentó una disminución en la relevancia del oxígeno disuelto y un aumento en la importancia de las variables conductividad eléctrica, DQO, DBO₅, nutrientes y sólidos suspendidos totales; vinculado a las cargas contaminantes provenientes de las quebradas La Doctora, Doña María, La Mina y La Ayurá a la altura de E5 y la descarga de aguas residuales tratadas proveniente de la PTAR San Fernando.

En las estaciones Aula Ambiental (E8), Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11), Niquía (E21) y Ancón Norte (E12) se presentó una disminución significativa en la relevancia del oxígeno disuelto y el índice biológico BMWP/Col, en contraste, las variables conductividad eléctrica, DQO, DBO₅, nutrientes y sólidos suspendidos totales presentaron una mayor importancia, asociado a vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales realizados de manera directa sobre la corriente, como también, a la confluencia de quebradas como La Hueso, Santa Elena, La Rosa, La Madera y La García, entre otras. Se destaca que en la campaña 2, el oxígeno disuelto presentó una mayor relevancia en el tramo comprendido entre E8 y E12, mientras que las variables fisicoquímicas presentaron una menor importancia que en las jornadas restantes, asociado a procesos de dilución, debido a las precipitaciones registradas en la cuenca y el incremento en el caudal generado a partir de las mismas.

Por último, en las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) se presentó un aumento en la importancia de la concentración de oxígeno disuelto y disminuyó la relevancia de las variables fisicoquímicas. Lo anterior, se relaciona con una disminución en la carga contaminante aportada a la corriente a través de aguas residuales y las condiciones hidráulicas en el tramo (alta pendiente y velocidad) que favorecen el intercambio gaseoso entre el cuerpo de agua y la atmósfera.

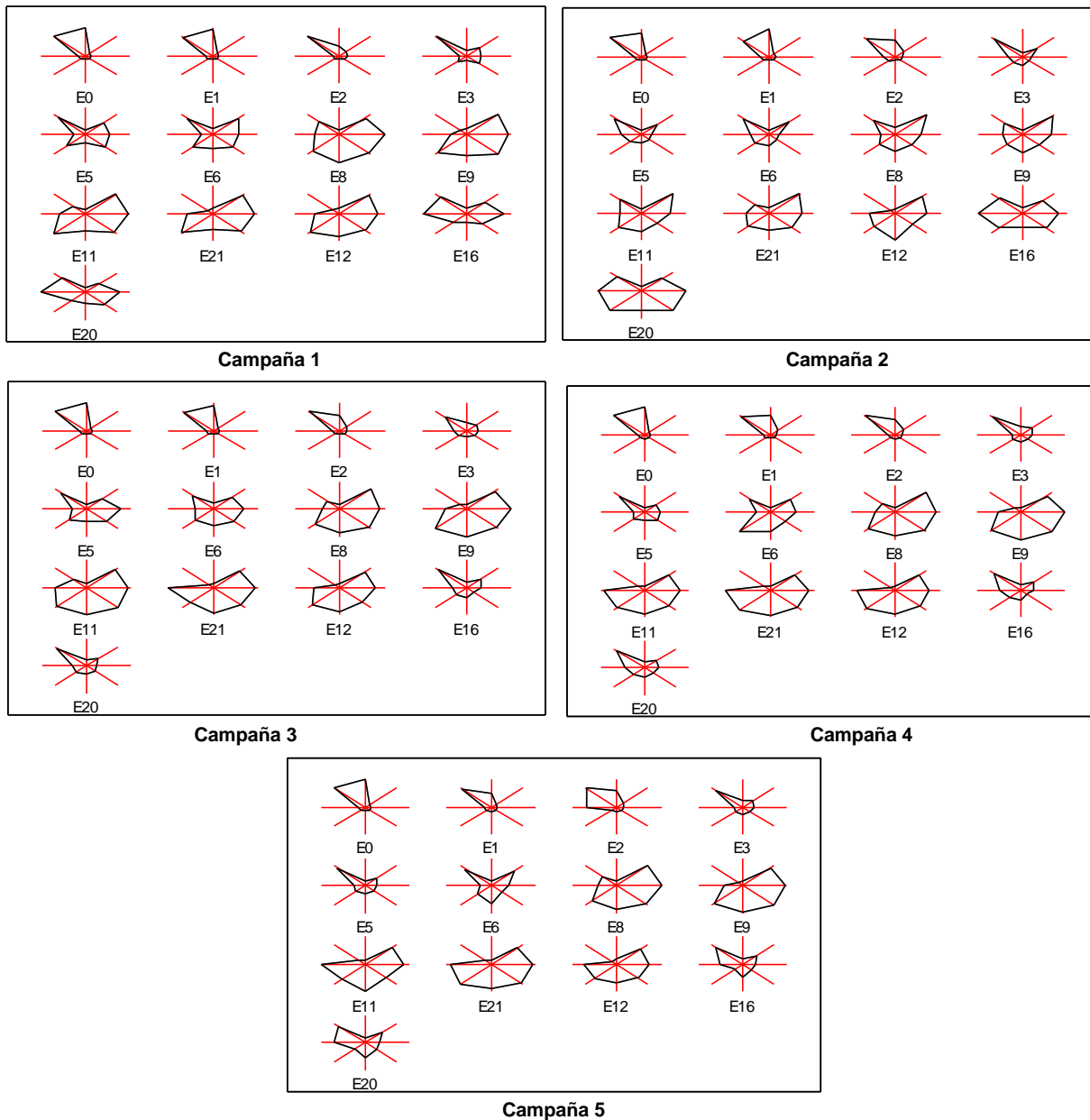
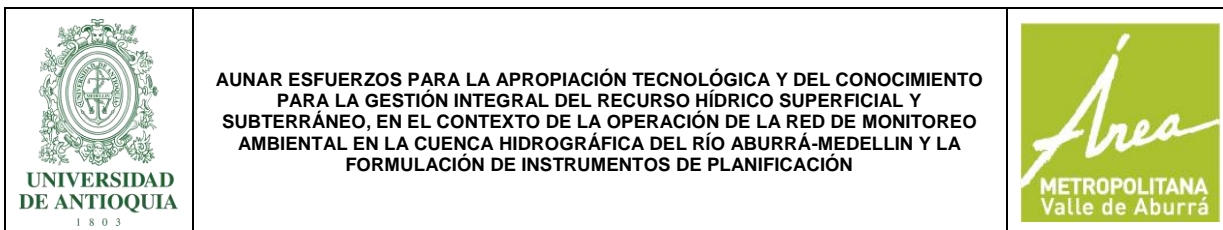


Figura 14. Gráfico de estrellas para estaciones en el río Aburrá-Medellín en cinco campañas de monitoreo

3.4 ANÁLISIS FACTORIAL CALIDAD DEL AGUA RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN

Este análisis tiene la finalidad de obtener nuevas variables no correlacionadas que representen la calidad del agua y faciliten la interpretación y análisis de los resultados. Para ello, se tomaron



las variables correlacionadas (Tabla 14), se realizó una transformación de potencia para normalizarlas y se estandarizaron los datos y posteriormente, se realizó un análisis factorial (Tabla 15).

Tabla 14. Correlación variables fisicoquímicas e hidrobiológicas río Aburrá-Medellín

	BMWP/Col	Conductividad eléctrica (µS/cm)	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg N/L)	P-Total (mg P/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	SST (mg/L)	pH (U de pH)
BMWP Col		-0.66	-0.63	-0.62	-0.52	-0.61	0.48	-0.36	-0.56
Conductividad eléctrica (µS/cm)			0.81	0.88	0.87	0.93	-0.88	0.08	0.34
DQO (mg/L)				0.96	0.78	0.87	-0.73	0.56	0.33
DBO5 (mg/L)					0.79	0.91	-0.82	0.39	0.33
NTK (mg N/L)						0.91	-0.80	0.15	0.22
P-Total (mg P/L)							-0.88	0.24	0.29
Oxígeno disuelto (mg/L)								-0.05	-0.17
SST (mg/L)									0.11
pH (U de pH)									

Los resultados mostrados en la Tabla 15 evidencian que un solo factor (WQ_1) explica el 86,16% de la variabilidad de los datos, por lo que se descartan los demás factores.

Tabla 15. Análisis factorial río Aburrá-Medellín

FACTOR	PORCENTAJE DE VARIANZA	PORCENTAJE ACUMULADO
1	86.16	86.16
2	7.20	93.35
3	3.33	96.69
4	1.96	98.64
5	0.64	99.29
6	0.53	99.82
7	0.18	100.00

En la Ecuación 1 se muestran los pesos asignados a cada una de las variables correlacionadas que se emplearon para construir el factor que representa la calidad del agua del río Aburrá-Medellín.

$$WQ_1 = -0.893692 * BMWP/Col + 0.958764 * CE + 0.963256 * DQO + 0.968164 * DBO5 + 0.970182 * NTK + 0.976275 * Ptotal - 0.743864 * OD$$

Ecuación 1. Factor WQ_1

En la Figura 15 se muestra la variación del factor WQ_1 respecto a campañas y estaciones de monitoreo en el río Aburrá-Medellín.

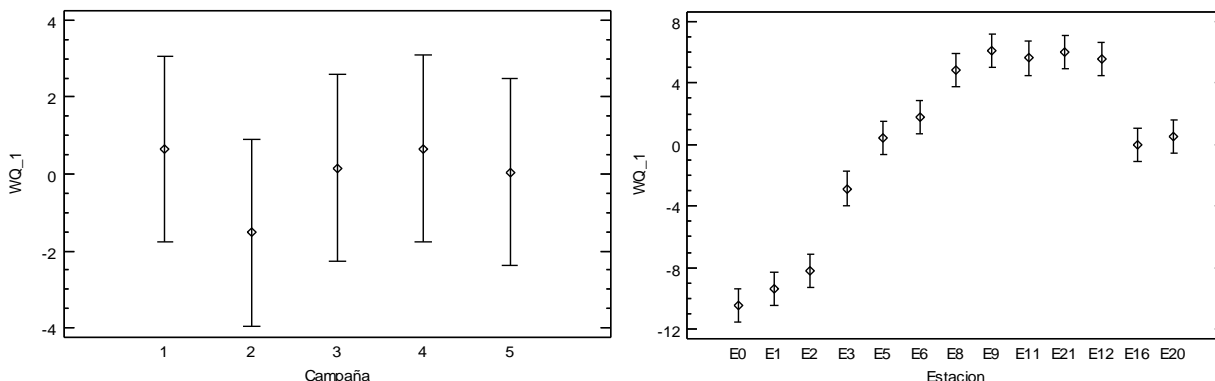


Figura 15. Medias del factor WQ_1 para las campañas y las estaciones de monitoreo en el río Aburrá-Medellín

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de rangos múltiples (Tabla 16), no se presentaron diferencias significativas entre las campañas de monitoreo realizadas en el río Aburrá-Medellín durante 2017, sin embargo, se destaca que en la campaña 2 se presentaron menores valores para el factor, vinculados a procesos de dilución en la corriente, debido a los altos niveles en el caudal como consecuencia de los eventos de lluvia registrados en la cuenca previo y durante a la jornada de monitoreo.

Tabla 16. Prueba de rangos múltiples factor WQ_1 en campañas de monitoreo

CAMPAÑA	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
2	-1.52306	X
5	0.0497702	X
3	0.159925	X
1	0.656434	X
4	0.65692	X

En cuanto a los resultados obtenidos en las estaciones de monitoreo, se destaca que se presentó un deterioro en la calidad del agua vinculado a las cargas contaminantes aportadas a la corriente a través de vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas realizados sobre la corriente y sus afluentes. En la prueba de rangos múltiples realizada para las estaciones de monitoreo se destacaron cuatro grupos homogéneos, el primero de ello conformado por las estaciones Reserva Alto de San Miguel y San Miguel; el segundo, por las estaciones San Miguel y Primavera; el tercero, estuvo conformado por las estaciones Antes de San Fernando, Después de San Fernando, Papelsa y Puente Gabino; el último grupo estuvo conformado por las estaciones Aula Ambiental, Puente Acevedo, Puente Machado, Niquía y Ancón Norte. En ese sentido, la mejor calidad del agua se presentó en el tramo E0-E2, mientras que el mayor deterioro se presentó en el tramo E8-E12, los grupos conformados por las estaciones restantes presentan una calidad del agua intermedia, presentándose en la estación E3 una mejor calidad del agua que en los sitios de muestreo restantes.

Tabla 17. Prueba de rangos múltiples factor WQ₁ en estaciones de monitoreo

ESTACION	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
Reserva Alto de San Miguel	-10.4517	X
San Miguel	-9.37326	XX
Primavera	-8.17437	X
Ancón Sur	-2.85845	X
Papelsa	-0.006796	X
Antes de San Fernando	0.394804	X
Puente Gabino	0.538999	X
Después de San Fernando	1.7845	X
Aula Ambiental	4.8688	X
Ancón Norte	5.55896	X
Puente Machado	5.60753	X
Niquía	6.01736	X
Puente Acevedo	6.09358	X

En la Figura 16 se muestra la variación para el factor WQ₁ entre campañas y estaciones de monitoreo en el río Aburrá-Medellín, donde se destaca que las tendencias observadas a lo largo de la corriente fueron similares, puesto que en las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0), San Miguel (E1) y Primavera (E3) se presentan las mejores condiciones de calidad del agua, mientras que en las estaciones restantes se observa un deterioro en la misma vinculado a las cargas contaminantes aportadas a la corriente a través de vertimientos de aguas residuales. En las estaciones Ancón Sur (E3), Antes de San Fernando (E5), Después de San Fernando (E6), Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) se registraron valores intermedios para el factor, en ese sentido, el agua se puede catalogar como moderadamente contaminada o con una calidad regular. En las estaciones Aula Ambiental (E8), Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11), Niquía (E21) y Ancón Norte (E12) se registraron los valores más altos para el factor, por lo que se puede afirmar que en este tramo la corriente presentó las condiciones de calidad más críticas. En cuanto a las diferencias observadas entre las jornadas de monitoreo, se destaca que en las campañas 1, 3, 4 y 5 se obtuvieron valores similares para el factor en las estaciones evaluadas, mientras que en la campaña 2 se obtuvieron valores superiores en los tramos E0-E2 y E16-E20 e inferiores entre las estaciones Ancón Sur y Ancón Norte, lo anterior, se relaciona con los eventos de lluvias registrados en la cuenca previo y durante esta jornada, los cuales generaron altos caudales, resuspensión de sedimentos y dilución de contaminantes. Los incrementos observados en el factor en las estaciones E1, E2, E16 y E20 se vinculan al transporte de una masa de agua afectada por la resuspensión de sedimentos, mientras que en el tramo E3-E12 se observó una disminución de los valores del factor que pueden relacionarse con aportes de escorrentía que generaron una dilución.

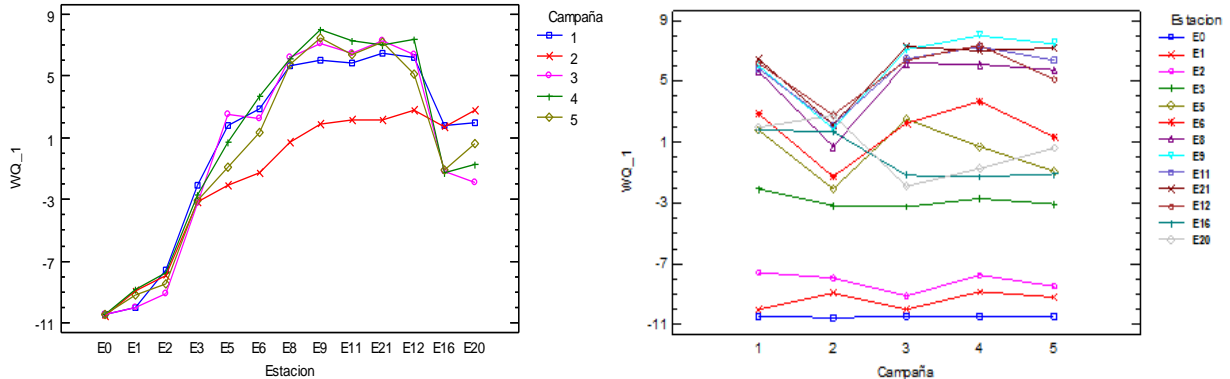


Figura 16. Variación del factor WQ_1 entre campañas y estaciones de monitoreo en el río Aburrá-Medellín

3.5 ANÁLISIS CLÚSTER EN CAMPAÑAS Y ESTACIONES DE MONITOREO RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN

El objeto del análisis clúster en el proyecto es agrupar las unidades experimentales (estaciones) en grupos homogéneos de acuerdo con su similitud, con el fin de identificar similitudes entre las estaciones de muestreo durante las campañas de monitoreo. De manera general, las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0), San Miguel (E1) y Primavera (E2) se agruparon durante las cinco campañas de monitoreo realizadas, como consecuencia de la baja intervención antrópica en la zona y las condiciones de calidad de la corriente en estos sitios. Las estaciones Aula Ambiental (E8), Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11), Niquía (E21) y Ancón Norte (E12) también presentaron una agrupación, puesto que las condiciones de calidad del agua en este tramo se consideran como críticas.

Las estaciones Ancón Sur (E3), Antes de San Fernando (E5), Después de San Fernando (E6), Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) presentaron una asociación en la mayoría de las campañas, dado que la calidad del agua en estos sitios está afectada por vertimientos de aguas residuales de tipo doméstico e industrial, además, en E16 y E20 se presentan procesos de dilución de contaminantes como resultado de las descargas provenientes de la central hidroeléctrica La Tasajera y río Grande. Se destaca que en la campaña 2, las estaciones E16 y E20 se agruparon con los sitios de muestreo que presentaron condiciones críticas, puesto que el tránsito de una masa de agua afectada por las precipitaciones registradas previo a la jornada de monitoreo generaron una resuspensión de sedimentos y un incremento en los niveles de los contaminantes.

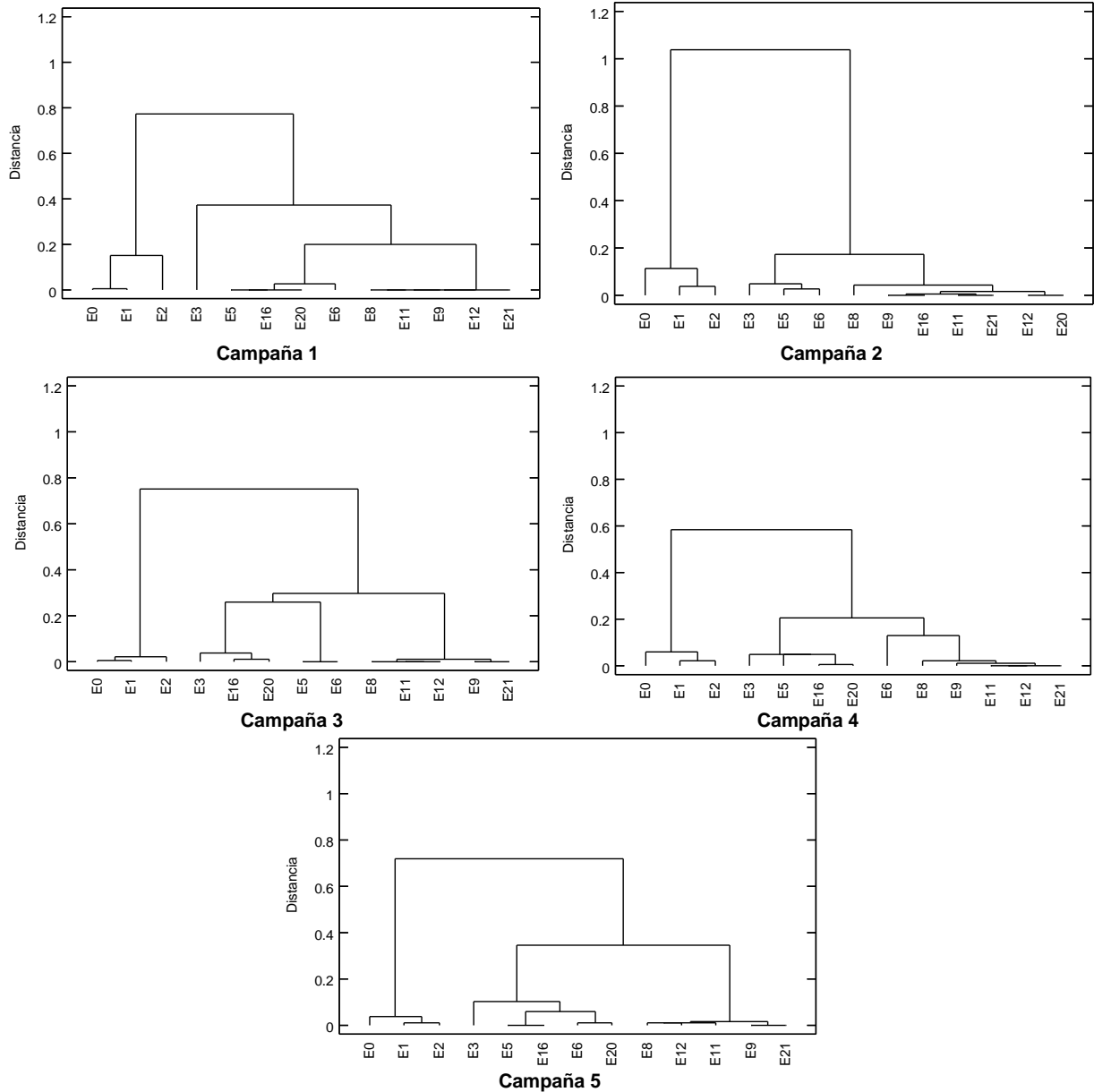


Figura 17. Dendrograma en campañas y estaciones río Aburrá-Medellín

4 RESUMEN ESTADÍSTICO TEMPORAL Y POR NIVELES DE CAUDAL

En la Figura 18 se muestran los resultados obtenidos para el ICA Global en el periodo comprendido entre 2012-2017, como también, las concentraciones registradas para los sólidos suspendidos totales durante el intervalo de tiempo mencionado.

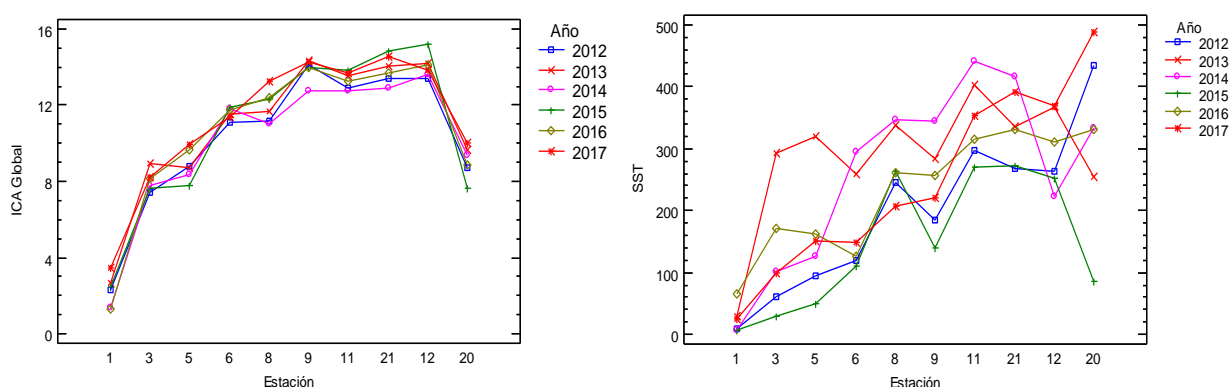


Figura 18. Variación temporal ICA Global y SST río Aburrá-Medellín

Se observa que en el periodo comprendido entre 2012 y 2017, los resultados obtenidos para el ICA Global presentaron una tendencia similar en términos espaciales y un comportamiento estable a nivel temporal, vinculado con los bajos avances en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos-PSMV. Los cambios observados entre años se pueden relacionar con los regímenes de caudales registrados como con las cargas contaminantes aportadas a la corriente; se destaca que durante 2015 se registraron mayores valores para el índice, debido a que los caudales registrados fueron bajos y ello afectó la capacidad de la corriente para asimilar los contaminantes, el conjunto de datos correspondiente al año 2015 estuvo influenciado por el fenómeno ENSO en su fase positiva (El Niño); en contraste, en el año 2014 se presentaron menores niveles para el ICA Global debido a que las campañas realizadas durante este año fueron de caudales medios y altos, lo que contribuyó a diluir los contaminantes vertidos a la corriente.

El ICA Global presentó un comportamiento creciente entre las estaciones San Miguel (E1) y Ancón Norte (E12), relacionado con las cargas contaminantes aportadas al río a través de vertimientos de aguas residuales, entre las que se destacan las descargas de la PTAR San Fernando y de los Interceptores Oriental y Occidental de EPM, además de las quebradas afluentes que constituyen un factor que afecta de manera representativa la calidad del río. En la estación Puente Gabino (E20) se observó una disminución en el ICA Global, lo cual puede relacionarse con procesos de dilución en la corriente, atribuidos a la descarga proveniente de la central hidroeléctrica La Tasajera y la confluencia entre el río Aburrá-Medellín y río Grande. Se destaca que en el intervalo de tiempo evaluado, la mejor calidad del agua se presentó en la estación San Miguel, mientras que en el tramo comprendido entre Aula Ambiental y Ancón Norte las condiciones de calidad fueron críticas.

Los sólidos suspendidos totales presentaron un comportamiento creciente a nivel espacial y temporal; en términos espaciales, se destaca que los sólidos suspendidos totales mostraron una tendencia creciente a lo largo de la corriente, vinculada con los vertimientos de agua residuales realizados sobre la corriente y sus afluentes, principalmente, a aportes provenientes de actividades mineras relacionadas con la extracción de material para la construcción. Las variaciones observadas entre años se pueden relacionar con las cargas contaminantes aportadas al río y sus afluentes, principalmente, La Hueso, La Picacha, El Hato y La García, como también, con los regímenes de caudales.

En la Figura 19 se muestran los resultados obtenidos para el ICA Global y para los sólidos suspendidos totales en diferentes regímenes de caudales. Los resultados obtenidos para el ICA Global fueron menores en época de caudales altos (3), lo cual se puede relacionar con una dilución de contaminantes, mientras que en caudales medios (2) y bajos (1) se presentaron valores superiores para el índice de calidad, debido a una disminución en la capacidad de la corriente para asimilar los contaminantes. En contraste, los sólidos suspendidos totales presentaron una mayor concentración en época de caudales altos, debido a la resuspensión de sedimentos, mientras que la sedimentación de los mismos fue favorecida en caudales medios o bajos, debido a una disminución de la velocidad de la corriente.

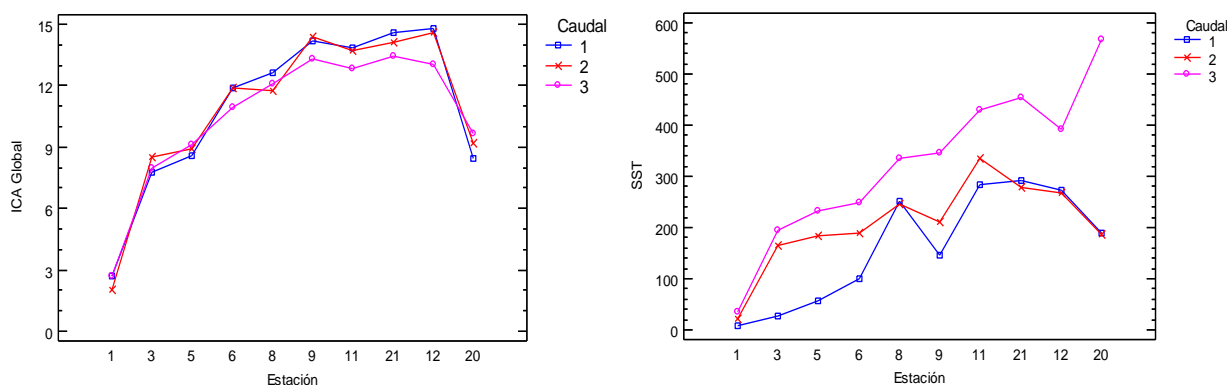


Figura 19. Variación ICA Global y SST río Aburrá-Medellín por caudales