

# RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA

## FASE V

CONVENIO 368 DE 2014



CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

INFORME EJECUTIVO



Medellín, Enero de 2016

# RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA

## FASE V

CONVENIO 368 DE 2014

CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

INFORME EJECUTIVO



EJECUTA:



UN PROYECTO DE:



Medellín, Enero de 2016



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -  
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá en Jurisdicción del Área Metropolitana - Fase V

Un proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Eugenio Prieto Soto, Director

María del Pilar Restrepo Mesa, Subdirectora Ambiental

Ejecutan

Universidad de Antioquia  
Mauricio Alviar Ramírez  
Rector

Universidad Nacional de Colombia  
Ignacio Mantilla Prada  
Rector

Universidad Pontificia Bolivariana  
Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda  
Rector

Universidad de Medellín  
Néstor Hincapié Vargas  
Rector

Equipo de Trabajo:

Lina Claudia Giraldo Buitrago y Rubén Alberto Agudelo García, Coordinación General; John Fredy Carmona Castaño, Ingeniero Sanitario Coordinador Operativo de la Red; Carolina Zapata Vanegas, Asistente Logístico; Alex Ricardo Estupiñan Castellanos, Ingeniero Hidráulica; Aarón Arias Araya, Ingeniero Hidrología; Elkin Hernán Cataño Rueda, Ingeniero de Modelación; Juan Manuel Osorio Zapata, Ernesto Andrés González Aguirre, Ingenieros Sanitarios de Apoyo; Andrés Felipe López Gómez, Ingeniero de Sistemas para Bases de Datos; Andrés Camilo Zapata Moreno, Ingeniero Analista de Datos; Nixon Arley Aristizábal Niño, Profesional en SIG; Carlos Alberto Sierra Ramírez, Asesor de Modelación, Mauricio Toro Botero, Asesor Hidráulica; Luis Fernando Carvajal Serna, Asesor en Hidrología; Gabriel Jaime Maya Vasco, Camilo César Castro Jiménez, Especialistas Calidad de Aguas; Néstor Jaime Aguirre Ramírez, Asesor Biológico; Yair José Salas Espitia; Alejandra Cifuentes Zapata, Elizabeth Flórez Córdoba, Mario Andrés Cano Echavarría, Andrés García Acosta; Julián Hernández



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -  
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Velásquez, Auxiliares de Ingeniería Componente Calidad; Teresita Betancur Vargas, Coordinadora Hidrogeóloga; Teresita Betancur Vargas, Profesional para Modelación Aguas Subterráneas; Paola Andrea Palacio Buitrago, Profesional en interpretación química del agua subterránea; Paola Andrea Palacio Buitrago, Coordinador del Componente Hidrogeológico PMAAS; Sara Correa Zuluaga, Julián Ruiz Toro, Ingenieros Sanitarios; Juan Pablo Serna L., Ingeniero Ambiental; Deisy Yurani Rivera Arias, Comunicadora PMAAS; Maribel Fernández Agudelo, Coordinador Componente Área Social; Miriam Benjumea Hernández, Ingeniero Experto en Gestión Ambiental con Experiencia en Planes de Manejo; Amanda Oliva Delgado González, Profesionales de Apoyo del Área Social; Carlos Guillermo Mora Aucú, Yaneth Maritza Moncada Velásquez, Sociólogos de Apoyo y Afines; Angélica Julieth Vélez Duque, Profesional de Apoyo del Área de Hidrogeología, Evaluación del Riesgo e Hidrología; Angélica María Gómez, Profesional Experto en SIG con Experiencia en Bases de Datos Espaciales e Hidrogeología; Diana María Múnera Vera, Ingeniero con Experiencia en Bases de Datos Espaciales e Hidrogeología; Manuel Antonio González Romero, Silvana Bolaños Chavarría, Adrián Escobar, Auxiliares Agua Subterránea; Daniel Zapata Mejía, Estudiante Bases de Datos PMAAS; Cristina Isabel Lemos Rojas, Juan Álvaro Ortíz Tamayo, Julián Esteban Londoño Londoño, María Cecilia Chaverra Bello, Auxiliares de Ingeniería PMAAS; Ana María Gallo Benítez, Comunicadora; Pilar Verónica Pérez Ospina, Ingeniera de apoyo Divulgación; Lina Claudia Giraldo Buitrago, Coordinadora General Estrategia de Participación; Diego Andrés Torres Olarte, Coordinador Componente Social Estrategia de Participación; Pamela Isabel Múnera López, Profesional Área Social Estrategia de Participación; Luz Daisy Gómez Restrepo, Facilitador Estrategia de Participación; Yanneth Bibiana Daza Vargas, Profesional Ambiental Estrategia de Participación; John Fernando Gómez Restrepo; Andrea Hernández Giraldo; María Leidy Ramírez Cuartas; Juan Fernando Martínez Contreras, Auxiliares de la Estrategia de Participación; Nora Elena Villegas Jiménez, Coordinadora Componente Red Hídrica; Sandra Liliana Agudelo Duque, Ingeniero con conocimiento en SIG Red Hídrica; Julián David Rojo Hernández, Ingeniero con especialización o maestría en Recursos Hídricos o Hidráulicos con conocimiento en SIG; Yesenia Hernández Jiménez, Carolina María Valencia Tobón; Alexander Castro Herrera, Estudiantes de Ingeniería Civil, Ambiental o Sanitaria con conocimiento en SIG; Sandra E. Flórez Hoyos, Asistente Administrativa.

Supervisión y/o Interventoría:

María Alejandra Echeverri Arango, Ingeniera Civil, Ms Gestión Ambiental (Coordinadora); Norberth Ayala Ocampo, ingeniero ambiental (Apoyo Administrativo); Catalina Castaño Castrillón, ingeniera Sanitaria (Apoyo Técnico); Luis Guillermo Angulo, Ingeniero Administrativo (Interventor Componente Financiero); José Javier Jaramillo, Ingeniero Civil (Interventor Componente Hidráulico); Luis Fernando Quintero, Ingeniero Geólogo (Interventor Componente Aguas Subterráneas); Leonardo García, ingeniero sanitario (Interventor Componente Calidad y Modelación), Diana Álvarez, Comunicadora, (Interventora Componente Sensibilización y Comunicación); José Alejandro Sepúlveda, Ingeniero Sanitario (Interventor Obras Estaciones Automáticas); Jorge Ceballos, Tecnólogo en Recursos Naturales (Auxiliar de Campo y de Apoyo). Margarita María Cardona Gallo; Profesional Universitario, Olga Amparo Velázquez Lozano; Profesional Universitario, Raúl Alexander Cardona Pareja; Profesional Contratista (Supervisión y Apoyo Programa de Gestión Ambiental).

04 Enero de 2016, Medellín



## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	9
2	ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS DE 2015 (RESUMEN POR ESTACIÓN) .....	9
2.1	ESTACIÓN SAN MIGUEL (E1) .....	9
2.2	ESTACIÓN ANCÓN SUR (E3).....	11
2.3	ESTACIÓN ANTES DE SAN FERNANDO (E5).....	13
2.4	ESTACIÓN DESPUÉS DE SAN FERNANDO (E6) .....	15
2.5	ESTACIÓN AULA AMBIENTAL (E8) .....	17
2.6	ESTACIÓN PUENTE ACEVEDO (E9) .....	19
2.7	ESTACIÓN PUENTE MACHADO (E11) .....	21
2.8	ESTACIÓN NIQUÍA (E21) .....	23
2.9	ESTACIÓN ANCÓN NORTE (E12).....	25
2.10	ESTACIÓN PUENTE GABINO (E20).....	26
3	RESUMEN PERFIL DE CALIDAD DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN PARA EL AÑO 2015 .....	29
3.1	ANÁLISIS EXPLORATORIO MULTIVARIADO (GRÁFICO DE ESTRELLA "SUNRAYPLOT") .	34
3.2	ANÁLISIS FACTORIAL ESTACIONES SOBRE EL RÍO .....	37
3.3	ANÁLISIS CLÚSTER ESTACIONES SOBRE EL RÍO.....	40
3.4	CONTRASTE DE RANGOS MÚLTIPLES PARA TODOS LOS ANÁLISIS ESTACIONES SOBRE EL RÍO .....	41
4	RESUMEN ESTADÍSTICO POR CONDICIONES CLIMÁTICAS Y NIVELES DE CAUDAL.....	42
5	CONCLUSIONES.....	45



## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Estimadores descriptivos de la estación San Miguel en el 2015.....	9
Tabla 2. Estimadores descriptivos de la estación Ancón Sur en el 2015.....	11
Tabla 3. Estimadores descriptivos de la estación Antes de San Fernando en el 2015.....	13
Tabla 4. Estimadores descriptivos de la estación Después de San Fernando en el 2015.....	15
Tabla 5. Estimadores descriptivos de la estación Aula Ambiental en el 2015 .....	17
Tabla 6. Estimadores descriptivos de la estación Puente Acevedo en el 2015 .....	19
Tabla 7. Estimadores descriptivos de la estación Puente Machado en el 2015 .....	21
Tabla 8. Estimadores descriptivos de la estación Niquía en el 2015.....	23
Tabla 9. Estimadores descriptivos de la estación Ancón Norte en el 2015.....	25
Tabla 10. Estimadores descriptivos de la estación Puente Gabino en el 2015.....	27
Tabla 11. Clasificación caudal en campañas de muestreo realizadas durante 2015.....	32
Tabla 12. Factor análisis para el río .....	37
Tabla 13. Comparación de rangos múltiples (LSD) para el análisis de todas las estaciones...	41
Tabla 14. Clasificación caudal fases IV y V.....	44



## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Variación de los sólidos en la estación San Miguel en el 2015.....	10
Figura 2. Variación de los nutrientes en la estación San Miguel en el 2015 .....	11
Figura 3. Variación de los sólidos en la estación Ancón Sur en el 2015.....	12
Figura 4. Variación de los nutrientes en la estación Ancón Sur en el 2015 .....	13
Figura 5. Variación de los sólidos en la estación Antes de San Fernando en el 2015.....	14
Figura 6. Variación de los nutrientes en la estación Antes de San Fernando en el 2015 .....	15
Figura 7. Variación de los sólidos en la estación Después de San Fernando en el 2015.....	16
Figura 8. Variación de los nutrientes en la estación Después de San Fernando en el 2015 ...	17
Figura 9. Variación de los sólidos en la estación Aula Ambiental en el 2015 .....	18
Figura 10. Variación de los nutrientes en la estación Aula Ambiental en el 2015.....	19
Figura 11. Variación de los sólidos en la estación Puente Acevedo en el 2015 .....	20
Figura 12. Variación de los nutrientes en la estación Puente Acevedo en el 2015.....	21
Figura 13. Variación de los sólidos en la estación Puente Machado en el 2015.....	22
Figura 14. Variación de los nutrientes en la estación Puente Machado en el 2015 .....	23
Figura 15. Variación de los sólidos en la estación Niquía en el 2015.....	24
Figura 16. Variación de los nutrientes en la estación Niquía en el 2015 .....	24
Figura 17. Variación de los sólidos en la estación Ancón Norte en el 2015.....	26
Figura 18. Variación de los nutrientes en la estación Ancón Norte en el 2015 .....	26
Figura 19. Variación de los sólidos en la estación Puente Gabino en el 2015.....	28
Figura 20. Variación de los nutrientes en la estación Puente Gabino en el 2015 .....	28



RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ -  
MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE V



Figura 21. Diagrama de cajas esquemáticas del BMWP y diversas variables por estación durante el año 2015..... 31

Figura 22. Diagrama de cajas esquemáticas del BMWP y diversas variables por campaña de monitoreo..... 33

Figura 23. Interpretación y descripción de variables en el gráfico de estrella, ..... 34

Figura 24. Gráfico de estrellas (sunray plot) para seis campañas ejecutadas en el año 2015 en diez estaciones de monitoreo, ..... 35

Figura 25. Variación de los intervalos para las medias del factor por campañas de monitoreo ..... 38

Figura 26. Variación de los intervalos para las medias del factor por estaciones de monitoreo ..... 38

Figura 27. Variación del factor score para cada estación durante todas las campañas de 2015 ..... 39

Figura 28. Variación del factor 1 en el perfil del río a lo largo de todas las campañas de 2015 ..... 39

Figura 29. Dendograma por estaciones de muestreo para el 2015..... 40

Figura 30. Variación del ICA Global en el perfil del río para el 2012, 2013, 2014 y 2015 ..... 43

Figura 31. Variación de los sólidos suspendidos Totales en el perfil del río para el 2012, 2013, 2014 y 2015..... 43

Figura 32. Variación del ICA global en el perfil del río en diferentes niveles de caudal ..... 44



## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento muestra un análisis estadístico de la calidad del agua realizado a partir del conjunto de datos recolectado en las campañas de monitoreo de tipo compuesto y objetivos de calidad realizadas durante el año 2015, el cual tiene la finalidad de analizar la variación en el comportamiento de las variables más relevantes a nivel espacial y temporal, como también, de la calidad del agua en términos generales a través de un análisis factorial. Adicional a lo anterior, se analizó el índice ICA-Global bajo diferentes escenarios de caudales (alto, medio y bajo) y en retrospectiva con los resultados obtenidos para el mismo en años previos con el objetivo de detectar cambios significativos en la calidad de la corriente.

## 2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS DE 2015 (RESUMEN POR ESTACIÓN)

Se presenta un resumen del conjunto de datos obtenido en cada estación de monitoreo para las variables más representativas, éste incluye medidas de tendencia central y estimadores de dispersión. Adicionalmente, se determinaron valores mínimos, máximos y rangos.

### 2.1 ESTACIÓN SAN MIGUEL (E1)

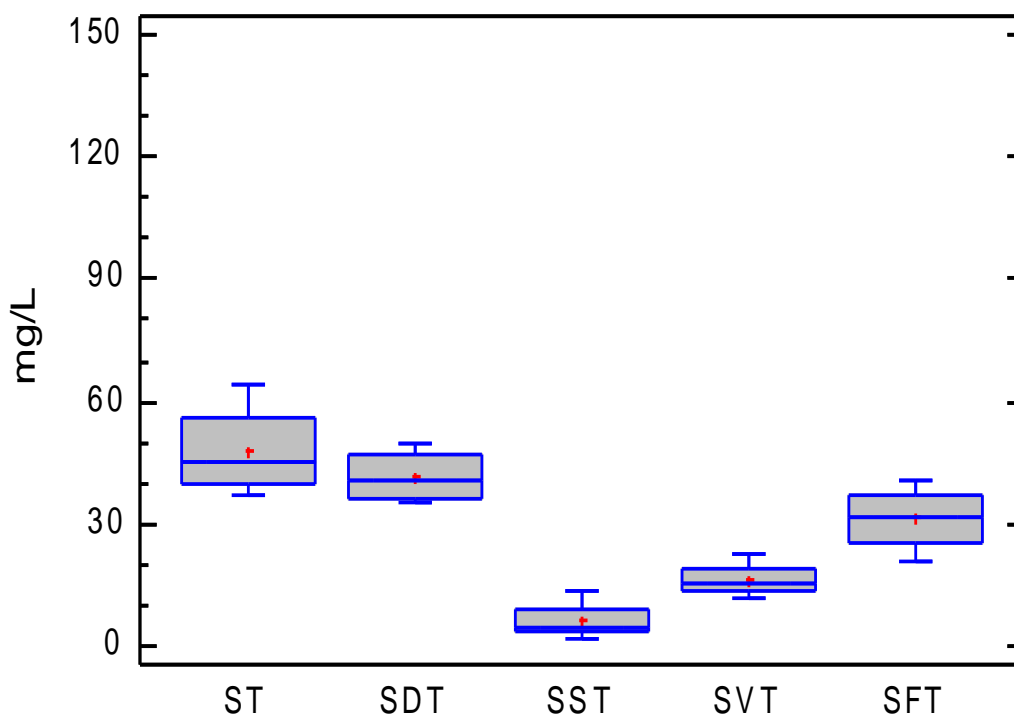
En la Tabla 1 se presentan estimadores descriptivos de la calidad del agua en la estación San Miguel (E1).

**Tabla 1. Estimadores descriptivos de la estación San Miguel en el 2015**

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	6,970	7,120	0,175	0,419	6,360	7,280	0,920
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,000	7,223	7,204	0,010	0,099	7,128	7,358	0,230
Conductividad eléctrica (µS/cm)	4,000	29,175	29,700	18,056	4,249	23,500	33,800	10,300
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	7,900	10,000	17,640	4,200	1,600	10,000	8,400
DQO (mg/L)	4,000	32,650	43,000	428,490	20,700	1,600	43,000	41,400
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	0,059	0,053	0,001	0,032	0,030	0,101	0,071
Fosfatos (mg P/L)	4,000	0,022	0,017	0,000	0,016	0,010	0,045	0,035
Fósforo Orgánico (mg P/L)	4,000	0,030	0,030	0,000	0,000	0,030	0,030	0,000
Nitratos (mg N/L)	4,000	0,042	0,032	0,001	0,037	0,009	0,094	0,085
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,031	0,003	0,003	0,056	0,002	0,114	0,113
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	2,475	3,000	1,103	1,050	0,900	3,000	2,100
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L)	4,000	3,665	3,330	0,889	0,943	3,000	5,000	2,000
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	6,500	5,000	27,000	5,196	2,000	14,000	12,000
Sólidos totales (mg/L)	4,000	48,000	45,500	138,000	11,747	37,000	64,000	27,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	16,500	15,500	21,667	4,655	12,000	23,000	11,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	41,500	40,500	47,000	6,856	35,000	50,000	15,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	31,500	32,000	69,667	8,347	21,000	41,000	20,000
BMWP	4,000	54,000	55,500	270,000	16,432	33,000	72,000	39,000

En la Figura 1 se muestran las cajas esquemáticas correspondientes al conjunto de datos registrado en la estación San Miguel para los sólidos totales (ST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos volátiles totales (SVT) y sólidos fijos totales (SFT). En ella se observa que las fracciones disuelta y fija predominaron sobre la suspendida y la volátil respectivamente en E1, así mismo, se evidencia que los registros correspondientes a los SST y SVT se caracterizaron por registrar una menor variabilidad a la reportada para los SDT y SFT.

El comportamiento descrito por las variables mencionadas anteriormente se relaciona con la influencia de factores antrópicos y naturales sobre la corriente de agua, entre los que se destacan aportes de aguas residuales de tipo doméstico, desarrollo de actividades mineras orientadas a la extracción de material aluvial, procesos de escorrentía y de descomposición; sin embargo, debe mencionarse que los resultados obtenidos se vinculan con la baja intervención antrópica en la área, dado que el punto de monitoreo se localiza en una zona rural y la densidad poblacional es baja.



**Figura 1. Variación de los sólidos en la estación San Miguel en el 2015**

En la Figura 2 se ilustran los resultados obtenidos para los nutrientes en E1, donde se observa que las concentraciones reportadas para los compuestos de nitrógeno se caracterizaron por ser superiores al conjunto de datos registrado para el fósforo, así mismo, éstas evidenciaron una mayor variabilidad. Los niveles reportados para los nutrientes en la estación San Miguel se vinculan con aportes de aguas residuales domésticas, como también, con entradas de materia orgánica e inorgánica desde el ecosistema terrestre.

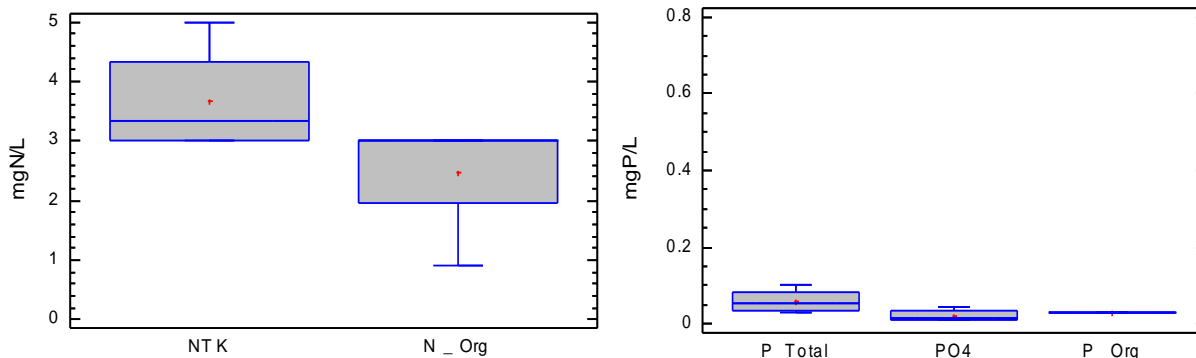


Figura 2. Variación de los nutrientes en la estación San Miguel en el 2015

## 2.2 ESTACIÓN ANCÓN SUR (E3)

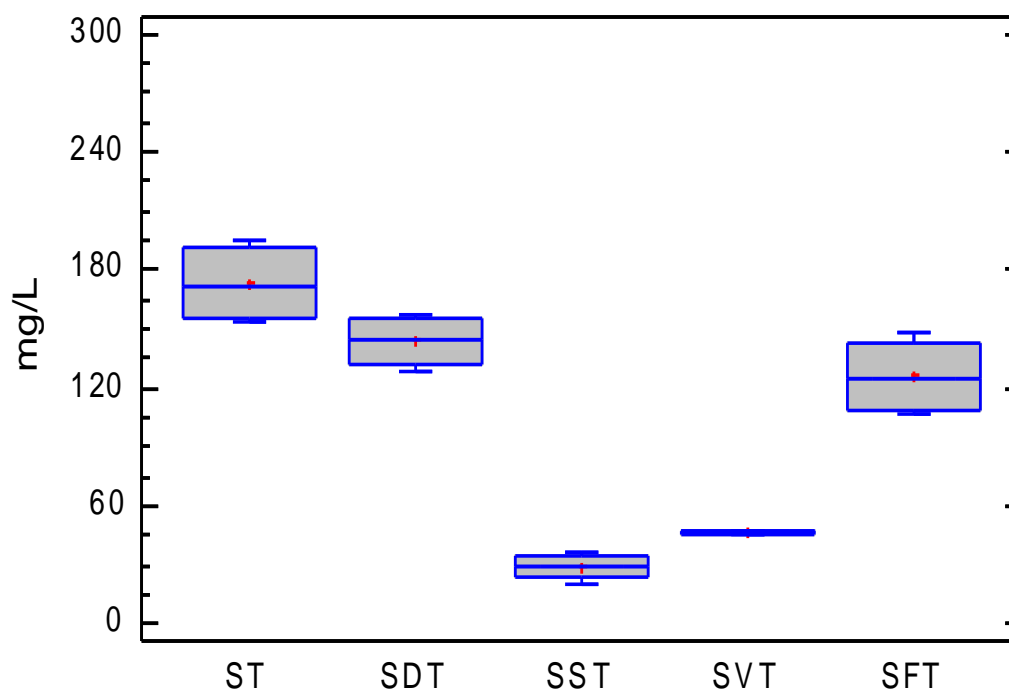
En la Tabla 2 se muestran estimadores descriptivos de la calidad del agua correspondientes a la estación Ancón Sur (E3).

Tabla 2. Estimadores descriptivos de la estación Ancón Sur en el 2015

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	7,780	7,770	0,009	0,096	7,680	7,900	0,220
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,000	7,287	7,240	0,179	0,424	6,820	7,850	1,030
Conductividad eléctrica (µS/cm)	4,000	193,900	199,600	754,387	27,466	159,400	217,000	57,600
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	14,530	14,275	26,151	5,114	10,000	19,570	9,570
DQO (mg/L)	4,000	52,650	47,750	173,883	13,186	43,000	72,100	29,100
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	0,809	0,682	0,078	0,280	0,647	1,227	0,580
Fosfatos (mg P/L)	4,000	0,210	0,191	0,004	0,063	0,159	0,299	0,140
Fósforo Orgánico (mg P/L)	4,000	0,136	0,131	0,008	0,091	0,030	0,252	0,222
Nitratos (mg N/L)	4,000	0,241	0,1485	0,058	0,242	0,069	0,598	0,529
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,094	0,0423	0,013	0,114	0,0288	0,265	0,236
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	4,112	3,550	10,124	3,182	0,900	8,450	7,550
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L)	4,000	6,417	5,575	13,265	3,642	3,000	11,520	8,520
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	29,250	29,500	50,917	7,135	21,000	37,000	16,000
Sólidos totales (mg/L)	4,000	173,000	171,500	443,333	21,055	154,000	195,000	41,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	46,750	47,000	1,583	1,258	45,000	48,000	3,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	143,750	144,500	210,917	14,523	128,000	158,000	30,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	126,250	125,000	412,917	20,320	107,000	148,000	41,000
BMWP	4,000	8,250	8,000	0,250	0,500	8,000	9,000	1,000

En la Figura 3 se muestra el conjunto de datos obtenido para los sólidos en la estación Ancón Sur, donde se observa que éstos presentaron un patrón similar en su comportamiento respecto a E1, puesto que la concentración de sólidos disueltos y fijos se caracterizó por ser superior a los niveles reportados para los sólidos suspendidos y volátiles respectivamente, así mismo, este primer conjunto de sólidos se caracterizó por presentar una mayor variabilidad que el segundo grupo.

Los resultados presentados para los sólidos se vinculan con aportes de aguas residuales realizadas sobre el río y sus quebradas afluentes provenientes del municipio de Caldas y de La Estrella, entre las que se destacan La Miel, La Valeria, La Grande, entre otras.



**Figura 3. Variación de los sólidos en la estación Ancón Sur en el 2015**

El conjunto de datos obtenido para los nutrientes se muestra en la Figura 4, donde se observa que las concentraciones de nitrógeno fueron superiores a las de fósforo, así mismo, se evidencia que los registros correspondientes a los compuestos de nitrógeno presentaron una mayor dispersión respecto a los niveles de fósforo.

El comportamiento de ambos nutrientes se vincula con el vertimiento de aguas residuales sobre el río y las quebradas afluentes, como también, con la composición de las mismas.

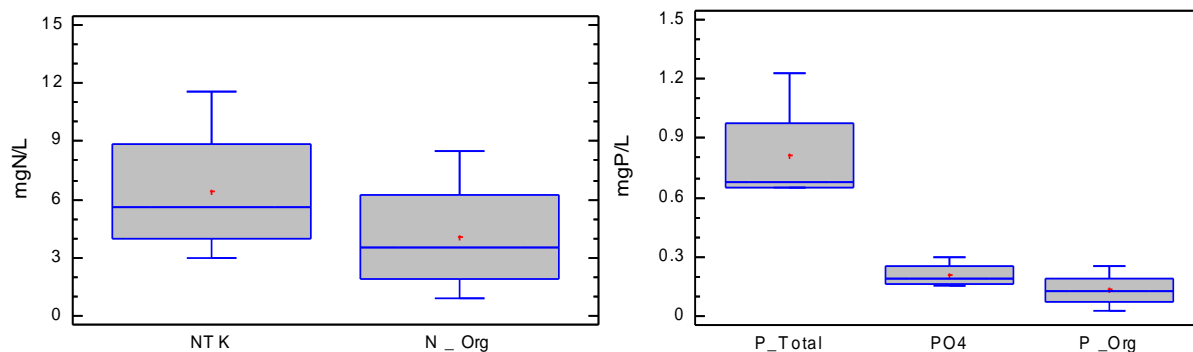


Figura 4. Variación de los nutrientes en la estación Ancón Sur en el 2015

### 2.3 ESTACIÓN ANTES DE SAN FERNANDO (E5)

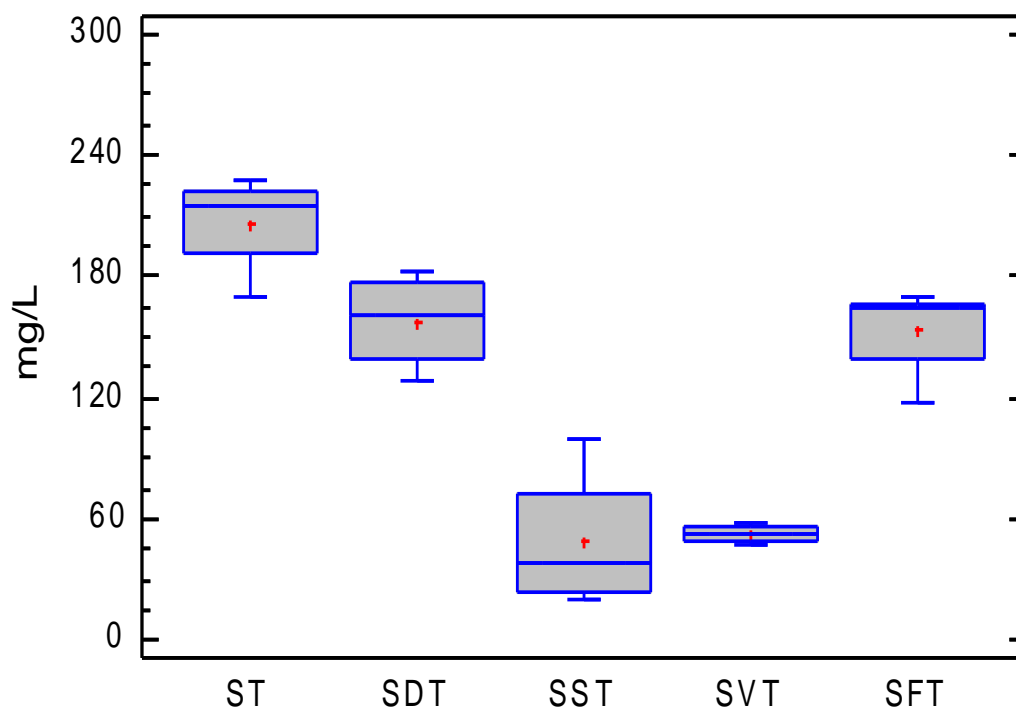
Los resultados obtenidos para los estimadores descriptivos de la calidad del agua en la estación Antes de San Fernando (E5) se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Estimadores descriptivos de la estación Antes de San Fernando en el 2015

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	7,900	7,960	0,024	0,156	7,680	8,01	0,330
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,000	6,355	6,385	0,077	0,278	6,030	6,62	0,590
Conductividad eléctrica (µS/cm)	4,000	239,075	249,500	1512,960	38,896	187,300	270,0	82,700
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	17,507	17,795	49,851	7,061	10,180	24,26	14,080
DQO (mg/L)	4,000	51,375	47,550	93,036	9,645	44,9	65,5	20,600
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	0,845	0,842	0,0485	0,220	0,596	1,101	0,505
Fosfatos(mg P/L)	4,000	0,142	0,158	0,002	0,046	0,076	0,175	0,099
Fósforo Orgánico (mg p/L)	4,000	0,106	0,105	0,0005	0,022	0,079	0,134	0,055
Nitratos (mg N/L)	4,000	0,462	0,217	0,262	0,512	0,186	1,23	1,044
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,179	0,147	0,019	0,136	0,066	0,356	0,289
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	2,490	3,000	1,124	1,060	0,900	3,060	2,160
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L)	4,000	4,540	4,505	1,819	1,347	3,000	6,150	3,150
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	48,750	37,500	1283,580	35,827	20,0	100,000	80,000
Sólidos totales (mg/L)	4,000	206,500	214,000	641,667	25,331	170,0	228,000	58,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	53,000	52,500	20,667	4,546	48,0	59,000	11,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	157,750	160,500	569,583	23,866	128,0	182,000	54,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	153,500	164,000	598,333	24,461	117,0	169,000	52,000
BMWP	4,000	6,750	7,000	2,250	1,500	5,00	8,000	3,000

El conjunto de datos obtenido para los sólidos en la estación Antes de San Fernando se muestra en la Figura 5, donde se observa que los sólidos suspendidos se caracterizaron por presentar una mayor variabilidad en relación a los demás tipos de sólidos evaluados, mientras que los sólidos volátiles evidenciaron una menor dispersión. Al igual que se observó en San Miguel y Ancón Sur, en la estación Antes de San Fernando también se registró una predominancia de la fracción disuelta sobre la suspendida y de la fija sobre la volátil.

Lo anterior, se relaciona con la descarga de aguas residuales sobre el río, la composición de las mismas y la afluencia de quebradas receptoras de residuos líquidos.



**Figura 5. Variación de los sólidos en la estación Antes de San Fernando en el 2015**

Los resultados reportados para los nutrientes en la estación Antes de San Fernando se muestran en la Figura 6, donde se observa que los datos registrados para los compuestos de nitrógeno presentaron una baja variabilidad en este punto de estudio, al igual que los compuestos de fósforo.

Ello se vincula principalmente a los aportes de aguas residuales realizados en el tramo comprendido entre E3 y E5, como también, a la afluencia de quebradas como La Doctora, La Mina, Doña María, ya que sobre éstas se realizan vertimientos.

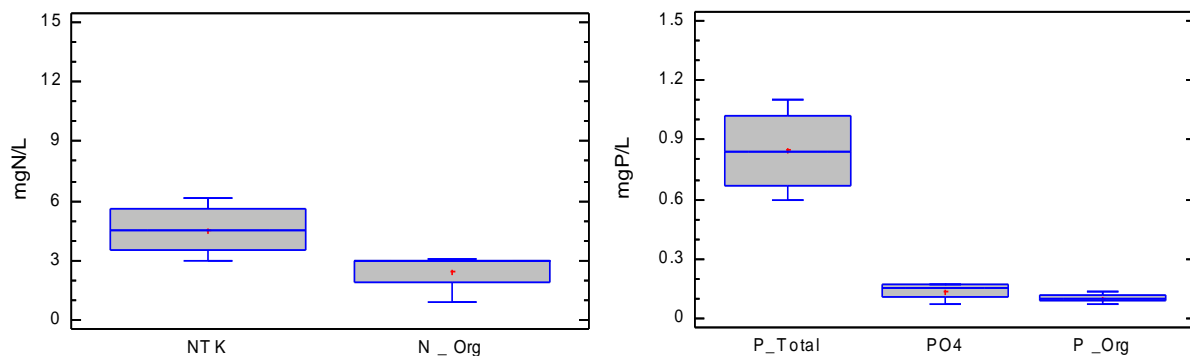


Figura 6. Variación de los nutrientes en la estación Antes de San Fernando en el 2015

## 2.4 ESTACIÓN DESPUÉS DE SAN FERNANDO (E6)

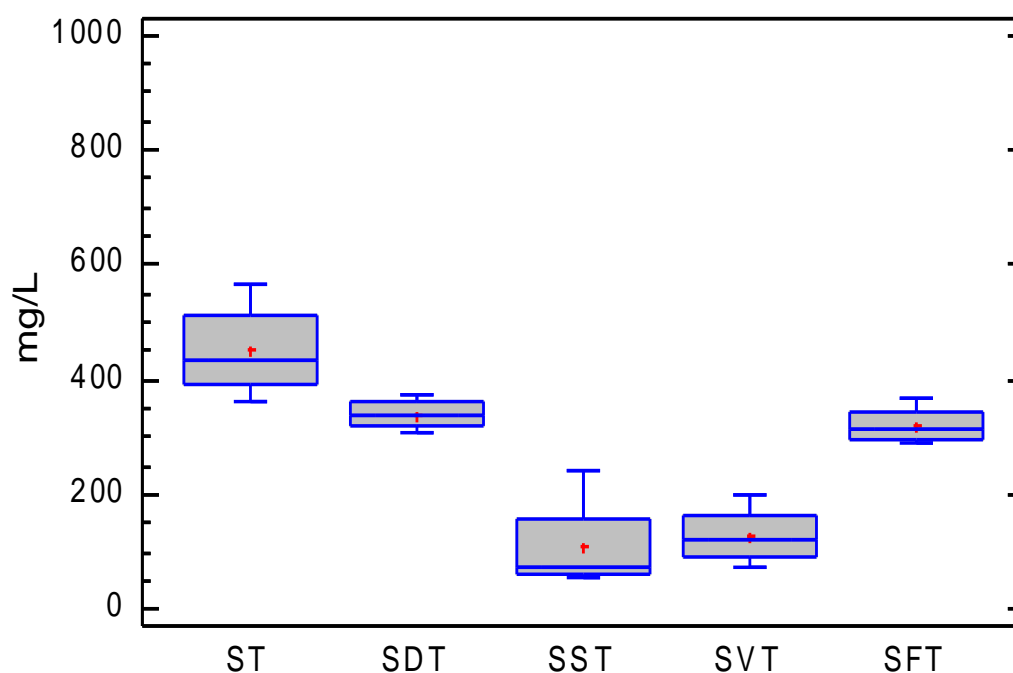
En la Tabla 4 se muestran los estimadores descriptivos de la calidad del agua en la estación Después de San Fernando (E6).

Tabla 4. Estimadores descriptivos de la estación Después de San Fernando en el 2015

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	7,750	7,770	0,046	0,216	7,47	7,990	0,520
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,000	3,820	4,030	0,890	0,943	2,54	4,680	2,140
Conductividad eléctrica (µS/cm)	4,000	578,250	569,000	1134,920	33,688	549,0	626,000	77,000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	77,295	55,445	3709,950	60,909	31,29	167,000	135,710
DQO (mg/L)	4,000	186,350	138,650	10688,700	103,386	127,1	341,000	213,900
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	1,8735	1,891	0,048	0,220	1,597	2,115	0,518
Fosfatos (mg P/L)	4,000	0,271	0,268	0,001	0,032	0,235	0,313	0,078
Fósforo Orgánico (mg P/L)	4,000	0,180	0,138	0,028	0,167	0,030	0,414	0,384
Nitratos (mg N/L)	4,000	0,396	0,265	0,190	0,436	0,027	1,025	0,998
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,031	0,023	0,001	0,038	0,003	0,075	0,0726
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	11,687	11,445	4,057	2,014	9,640	14,217	4,577
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L)	4,000	23,717	23,600	0,140	0,374	23,408	24,260	0,852
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	110,250	73,500	7594,920	87,149	54,000	240,000	186,000
Sólidos totales (mg/L)	4,000	450,250	434,500	7631,580	87,359	363,000	569,000	206,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	129,250	122,500	2744,250	52,386	73,000	199,000	126,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	340,000	339,000	750,667	27,398	309,000	373,000	64,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	321,000	312,000	1255,330	35,431	290,000	370,000	80,000
BMWP	4,000	7,000	7,000	3,333	1,82574186	5,000	9,000	4,000

En la Figura 7 se muestran los resultados obtenidos para los sólidos totales (ST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos volátiles totales (SVT) y sólidos fijos totales (SFT). La mayor variabilidad se observó en los sólidos suspendidos totales, sin embargo, el conjunto de datos reportado para los sólidos volátiles totales se caracterizó por evidenciar una dispersión similar, entretanto, los registros observados para los sólidos disueltos totales presentaron la menor dispersión.

Al igual que en las estaciones restantes, se observó la predominancia de las fracciones disuelta y fija sobre las restantes, lo cual se relaciona con la composición de las aguas residuales vertidas a la corriente.

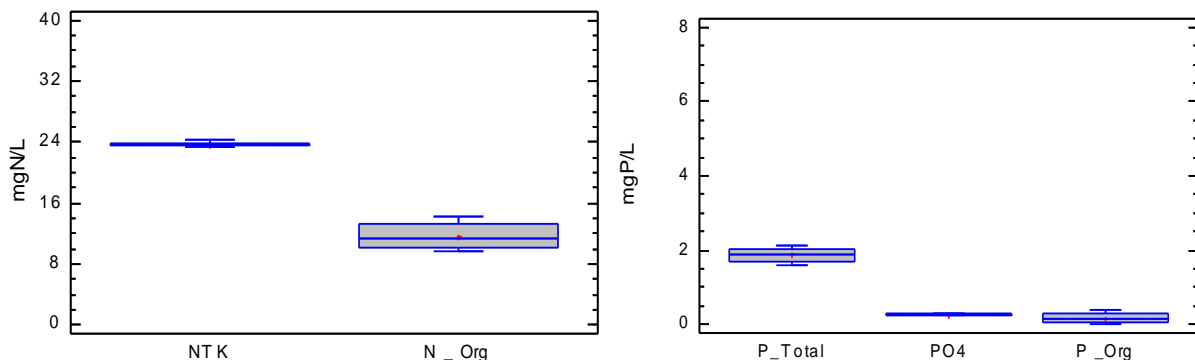


**Figura 7. Variación de los sólidos en la estación Después de San Fernando en el 2015**

En cuanto al comportamiento reportado para los nutrientes (Figura 8), se observa que los compuestos de nitrógeno se caracterizaron por presentar una baja variabilidad en este punto, mientras que, los compuestos de fósforo presentaron una mayor dispersión en los datos.

Lo anterior, se vincula a los aportes realizados a la corriente de agua en el tramo comprendido entre E5 y E6, entre los que se destacan la quebrada La Ayurá y el efluente de la PTAR San Fernando, como también, con la carga de fósforo y nitrógeno transportada por el río.





**Figura 8. Variación de los nutrientes en la estación Después de San Fernando en el 2015**

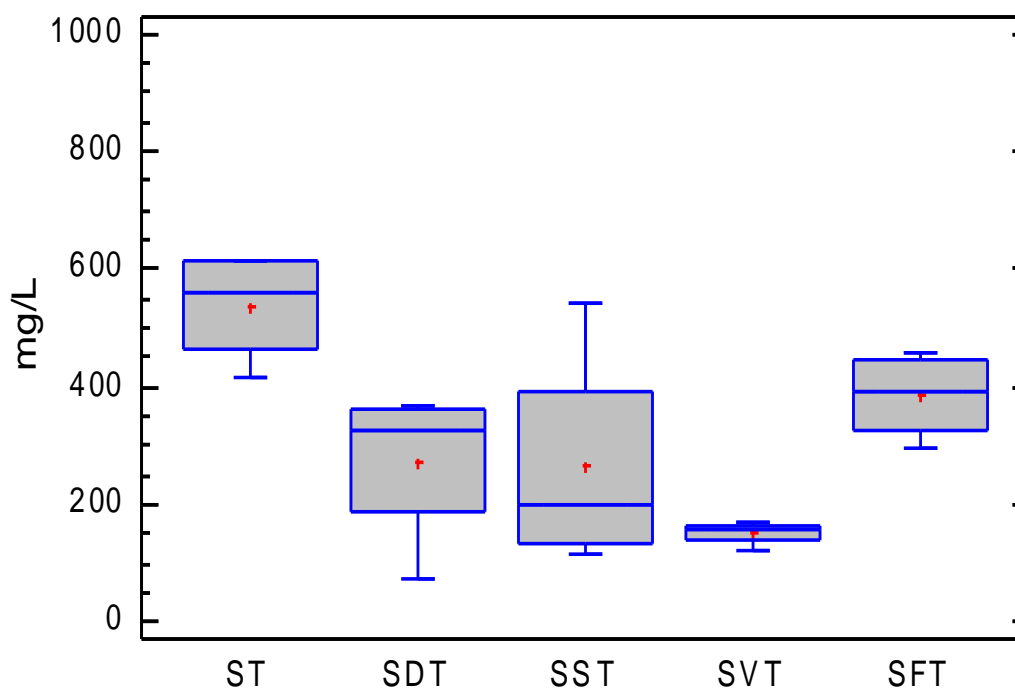
## 2.5 ESTACIÓN AULA AMBIENTAL (E8)

En la Tabla 5 se muestran los estimadores descriptivos de la calidad del agua en la estación Aula Ambiental (E8).

**Tabla 5. Estimadores descriptivos de la estación Aula Ambiental en el 2015**

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	7,640	7,635	0,012	0,111	7,520	7,760	0,240
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,000	3,830	3,77	0,423	0,650	3,180	4,610	1,430
Conductividad eléctrica ( $\mu$ S/cm)	4,000	511,250	495,500	8572,920	92,590	426,000	628,000	202,000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	91,100	75,140	1775,580	42,138	61,130	152,990	91,860
DQO (mg/L)	4,000	319,225	330,000	1285,470	35,853	268,500	348,400	79,900
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	3,232	2,322	4,461	2,112	1,912	6,371	4,459
Fosfatos(mg P/L)	4,000	0,565	0,472	0,080	0,283	0,350	0,966	0,616
Fósforo Orgánico (mg P/L)	4,000	1,547	1,547	1,547	1,547	1,547	1,547	1,547
Nitratos (mg N/L)	4,000	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	6,388	6,388	6,388	6,388	6,388	6,388	6,388
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L)	4,000	18,717	18,717	18,717	18,717	18,717	18,717	18,717
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	264,000	264,000	264,000	264,000	264,000	264,000	264,000
Sólidos totales (mg/L)	4,000	538,500	538,500	538,500	538,500	538,500	538,500	538,500
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	151,500	151,500	151,500	151,500	151,500	151,500	151,500
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	274,500	387,000	274,500	387,000	274,500	387,000	274,500
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	328,000	395,000	328,000	395,000	328,000	395,000	328,000
BMWP	4,000	7,000	6,500	4,666	2,160	5,000	10,000	5,000

El conjunto de datos registrado para los sólidos en la estación Aula Ambiental se muestra en la Figura 9, donde se observa que predominaron las fracciones suspendida y fija a la altura de este punto, contrario a lo observado en las estaciones ubicadas aguas arriba. Lo anterior, se puede relacionar principalmente con los aportes de las quebradas La Hueso y La Picacha, ya que sobre estas corrientes se realizan vertimientos industriales provenientes de actividades relacionadas con la extracción de áridos y donde la variabilidad observada para estos parámetros se puede vincular a la operación de las canteras y la demanda de este material. Adicionalmente, se observó que los sólidos disueltos evidenciaron un comportamiento variable, contrario a lo reportado para los sólidos volátiles totales. De manera general, los resultados obtenidos para los sólidos a la altura de E8 se relacionan con los aportes de quebradas sobre las cuales se realizan vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, como Altavista, Santa Elena y La Guaná.



**Figura 9. Variación de los sólidos en la estación Aula Ambiental en el 2015**

El comportamiento observado para los compuestos de nitrógeno y fósforo en la estación Aula Ambiental fue variable (Figura 10), vinculado a la composición de los aportes de aguas residuales, realizados sobre las quebradas afluentes, en el tramo comprendido entre E6 y E8, como también, sobre el río.

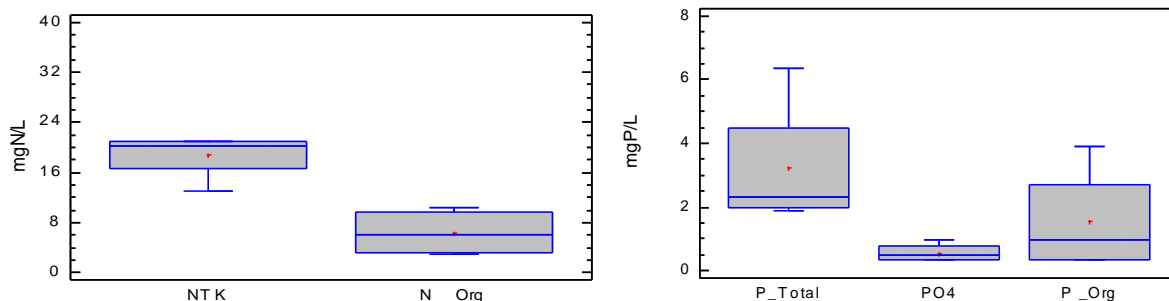


Figura 10. Variación de los nutrientes en la estación Aula Ambiental en el 2015

## 2.6 ESTACIÓN PUENTE ACEVEDO (E9)

Los resultados obtenidos para los estimadores descriptivos de la calidad del agua en la estación Puente Acevedo se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Estimadores descriptivos de la estación Puente Acevedo en el 2015

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	7,440	7,445	0,007	0,083	7,350	7,520	0,170
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,000	1,090	1,105	0,106	0,325	0,740	1,410	0,670
Conductividad eléctrica (µS/cm)	4,000	621,000	639,000	1907,330	43,673	556,000	650,000	94,000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	141,565	114,320	8318,780	91,207	72,600	265,020	192,420
DQO (mg/L)	4,000	407,050	319,050	62732,000	250,464	215,700	774,400	558,700
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	3,440	3,445	0,585	0,765	2,560	4,309	1,749
Fosfatos (mg P/L)	4,000	0,675	0,603	0,063	0,251	0,466	1,028	0,562
Fósforo Orgánico (mg P/L)	4,000	1,022	1,024	0,015	0,120	0,873	1,168	0,295
Nitratos (mg N/L)	4,000	0,723	0,528	0,564	0,751	0,057	1,780	1,723
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,015	0,007	0,0004	0,019	0,0016	0,044	0,042
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	13,268	12,325	15,543	3,942	9,710	18,710	9,000
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L)	4,000	27,910	26,880	42,684	6,533	21,700	36,180	14,480
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	140,375	139,500	2846,900	53,356	92,500	190,000	97,500
Sólidos totales (mg/L)	4,000	510,000	508,500	4264,670	65,304	453,000	570,000	117,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	200,000	192,500	3555,330	59,627	147,000	268,000	121,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	369,625	367,250	179,563	13,400	357,000	387,000	30,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	310,000	304,000	200,667	14,166	301,000	331,000	30,000
BMWP	4,000	4,000	3,500	4,667	2,160	2,000	7,000	5,000

En la Figura 11 se muestra el conjunto de datos obtenidos para los sólidos en la estación Puente Acevedo, donde se observa que los sólidos disueltos y fijos se caracterizaron por registrar las mayores concentraciones y una menor variabilidad respecto a las fracciones restantes.

El comportamiento descrito anteriormente para los sólidos se vincula con los aportes de aguas residuales realizados sobre la corriente en el tramo E8-E9, entre los que se destacan los interceptores centrales de EPM, y quebradas afluentes como El Molino, La Bermejala, La Rosa, entre otras, ya que estos cuerpos de agua son receptores de vertimientos.

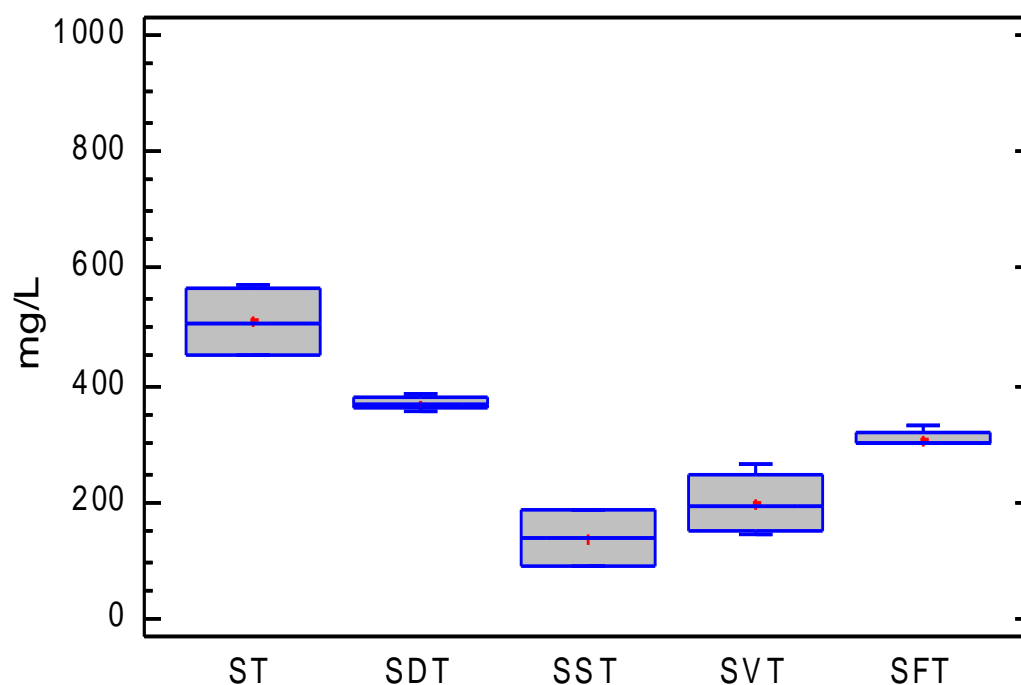
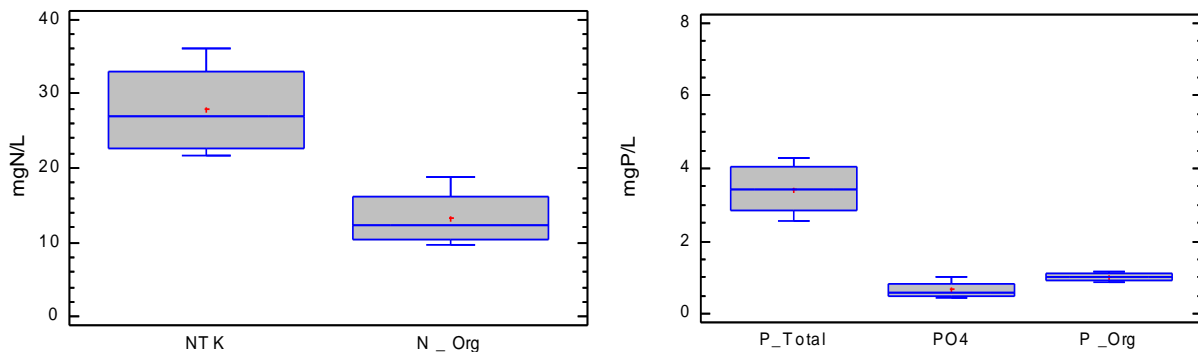


Figura 11. Variación de los sólidos en la estación Puente Acevedo en el 2015

Por otro lado, las concentraciones registradas para los nutrientes se caracterizaron por presentar un comportamiento variable, lo cual puede vincularse a la composición de las aguas residuales vertidas sobre la corriente a través de los interceptores oriental y occidental y las quebradas afluentes localizadas en el tramo E8-E9 (Figura 12).



**Figura 12. Variación de los nutrientes en la estación Puente Acevedo en el 2015**

## 2.7 ESTACIÓN PUENTE MACHADO (E11)

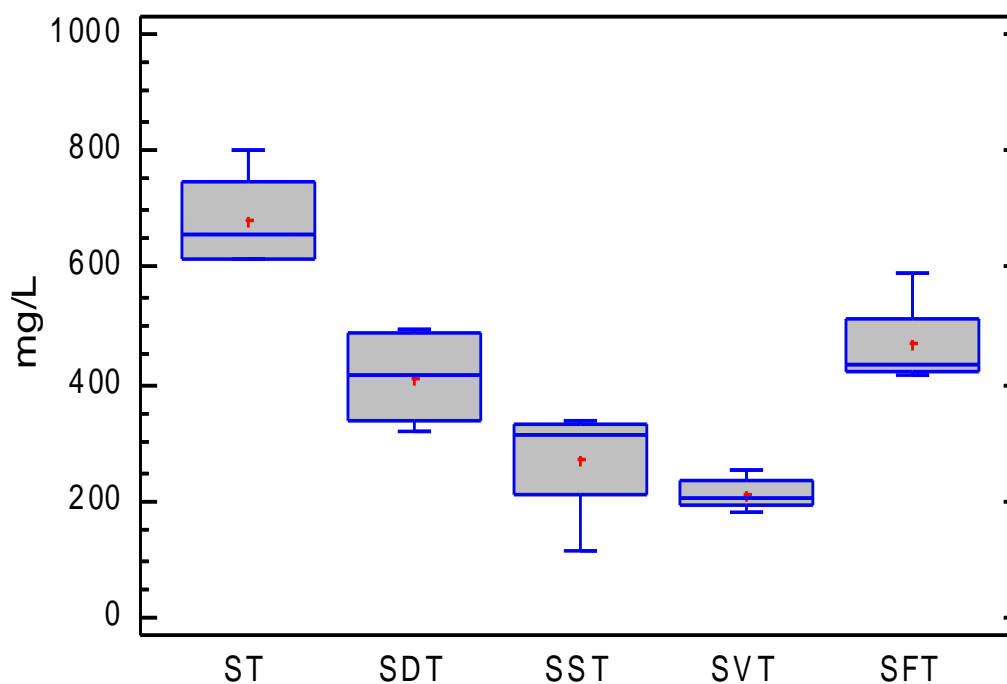
Los estimadores descriptivos de la calidad del agua obtenidos para la estación Puente Machado se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7. Estimadores descriptivos de la estación Puente Machado en el 2015**

VARIABLE	Nº DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	7,576	7,540	0,016	0,128	7,480	7,750	0,270
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,000	1,500	1,385	0,089	0,299	1,290	1,940	0,650
Conductividad eléctrica (µS/cm)	4,000	587,500	609,000	5963,670	77,225	480,000	652,000	172,000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	136,658	125,475	7051,420	83,978	57,680	238,000	180,320
DQO (mg/L)	4,000	397,000	361,850	37909,100	194,702	199,80	664,500	464,700
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	3,938	4,148	0,797	0,898	2,681	4,746	2,065
Fosfatos (mg P/L)	4,000	0,629	0,535	0,079	0,282	0,421	1,028	0,607
Fósforo Orgánico (mg P/L)	4,000	1,393	1,401	0,018	0,134	1,221	1,548	0,327
Nitratos(mg N/L)	4,000	0,495	0,350	0,292	0,540	0,051	1,230	1,179
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,014	0,005	0,00045	0,021	0,0015	0,046	0,0445
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	11,683	11,950	1,228	1,108	10,182	12,65	2,468
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L)	4,000	26,002	25,394	9,969	3,157	23,120	30,100	6,980
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	270,250	312,000	10413,600	102,047	119,000	338,000	219,000
Sólidos totales (mg/L)	4,000	682,500	656,500	7645,670	87,439	616,000	801,000	185,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	213,500	206,500	925,667	30,425	185,000	256,000	71,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	412,250	417,500	7796,920	88,300	317,000	497,000	180,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	469,000	436,000	6508,670	80,676	415,000	589,000	174,000
BMWP	4,000	3,250	3,000	4,917	2,217	1,000	6,000	5,000

En la Figura 13 se muestran los resultados obtenidos para los sólidos en la estación Puente Machado, donde se observa que la mayor variabilidad se presentó en los sólidos suspendidos totales, lo cual puede vincularse al aporte de sólidos suspendidos al río proveniente del desarrollo de actividades industriales de tipo minero en las subcuencas de las quebradas El Hato y La García, cuyas aguas residuales son vertidas en estas corrientes, de manera que la variabilidad observada para este parámetro se asocia al desarrollo de este tipo de actividad y a la operación de las canteras de acuerdo a la demanda.

Por otra parte, los sólidos fijos y disueltos se caracterizaron por presentar las mayores concentraciones en este punto, mientras que los datos registrados para los sólidos volátiles totales evidenciaron una menor dispersión. Lo anterior, con los aportes realizados sobre las quebradas afluentes, como también, aquellos efectuados directamente sobre la corriente principal.



**Figura 13. Variación de los sólidos en la estación Puente Machado en el 2015**

Los resultados obtenidos para los nutrientes se caracterizaron por presentar un comportamiento variable en la estación Puente Machado, asociado principalmente a la dispersión registrada en las fracciones inorgánicas de nitrógeno y fósforo. Lo anterior, se vincula con los aportes de aguas residuales realizados al río, directa e indirectamente, como también, con la composición de éstas (Figura 14).

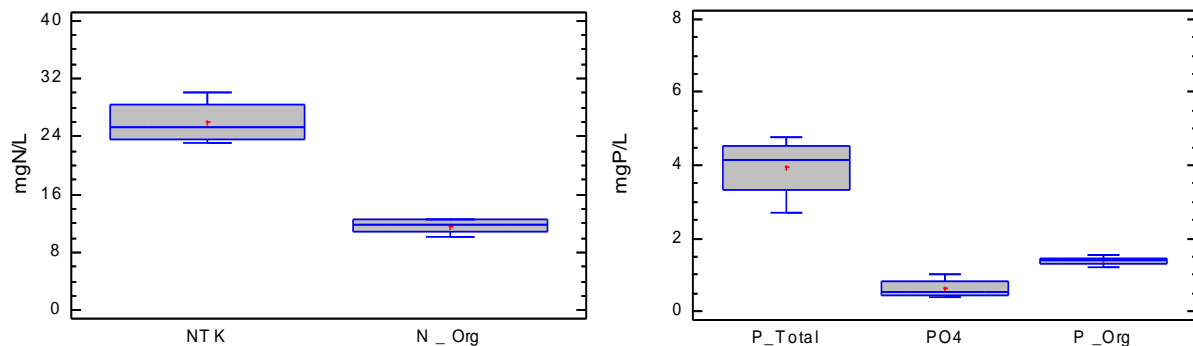


Figura 14. Variación de los nutrientes en la estación Puente Machado en el 2015

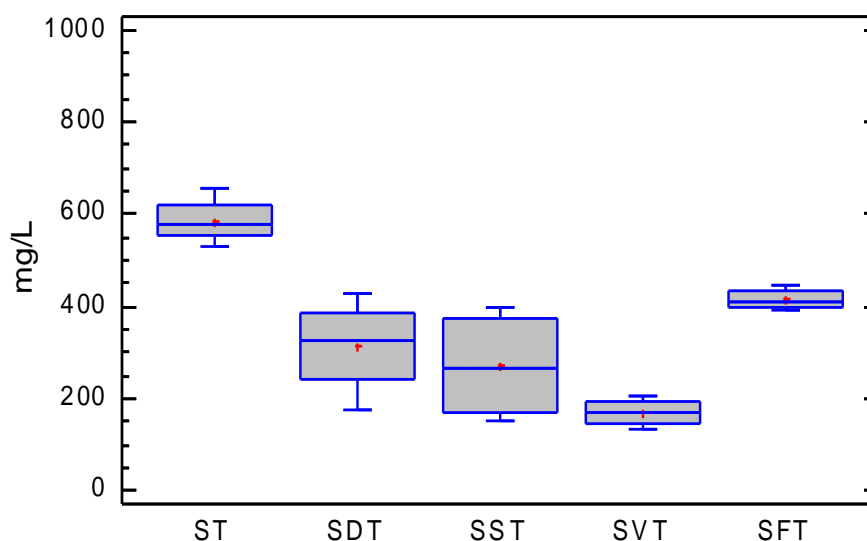
## 2.8 ESTACIÓN NIQUÍA (E21)

En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos para los estimadores descriptivos de la calidad del agua en la estación Niquía (E21).

Tabla 8. Estimadores descriptivos de la estación Niquía en el 2015

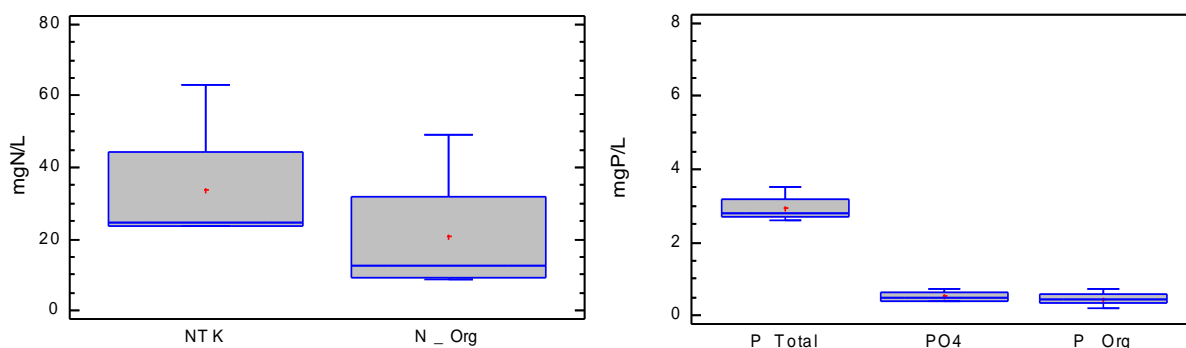
VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	7,517	7,485	0,011	0,106	7,430	7,670	0,240
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,000	0,397	0,400	0,006	0,078	0,300	0,490	0,190
Conductividad eléctrica (µS/cm)	4,000	598,500	630,500	5627,000	75,013	487,000	646,000	159,000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	99,335	93,255	2724,800	52,199	45,830	165,000	119,170
DQO (mg/L)	4,000	248,175	251,800	6479,120	80,493	146,100	343,000	196,900
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	2,948	2,823	0,165	0,406	2,611	3,537	0,926
Fosfatos (mg P/L)	4,000	0,530	0,477	0,025	0,159	0,411	0,756	0,345
Fósforo Orgánico (mg P/L)	4,000	0,471	0,469	0,050	0,224	0,199	0,747	0,548
Nitratos (mg N/L)	4,000	0,533	0,345	0,386	0,622	0,047	1,395	1,348
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,014	0,004	0,0004	0,021	0,0017	0,045	0,043
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	20,757	12,549	365,012	19,105	8,780	49,15	40,370
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L)	4,000	33,951	24,772	370,913	19,259	23,450	62,810	39,360
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	272,250	269,000	14610,9	120,876	153,000	398,000	245,000
Sólidos totales (mg/L)	4,000	585,250	578,000	2676,92	51,739	530,000	655,000	125,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	170,250	169,500	905,583	30,093	136,000	206,000	70,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	313,000	323,500	10760,7	103,734	178,000	427,000	249,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	415,000	408,500	620,667	24,913	394,000	449,000	55,000
BMWP	4,000	1,670	1,830	1,554	1,247	0,000	3,000	3,000

En la Figura 15 se muestra el conjunto de datos obtenido para los sólidos en la estación Niquía, donde se observa que predominó la fracción inorgánica en este punto de la corriente y a su vez, fue la variable que presentó una menor dispersión, al igual que los sólidos volátiles totales; por el contrario, los sólidos disueltos y suspendidos presentaron una mayor variabilidad. Lo anterior, puede vincularse a la composición de las aguas residuales vertidas sobre la corriente y los aportes realizados aguas arriba de tipo doméstico e industrial.



**Figura 15. Variación de los sólidos en la estación Niquía en el 2015**

En cuanto a los nutrientes (Figura 16), se observó que el conjunto de datos reportados para los compuestos de nitrógeno se caracterizó por presentar un comportamiento variable, contrario a lo observado para el fósforo. Lo anterior, se asocia con los vertimientos realizados sobre la corriente aguas arriba del punto de monitoreo y la composición de los mismos.



**Figura 16. Variación de los nutrientes en la estación Niquía en el 2015**



## 2.9 ESTACIÓN ANCÓN NORTE (E12)

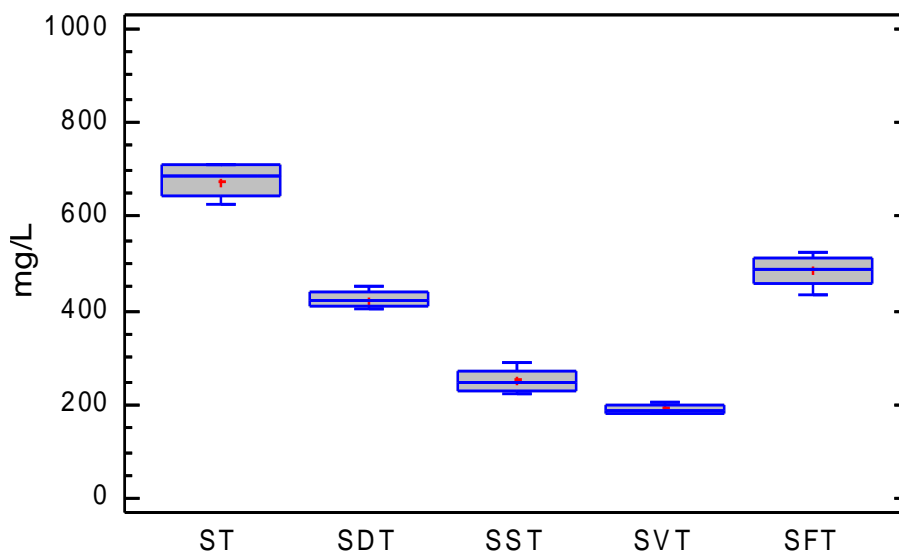
En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos para los estimadores descriptivos de la calidad del agua en la estación Ancón Norte (E12).

**Tabla 9. Estimadores descriptivos de la estación Ancón Norte en el 2015**

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	7,520	7,565	0,017	0,132	7,330	7,620	0,290
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,000	0,255	0,220	0,034	0,1843	0,070	0,510	0,440
Conductividad eléctrica (µS/cm)	4,000	599,500	610,500	3389,670	58,00	522,000	655,000	133,000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	150,693	112,560	15102,600	122,893	57,290	320,360	263,070
DQO (mg/L)	4,000	345,000	318,600	39085,100	197,700	138,200	604,600	466,400
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	3,156	3,106	0,517	0,719	2,327	4,083	1,756
Fosfatos(mg P/L)	4,000	0,578	0,509	0,039	0,199	0,435	0,859	0,424
Fósforo Orgánico (mg P/L)	4,000	0,642	0,506	0,164	0,405	0,340	1,215	0,875
Nitratos(mg N/L)	4,000	0,512	0,451	0,211	0,459	0,043	1,105	1,062
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,014	0,005	0,0004	0,021	0,0015	0,046	0,0445
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	9,796	9,751	17,177	4,144	5,820	13,860	8,040
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L)	4,000	24,539	23,610	6,127	2,475	22,736	28,200	5,464
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	253,000	250,000	806,667	28,402	222,000	290,000	68,000
Sólidos totales (mg/L)	4,000	677,000	684,500	1736,67	41,673	626,000	713,000	87,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	191,250	187,000	130,917	11,442	183,000	208,000	25,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	424,000	419,500	435,333	20,865	404,000	453,000	49,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	485,750	491,000	1428,920	37,801	437,000	524,000	87,000
BMWP	4,000	4,330	3,170	16,222	4,028	1,000	10,000	9,000

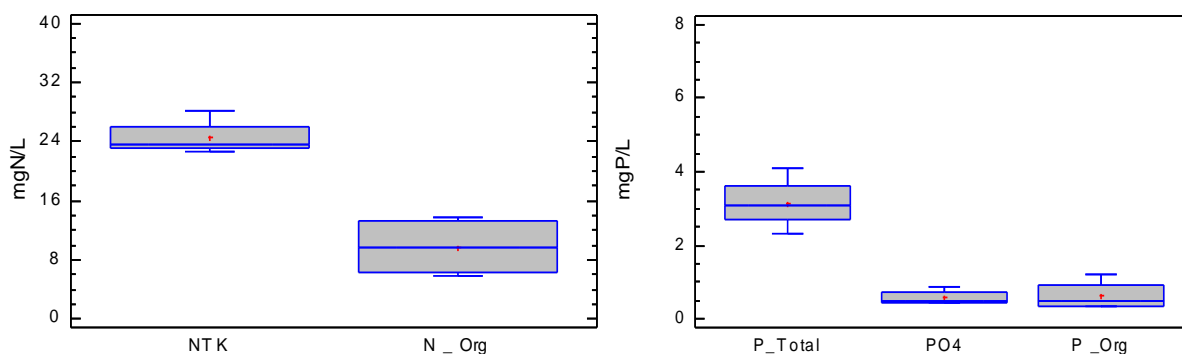
En la Figura 17 se muestran los resultados obtenidos para los sólidos en la estación Ancón Norte (E12), donde se observa que las diferentes fracciones presentaron una baja variabilidad en este punto y una predominancia de los sólidos fijos y disueltos en la corriente.

Lo anterior, se relaciona con la composición de las aguas residuales vertidas sobre la corriente aguas arriba del punto de muestreo, entre las cuales se destacan descargas industriales y domésticas.



**Figura 17. Variación de los sólidos en la estación Ancón Norte en el 2015**

Los resultados reportados para los nutrientes evidencian que los compuestos de nitrógeno se caracterizaron por presentar un comportamiento variable durante las jornadas de monitoreo realizadas en este punto de muestreo, por el contrario, el fósforo presentó un comportamiento caracterizado por una baja dispersión. Lo anterior, se vincula con las cargas de nutrientes aportadas a la corriente provenientes las industrias y viviendas ubicadas en la zona norte del valle de Aburrá (Figura 18).



**Figura 18. Variación de los nutrientes en la estación Ancón Norte en el 2015**

## 2.10 ESTACIÓN PUENTE GABINO (E20)

Los estimadores descriptivos de la calidad del agua obtenidos para la estación Puente Gabino se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10. Estimadores descriptivos de la estación Puente Gabino en el 2015**

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	4,000	7,298	7,320	0,015	0,124	7,150	7,400	0,250
Oxígeno disuelto (mg p/L)	4,000	6,018	6,125	0,145	0,381	5,490	6,330	0,840
Conductividad eléctrica (uS/cm)	4,000	215,825	214,000	172,189	13,122	202,300	233,000	30,700
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,000	17,455	16,16	49,211	7,015	10,400	27,100	16,700
DQO (mg/L)	4,000	51,162	51,725	167,332	12,936	37,400	63,800	26,400
Fósforo Total (mg P/L)	4,000	0,646	0,681	0,055	0,236	0,355	0,866	0,5110
Fosfatos(mg P/L)	4,000	0,087	0,086	0,0001	0,009	0,076	0,100	0,024
Fósforo Orgánico (mg p/L)	4,000	0,152	0,132	0,004	0,065	0,101	0,244	0,143
Nitratos(mg N/L)	4,000	0,235	0,203	0,019	0,139	0,116	0,418	0,302
Nitritos (mg N/L)	4,000	0,171	0,077	0,044	0,210	0,046	0,485	0,439
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	4,000	2,780	3,000	1,902	1,379	0,900	4,220	3,320
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	4,000	5,250	5,745	2,750	1,658	3,000	6,510	3,510
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,000	84,750	82,000	718,917	26,813	61,000	114,000	53,000
Sólidos totales (mg/L)	4,000	234,750	226,000	616,917	24,838	216,000	271,000	55,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	4,000	57,000	56,500	68,667	8,287	49,000	66,000	17,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	4,000	150,000	157,000	562,000	23,707	116,000	170,000	54,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	4,000	177,750	170,500	340,917	18,464	165,000	205,000	40,000
BMWP	4,000	8,250	8,500	2,917	1,708	6,000	10,000	4,000

En la Figura 19 se muestra el conjunto de datos registrados para los sólidos en la estación Puente Gabino, donde se observa que predominaron los sólidos fijos y disueltos en la corriente, sin embargo, los sólidos suspendidos y volátiles evidenciaron la mayor y menor dispersión respectivamente.

Lo anterior, se vincula con los aportes que recibe la corriente de agua, entre los que se destacan río Grande y La Tasajera, como también, de otros afluentes que transportan una baja carga contaminante.

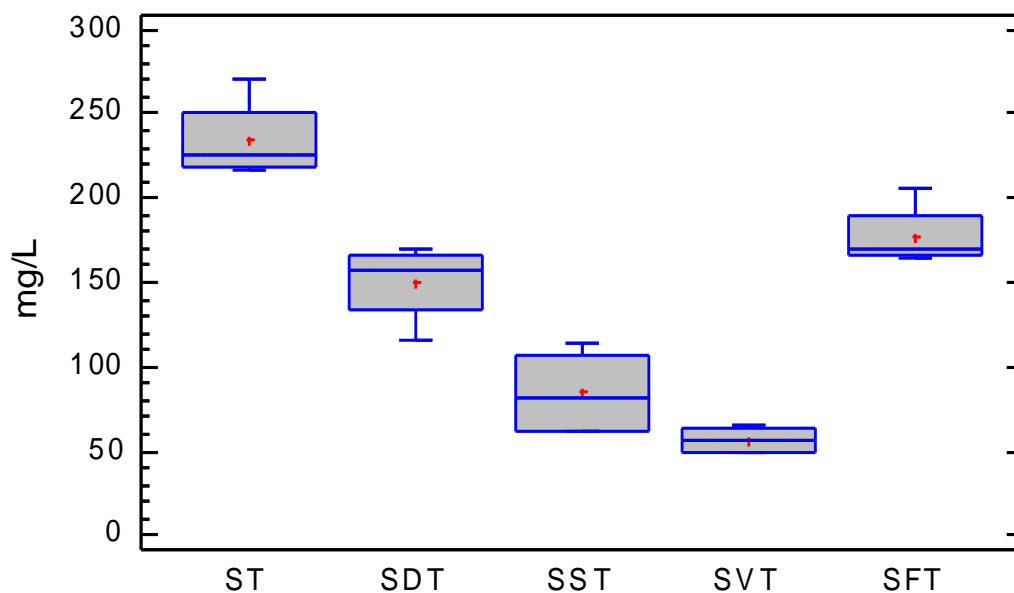


Figura 19. Variación de los sólidos en la estación Puente Gabino en el 2015

Los datos reportados para los nutrientes presentaron una baja variabilidad, lo cual se relaciona con procesos de dilución de las formas orgánicas e inorgánicas de nitrógeno y fósforo como resultado del ingreso de aguas de buena calidad, como río Grande, el efluente de la central hidroeléctrica La Tasajera y otros afluentes (Figura 20).

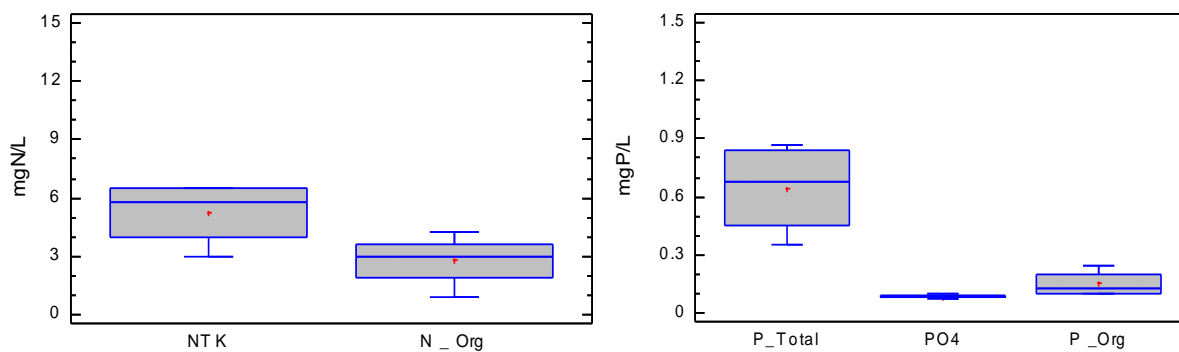


Figura 20. Variación de los nutrientes en la estación Puente Gabino en el 2015



### 3 RESUMEN PERFIL DE CALIDAD DEL RÍO ABURRÁ-MEDELLÍN PARA EL AÑO 2015

En la Figura 21 se muestra el comportamiento obtenido para las variables más relevantes sobre el río Aburrá-Medellín durante el año 2015, para lo cual se empleó el conjunto de datos recolectado en las campañas de tipo compuestas y de objetivos de calidad realizadas en este período (24 de febrero, 11 de marzo, 6 de mayo, 15 de julio, 5 de agosto y 23 de septiembre de 2015).

Los resultados obtenidos para el índice BMWP evidenciaron valores superiores en las estaciones ubicadas al sur de la cuenca, en el municipio de Caldas, donde la corriente de agua se caracteriza por presentar una menor afectación en su calidad y a nivel ecosistémico, Entretanto, en las estaciones restantes se observó que éstas registraron valores inferiores, lo que evidencia el deterioro en la calidad de la corriente asociado a la presencia de organismos tolerables a la contaminación, como también, del ecosistema puesto que al canalizarse el río disminuyen los nichos y el sustrato donde se desarrollan estas comunidades (Figura 21).

En cuanto al oxígeno disuelto, se destaca que el conjunto de datos registrado en los puntos San Miguel, Primavera, Niquía y Ancón Norte se caracterizó por presentar una baja variabilidad, que en el caso de E1 y E2 se relaciona con zonas donde la corriente de agua no presenta una afectación representativa en su calidad y las condiciones hidráulicas del área de estudio que favorecen el intercambio gaseoso, entretanto, la baja dispersión en las estaciones E21 y E12 se vincula con el deterioro que presenta la corriente en este tramo, puesto que el oxígeno disuelto se ha consumido aguas arriba de éste como resultado de la ocurrencia de procesos de oxidación de la materia orgánica e inorgánica parcialmente oxidada, provenientes de los vertimientos de aguas residuales realizados desde los municipios localizados en el sur, centro y zona norte de la cuenca, por otro lado, las estaciones Después de San Fernando, Aula Ambiental, Papelsa y Puente Gabino evidenciaron una mayor variabilidad en las concentraciones de oxígeno disuelto, debido a las condiciones hidráulicas y cambios en la composición de los vertimientos.

La DQO y la DBO<sub>5</sub> (Figura 21) describieron una tendencia creciente entre las estaciones San Miguel y Ancón Norte, mientras que en los puntos de monitoreo restantes, los valores registrados para estas variables presentaron una disminución representativa respecto a E12, por otro lado, el oxígeno disuelto presentó un comportamiento inverso al descrito por la DQO y la DBO<sub>5</sub> en el río. Lo anterior, evidencia el deterioro que presenta la corriente de agua a medida que recibe los vertimientos de aguas residuales de los municipios ubicados en la cuenca hidrográfica, no obstante, en el norte de la misma hay afluentes presentan una mejor calidad del agua y contribuyen a generar procesos de dilución de la materia orgánica e inorgánica transportada por el mismo.

El conjunto de datos reportado para la DQO y la DBO<sub>5</sub> se caracterizó por presentar una mayor variabilidad entre las estaciones Después de San Fernando y Ancón Norte, asociado a cambios en las cargas contaminantes aportadas al río y a las quebradas afluentes.

Por el contrario, en las estaciones San Miguel, Primavera, Ancón Sur y Antes de San Fernando los registros presentaron una menor dispersión, vinculado a un bajo impacto



antrópico en E1 y E2 y a la implementación de obras de saneamiento en los municipios ubicados al sur de la cuenca que incluyen la recolección y tratamiento de una porción de las aguas residuales generadas.

En cuanto a los nutrientes (NTK y P total), se observa que las concentraciones superiores para éstos se reportaron en el tramo Después de San Fernando-Papelsa, resultado de los aportes de aguas residuales, lo cual coincide con los resultados presentados anteriormente, En cuanto a los compuestos de fósforo, los datos presentaron una baja variabilidad en San Miguel y la mayor dispersión se observó en Papelsa, mientras que en los compuestos de nitrógeno se presentó en Primavera y Papelsa, Cabe destacar, que la variabilidad observada para los datos reportados en la estación Papelsa estuvo influenciada por la presencia de lluvias previas y durante la jornada de monitoreo posterior a una época seca, la cual correspondió a la campaña 9 (15 de julio de 2015), donde el incremento en el caudal generó la resuspensión de la materia sedimentada y aumentos en las concentraciones de los nutrientes (Figura 21).

Los resultados reportados para los sólidos suspendidos totales (Figura 21) se caracterizaron por presentar un comportamiento variable a lo largo de la corriente, consecuencia de los aportes de aguas residuales, tanto domésticas como industriales. La mayor variabilidad observada para este parámetro se registró en las estaciones Aula Ambiental, Puente Machado y Niquía, asociado a las cargas contaminantes aportadas por industrias mineras sobre las quebradas La Picacha, La Hueso, La García y El Hato, Entretanto, la estación San Miguel se caracterizó por evidenciar los registros más bajos, al igual que la menor dispersión, consecuente con la baja intervención antrópica en la zona de influencia de este sitio de monitoreo.

La estación Papelsa presentó la mayor variabilidad en los sólidos suspendidos en el período evaluado, lo cual puede estar influenciado por un episodio de lluvia reportado en la cuenca previo al desarrollo de la campaña 9 (15 de julio de 2015), el cual generó un incremento significativo en el caudal y el arrastre de sólidos previamente sedimentados en el lecho.

Los datos registrados para la conductividad eléctrica (Figura 21) presentaron un comportamiento creciente en el tramo comprendido entre las estaciones San Miguel y Ancón Norte, vinculado a la fracción disuelta aportada por las aguas residuales vertidas al río y sus afluentes. Este parámetro presentó una mayor variabilidad en el tramo Aula Ambiental-Ancón Norte, lo cual puede estar vinculado a la composición de los vertimientos de tipo doméstico e industrial realizados de manera directa o indirecta sobre la corriente, como también, a las cargas aportadas.

Por último, en las estaciones Papelsa y Puente Gabino se reportaron disminuciones en la conductividad eléctrica, debido a los procesos de dilución generados en este tramo y que se atribuyen al ingreso de quebradas afluentes que transportan una menor carga contaminante que el río, como también, al efluente de la central hidroeléctrica La Tasajera y a la confluencia con río Grande.

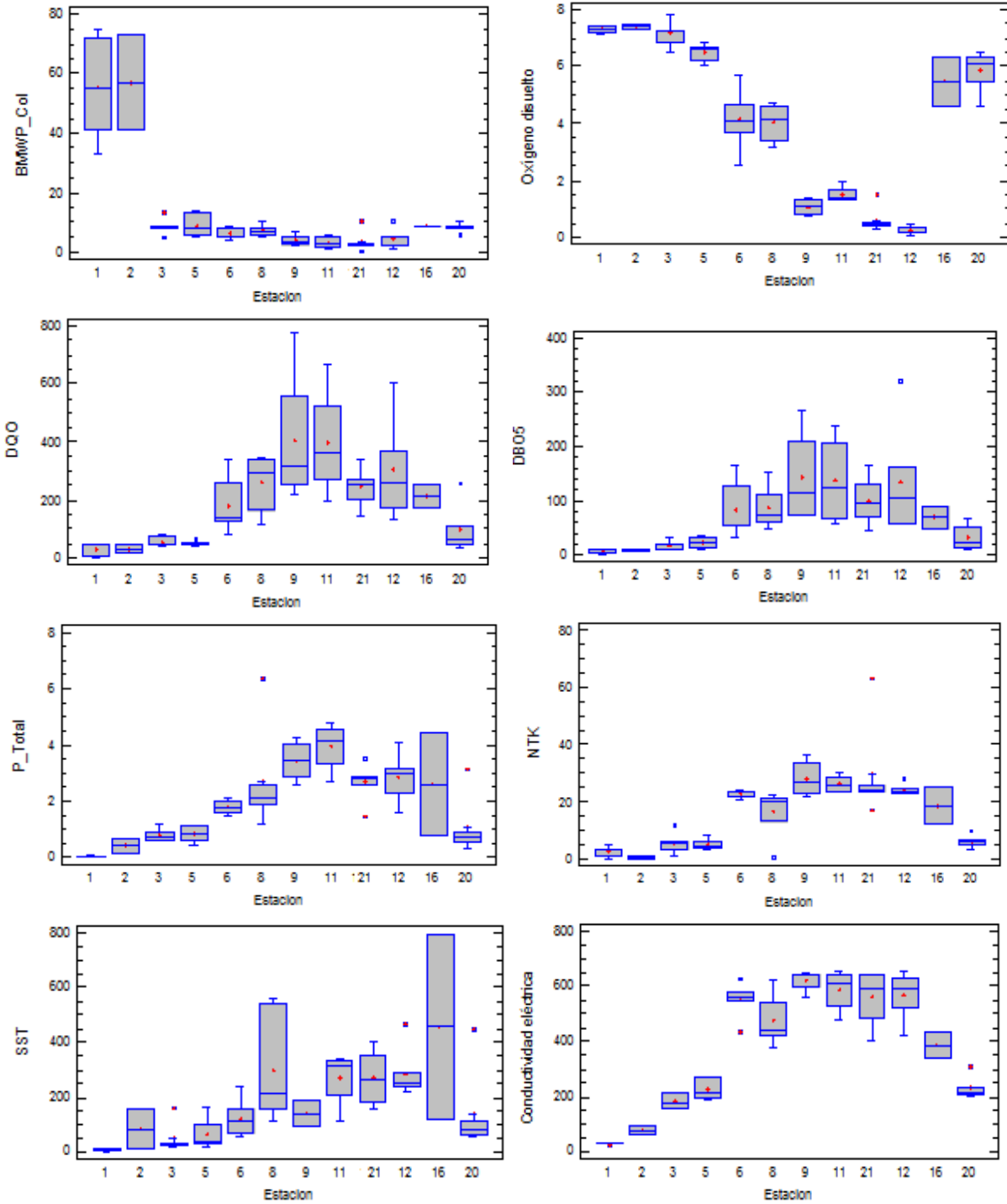


Figura 21. Diagrama de cajas esquemáticas del BMWP y diversas variables por estación durante el año 2015

- **Análisis exploratorio de la calidad del río Aburrá-Medellín durante las campañas de muestreo realizadas en 2015**

Para el análisis exploratorio de los datos obtenidos por campaña, se elaboraron cajas esquemáticas, con la finalidad de observar el comportamiento de los parámetros de mayor relevancia en cada una de las campañas de monitoreo ejecutadas durante el 2015 en el proyecto RedRío (Figura 22). En la Tabla 11 se muestra la clasificación para el caudal durante las campañas de monitoreo realizadas en el río Aburrá-Medellín en el transcurso de 2015.

**Tabla 11. Clasificación caudal en campañas de muestreo realizadas durante 2015**

FECHA	FASE	CAMPAÑA	CLASIFICACIÓN CAUDAL
24/02/2015	5	5	Bajo
11/03/2015	5	6	Bajo
06/05/2015	5	8	Bajo
15/07/2015	5	9	Bajo (E12 y E16 - Alto)
05/08/2015	5	10	Bajo
23/09/2015	5	12	Bajo

El conjunto de datos obtenido para el índice BMWP no evidenció cambios representativos entre campañas de monitoreo, sin embargo, las campañas 6 y 12 se caracterizaron por reportar una menor variabilidad mientras que los registros correspondientes a las campañas 5 y 9 presentaron mayor dispersión. El comportamiento observado para el índice evidencia que las condiciones predominantes de calidad para el río durante las campañas evaluadas correspondieron a muy crítica en la mayoría de las estaciones estudiadas, no obstante, los outliers observados corresponden a valores obtenidos para el índice en puntos como San Miguel y Primavera, donde las condiciones de calidad del agua son mejores a las estaciones restantes.

El oxígeno disuelto se caracterizó por presentar un comportamiento variable durante las campañas de monitoreo evaluadas, vinculado con las condiciones hidráulicas de la corriente, como también, con el efecto generado por las aguas residuales vertidas a la misma y con la época de caudales bajos predominante durante 2015. Así mismo, la ocurrencia de lluvias en la cuenca, previo a la campaña 9 generó cambios en la concentración de oxígeno a lo largo de la corriente. Las campañas 6 y 12 se caracterizaron por evidenciar la mayor dispersión en los datos reportados para este parámetro. Las concentraciones obtenidas para el oxígeno disuelto y la variabilidad observada en las mismas se relaciona con los resultados registrados para la DQO y la DBO<sub>5</sub>, los cuales mostraron la menor y mayor dispersión en las campañas 9 y 12 respectivamente. Los resultados reportados para ambas variables evidencian cambios entre campañas, relacionados con las cargas contaminantes aportadas al río y sus quebradas afluentes, como también, la influencia de condiciones climáticas.

Los nutrientes (NTK y P total) evidenciaron un comportamiento variable durante las campañas evaluadas, la menor dispersión en los datos se observó en la campaña 5, mientras que la mayor se presentó en la 10, donde la variabilidad observada se asocia a la carga contaminante aportada al río y quebradas afluentes y a la época climática. La conductividad eléctrica se caracterizó por presentar un comportamiento variable durante las campañas realizadas, donde la menor dispersión se observó en la jornada 9, mientras que la mayor



correspondió a la campaña 12. Lo anterior, se asocia con la fracción ionizada aportada por aguas residuales vertidas a quebradas afluentes como directamente sobre el río, así mismo, se debe a procesos de dilución en la corriente como resultado del aporte de cargas distribuidas asociadas al proceso de escorrentía, como es el caso de la campaña 9, en la que se presentaron lluvias previas a la jornada de monitoreo.

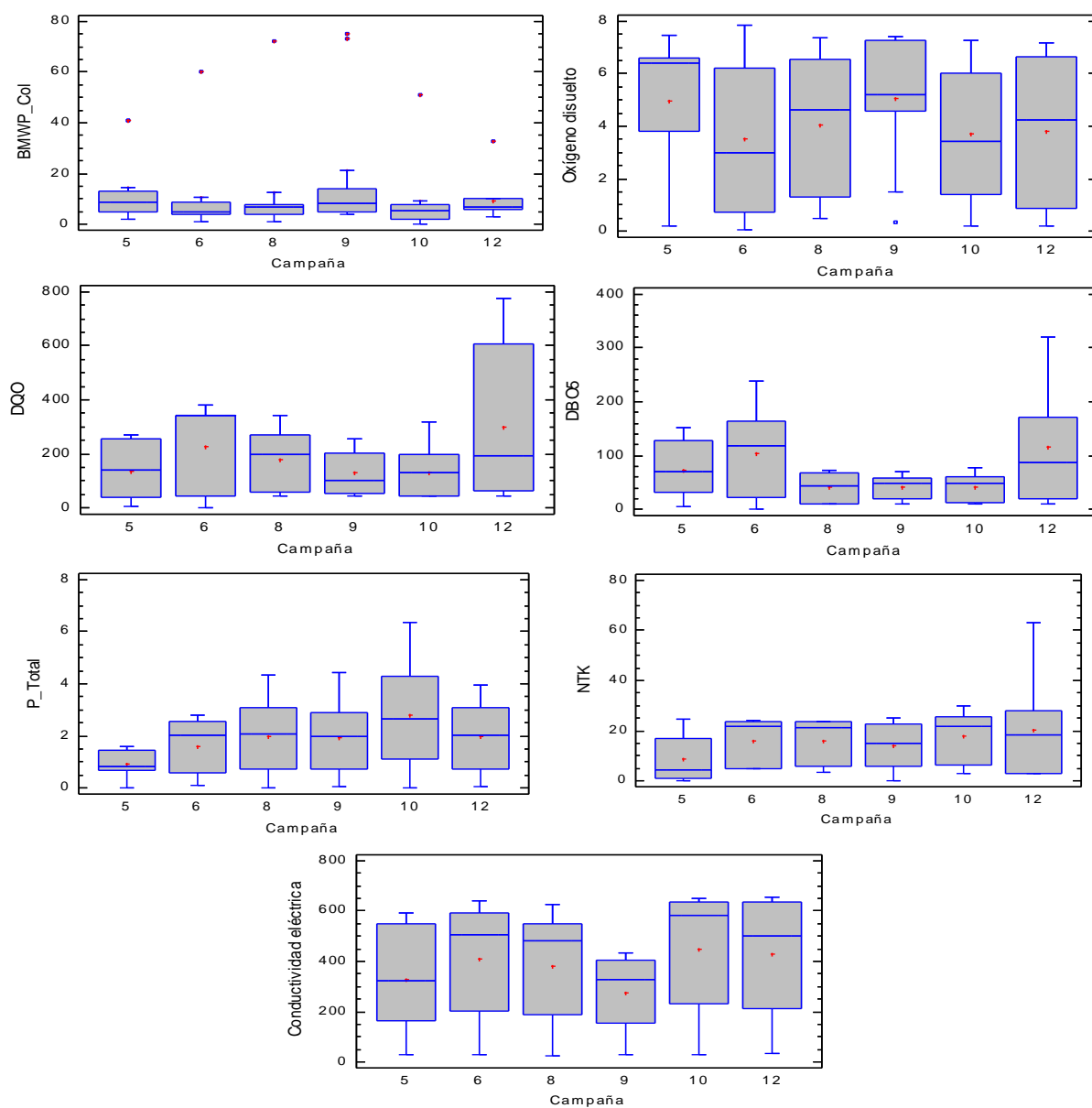


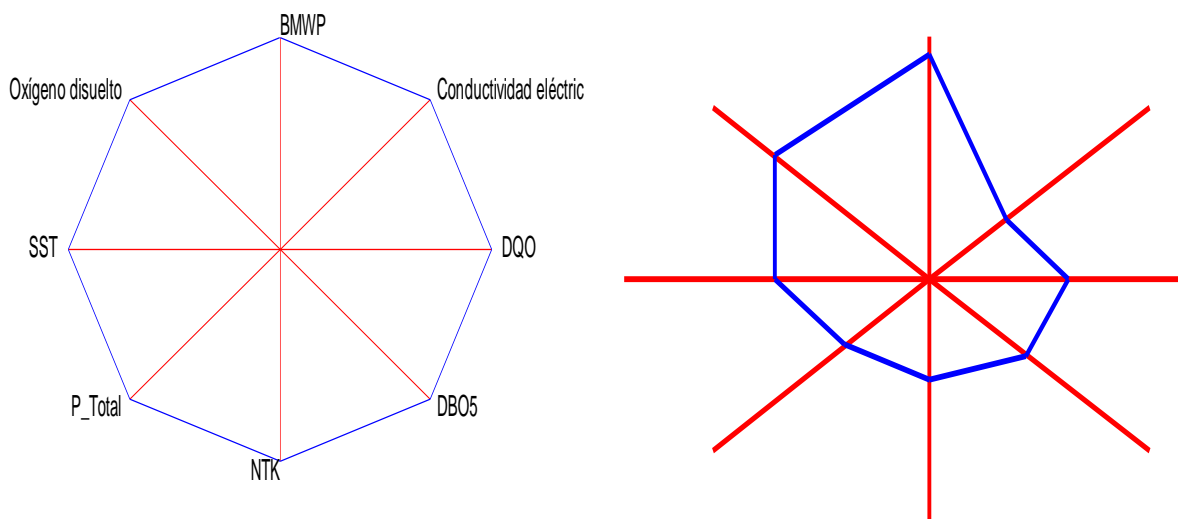
Figura 22. Diagrama de cajas esquemáticas del BMWP y diversas variables por campaña de monitoreo

### 3.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO MULTIVARIADO (GRÁFICO DE ESTRELLA "SUNRAYPLOT")

Los gráficos de estrella constituyen un método para representar datos multivariantes mediante una estrella que representa a un elemento de la muestra, definida a partir de un conjunto de radios, que forman el mismo ángulo, y que confluyen en un centro geométrico. La finalidad de este tipo gráficos es analizar la composición y el peso de las variables, y sugerir la semejanza entre ellas de acuerdo a las características de las múltiples variables.

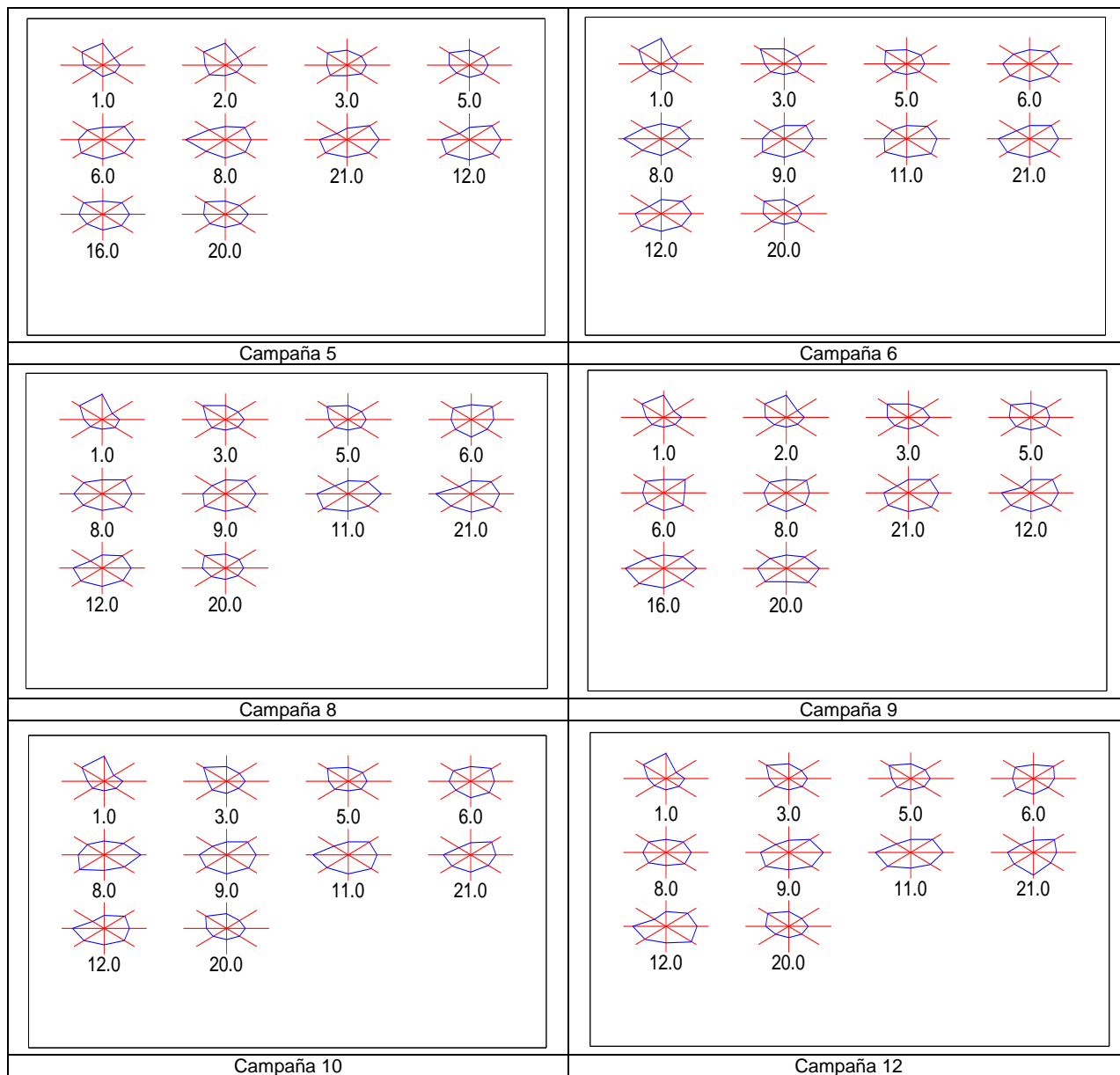
El radio representa a una variable, su longitud es proporcional a la magnitud de la variable representada, relativizada al máximo valor que alcanza ésta en los datos. La línea que conecta los extremos de los radios determina el gráfico de estrella.

La construcción de los gráficos se hizo con las mismas variables analizadas en los diagramas de cajas esquemáticas (BMWP, Conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub>, NTK, P Total, SST y OD). Cada arista que compone la estrella representa una variable y la distancia de esta arista al centro del polígono representa la importancia que tiene dentro de la estación.



**Figura 23. Interpretación y descripción de variables en el gráfico de estrella,**

En la Figura 24 se presentan los gráficos de estrellas para cada estación de monitoreo en las campañas realizadas durante 2015, con la finalidad de observar cuales variables tuvieron mayor peso en las jornadas analizadas.



**Figura 24. Gráfico de estrellas (sunray plot) para seis campañas ejecutadas en el año 2015 en diez estaciones de monitoreo,**

En las seis campañas de monitoreo llevadas a cabo en el transcurso de 2015 se observó que las variables que presentaron una mayor relevancia en las estaciones San Miguel y Primavera correspondieron al oxígeno disuelto y el índice BMWP, lo cual es consistente con las condiciones de calidad en las mismas, puesto que a la altura de estos puntos el río ha recibido pocos vertimientos, lo que no genera una demanda de oxígeno considerable para la degradación de compuestos, adicionalmente, las condiciones hidráulicas del tramo favorecen el intercambio gaseoso entre el cuerpo de agua y la atmósfera. Por otro lado, las condiciones



de calidad del agua en ambos puntos permiten el desarrollo de diferentes taxones, propios de aguas de buena y aceptable calidad, lo que genera un puntaje mayor para este índice.

Posteriormente, en la estación Ancón Sur la variable que presentó un mayor peso fue el oxígeno disuelto, lo cual se vincula con las condiciones hidráulicas aguas arriba del punto de monitoreo, sin embargo, es importante destacar que a la altura de esta estación el río ha recibido aportes de aguas residuales provenientes de los municipios de Caldas y La Estrella, lo que da más relevancia a las variables restantes (excepto el índice BMWP que presentó un decremento en su peso) respecto a lo observado en los puntos anteriores. En la estación Antes de San Fernando se observó un comportamiento similar al descrito previamente, sin embargo, se evidenció un incremento leve en los pesos de aquellos parámetros que reflejan un deterioro en la calidad del agua (nutrientes y conductividad eléctrica).

En la estación Después de San Fernando se presentó un aumento en la importancia de la conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> y los nutrientes, y una disminución en el oxígeno disuelto y el índice BMWP, lo que refleja un deterioro en la calidad del agua de la corriente atribuido al efluente de la PTAR San Fernando y los vertimientos de aguas residuales realizados aguas arriba del punto de monitoreo. Entretanto, en la estación Aula Ambiental se observó un incremento significativo en el peso de los sólidos suspendidos totales, lo cual se debe al efecto generado por la descarga de quebradas como La Picacha y La Hueso, ya que éstas son receptoras de vertimientos industriales procedentes del desarrollo de actividades relacionadas con la extracción de material pétreo. Así mismo, en este punto se presentó un aumento en los nutrientes, la conductividad eléctrica, DQO y DBO<sub>5</sub>, deterioro que se atribuye a la afluencia de quebradas receptoras de aguas residuales domésticas e industriales, como La Hueso, La Picacha, Altavista, Santa Elena, La Iguañá, entre otras.

Las variables de mayor relevancia en la estación Puente Acevedo fueron la conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> y los nutrientes, mientras que en la estación Puente Machado se observó una relevancia en los sólidos suspendidos totales, adicionalmente. Lo anterior, es producto de los aportes de quebradas receptoras de vertimientos domésticos e industriales, en el caso de Puente Machado son de gran importancia los tributarios La García y El Hato ya que reciben aguas residuales provenientes del desarrollo de actividades mineras, Por otra parte, la descarga de los interceptores centrales de EPM constituye un ingreso representativo aguas arriba de Puente Acevedo. En la estación Niquía se observó un decremento en la importancia del oxígeno disuelto, lo cual se vincula a las condiciones hidráulicas del tramo que afectan la transferencia de oxígeno a la corriente y la concentración de materia orgánica e inorgánica que demanda oxígeno para su degradación.

En la estación Ancón Norte se presentaron pocos cambios respecto a Niquía, se observó un decremento en la importancia del oxígeno disuelto y una mayor importancia en la conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> y los nutrientes. Lo anterior se asocia a las condiciones críticas de la corriente en los puntos ubicados aguas arriba, aunado a la influencia de las descargas provenientes de las industrias ubicadas en el norte del valle de Aburrá.

Por último, en las estaciones Papelsa y Puente Gabino se observó un incremento en el peso del oxígeno disuelto y una disminución en la importancia de variables como la conductividad

eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> y los nutrientes, lo cual se vincula con procesos de dilución resultado de la afluencia de corriente que presentan una mejor calidad del agua. Es importante aclarar que en la campaña 9 en ambas estaciones, variables como los sólidos, la DQO, la conductividad eléctrica presentaron un mayor peso, como resultado de la ocurrencia de procesos de arrastre en la corriente debido a incrementos en el caudal, que fueron consecuencia de las lluvias registradas en la región la noche anterior.

### 3.2 ANÁLISIS FACTORIAL ESTACIONES SOBRE EL RÍO

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 transformaron los datos obtenidos durante las campañas realizadas en el transcurso de 2015 y se realizó un análisis factorial. De acuerdo con éste y con los resultados obtenidos a partir de la matriz de correlaciones no se incluyeron para este análisis las variables SST y pH. Mediante el análisis de correlación de los parámetros restantes redujo la información a una sola variable que los representa y que se denomina Factor Score, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 12. Factor análisis para el río**

NUMERO DE FACTOR	PORCENTAJE DE VARIANZA	PORCENTAJE ACUMULADO
1	91,526	91,526
2	7,046	98,572
3	1,283	99,855

Una sola combinación lineal de las variables explica el 91,526% de la variabilidad de los datos, por lo que se descartan las demás combinaciones. A continuación se presentan las figuras que muestran la variación de esta nueva variable (factor score) mediante intervalos de confianza con respecto a: campañas y estaciones.

En la Figura 25 se observa que la mejor calidad se presentó durante la campaña 9, lo cual posiblemente es consecuencia de la ocurrencia de procesos de dilución en la corriente, puesto que previo al desarrollo de la misma y durante ésta se registraron lluvias e incrementos en el caudal. En cuanto a los resultados obtenidos por estaciones (Figura 26), se evidencia el deterioro que presenta la corriente a medida que transita y acumula los vertimientos producidos por los municipios que conforman la cuenca, siendo el tramo más crítico el ubicado entre las estaciones Puente Acevedo y Ancón Norte. No obstante, en los puntos correspondientes a Papelsa y Puente Gabino se observa una mejoría en la calidad, vinculada a procesos de dilución de la materia orgánica e inorgánica transportada por la corriente, la cual se atribuye a los aportes provenientes del efluente de la central eléctrica La Tasajera, río Grande y otros afluentes que presentan una mejor calidad del agua, como también, a la disminución en el vertimiento de aguas residuales al río.

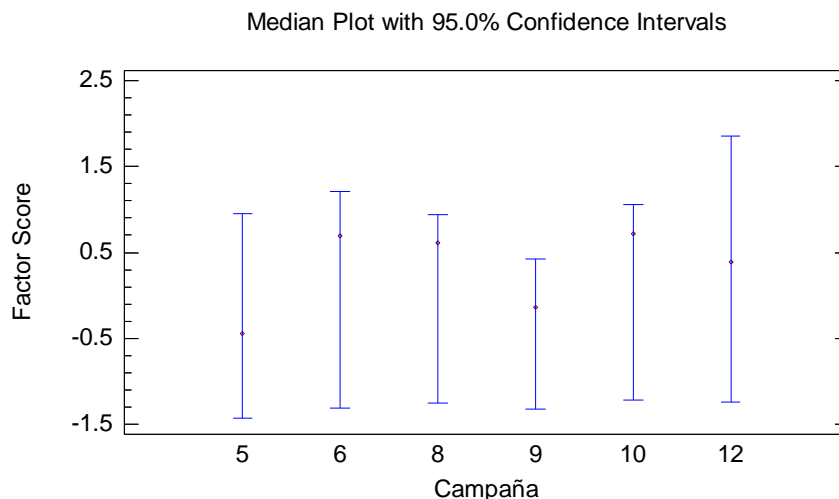


Figura 25. Variación de los intervalos para las medias del factor por campañas de monitoreo

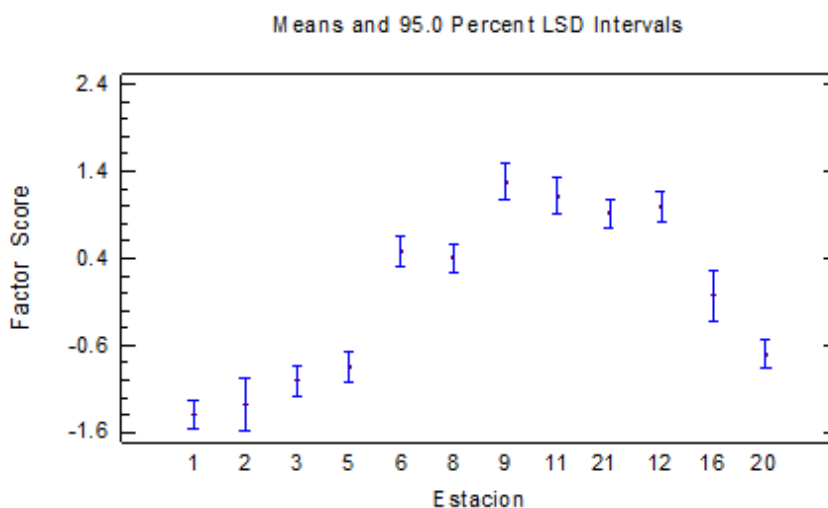
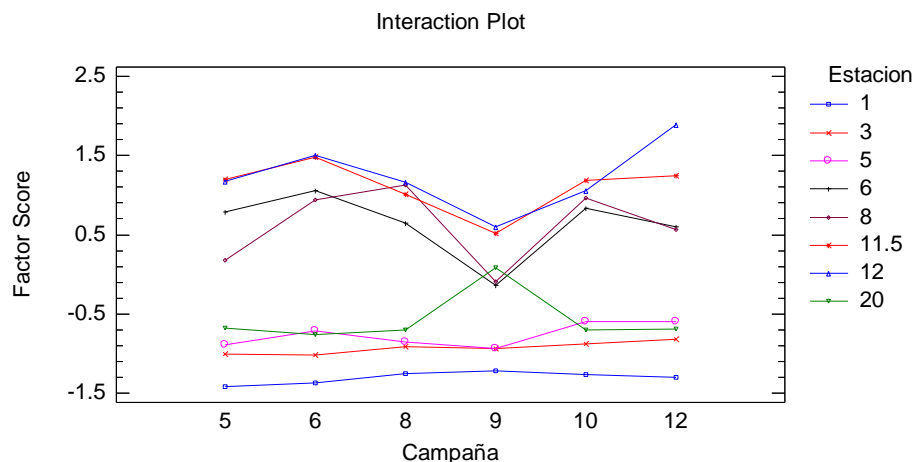


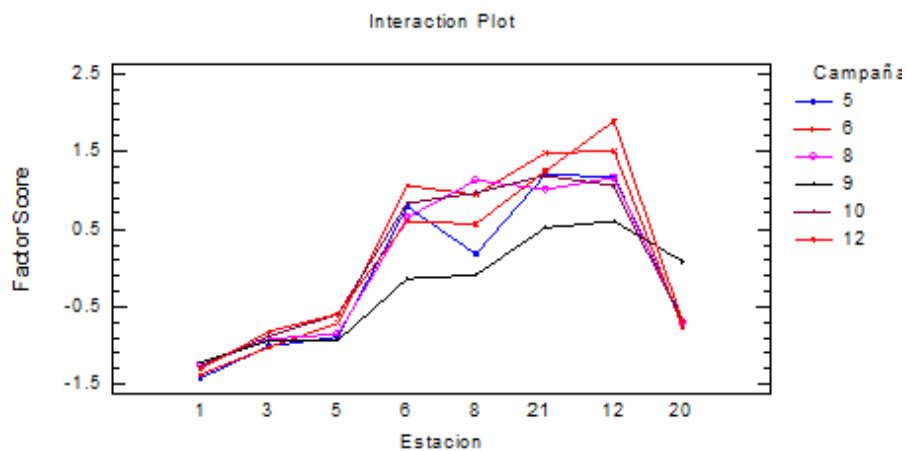
Figura 26. Variación de los intervalos para las medias del factor por estaciones de monitoreo

En la Figura 27 se muestra la variación del “Factor Score” en cada estación para las campañas monitoreadas, donde se observa que San Miguel (1) se caracterizó por presentar las mejores condiciones de calidad durante las mismas, mientras que estaciones como Después de San Fernando (6), Aula Ambiental (8), Niquía (21) y Ancón Norte (12) evidenciaron una calidad del agua con mayor deterioro, asociado a vertimientos de aguas industriales y domésticas, con y sin previo tratamiento realizados sobre el río y las quebradas afluentes a éste. Adicionalmente, puntos como Ancón Sur (3), Antes de San Fernando (5) y Puente Gabino (20) se caracterizaron por presentar condiciones de calidad media, circunstancia vinculada a la recepción de vertimientos que contribuyen a deteriorar la calidad (caso de las estaciones 3 y 5), como también, a generar una dilución en la contaminación y producir una mejoría en la calidad (caso estación 20).



**Figura 27. Variación del factor score para cada estación durante todas las campañas de 2015**

En la Figura 28 se muestra la variación del “Factor Score” por campañas en cada una de las estaciones monitoreadas, donde se observa que la jornada de monitoreo 9 correspondiente al 15 de julio de 2015 se caracterizó por presentar condiciones más favorables en la calidad del agua en el río, lo cual se vincula con la presencia de lluvias previas y durante la misma, que generaron un incremento en el caudal de la corriente y una dilución; sin embargo, en la campaña 9 se registró un deterioro mayor en la calidad del agua a la altura de Puente Gabino que puede vincularse a la ocurrencia de procesos de arrastre en el cuerpo de agua durante la noche anterior y el tiempo de viaje. En contraste, las campañas 6 y 12, realizadas el 11 de marzo y el 23 de septiembre de 2015 respectivamente, se caracterizaron por evidenciar unas condiciones de calidad más deterioradas, lo que puede asociarse con el caudal de la corriente, como también, con variaciones en las cargas contaminantes aportadas al río y sus afluentes. Adicionalmente, se observa en el perfil el deterioro en la calidad que presenta la corriente conforme avanza en su recorrido y una mejoría en las condiciones a la altura de la estación Puente Gabino.



**Figura 28. Variación del factor 1 en el perfil del río a lo largo de todas las campañas de 2015**

### 3.3 ANÁLISIS CLÚSTER ESTACIONES SOBRE EL RÍO

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 estaciones semejantes en calidad. A continuación se presentan los resultados gráficos del análisis clúster para las estaciones San Miguel (1), Primavera (2), Ancón Sur (3), Antes de San Fernando (5), Después de San Fernando (6), Aula Ambiental (8), Puente Acevedo (9), Puente Machado (11), Ancón Norte (12), Niquía (21), Papelsa (16) y Puente Gabino (20) para las campañas de muestreo realizadas en el año 2015,

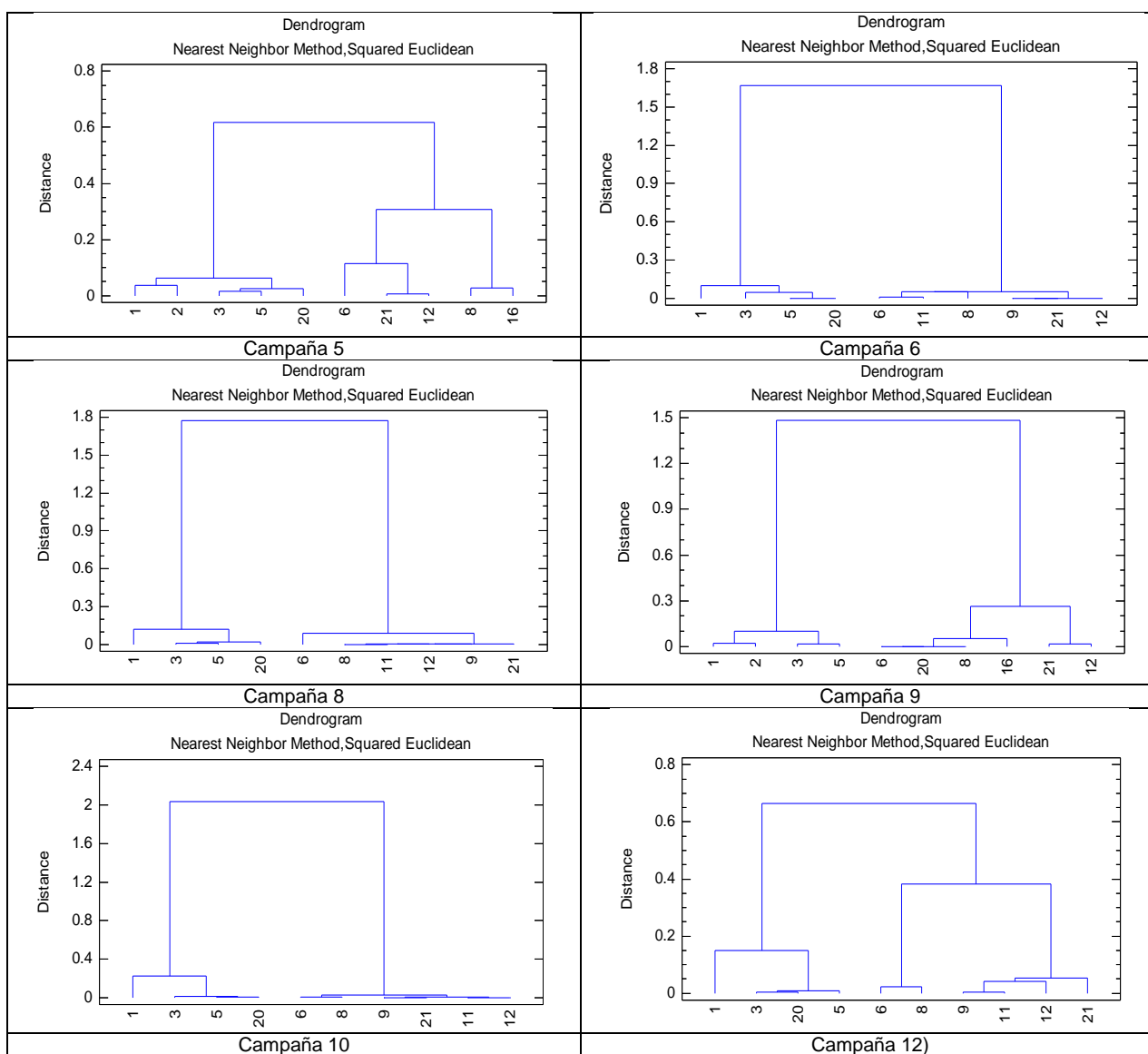


Figura 29. Dendrograma por estaciones de muestreo para el 2015



Los resultados muestran que la estación San Miguel permaneció aislada o agrupada con la estación Primavera, así mismo, se evidenció que los puntos Ancón Sur, Antes de San Fernando y Puente Gabino se agruparon en la mayoría de las campañas; otras asociaciones que también se destacaron fueron las estaciones Después de San Fernando y Aula Ambiental, y Puente Acevedo, Puente Machado, Ancón Norte y Niquía. Lo anterior, reafirma a la estación San Miguel como punto de referencia debido a sus condiciones de calidad, así mismo, evidencia que las estaciones cuya calidad del agua es más crítica presentaron similitud, asociado al efecto generado por los vertimientos de aguas residuales realizados sobre la corriente, sin embargo, es importante destacar que el monitoreo continuo de las mismas es de gran importancia a pesar de las similitudes observadas, puesto que a través de éstas se evalúan los efectos de diferentes factores, como el avance en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos en los municipios de Medellín y Bello.

### 3.4 CONTRASTE DE RANGOS MÚLTIPLES PARA TODOS LOS ANÁLISIS ESTACIONES SOBRE EL RÍO

Esta prueba se usa para decidir cuales medias son significativamente diferentes cuando se comparan por pares y generar un agrupamiento. Buscando redefinir las estaciones de muestreo sobre el río, se utilizó la variable “factor score” obtenida en el análisis factorial para esta prueba.

**Tabla 13. Comparación de rangos múltiples (LSD) para el análisis de todas las estaciones**

ESTACIÓN	DATOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
1	6	-1,3983	X
3	6	-1,00874	X
5	6	-0,850383	X
20	6	-0,707292	X
8	6	0,400691	X
6	6	0,483647	X
21	5	0,926035	X
12	6	0,996935	X

Los resultados obtenidos evidencian la existencia de cuatro grupos homogéneos, similares a los mencionados anteriormente, donde el primer grupo se conformó solamente por la estación San Miguel, debido a sus condiciones favorables de calidad y que la convierten en un punto de referencia; el segundo grupo fue constituido por las estaciones Ancón Sur, Antes de San Fernando y Puente Gabino, como resultado de sus condiciones de calidad regular y por último, se encuentran dos grupos conformados por las estaciones Después de San Fernando y Aula Ambiental, y Niquía y Ancón Norte, ambos con condiciones de calidad críticas, pero la segunda agrupación se destaca porque éstas son más agudas debido a aportes representativos como los interceptores centrales de EPM, la descarga de quebradas receptoras de aguas residuales y vertimientos de tipo industrial realizados al río, entre otros. Como se mencionó anteriormente, la existencia de grupos homogéneos conformados a través de las diferencias significativas encontradas entre las medias registradas para cada una de las estaciones no indican la supresión de puntos de muestreo, por el contrario, ratifican la importancia de los mismos en la evaluación de los efectos generados por diversos factores sobre el río.



#### 4 RESUMEN ESTADÍSTICO POR CONDICIONES CLIMÁTICAS Y NIVELES DE CAUDAL

Dado que los resultados del proyecto RedRío han evidenciado gran variación de algunos parámetros bajo los diferentes escenarios de caudales y condiciones climáticas presentadas durante el desarrollo de las campañas de monitoreo, resulta importante realizar gráficos de interacciones, que reflejen el comportamiento del índice de calidad de agua con relación a los caudales presentados.

La clasificación de caudales para cada estación se realizó usando funciones de probabilidad, cuya metodología se presenta en el Informe de Hidráulica e Hidrogeología de la Fase V.

En la Figura 30 se muestra la variación del índice ICA global en el período comprendido entre los años 2012-2015, donde se observa que éste presenta un comportamiento creciente entre las estaciones San Miguel y Ancón Norte, asociado a los vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas realizadas sobre la corriente, las cuales contribuyen a generar un deterioro en el estado ecológico del río.

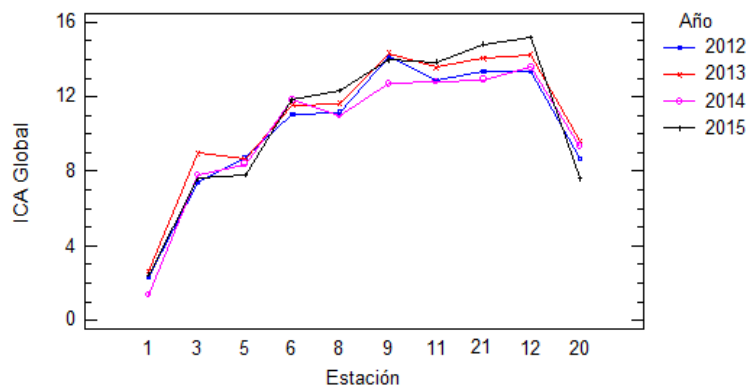
Entre los aportes que se destacan en el tramo mencionado, se encuentran el efluente de la PTAR San Fernando, los interceptores Oriental y Occidental y las quebradas afluentes como factores que influyen de manera representativa sobre la calidad del río.

Posteriormente, a la altura de la estación Puente Gabino se presenta una disminución en el valor del índice, que se atribuye a procesos de dilución generados por el ingreso del efluente proveniente de la central hidroeléctrica La Tasajera y río Grande.

Adicionalmente, se observa que el conjunto de datos reportado para el índice ICA-Global durante el año 2015 se caracterizó por ser mayor en el tramo comprendido entre las estaciones Después de San Fernando y Ancón Norte, lo cual puede relacionarse con el régimen de caudales bajos que predominó durante este período asociado a la fase positiva del fenómeno ENSO, lo que generó una menor capacidad de la corriente para asimilar los contaminantes.

Por otro lado, a nivel temporal, se observó una estabilidad en los resultados obtenidos para la calidad del agua a lo largo del río entre los años 2012-2015, lo cual se asocia a cambios en los cronogramas de las obras de saneamiento contempladas Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos–PSMV bajo responsabilidad de Empresas Públicas de Medellín-EPM.

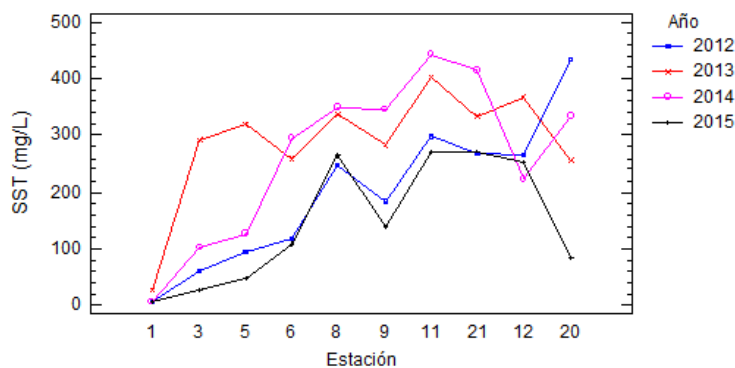
Sin embargo, se espera que con la implementación de obras como el Parque Planta de tratamiento Aguas Claras, el Interceptor Sur y la recolección de aguas residuales en diferentes cuencas sanitarias de la región contribuyan a mejorar la calidad de la corriente.



**Figura 30. Variación del ICA Global en el perfil del río para el 2012, 2013, 2014 y 2015**

La Figura 31 muestra la concentración de los sólidos suspendidos totales en el período 2012-2015 en las estaciones monitoreadas sobre el río, donde se observa que el comportamiento de los mismos se caracterizó por ser variable espacial y temporalmente, lo cual se relaciona con la explotación de material pétreo y el vertimiento de las aguas residuales procedentes de tal actividad industrial a quebradas como La Hueso, La Picacha, La García y El Hato que influyen sobre los resultados reportados en las estaciones Aula Ambiental y Puente Machado. Así mismo, los registros observados para cada año se vinculan también con las cargas aportadas por aguas residuales, la resuspensión del material sedimentado debido a incrementos en el caudal como resultado de la presencia de lluvias en la región y el ingreso de afluentes cuya calidad del agua se encuentra deteriorada.

Las disminuciones observadas en la concentración de sólidos suspendidos durante 2015 respecto a los demás períodos analizados se puede relacionar con los caudales bajos registrado para este año, dado que menores velocidades vinculadas con este régimen pueden favorecer la ocurrencia de procesos de sedimentación del material particulado presente en la corriente, así mismo, los resultados se pueden vincular con variaciones en las cargas contaminantes vertidas respecto a años anteriores.



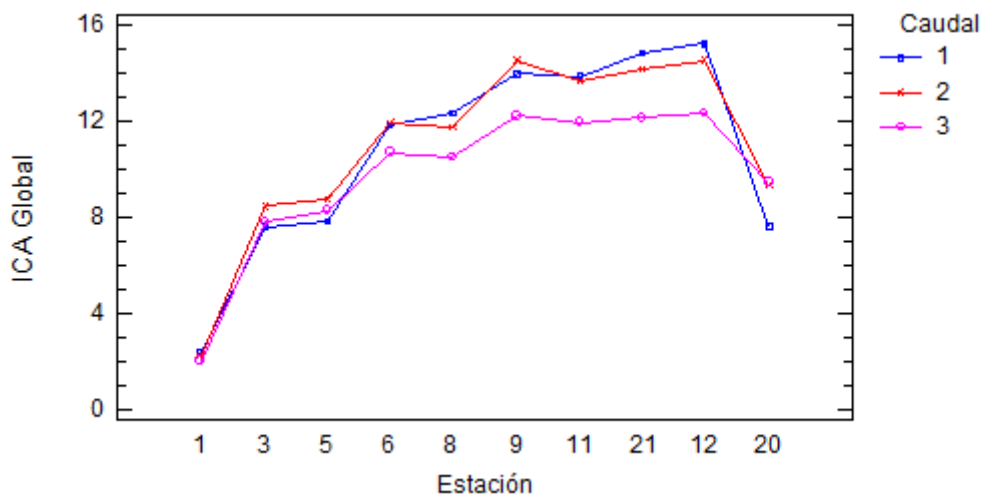
**Figura 31. Variación de los sólidos suspendidos Totales en el perfil del río para el 2012, 2013, 2014 y 2015**

En la Figura 32 se presentan los resultados obtenidos para el índice ICA Global en función de los caudales reportados durante las fases IV y V del proyecto RedRío y en la Tabla 14 se presenta la clasificación de los caudales para las campañas analizadas durante este período.

**Tabla 14. Clasificación caudal fases IV y V**

AÑO	FASE	CAMPAÑA	CLASIFICACIÓN CAUDAL
2012	4	2	2
2012	4	4	2
2013	4	7	2
2013	4	9	2
2013	4	10	3
2013	4	11	2
2013	4	18	2
2014	4	20	2
2014	5	2	3
2014	5	4	3
2015	5	6	1
2015	5	8	1
2015	5	10	1
2015	5	12	1

En la Figura 32 se observa que para caudales altos (3) este índice reportó menores registros, lo cual se relaciona con la ocurrencia de procesos de dilución; entretanto, en época de caudales medios (2) y bajos (1), los datos obtenidos para el índice ICA Global fueron similares, puesto que un menor caudal favorece la concentración de contaminantes y por tanto, se percibe un mayor deterioro en la calidad del recurso hídrico. La estación que presentó una menor afectación para los diferentes niveles de caudal correspondió a la estación San Miguel, mientras que el tramo donde la calidad del agua fue más crítica fue Puente Acevedo-Ancón Norte.



**Figura 32. Variación del ICA global en el perfil del río en diferentes niveles de caudal**

## 5 CONCLUSIONES

El comportamiento de las variables más representativas (BMWP/Col, oxígeno disuelto, DQO, DBO<sub>5</sub>, fósforo total, nitrógeno total Kjeldahl, sólidos suspendidos totales y conductividad eléctrica) analizadas en el río durante 2015 por estación, evidencia un deterioro progresivo en la calidad del agua a medida que éste recorre el valle, vinculado a los vertimientos que se realizan sobre la corriente y sus quebradas afluentes; no obstante, en el tramo comprendido entre las estaciones Papelsa y Puente Gabino se presentó un cambio positivo en la calidad asociado a procesos de dilución que se atribuyen al efecto generado por el efluente de la central hidroeléctrica La Tasajera y la confluencia entre el río Aburrá-Medellín y río Grande.

La variabilidad observada en el comportamiento de los parámetros evaluados por estación y por campaña, se relaciona con las cargas contaminantes vertidas, la composición de las descargas y el régimen de caudales bajos que disminuyó la capacidad de la corriente para asimilar los vertimientos, como también, con la ocurrencia de lluvias previas al desarrollo de la campaña 9 y el incremento en el caudal de la corriente generado por tal episodio.

Los resultados obtenidos para el ICA-Global y el análisis factorial fueron consistentes con los patrones mencionados anteriormente para el río, en términos del comportamiento espacial y temporal relacionado con la calidad del agua de la corriente.

La variable más relevante para las estaciones que presentaron una mejor calidad del agua (San Miguel, Primavera, Papelsa y Puente Gabino) durante las campañas realizadas en el año 2015 fue el oxígeno disuelto, mientras que en los sitios de muestreo donde la calidad del agua mostró un mayor deterioro (tramo comprendido entre Después de San Fernando y Ancón Norte), los nutrientes, conductividad eléctrica, la DBO<sub>5</sub> y la DQO presentaron una mayor importancia.

En cuanto a las condiciones de calidad del agua bajo los diferentes escenarios de caudales, se tiene que se presentan cambios en la misma, debido a procesos de dilución en épocas de caudales altos o a menor capacidad de la corriente para asimilar los vertimientos realizados sobre la misma (caudales medios y bajos).