

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



RESUMEN CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

**Informe Final
Convenio CA 421 de 2012**

Un proyecto de



Ejecutan:



Medellín, Junio de 2014

PERSONAL PARTICIPANTE

Un proyecto de:

Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Carlos Mario Montoya Serna

Director

Gloria Amparo Alzate Agudelo

Subdirector Ambiental

Apoyo

Componente de Calidad Ambiental: Margarita María Cardona G., Raúl Alexander Cardona, Catalina Castaño C.

Ejecutan:

Universidad de Antioquia

Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín

Universidad Pontificia Bolivariana

Universidad de Medellín

Equipo de Trabajo:

Coordinación General: Lina Claudia Giraldo B. y Rubén Alberto Agudelo G.; Ingeniero Sanitario Coordinador Operativo de la Red: John Fredy Carmona Castaño; Camilo Castro Jiménez, Asistente Logístico: Sebastián Vargas Ríos; Rubén Emilio Tamayo P.; Sirley Lorena Echeverry B.; Ingeniero Sanitario Coordinador de Equipos Automáticos: Ernesto Andrés González A.; Ingenieros Grupo de Hidráulica e Hidrología: Julián David Urán Zea, Aarón Arias Araya, Juan David González H.; Claudia Patricia Múnera C.; Juan David Cadavid; Ingenieros Sanitarios de Apoyo: Juan Manuel Osorio Zapata, Carlos Andrés Jaramillo; Ingeniero de Modelación: Osfredilian Gallo Gómez; Asesor Hidráulica: Mauricio Toro Botero; Asesor en Hidrología. Luis Fernando Carvajal Serna; Asesor Modelación: Carlos A. Sierra R.; Asesor Biológico: Néstor Jaime Aguirre; Profesional en SIG: Neiler Medina Peña; Nixon A. Aristizábal Niño; Desarrolladores Bases de Datos: Willian Díaz V.; Andrés Felipe López; Carolina Zapata Vanegas; Asesores PORH: Juan Carlos Rodríguez Arboleda; Juan Camilo Villegas; Asesor Calidad de Aguas: Yamilet Arcos Arango, José Adrián Ríos, Gabriel Jaime Maya V.; Coordinador Agua Subterránea: Dra. Teresita Betancur Vargas; Profesional en Interpretación química del agua: Paola Andrea Palacio Buitrago; Especialista en Gestión Ambiental del Agua y Asesor PORH: Miriam de Jesús Benjumea Hernández; Profesional en modelación espacial y bases de datos de aguas subterráneas: Cristina Martínez Uribe; Juliana Ossa Valencia; Área Comunicaciones: Facultad de Comunicaciones UdeA; Julieth Andrea Bravo L.; Asesores: Paula Arias G.; Ángela María Rendón P.; Sara Vieira Agudelo; Juan Olga Lucía Monsalve Ortíz; Diana Martínez Ceballos; Tallerista Aguas Subterráneas Oliver Mauricio Ballesteros Garzón; Auxiliares de Ingeniería: Natalia Hernández Morales, Alejandra Cifuentes Zapata, Andrés Mauricio Zapata R.; Julián Alexander Gómez Ortiz; Nicolás Estebán Muñoz; Henry Augusto Medina V.; Ángel José Cardona Pérez; Jhon Camilo Duque Duque; David Ricardo Campillo; Jorge Andrés Villada; José Carlos Díaz M.; Matilde Tobón Maya; Yhorman David Cano C.; Juan David López Hernández; Auxiliar Administrativa: Sandra E. Flórez Hoyos.

Interventoría:

Colnet Ingeniería Ambiental, María Alejandra Echeverri Arango; Norbert Johany Ayala Ocampo; Diana Álvarez Restrepo; Nora Villegas Jiménez; Luis Fernando Quintero López.

Medellín, 30 de junio de 2014

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	8
2	AGUA SUPERFICIAL	8
2.1	CLASIFICACIÓN DE CAMPAÑAS POR CAUDAL.....	8
2.2	ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS DE 2013 (RESUMEN POR ESTACIÓN)	9
2.3	RESUMEN PERFIL DEL RÍO	29
2.3.1	Análisis exploratorio multivariado (gráfico de estrella “sunrayplot”).....	32
2.3.2	Análisis factorial.....	37
2.3.3	Análisis clúster.....	41
2.3.4	Contraste de rangos múltiples para todos los análisis	44
2.4	RESUMEN ESTADÍSTICO POR CONDICIONES CLIMÁTICAS Y NIVELES DE CAUDAL	46
3	CONSOLIDADO HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las campañas de acuerdo a los caudales medidos.....	8
Tabla 2. Estimadores descriptivos de la estación San Miguel en el 2013.....	9
Tabla 3. Estimadores descriptivos de la estación Ancón Sur en el 2013.....	11
Tabla 4. Estimadores descriptivos de la estación Antes de San Fernando en el 2013.....	13
Tabla 5. Estimadores descriptivos de la estación Después de San Fernando en el 2013.....	15
Tabla 6. Estimadores descriptivos de la estación Aula Ambiental en el 2013	17
Tabla 7. Estimadores descriptivos de la estación Puente Acevedo en el 2013	19
Tabla 8. Estimadores descriptivos de la estación Puente Machado en el 2013	21
Tabla 9. Estimadores descriptivos de la estación Niquía en el 2013.....	23
Tabla 10. Estimadores descriptivos de la estación Ancón Norte en el 2013.....	25
Tabla 11. Estimadores descriptivos de la estación Puente Gabino en el 2013.....	27
Tabla 12. Factor análisis para el río.....	37
Tabla 13. Análisis factorial	40
Tabla 14. Comparación de rangos múltiples (LSD) para el análisis de todas las estaciones...	44
Tabla 15. Comparación de rangos múltiples (LSD) para el análisis de las quebradas	45
Tabla 16. Agrupamientos de quebradas afluentes al río	46
Tabla 17. Resumen estadístico para caudales medios (caudal 2).....	47
Tabla 18. Resumen estadístico para caudales altos (caudal 3)	47
Tabla 19. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación San Miguel	50
Tabla 20. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Ancón Sur	52
Tabla 21. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Antes de San Fernando..	53
Tabla 22. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Aula Ambiental	54
Tabla 23. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Puente Acevedo	55

Tabla 24. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Puente Machado56

Tabla 25. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Ancón Norte57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variación de los sólidos en la estación San Miguel en el 2013.....	10
Figura 2. Variación de los nutrientes en la estación San Miguel en el 2013	10
Figura 3. Variación de los sólidos en la estación Ancón Sur en el 2013.....	12
Figura 4. Variación de los nutrientes en la estación Ancón Sur en el 2013	12
Figura 5. Variación de los sólidos de la estación Antes de San Fernando en el 2013.....	14
Figura 6. Variación de los nutrientes en la estación Antes de San Fernando en el 2013	14
Figura 7. Variación de los sólidos en la estación Después de San Fernando en el 2013.	16
Figura 8. Variación de los nutrientes en la estación después de San Fernando en el 2013. ...	16
Figura 9. Variación de los sólidos en la estación Aula ambiental en el 2013.....	18
Figura 10. Variación de los nutrientes en la estación después de Aula Ambiental en el 2013.	18
Figura 11. Variación de los sólidos en la estación Puente Acevedo en el 2013.	20
Figura 12. Variación de los nutrientes en la estación Puente Acevedo en el 2013.....	20
Figura 13. Variación de los sólidos de la estación Puente Machado en el 2013.....	22
Figura 14. Variación de los nutrientes de la estación Puente Machado en el 2013.....	22
Figura 15. Variación de los sólidos de la estación Niquía en el 2013.....	24
Figura 16. Variación de los nutrientes de la estación Niquía en el 2013	24
Figura 17. Variación de los sólidos de la estación Ancón Norte en el 2013.....	26
Figura 18. Variación de los nutrientes de la estación Ancón Norte en el 2013	26
Figura 19. Variación de los sólidos de la estación Puente Gabino en el 2013.....	28
Figura 20. Variación de los nutrientes de la estación Puente Gabino en el 2013.	28
Figura 21. Diagrama de cajas esquemáticas del BMWP y diversas variables por estación durante el año 2013.....	29
Figura 22. Diagrama de cajas esquemáticas del BMWP y diversas variables por campaña de monitoreo.....	31
Figura 23. Interpretación y descripción de variables en el gráfico de estrella.	33

Figura 24. Gráfico de estrellas (sunray plot) para cinco campañas ejecutadas en el año 2013 en diez estaciones de monitoreo.	34
Figura 25. Variación de los intervalos para las medias del factor por campañas de monitoreo.....	37
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 2010.	38
Figura 28. Variación del factor 1 en el perfil del río a lo largo de todas las campañas de 2010	39
Figura 29. Variación de los intervalos para las medias del factor por quebradas	40
Figura 30. Dendograma por estaciones de muestreo para el 2012.....	41
Figura 31. Dendograma por estaciones de muestreo para el 2013 y 2014	42
Figura 32. Dendograma por estaciones de muestreo en quebradas para Fase IV	44
Figura 33. Variación del ICA Global en el perfil del río para el 2012, 2013 y 2014	48
Figura 34. Variación de los sólidos suspendidos Totales en el perfil del río para el 2012, 2013 y 2014.....	49
Figura 35. Variación del ICA global en el perfil del río en diferentes niveles de caudal	49

1 INTRODUCCIÓN

Para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, es fundamental como Autoridad Ambiental velar por la recuperación y protección de la principal fuente hídrica, articuladora de la región metropolitana, el río Aburrá - Medellín, para tal fin, es clave disponer de información periódica que dé cuenta del estado mediante el monitoreo y seguimiento de los parámetros físico-químicos y biológicos, considerando variables hidrogeológicas, hidráulicas, antrópicas, geomorfológicas, biocinéticas y físico espaciales.

La información obtenida a partir de los monitoreos de calidad y cantidad de agua realizados a lo largo del proyecto RedRío, han sido de gran utilidad para los diferentes estudios en los que se ha requerido de un diagnóstico de la calidad de agua del recurso hídrico superficial, es el caso del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá (POMCA) donde la información de RedRío fue un valioso aporte en la etapa de diagnóstico, asimismo, en la línea base para establecer los objetivos de calidad para el río Aburrá – Medellín en el año 2006, y para su revisión en el año 2011. De igual manera, el contar con información propia del río le ha permitido a la Autoridad Ambiental realizar un seguimiento a la calidad del recurso en el tiempo.

Posteriormente, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, a través de la Subdirección Ambiental, sosteniendo la iniciativa de la Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca hidrográfica del Río Aburrá-Medellín como una herramienta para determinar las características del río, incorpora las aguas subterráneas como componente a ser monitoreado y evaluado como constituyente integral del ciclo hidrológico en la cuenca, acorde con los lineamientos definidos en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Como informe ejecutivo se presenta a continuación un documento consolidado con los resultados más representativos de la cuarta fase del proyecto RedRío, en su componente de Aguas superficiales.

2 AGUA SUPERFICIAL

2.1 CLASIFICACIÓN DE CAMPAÑAS POR CAUDAL

Tabla 1. Clasificación de las campañas de acuerdo a los caudales medidos

NÚMERO DE CAMPAÑA	CAMPAÑA DE MUESTREO	CLASIFICACIÓN DE CAUDAL
2	24-oct-12	Medio
4	14-nov-12	medio
7	27-feb-13	medio
9	17-abr-13	medio
10	22-may-13	alto
11	19-jun-13	Medio
18	25-sep-13	medio
20	26-feb-14	medio

Fuente. Informe de indicadores de calidad RedRío Fase IV

2.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS DE 2013 (RESUMEN POR ESTACIÓN)

En este numeral se presenta un resumen consolidado para 2013 por estación de las variables de calidad a partir de los estimadores representativos de los datos, entre los cuales se incluyen: media aritmética (promedio) y mediana, como medidas de tendencia central muestrales, y como estimadores de dispersión muestrales: desviación estándar y varianza. También se determinaron los valores mínimos, máximos y rangos.

2.2.1.1 Estación San Miguel (E1)

A continuación se presenta un resumen consolidado de la calidad del agua del 2013 con estimadores descriptivos para la estación San Miguel (E1)

Tabla 2. Estimadores descriptivos de la estación San Miguel en el 2013

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,222	7,310	0,059	0,243	6,820	7,430	0,610
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	7,450	7,460	0,057	0,240	7,190	7,810	0,620
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	27,280	27,600	0,487	0,698	26,100	27,800	1,700
DBO5 (mg/L)	5	4,600	5,000	0,800	0,894	3,000	5,000	2,000
DQO (mg/L)	5	13,520	14,000	11,357	3,370	10,000	18,500	8,500
Fósforo Total (mg P/L)	5	0,103	0,041	0,008	0,091	0,032	0,206	0,174
Fosfatos(mg P/L)	5	0,043	0,018	0,002	0,049	0,013	0,130	0,117
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,028	0,016	0,001	0,024	0,009	0,063	0,054
Nitratos(mg N/L)	5	0,036	0,040	0,000	0,017	0,009	0,053	0,044
Nitritos (mg N/L)	5	0,005	0,003	0,000	0,004	0,003	0,013	0,010
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	0,404	0,392	0,012	0,111	0,265	0,575	0,310
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	0,559	0,557	0,028	0,167	0,392	0,824	0,432
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	29,300	5,000	1381,450	37,168	3,000	85,000	82,000
Sólidos totales (mg/L)	5	65,000	44,000	2896,000	53,815	12,000	148,000	136,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	19,800	16,000	81,200	9,011	12,000	30,000	18,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	35,700	36,500	382,950	19,569	9,000	63,000	54,000
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	45,200	28,000	2085,180	45,664	0,001	118,000	117,999
BMWP	5	51,800	47,000	295,700	17,196	34,000	80,000	46,000

En la Figura 1 se ilustran los resultados obtenidos para los sólidos en la estación San Miguel, donde se observa que los sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SST) y sólidos fijos totales (SFT) evidenciaron una mayor variabilidad; por el contrario, el conjunto de datos reportado para los parámetros restantes reflejó una menor dispersión.

Lo anterior, se asocia con la explotación de material aluvial aguas arriba del punto de monitoreo, así como también, con el arrastre de partículas vinculado con el proceso de escorrentía y con la resuspensión de material sedimentado en el lecho del cuerpo de agua. No

obstante, las concentraciones registradas para la presente estación se caracterizaron por ser bajas como resultado de la poca intervención antrópica en la zona de estudio.

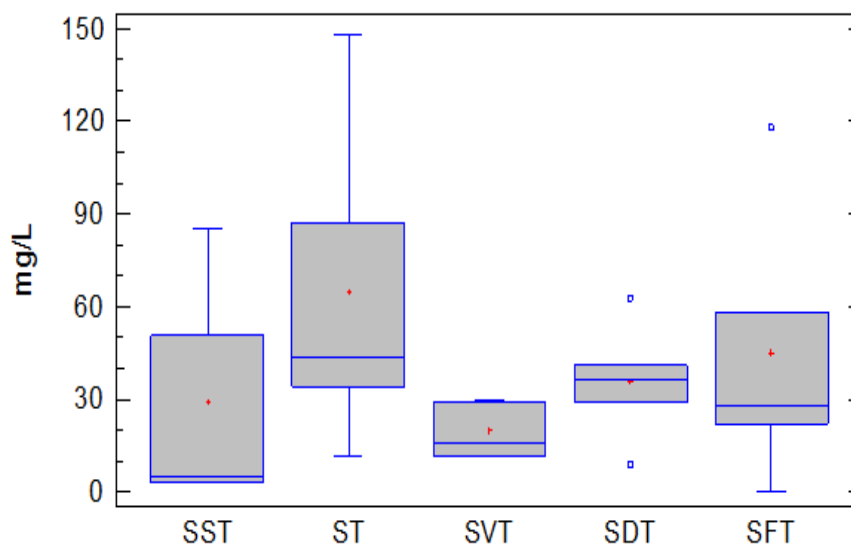


Figura 1. Variación de los sólidos en la estación San Miguel en el 2013

El conjunto de datos obtenido para los nutrientes en la estación San Miguel se muestran en la Figura 2, donde se observa que la mayor parte de los parámetros estudiados evidenciaron una baja variabilidad, mientras que los valores reportados para el fósforo total presentaron mayor dispersión. Por último, los datos atípicos registrados para estas variables se relacionan con los efectos generados en la corriente de agua como resultado de las precipitaciones, sin embargo la poca intervención humana en la zona influye en las bajas concentraciones reportadas.

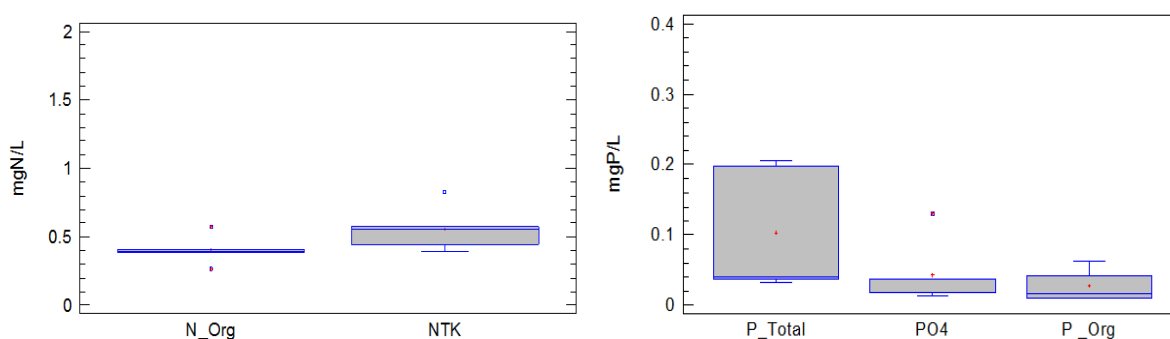


Figura 2. Variación de los nutrientes en la estación San Miguel en el 2013

2.2.1.2 Estación Ancón Sur (E3)

A continuación se presenta un resumen consolidado de la calidad del agua del 2013 con estimadores descriptivos para la estación Ancón Sur (E3).

Tabla 3. Estimadores descriptivos de la estación Ancón Sur en el 2013

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,666	7,650	0,077	0,278	7,310	7,950	0,640
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	6,794	6,920	0,093	0,304	6,270	7,030	0,760
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	141,420	133,800	1458,680	38,193	86,700	182,000	95,300
DBO5 (mg/L)	5	25,680	13,000	516,187	22,720	7,500	55,100	47,600
DQO (mg/L)	5	93,500	71,200	6386,850	79,918	37,100	232,000	194,900
Fósforo Total (mg P/L)	5	0,828	0,663	0,194	0,441	0,487	1,590	1,103
Fosfatos(mg P/L)	5	0,357	0,404	0,013	0,115	0,228	0,468	0,240
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,271	0,238	0,052	0,228	0,082	0,655	0,573
Nitratos(mg N/L)	5	0,162	0,106	0,013	0,116	0,074	0,360	0,286
Nitritos (mg N/L)	5	0,069	0,068	0,001	0,034	0,019	0,109	0,090
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	3,396	2,740	2,655	1,630	1,960	5,880	3,920
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	4,766	4,440	3,231	1,797	2,700	7,560	4,860
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	292,490	29,400	174468,000	417,693	26,500	984,250	957,750
Sólidos totales (mg/L)	5	431,800	159,000	204908,000	452,667	137,000	1189,000	1052,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	80,000	53,000	3825,500	61,851	44,000	189,000	145,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	139,310	127,500	1416,720	37,639	107,700	204,750	97,050
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	351,800	110,000	153917,000	392,323	93,000	1000,000	907,000
BMWP	5	7,400	9,000	50,293	7,092	0,001	15,000	14,999

En la Figura 3, se evidencia un incremento en la concentración de sólidos con respecto a la estación san Miguel, asociado con la confluencia de diferentes quebradas así como también con las descargas de aguas residuales provenientes de los municipios de Caldas y La Estrella. En ella, se observa que los sólidos totales (ST), los sólidos suspendidos (SST) y los sólidos fijos totales (SFT) presentaron una mayor variabilidad que los parámetros restantes, lo cual se asocia con la ocurrencia de lluvias en la zona de estudio, mientras que los sólidos disueltos totales (SDT) y los sólidos volátiles totales (SVT) evidenciaron una menor dispersión.

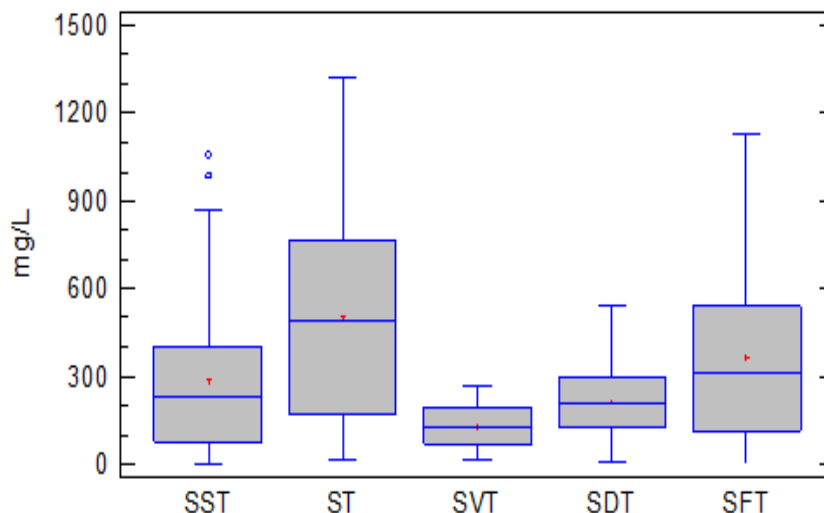


Figura 3. Variación de los sólidos en la estación Ancón Sur en el 2013

En la Figura 4 se evidenció un incremento en la concentración de nutrientes para la presente estación, donde se destaca que los mismos presentaron una variabilidad baja y cuyas concentraciones se relacionan con la confluencia de quebradas como La Miel y La Valeria, entre otras, así como también con las descargas de aguas residuales de tipo doméstico e industrial provenientes de los municipios de Caldas y La Estrella.

Los valores atípicos registrados para los nutrientes se relacionan con el arrastre de partículas generado por la ocurrencia de procesos de escorrentía como resultado de precipitaciones evidenciadas en la zona de estudio y la resuspensión de material sedimentado en el lecho de la corriente.

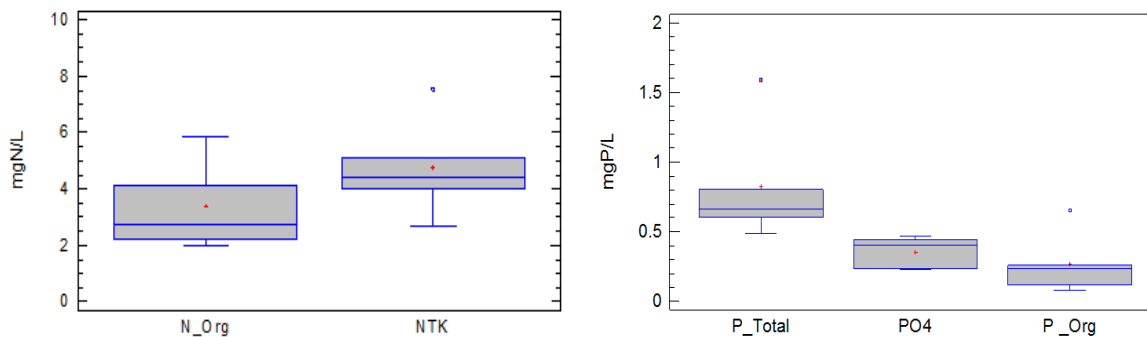


Figura 4. Variación de los nutrientes en la estación Ancón Sur en el 2013

2.2.1.3 Estación Antes de San Fernando (E5)

A continuación se presenta un resumen consolidado de la calidad del agua del 2013 con estimadores descriptivos para la estación Antes de San Fernando (E5)

Tabla 4. Estimadores descriptivos de la estación Antes de San Fernando en el 2013

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,664	7,600	0,012	0,109	7,580	7,830	0,250
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	6,978	6,890	0,126	0,355	6,620	7,430	0,810
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	154,760	147,000	778,483	27,901	119,300	185,200	65,900
DBO5 (mg/L)	5	19,800	13,100	425,335	20,624	5,000	56,200	51,200
DQO (mg/L)	5	91,740	55,200	7194,910	84,823	34,600	238,800	204,200
Fósforo Total (mg P/L)	5	0,871	0,700	0,300	0,548	0,377	1,810	1,433
Fosfatos(mg P/L)	5	0,379	0,372	0,021	0,144	0,191	0,571	0,380
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,214	0,173	0,053	0,229	0,034	0,610	0,576
Nitratos(mg N/L)	5	0,183	0,150	0,031	0,176	0,021	0,482	0,461
Nitritos (mg N/L)	5	0,147	0,117	0,011	0,104	0,018	0,261	0,243
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	4,556	2,690	16,727	4,090	0,502	9,050	8,548
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	6,078	4,700	18,215	4,268	1,020	11,100	10,080
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	318,716	36,200	206333,000	454,239	18,500	1058,750	1040,250
Sólidos totales (mg/L)	5	470,000	170,000	263243,000	513,072	127,000	1324,000	1197,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	86,600	57,000	4389,300	66,252	38,000	195,000	157,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	151,284	129,500	4176,880	64,629	105,300	265,250	159,950
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	383,400	113,000	199951,000	447,159	88,000	1129,000	1041,000
BMWP	5	9,400	6,000	118,795	10,899	0,001	28,000	27,999

En la Figura 5 se observa que el conjunto de datos registrado para los sólidos totales (ST), los sólidos suspendidos (SST) y los sólidos fijos totales (SFT) evidenciaron una alta variabilidad, mientras que los sólidos disueltos totales (SDT) y los sólidos volátiles totales (SVT) se caracterizaron por presentar una baja dispersión en los datos y las concentraciones más bajas en relación a los parámetros restantes, aunque no menos importantes.

Estos resultados se relacionan con las diversas descargas de aguas residuales realizadas sobre el río Aburrá – Medellín, así como también con la confluencia de diversas quebradas que son usadas como medio de evacuación de residuos de las respectivas subcuencas. Entretanto, los valores atípicos reportados se relacionan con eventos de lluvia en la zona de estudio o aguas arriba de la misma, los cuales generan una resuspensión del material sedimentado en el lecho de la corriente y el lavado de suelos vinculado con procesos de escorrentía.

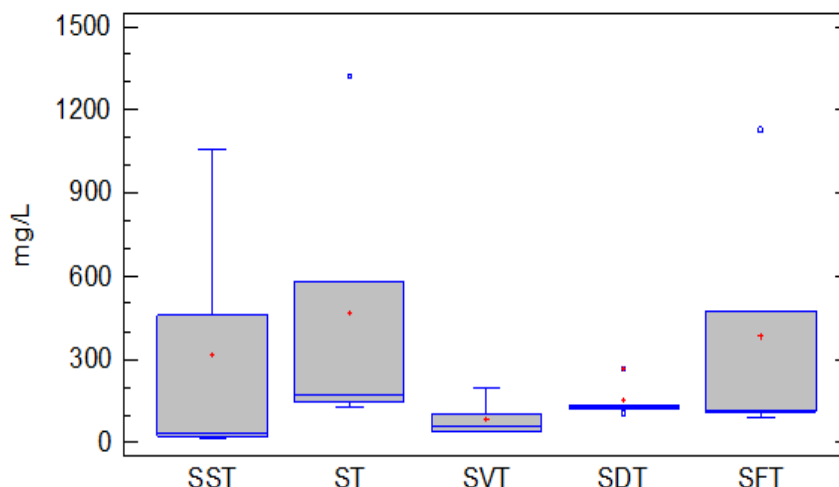


Figura 5. Variación de los sólidos de la estación Antes de San Fernando en el 2013

La variación en la concentración de fósforo y nitrógeno reportados para la estación Antes de San Fernando se ilustra en la Figura 6, donde se observa que los primeros se caracterizaron por evidenciar una baja variabilidad, mientras que el conjunto de datos correspondiente a los compuestos de nitrógeno presento una mayor variabilidad.

Los valores registrados para estos parámetros se relacionan con las descargas de aguas residuales de tipo doméstico e industrial realizadas aguas arriba del punto de monitoreo, mientras que los valores atípicos reportados se relacionan con los efectos generados en la corriente de agua como resultado de las precipitaciones evidenciadas en la zona de estudio.

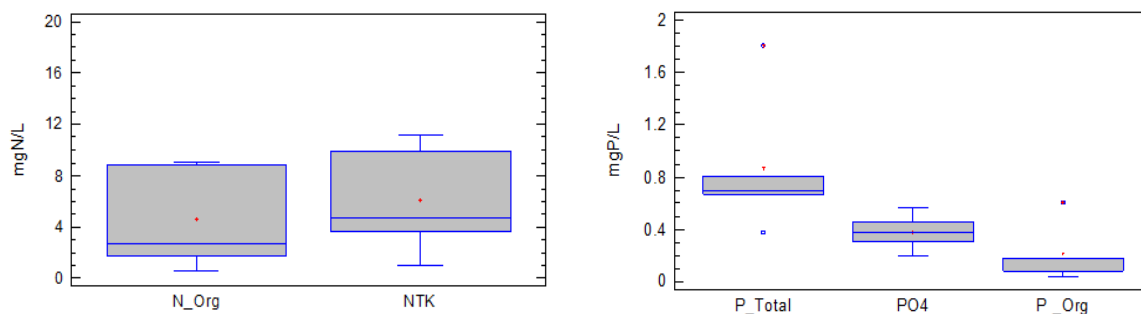


Figura 6. Variación de los nutrientes en la estación Antes de San Fernando en el 2013

2.2.1.4 Estación Después de San Fernando (E6)

A continuación se presenta un resumen consolidado de la calidad del agua del 2013 con estimadores descriptivos para la estación Después de San Fernando (E6)

Tabla 5. Estimadores descriptivos de la estación Después de San Fernando en el 2013

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,310	7,400	0,282	0,531	6,440	7,780	1,340
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	5,552	4,950	1,548	1,244	4,370	7,260	2,890
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	407,780	385,000	20978,900	144,841	202,900	580,000	377,100
DBO5 (mg/L)	5	42,080	32,300	512,112	22,630	16,600	66,700	50,100
DQO (mg/L)	5	153,300	160,000	7701,500	87,758	49,600	286,300	236,700
Fósforo Total (mg P/L)	5	1,900	2,110	1,450	1,204	0,676	3,660	2,984
Fosfatos(mg P/L)	5	0,687	0,409	0,288	0,536	0,268	1,590	1,322
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,487	0,440	0,078	0,279	0,235	0,940	0,705
Nitratos(mg N/L)	5	0,237	0,140	0,072	0,268	0,064	0,712	0,648
Nitritos (mg N/L)	5	0,102	0,102	0,004	0,066	0,030	0,186	0,156
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	6,192	6,100	2,290	1,513	4,290	7,900	3,610
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	15,940	18,300	16,813	4,100	11,000	19,700	8,700
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	259,680	134,000	92390,400	303,958	67,100	788,500	721,400
Sólidos totales (mg/L)	5	479,200	297,000	115953,000	340,518	276,000	1074,000	798,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	131,300	107,000	6364,700	79,779	59,000	265,500	206,500
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	219,520	228,800	10881,200	104,313	51,400	323,000	271,600
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	347,900	233,000	69360,800	263,364	185,000	808,500	623,500
BMWP	5	11,000	8,000	57,000	7,550	6,000	24,000	18,000

En la Figura 7, se percibe que los sólidos suspendidos totales (SST), los sólidos totales (ST) y los sólidos fijos (SFT), mostraron mayor variación en comparación a los demás sólidos, los cuales se caracterizaron por tener un comportamiento más estable. Se destaca que los sólidos totales expusieron registros entre 276,00 y 1074,00 mg/L, reflejando un deterioro progresivo en la corriente. La fracción suspendida, disuelta y fija, representaron el mayor aporte a los resultados evidenciados debido a que aguas arriba del punto de monitoreo, el cuerpo de agua es receptor de una de las descargas más críticas a lo largo de su recorrido proveniente de la PTAR San Fernando. Finalmente se resaltan datos atípicos influenciados por efectos climáticos en cada una de las campañas ejecutadas.

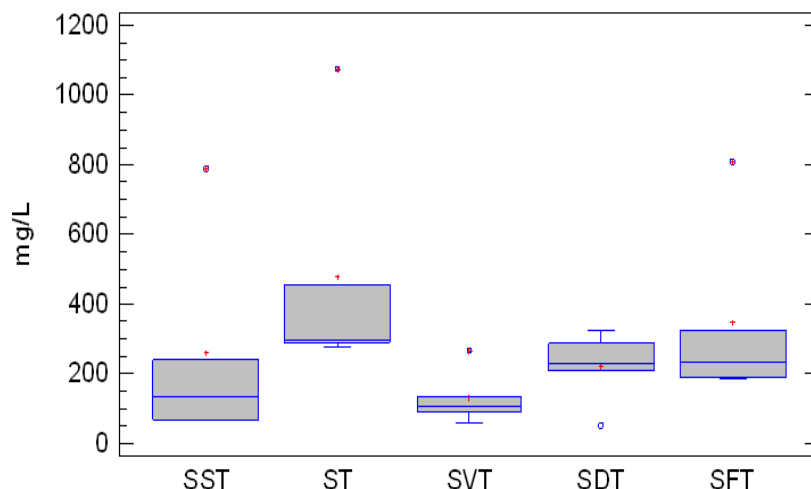


Figura 7. Variación de los sólidos en la estación Después de San Fernando en el 2013.

El comportamiento de los nutrientes en el río se observa en la Figura 8, en donde el NTK y el P total, ostentaron mayor dispersión de los datos. Por su parte los fosfatos y el fósforo orgánico presentaron datos atípicos influenciados por las condiciones climáticas presentadas en el año. Estos resultados son inducidos principalmente por el impacto que sufre el río durante su recorrido y particularmente por el ingreso del efluente proveniente de la planta de tratamiento San Fernando.

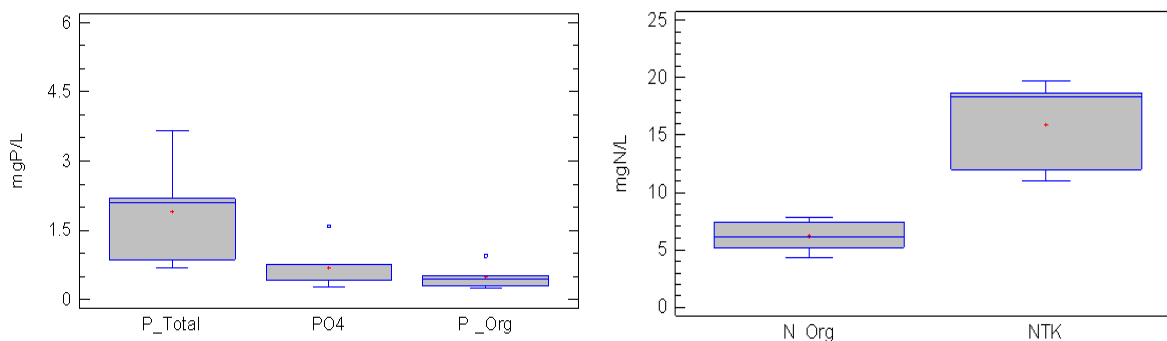


Figura 8. Variación de los nutrientes en la estación después de San Fernando en el 2013.

2.2.1.5 Estación Aula Ambiental (E8)

A continuación se presenta un resumen consolidado de la calidad del agua del 2013 con estimadores descriptivos para la estación Aula Ambiental (E8).

Tabla 6. Estimadores descriptivos de la estación Aula Ambiental en el 2013

VARIABLE	NO. DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,566	7,560	0,055	0,235	7,290	7,880	0,590
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	5,642	5,100	1,119	1,058	4,780	7,170	2,390
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	342,080	350,000	13782,300	117,398	176,400	485,000	308,600
DBO5 (mg/L)	5	40,000	37,500	570,985	23,895	14,600	67,000	52,400
DQO (mg/L)	5	199,380	189,000	9545,440	97,701	87,100	340,100	253,000
Fósforo Total (mg P/L)	5	1,769	1,930	0,751	0,867	0,716	2,900	2,184
Fosfatos(mg P/L)	5	0,951	0,999	0,224	0,473	0,421	1,440	1,019
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,396	0,390	0,068	0,260	0,102	0,790	0,688
Nitratos(mg N/L)	5	0,231	0,155	0,046	0,215	0,073	0,602	0,529
Nitritos (mg N/L)	5	0,108	0,148	0,005	0,068	0,018	0,168	0,150
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	8,372	7,000	9,710	3,116	4,960	12,700	7,740
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	17,180	17,900	28,167	5,307	11,500	24,400	12,900
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	338,026	326,500	49216,000	221,847	105,800	583,400	477,600
Sólidos totales (mg/L)	5	559,200	650,000	89075,200	298,455	167,000	855,000	688,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	127,600	114,000	2148,300	46,350	82,000	201,000	119,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	221,174	252,570	10043,800	100,219	61,200	323,500	262,300
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	431,600	509,000	70733,800	265,958	67,000	679,000	612,000
BMWP	5	4,600	3,000	27,298	5,225	0,001	13,000	12,999

En la Figura 9, se refleja mayor variabilidad en los sólidos totales, suspendidos y fijos como resultado del deterioro en la corriente a causa de los numerosos vertimientos de agua residual y el ingreso de quebradas con alto contenido de sólidos por causa de actividades de explotación realizadas en la parte de alta de las subcuencas, entre las más críticas se resaltan La Hueso, La Santa Elena y La Iguaá. Entre tanto los sólidos volátiles presentaron un comportamiento estable con una diferencia entre sus valores extremos de 119 mg/L.

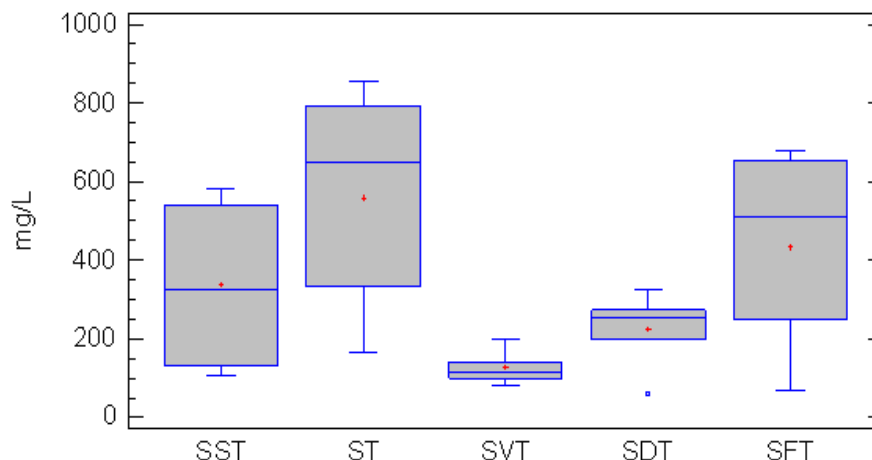


Figura 9. Variación de los sólidos en la estación Aula ambiental en el 2013.

La Figura 10, exhibe la variabilidad en los resultados de los nutrientes en el río, en donde se evidencia un deterioro significativo representado particularmente por las especies nitrógeno total y fósforo total. Estos resultados reflejan un deterioro importante de la corriente a causa de los numerosos vertimientos que recibe hasta este punto. Adicionalmente, se destaca que las especies fósforo orgánico y fosfatos presentaron mayor consistencia en los registros obtenidos.

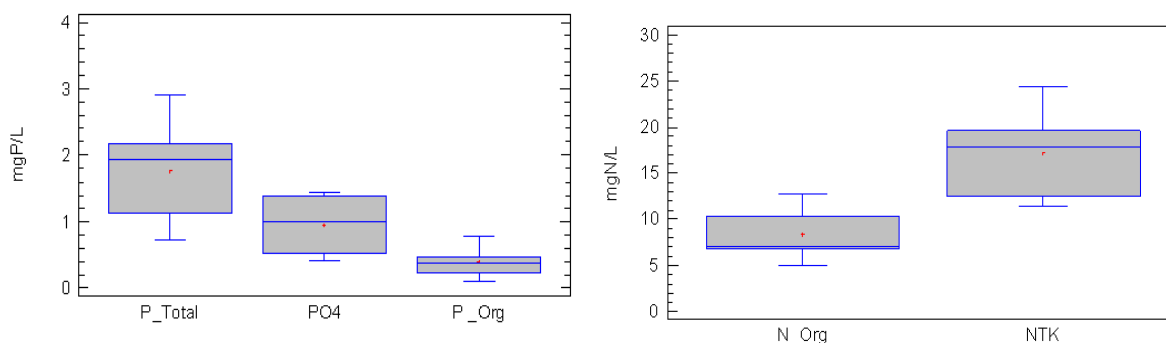


Figura 10. Variación de los nutrientes en la estación después de Aula Ambiental en el 2013.

2.2.1.6 Estación Puente Acevedo (E9).

A continuación se presenta un resumen consolidado de la calidad del agua del 2013 con estimadores descriptivos para la estación Aula Ambiental (E8).

Tabla 7. Estimadores descriptivos de la estación Puente Acevedo en el 2013

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,366	7,540	0,138	0,371	6,710	7,590	0,880
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	2,688	1,650	4,870	2,207	1,030	6,360	5,330
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	472,200	509,000	21685,700	147,261	243,000	618,000	375,000
DBO5 (mg/L)	5	75,900	83,500	1481,030	38,484	32,400	117,000	84,600
DQO (mg/L)	5	261,740	279,600	10594,900	102,932	96,400	378,700	282,300
Fósforo Total (mg P/L)	5	3,022	3,550	1,244	1,115	1,620	4,150	2,530
Fosfatos(mg P/L)	5	1,804	1,810	0,888	0,942	0,598	2,870	2,272
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,882	0,722	0,125	0,353	0,510	1,360	0,850
Nitratos(mg N/L)	5	0,361	0,164	0,150	0,388	0,137	1,045	0,908
Nitritos (mg N/L)	5	0,014	0,008	0,000	0,016	0,002	0,040	0,038
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	10,600	12,200	13,275	3,643	4,100	12,500	8,400
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	23,580	28,700	54,517	7,384	15,100	29,200	14,100
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	283,630	323,430	20294,100	142,457	143,880	481,380	337,500
Sólidos totales (mg/L)	5	580,700	650,000	20886,000	144,520	395,500	726,000	330,500
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	182,800	172,000	2217,200	47,087	133,000	233,000	100,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	297,146	315,120	6361,270	79,758	192,000	402,570	210,570
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	397,900	419,000	15926,800	126,201	250,500	540,000	289,500
BMWP	5	1,201	0,001	3,198	1,788	0,001	4,000	3,999

La Figura 11, revela una situación crítica en el río asociada a los reportes de sólidos obtenidos en esta estación durante el presente año. Puede observarse que así como en las estaciones anteriores, los sólidos suspendidos, totales y fijos presentaron mayor variabilidad; por su parte en este punto los sólidos disueltos y volátiles pasaron de tener un comportamiento estable a mostrar variaciones más significativas entre los valores registrados. Esta conducta evidencia condiciones deploras en la corriente teniendo en cuenta que la mayoría de sólidos exponen concentraciones superiores a los 400,00 mg/L exceptuando los sólidos volátiles.

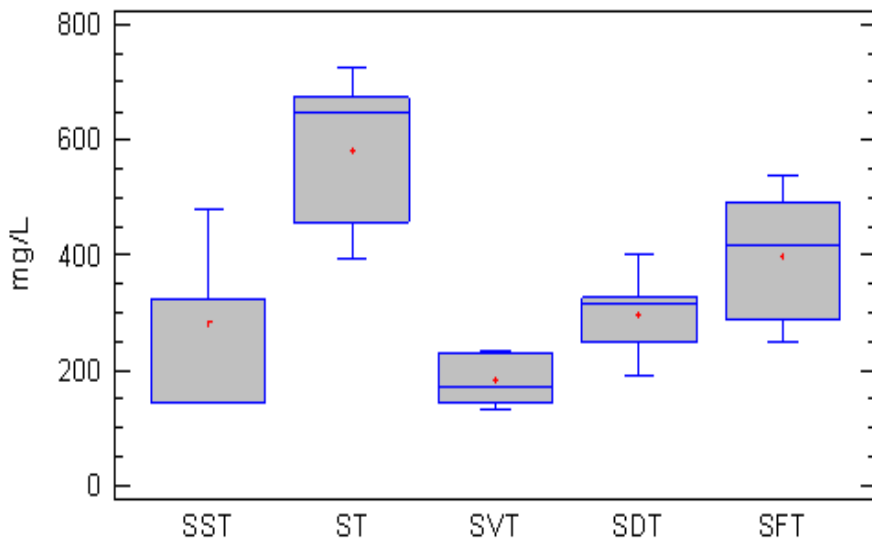


Figura 11. Variación de los sólidos en la estación Puesto Acevedo en el 2013.

La Figura 12, expone el comportamiento de los nutrientes en la estación puente Acevedo, la cual se ha caracterizado por presentar condiciones críticas en todos los parámetros evaluados. Se observa de manera consistente que el NTK y el Ptotal representan la fracción más importante de nutrientes en la corriente asociada a los numerosos vertimientos de agua residual y a las bajas concentraciones de oxígeno que no permiten su transformación en otros compuestos menos contaminantes. Se resalta que los datos atípicos observados en la especie nitrógeno orgánico, están vinculados a la variación en las condiciones climáticas durante las campañas de monitoreo.

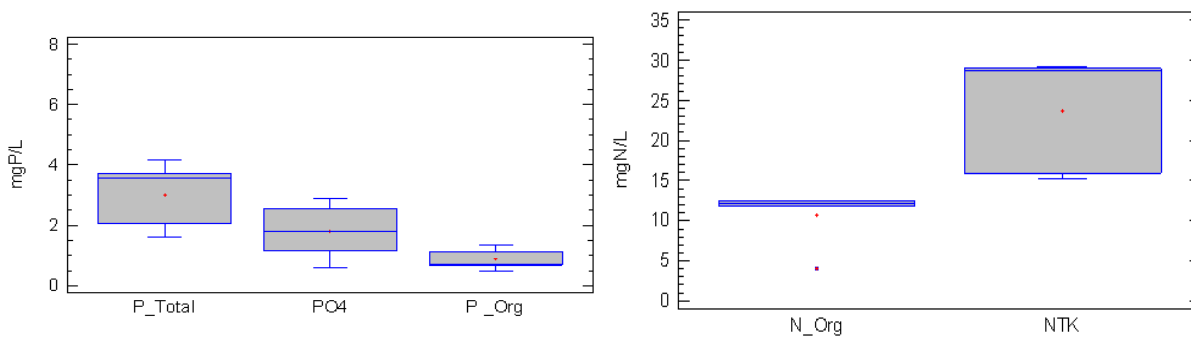


Figura 12. Variación de los nutrientes en la estación Puesto Acevedo en el 2013

2.2.1.7 Estación Puente Machado (E11)

A continuación en la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos en el estudio descriptivo de los valores recolectados en las campañas de monitoreo en la estación Puente Machado en el año correspondiente al 2013.

Tabla 8. Estimadores descriptivos de la estación Puente Machado en el 2013

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,520	7,540	0,003	0,058	7,450	7,590	0,140
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	2,876	1,860	4,753	2,180	1,380	6,700	5,320
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	434,540	493,000	20346,400	142,641	200,700	556,000	355,300
DBO5 (mg/L)	5	73,340	85,200	1828,080	42,756	25,500	116,900	91,400
DQO (mg/L)	5	219,260	233,500	7744,500	88,003	85,600	306,700	221,100
Fósforo Total (mg P/L)	5	3,232	3,690	1,208	1,099	1,590	4,310	2,720
Fosfatos(mg P/L)	5	1,754	1,730	0,896	0,947	0,598	2,960	2,362
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,944	1,150	0,119	0,345	0,510	1,230	0,720
Nitratos(mg N/L)	5	0,341	0,137	0,095	0,308	0,120	0,800	0,680
Nitritos (mg N/L)	5	0,020	0,003	0,001	0,024	0,002	0,050	0,048
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	11,280	11,100	8,707	2,951	7,400	15,100	7,700
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	23,600	24,600	54,025	7,350	14,400	32,500	18,100
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	401,932	397,330	16754,500	129,439	245,000	574,600	329,600
Sólidos totales (mg/L)	5	671,000	770,000	27570,000	166,042	488,000	816,000	328,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	182,700	193,000	2030,450	45,061	123,500	231,000	107,500
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	269,688	243,000	8983,350	94,781	174,670	394,770	220,100
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	488,600	574,500	25058,200	158,298	299,000	646,500	347,500
BMWP	5	1,600	1,000	6,298	2,510	0,001	6,000	5,999

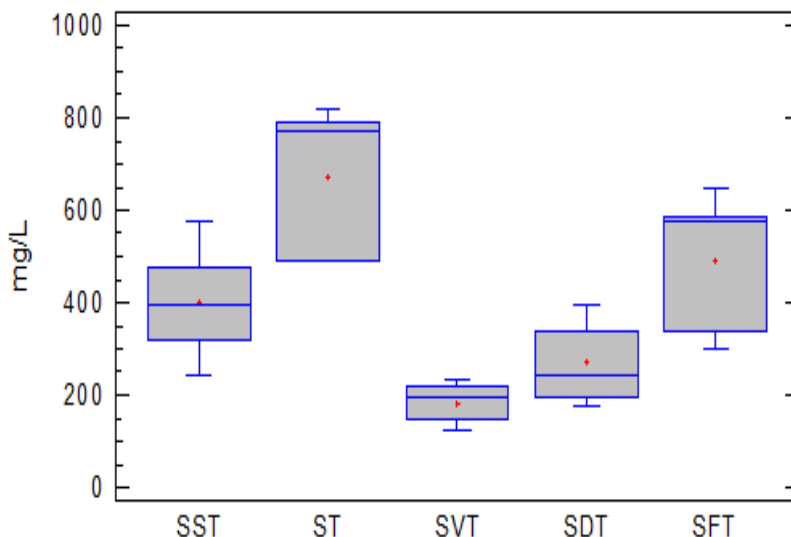


Figura 13. Variación de los sólidos de la estación Puente Machado en el 2013

De los resultados obtenidos para esta estación se puede resaltar que el parámetro que mayor estabilidad presentó fue el pH del agua, donde se puede apreciar que las variables descriptivas para esta serie de datos indican que éstos presentaron poca varianza, contrario a lo observado con otros parámetros como el oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DQO etc., los cuales mostraron desviaciones estándar que en relación a su respectivo promedio, permiten aseverar que hubo una mayor dispersión en los datos.

En la Figura 13 se puede identificar la tendencia que mostraron los parámetros que engloban el análisis de sólidos en el agua, es decir, SST, ST, SVT, SDT y SFT. En la conducta de presentada por éstos, en primera instancia se observa que ostentaron una variación importante que permite concluir que no hubo uniformidad marcada para las variables medidas en la estación E11 en el año 2013, exceptuando para el parámetro SVT, cuyos valores mínimo y máximo no distaron en una magnitud considerable en comparación de las otras variables.

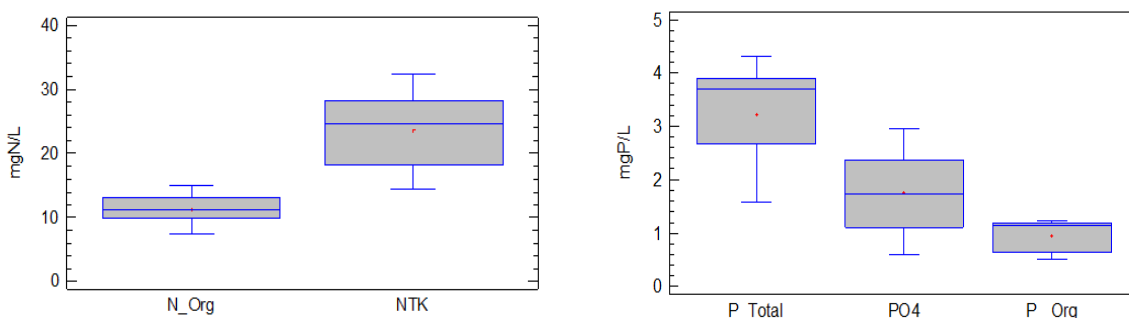


Figura 14. Variación de los nutrientes de la estación Puente Machado en el 2013

Para los parámetros relacionados con los nutrientes nitrógeno y fósforo, en la Figura 14 se presenta el diagrama de caja para los conjuntos de datos que corresponden a las especies analizadas en la estación Puente Machado (E11). Allí se puede observar en el caso del nitrógeno, que la especie nitrógeno orgánico presentó una mayor uniformidad en los datos, similarmente para el parámetro fósforo orgánico se obtuvo una semejanza marcada entre los registros, contrario a lo exhibido por el fósforo total y las especies relacionadas con los fosfatos, los cuales mostraron mayor volatilidad, esencialmente estos resultados al igual que los vistos en los parámetros asociados a los sólidos en el agua, están estrechamente relacionados con las temporadas climáticas de la región especialmente con las condiciones de lluvias, lo que genera como primera consecuencia un cambio abrupto en algunos parámetros.

2.2.1.8 Estación Niquía (E21).

En la Tabla 9 se presenta el resumen del análisis descriptivo, realizado a los datos obtenidos en la estación Niquía tras la realización de los monitoreos del año 2013.

Tabla 9. Estimadores descriptivos de la estación Niquía en el 2013

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,570	7,500	0,013	0,112	7,480	7,720	0,240
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	1,020	1,070	0,097	0,311	0,610	1,330	0,720
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	443,200	501,000	14035,200	118,470	250,000	541,000	291,000
DBO5 (mg/L)	5	57,040	45,600	695,903	26,380	36,600	102,000	65,400
DQO (mg/L)	5	210,980	223,500	5032,080	70,937	102,000	281,000	179,000
Fósforo Total (mg P/L)	5	2,896	2,890	1,286	1,134	1,290	4,090	2,800
Fosfatos(mg P/L)	5	1,482	1,360	0,508	0,713	0,640	2,580	1,940
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,899	0,740	0,227	0,476	0,345	1,450	1,105
Nitratos(mg N/L)	5	0,289	0,164	0,066	0,257	0,149	0,745	0,596
Nitritos (mg N/L)	5	0,021	0,020	0,000	0,019	0,002	0,047	0,045
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	9,152	11,100	12,868	3,587	4,660	12,300	7,640
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	20,600	20,100	34,955	5,912	13,600	27,000	13,400
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	335,126	319,710	33863,400	184,020	111,800	613,000	501,200
Sólidos totales (mg/L)	5	638,400	640,000	39960,300	199,901	334,000	856,000	522,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	166,900	176,000	1188,050	34,468	112,000	196,500	84,500
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	302,654	320,290	4846,410	69,616	222,200	391,670	169,470
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	471,200	447,000	32025,200	178,956	222,000	699,000	477,000
BMVP	5	3,200	1,000	15,697	3,962	0,001	8,000	7,999

Como primer aspecto a resaltar, es este punto de monitoreo el oxígeno disuelto se caracterizó por presentar un valores bajos y uniformes, en cuanto a las otras variables, en resumen se puede mencionar que exceptuando el pH del agua, el cual comúnmente presenta una tendencia estable en el río, los demás exhibieron una dispersión que no es de ignorar.

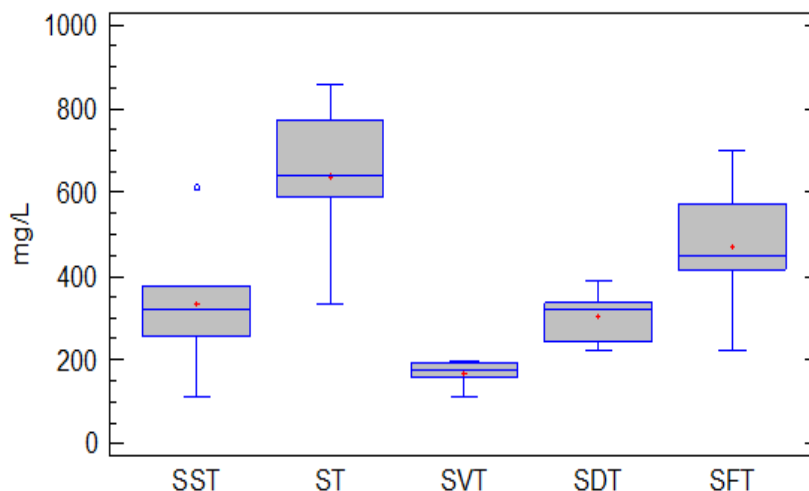


Figura 15. Variación de los sólidos de la estación Niquía en el 2013

Ahora bien, centrándose en la información que se presenta en la Figura 15, se resalta que las variables que allí se exhiben, la que menor varianza presentó fue la serie correspondiente a los SVT, donde al igual que el oxígeno disuelto y el pH del agua, sus respectivos valores mínimos y máximos, fueron relativamente cercanos en comparación a las otras tendencias estudiadas, igualmente se destaca que el resultado en la variación estándar es bajo en comparación con el promedio obtenido para éstas. Luego considerando las condiciones climáticas de la cuenca, se recuerda que esta variabilidad está asociada a los fenómenos de lluvias que se puedan generar en la cuenca y que posteriormente pueden causar efectos de dilución o resuspensión de partículas.

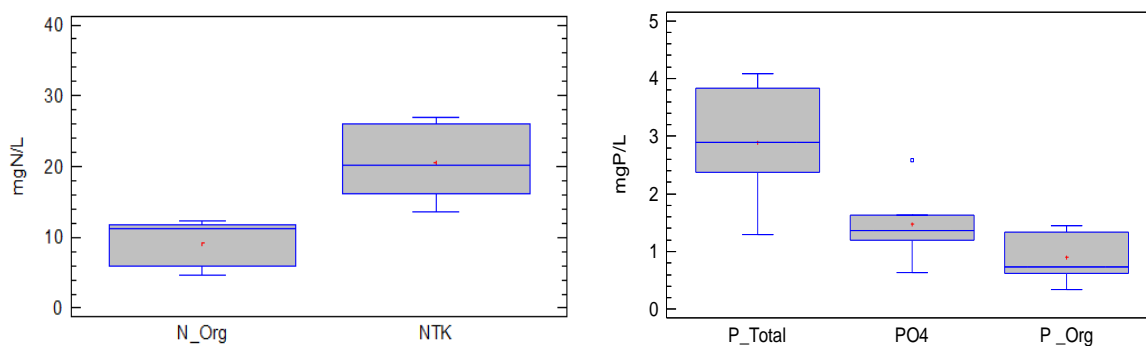


Figura 16. Variación de los nutrientes de la estación Niquía en el 2013

Por otro lado, en la Figura 16 se presenta el diagrama de caja para los nutrientes analizados en la estación Niquía, es decir, las especies relacionadas con el nitrógeno y fósforo medidas en el río. En ésta se puede concluir que en general hubo una dispersión importante en las series de datos de las variables allí exhibidas, donde se resalta que el parámetro con mayor

uniformidad correspondió a los fosfatos, donde vale la pena mencionar que la razón mencionada anteriormente relacionada con las condiciones climáticas de la cuenca, similarmente puede afectar de una manera directa las concentraciones de nutrientes registrados en las campañas de monitoreo.

2.2.1.9 Estación Ancón Norte (E12)

A continuación se presenta un resumen consolidado de la calidad del agua del 2013 con estimadores descriptivos para la estación Ancón Norte (E12)

Tabla 10. Estimadores descriptivos de la estación Ancón Norte en el 2013

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,570	7,500	0,013	0,112	7,480	7,720	0,240
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	1,020	1,070	0,097	0,311	0,610	1,330	0,720
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	443,200	501,000	14035,200	118,470	250,000	541,000	291,000
DBO5 (mg/L)	5	57,040	45,600	695,903	26,380	36,600	102,000	65,400
DQO (mg/L)	5	210,980	223,500	5032,080	70,937	102,000	281,000	179,000
Fósforo Total (mg P/L)	5	2,896	2,890	1,286	1,134	1,290	4,090	2,800
Fosfatos(mg P/L)	5	1,482	1,360	0,508	0,713	0,640	2,580	1,940
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,899	0,740	0,227	0,476	0,345	1,450	1,105
Nitratos(mg N/L)	5	0,289	0,164	0,066	0,257	0,149	0,745	0,596
Nitritos (mg N/L)	5	0,021	0,020	0,000	0,019	0,002	0,047	0,045
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	9,152	11,100	12,868	3,587	4,660	12,300	7,640
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	20,600	20,100	34,955	5,912	13,600	27,000	13,400
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	335,126	319,710	33863,400	184,020	111,800	613,000	501,200
Sólidos totales (mg/L)	5	638,400	640,000	39960,300	199,901	334,000	856,000	522,000
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	166,900	176,000	1188,050	34,468	112,000	196,500	84,500
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	302,654	320,290	4846,410	69,616	222,200	391,670	169,470
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	471,200	447,000	32025,200	178,956	222,000	699,000	477,000
BMWP	5	3,200	1,000	15,697	3,962	0,001	8,000	7,999

En la Figura 17, se muestran los resultados de los sólidos para la estación Ancón Norte (E12) durante el 2013. Allí se puede observar, pese a encontrarse algunos valores atípicos, que las menores variaciones u oscilaciones, se obtuvieron para los sólidos disueltos totales (SDT), seguidos por los sólidos volátiles (SVT) y los sólidos totales (ST). Lo anterior se explica, porque en ésta estación se presenta cierta estabilización de la materia orgánica y de sus compuestos disueltos, resultando en la degradación de sustancias y la posterior demanda de oxígeno, típica de dicha estación. Por otra parte, los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos fijos totales (SFT), exhibieron una mayor variación, asociado principalmente a la ocurrencia de resuspensión u aporte de sedimentos, provenientes de otras subcuencas, que

aportan de forma permanente y con diferente intensidad, gran cantidad de sólidos, ya sea por procesos erosivos naturales o de extracción de material aluvial o de playa.

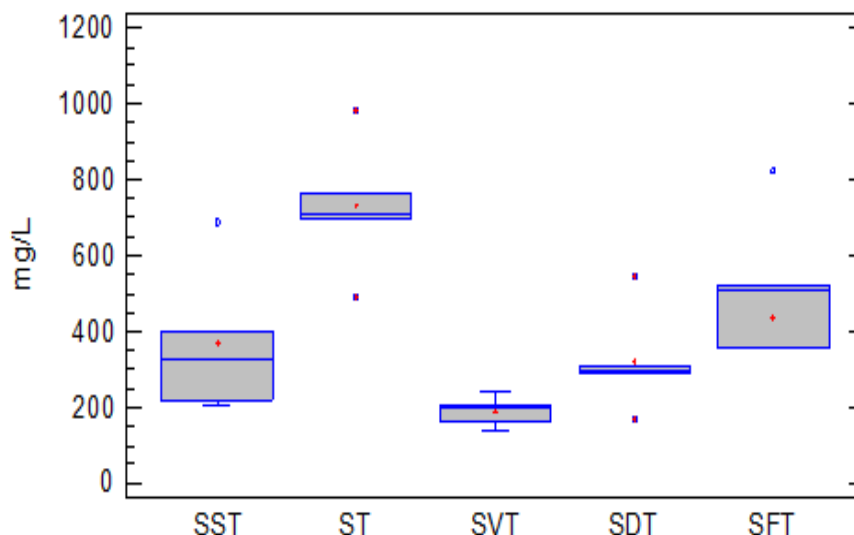


Figura 17. Variación de los sólidos de la estación Ancón Norte en el 2013

En relación con los nutrientes, la Figura 18 refleja que los compuestos de nitrógeno, orgánico y NTK, presentaron una distribución uniforme, con valores promedio muy cercanos a la mediana, exhibiendo una menor variación para en nitrógeno orgánico en comparación con el NTK. Lo anterior indica cierta estabilidad en los valores de ambos parámetros, que entre otros factores, se debe a la composición de los vertimientos de las aguas residuales, así como a los procesos de degradación y asimilación en la corriente. Para el caso de los compuestos de fósforo (fósforo total, fosfatos y fósforo orgánico), estos evidenciaron una mayor dispersión de los resultados, mostrando para las dos primeras formas, valores de la mediana cercanas al tercer cuartil, por encima del promedio, y con un sesgo hacia el valor máximo, en cuanto al fósforo orgánico, se encontró un comportamiento más uniforme de los resultados con una mediana y un promedio similares.

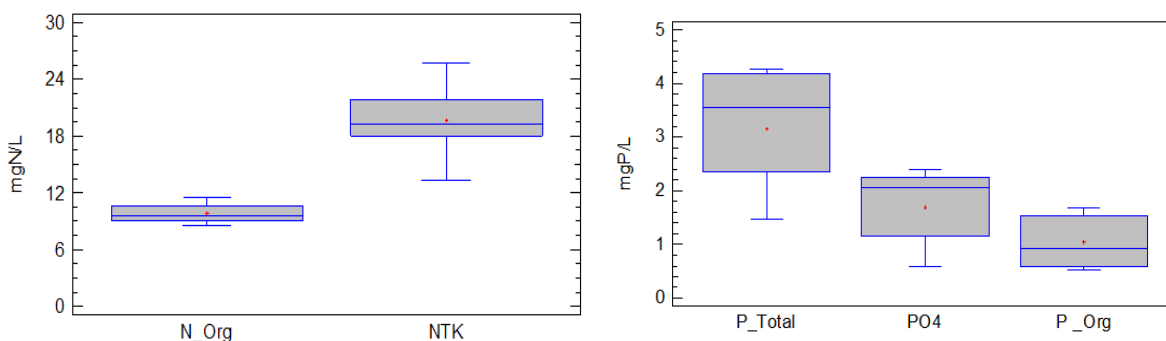


Figura 18. Variación de los nutrientes de la estación Ancón Norte en el 2013

2.2.1.10 Estación Puente Gabino (E20).

A continuación se presenta un resumen consolidado de la calidad del agua del 2013 con estimadores descriptivos para la estación puente Gabino (E20)

Tabla 11. Estimadores descriptivos de la estación Puente Gabino en el 2013

VARIABLE	Nº DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
pH (unidades de pH)	5	7,242	7,240	0,015	0,122	7,120	7,420	0,300
Oxígeno disuelto (mg p/L)	5	6,520	6,520	0,242	0,492	5,770	7,100	1,330
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5	194,994	199,900	3186,970	56,453	126,600	265,870	139,270
DBO5 (mg/L)	5	20,200	16,100	228,215	15,107	5,000	44,000	39,000
DQO (mg/L)	5	74,080	68,600	523,852	22,888	51,200	103,600	52,400
Fósforo Total (mg P/L)	5	1,416	1,350	0,118	0,344	1,010	1,960	0,950
Fosfatos(mg P/L)	5	0,692	0,561	0,339	0,582	0,207	1,700	1,493
Fósforo Orgánico (mg p/L)	5	0,543	0,451	0,128	0,358	0,160	1,130	0,970
Nitratos(mg N/L)	5	0,211	0,190	0,011	0,104	0,106	0,320	0,214
Nitritos (mg N/L)	5	0,143	0,166	0,006	0,076	0,053	0,231	0,178
Nitrógeno orgánico (mg N/L)	5	6,198	5,660	8,639	2,939	3,160	9,340	6,180
Nitrógeno Total Kjeldal (mgNTK/L)	5	8,976	8,740	12,799	3,578	4,030	13,900	9,870
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5	254,550	109,050	117516,000	342,806	75,350	866,250	790,900
Sólidos totales (mg/L)	5	400,300	234,000	144078,000	379,577	167,500	1074,000	906,500
Sólidos volátiles totales (mg/L)	5	86,400	76,000	518,300	22,766	74,000	127,000	53,000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	5	145,750	149,650	2950,830	54,322	58,450	207,750	149,300
Sólidos fijos totales (mg/L)	5	313,900	160,000	127600,000	357,212	88,500	947,000	858,500
BMWP	5	11,800	8,000	87,700	9,365	3,000	27,000	24,000

En la estación Puente Gabino (E20) se observó (ver Figura 19) un comportamiento similar al de la estación Ancón Norte (E12), con algunos datos atípicos y baja variabilidad en los valores de los sólidos disueltos, sólidos volátiles y sólidos totales. Asimismo, los sólidos suspendidos y los fijos, exhibieron una mayor dispersión. Lo anterior se asocia con la alteración que sufren las determinaciones de sólidos debido a los eventos de lluvia, que generan fuertes incrementos (oscilaciones) en la concentración de los sólidos en la corriente.

La Figura 20 permite establecer, que los compuestos de nitrógeno y fósforo, presentaron poca variación en su comportamiento, en relación con la estación Ancón Norte (E12). En donde los valores para el nitrógeno orgánico y el NTK registraron valores similares para cada uno, durante las campañas realizadas, exhibiendo valores promedio muy cercanos a la tendencia central. En cuanto a los compuestos de fósforo, se observó una mayor dispersión para el fósforo total, seguido por los fosfatos, con una tendencia de los datos hacia el valor máximo para cada parámetro, en contraste, el fósforo orgánico presentó un comportamiento más

estable con valores de mediana y promedio cercanos, lo que permite inferir que ésta última forma de fósforo es más estable en la corriente.

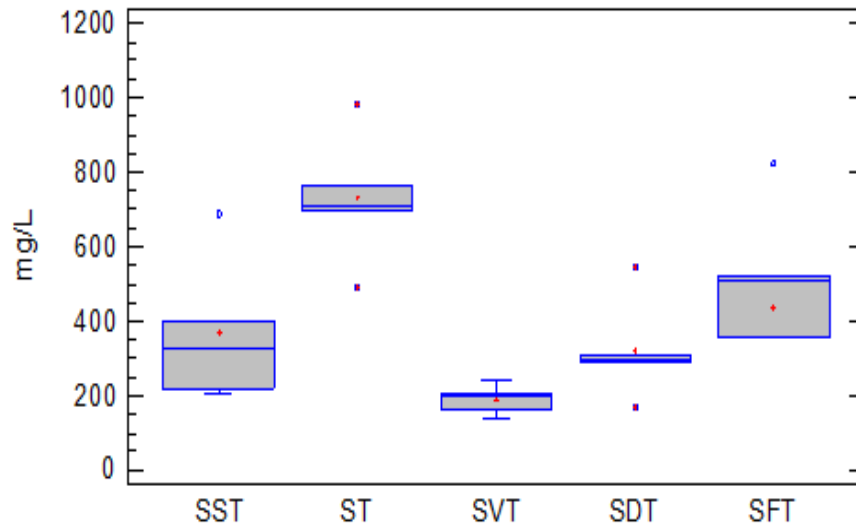


Figura 19. Variación de los sólidos de la estación Puente Gabino en el 2013

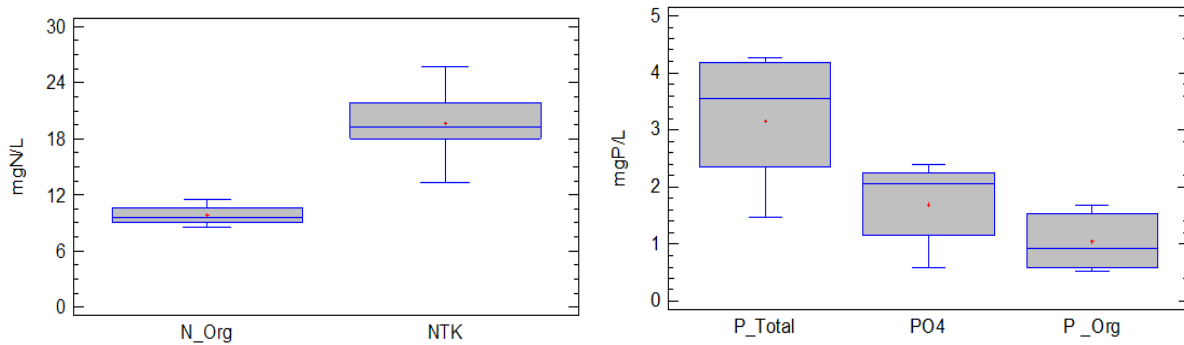


Figura 20. Variación de los nutrientes de la estación Puente Gabino en el 2013.

2.3 RESUMEN PERFIL DEL RÍO

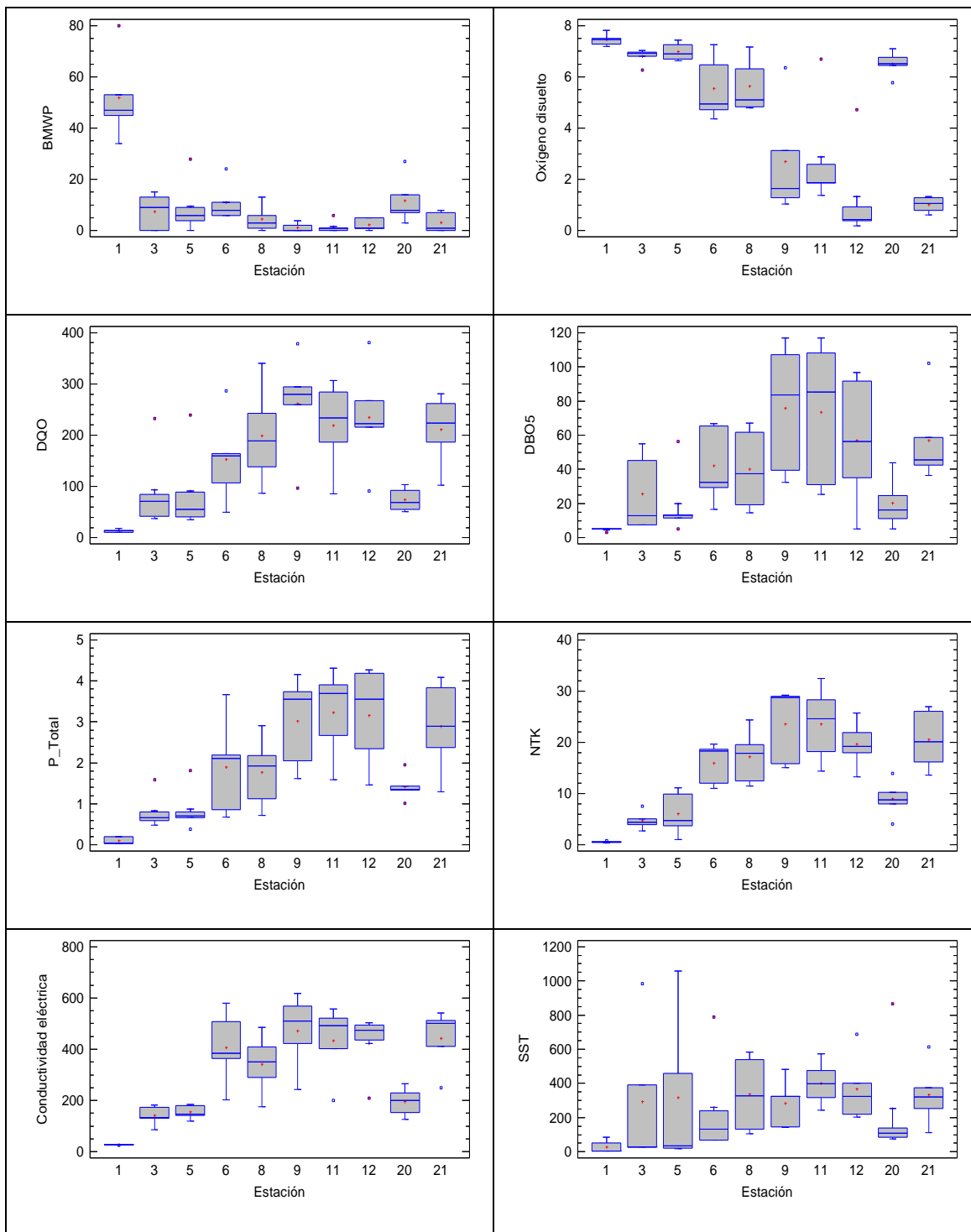


Figura 21. Diagrama de cajas esquemáticas del BMWP y diversas variables por estación durante el año 2013

Con base en las gráficas presentadas en la Figura 21, es evidente que la estación San Miguel (E1) presentó la menor oscilación de las diferentes variables graficadas, solamente el índice BMWP-COL presentó la mayor variación en lo referente a los organismos macroinvertebrados, debido al efecto de la velocidad del flujo sobre el sustrato donde se adhieren, puesto que a esta altura, el río posee marcadamente características de una fuente de alta montaña.

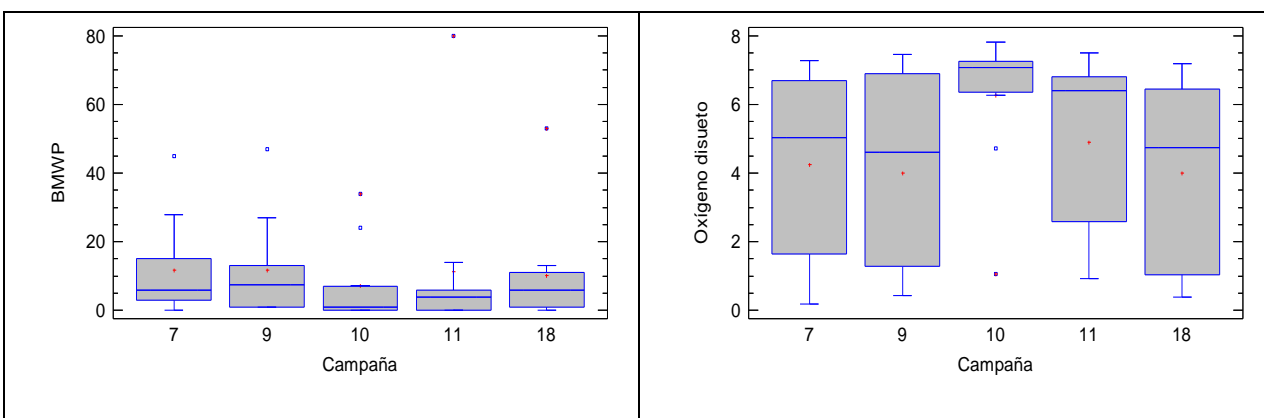
En lo referente a los parámetros fisicoquímicos a lo largo del tramo de estudio, es evidente que los parámetros DQO, DBO₅, nutrientes, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales, muestran un comportamiento con tendencia al incremento hasta las estaciones Niquía (E21) y Ancón Norte (E12), posteriormente se observan decrementos. En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, su comportamiento es inverso a la de los parámetros anteriores, decae hasta la estación E12 y nuevamente se incrementa hasta la estación Puente Gabino (E20).

Finalmente el BMWP mostró un cambio Abrupto de la estación E1 hacia la estación E3; sin embargo se observa que dicho sitio de muestreo presentó una variedad de microorganismos mayor a la de las siguientes estaciones, ya que presenta un canal natural y los siguientes se encuentran ubicadas en el tramo canalizado y han expuesto una mayor carga contaminante, principalmente en las estaciones Niquía (E21) y Ancón Norte (E12). En la estación Puente Gabino, de manera similar a la estación San Miguel, también se encontró cierta estabilidad para el BMWP y disminuciones en la concentración de los parámetros fisicoquímicos, debido a efectos de dilución y circulación del cauce por un canal natural.

Es importante resaltar que los sólidos suspendidos totales describieron una tendencia irregular y los valores más altos se hallaron en el tramo medio de estudio, ya que este parámetro se encuentra altamente asociado a la explotación arenas y gravas para cubrir parte de la demanda del sector constructivo en el valle de Aburrá.

- **Análisis exploratorio por campañas de muestreo sobre el río Aburrá Medellín.**

Para el análisis exploratorio de los datos obtenidos por campaña, también se elaboraron cajas esquemáticas, cuya finalidad como se citó anteriormente es exponer en el tiempo la dispersión de las variables, en este caso para cada una de las campañas de monitoreo ejecutadas durante el 2013 en el proyecto RedRío.



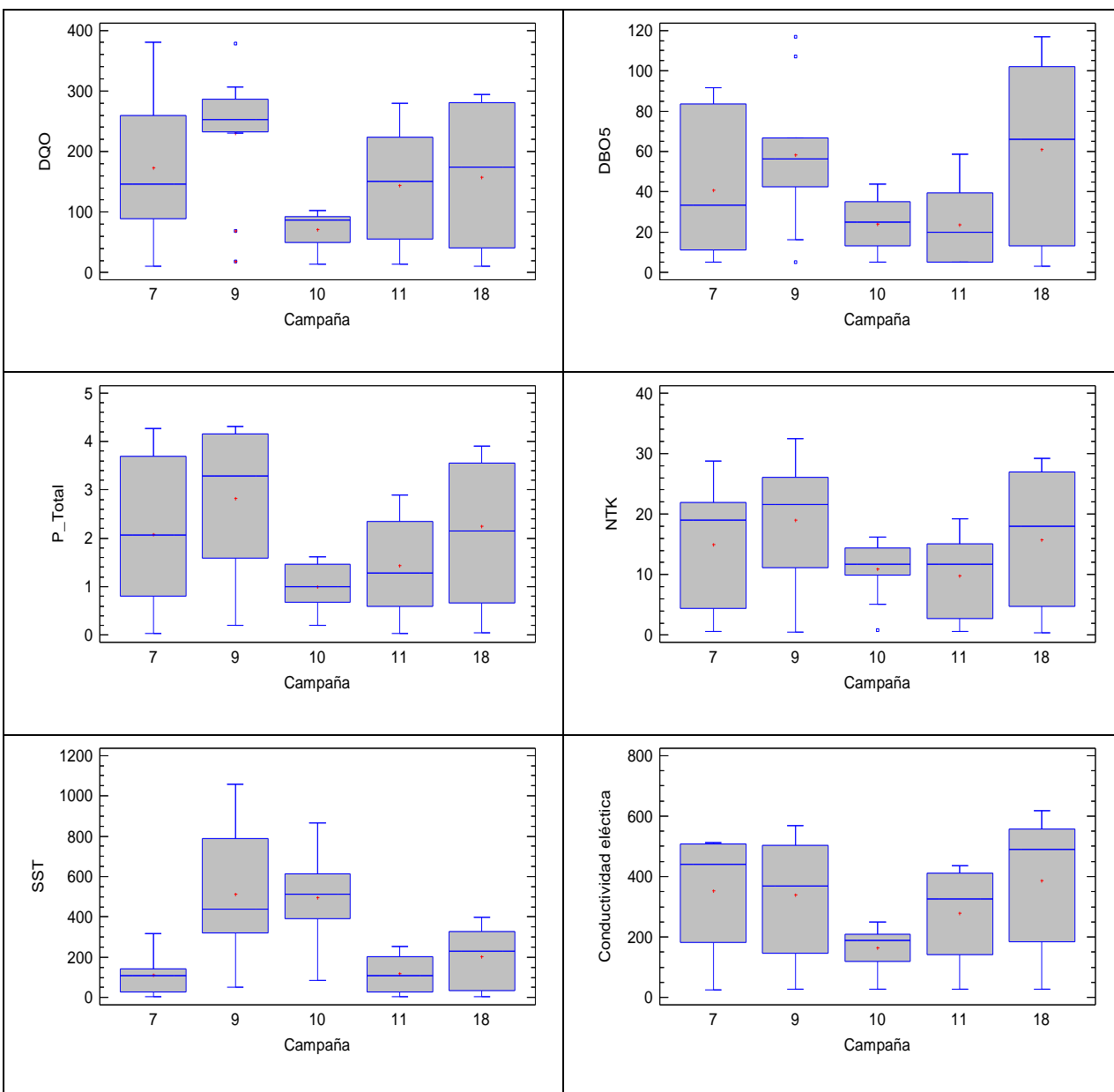


Figura 22. Diagrama de cajas esquemáticas del BMWP y diversas variables por campaña de monitoreo

En la Figura 22, se presentan los diagramas de cajas o bigotes de las variables necesarias para el cálculo del ICA Global, allí se pretende representar la divergencia o convergencia que mostraron los parámetros en cada campaña a lo largo de todas las estaciones de monitoreo.

Como se puede observar en cada una de las representaciones, para el año 2013 se realizaron cinco monitoreos en los cuales se midieron la totalidad de los parámetros que allí se presentan. Primero que todo, se debe resaltar que las condiciones de calidad a lo largo de las estaciones que componen la red de monitoreo de calidad del río Aburrá – Medellín desde el Sur (caldas) hasta el Norte (Barbosa), presentan unas características de calidad muy

cambiantes entre cada estación, debido a los diversos focos de contaminación y que proporcionan cambios fisicoquímicos y ecológicos, de modo que, es usual encontrar una divergencia alta en las series de datos compuestas por los resultados obtenidos en cada campaña.

Ahora bien considerando lo anterior, se puede observar una tendencia clara para algunas variables como es el caso de la conductividad eléctrica, OD y el NTK, donde claramente se puede observar que para 4 de las 5 campañas realizadas más específicamente para la campaña 7,9,11 y 18, se puede considerar que presentaron una variación similar.

En lo que respecta al BMWP-COL, se observa que no hubo una variación apreciable entre campañas las campañas 7, 9 y 18, puesto que al ser esta una variable relacionada con aspectos menos cambiantes en comparación con los parámetros fisicoquímicos analizados en el río, es común que las comunidades biológicas encontradas en cada estación no presenten cambios destacables entre cada una de las campañas, ya que, esencialmente para esta variable en cuestión el único aspecto que proporciona cambios es la ocurrencia de lluvias fuertes que generen un incremento drástico en el caudal y por consiguiente un fenómeno de arrastre de sedimentos, como es el caso de la campaña 10.

Otro punto importante a involucrar, es el clima que predominó en cada una de las campañas. Para el caso de la campaña número 10, se tuvo que entre las analizadas fue la única que presentó caudales altos, mientras que para las 4 restantes fueron caudales clasificados como medios. En consecuencia a esto se puede observar que para dicha campaña se presentaron intervalos más pequeños de variación para la mayoría de los parámetros como es el caso de OD, conductividad eléctrica NTK y DQO, donde contrariamente para el oxígeno disuelto se presentaron valores mayores en cada una de las estaciones, mientras que para las variables que miden la contaminación se obtuvieron valores menores en relación a las otras campañas, lo que principalmente se debe a la dilución ejercida por la lluvias que se presentaron aquel día.

En general, se puede observar que todas las variables están relacionadas con el clima ya que este factor interviene en el comportamiento de las variables analizadas, sin embargo, el parámetro sólidos suspendidos totales, tuvo mayor divergencia en todas las series de datos analizadas, como se puede observar no presentó una tendencia clara lo que fundamentalmente se debe a que la respuesta de esta variable está en función de los procesos productivos de las empresas dedicadas a la explotación de material granular en canteras, que vierten sus aguas residuales a algunas quebrada afluentes al río y a los fenómenos de arrastre que se puedan dar por las lluvias que se generen en la zona.

2.3.1 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, DBO₅, 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.

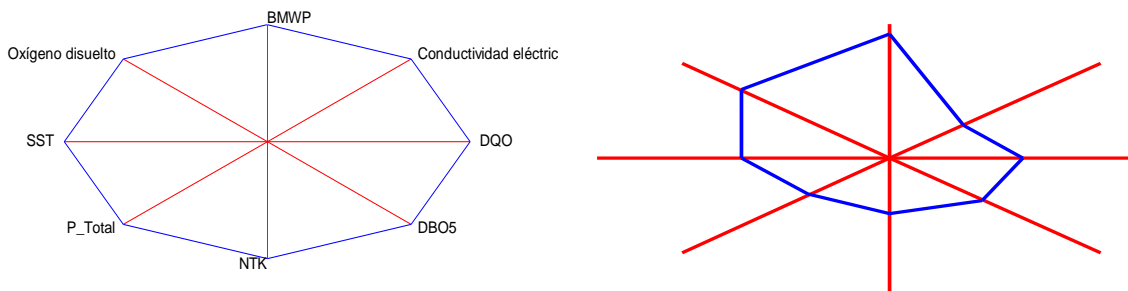
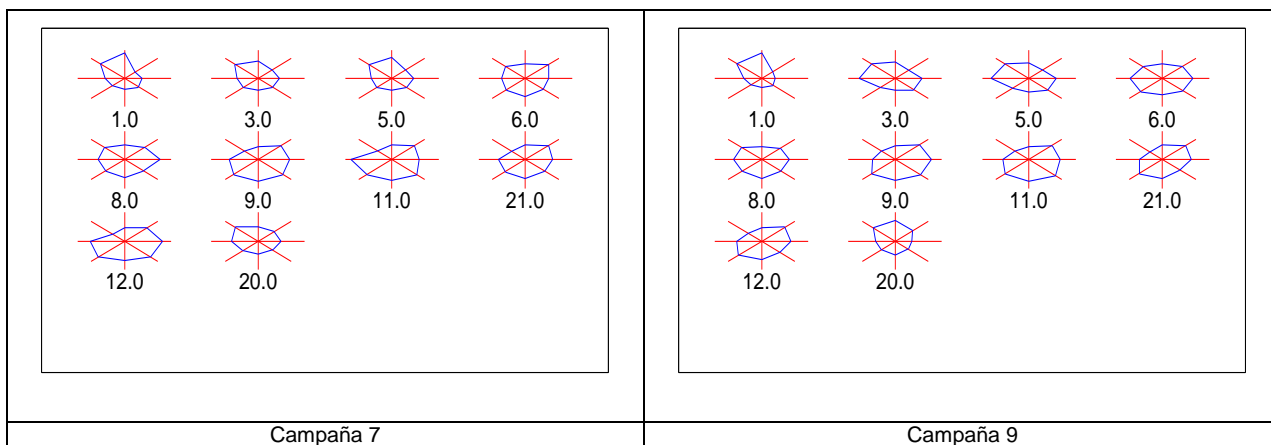


Figura 23. Interpretación y descripción de variables en el gráfico de estrella.

A continuación en la Figura 24, se exponen los gráficos de estrellas para cada estación de monitoreo por campaña, en ellas se puede observar cuales variables tuvieron mayor peso.



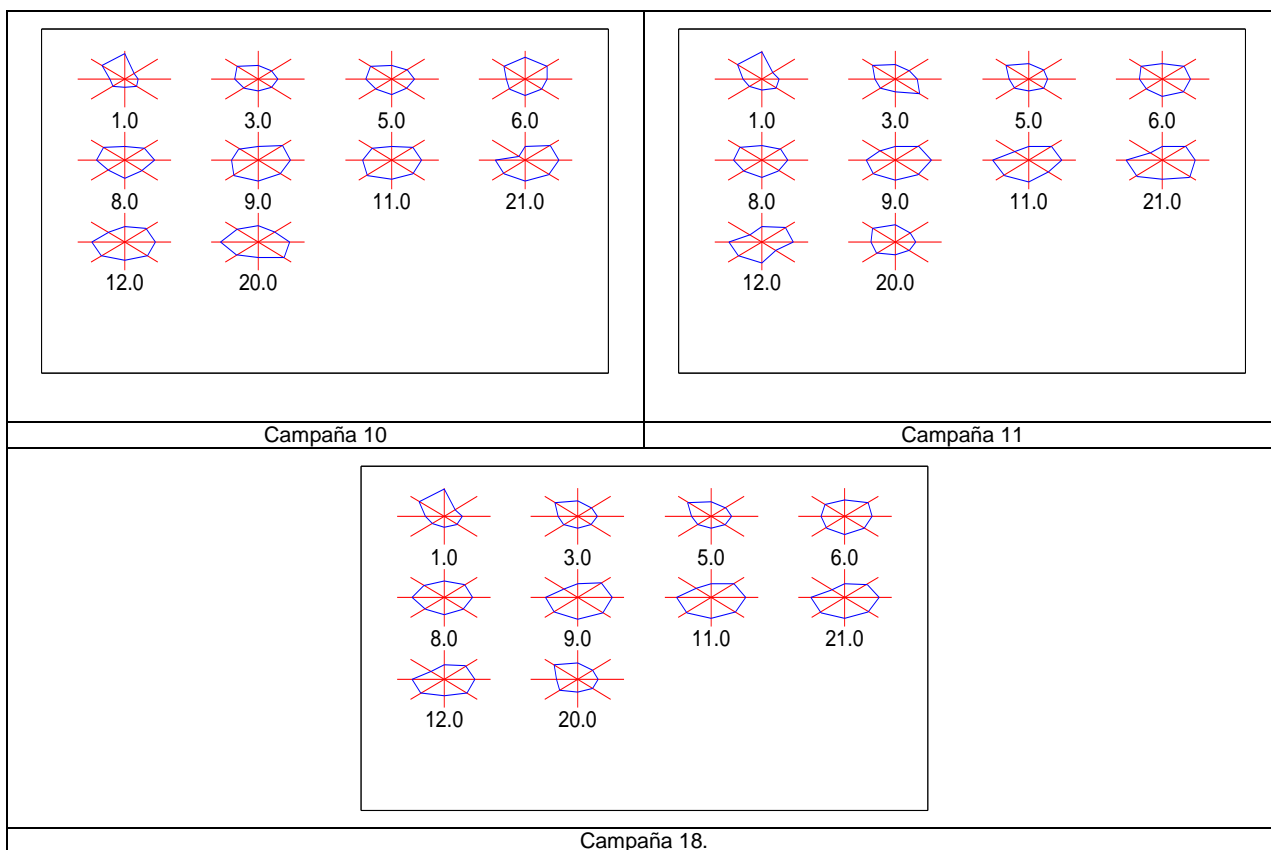


Figura 24. Gráfico de estrellas (sunray plot) para cinco campañas ejecutadas en el año 2013 en diez estaciones de monitoreo.

Para la primera estación que compone la red de monitoreo de calidad del río Aburrá – Medellín (San Miguel (E1), los gráficos de estrellas obtenidos tras la realización de los monitoreos, exhibieron una clara tendencia a presentar como variables de mayor relevancia el oxígeno disuelto y el BMWP–COL, circunstancia que ocurre debido en primer lugar a la baja contaminación ejercida por la población, que favorece los niveles de oxígeno disuelto. En segundo lugar, las condiciones de calidad del agua que se pueden resumir como buenas, facilitan el desarrollo de una biota con una diversidad que en comparación a otras estaciones es rica y permite en resumen el desarrollo de diferentes taxones en el lecho del río. Adicionalmente, se debe destacar que para esta estación los resultados obtenidos entre campañas mostraron poca divergencia, es decir, que para las 5 campañas que se enseñan en la Figura 24, San Miguel tuvo un comportamiento muy similar entre éstas.

Continuando con las estaciones monitoreadas, el punto de muestreo denominado Ancón Sur (E3), contrario a lo visto en San miguel presentó una mayor variación en los correspondientes gráficos de estrellas, allí se ponen en evidencia que para algunas campañas los sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto fueron la variable con mayor peso, lo que esencialmente se explica por los eventos de precipitación que se presentaron en esas campañas, también es válido mencionar que factores como la DQO y DBO5 fueron

representativos en algunas ocasiones, sin embargo, se puede resumir que para este año en gran parte de las campañas se observó un gráfico similar a un óvalo indicando que las variables analizadas allí presentaron una relevancia inclinada a factores que indican buena calidad, adicionalmente es claro que en relación a la estación anterior hubo una disminución de la misma debido a las aguas residuales provenientes de Caldas y La Estrella.

Para las estación Antes de San Fernando (E5), se obtuvo una tendencia en la cual no es clara la predominancia de ninguna de las variables, únicamente para algunas de las campañas se observaron valores de OD que sobresalen en relación a las otros parámetros. Otro aspecto a resaltar es el resultado en la campaña número 9, donde se pone en evidencia que al igual que en Ancón sur para ese día la variable SST presentó mayor peso, lo cual como se había mencionado anteriormente se encuentra relacionado con lluvias ocurridas en la zona.

Para la siguiente estación (después de San Fernando), ya se puede observar el deterioro ejercido por la descarga de la PTAR San Fernando y los vertimientos previos a ésta , en los gráficos correspondientes a esta estación se distingue que incrementaron los vértices de conductividad eléctrica y DQO, es decir, los relacionados con la medición directa o indirecta de la contaminación del río, y consecuentemente se reducen los valores de parámetros de OD y BMWP- COL, de modo que, aunque a simple vista los gráficos de estrellas al igual que lo visto en E5, hay una tendencia circular en algunas campañas, sin embargo, para esta estación hay una leve predominancia o inclinación de las variables conductividad eléctrica y DQO, generando como conclusión final que efectivamente hubo una disminución de la calidad del agua.

Ahora, para la estación Aula Ambiental (E8), en primera instancia se obtuvieron incrementos en los vértices de NTK y SST, al igual que en DQO, circunstancia que obedece a la calidad del agua que presentan la desembocadura de las quebradas La Hueso, Ana Díaz, Santa Elena e Iguaná, quebradas cuya característica más representativa es su contaminación por parte de vertimientos de aguas residuales principalmente domésticas y en el caso de las corrientes La Hueso y Ana Díaz, presentan problemáticas con los vertimientos generados por las empresas dedicadas a la explotación de material granular en sus respectivas microcuencas, lo que proporciona valores llamativos de la variable SST, de manera que con la desembocadura de éstas, es común que la respuesta de la estación E8 sea un incremento en este parámetro. En resumen los vértices fueron similares con una leve predominancia del correspondiente a la DQO.

Por su parte, la estación Puente Acevedo exhibió claramente la disminución de los vértices relacionados con la buena calidad del agua, como es el oxígeno disuelto y el BMWP-COL, esencialmente allí los parámetros de mayor relevancia fueron la conductividad eléctrica y la DQO, cuyo resultado se encuentra influenciado básicamente por el aporte de contaminación que proporciona la descarga de los interceptores oriental y occidental propiedad de EPM, generando como consecuencia inmediata un alto grado de contaminación permitiendo identificar esta zona como la de mayor polución en el río.

Para le estación Puente Machado (E11) los resultados en relación de la estación inmediatamente anterior fueron similares, allí aunque han desembocado quebradas como la rosa, se puede identificar que la tendencia es la misma, a excepción que hay disminuciones apenas perceptibles del vértice correspondiente al OD y leves aumentos para la DQO y conductividad eléctrica, las cuales continúan siendo las variables de mayor relevancia para

esta estación, ahora al comparar ésta con la estación Niquía (E21) el único contraste encontrado fue una disminución más notoria en el oxígeno disuelto permitiendo deducir que los valores allí registrados son cercanos a 0,00mg/L. Adicional al factor contaminación, el aspecto hidráulico en esta zona limita en gran medida la transferencia gaseosa de oxígeno al agua, ya que debido a la baja pendiente del cauce, reduce la generación de turbulencias que puedan favorecer la autodepuración del río.

Continuando con el recorrido, la estación Ancón Norte (E12) presentó pocos cambios en relación a la estación anterior, similarmente se puede observar que el común denominador para estas estaciones, son los bajos niveles de oxígeno disuelto y cuyos vértices predominantes fueron DQO, SST y NTK. Para esta estación es preciso mencionar la influencia que puede tener la desembocadura de la quebrada La García, la cual presenta un alto grado de polución y una carga importante de sólidos suspendidos, de modo que su contribución puede ser notoria en los algunos aspectos del río.

En la estación Puente Gabino se puede apreciar una mejoría en los parámetros oxígeno disuelto y BMWP-COL, lo que se debe esencialmente a la disminución de la polución, debido a dos factores, el primero de ellos corresponde al ingreso de aguas de mejor calidad como es Río Grande y la descarga de la central hidroeléctrica La Tasajera. el segundo está relacionado con el aspecto hidráulico, el cual favorece la generación de turbulencias en el cauce y por lo tanto la autodepuración del cauce, igualmente también se observó una predominancia asociada a los SST, de modo que para esta estación se tuvo este parámetro acompañado del OD como variables más representativas.

De manera general en todas las campañas, es evidente que el parámetro oxígeno disuelto y el BMWP, tuvieron el mayor peso en la estación San Miguel (E1), además todas las variables analizadas expusieron un peso semejante en todos los monitoreos. En las estaciones posteriores el peso de dichas variables disminuyo, mientras que las variables fisicoquímicas aparte del oxígeno disuelto, tomaron un mayor peso. Cabe decir que el oxígeno disuelto en la estación Puente Gabino (E20), luego de haber mostrado el menor peso en las estaciones Niquía (E21) y Ancón Norte (E12), nuevamente retomó su peso, mientras que el de las demás variables fisicoquímicas se redujo.

De manera similar a la estación E1, la estación Puente Gabino mostró cierta estabilidad en el peso de cada variable, excepto en la campaña diez, en la cual se nota incrementos para cada una de ellas, debido al régimen de caudal alto presentado.

Con respecto a la semejanza entre variables, es pertinente afirmar que las estaciones Puente Acevedo (E9) y Puente Machado (E11) mostraron comportamientos semejantes en las diferentes campañas, al igual que las estaciones Niquía (E21) y Ancón Norte (E12), en las cuales se observa que variables como la conductividad, los nutrientes, DQO y SST, revelaron los mayores pesos.

2.3.2 Análisis factorial

2.3.2.1 Estaciones sobre el río

Una vez realizada la transformación se busco reducir la dimensión de los datos para obtener nuevas variables no correlacionadas que den respuesta a la calidad del agua y faciliten la interpretación y análisis de los resultados.

De acuerdo al análisis factorial y a los resultados de la matriz de correlaciones, no se incluyeron para este análisis, las variables nitritos, nitratos, SST, SFT y pH, de esta manera y mediante el análisis de correlación de las variables restantes se obtuvo un solo valor que las representa, llevando a reducir a una sola variable que se denominará Factor Score, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 12. Factor análisis para el río

NUMERO DE FACTOR	PORCENTAJE DE VARIANZA	PORCENTAJE ACUMULADO
1	92.767	92.767
2	4.453	97.220
3	1.500	98.720

Una sola combinación lineal de las variables explica el 92,767% 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:

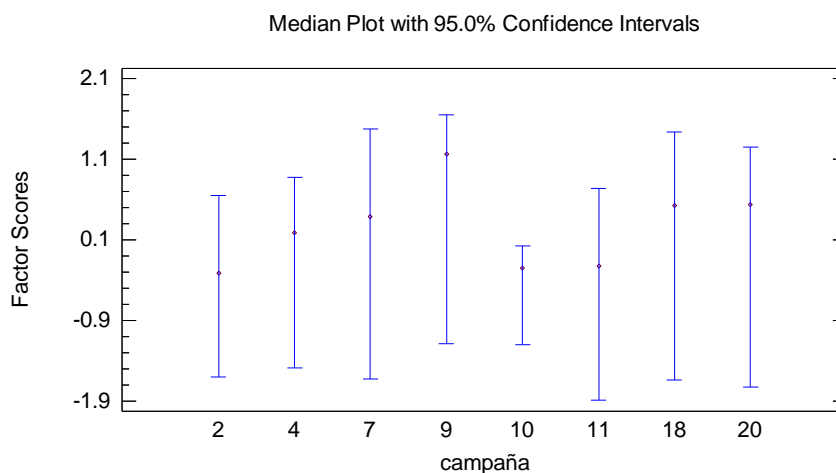


Figura 25. Variación de los intervalos para las medias del factor por campañas de monitoreo

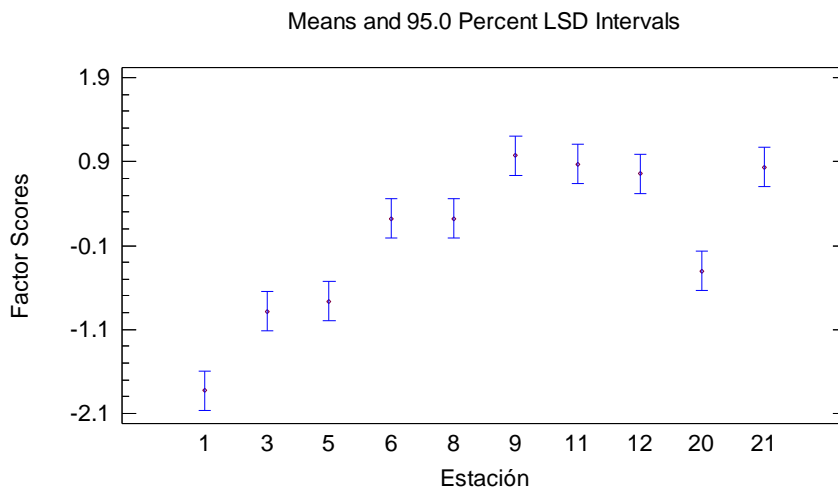


Figura 26. Variación de los intervalos para las medias del factor por estaciones de monitoreo

En la Figura 25, se aprecia una mejor calidad en la campaña 10, en la cual se presentaron caudales altos por tanto los valores del factor Score fueron bajos y la dispersión de datos menor como consecuencia posiblemente de los procesos de dilución.

Por otra parte, el análisis de la calidad en el perfil del río (Figura 26) muestra un deterioro conforme se avanza en su recorrido, resaltándose como estaciones más críticas las ubicadas en el tramo Bello- Girardota, tramo en el que ya se han acumulado las descargas de aguas residuales más importantes del Valle de Aburrá.

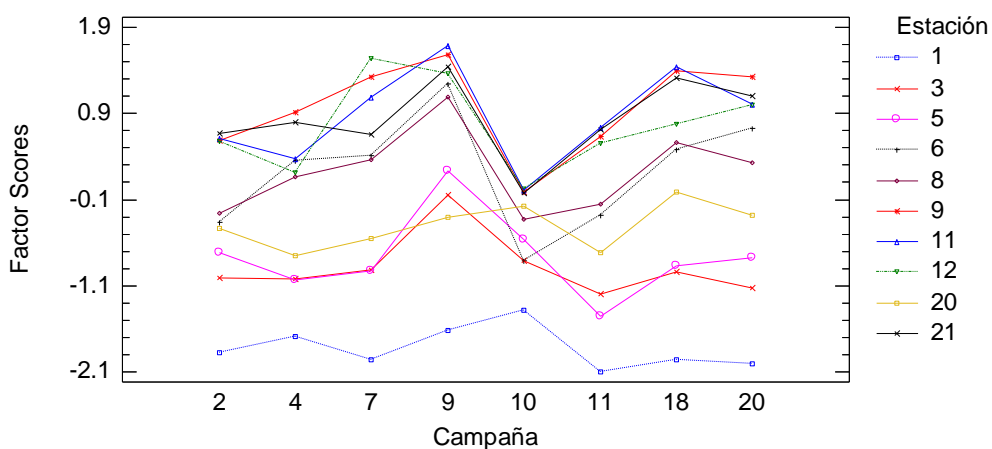


Figura 27. Variación del factor score para cada estación durante todas las campañas de 2010.

La Figura 27 contiene la variación del “Factor Score” para cada estación durante todas las campañas de muestreo, en ella se ratifica a la estación San Miguel (E1) como la de mejores condiciones de calidad, mientras que las estaciones Acevedo, Puente Machado, Niquía y Ancón Norte (9, 11, 21 y 12) presentan las condiciones más desfavorables, lo que como se dijo anteriormente se debe al ingreso continuo de aguas residuales crudas y tratadas en el tramo central del río.

En términos generales, se aprecia una tendencia decreciente en la campaña 10 en todas las líneas (estaciones), lo cual indica un mejoramiento de la calidad del agua en esta fecha, que se debe al incremento de los niveles de agua en el río, producto del ingreso de aguas lluvias, evidenciándose de esta manera el efecto de los períodos climáticos en la calidad del agua y que las condiciones más favorables de calidad de agua en el río, sin considerar el contenido de sólidos, se dan en períodos de niveles altos, es decir, presencia de lluvias.

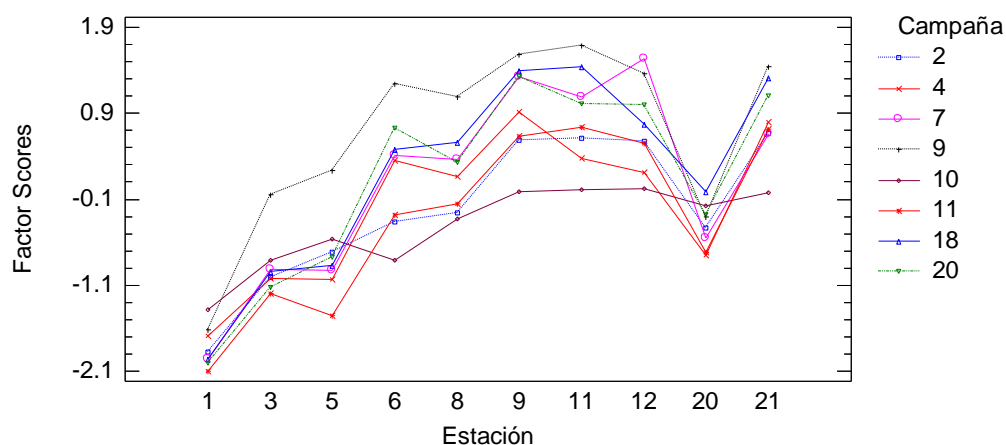


Figura 28. Variación del factor 1 en el perfil del río a lo largo de todas las campañas de 2010

En la Figura 28, se muestra con mayor detalle la variación de la variable “Factor Score” en el perfil del río para cada campaña, destacándose la campaña 20 realizada el 26 de febrero como la más crítica y en contraste la campaña 10 se caracterizó por presentar condiciones más favorables lo que se debe al período de lluvias en la región que incrementó los caudales en el río. Igualmente se aprecia en todas las campañas la misma tendencia de deterioro del río conforme se avanza en su recorrido hasta terminar el tramo urbanizado (Ancón norte, E12), pasado éste mejoran las condiciones dado que disminuye el ingreso de aguas residuales y se incrementa el ingreso de aguas de mejor calidad.

2.3.2.2 Estaciones en quebradas

Una vez realizada la transformación se buscó reducir la dimensión de los datos para obtener nuevas variables no correlacionadas que den respuesta a la calidad del agua y faciliten la interpretación y análisis de los resultados. A partir de este método multivariado se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13. Análisis factorial

NUMERO DE FACTOR	PORCENTAJE DE VARIANZA	PORCENTAJE ACUMULADO
1	85.059	85.059
2	9.147	94.206
3	3.883	98.088

De acuerdo al análisis factorial y a los resultados de la matriz de correlaciones, no se incluyeron para este análisis las variables pH, Porg, SST, SFT SDT y BMWP col, de esta manera y mediante el análisis de correlación de las variables restantes se obtuvo un solo valor que las representa, llevando a reducir a una sola variable que se denominará Factor Score.

Una sola combinación lineal de las variables explica el 85,059% 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 quebradas:

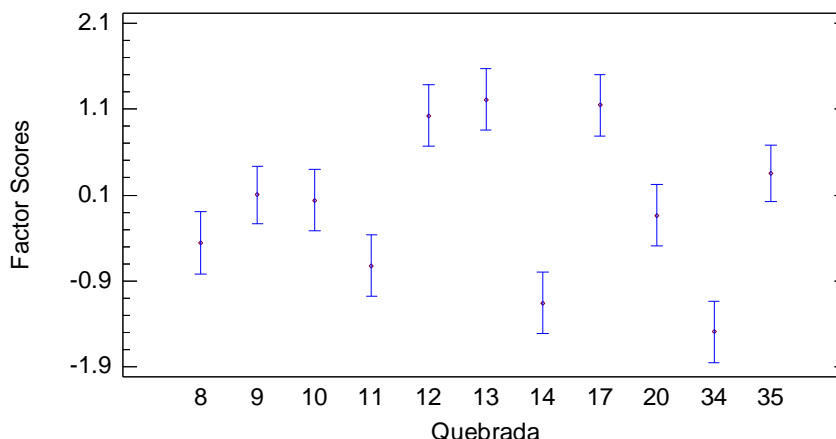


Figura 29. Variación de los intervalos para las medias del factor por quebradas

El análisis de la calidad en las quebradas (Figura 29), muestra que la quebrada Doña María (34) es la de menor grado de deterioro, debido a las obras de intervención (colectores), que se han hecho sobre su cauce disminuyendo el ingreso directo de descargas de agua residual. En condiciones de menor deterioro se resalta la quebrada El Hato (14) por causas similares a las expuestas en Doña María, ya que sobre esta corriente también se han ejecutado obras de saneamiento que han permitido el mejoramiento de su calidad el cual ha sido reflejado en la mayoría de parámetros analizados. En contraste, las quebradas La Madera (11) La Rosa (12), La Señorita (17) y la García (35), se presentan como las más críticas, esto como resultado de las descargas de aguas residuales que reciben, las invasiones de sus cauces y el inadecuado manejo de residuos sobre los mismos. De otra parte, se presentó un grado de deterioro considerable, en las quebradas La Altavista (8), La Hueso (9), La Santa Elena (10), La García (35), y La Picacha (20), resultado de la recepción de descargas de aguas residuales provenientes de viviendas e industrias.

En general, los resultados muestran un mayor deterioro en la calidad de las quebradas asentadas en el área urbana del Valle de Aburrá, como resultado de la intervención antrópica que influye en la calidad del agua, limitando en gran medida los usos del agua.

2.3.3 Análisis clúster

2.3.3.1 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, Ancón Sur, Antes de San Fernando, Aula Ambiental, Puente Acevedo, Puente Machado, Ancón Norte, Niquía y Puente Gabino (1, 3, 5, 8, 9, 11, 12, 21 y 20 respectivamente y mostrados en el eje de las abscisas) para las campañas por año.

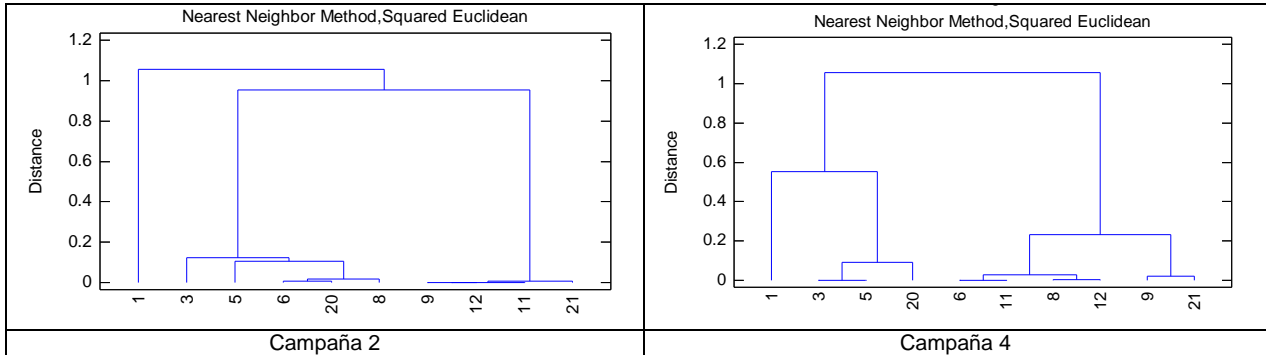
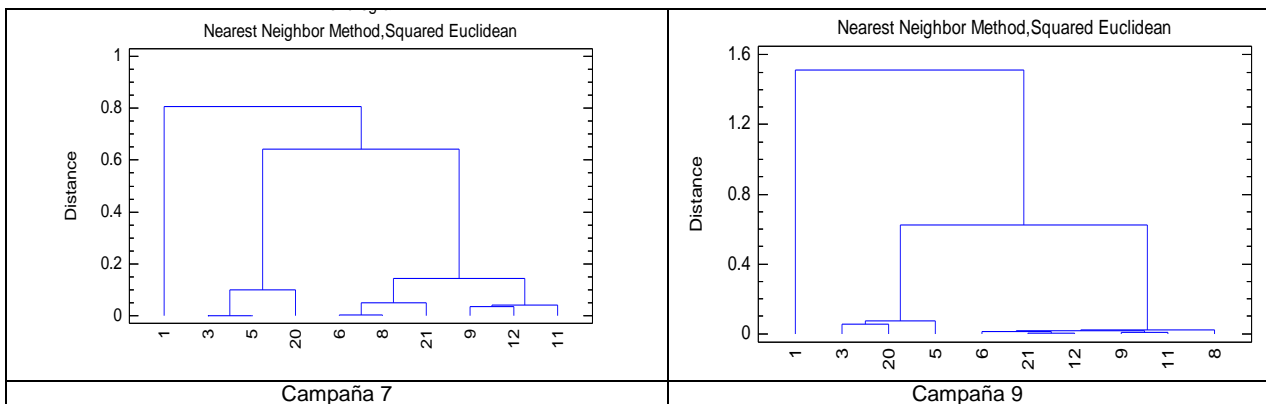


Figura 30. Dendrograma por estaciones de muestreo para el 2012

Al realizar el análisis clúster para campañas de muestreo para el 2012 por estaciones de muestreo (Figura 30), se observa que la estación San Miguel en general permanece sola y se dan varios agrupamientos entre los que se destacan estaciones 9-11-12-21 y la estación 20 (estación Puente Gabino) en algunas campañas se agrupa con 3-5 y en otras 8-6, lo que está asociado al volumen de agua de mejor calidad que ingresan en la zona norte.



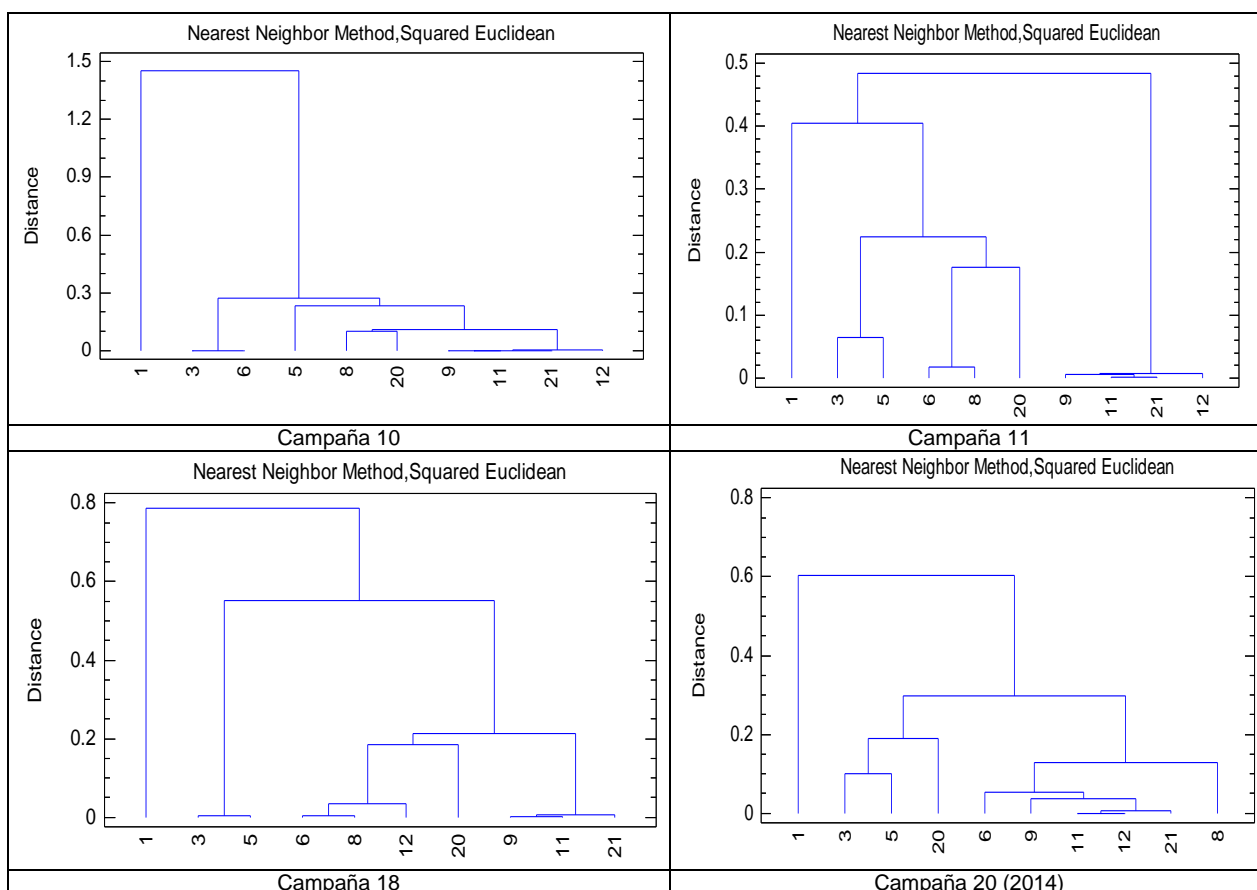


Figura 31. Dendrograma por estaciones de muestreo para el 2013 y 2014

Para el 2013 (Figura 31) se observa en general la misma tendencia de agrupamiento de las estaciones, mostrándose más evidente en todas las campañas de muestreo el agrupamiento de las estaciones 9-11-12-21.

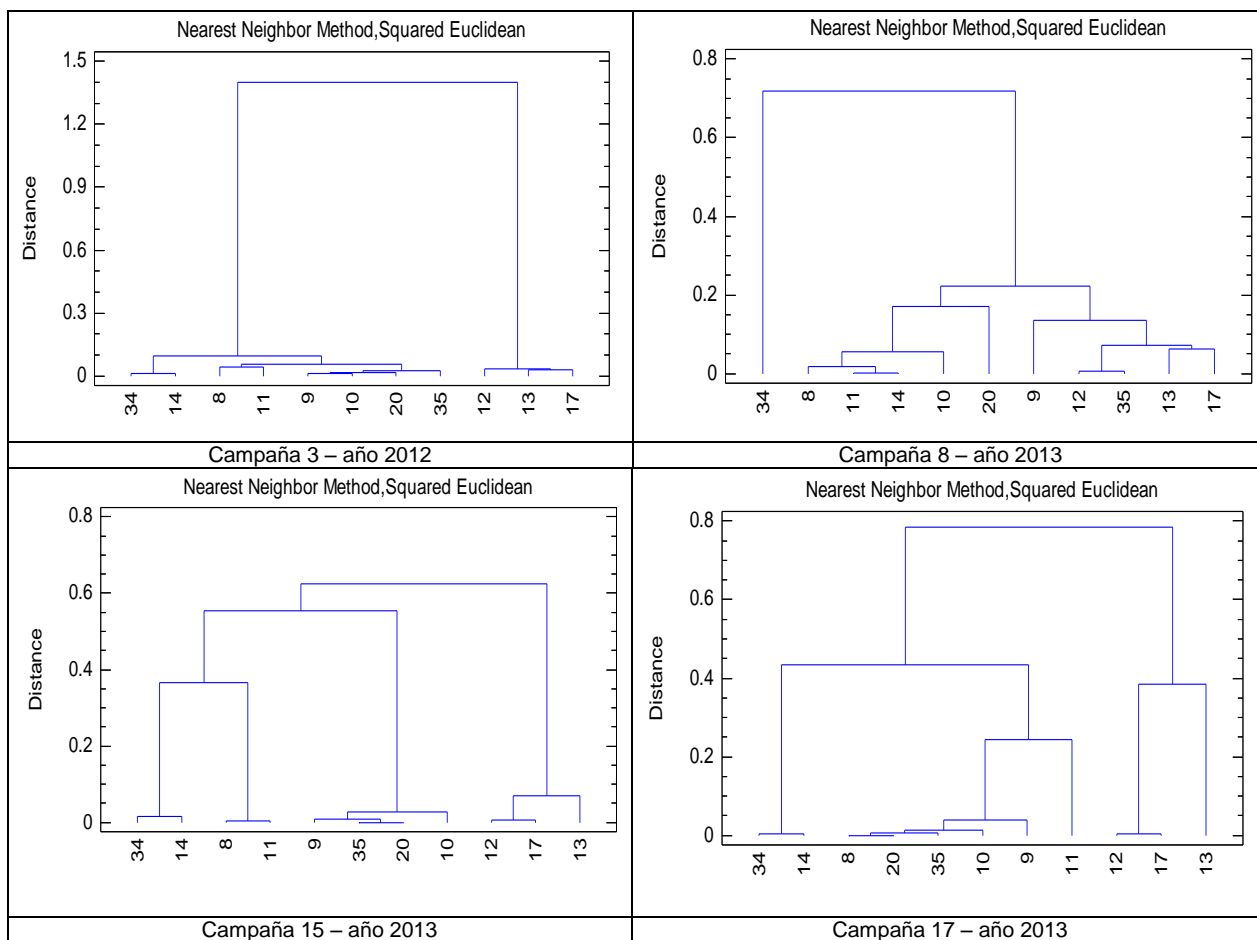
Lo anterior, reafirma la similitud entre las estaciones Puente Acevedo (9), Puente Machado (11), Ancón Norte (12) y Niquía (21) como se ha venido mencionando, sin embargo, se deben continuar monitoreando en forma separada dado que cada una de ellas tiene una función diferente en la Red, la estación Puente Acevedo permite evaluar la descarga de los interceptores, con la estación Puente Machado se mide el avance en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos de Empresas Públicas de Medellín – PSMV en el norte de Medellín y Bello, la estación Niquía se configura como un punto clave cuando comience a operar la planta de tratamiento de aguas residuales-PTAR- de Bello, dado que corresponde al sitio en el cual se puede evaluar el río antes de la descarga de la planta y la estación Ancón Norte es el cierre de la zona urbana, en este sitio el río ha recibido más 90% de las aguas residuales del Valle de Aburrá y corresponde a una estación configurada desde la primera fase como esencial, para la cual se tiene el diseño de la infraestructura necesaria en la operación de una estación fija, asimismo a futuro podría ser una estación referencia para el seguimiento a la planta de tratamiento de agua residual del norte.

El análisis clúster ha sido utilizado desde la fase II del proyecto RedRío ha permitido evidenciar algunas características de semejanza entre las estaciones que actualmente presentan mayores problemas de contaminación (Puente Acevedo, Puente Machado, Niquía y Ancón Norte), la estación de referencia por su buena calidad (San Miguel) y las demás estaciones con variabilidad en su calidad debido principalmente a las quebradas que descargan aguas arriba de la estación y a las condiciones climáticas.

2.3.3.2 Estaciones en quebradas

El análisis clúster para las quebradas pretende, al igual que para las estaciones sobre el río, agrupar las quebradas de acuerdo con las condiciones evidenciadas en las campañas de monitoreo realizadas el 31 de octubre de 2012, 6 marzo de 2013, 31 de julio de 2013 18 septiembre de 2013 y 12 de marzo de 2014, campañas en las cuales sólo se monitorearon quebradas (14 en cada campaña).

Similar al río, el agrupamiento de las estaciones sobre las quebradas depende de las actividades antrópicas y dinámica de las microcuencas. La Figura 32 muestra la representación gráfica del análisis clúster para las campañas de quebradas realizadas durante esta fase; cabe aclarar que durante estas campañas no se monitorearon siempre las mismas estaciones (quebradas).



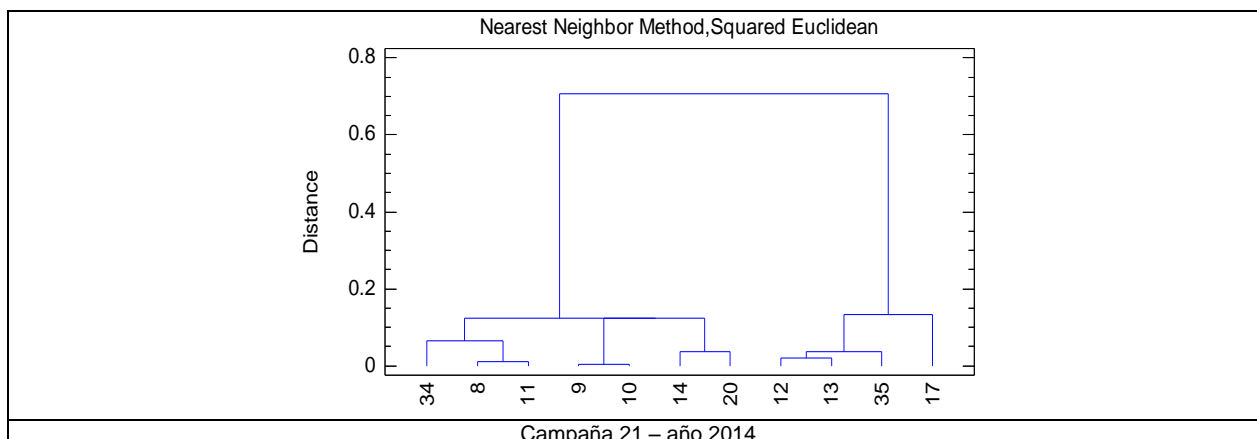


Figura 32. Dendrograma por estaciones de muestreo en quebradas para Fase IV

Según el análisis clúster, las agrupaciones que más se repiten durante esta fase corresponden a La Rosa, La Madera y La Señorita, como el grupo de aguas más contaminadas (no considera el contenido de sólidos), El Hato y Doña María como las de mejor calidad y mediana calidad La Hueso, La Picacha y Santa Elena; se resalta que la quebrada La García se agrupa algunas veces con las quebradas de aguas más contaminadas y otras con las de mediana contaminación, resultados semejantes a los obtenidos en el análisis factorial.

2.3.4 Contraste de rangos múltiples para todos los análisis

2.3.4.1 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 14. Comparación de rangos múltiples (LSD) para el análisis de todas las estaciones

ESTACIÓN	DATOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
1	8	-1.82634	X
3	8	-0.884732	X
5	8	-0.761209	XX
20	8	-0.403701	X
6	8	0.220505	X
8	8	0.222286	X
12	8	0.754679	X
21	8	0.835198	X
11	8	0.871755	X
9	8	0.971557	X

De acuerdo con los resultados obtenidos con esta prueba (Tabla 14) para las campañas de esta fase, se tienen cinco agrupamientos coherente con los resultados anteriores, sin embargo, se realizó un análisis considerando usos del suelo y las condiciones propias del río, por lo cual se encontró que es pertinente continuar evaluando todas las estaciones, máxime considerando el objetivo de medición de cada una.

De esta tabla se destaca al igual que en fases anteriores, la estación San Miguel en un solo grupo y esto se debe a que es la menos intervenida en el río, de otra parte, se aprecia una agrupación de las estaciones en la zona norte donde el río presenta las condiciones más críticas como se ha mencionado en análisis anteriores.

2.3.4.2 Estaciones en quebradas

Como se menciona en el numeral anterior, la prueba de contraste de rangos múltiples se usa para decidir cuales medias son significativamente diferentes cuando se comparan por pares y generar un agrupamiento. Con el propósito de formar agrupamientos que reflejaran similitud entre las 23 quebradas monitoreadas en el proyecto, se utilizó la variable “factor score” obtenida en el análisis factorial para esta prueba.

Tabla 15. Comparación de rangos múltiples (LSD) para el análisis de las quebradas

ESTACIÓN	DATOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
34	5	-1.24607	X
14	5	-0.993048	X
11	5	-0.728866	XX
8	5	-0.560611	XXX
20	5	-0.174445	XXX
10	5	-0.0933738	XXX
9	6	0.0467354	XX
35	6	0.213992	X
12	5	1.03739	X
17	5	1.16112	X
13	5	1.28503	X

De acuerdo con los resultados obtenidos con esta prueba (Tabla 15), las quebradas que se agrupan de acuerdo con las similitudes en sus características son, Doña María, El Hato, Altavista y La Iguaná en un primer grupo; la Iguaná, Altavista, La Picacha y Santa Elena en el segundo grupo, en el tercero se encontraron Altavista, La Picacha, La Hueso y Santa Elena; en el cuarto La Picacha, Santa Elena, La Hueso y La García, y finalmente, La Rosa, La Señorita y La Madera.

Los grupos se redefinieron teniendo en cuenta aspectos propios de cada una de las quebradas tales como: usos del suelo, obras de saneamiento realizadas, intervención antrópica, existencia de descargas de aguas residuales sobre el cauce, desarrollo de actividades mineras, extracción de material de playa, y los resultados del índice de calidad de agua ICACOSU. A partir del análisis de los aspectos mencionados y de los resultados obtenidos en la prueba se sugiere el agrupamiento de las siguientes quebradas:

Tabla 16. Agrupamientos de quebradas afluentes al río

CONSECUTIVO	QUEBRADAS
1	La Doña María, El Hato, La Iguana, La Altavista
2	La Hueso, La García, La Picacha y Santa Elena
3	La Rosa, La Madera y La Señorita

Como aspectos a resaltar en el primer grupo, se destaca la presencia de las quebradas Doña María y El Hato, las cuales se han caracterizado en las fases anteriores por la mala calidad de sus aguas, sin embargo, las obras de saneamiento realizadas en las mismas a través de la construcción de colectores, condujeron a mejorar la calidad de las mismas.

En cuanto a los cuerpos de agua correspondientes al segundo grupo, llama la atención la presencia de la quebrada La García, la cual en las fases II y III del proyecto RedRío se ha localizado en el conjunto de las corrientes cuya calidad se encuentra altamente afectada. Lo anterior, se asoció a la influencia de precipitaciones en la subcuenca las cuáles generaron una dilución en la carga contaminante lo que se vio reflejado en los valores obtenidos para los caudales, asimismo, a una disminución en el caudal de los vertimientos de aguas residuales industriales realizados sobre la quebrada.

Por último, las quebradas agrupadas en el grupo cinco (La Rosa, La Señorita y La Madera) reflejan la mala calidad de sus aguas, asociado a las numerosas descargas de aguas residuales de las cuales son receptoras.

Con la información obtenida a partir del monitoreo de estas quebradas dadas las características de la información que ellas arrojan, se pueden ir agrupando las quebradas de acuerdo con las problemáticas predominantes en cada una de ellas, además de ir perfilando aquellas quebradas que por sus condiciones de calidad de agua deben ser objeto de monitoreo y seguimiento continuo, con el propósito de mejorar sus condiciones y por ende ir logrando la recuperación del río, pues este es la consecuencia de lo que ocurre en sus afluentes.

2.4 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.

Para hacer la clasificación de caudales, se utilizó la curva de duración de caudal que consiste en un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal, como ordenada y el número de días del año (generalmente expresados en % de tiempo) en que ese caudal, es excedido o igualado, como abscisa.

Las curvas de duración de caudales se usan en la planeación de recursos hidráulicos, para evaluar el potencial hidroeléctrico de un río, para estudios de control de inundaciones, en el diseño de sistemas de drenaje, para calcular las cargas de sedimento y para comparar cuencas cuando se desea trasladar registros de caudal, entre otras muchas aplicaciones

Por medio de esta curva se definieron los siguientes caudales característicos:

- Caudal de aguas bajas (caudal 1): caudal excedido 275 días al año o más del 75 % del tiempo.
- Caudal medio (caudal 2): corresponde al que se encuentra entre el 3 y el 75% del tiempo.
- Caudal característico máximo (caudal 3): Caudal rebasado al menos 10 días al año o menos del 3% del tiempo.

Es de resaltar, que la metodología establecida para la definición de dicha clasificación se encuentra detallada en el numeral 1.1.2 (Definición de los rangos de caudales) del documento de indicadores de calidad RedRío, fase III.

En la Tabla 17 y Tabla 18, se presenta un resumen estadístico para cada uno de los grupos establecidos con relación a los niveles de caudales, en cada una de las tablas se muestra las variables seleccionadas las medidas de tendencia central, de variabilidad, y de forma. Es importante anotar, que las variables seleccionadas para dicho resumen son las que representan mayor interés para el cobro de las tasas retributivas (Decreto 3100 de 2003) y la conductividad eléctrica por considerarse una variable de rápida respuesta en el río.

Tabla 17. Resumen estadístico para caudales medios (caudal 2)

	ICA	DBO5	SST	OD	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
Recuento	70	70	70	70	70
Promedio	10.9469	46.8321	212.735	4.47086	323.441
Mediana	12.135	35.3	149.8	5.055	374.5
Desviación Estándar	3.80668	42.7617	211.973	2.60136	174.049
Mínimo	1.24	1.5	3.0	0.18	25.0
Máximo	17.2	170.0	1058.75	7.61	618.0

Tabla 18. Resumen estadístico para caudales altos (caudal 3)

	ICA	DBO5	SST	OD	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
Recuento	10	10	10	10	10
Promedio	9.294	24.06	494.089	6.264	164.28
Mediana	9.595	25.15	510.905	7.065	188.55
Desviación Estándar	2.47275	13.4511	221.664	2.01219	72.1514
Mínimo	3.4	5.0	85.0	1.07	27.2
Máximo	12.37	44.0	866.25	7.81	250.0

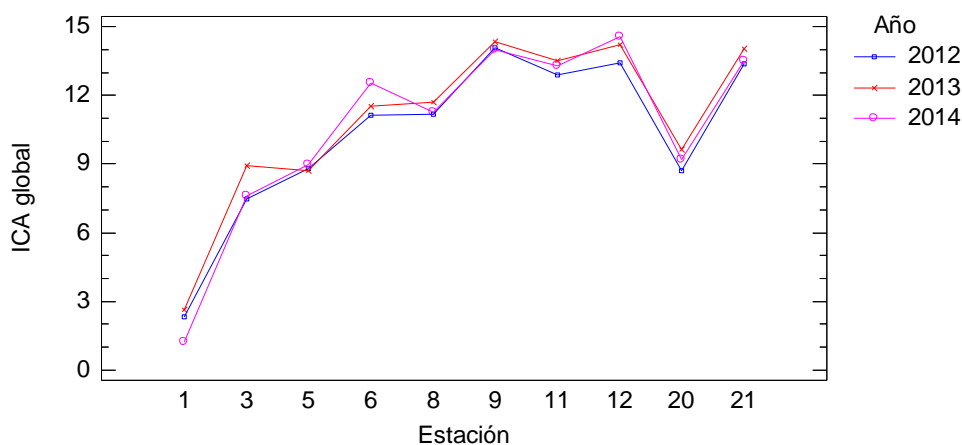


Figura 33. Variación del ICA Global en el perfil del río para el 2012, 2013 y 2014

En la Figura 33, se representó gráficamente la variación del indicador ICA global para los diferentes años en que se ejecutó la fase IV de la red de monitoreo, en donde se observó un mayor deterioro de la calidad del recurso hídrico en el año 2013 en cinco estaciones sobre el río. El año 2012 se caracterizó por mostrar los menores registros en la mayoría de estaciones indicando mejores condiciones en la corriente; esta conducta es coherente con el registro de caudales reportado en cada año que para el 2012, fue predominantemente medio, permitiendo que los parámetros tuvieran un comportamiento estable, caso contrario ocurrió en 2013 pues si bien el caudal se consideró medio en general, también hubo evidencia de niveles altos y bajos en algunas campañas, lo que provocó alteraciones en la medición de los parámetros ya fuese por fenómenos de dilución o concentración de sustancias contaminantes. Sin embargo, debe aclararse que con relación a periodos anteriores, el perfil de todos los años fue mucho más uniforme en esta fase, teniendo en cuenta que no hubo cambios súbitos en el clima y por consiguiente en el caudal.

Adicional al caudal, hay otros factores como los nutrientes y la DBO5 que explican el aumento de este indicador, ya que son aportados al río por causa de los numerosos vertimientos de agua residual y su presencia en altas concentraciones refleja un deterioro progresivo de la calidad. En ese orden de ideas, se pudo concluir que las estaciones más afectadas en todos los años en que se monitoreó el cuerpo de agua fueron Puente Acevedo (E9), Puente Machado (E11), Ancón Norte (E12) y Niquía (E21).

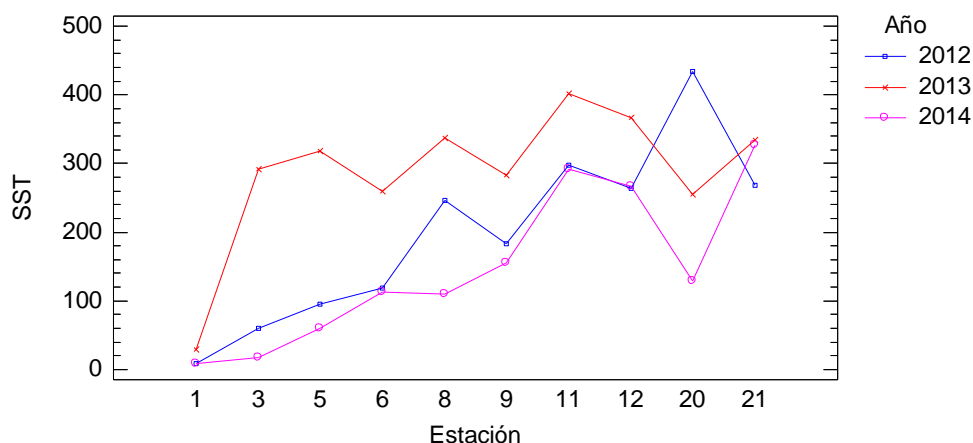


Figura 34. Variación de los sólidos suspendidos Totales en el perfil del río para el 2012, 2013 y 2014

La Figura 34 muestra el cambio en el comportamiento de los sólidos suspendidos totales durante los tres años de monitoreo del río, en donde logró apreciarse que en el 2013 se reportaron los valores más altos seguido por el 2012 y finalmente 2014. El comportamiento de este parámetro se vio afectado directamente por el aporte de las quebradas que ingresan durante su recorrido y que se caracterizan por realizar actividades de explotación de material pétreo en sus zonas altas; sin embargo, la variación entre cada año se vinculó principalmente con los caudales reportados, que para el 2013, variaron entre medios y altos en el mes de mayo, lo que provocó los valores más elevados debido a la resuspensión del lecho generada por la formación de turbulencias.

Las estaciones más impactadas por la presencia de sólidos fueron E9, E11 E12 y E21 en los 3 años monitoreados, debido a que estos puntos de monitoreo se caracterizaron por transportar altas cargas de material suspendido por causa de vertimientos de agua residual e ingreso de quebradas con aguas de baja calidad.

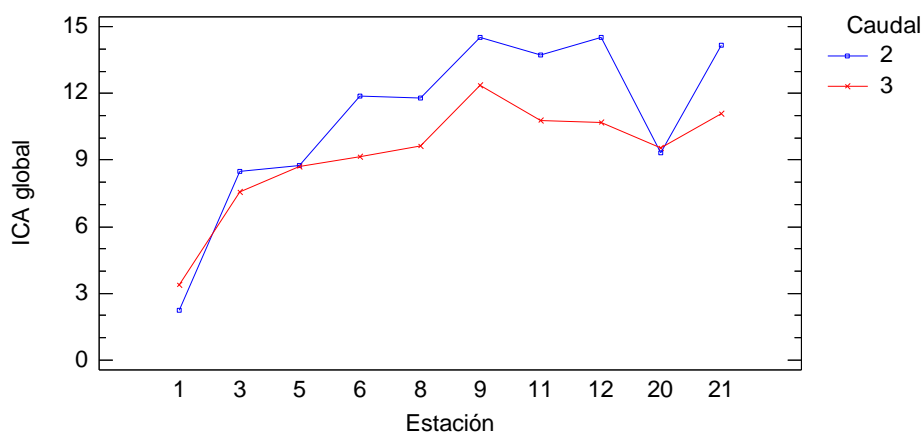


Figura 35. Variación del ICA global en el perfil del río en diferentes niveles de caudal

En la Figura 35, se representó el perfil del ICA global en función de los caudales reportados durante la fase IV del proyecto RedRío, en donde pudo observarse que para caudales altos este indicador mantuvo menores registros que para caudales medios en casi todas las estaciones. Esta condición se debió a que cuando la cantidad de agua transportada fue menor, se favoreció la concentración de contaminantes y se logró percibir un mayor deterioro reflejado en el aumento de la mayoría de parámetros fisicoquímicos, mientras que para el caso contrario, se dieron en el cuerpo de agua, procesos de dilución que permitieron una recuperación de la calidad.

Según los resultados obtenidos, el tramo más afectado tanto en épocas de caudales medios como altos, fue el comprendido entre las estaciones Puente Acevedo (E9) - Niquía (E21) debido a la descarga de gran parte de las aguas residuales del Valle de Aburrá por medio de los interceptores oriental y occidental.

3 CONSOLIDADO HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Se presenta a continuación (Tabla 19 a Tabla 25) un análisis estadístico de los parámetros hidráulicos más importantes obtenidos en las campañas de aforo. Se efectuó un razonamiento de los datos en cada estación agrupados por semestre, por año (2012, 2013 y 2014) y por período climático (seco: junio-agosto, diciembre-febrero y lluvioso: marzo-mayo, septiembre-noviembre).

Los resultados del primer semestre del 2013 y el de periodo de lluvias, puede verse afectado ya que en la campaña 10 del 22/05/2013, fue difícil la toma de datos, debido a la alta presencia de basuras y torrencialidad del cauce.

Los resultados indican para la estación San Miguel (Tabla 19) una dispersión menor de los valores del caudal, velocidad y profundidad ya que la varianza muestra una magnitud cercana a cero, lo que nos indica que dichos valores giran alrededor de la media. Por su parte, el caudal comienza a presentar valores mínimos en el primer y segundo semestre de 2013, lo cual, se debe a la transición del fenómeno de interacción océano-atmosférico ENSO o Fenómeno del niño en la región y que contribuye notoriamente a la disminución parcial de los caudales, para el primer semestre del 2014 se presentan valores similares, al año inmediatamente anterior.

Tabla 19. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación San Miguel

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Semestre 02-2012								
Caudal (m ³ /s)	4	1,00	0,82	0,33	0,58	0,52	1,84	1,32
V.media (m/s)	4	0,22	0,20	0,01	0,09	0,12	0,34	0,22
H. media (m)	4	0,93	0,91	0,01	0,12	0,82	1,10	0,28

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

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Semestre 01-2013								
Caudal (m³/s)	4	0,79	0,45	0,51	0,71	0,41	1,86	1,45
V.media (m/s)	4	0,28	0,17	0,06	0,24	0,14	0,64	0,50
H. media (m)	4	0,66	0,62	0,01	0,12	0,58	0,83	0,25
Semestre 02-2013								
Caudal (m³/s)	7	0,41	0,44	0,07	0,26	0,03	0,84	0,81
V.media (m/s)	7	0,12	0,14	0,01	0,08	0,00	0,23	0,23
H. media (m)	7	0,43	0,54	0,10	0,31	0,01	0,78	0,77
periodo seco-2013								
Caudal (m³/s)	6	0,54	0,45	0,03	0,18	0,40	0,84	0,44
V.media (m/s)	6	0,18	0,18	0,00	0,04	0,14	0,23	0,09
H. media (m)	6	0,66	0,68	0,01	0,09	0,54	0,78	0,24
periodo lluvias-2013								
Caudal (m³/s)	3	0,89	0,41	0,70	0,84	0,41	1,86	1,45
V.media (m/s)	3	0,34	0,21	0,07	0,26	0,17	0,64	0,47
H. media (m)	3	0,67	0,59	0,02	0,14	0,58	0,83	0,25
Año 2013								
Caudal (m³/s)	9	0,66	0,44	0,23	0,48	0,40	1,86	1,46
V.media (m/s)	9	0,23	0,20	0,02	0,16	0,14	0,64	0,50
H. media (m)	9	0,66	0,65	0,01	0,10	0,54	0,83	0,29
Semestre 01-2014								
Caudal (m³/s)	8	0,57	0,61	0,01	0,10	0,40	0,69	0,29
V.media (m/s)	8	0,21	0,21	0,00	0,02	0,17	0,24	0,07
H. media (m)	8	0,73	0,74	0,00	0,06	0,62	0,82	0,20

Para la estación Ancón Sur (Tabla 20) se aprecia una variación parcial en el caudal medio en los años 2012, 2013 y 2014, La diferencia de valores en los caudales mínimos y máximos varían de forma poco considerable, excepto para el primer y segundo semestre de 2013, ya que en esta época se empezó a notar la transición del fenómeno del niño en la región.

Tabla 20. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Ancón Sur

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Semestre 02-2012								
Caudal (m³/s)	4	6,90	7,18	3,33	1,83	4,58	8,66	4,08
V.media (m/s)	4	0,59	0,58	0,00	0,02	0,58	0,61	0,03
H. media (m)	4	1,02	1,07	0,04	0,21	0,77	1,19	0,42
Semestre 01-2013								
Caudal (m³/s)	4	5,51	3,96	14,34	3,79	2,99	11,14	8,15
V.media (m/s)	3	0,45	0,51	0,01	0,10	0,34	0,51	0,17
H. media (m)	3	0,72	0,70	0,00	0,03	0,70	0,75	0,05
Semestre 02-2013								
Caudal (m³/s)	5	5,73	5,64	0,90	0,95	4,36	6,94	2,58
V.media (m/s)	5	0,49	0,48	0,00	0,04	0,45	0,53	0,08
H. media (m)	5	1,00	0,98	0,05	0,22	0,70	1,32	0,62
Periodo seco-2013								
Caudal (m³/s)	6	5,37	5,58	1,48	1,21	3,70	6,94	3,24
V.media (m/s)	6	0,49	0,50	0,00	0,03	0,45	0,53	0,08
H. media (m)	6	0,95	0,98	0,05	0,23	0,70	1,32	0,62
Periodo de lluvia-2013								
Caudal (m³/s)	3	6,16	4,36	19,04	4,36	2,99	11,14	8,15
V.media (m/s)	2	0,43	0,43	0,02	0,13	0,34	0,52	0,18
H. media (m)	2	0,73	0,73	0,00	0,04	0,70	0,75	0,05
Año 2013								
Caudal (m³/s)	9	5,63	5,51	5,84	2,42	2,99	11,14	8,15
V.media (m/s)	8	0,48	0,50	0,00	0,06	0,34	0,53	0,19
H. media (m)	8	0,89	0,86	0,05	0,22	0,70	1,32	0,62
Semestre 01-2014								
Caudal (m³/s)	9	6,82	6,99	6,57	2,56	3,48	11,06	7,58
V.media (m/s)	9	0,61	0,62	0,01	0,10	0,49	0,79	0,30
H. media (m)	9	0,99	0,97	0,04	0,20	0,65	1,28	0,63

El caudal máximo en la estación Antes de San Fernando (Tabla 21) y como parámetro más variable de acuerdo a los análisis, presentó un incremento notable para el periodo lluvioso del año 2013.

Los resultados para el período seco de 2013 y 2014 no presentan contraste significativo para su análisis.

Tabla 21. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Antes de San Fernando

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Semestre 02-2012								
Caudal (m ³ /s)	4	8,77	9,12	4,02	2,00	6,03	10,83	4,80
V.media (m/s)	4	0,54	0,50	0,02	0,14	0,42	0,74	0,32
H. media (m)	4	0,81	0,79	0,01	0,11	0,71	0,94	0,23
Semestre 01-2013								
Caudal (m ³ /s)	4	8,93	6,29	55,97	7,48	3,25	19,90	16,65
V.media (m/s)	4	0,48	0,43	0,05	0,23	0,26	0,81	0,55
H. media (m)	4	0,83	0,73	0,07	0,27	0,64	1,23	0,59
Semestre 02-2013								
Caudal (m ³ /s)	5	7,11	8,18	3,57	1,89	4,45	8,72	4,27
V.media (m/s)	5	0,53	0,52	0,00	0,03	0,50	0,57	0,07
H. media (m)	5	0,72	0,78	0,03	0,16	0,45	0,84	0,39
Periodo seco-2013								
Caudal (m ³ /s)	6	7,28	7,64	1,95	1,40	5,47	8,72	3,25
V.media (m/s)	6	0,50	0,52	0,00	0,06	0,40	0,57	0,17
H. media (m)	6	0,77	0,78	0,00	0,07	0,68	0,84	0,16
Periodo de Lluvias-2013								
Caudal (m ³ /s)	3	9,20	4,45	86,23	9,29	3,25	19,90	16,65
V.media (m/s)	3	0,52	0,50	0,08	0,28	0,26	0,81	0,55
H. media (m)	3	0,77	0,64	0,17	0,41	0,45	1,23	0,78
Año 2013								
Caudal (m ³ /s)	9	7,92	7,10	23,70	4,87	3,25	19,90	16,65
V.media (m/s)	9	0,51	0,52	0,02	0,15	0,26	0,81	0,55
H. media (m)	9	0,77	0,78	0,04	0,21	0,45	1,23	0,78
Semestre 01-2014								

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Caudal (m³/s)	2	5,23	5,23	0,47	0,69	4,74	5,71	0,97
V.media (m/s)	2	0,51	0,51	0,00	0,03	0,49	0,53	0,04
H. media (m)	2	0,51	0,51	0,00	0,03	0,49	0,53	0,04

En la Tabla 22 a Tabla 25 se presentan los resultados de las estaciones Aula Ambiental, Puente Acevedo, Puente Machado y Ancón Norte. Allí se aprecia una tendencia similar de los resultados del caudal, donde se indica un incremento de la varianza hacia aguas abajo principalmente en los periodos lluviosos del año 2012 y 2013. Este aumento en la varianza indica una mayor dispersión de los datos respecto a la media y es de esperarse ya que en épocas de lluvia los caudales son mucho más variables y son el reflejo de la respuesta de la cuenca ante eventos de precipitación e intervención antrópica.

Por su parte los parámetros hidráulicos de velocidad y profundidad no presentan fluctuaciones importantes de acuerdo con los estadísticos analizados.

Tabla 22. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Aula Ambiental

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Semestre 02-2012								
Caudal (m³/s)	8	12,42	11,61	45,63	6,76	3,07	22,23	19,16
V.media (m/s)	8	1,01	0,45	4,11	2,03	0,00	6,00	6,00
H. media (m)	8	1,32	0,94	3,77	1,94	0,02	6,00	5,98
Semestre 01-2013								
Caudal (m³/s)	4	20,28	14,33	159,99	12,65	13,25	39,23	25,98
V.media (m/s)	4	0,48	0,46	0,01	0,09	0,40	0,60	0,20
H. media (m)	4	1,10	0,90	0,18	0,43	0,85	1,74	0,89
Semestre 02-2013								
Caudal (m³/s)	5	17,85	18,77	17,70	4,21	10,84	22,23	11,39
V.media (m/s)	5	0,46	0,49	0,01	0,07	0,35	0,54	0,19
H. media (m)	5	1,05	1,06	0,02	0,13	0,85	1,18	0,33
Periodo seco-2013								
Caudal (m³/s)	6	17,84	18,58	9,40	3,07	13,82	22,23	8,41
V.media (m/s)	6	0,48	0,48	0,00	0,04	0,43	0,54	0,11
H. media (m)	6	1,02	1,04	0,02	0,13	0,85	1,18	0,33

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

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Periodo de Lluvias-2013								
Caudal (m³/s)	3	21,11	13,25	247,79	15,74	10,84	39,23	28,39
V.media (m/s)	3	0,45	0,40	0,02	0,13	0,35	0,60	0,25
H. media (m)	3	1,17	0,91	0,25	0,50	0,85	1,74	0,89
Año 2013								
Caudal (m³/s)	9	18,93	18,39	70,49	8,40	10,84	39,23	28,39
V.media (m/s)	9	0,47	0,46	0,01	0,07	0,35	0,60	0,25
H. media (m)	9	1,07	1,02	0,08	0,28	0,85	1,74	0,89
Semestre 01-2014								
Caudal (m³/s)	11	18,09	20,29	14,81	3,85	12,40	22,84	10,44
V.media (m/s)	11	0,50	0,52	0,01	0,09	0,36	0,67	0,31
H. media (m)	11	1,00	0,98	0,02	0,13	0,80	1,19	0,39

Tabla 23. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Puente Acevedo

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Semestre 02-2012								
Caudal (m³/s)	2	23,69	23,69	0,76	0,87	23,07	24,30	1,23
V.media (m/s)	2	0,79	0,79	0,00	0,04	0,76	0,81	0,05
H. media (m)	2	0,79	0,79	0,00	0,00	0,79	0,79	0,00
Semestre 01-2013								
Caudal (m³/s)	3	22,33	16,08	139,86	11,83	14,94	35,97	21,03
V.media (m/s)	3	0,64	0,53	0,06	0,24	0,47	0,92	0,45
H. media (m)	3	0,82	0,78	0,01	0,11	0,74	0,94	0,20
Semestre 02-2013								
Caudal (m³/s)	2	17,59	17,59	68,68	8,29	11,73	23,45	11,72
V.media (m/s)	2	0,69	0,69	0,04	0,21	0,54	0,83	0,29
H. media (m)	2	0,65	0,65	0,01	0,12	0,56	0,73	0,17
Periodo seco-2013								
Caudal (m³/s)	3	16,71	14,94	36,68	6,06	11,73	23,45	11,72

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

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

V.media (m/s)	3	0,61	0,54	0,04	0,19	0,47	0,83	0,36
H. media (m)	3	0,69	0,73	0,01	0,12	0,56	0,78	0,22
Periodo de lluvia-2013								
Caudal (m³/s)	2	26,03	26,03	197,81	14,06	16,08	35,97	19,89
V.media (m/s)	2	0,73	0,73	0,08	0,28	0,53	0,92	0,39
H. media (m)	2	0,84	0,84	0,02	0,14	0,74	0,94	0,20
Año 2013								
Caudal (m³/s)	5	20,43	16,08	93,84	9,69	11,73	35,97	24,24
V.media (m/s)	5	0,66	0,54	0,04	0,20	0,47	0,92	0,45
H. media (m)	5	0,75	0,74	0,02	0,14	0,56	0,94	0,38
Semestre 01-2014								
Caudal (m³/s)	1	19,66	19,66	-	-	19,66	19,66	0,00
V.media (m/s)	1	0,74	0,74	-	-	0,74	0,74	0,00
H. media (m)	1	0,71	0,71	-	-	0,71	0,71	0,00

Tabla 24. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Puesto Machado

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Semestre 02-2012								
Caudal (m³/s)	2	24,76	24,76	0,13	0,35	24,51	25,01	0,50
V.media (m/s)	2	1,33	1,33	0,00	0,04	1,30	1,36	0,06
H. media (m)	2	0,85	0,85	0,00	0,01	0,84	0,86	0,02
Semestre 01-2013								
Caudal (m³/s)	4	28,98	20,17	447,80	21,16	15,19	60,41	45,22
V.media (m/s)	4	1,24	1,09	0,16	0,41	0,95	1,84	0,89
H. media (m)	4	0,86	0,74	0,08	0,29	0,67	1,29	0,62
Semestre 02-2013								
Caudal (m³/s)	4	21,50	22,39	41,99	6,48	13,11	28,10	14,99
V.media (m/s)	4	1,05	1,04	0,01	0,10	0,95	1,16	0,21
H. media (m)	4	0,73	0,77	0,03	0,16	0,50	0,88	0,38
Periodo seco-2013								
Caudal (m³/s)	5	22,64	22,40	15,66	3,96	17,93	28,10	10,17

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

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

V.media (m/s)	5	1,08	1,09	0,00	0,07	0,99	1,16	0,17
H. media (m)	5	0,78	0,77	0,00	0,07	0,70	0,88	0,18
Periodo de lluvias-2013								
Caudal (m³/s)	3	29,57	15,19	714,41	26,73	13,11	60,41	47,30
V.media (m/s)	3	1,25	0,95	0,26	0,51	0,95	1,84	0,89
H. media (m)	3	0,82	0,67	0,17	0,42	0,50	1,29	0,79
Año 2013								
Caudal (m³/s)	8	25,24	21,25	225,93	15,03	13,11	60,41	47,30
V.media (m/s)	8	1,14	1,07	0,09	0,29	0,95	1,84	0,89
H. media (m)	8	0,79	0,76	0,05	0,23	0,50	1,29	0,79
Semestre 01-2014								
Caudal (m³/s)	1	17,53	17,53	-	-	17,53	17,53	0,00
V.media (m/s)	1	1,05	1,05	-	-	1,05	1,05	0,00
H. media (m)	1	0,66	0,66	-	-	0,66	0,66	0,00

Tabla 25. Parámetros estadísticos de caudales aforados, estación Ancón Norte

VARIABLE	N° DATOS	PROMEDIO	MEDIANA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO
Semestre 02-2012								
Caudal (m³/s)	4	25,50	26,46	37,69	6,14	17,14	31,93	14,79
V.media (m/s)	4	1,72	1,78	0,03	0,18	1,46	1,85	0,39
H. media (m)	4	0,59	0,61	0,01	0,09	0,48	0,68	0,20
Semestre 01-2013								
Caudal (m³/s)	4	35,60	27,87	517,58	22,75	17,74	68,92	51,18
V.media (m/s)	3	1,70	1,70	0,02	0,15	1,55	1,85	0,30
H. media (m)	3	0,60	0,58	0,01	0,08	0,53	0,68	0,15
Semestre 02-2013								
Caudal (m³/s)	5	24,45	27,29	45,33	6,73	16,90	31,61	14,71
V.media (m/s)	5	1,40	1,44	0,02	0,14	1,24	1,53	0,29
H. media (m)	5	0,70	0,76	0,02	0,13	0,56	0,86	0,30
Periodo seco-2013								
Caudal (m³/s)	6	26,72	28,04	26,29	5,13	16,90	31,61	14,71

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

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN – UNIVERSIDAD NACIONAL

V.media (m/s)	6	1,55	1,53	0,04	0,21	1,24	1,85	0,61
H. media (m)	6	0,70	0,72	0,01	0,12	0,56	0,86	0,30
Periodo de llluvias-2013								
Caudal (m ³ /s)	3	34,77	17,74	874,67	29,57	17,65	68,92	51,27
V.media (m/s)	2	1,41	1,41	0,04	0,20	1,27	1,55	0,28
H. media (m)	2	0,55	0,55	0,00	0,03	0,53	0,57	0,04
Año 2013								
Caudal (m ³ /s)	9	29,40	27,29	251,30	15,85	16,90	68,92	52,02
V.media (m/s)	8	1,51	1,53	0,04	0,20	1,24	1,85	0,61
H. media (m)	8	0,66	0,63	0,01	0,12	0,53	0,86	0,33
Semestre 01-2014								
Caudal (m ³ /s)	9	26,49	26,50	84,04	9,17	15,01	38,68	23,67
V.media (m/s)	9	1,52	1,49	0,02	0,14	1,31	1,67	0,36
H. media (m)	9	0,73	0,74	0,03	0,17	0,48	0,97	0,49