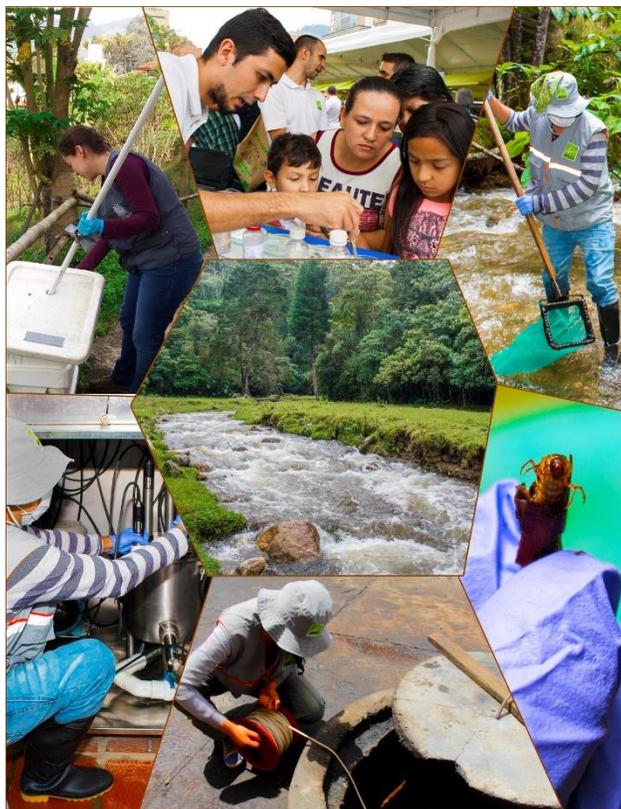


**AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO  
SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED  
DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ  
- MEDELLÍN**

**CONVENIO 643 DE 2019**



**INFORME EJECUTIVO CALIDAD AGUA SUPERFICIAL**



**MEDELLÍN, DICIEMBRE 2019**

**AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO  
SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED  
DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ  
– MEDELLÍN**

**CONVENIO 643-2019**

**INFORME EJECUTIVO CALIDAD AGUA SUPERFICIAL**



**EJECUTA:**



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

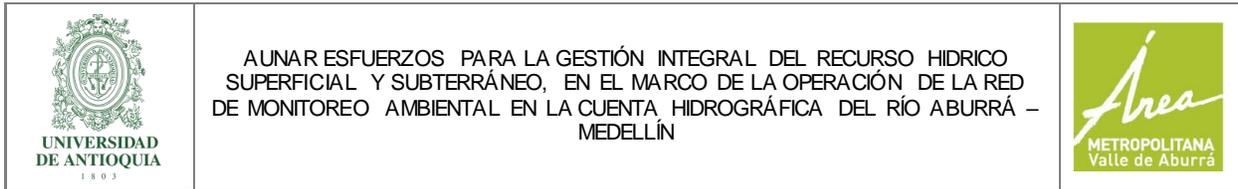
1803

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

**UN PROYECTO DE:**



**MEDELLÍN, DICIEMBRE DE 2019**



Aunar esfuerzos para la gestión integral del recurso hídrico superficial y subterráneo, en el marco de la operación de la red de monitoreo ambiental en la cuenta hidrográfica del río Aburrá – Medellín – Convenio 643 de 2019.

Un proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Eugenio Prieto Soto, Director

Gustavo Adolfo Londoño Gaviria, Subdirector Ambiental (e)

Ejecuta

Universidad de Antioquia

John Jairo Arboleda Céspedes

Rector

Equipo de Trabajo:

Lina Claudia Giraldo Buitrago, Coordinación General; Rubén Alberto Agudelo García, Asesor de Coordinación; Carolina Zapata Vanegas, Ingeniera Logístico y de Calidad; Andrés Mauricio Ríos Cifuentes, Asesor Contable; Sandra Eugenia Flórez Hoyos, Asistente Administrativa; John Fredy Carmona Castaño, Ingeniero Sanitario Coordinador Operativo de la Red; Camilo César Castro Jiménez, Especialistas Calidad de Aguas; Alejandra Cifuentes Zapata, Ingeniera de Apoyo Monitoreo; Julián David Rojo Hernández, Ingeniero Hidrología; Néstor Jaime Aguirre Ramírez, Asesor Biológico; Yina Sofía Racínez Jaramillo, María Camila Díaz Mesa, Jessica Johana Salgado Martínez, Daniel González Zapata, Auxiliares de Ingeniería Agua Superficial; Andrés Felipe López Gómez, Ingeniero de Sistemas para Bases de Datos Agua Superficial; Carlos Andrés Jaramillo Osorio, Ingeniero Líder Estaciones Automáticas; Juan Manuel Osorio Zapata, Ingeniero de Apoyo Estaciones Automáticas; Eder Guillermo Blanco de la Rosa, Yeison David Ortega Sandoval, Auxiliares de Ingeniería Estaciones Automáticas; Andrés Camilo Zapata Moreno, Alejandro Martínez Ayala, Profesionales Gestión de la Plataforma; Alexander Ossa Montoya, Ingeniero de Desarrollo de Interface Estaciones Automáticas; Juliana Ossa Valencia, Coordinadora Hidrogeóloga; John Camilo Duque Duque, Profesional para Modelación Aguas Subterráneas; Cristina Martínez Uribe, Profesional Manejo de Base de Datos Espacial; Juliana Ossa Valencia; Profesional en Interpretación Química e Isotópica del Agua Subterránea; Ángela Díaz Torres, Asistente Administrativa Agua Subterránea; Andrés Felipe Tapias Gutiérrez, David Alejandro Londoño Ramírez, Estudiantes Auxiliares Aguas Subterráneas; Sebastián Cuadros, Comunicador Líder Operación de la Red; Edwin Mauricio Moreno Orozco, Natalia Galeano



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



Cardona, Actores Campaña de Sensibilización; Katherine Aguirre Ortiz, Ingeniero especializado con experiencia y con conocimiento en manejo de bases de datos y desarrollo de interfaces de integración de base de datos; Yaneth Maritza Moncada Velásquez, Profesional del área social con experiencia específica en agua subterránea (Fortalecimiento social de la Red subterránea); Alba Mery Upegüi Posada, Profesional del área social con experiencia específica en agua subterránea (Apoyo a proceso de Mesa Metropolitana de Aguas Subterráneas); Sandalee Escobar Upegüi, Auxiliar Componente Social; Milton Alexis Ramírez Zuluaga, Profesional Líder Plan Comunitario Líder; Eliana Alejandra Uribe Olarte, Auxiliar Técnico; Carolina María Valencia Tobón, Carlos Andrés Ardila Duque, Juan Esteban Cataño Tobón; Profesionales ambientales; Diana Cristina Atehortúa Rivera, Profesional Sanitaria; Michelle Rendón Builes, Profesional apoyo (biólogo).

Supervisión Área Metropolitana del Valle de Aburrá:

María Yaneth Rúa García

Equipo RedRío: Olga Amparo Velázquez Lozano; Héctor Jaime Vélez Jiménez

Equipo contratista RedRío: Raúl Alexander Cardona Pareja, Ángela Soto Isaza, Vanessa García Leoz, Yéssica Yuliana Bedoya Valencia.

Interventoría COLNET:

María Alejandra Echeverri Arango, Coordinadora; Norberth Ayala Ocampo, Apoyo a la Coordinación Componente Ambiental y Administrativo; Leonardo García, Responsable Componente Operación Agua Superficial; Andrés González apoyo estaciones automáticas y monitoreo, Sandra Patiño, Responsable Operación Agua Subterráneas; Diana Álvarez, Responsable Componente Comunicaciones; William Fernando Isaza Marulanda, Componente Financiero.

Diciembre de 2019, Medellín



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	6
2	OBJETIVOS .....	6
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
3	CONSIDERACIONES.....	6
4	CLASIFICACIÓN CAUDALES REGISTRO HISTÓRICO.....	8
5	CLASIFICACIÓN CAMPAÑAS 2019.....	11
6	ANÁLISIS DE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS RESPECTO AL REGISTRO HISTÓRICO Y POR CAUDAL .....	12
7	ANÁLISIS ICA GLOBAL E ICA .....	18
8	TENDENCIAS GENERALES DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GLOBAL (ICA GLOBAL) .....	21
9	CALIDAD DEL AGUA EN QUEBRADAS AFLUENTES CAMPAÑA 28 Y 29 DE AGOSTO DE 2019.....	26
10	CONCLUSIONES .....	31
11	RECOMENDACIONES.....	32
12	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	33
13	ANEXO 1 .....	34



## 1 INTRODUCCIÓN

En el año 2019, en el marco del Convenio 643 de 2019, se realizaron dos campañas de monitoreo sobre el río Aburrá-Medellín, los días 14 de agosto y 18 de septiembre y una campaña de quebradas en 22 afluentes al río ejecutada el 28 y 29 de agosto. En estas, se midieron variables fisicoquímicas como oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DQO, nutrientes y sólidos, entre otras; asimismo, se analizaron variables hidrobiológicas. La información anterior permitió calcular índices de calidad como BMWP/Col, ICA, ICA Quebradas e ICA Global y cargas contaminantes.

En el presente documento se analizan los resultados obtenidos durante las campañas realizadas en 2019 para las principales variables fisicoquímicas e hidrobiológicas (oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DQO, nutrientes, sólidos suspendidos totales y BMWP/Col) y para los índices de calidad ICA e ICA Global en trece estaciones sobre el río Aburrá-Medellín y un sitio de monitoreo sobre el río Porce respecto a los valores promedio históricos calculados entre 2010-2019. Adicionalmente, se analizaron las tendencias para el ICA Global en el periodo mencionado en diferentes estaciones a lo largo del río con la finalidad de conocer su evolución. En cuanto a la campaña de quebradas, se incluyeron los resultados obtenidos para los índices de calidad en 22 afluentes al río Aburrá-Medellín.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los resultados obtenidos durante las campañas realizadas en 2019 para las principales variables fisicoquímicas e hidrobiológicas y los índices de calidad en trece estaciones sobre el río Aburrá-Medellín y un sitio de monitoreo sobre el río Porce respecto a los valores promedio históricos calculados entre 2010-2019.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar los resultados obtenidos para las principales variables fisicoquímicas e hidrobiológicas y los índices de calidad evaluados en el río Aburrá-Medellín respecto al promedio histórico calculado para el periodo 2010-2019.
- Analizar la tendencia en el índice de calidad ICA Global en las estaciones sobre el río Aburrá-Medellín en el periodo 2010-2019.
- Analizar la calidad del agua en 22 quebradas afluentes al río Aburrá-Medellín según los resultados obtenidos para el ICA e ICA Quebradas en la campaña de monitoreo realizada el 28 y 29 de agosto de 2019.

## 3 CONSIDERACIONES

- En el presente documento se comparan los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas y los índices de calidad medidos en las campañas realizadas en 2019 (14 de agosto y 18 de septiembre) con el promedio histórico obtenido entre 2010 y 2019. Se analizó el registro de datos tomado en las campañas de monitoreo de tipo completa, compuesta y objetivos realizadas en este periodo, puesto que durante estas jornadas se recolectaron muestras compuestas entre las 6:00 y 18:00 horas. Se destaca los monitoreos realizados

durante Fase I y Fase II no se tuvieron en cuenta en el presente análisis puesto que el conjunto de datos correspondió a muestras puntales en diferentes sitios de monitoreo y muestras compuestas que representaban las condiciones diurnas y nocturnas de la corriente, lo que no es comparable con las muestras compuestas tomadas a partir del año 2010.

- Se calcularon los promedios históricos para las variables fisicoquímicas oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DQO, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total, sólidos suspendidos totales e índice biológico BMWP/Col; también se calculó la media para los índices de calidad ICA (propuesto por el IDEAM) e ICA Global. De manera conjunta se adelantaron aforos sobre las diferentes corrientes para incorporar dentro de los análisis las condiciones hidrológicas; los principales resultados indican que la campaña del 14 de agosto corresponde a caudales bajos, mientras que la del 18 de septiembre corresponde a caudales altos.
- El promedio histórico obtenido en el periodo 2010-2019 combina los resultados obtenidos durante todas las campañas de monitoreo. De acuerdo con lo anterior, se debe resaltar que durante las campañas de caudal alto se presenta una dilución de los contaminantes y/o una resuspensión de sedimentos, entretanto, en las campañas de caudal bajo se registra una concentración de los contaminantes debido a un menor caudal base, por lo que se presenta una menor capacidad de dilución. En ese sentido, dado que las campañas se adelantaron bajo condiciones secas y húmedas, la comparación de los resultados con respecto al valor medio no necesariamente refleja una mejora o deterioro en la calidad del agua. Para analizar las condiciones de mejora o deterioro a lo largo del río Aburrá-Medellín a partir de la información histórica recolectada durante la operación de RedRío se hace necesario evaluar las tendencias generales de índices de calidad, que reflejen un aumento o disminución gradual en los valores medios para esta.
- Para evaluar la tendencia en la calidad del agua en el río Aburrá-Medellín se utilizaron la prueba T y la prueba de Mann Kendal en las series de valores medios anuales del ICA Global en cada una de las estaciones de monitoreo. De acuerdo con la calificación de la calidad del agua según el ICA Global (Tabla 1), una aumento en el valor de este o una tendencia positiva o creciente indicaría un deterioro en la calidad del agua, por el contrario, una disminución en su valor o una tendencia decreciente representaría una mejora en la calidad del agua.

**Tabla 1. Categoría Índice de Calidad ICA Global**

CALIFICACION DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO	RANGO NUMÉRICO DE VALORES	COLOR
Buena	<=3.00	Azul
Aceptable	3.10 – 6.00	Verde
Regular	6.10 – 9.00	Amarillo
Mala	9.10 – 12.00	Naranja
Muy Mala	>12.00	Rojo

- El cálculo de los valores medios a su vez depende de la cantidad de datos existentes. Se destaca que Reserva Alto de San Miguel (E0) comenzó a monitorearse en la campaña realizada el 22 de febrero de 2017, mientras que las mediciones en Parque de las Aguas (E14) se retomaron el 25 de abril de 2018. Estas dos estaciones tienen menos registros respecto a los sitios de monitoreo restantes.
- La información correspondiente a la estación San Miguel (E1) durante la operación de la red de monitoreo en el periodo 2010-2019 se ha tomado en dos sitios diferentes debido a la implementación de la estación automática. Para realizar el análisis de la información en este

sitio de monitoreo, se validó mediante la prueba t y la prueba W de Mann Whitney-Wilcoxon que no se presentaban diferencias estadísticamente significativas entre las medias y las medianas del conjunto de datos correspondiente a las variables fisicoquímicas. La hipótesis nula planteada correspondió a que las medias o medianas de las muestras eran iguales, mientras que la hipótesis alternativa contempla que son diferentes. Los valores p obtenidos a partir de la prueba t y la prueba W de Mann Whitney-Wilcoxon se presentan en la Tabla 2.

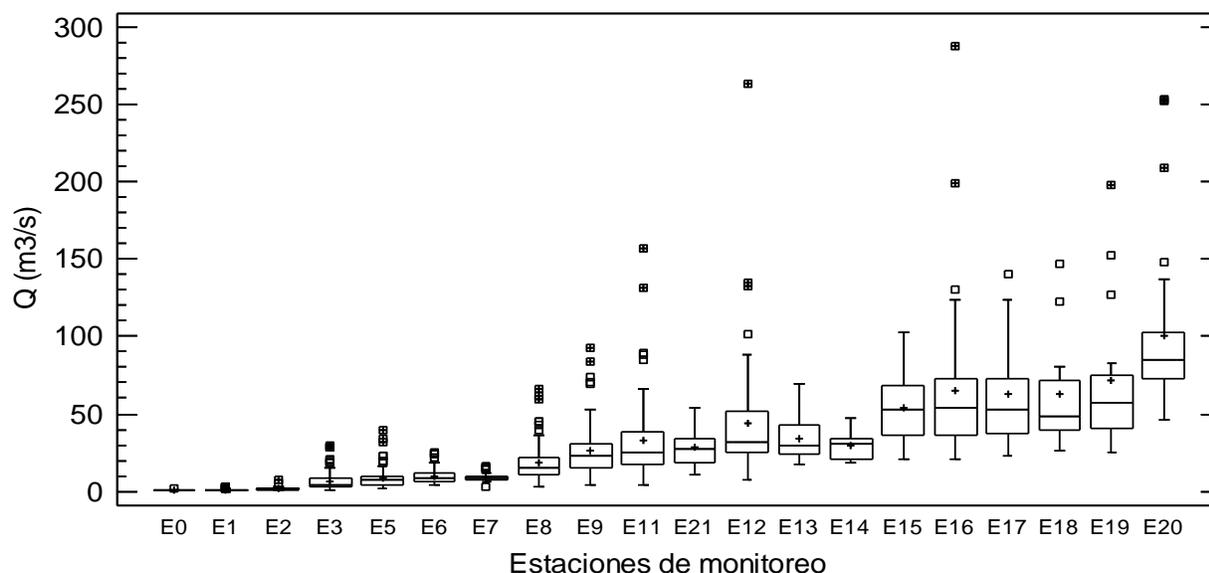
**Tabla 2. Valores p comparación de medias y medianas**

VARIABLE	Valor p	
	Pruebat	Prueba W
Oxígeno disuelto (mg/L)	>0.05	>0.05
Conductividad eléctrica (µS/cm)	<0.05	<0.05
DQO (mg/L)	>0.05	>0.05
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	>0.05	>0.05
NTK (mgN/L)	>0.05	<0.05
P Total (mgP/L)	>0.05	>0.05
SST (mg/L)	>0.05	<0.05
Q (m <sup>3</sup> /s)	>0.05	>0.05

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 2, los valores p obtenidos en ambas pruebas para la mayoría de las variables fisicoquímicas evaluadas fueron mayores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula, de modo que no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias o medianas de las muestras tomadas entre el 2010 y 2015 en la primera ubicación y entre el 2016 y el 2019 cuando se instaló la estación automática. En ese sentido, para analizar el registro histórico en la estación San Miguel (E1) se tomó el conjunto de datos registrado en el periodo comprendido entre 2010 y 2019. Se destaca que las diferencias observadas para las variables fisicoquímicas se deben principalmente a la carga contaminante aportada por la quebrada La Mina, la cual tributa al río Aburrá-Medellín a aproximadamente 50 metros aguas arriba del sitio de monitoreo actual. Esta quebrada presenta intervención antrópica por zonas de pastoreo, construcciones industriales y escombreras.

#### 4 CLASIFICACIÓN CAUDALES REGISTRO HISTÓRICO

En la Figura 1 se muestra un diagrama de caja y bigotes con el registro histórico de los caudales aforados en las campañas de monitoreo realizadas durante diferentes épocas de caudal entre 2004 a 2019 en 19 estaciones localizadas sobre el río Aburrá-Medellín y un sitio de monitoreo ubicado en el río Porce.



**Figura 1. Registro histórico caudales (m<sup>3</sup>/s) río Aburrá-Medellín**

A partir de dicha información se construyó la curva de duración de caudales con el ánimo de establecer el régimen hidrológico. En la Tabla 3 se muestra el resumen estadístico por estación para el conjunto de datos registrado para los caudales en las campañas de tipo compuesta, objetivos y completa realizadas en el río Aburrá-Medellín en el periodo comprendido entre 2010 y 2019. Los límites para caudales bajos, medios y altos se definieron a partir de los percentiles Q25 y Q75 tomados de la curva de duración de caudales para cada estación. Aquellos caudales inferiores a Q25 se consideraron como bajos, entre Q25 y Q75 corresponden a caudales medios y aquellos superiores a Q75 se clasifican como altos.



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN

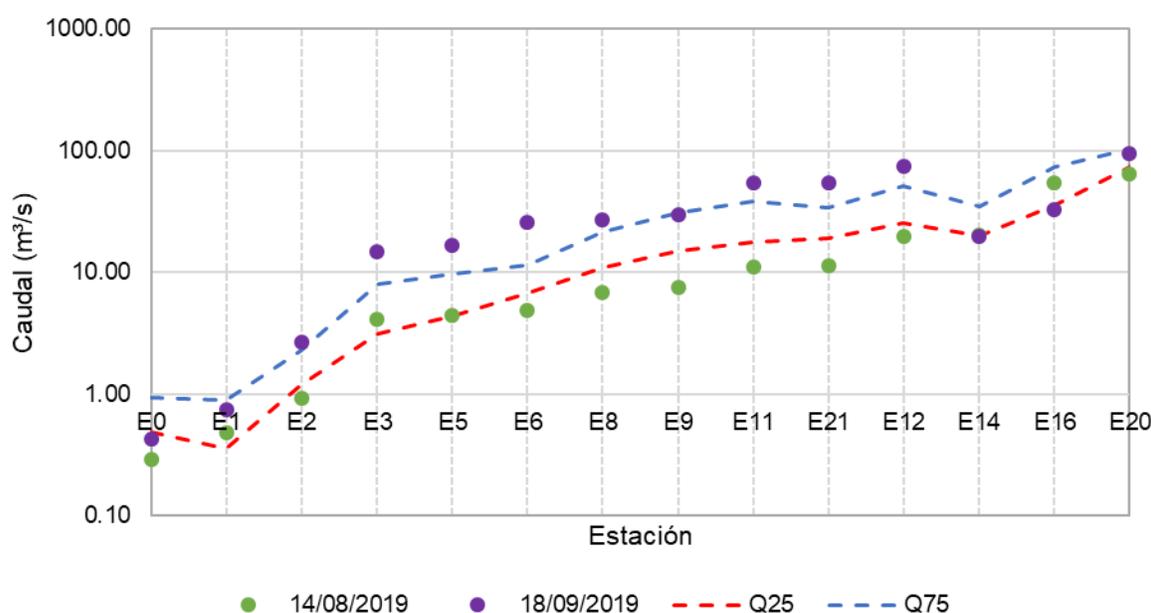


**Tabla 3. Resumen estadístico caudales (m<sup>3</sup>/s) registro histórico**

ESTACIÓN	CÓDIGO	NÚMERO DE DATOS	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Reserva Alto de San Miguel	E0	8	0.29	2.15	1.86	0.81	0.59	0.49	0.60	0.93	0.44
San Miguel	E1	84	0.18	2.85	2.67	0.72	0.56	0.36	0.47	0.90	0.54
Primavera	E2	49	0.63	6.96	6.33	1.87	1.12	1.18	1.56	2.27	1.09
Ancón Sur	E3	85	1.18	29.99	28.81	6.73	5.92	3.15	4.58	8.00	4.85
Antes de San Fernando	E5	79	2.13	39.19	37.06	8.91	7.05	4.43	7.16	9.72	5.29
Después de San Fernando	E6	61	4.34	25.45	21.11	10.10	4.77	6.82	8.30	11.59	4.77
Puente Guayaquil	E7	29	3.33	16.72	13.39	9.19	3.05	7.31	8.30	9.91	2.60
Aula Ambiental	E8	84	3.09	66.02	62.93	18.54	12.02	11.03	15.04	21.42	10.39
Puente Acevedo	E9	74	3.61	92.60	88.99	26.45	17.28	15.03	22.90	30.54	15.51
Puente Machado	E11	76	4.23	156.70	152.40	32.98	25.82	17.73	24.84	38.31	20.59
Niquía	E21	11	11.24	54.33	43.09	28.01	12.05	18.86	27.01	34.16	15.30
Ancón Norte	E12	60	7.16	262.90	255.70	44.15	39.62	25.29	31.77	51.67	26.38
Puente Girardota	E13	28	17.07	69.32	52.25	34.51	15.32	23.52	29.59	43.09	19.57
Parque de las Aguas	E14	14	18.33	47.39	29.06	29.17	8.47	20.20	30.41	34.48	14.28
Hatillo	E15	27	20.31	103.10	82.77	53.87	20.64	36.57	53.24	68.32	31.75
Papelsa	E16	50	21.03	287.90	266.80	64.69	45.75	35.64	53.57	72.78	37.14
Popalito	E17	16	22.45	140.10	117.60	63.26	35.09	37.31	52.95	72.47	35.16
Pradera	E18	13	26.60	147.30	120.70	63.25	35.48	39.63	48.82	72.14	32.51
EADE	E19	17	24.60	197.50	172.90	71.42	46.37	41.02	57.50	74.66	33.64
Puente Gabino	E20	33	45.66	253.00	207.30	100.40	50.30	72.70	85.05	102.20	29.48

## 5 CLASIFICACIÓN CAMPAÑAS 2019

En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos para los caudales aforados durante las campañas de monitoreo realizadas el 14 de agosto de 2019 (puntos verdes) y el 18 de septiembre de 2019 (puntos violetas) en trece estaciones sobre el río Aburrá-Medellín y un sitio de monitoreo localizado en el río Porce, adicionalmente, también se ilustra el conjunto de datos correspondiente a los percentiles Q25 y Q75 para cada una de las estaciones. Se destaca que los caudales inferiores a Q25 se consideraron como bajos, entre Q25 y Q75 correspondieron a caudales medios y aquellos superiores a Q75 se clasificaron como altos

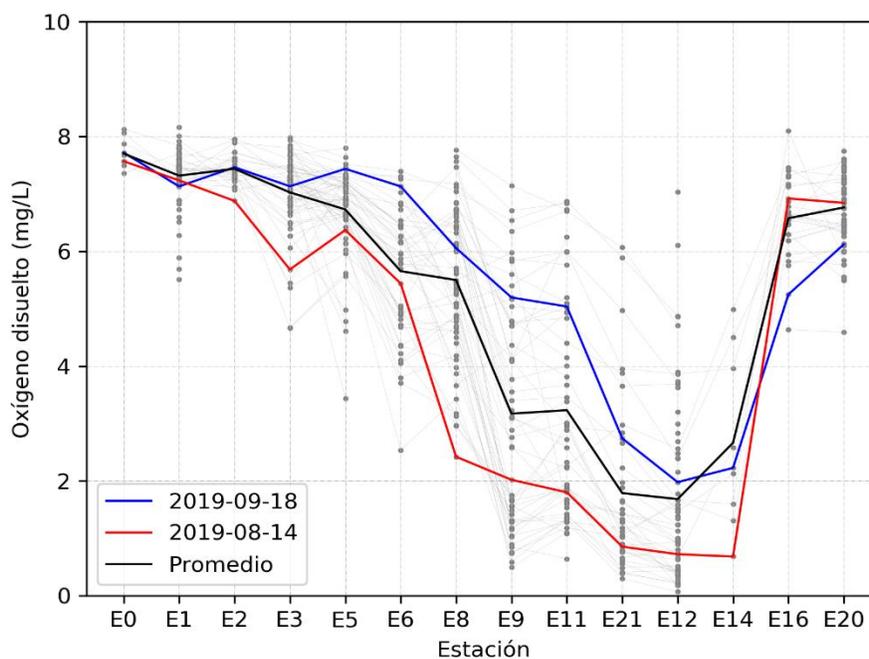


**Figura 2. Clasificación régimen de caudal campañas de monitoreo 2019**

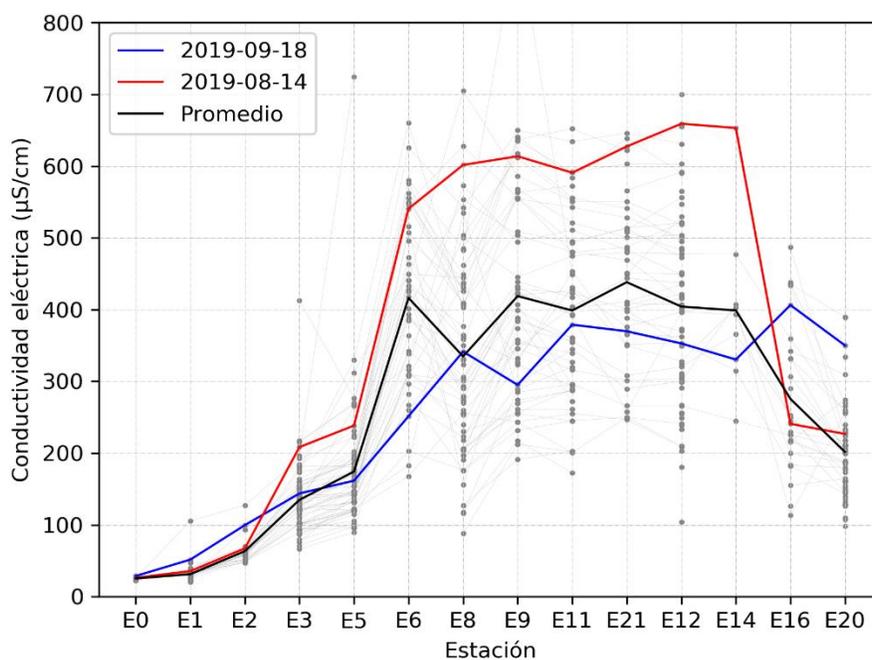
De acuerdo con lo anterior, la mayoría de los registros en las estaciones evaluadas fueron inferiores a Q25 durante el 14 de agosto de 2019, por lo que esta campaña puede clasificarse como de caudales bajos. Por el contrario, el conjunto de datos reportado durante el 18 de septiembre de 2019 fue superior a Q75 en todos los sitios de monitoreo, excepto en E0, E1, E14, E16 y E20, por lo que esta campaña correspondió a caudales altos. Lo anterior, se relaciona con el incremento en el caudal generado a partir de las lluvias registradas en la cuenca durante la campaña de monitoreo. Se destaca que la medición de caudal en E14 y E16 se realizó en horas de la mañana y no estuvo influenciada por las lluvias registradas en la cuenca, puesto que la masa de agua que transitaba durante el intervalo de tiempo en el cual se realizó el aforo no estaba afectada por las precipitaciones debido a los tiempos de viaje de la corriente. Es importante mencionar que la suspensión en el efluente de la central hidroeléctrica La Tasajera también afectó el caudal en E16.

## 6 ANÁLISIS DE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS RESPECTO AL REGISTRO HISTÓRICO Y POR CAUDAL

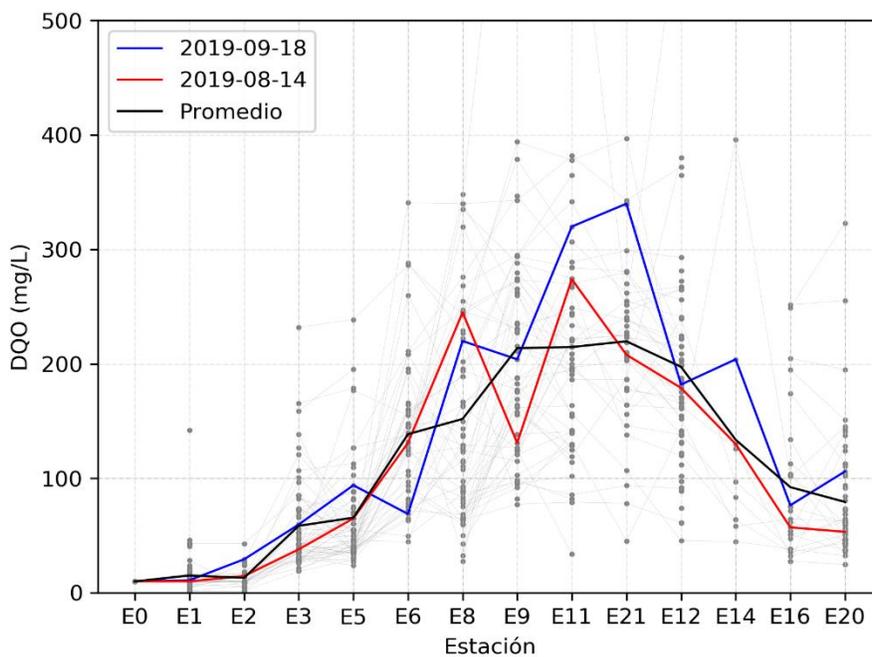
En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas oxígeno disuelto (Figura 3 a), conductividad eléctrica (Figura 3 b), DQO (Figura 3 c), nitrógeno total Kjeldahl (Figura 3 d), fósforo total (Figura 3 e), sólidos suspendidos totales (Figura 3 f) e índice biológico BMWP/Col (Figura 3 g) medidas durante las campañas de monitoreo realizadas el 14 de agosto y 18 de septiembre de 2019. Se destaca que la primera campaña correspondió a caudales bajos, como se mencionó previamente, por lo que los resultados se ilustran mediante una línea de color rojo, entretanto, los datos de la segunda campaña se ilustran en azul debido a que esta fue de caudales altos. En la Figura 3 también se muestra el conjunto de datos registrado durante la operación de la red de monitoreo entre 2010 y 2019 (color gris) en las estaciones actualmente evaluadas, asimismo, se presenta el valor promedio (línea color negro) registrado para cada variable en este periodo.



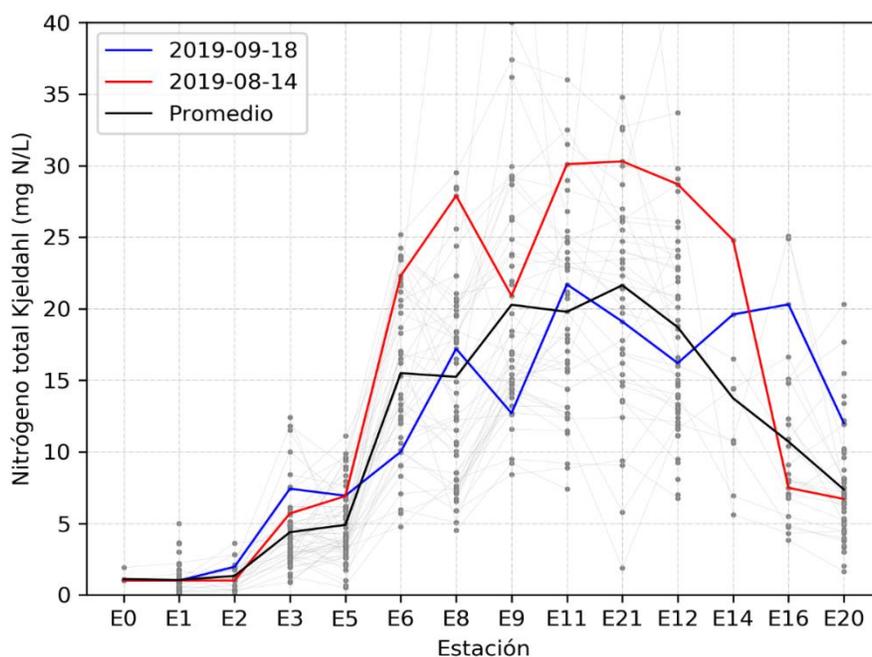
a. Oxígeno disuelto



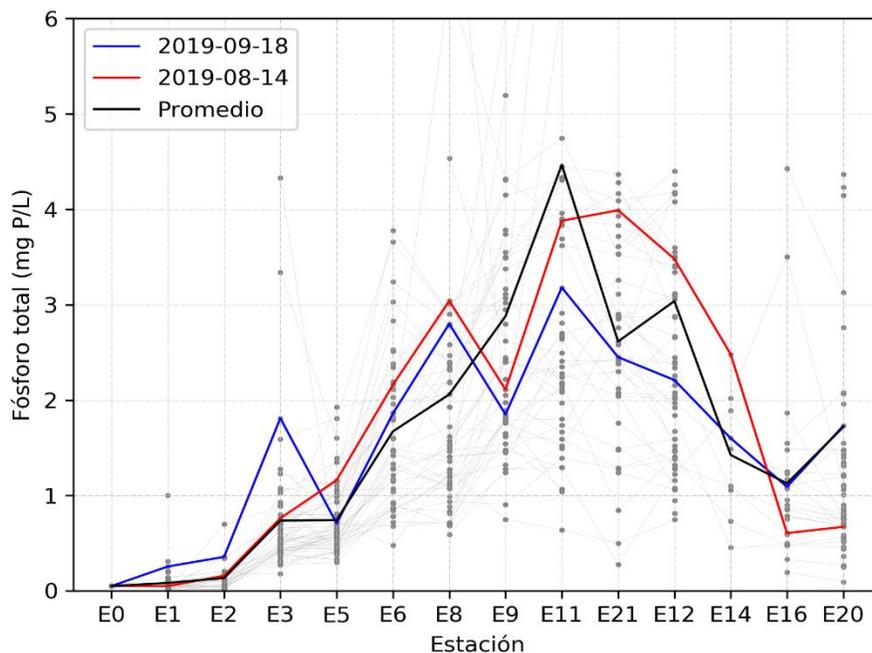
**b. Conductividad eléctrica**



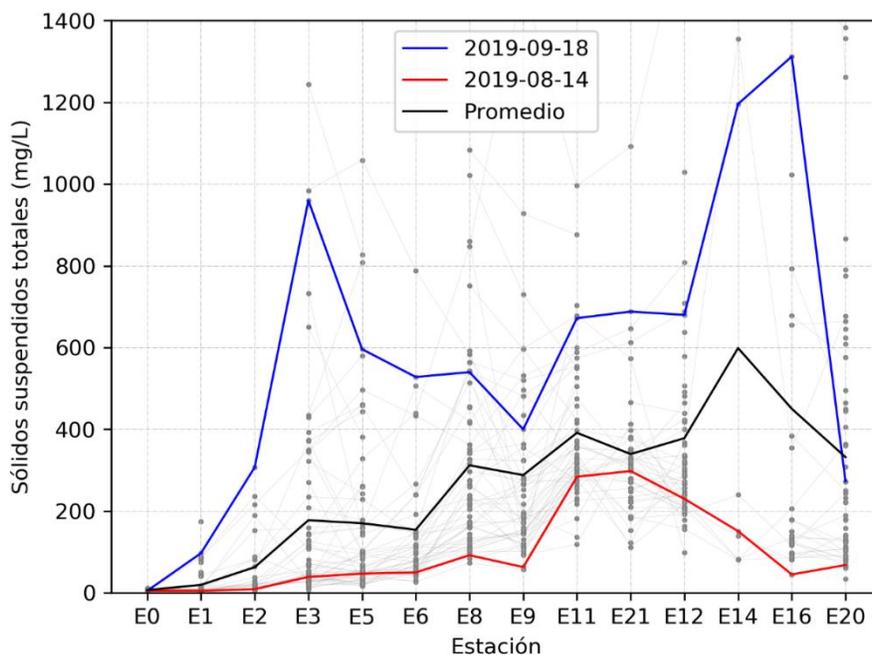
**c. DQO**



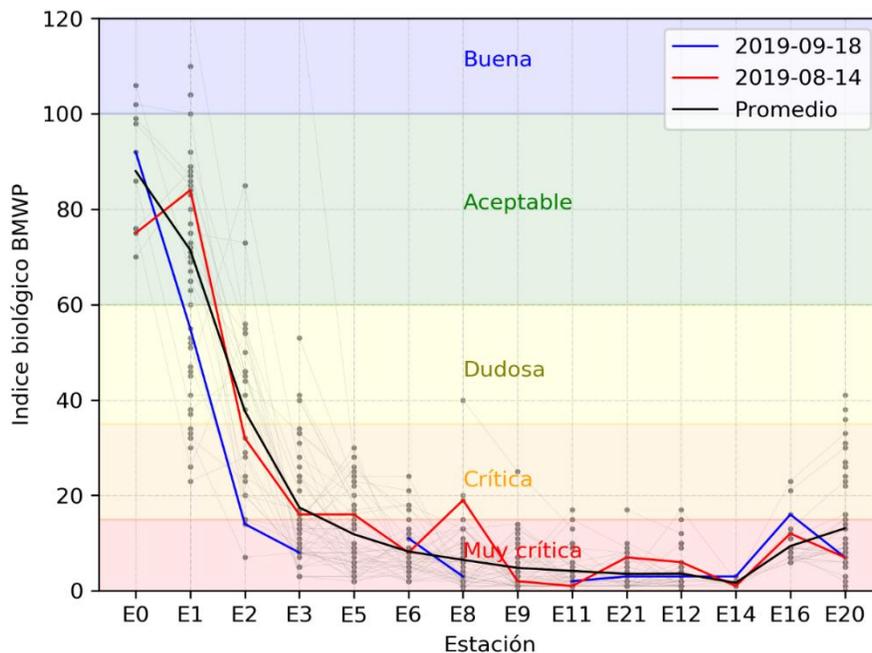
d. Nitrógeno Total Kjeldahl



e. Fósforo Total



f. Sólidos Suspendedos Totales



g. Índice biológico BMWP/Col

Figura 3. Variables fisicoquímicas en el río Aburrá-Medellín (2010-2019)

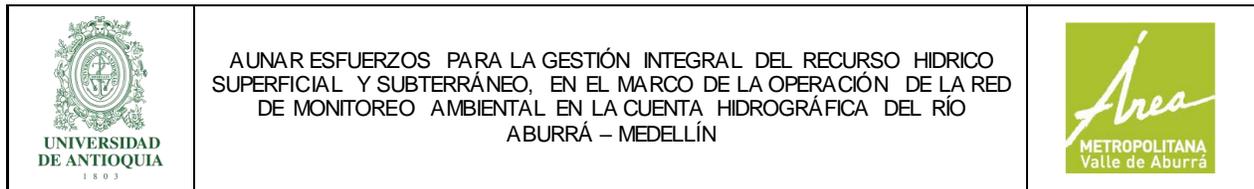
 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN</p>	 <p>Área METROPOLITANA Valle de Aburrá</p>
--	---	---

Durante las campañas de monitoreo realizadas el 14 de agosto y el 18 de septiembre de 2019, el conjunto de datos registrado para las variables conductividad eléctrica, DQO, nutrientes y sólidos suspendidos totales presentó una tendencia creciente entre las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0) y Parque de las Aguas (E14) y una disminución en el tramo comprendido entre las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20). En contraste, el oxígeno disuelto mostró un comportamiento decreciente entre E0 y E14 y creciente en las estaciones E16 y E20. Por otro lado, el índice biológico BMWP/Col presentó valores altos en E0 y E1, típicos de aguas de calidad entre aceptable y dudosa, mientras que en las estaciones restantes se obtuvieron valores bajos, asociados a una calidad del agua entre crítica y muy crítica.

Los resultados obtenidos en E0 se asociaron con la, relativa, baja intervención antrópica, puesto que el sitio de monitoreo se localiza dentro de una zona de reserva implementada con la finalidad de proteger el recurso hídrico. Entretanto, los resultados en E1 y E2 se vincularon a los aportes de aguas residuales realizados sobre el río y sus afluentes provenientes de las viviendas localizadas en la vereda La Clara y La Salada, las cargas difusas relacionadas con las actividades agrícolas, pecuarias y forestales desarrolladas en esta área y los aportes de escorrentía debido a las lluvias que se presentaron durante la segunda campaña. De acuerdo con el índice BMWP/Col, la calidad del agua en las estaciones E0 y E1 fue aceptable durante la primera campaña (14 de agosto de 2019) y osciló entre aceptable y dudosa en la segunda campaña (18 de septiembre de 2019), posteriormente, la calidad del agua en E2 osciló entre crítica y muy crítica en ambas jornadas; lo que evidencia un deterioro en el ecosistema acuático, asociado a un cambio en la estructura de los macroinvertebrados acuáticos respecto a E0.

En el tramo comprendido entre las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0) y Primavera (E2), los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas en ambas campañas fueron similares al valor promedio y la dispersión del registro histórico fue baja. Se destaca que, en general, los datos registrados para las variables fisicoquímicas medidas en el laboratorio fueron inferiores a los límites de cuantificación de los métodos usados. En cuanto al índice biológico BMWP/Col, se obtuvo una mayor dispersión en los datos, tanto durante las campañas realizadas en 2019 como en el histórico. La calidad del agua, de acuerdo con el registro obtenido en el periodo 2010-2019 ha oscilado entre buena y aceptable en E0, entre buena y crítica en E1 y entre aceptable y muy crítica en E2. Lo anterior, se asocia a la baja intervención antrópica en la zona, como también, a la deriva o arrastre de macroinvertebrados acuáticos durante época de caudales altos. Se destaca que la baja dispersión en E0 también se puede relacionar con una menor cantidad de datos respecto a E1 y E2.

El incremento observado en las variables fisicoquímicas en el tramo comprendido entre las estaciones Ancón Sur (E3) y Parque de las Aguas (E14) y la disminución en la concentración de oxígeno disuelto se atribuye a vertimientos directos realizados al río, como a la carga contaminante aportada por sus quebradas afluentes. Entre los vertimientos localizados en el tramo mencionado se destacan la Descarga de la PTAR San Fernando (D1), localizada entre E5 y E6, la Descarga de la PTAR Aguas Claras (D6) ubicada entre E11 y E21 y el bypass vinculado a la operación de esta última, localizado aguas arriba de E11. Entre las quebradas afluentes que influyen en los resultados obtenidos para el río entre E3 y E14 se mencionan La Mina (Q25), Doña María (E4), Altavista (Q8), La Picacha (Q20), La Hueso (Q9), La Iguañá (Q11), Santa Elena (Q10), La Rosa (Q12), La Madera (Q13) y La García (E10). La calidad del agua entre E3 y E14,



según los resultados obtenidos en 2019 para el índice BMWP/Col, osciló entre crítica y muy crítica, lo que evidenció que el río en este tramo se encuentra altamente deteriorado.

En este tramo se observó que los datos correspondientes a la conductividad eléctrica, DQO y nutrientes medidos en la campaña realizada el 14 de agosto de 2019 (caudales bajos) fueron superiores al promedio histórico. En cuanto a la campaña ejecutada el 18 de septiembre de 2019 (caudales altos) se registraron tanto valores inferiores como superiores a la media histórica a lo largo del río. Se resalta que la concentración de oxígeno disuelto fue menor al promedio histórico durante la primera campaña y mayor en el transcurso de la segunda, al igual que la concentración de sólidos suspendidos totales.

Se nota que en este tramo se presentó la mayor dispersión en los datos de acuerdo con el registro histórico obtenido durante la operación de la red en el periodo 2010-2019. La dispersión en los datos observada entre E3 y E14 se vincula a las cargas contaminantes aportadas al río, como también, a cambios en los regímenes de caudal, dado que estos influyen en la capacidad de asimilación de los contaminantes vertidos al río y a las quebradas. En época de caudales bajos se presentó un incremento en los niveles de las variables fisicoquímicas conductividad eléctrica, DQO y nutrientes debido a una disminución en el caudal base de la corriente por lo que se presenta una menor capacidad de esta para asimilar la materia orgánica e inorgánica aportada a través de vertimientos y por las quebradas afluentes. En época de caudales altos los niveles de los contaminantes transportados por el río disminuyen debido a procesos de dilución, sin embargo, durante la campaña realizada el 18 de septiembre de 2019 se presentó una resuspensión de sedimentos, lo cual generó una reincorporación de este material a la matriz agua y contribuyó a generar un incremento en los niveles de las variables fisicoquímicas, principalmente en la concentración de sólidos suspendidos totales.

El aumento observado en la concentración de oxígeno disuelto durante la campaña de caudales altos en el tramo E3-E14 se asoció principalmente con un mayor intercambio gaseoso entre la atmósfera y la corriente debido a la turbulencia. Se resalta que el nivel de oxígeno disuelto en E14 durante esta jornada fue inferior al promedio histórico, asociado posiblemente a las condiciones hidráulicas del cauce, las cuales no favorecen la disolución de oxígeno debido a la baja pendiente, como también, al transporte de la masa de agua afectada por la resuspensión de sedimentos, puesto que la oxidación de la materia orgánica e inorgánica reincorporada puede disminuir la concentración de oxígeno disuelto.

La disminución en los niveles de las variables fisicoquímicas registrado en las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) se relaciona con procesos de dilución debido al ingreso de aguas de mejor calidad, como la descarga proveniente de la central hidroeléctrica La Tasajera y el aporte de la quebrada Ovejas (Q30), así como la confluencia entre el río Aburrá-Medellín y río Grande. Asimismo, se asocia al cambio en las condiciones hidráulicas en este tramo del río, en el cual se presentan variaciones en la pendiente del cauce y la velocidad de la corriente que influyen en el intercambio gaseoso entre la atmósfera y la matriz agua y generan un incremento en la concentración de oxígeno disuelto, mientras que en determinados tramos favorecen la sedimentación del material suspendido. Según el índice BMWP/Col, la calidad del agua en E16 y E20 fue catalogada como muy crítica en ambas campañas, debido a las aguas residuales de tipo doméstico y no doméstico vertidas aguas arriba de E16 y E20, puesto que incrementan los niveles de materia orgánica e inorgánica presentes en el ecosistema acuático.

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN</p>	 <p>Área METROPOLITANA Valle de Aburrá</p>
--	---	---

Los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas conductividad eléctrica, DQO, nitrógeno total Kjeldahl y sólidos suspendidos totales en la campaña realizada el 18 de septiembre en el tramo E16-E20 fueron mayores respecto al valor promedio histórico, mientras que la concentración de oxígeno disuelto fue superior y de fósforo total fue similar. Estos resultados se relacionan con la resuspensión de sedimentos observada a lo largo de la corriente, producto del aumento en el caudal y a que no se presentaron procesos de dilución de los contaminantes transportados por el río, asociado al efluente de la central hidroeléctrica La Tasajera. En cuanto a la campaña correspondiente al 14 de agosto de 2019, se resalta que los niveles registrados para las variables fisicoquímicas, a excepción del oxígeno disuelto, también fueron inferiores al promedio histórico. Este comportamiento se relaciona con una menor capacidad de la corriente para asimilar la materia orgánica e inorgánica aportada al río, debido al menor caudal base. Los resultados históricos obtenidos para las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas entre las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) presentaron una menor dispersión en comparación con el tramo mencionado previamente (E3-E14). El índice biológico BMWP/Col fue mayor al valor promedio histórico en E16 y menor en E20 durante ambas campañas realizadas en 2019, los resultados obtenidos durante 2019 oscilaron entre crítica y muy crítica, mientras que históricamente en este tramo varió entre dudosa y muy crítica.

## 7 ANÁLISIS ICA GLOBAL E ICA

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos para el ICA y el ICA Global durante las campañas de monitoreo realizadas el 14 de agosto (línea color rojo) y el 18 de septiembre de 2019 (línea color azul), el conjunto de datos registrado durante la operación de la red de monitoreo entre 2010 y 2019 (color gris) y el promedio histórico (línea color negro) para dicho periodo. Los datos registrados para el ICA y el ICA Global en 2019 evidenciaron que el río Aburrá-Medellín presentó un deterioro en su calidad a medida que recorre los municipios que conforman la cuenca, esta osciló entre buena y muy mala entre las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0) y Parque de las Aguas (E14) según el ICA Global y entre buena y mala de acuerdo al ICA, no obstante, entre las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) se registró una mejoría y la calidad del agua osciló entre regular y mala según ambos índices.

En la zona alta de la cuenca, la calidad del agua en las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0), San Miguel (E1) y Primavera (E2) osciló entre buena y aceptable. La calidad del agua en E0 se vincula a la implementación de medidas de protección del recurso hídrico como la Reserva Forestal Protectora, mientras que la calidad del agua en E1 y E2 se asocia a la baja intervención antrópica y a los vertimientos de aguas residuales provenientes de las veredas La Clara y La Salada, la carga contaminante aportada por las quebradas La Mina y La Salada, y las cargas difusas derivadas de las actividades mineras, pecuarias, agrícolas y forestales llevadas a cabo en la zona de estudio. De acuerdo con el registro histórico obtenido para el ICA e ICA Global, la calidad del agua en E0 y E1 osciló entre buena y aceptable, mientras que en E2 ha variado entre buena y regular según el primer índice y entre buena y aceptable para el segundo de acuerdo con el segundo.

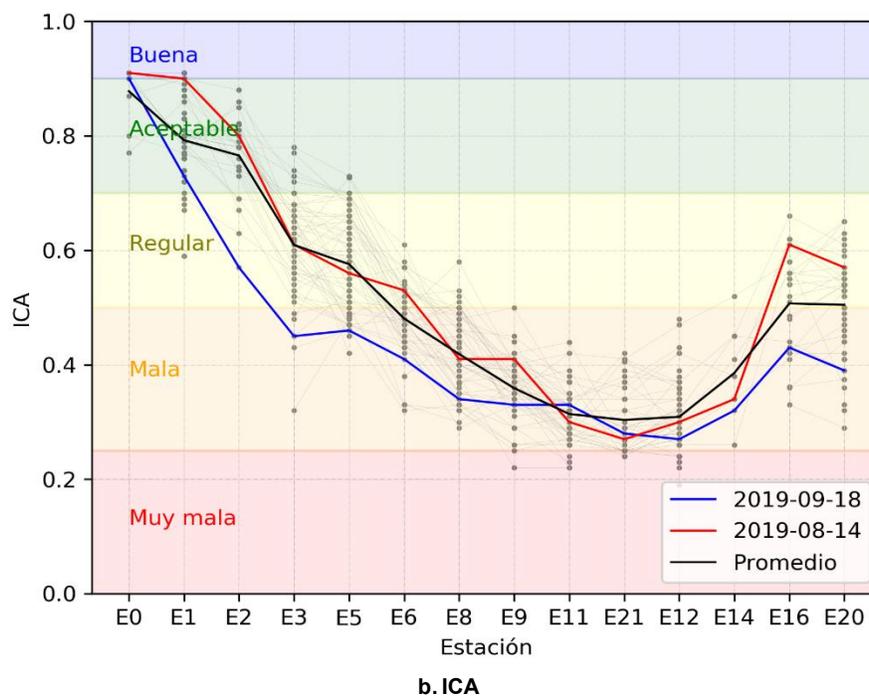
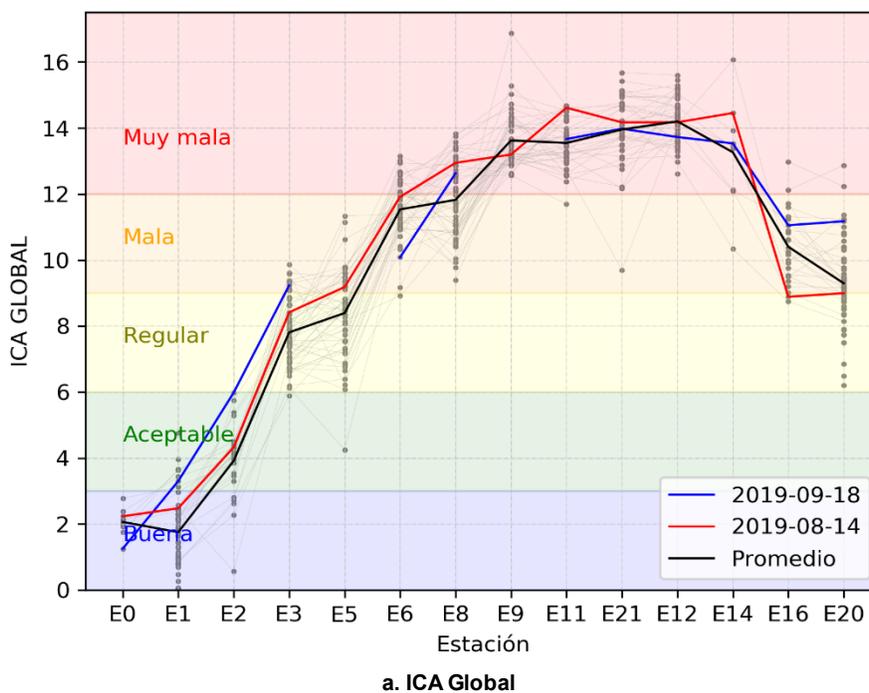


Figura 4. Registro histórico Índices de Calidad del Agua periodo 2010-2019

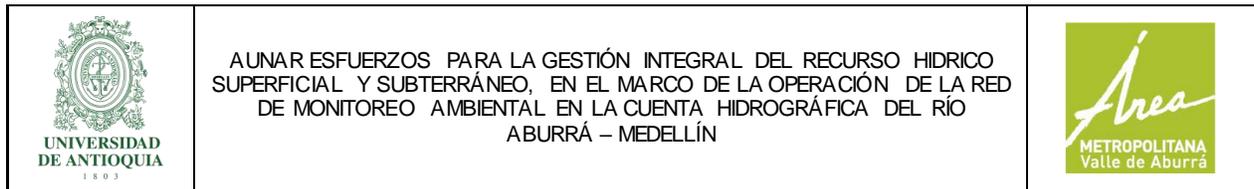
 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN</p>	 <p>Área METROPOLITANA Valle de Aburrá</p>
--	---	---

La calidad del agua entre las estaciones Ancón Sur (E3) y Parque de las Aguas (E14) se catalogó entre regular y mala según el ICA y entre regular muy mala de acuerdo con el ICA Global, donde el tramo comprendido entre E8 y E14 se caracterizó por presentar el mayor deterioro. Se destaca que durante la campaña realizada el 18 de septiembre no se tienen registros para E5 y E11, debido a la dificultad para entrar a la corriente y realizar la toma de muestras de macroinvertebrados acuáticos. Lo anterior, se asocia a la carga contaminante aportada a la corriente a través de las aguas residuales vertidas directamente. Entre los principales vertimientos realizados sobre el río en este tramo se destacan la Descarga de la PTAR San Fernando (D1), la Descarga de la PTAR Aguas Claras (D6) y el bypass asociado a esta. Los resultados evidenciados por ambos índices también se relacionan con la confluencia entre el río y sus quebradas afluentes, entre las que se destacan las corrientes localizadas en los municipios de Medellín y Bello y que, según los resultados obtenidos para en la campaña realizada el 28 y 29 de agosto de 2019, se caracterizan por tener una calidad del agua que oscila entre regular y mala según el ICA y entre regular y muy mala de acuerdo con el ICA Global: Altavista (Q8), La Picacha (Q20), La Hueso (Q9), Santa Elena (Q10), La Iguaná (Q11), La Rosa (Q12), La Madera (Q13), El Hato (Q14) y La García (E10).

El registro histórico obtenido para ambos índices en las estaciones Ancón Sur (E3) y Antes de San Fernando (E5) osciló entre aceptable y mala según ambos índices, predominando la clasificación regular. Posteriormente, en la estación Después de San Fernando (E6) la calidad del agua osciló entre regular y mala de acuerdo con el ICA y entre regular y muy mala según el ICA Global, donde la calidad mala predominó en ambos casos. En el tramo comprendido entre las estaciones Aula Ambiental (E8) y Parque de las Aguas (E14) la calidad varió entre mala y muy mala según ambos índices, donde la clasificación más crítica para el ICA y el ICA Global prevaleció en estos sitios de monitoreo.

La calidad del agua en las estaciones Papelsa (E16) y Puente Gabino (E20) presentó un cambio respecto a los sitios de monitoreo previos, evidenciando una mejoría en la calidad del agua, puesto que esta varió entre regular y mala en ambas campañas de acuerdo con los índices evaluados. Lo anterior, se vincula a procesos de dilución debido al ingreso de afluentes de mejor calidad que el río, como la quebrada Ovejas (Q30) y el efluente de la central hidroeléctrica La Tasajera (se destaca que no se registró actividad durante la segunda campaña) además de la confluencia en el río Aburrá-Medellín y río Grande. Adicionalmente, los resultados también se atribuyen a una disminución en la carga contaminante aportada a la corriente en este tramo debido a una menor densidad en la población en el municipio de Barbosa, como a las condiciones hidráulicas del cuerpo de agua que en determinados tramos favorecen un incremento en la concentración de oxígeno disuelto y en los procesos de oxidación de la materia orgánica y en otros, la sedimentación de material suspendido. La calidad del agua en el tramo E16-E20 osciló entre regular y mala según el ICA y entre regular y muy mala de acuerdo con el ICA Global. Para el caso del primer índice prevaleció la clasificación regular en E16 y E20, mientras que para el segundo predominó la categoría mala en ambos sitios.

De manera general, se destaca que durante la primera campaña los valores obtenidos para el ICA Global fueron superiores al promedio en el tramo comprendido entre E0- E14, mientras que entre E16 y E20 se registraron menores valores. Lo anterior, podría evidenciar que durante la época de caudales bajos, la calidad del agua tiende a ser más crítica entre E0-E14 como resultado de un menor caudal base del río, entre tanto, la calidad del agua en el tramo



comprendido entre las estaciones Papelsa y Puente Gabino estuvo influenciado por procesos de dilución asociados al ingreso de la quebrada Ovejas (Q30), el efluente de la central hidroeléctrica La Tasajera y río Grande, además de la disolución de oxígeno y la sedimentación de material en suspensión vinculado a las condiciones hidráulicas de la corriente.

En la campaña correspondiente al 18 de septiembre de 2019 también se obtuvieron valor del ICA Global superiores al promedio histórico en el tramo E1-E3, en las estaciones E8, E11 y en el tramo E14-E20, mientras que en los sitios de monitoreo E0, E6 y E12 se reportaron valores menores al promedio histórico, en E21 se registró un valor similar. Lo anterior, evidencia que durante esta campaña, que correspondió a caudales altos, también se presentó un mayor deterioro en la calidad del río. Este comportamiento se debe a la resuspensión de sedimentos que se presentó durante la campaña como resultado de las lluvias y el incremento en el caudal. Se destaca que los valores superiores al promedio histórico registrados para el ICA Global en E16 y E20 están influenciados porque durante esta campaña no se presentó el efluente de la central hidroeléctrica la Tasajera, el cual contribuye a diluir los contaminantes transportados por el río.

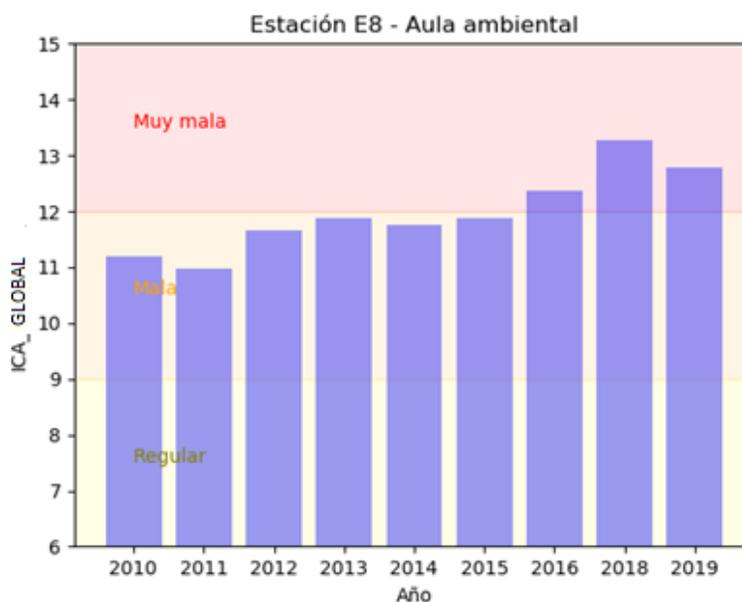
En cuanto al ICA, se observó que durante la campaña de caudales altos se presentó una calidad del agua más crítica en la mayor parte de las estaciones de monitoreo respecto al promedio histórico. Lo anterior, se vincula a la resuspensión de sedimentos como resultado del aumento en el caudal. Como se mencionó anteriormente, durante esta campaña no se registró el efluente de la central La Tasajera, lo cual influyó en la calidad del agua en el tramo E16-E20. En cuanto a la campaña de caudales bajos, se obtuvieron valores superiores al valor promedio histórico en E0, E1, E2, E6, E9, E16 y E20, mientras que en los sitios de monitoreo restantes se registraron valores inferiores o similares a este. El comportamiento observado se vincula a una menor capacidad de la corriente para asimilar los contaminantes vertidos sobre él. Se destaca que la calidad del agua en el tramo comprendido entre las estaciones Aula Ambiental (E8) y Parque de Las Aguas (E14) se clasificó como mala, correspondiendo al tramo de calidad más crítica en el río.

Se destaca que los resultados obtenidos para ambos índices en E9 fueron similares a E8, indicando una mejora en la calidad respecto a los valores promedio históricos. Lo anterior, se vincula a la conexión de los Interceptores Oriental y Occidental al Interceptor Norte. No obstante, es importante resaltar que, la calidad del agua según el registro histórico y las dos campañas de monitoreo ejecutadas durante 2019 en el tramo comprendido entre las estaciones Aula Ambiental (E8) y Parque de las Aguas (E14) correspondió a las categorías más críticas para el ICA y el ICA Global.

## **8 TENDENCIAS GENERALES DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GLOBAL (ICA GLOBAL)**

Probar que una serie presenta una tendencia lineal significativa es equivalente a probar que la pendiente de la regresión de la serie anual es diferente de cero, en tal sentido para la detección de tendencias lineales en las series de valores medios anuales del Índice de Calidad del Agua Global (ICA Global) se utilizaron las prueba T y la prueba de Mann Kendal (Van Belle & Hughes, 1984; Yue *et al.*, 2002; Kahya y Kalay, 2004) sobre cada una de las estaciones de monitoreo. La hipótesis nula planteada corresponde a que la serie de valores anuales del ICA Global en cada

estación de monitoreo no presenta una tendencia estadísticamente significativa, mientras que la hipótesis alternativa contempla que si hay una tendencia estadísticamente significativa; el nivel de significancia usado corresponde a 5%. A manera de ejemplo se presenta el valor de ICA Global para la estación Aula Ambiental E8 (Figura 5) cuyos valores promedio anuales oscilaron entre 10.96 y 13.31, registrados en los años 2011 y 2018 respectivamente.



**Figura 5. Promedio anual histórico ICA Global periodo 2010-2019**

En la Tabla 4 se muestran los valores promedio anuales calculados para el ICA Global entre 2010-2019 en once estaciones sobre el río Aburrá-Medellín y un sitio de monitoreo en el río Porce. Se destaca que las estaciones Reserva Alto de San Miguel (E0) y Parque de Las Aguas (E14) no se incluyeron en este análisis debido a la baja cantidad de registros obtenida en este periodo, puesto que E0 comenzó a monitorearse a partir de 2017 y E14 a partir de 2018.

**Tabla 4. ICA Global promedio anual periodo 2010-2019**

AÑO	ESTACION											
	E1	E2	E3	E5	E6	E8	E9	E11	E21	E12	E16	E20
2010	1.53	2.44	7.36	8.27	10.96	11.19	13.37	13.54	10.94	14.10	10.58	9.73
2011	1.97	0.57	7.34	7.77	12.14	10.96	14.46	13.78	14.37	13.84	8.88	8.34
2012	1.54	3.42	7.89	7.79	11.64	11.67	13.86	13.18	14.45	14.41	11.46	9.65
2013	1.26	3.93	8.46	8.27	11.48	11.88	13.21	12.98	14.10	14.40	10.34	9.16
2014	1.17	5.12	7.82	8.54	11.97	11.74	13.19	13.02	13.98	14.21	10.85	9.18
2015	1.57	4.71	7.41	7.55	11.61	11.88	13.44	13.29	13.85	14.27	12.14	8.42
2016	1.31	2.76	8.11	9.69	11.73	12.36	13.96	13.26	13.60	14.00	10.21	9.02
2017	3.28	4.21	8.08	10.07	11.41	13.31	14.22	13.94	14.28	14.29	10.25	10.42
2018	2.62	4.46	8.48	9.10	11.12	13.20	12.92	14.24	14.38	14.65	9.91	9.31
2019	2.89	5.16	8.83	9.18	11.00	12.79	13.20	14.14	14.08	13.95	9.97	10.09

Los resultados del valor de la tendencia general para cada estación, así como su significancia estadística se presentan en la Tabla 5. Estos datos también se ilustran en la Figura 6, en rojo se muestran las tendencias positivas mientras que en azul las tendencias negativas, el tamaño de los círculos es proporcional al valor de la tendencia y los círculos rellenos corresponden a tendencias estadísticamente significativas. De manera general, los resultados muestran que en la mayoría de las estaciones se registraron tendencias positivas en el valor medio anual del ICA Global, lo que implica que en el periodo evaluado se evidenció un aumento en el deterioro de la calidad del río Aburrá-Medellín.

**Tabla 5. Valor de la tendencia anual en el índice ICA Global**

ESTACION	E1	E2	E3	E5	E6	E8	E9	E11	E21	E12	E16	E20
Tendencia	0.16	0.31	0.13	0.20	-0.05	0.24	-0.05	0.08	0.16	0.02	-0.02	0.08
Prueba T	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	No	No	No	No	No
Prueba Mann Kendal	No	Si	Si	Si	No	Si	No	No	No	No	No	No

En las estaciones San Miguel (E1), Primavera (E2), Ancón Sur (E3), Antes de San Fernando (E5) y Aula Ambiental (E8) se presentaron tendencias mayores y estadísticamente significativas en la magnitud de los valores medios anuales del ICA Global. Lo anterior, evidencia que en este tramo se presentó un deterioro más acelerado de la calidad del río, el cual puede vincularse al crecimiento demográfico en los municipios de Caldas, La Estrella, Sabaneta, Envigado, Itagüí y Medellín y a la falta de obras de saneamiento que permitan recolectar y tratar las aguas residuales vertidas sobre el río y sus afluentes. Se espera que con la construcción del Interceptor Sur y la ampliación y puesta en marcha de la modernización de la PTAR San Fernando, la calidad del agua mejore en el sur de la cuenca.

Entre las estaciones Puente Acevedo (E9) y Puente Gabino (E20) las tendencias en su mayoría fueron positivas, no obstante, no fueron estadísticamente significativas. Esto implica que durante los últimos 10 años las condiciones de calidad del río Aburrá-Medellín en este tramo se han mantenido estables, sin mejoras entre E8 y E12 donde la calidad del agua presenta un mayor deterioro y se cataloga como muy mala según el ICA Global. Se destaca que en las estaciones Puente Acevedo (E9) y Papelsa (E16) se presentó una tendencia decreciente en los valores medios del ICA Global entre 2010-2019. En E9, la tendencia negativa puede vincularse a la

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN</p>	 <p>Área METROPOLITANA Valle de Aburrá</p>
--	---	---

conexión de los Interceptores Oriental y Occidental al Interceptor Norte y su posterior tratamiento en la PTAR Aguas Claras, lo que evidencia una mejora de la calidad del agua en esta estación, sin embargo, su clasificación continúa siendo muy mala según el puntaje otorgado por el índice. Entretanto, la tendencia decreciente en E16 puede estar influenciada por procesos de dilución asociados al ingreso del efluente de la central hidroeléctrica La Tasajera. Se espera que la calidad del agua en los municipios de Medellín y Bello mejore a partir de la implementación de obras de saneamiento y la optimización del proceso de tratamiento en la PTAR Aguas Claras.

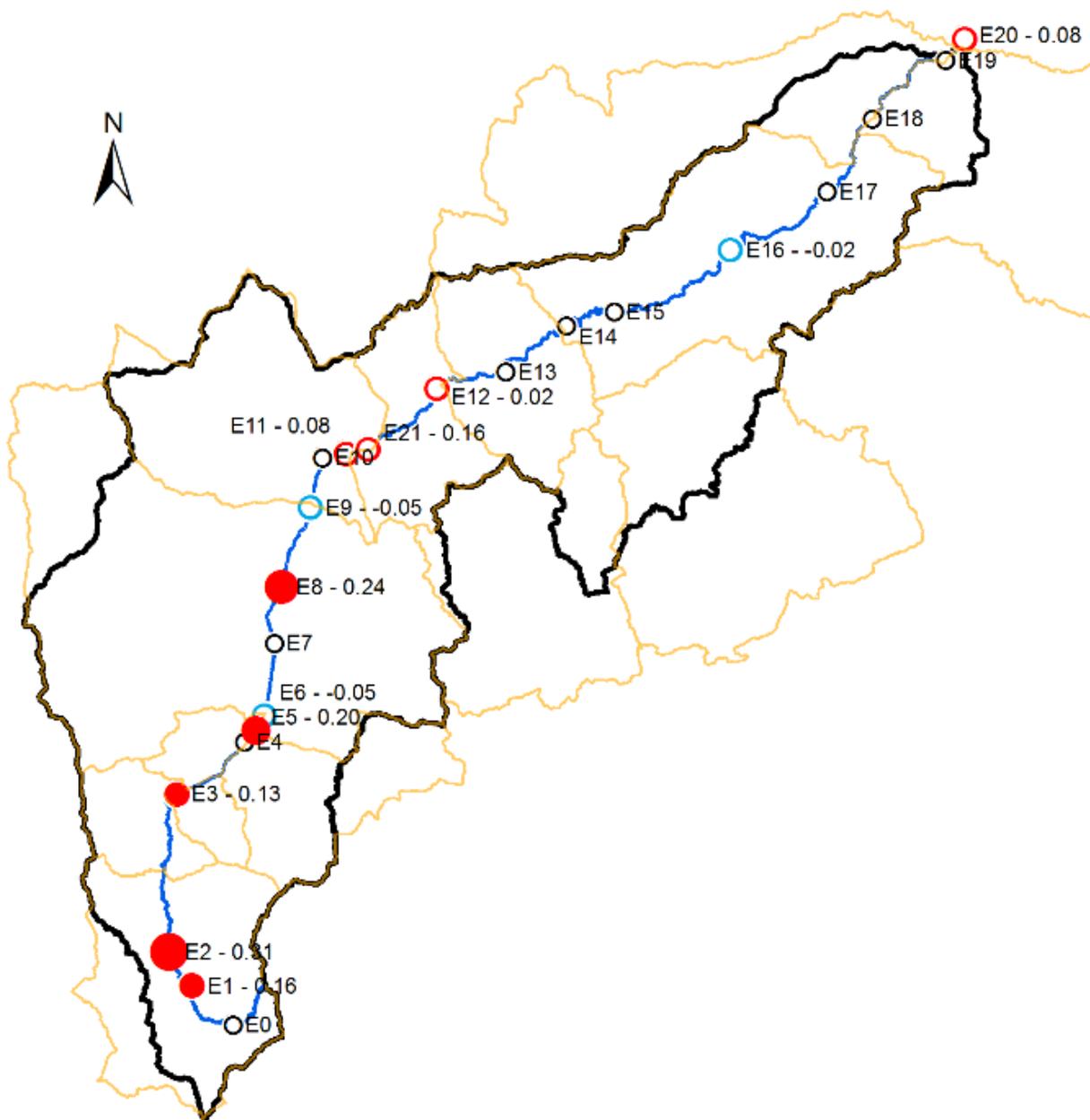


Figura 6. Distribución espacial de la tendencia general en el valor del ICA Global

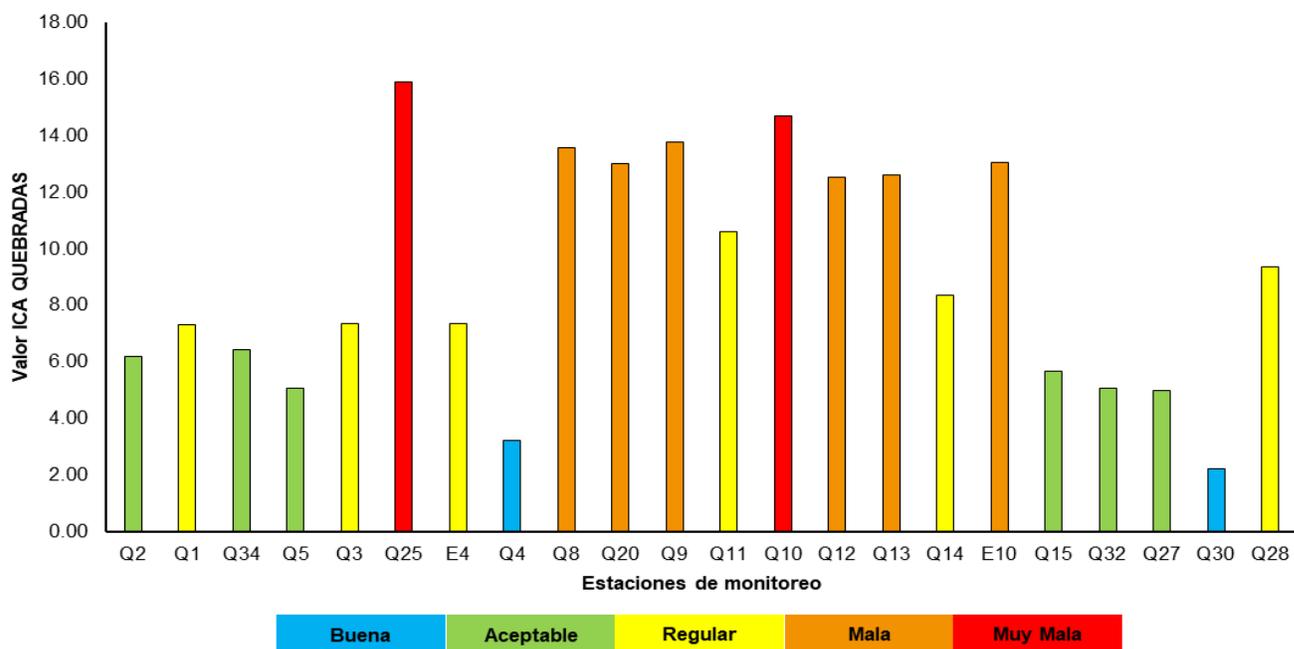
## 9 CALIDAD DEL AGUA EN QUEBRADAS AFLUENTES CAMPAÑA 28 Y 29 DE AGOSTO DE 2019

Para realizar un diagnóstico integral de la calidad del agua en veintidós (22) quebradas afluentes del río Aburrá–Medellín, se evaluó el Índice de Calidad de Agua para corrientes superficiales (ICA) y el Índice de Calidad del Agua para Quebradas (ICA Quebradas). En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos y la clasificación de la calidad del agua otorgada por los índices mencionados para las corrientes monitoreadas, en la Figura 7 se muestran los diagramas de barras con los resultados numéricos y el código de color para la clasificación de los índices en cada una de las estaciones de muestreo y en el Mapa 1 y Mapa 2 se muestra la variación espacial en los resultados obtenidos para ambos índices de calidad. .

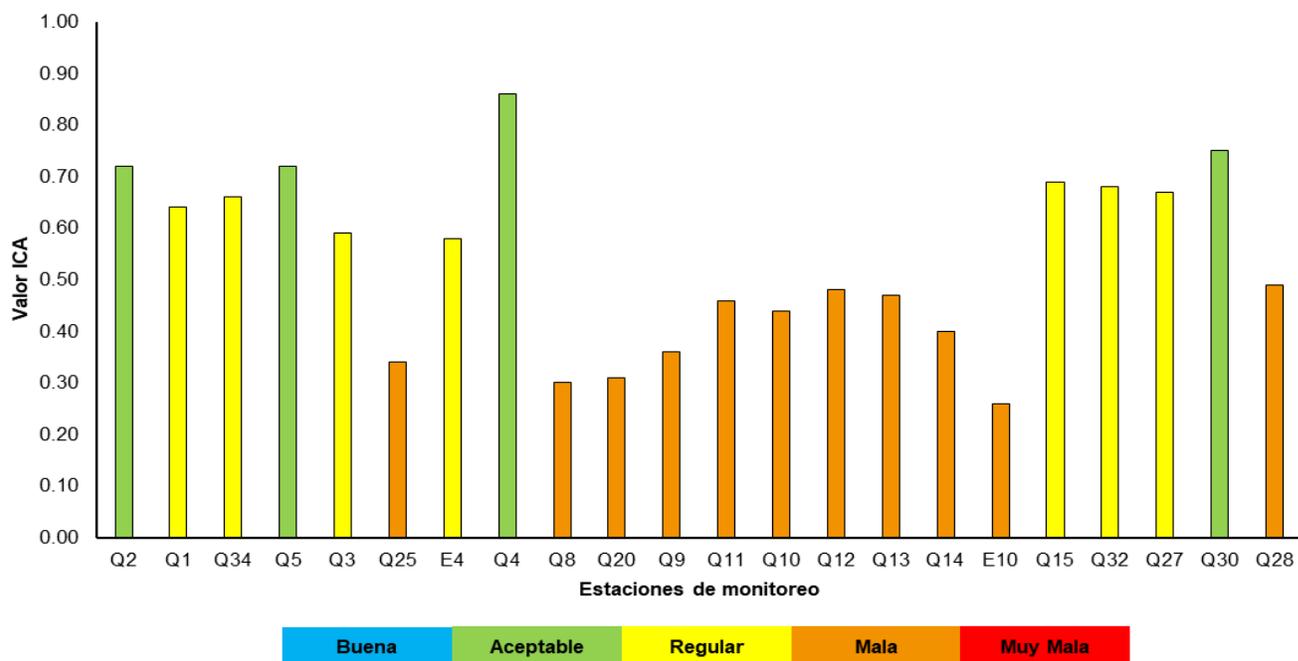
**Tabla 6. Resultados de los índices de calidad del agua para quebradas afluentes principales monitoreadas en la campaña del 28 y 29 de agosto de 2019**

ESTACIÓN	CÓDIGO	VALORICA QUEBRADA	CLASIFICACIÓN ICA QUEBRADA	VALORICA	CLASIFICACIÓN ICA
La Miel	Q2	6.20	Aceptable	0.72	Aceptable
La Valeria	Q1	7.31	Regular	0.64	Regular
La Bermejala	Q34	6.41	Aceptable	0.66	Regular
La Grande	Q5	5.06	Aceptable	0.72	Aceptable
La Doctora	Q3	7.34	Regular	0.59	Regular
La Mina	Q25	15.86	Muy Mala	0.34	Mala
Doña María	E4	7.33	Regular	0.58	Regular
La Ayurá	Q4	3.21	Buena	0.86	Aceptable
Altavista	Q8	13.55	Mala	0.30	Mala
La Picacha	Q20	12.98	Mala	0.31	Mala
La Hueso	Q9	13.75	Mala	0.36	Mala
La Iguaná	Q11	10.58	Regular	0.46	Mala
Santa Elena	Q10	14.68	Muy Mala	0.44	Mala
La Rosa	Q12	12.51	Mala	0.48	Mala
La Madera	Q13	12.60	Mala	0.47	Mala
El Hato	Q14	8.33	Regular	0.40	Mala
La García	E10	13.04	Mala	0.26	Mala
Piedras Blancas	Q15	5.66	Aceptable	0.69	Regular
El Chuscal	Q32	5.06	Aceptable	0.68	Regular
El Salado	Q27	4.97	Aceptable	0.67	Regular
Ovejas	Q30	2.22	Buena	0.75	Aceptable
La López	Q28	9.35	Regular	0.49	Mala

De acuerdo con los resultados obtenidos para el ICA, ninguna de las quebradas afluentes al río Aburrá–Medellín monitoreadas durante la jornada del 28 y 29 de agosto de 2019 se clasificó como *buena* o *muy mala*; mientras que para el ICA Quebradas, la calidad en dos corrientes se clasificó como *muy mala* (La Mina-Q25 y Santa Elena-Q10) y en dos se catalogó como *buena* (La Ayurá-Q4 y Ovejas-Q30).



a) Perfil ICA Quebradas



a) Perfil ICA

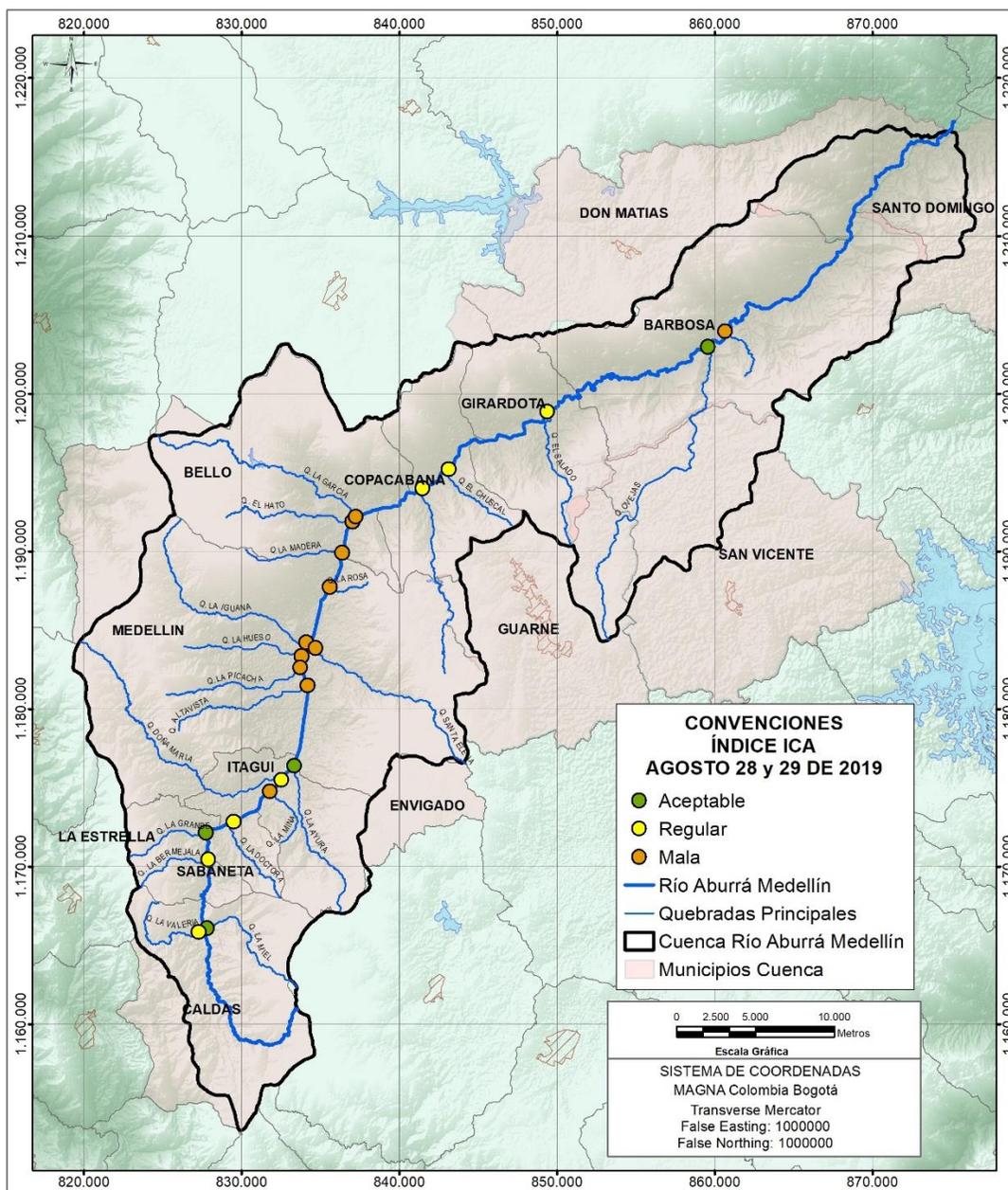
Figura 7. Perfil ICA Quebradas (a) e ICA (b), campaña del 28 y 29 de agosto de 2019

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN</p>	 <p>Área METROPOLITANA Valle de Aburrá</p>
--	---	---

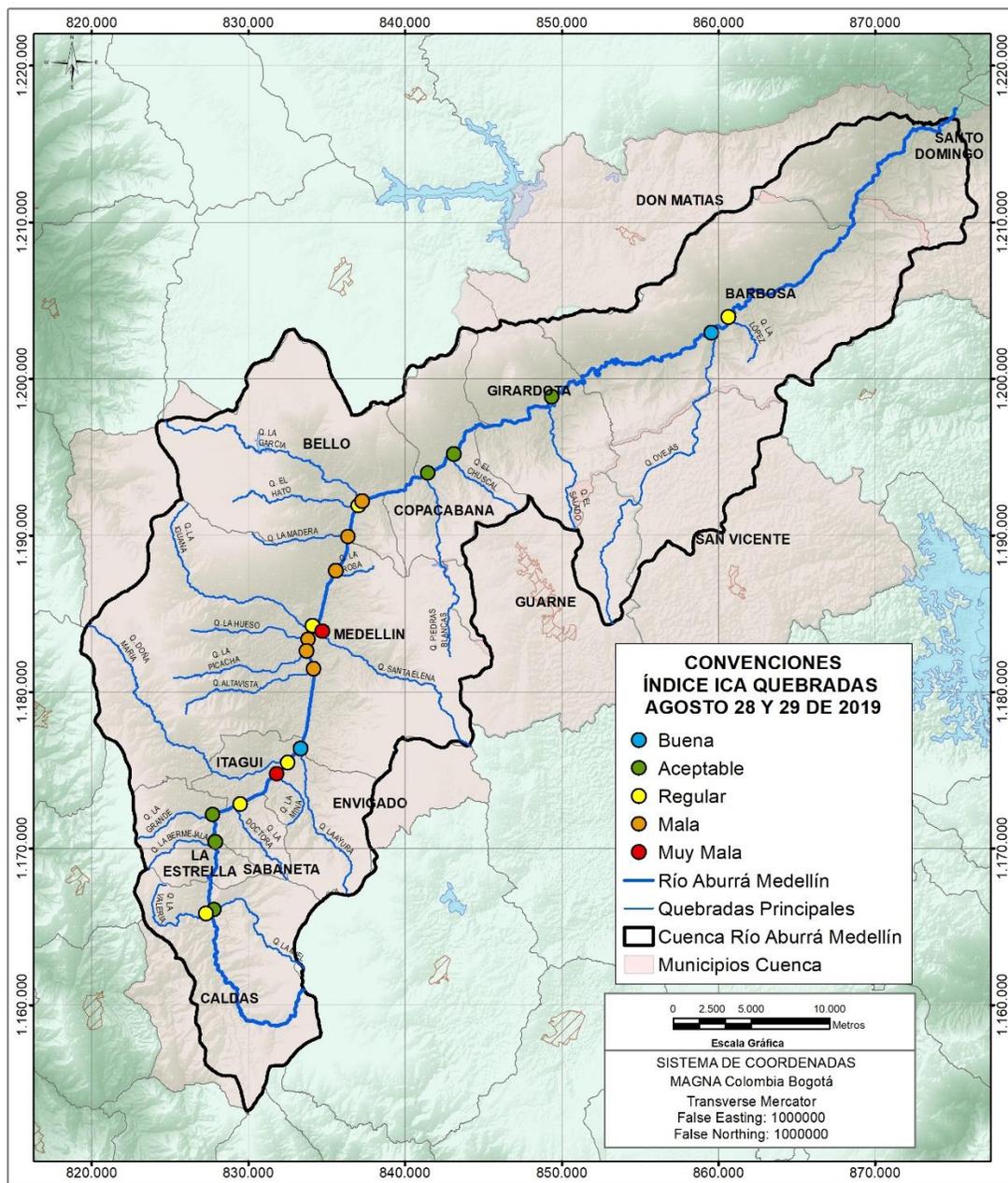
Las quebradas Q1, Q2, Q34, Q5, Q3, E4 y Q4 localizadas en los municipios de la zona sur de la cuenca del río Aburrá-Medellín (Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí y Envigado) presentaron, para ambos índices, una clasificación de la calidad del agua entre *aceptable* y *regular*, no obstante, como ya se indicó en la quebrada La Mina (Q25) los valores calculados le otorgaron una clasificación de *muy mala* y *mala* según el ICA Quebradas (Figura 7a) y el ICA (Figura 7b) respectivamente, mientras que la calidad en la quebrada La Ayurá (Q4) se clasificó como *buena* de acuerdo con el ICA Quebradas.

Los resultados obtenidos en estas quebradas ubicadas en la zona sur a pesar de que reflejan condiciones aceptables de calidad del agua, el deterioro observado se vincula a las descargas de aguas residuales que se realizan sobre estas. Según el diagnóstico realizado por el Plan Quebradas, en estas subcuencas se identificaron problemáticas en torno al manejo de vertimientos, relacionadas con la falta de construcción y/o mantenimiento de pozos sépticos y la desconexión al sistema de alcantarillado o la inexistencia de este (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019). Se destaca que en Q3, E4 y Q4 se han implementado obras de saneamiento que han influido en la calidad del agua de estas, a lo que se suma que en la PTAR San Fernando se trata aproximadamente el 20 % de las aguas residuales generadas en los municipios de dicha zona (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019). Se prevé que la calidad del agua de las quebradas localizadas en Caldas, La Estrella, Sabaneta, Envigado e Itagüí mejore a partir de la ampliación de la PTAR San Fernando y la construcción del Interceptor Sur, puesto que ambas obras permitirán optimizar el proceso de saneamiento en esta zona de la cuenca (Empresas Públicas de Medellín, 2018).

El mayor deterioro de la calidad del agua se evidenció en las quebradas situadas en los municipios de Medellín y Bello (Q8, Q20, Q9, Q11, Q10, Q12, Q13, Q14 y E10). Según el ICA, la calidad del agua en todas las estaciones de muestreo se clasificó como *mala*, con valores que oscilaron entre 0.26 y 0.48 (Figura 7b). De acuerdo con el ICA Quebradas (Figura 7a), la calidad del agua se catalogó como *muy mala* en Santa Elena (Q10), *mala* en Altavista (Q8), La Picacha (Q20), La Hueso (Q9), La Rosa (Q12), La Madera (Q13) y La García (E10) y *regular* en La Iguaná (Q11) y El Hato (Q14). Los resultados obtenidos se relacionaron con vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas realizados sobre las corrientes debido a la falta de cobertura de los sistemas de saneamiento y existencia de generadores de vertimientos directos no formalizados, según el diagnóstico realizado por el Plan Quebradas (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019), a lo que se suma la alta intervención antrópica que tienen las subcuencas mencionadas, situaciones que afectan la calidad del agua de estas y, por ende, del río Aburrá-Medellín. Se destaca que en el marco del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de EPM, en las quebradas La Hueso, La Iguaná, Santa Elena, La Madera y La García se eliminaron descargas directas de aguas residuales a las quebradas y, además, se construyeron y reemplazaron redes de alcantarillado para la recolección y transporte de aguas residuales (Empresas Públicas de Medellín, 2018).



**Mapa 1. Índice de Calidad de Corrientes Superficiales ICA (IDEAM) quebradas afluentes del río Aburrá-Medellín campaña 28 y 29 de agosto de 2019**



Mapa 2. Índice de Calidad de Agua ICA Quebradas (RedRío) quebradas afluentes al río Aburrá-Medellín campaña 28 Y 29 de agosto de 2019

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN</p>	 <p>Área METROPOLITANA Valle de Aburrá</p>
--	---	---

En cuanto a las quebradas ubicadas en Copacabana, Girardota y Barbosa (Q15, Q32, Q27, Q30 y Q28), los valores de los índices evaluados mostraron una leve mejoría en la calidad del agua respecto a las estaciones situadas en los municipios de Medellín y Bello. Con base en los resultados del ICA Quebradas, la calidad en Piedras Blancas (Q15), El Chuscal (Q32) y El Salado (Q27) se clasificó como *aceptable*, con valores entre 4.97 y 5.66, mientras que en La López (Q28) y Ovejas (Q30) se calificó como *regular* y *buena*, con valores de 9.35 y 2.22, respectivamente. En cuanto al ICA se evidenció que la calidad del agua en Q15, Q32 y Q27 se catalogó como *regular*, en cambio Q28 y Q30 como *mala* y *aceptable*, correspondientemente, con registros que oscilaron entre 0.49 y 0.75. Estos resultados se asociaron a que los usos del suelo en los municipios mencionados están relacionados principalmente con actividades agropecuarias y silvopastoriles y en menor medida con el uso urbano (CORANTIOQUIA et al., 2018), por lo que, dichas fuentes no se encuentran altamente afectadas por vertimientos de tipo doméstico y no doméstico, con excepción de la quebrada La López (Q28) debido a que de acuerdo con el diagnóstico realizado por el Plan Quebradas, en las subcuencas de corrientes como Q15, Q27 y Q28 se presenta una carencia de pozos sépticos y de mantenimiento a estos sistemas, como también, desconexión al sistema de alcantarillado existente y falta de este en algunas zonas de subcuencas (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019), lo cual influye en su calidad del agua. Es importante mencionar que en las subcuencas de las quebradas Piedras Blancas y El Salado se han ejecutado obras de saneamiento (recolección de descargas de aguas residuales y reposición y modernización de redes de alcantarillado) en el marco del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de EPM (Empresas Públicas de Medellín, 2018).

## 10 CONCLUSIONES

-La calidad del río Aburrá-Medellín durante el año 2019 presentó una variación a lo largo de su recorrido, según los resultados obtenidos para los índices ICA (formulado por el IDEAM) e ICA Global. En las estaciones localizadas en la zona alta de la cuenca (E0, E1 y E2), el río presentó un menor deterioro en su calidad del agua, mientras que en los sitios de monitoreo restantes se observó un mayor deterioro, donde el tramo comprendido entre Aula Ambiental (E8) y Ancón Norte (E12) fue el más crítico.

-Las campañas de monitoreo realizadas durante 2019 correspondieron a régimen de caudal bajo (14 de agosto) y alto (18 de septiembre). De manera general, en ambas campañas se observó un mayor deterioro en los índices de calidad respecto a los valores promedio históricos. La calidad del agua en la primera campaña se atribuyó a un menor caudal base, puesto que se favoreció una mayor concentración de los contaminantes; entretanto, los resultados obtenidos durante la segunda campaña se relacionaron con la resuspensión de sedimentos debido a un aumento en el caudal.

-La calidad del río Aburrá-Medellín, según el ICA Global, presentó una tendencia creciente o positiva en la mayoría de los sitios de monitoreo entre 2010-2019. Lo anterior, evidencia un incremento en el valor del ICA e indica un deterioro en la calidad del agua en el periodo analizado como respuesta a las actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca. En el tramo comprendido entre los sitios San Miguel (E1) y Aula Ambiental (E8), el ICA Global presentó una tendencia positiva estadísticamente significativa según los valores p obtenidos a partir de la prueba T y prueba Mann Kendal, lo que indica un deterioro en la calidad del agua en este tramo y que se asocia con el crecimiento urbanístico en el sur de la cuenca y la falta de obras de saneamiento

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN</p>	 <p>Área METROPOLITANA Valle de Aburrá</p>
--	---	---

que recolecten las aguas residuales vertidas sobre el río. Entre las estaciones Puente Acevedo (E9) y Ancón Norte (E12), donde la calidad del agua se clasificó como muy mala, no se observó un cambio estadísticamente significativo en los valores del ICA Global en el periodo analizado, es decir, la calidad del agua no mejoró o empeoró entre E9 y E12.

-En la estación Puente Acevedo (E9) se registró una tendencia decreciente en el ICA Global en el periodo 2010-2019, lo que se traduce en una disminución del valor del ICA. Lo anterior, puede vincularse a la eliminación del vertimiento de aguas residuales aportado por los Interceptores Oriental y Occidental, ubicados a la altura del barrio Moravia aguas arriba de E9, debido a su conexión al Interceptor Norte, el cual permite conducir las aguas residuales hacia la PTAR Aguas Claras para su tratamiento. Es importante destacar que, aunque el valor del ICA Global presentó una disminución en este sitio de monitoreo, la calidad del agua en este continúa clasificándose como muy mala y la tendencia decreciente o negativa observada en E9 no fue estadísticamente significativa.

## 11 RECOMENDACIONES

-Comparar el conjunto de datos registrado en las campañas de monitoreo realizadas en el río Aburrá-Medellín con los promedios históricos de acuerdo con el régimen de caudal, teniendo en cuenta la clasificación presentada en este documento.

-Analizar la tendencia de las series de datos en el periodo comprendido entre 2010 y 2019, tanto para las variables fisicoquímicas como para los índices de calidad río evaluados en el río Aburrá-Medellín, de acuerdo con el régimen de caudal.

-Implementar medidores de nivel y limnímetros en cada una de las estaciones de la red de monitoreo de manera que se pueda realizar una medición simultánea de caudal y de las variables fisicoquímicas.

-Evaluar la calidad del agua en diferentes épocas de caudal representa un medio a través del cual se puede evaluar su recuperación respecto a los avances en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.

-Comparar el conjunto de datos obtenido para las principales variables fisicoquímicas e hidrobiológicas y los índices de calidad del agua en las quebradas afluentes respecto al promedio histórico calculado entre 2010-2019, teniendo en cuenta el régimen de caudal.

-Analizar la tendencia de las series de datos del índice ICA Quebradas entre 2010 y 2019 para las principales quebradas afluentes al río Aburrá-Medellín, teniendo en cuenta el régimen de caudal.

-La información histórica recolectada a partir de la operación de RedRío es fundamental para evaluar las condiciones de mejora o deterioro del río Aburrá-Medellín y de sus afluentes respecto a las obras de saneamiento implementadas y a las acciones adelantadas por las autoridades ambientales con jurisdicción en la cuenca hidrográfica orientadas a garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico. En ese sentido, la operación de RedRío de forma continua y sistemática posibilita tener una mayor cantidad de datos que permitan analizar la dinámica de su calidad en

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN</p>	 <p>Área METROPOLITANA Valle de Aburrá</p>
--	---	---

una cuenca urbanizada y compleja, en la cual las actividades antrópicas tienen un efecto sobre la calidad del río y sus afluentes.

## 12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kahya, E., S. Kalayci. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, no. 289(1-4): 128-144, doi:10.1016/j.jhydrol.2003.11.006.

Van Belle, G., J.P. Hughes. 1984. Nonparametric tests for trend in water quality. *Water Resources Research*, no. 20(1): 127-136.

Yue, S., P. Pilon, G. Cavadias. 2002. Power of the Mann–Kendall and Spearman’s rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, no. 259(1-4): 254- 271, doi: 10.1016/S0022-1694(01)00594-7.



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



### 13 ANEXO 1

En este Anexo se presenta el resumen estadístico obtenido para las principales variables fisicoquímicas e hidrobiológicas, así como los índices de calidad ICA e ICA Global medidos en trece estaciones de monitoreo localizadas sobre el río Aburrá-Medellín y un sitio en el río Porce entre 2010 y 2019. El resumen estadístico mostrado a continuación presenta información referente a la cantidad de datos, medidas de tendencia central y variabilidad, entre otros. Para la estación Reserva Alto de San Miguel (E0) se presenta la información recolectada en diez campañas de monitoreo. Se destaca que para esta estación no se realizó resumen estadístico, puesto que el conjunto de datos recolectado para esta por lo general es inferior al límite de detección de los métodos usados para la cuantificación de las variables o los datos tienen una baja variabilidad en el tiempo.

**Tabla 7. Conjunto de datos estación Reserva Alto de San Miguel (E0)**

Fecha	Estación	Código	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	DQO (mg/L)	Fósforo total (mg P/L)	Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Índice biológico BMWP/Col	ICA	ICA_GLOBAL
2017-02-22	Reserva Alto de San Miguel	E0	7.50	26.60	<10.00	<0.05	<1.00	10.00	102.00	0.90	2.14
2017-04-26	Reserva Alto de San Miguel	E0	8.10	22.30	<10.00	<0.05	<1.00	<5.00	76.00	0.91	1.74
2017-07-10	Reserva Alto de San Miguel	E0	7.57	26.10	<10.00	<0.05	<1.00	12.00	99.00	0.87	2.78
2017-08-02	Reserva Alto de San Miguel	E0	7.57	26.10	<10.00	<0.05	1.10	11.00	106.00	0.77	2.05
2017-09-27	Reserva Alto de San Miguel	E0	7.68	24.70	<10.00	<0.05	<1.00	<5.00	86.00	0.90	2.35
2018-04-25	Reserva Alto de San Miguel	E0	7.36	22.80	<10.00	<0.05	1.91	<5.00	76.00	0.80	1.92
2018-06-13	Reserva Alto de San Miguel	E0	7.87	24.05	<10.00	0.05	<1.00	<5.00	70.00	0.91	2.01
2018-10-10	Reserva Alto de San Miguel	E0	8.13	25.35	<10.00	<0.05	<1.00	<5.00	98.00	0.91	2.12
2019-08-14	Reserva Alto de San Miguel	E0	7.57	26.20	<10.00	<0.05	<1.00	<5.00	75.00	0.91	2.24
2019-09-18	Reserva Alto de San Miguel	E0	7.72	28.70	<10.00	<0.05	<1.00	<5.00	92.00	0.90	1.23



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



**Tabla 8. Resumen estadístico estación San Miguel (E1)**

VARIABLE	NUMERO DE DATOS	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	67	5.51	8.17	2.66	7.32	0.49	7.19	7.45	7.57	0.38
Conductividad eléctrica (µS/cm)	67	20.39	105.31	84.92	31.30	10.79	27.00	29.60	33.80	6.80
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	63	1.24	175.00	173.76	19.50	31.93	4.00	6.00	14.00	10.00
DQO (mg/L)	63	1.00	142.20	141.20	15.16	20.28	4.95	10.00	15.60	10.65
Fósforo total (mg P/L)	57	0.05	1.00	0.95	0.08	0.14	0.03	0.05	0.08	0.05
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	56	0.11	5.00	4.89	1.05	0.97	0.42	0.90	1.10	0.68
Índice biológico BMWP/Col	60	23.00	138.00	115.00	71.43	29.31	47.00	70.50	88.00	41.00
ICA	59	0.59	0.91	0.32	0.79	0.07	0.76	0.80	0.83	0.07
ICA_GLOBAL	56	0.02	4.75	4.73	1.76	1.09	0.94	1.82	2.41	1.47

**Tabla 9. Resumen estadístico estación Primavera (E2)**

VARIABLE	NUMERO DE DATOS	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	26.00	6.88	7.96	1.08	7.44	0.27	7.27	7.41	7.62	0.35
Conductividad eléctrica (µS/cm)	26.00	47.30	127.39	80.09	63.36	17.90	52.53	58.90	65.20	12.67
DQO (mg/L)	26.00	1.60	43.00	41.40	13.07	9.44	8.23	10.00	16.30	8.07
Fósforo total (mg P/L)	26.00	0.01	0.70	0.69	0.14	0.15	0.04	0.11	0.17	0.13
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	25.00	0.19	3.62	3.43	1.32	0.88	0.67	1.16	1.83	1.16
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	26.00	1.24	307.00	305.76	62.70	84.51	11.00	21.50	81.40	70.40
Índice biológico BMWP/Col	26.00	7.00	85.00	78.00	37.69	19.17	20.00	39.50	50.00	30.00
ICA	26.00	0.57	0.88	0.31	0.77	0.07	0.74	0.78	0.81	0.07
ICA Global	25.00	0.57	6.00	5.43	3.92	1.16	3.45	4.04	4.40	0.95



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



**Tabla 10. Resumen estadístico estación Ancón Sur (E3)**

VARIABLE	RECUESTO	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	66.00	4.66	7.99	3.33	7.03	0.69	6.80	7.24	7.45	0.65
Conductividad eléctrica (µS/cm)	66.00	66.20	413.00	346.80	134.80	49.45	102.00	126.22	153.10	51.10
DQO (mg/L)	63.00	18.80	232.00	213.20	58.55	40.09	32.30	42.40	72.70	40.40
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	57.00	0.89	12.40	11.51	4.38	2.57	2.69	3.93	5.13	2.44
Fósforo total (mg P/L)	57.00	0.18	4.33	4.15	0.74	0.68	0.42	0.53	0.73	0.31
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	63.00	8.00	1244.00	1236.00	177.60	256.08	30.00	54.00	234.80	204.80
Índice biológico BMWP/Col	58.00	3.00	125.00	122.00	17.47	18.15	8.00	13.00	23.00	15.00
ICA	57.00	0.32	0.78	0.46	0.61	0.09	0.56	0.62	0.67	0.11
ICA_GLOBAL	56.00	5.89	9.87	3.98	7.81	0.98	7.04	7.72	8.52	1.48

**Tabla 11. Resumen estadístico estación Antes de San Fernando (E5)**

VARIABLE	RECUESTO	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	62.00	3.44	7.80	4.36	6.73	0.78	6.56	6.90	7.21	0.65
Conductividad eléctrica (µS/cm)	62.00	89.80	724.72	634.92	174.31	88.95	122.60	150.59	191.60	69.00
DQO (mg/L)	62.00	23.80	238.80	215.00	65.67	42.99	37.50	53.00	73.90	36.40
Fósforo total (mg P/L)	56.00	0.30	1.93	1.63	0.74	0.36	0.48	0.64	0.94	0.46
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	56.00	0.51	11.10	10.59	4.89	2.52	3.25	4.05	6.42	3.18
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	62.00	16.00	1058.75	1042.75	170.31	222.30	45.00	68.50	178.00	133.00
Índice biológico BMWP/Col	58.00	2.00	30.00	28.00	11.84	7.92	6.00	9.00	18.00	12.00
ICA	57.00	0.42	0.73	0.31	0.58	0.08	0.50	0.58	0.65	0.15
ICA_GLOBAL	55.00	4.25	11.34	7.09	8.39	1.29	7.55	8.51	9.25	1.70



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



**Tabla 12. Resumen estadístico estación Después de San Fernando (E6)**

VARIABLE	RECuento	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	44.00	2.54	7.40	4.86	5.66	1.13	4.86	5.92	6.46	1.61
Conductividad eléctrica (µS/cm)	44.00	167.55	660.00	492.45	416.31	123.49	313.00	426.00	528.35	215.35
DQO (mg/L)	44.00	44.50	341.00	296.50	138.59	67.06	81.75	131.50	162.10	80.35
Fósforo total (mg P/L)	44.00	0.48	3.78	3.30	1.67	0.81	0.99	1.48	2.17	1.18
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	44.00	4.77	25.20	20.43	15.50	5.77	10.80	15.30	20.90	10.10
Sólidos suspendidos totales (mg/)	44.00	27.00	788.50	761.50	154.36	157.41	65.00	100.00	150.00	85.00
Índice biológico BMWP/Col	44.00	2.00	24.00	22.00	8.23	5.23	5.00	6.00	11.00	6.00
ICA	44.00	0.32	0.61	0.29	0.48	0.07	0.44	0.48	0.53	0.09
ICA_GLOBAL	44.00	8.91	13.15	4.24	11.54	0.91	11.02	11.60	12.06	1.05

**Tabla 13. Resumen estadístico estación Aula Ambiental (E8)**

VARIABLE	RECuento	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	66.00	2.42	7.77	5.35	5.50	1.26	4.70	5.47	6.52	1.82
Conductividad eléctrica (µS/cm)	66.00	88.19	704.92	616.73	334.80	136.21	230.00	305.00	431.00	201.00
DQO (mg/L)	63.00	27.40	348.40	321.00	151.93	86.45	81.40	129.00	222.50	141.10
Fósforo total (mg P/L)	57.00	0.59	8.75	8.16	2.06	1.60	1.12	1.54	2.40	1.28
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	57.00	4.51	54.20	49.69	15.24	8.60	8.09	14.10	19.60	11.51
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	63.00	73.00	1083.50	1010.50	311.99	233.68	135.00	228.50	419.83	284.83
Índice biológico BMWP/Col	58.00	1.00	40.00	39.00	6.52	6.70	2.00	4.00	10.00	8.00
ICA	58.00	0.29	0.58	0.29	0.42	0.07	0.36	0.42	0.48	0.12
ICA_GLOBAL	57.00	9.39	13.83	4.44	11.82	1.14	10.88	11.80	12.85	1.97



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



**Tabla 14. Resumen estadístico estación Puente Acevedo (E9)**

VARIABLE	RECuento	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	52.00	0.50	7.15	6.65	3.17	1.96	1.37	2.99	4.78	3.41
Conductividad eléctrica (µS/cm)	52.00	191.10	924.50	733.40	418.82	152.44	292.02	393.54	555.12	263.10
DQO (mg/L)	52.00	77.40	774.40	697.00	213.78	113.01	129.00	187.85	273.20	144.20
Fósforo total (mg P/L)	46.00	0.75	17.77	17.02	2.88	2.51	1.76	2.41	3.38	1.62
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	46.00	8.41	55.60	47.19	20.28	9.25	14.40	16.86	24.86	10.46
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	52.00	57.00	1492.00	1435.00	288.05	247.52	144.90	195.38	339.83	194.93
Índice biológico BMWP/Col	44.00	1.00	25.00	24.00	4.82	5.04	1.00	3.00	7.00	6.00
ICA	47.00	0.22	0.50	0.28	0.36	0.05	0.33	0.36	0.39	0.06
ICA_GLOBAL	45.00	12.57	16.88	4.31	13.62	0.83	13.10	13.33	14.11	1.01

**Tabla 15. Resumen estadístico estación Puente Machado (E11)**

VARIABLE	RECuento	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	52.00	0.65	6.88	6.23	3.23	1.87	1.62	2.81	4.94	3.33
Conductividad eléctrica (µS/cm)	52.00	172.30	652.00	479.70	398.74	124.83	294.50	392.66	494.00	199.50
DQO (mg/L)	52.00	33.90	664.50	630.60	214.75	101.90	140.80	206.70	268.50	127.70
Fósforo total (mg P/L)	46.00	0.64	58.62	57.98	4.47	8.57	1.81	2.57	3.90	2.09
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	46.00	7.39	36.00	28.61	19.78	6.91	14.36	19.19	24.60	10.24
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	52.00	119.00	996.00	877.00	391.53	175.99	284.60	330.10	490.20	205.60
Índice biológico BMWP/Col	48.00	0.00	17.00	17.00	4.17	3.99	1.00	2.00	6.00	5.00
ICA	47.00	0.22	0.44	0.22	0.31	0.05	0.28	0.32	0.34	0.06
ICA_GLOBAL	46.00	11.70	14.68	2.98	13.55	0.71	13.12	13.51	14.21	1.09



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



**Tabla 16. Resumen estadístico estación Niquía (E21)**

VARIABLE	RECuento	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	40.00	0.30	6.07	5.77	1.79	1.48	0.79	1.29	2.45	1.66
Conductividad eléctrica (µS/cm)	40.00	246.64	646.00	399.36	438.22	116.07	358.39	446.50	513.50	155.12
DQO (mg/L)	40.00	45.20	397.00	351.80	219.76	72.99	178.00	225.00	255.00	77.00
Fósforo total (mg P/L)	40.00	0.28	4.37	4.09	2.61	1.06	2.06	2.60	3.54	1.48
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	40.00	1.88	62.81	60.93	21.64	9.95	15.80	21.50	26.15	10.35
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	40.00	111.80	1092.00	980.20	339.49	178.75	240.95	308.55	364.62	123.67
Índice biológico BMWP/Col	40.00	1.00	17.00	16.00	3.55	3.44	1.00	2.00	5.00	4.00
ICA	40.00	0.24	0.42	0.18	0.30	0.06	0.26	0.29	0.34	0.09
ICA_GLOBAL	40.00	9.70	15.68	5.98	13.96	1.08	13.48	14.06	14.71	1.23

**Tabla 17. Resumen estadístico estación Ancón Norte (E12)**

VARIABLE	RECuento	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	66.00	0.07	7.03	6.96	1.68	1.53	0.47	1.24	2.40	1.93
Conductividad eléctrica (µS/cm)	66.00	104.37	699.90	595.53	404.23	134.60	304.00	401.21	501.15	197.15
DQO (mg/L)	63.00	45.40	793.58	748.18	197.45	118.12	131.90	179.00	222.30	90.40
Fósforo total (mg P/L)	57.00	0.75	20.66	19.91	3.04	3.05	1.46	2.26	3.41	1.95
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	57.00	6.77	45.53	38.76	18.70	8.10	13.00	16.30	23.60	10.60
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	63.00	98.50	1663.80	1565.30	378.32	286.03	222.00	290.00	418.00	196.00
Índice biológico BMWP/Col	59.00	1.00	17.00	16.00	3.64	3.51	1.00	3.00	5.00	4.00
ICA	58.00	0.19	0.48	0.29	0.31	0.06	0.27	0.30	0.34	0.07
ICA_GLOBAL	57.00	12.61	15.60	2.99	14.20	0.68	13.74	14.27	14.64	0.90



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



**Tabla 18. Resumen estadístico estación Parque de las Aguas (E14)**

VARIABLE	RECuento	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	9	0.68	4.99	4.31	2.66444	1.49344	1.6	2.23	3.96	2.36
Conductividad eléctrica (µS/cm)	9	245	653.15	408.15	398.864	115.898	330.39	393.08	407	76.61
DQO (mg/L)	9	44.9	396.2	351.3	133.767	109.679	63.9	97.2	130	66.1
Fósforo total (mg P/L)	9	0.45	2.48	2.03	1.42444	0.651021	1.06	1.49	1.89	0.83
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	9	5.61	24.8	19.19	13.74	6.0859	10.6	14.4	16.5	5.9
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	9	81	2063	1982	598.778	742.91	82	151	1196	1114
Índice biológico BMWP/Col	9	1	3	2	1.66667	0.707107	1	2	2	1
ICA	9	0.26	0.52	0.26	0.385556	0.0800174	0.34	0.38	0.45	0.11
ICA_GLOBAL	9	10.34	16.06	5.72	13.2711	1.62134	12.12	13.48	13.92	1.8

**Tabla 19. Resumen estadístico estación Papelsa (E16)**

VARIABLE	RECuento	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	27.00	4.64	8.10	3.46	6.58	0.72	6.19	6.63	7.12	0.93
Conductividad eléctrica (µS/cm)	27.00	113.10	487.00	373.90	275.57	100.92	215.98	244.00	342.00	126.02
DQO (mg/L)	27.00	27.70	251.80	224.10	92.35	66.72	47.40	64.50	113.00	65.60
Fósforo total (mg P/L)	26.00	0.20	4.43	4.23	1.13	0.93	0.59	0.88	1.23	0.64
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	26.00	3.82	25.09	21.27	10.71	5.90	6.92	8.25	14.80	7.88
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	27.00	45.00	3271.70	3226.70	450.38	687.59	99.00	140.00	656.00	557.00
Índice biológico BMWP/Col	27.00	6.00	23.00	17.00	9.37	4.40	6.00	8.00	11.00	5.00
ICA	26.00	0.33	0.66	0.33	0.51	0.09	0.43	0.53	0.58	0.15
ICA_GLOBAL	26.00	8.74	12.98	4.24	10.40	1.07	9.51	10.31	11.24	1.73



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



**Tabla 20. Resumen estadístico estación Puente Gabino (E20)**

VARIABLE	RECUESTO	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CUARTIL INFERIOR Q25	MEDIANA	CUARTIL SUPERIOR Q75	RANGO INTERCUARTÍLICO
Oxígeno disuelto (mg/L)	61.00	4.59	12.69	8.10	6.77	0.99	6.33	6.64	7.20	0.87
Conductividad eléctrica (µS/cm)	61.00	98.30	389.77	291.47	201.57	63.65	155.10	199.99	229.00	73.90
DQO (mg/L)	61.00	24.70	323.00	298.30	79.43	53.64	45.90	60.80	102.00	56.10
Fósforo total (mg P/L)	56.00	0.10	25.36	25.26	1.72	3.45	0.67	0.83	1.45	0.78
Nitrógeno total Kjeldahl (mg N/L)	56.00	1.63	20.30	18.67	7.36	3.81	4.73	6.75	8.46	3.73
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	61.00	34.80	1407.00	1372.20	332.01	347.00	107.00	178.00	450.00	343.00
Índice biológico BMWP/Col	58.00	0.00	41.00	41.00	13.10	9.91	7.00	9.00	16.00	9.00
ICA	57.00	0.29	0.65	0.36	0.50	0.08	0.46	0.53	0.55	0.09
ICA_GLOBAL	56.00	6.20	12.87	6.67	9.30	1.31	8.56	9.18	10.02	1.46



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN