

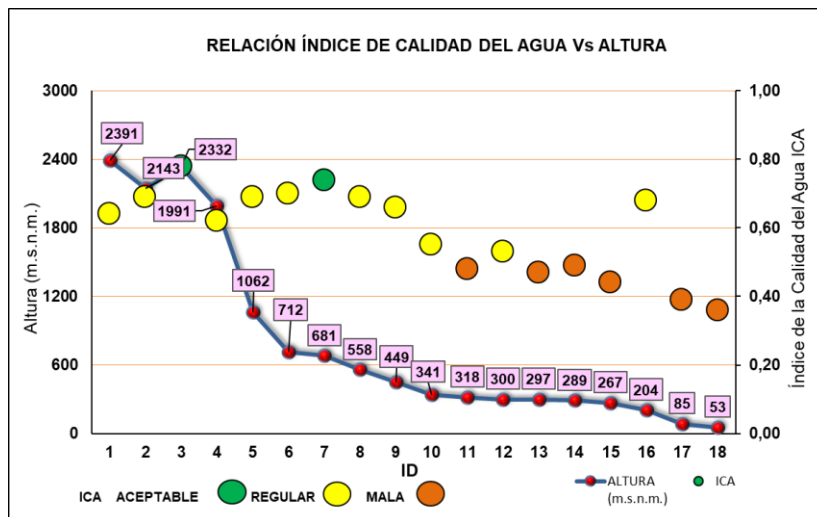
5. INTERPRETACIÓN VARIABLES CRUZADAS

El análisis de los resultados se basa en el cruce de variables que se midieron en los diferentes ensayos y en cada ID o punto de muestreo caracterizado. Estas variables muestran la relación directa o inversa que tienen entre sí y con las actividades antrópicas que afectan al río. Así, se confirman los hallazgos sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica en la corriente hídrica estudiada.

También se evalúa el comportamiento de las variables que se correlacionan y que indican una posible afectación del recurso hídrico y su dinámica, como se demostró con los reportes y análisis realizados.

A continuación, se analiza el comportamiento de cada variable, la mayoría de las cuales influye en el resultado y la calificación del Índice de Calidad del Agua.

5.1 CRUCE DE VARIABLES (ALTURA Vs ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA – ICA) 2023



ID	NOMBRE	ALTURA (m.s.n.m.)	ICA
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	2391	0,64
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteandentro	2143	0,69
3	Radio FM	2332	0,78
4	Escuela Los Naranjos	1991	0,62
5	El Diamante	1062	0,69
6	La Donjuana	712	0,70
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	681	0,74
8	La Garita	558	0,69
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	449	0,66
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	341	0,55
11	Puente Elías M. Soto	318	0,48
12	Puente Jorge Gaitan Durán	300	0,53
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	297	0,47
14	Confluencia Ríos Táchira-Pamplonita	289	0,49
15	Río Enfermo	267	0,44
16	Paso de dos ríos	204	0,68
17	Agua Clara	85	0,39
18	Puente Angosto	53	0,36

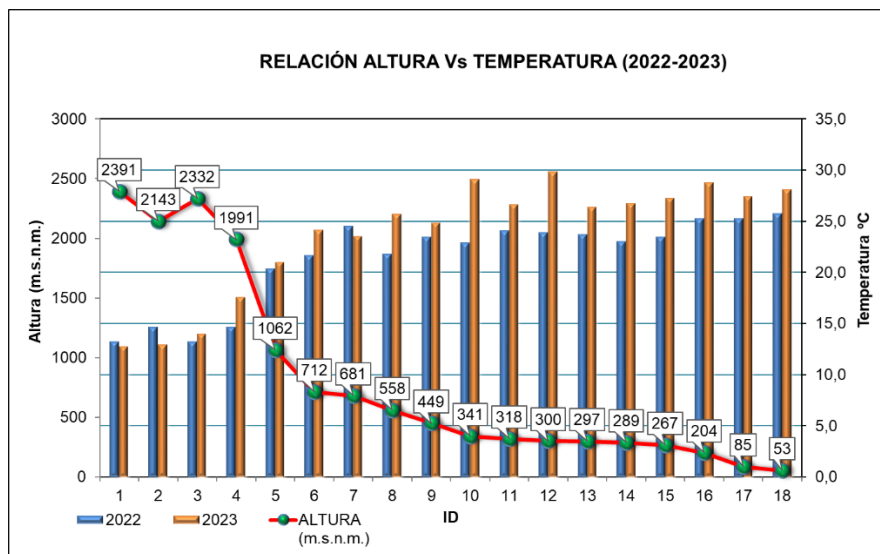
El gráfico muestra que la calidad del agua del río Pamplonita varía según la altura y la influencia de las actividades antrópicas. En la parte alta de la cuenca, el agua tiene una calidad Regular, según el Índice de Calidad del Agua (ICA), en los dos (2) primeros puntos de muestreo y llegando a calificación Aceptable en el ID 3. Esto se debe a que el río está menos intervenido por las actividades antrópicas. Sin embargo, en el punto 4, el agua se degrada por las aguas residuales domésticas que provienen del municipio de Pamplona, obteniendo una calificación Regular en el ICA.

En el punto 5, el agua continua con una calificación Regular, gracias a la capacidad de autorecuperación del río y la dilución de los contaminantes por el aporte de otros cuerpos de agua. No obstante, esta recuperación es insuficiente, ya que el río sigue recibiendo aguas residuales domésticas y no domésticas de varios municipios, así como otros impactos antrópicos como la minería, la extracción de material pétreo, la agricultura, la ganadería y las obras de infraestructura vial.

En el punto 9, donde se capta el agua para el acueducto de Cúcuta, la calidad del agua sigue siendo Regular, lo que no es satisfactorio, ya que se ha mantenido así por tres años consecutivos, tanto en época seca como en época de lluvias.

En el punto 11, en la zona urbana de Cúcuta, la calidad del agua empeora, pasando a una calificación Mala, debido a la alta presión que ejerce la población, la construcción de obras viales, la canalización del río y la construcción de canteras con muros y gaviones. Esto aumenta la concentración de sólidos, turbidez y conductividad eléctrica en el agua. Esta situación se mantiene hasta el punto 18, en la parte baja de la cuenca, excepto en los puntos 12 y 16, donde el agua tiene una leve recuperación a Regular.

5.2 CRUCE DE VARIABLES (ALTURA vs TEMPERATURA 2022-2023)



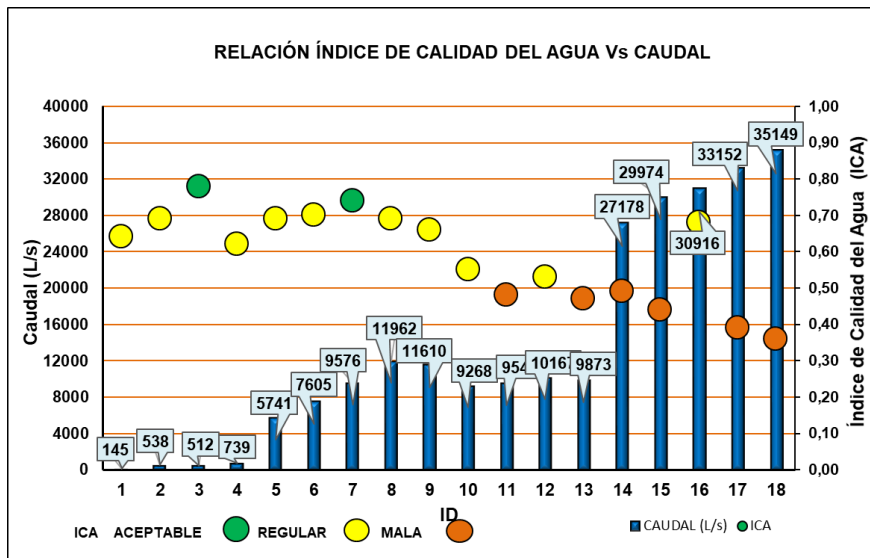
ID	NOMBRE	ALTURA (m.s.n.m.)	TEMPERATURA	
			2022	2023
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	2391	13,3	12,8
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteandredo	2143	14,7	13,0
3	Radio FM	2332	13,3	14,0
4	Escuela Los Naranjos	1991	14,7	17,6
5	El Diamante	1062	20,4	21,0
6	La Donjuana	712	21,7	24,2
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	681	24,5	23,6
8	La Garita	558	21,8	25,7
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	449	23,5	24,9
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	341	22,9	29,2
11	Puente Elías M. Soto	318	24,1	26,7
12	Puente Jorge Gaitan Durán	300	24,0	29,9
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	297	23,8	26,4
14	Confluencia Ríos Táchira-Pamplonita	289	23,0	26,8
15	Río Enfermo	267	23,5	27,3
16	Paso de dos ríos	204	25,3	28,8
17	Agua Clara	85	25,3	27,5
18	Puente Angosto	53	25,8	28,1

La temperatura del agua es una variable muy importante para la vida acuática e incide directamente en la concentración de oxígeno disuelto, la temperatura es inversamente proporcional a la altura sobre el nivel del mar, es decir, a mayor altura la temperatura del agua disminuye y soporta mejor las especies biológicas en el agua que cuando se encuentra a mayor temperatura.

Lo anterior se refleja en las mediciones de temperatura realizadas en cada ID caracterizado, en el que, a mayor altura sobre el nivel del mar, menor es la temperatura del agua, reportándose en el ID 1 temperatura de 12,8 °C ubicado a una altura de 2391 m.s.n.m en la parte alta de la cuenca, y el mayor registro de temperatura en el cuerpo hídrico se presentó en el ID 10 e ID 12 superando los 29°C ubicados en la parte baja de la cuenca del río Pamplonita a 341 y 300 m.s.n.m respectivamente.

También se puede observar una variación de temperatura entre 1°C a 6°C en todos los ID caracterizados, encontrándose en su mayoría temperaturas por encima de las reportadas el año anterior, esto se debe a que el muestreo fue realizado en época seca, además corresponde a lo reportado por el Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) en su informe de predicción climática a corto, mediano y largo plazo en Colombia en su informe del 18 de agosto de 2023 que la temperatura superficial permaneció por encima del promedio, lo que corrobora la veracidad de los resultados de las mediciones realizadas en este estudio.

5.3 CRUCE DE VARIABLES (CAUDAL Vs ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA- ICA) 2023



ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	ICA
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	145	0,64
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteandentro	538	0,69
3	Radio FM	512	0,78
4	Escuela Los Naranjos	739	0,62
5	El Diamante	5741	0,69
6	La Donjuana	7605	0,70
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	9576	0,74
8	La Garita	11962	0,69
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	11610	0,66
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	9268	0,55
11	Puente Elías M. Soto	9540	0,48
12	Puente Jorge Gaitan Durán	10167	0,53
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	9873	0,47
14	Confluencia Ríos Táchira-Pamplonita	27178	0,49
15	Río Enfermo	29974	0,44
16	Paso de dos ríos	30916	0,68
17	Agua Clara	33152	0,39
18	Puente Angosto	35149	0,36

El caudal es una variable importante para comprender los resultados de la caracterización del río Pamplonita, ya que depende de la dinámica del río y de las actividades antrópicas que se realizan en la zona, así como de la época climática en que se toman las muestras.

La caracterización se inició en la parte alta de la cuenca, donde se encuentran las quebradas El Rosal y Monteadentro, que forman parte de este importante río. Estas quebradas son captadas para el abastecimiento de agua de la zona urbana de Pamplona, dejando un caudal natural de 512 L/s en el ID 3. Hasta este punto, no hay influencia de aguas residuales municipales, lo que se refleja en una calificación Aceptable del Índice de Calidad del Agua (ICA) para este ID o sitio de muestreo.

Al seguir el curso del río por el perímetro urbano de Pamplona, se observa que en el ID 4 Escuela Los Naranjos el caudal aumenta a 739 L/s debido a las descargas de aguas residuales domésticas del municipio. Esto se evidencia en los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, que muestran una alteración del recurso hídrico con un ICA de 0,62 y una calificación Regular. Este punto ha sido crítico desde que se realiza esta caracterización desde el año 2017 y su calificación pasa de Mala a Regular con respecto al año 2022.

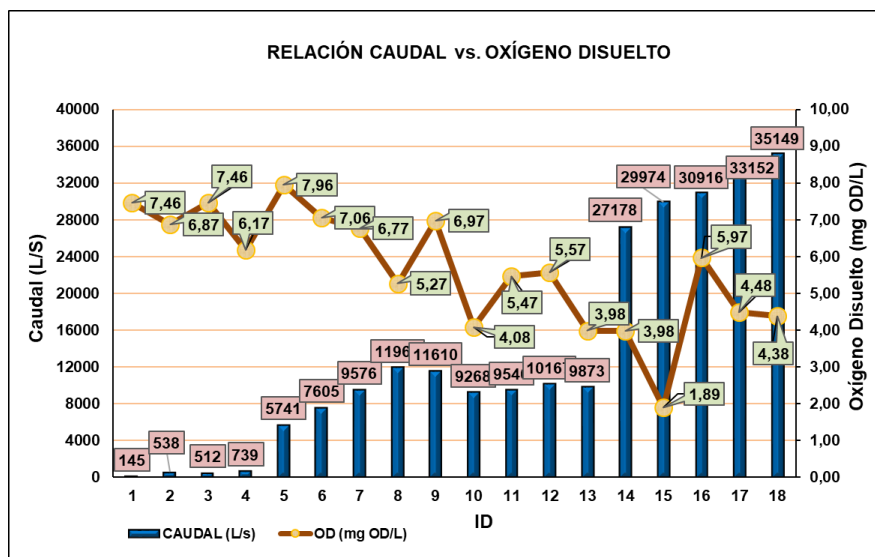
En el ID 5, el caudal sigue aumentando a 5741 L/s por el aporte de diferentes corrientes hídricas de menor orden, que contribuyen a diluir la carga orgánica y a la autodepuración hidráulica del río. Esto se ve reflejado en un aumento de la calificación de la calidad del agua, manteniéndose Regular en este punto de muestreo e incluso alcanzando la calificación Aceptable en el ID 7. El caudal continúa aumentando, pero su calidad empieza a deteriorarse a partir del ID 8 por los vertimientos de aguas residuales, los vertimientos de minas ubicadas en el área de influencia y las obras de infraestructura de la vía 4G Pamplona –Cúcuta, donde se presenta una gran problemática por la extracción de material de arrastre del lecho del río Pamplonita, que genera un movimiento del suelo y un aumento de sólidos.

Así mismo, se observa del ID 10 al ID 13 un caudal por encima de 9000 L/s con una calificación Regular y Mala en la calidad del agua. Estos ID corresponden a los puentes

ubicados en la zona urbana del municipio de Cúcuta, cuyos caudales han aumentado en comparación con el año 2022 por la época de inicio de lluvias en que se realizó el muestreo.

En la cuenca baja del río Pamplonita, la calidad de este recurso hídrico sigue en declive por el aporte de los vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas del municipio de Cúcuta sin tratamiento previo, así como por el aporte de caudal del río Táchira, que también está afectado por estas descargas contaminantes del municipio de Villa del Rosario. La calidad del agua se mantiene en calificación Mala exceptuando el ID 16 Paso de dos ríos.

5.4 CRUCE DE VARIABLES (CAUDAL Vs OXÍGENO DISUELTO) 2023

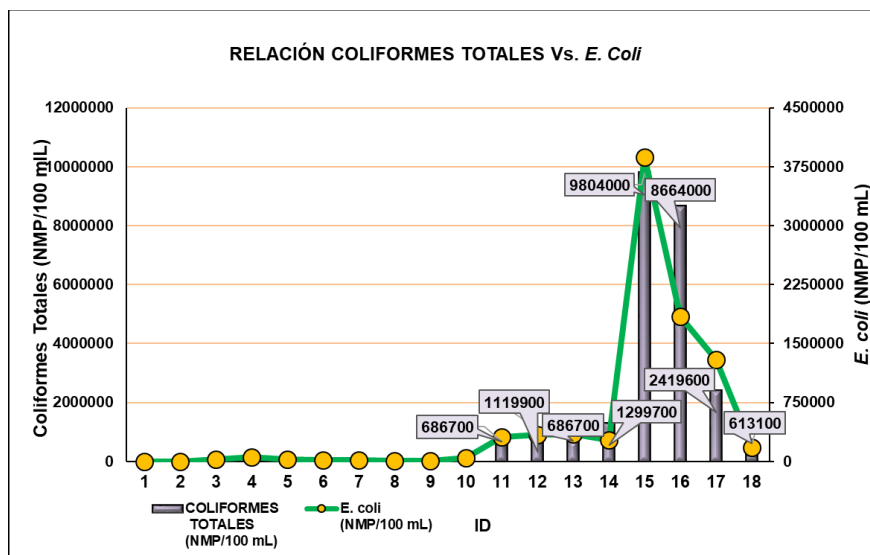


ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	OD (mg OD/L)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	145	7,46
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteandentro	538	6,87
3	Radio FM	512	7,46
4	Escuela Los Naranjos	739	6,17
5	El Diamante	5741	7,96
6	La Donjuana	7605	7,06
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	9576	6,77
8	La Garita	11962	5,27
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	11610	6,97
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	9268	4,08
11	Puente Elías M. Soto	9540	5,47
12	Puente Jorge Gaitan Durán	10167	5,57
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	9873	3,98
14	Confluencia Ríos Táchira-Pamplonita	27178	3,98
15	Río Enfermo	29974	1,89
16	Paso de dos ríos	30916	5,97
17	Agua Clara	33152	4,48
18	Puente Angosto	35149	4,38

La concentración de oxígeno disuelto es un indicador clave de la calidad del agua, ya que, a mayor oxígeno disuelto, mayor es la calidad del agua y su capacidad de albergar vida acuática. Sin embargo, esta concentración puede afectarse por la influencia de otras variables, como la temperatura, la materia orgánica en descomposición, la turbidez y los sólidos suspendidos, que pueden afectar la disponibilidad de oxígeno en el agua.

En los ID con mayor calificación, se observan concentraciones de oxígeno disuelto mayores a 7,00 mg OD/L en el agua superficial medidas en campo. La concentración del oxígeno disuelto de la cuenca hídrica del río Pamplonita, con valores inferiores a 7,00 mg OD/L, no se compensan con el aumento del caudal. Esto se debe a la influencia de otras variables, como la conductividad eléctrica, los sólidos suspendidos totales, la turbiedad y el aporte de materia orgánica, que son producto de las actividades antrópicas que afectan el río, provocando el deterioro de su calidad a lo largo de su recorrido. El valor más bajo de oxígeno disuelto se registró en el ID 15, con 1,80 mg OD/L, siendo también uno de los resultados más bajos del Índice de Calidad del Agua (ICA) de toda la cuenca, con 0,44.

5.5 CRUCE DE VARIABLES (COLIFORMES TOTALES Vs E. coli) 2023



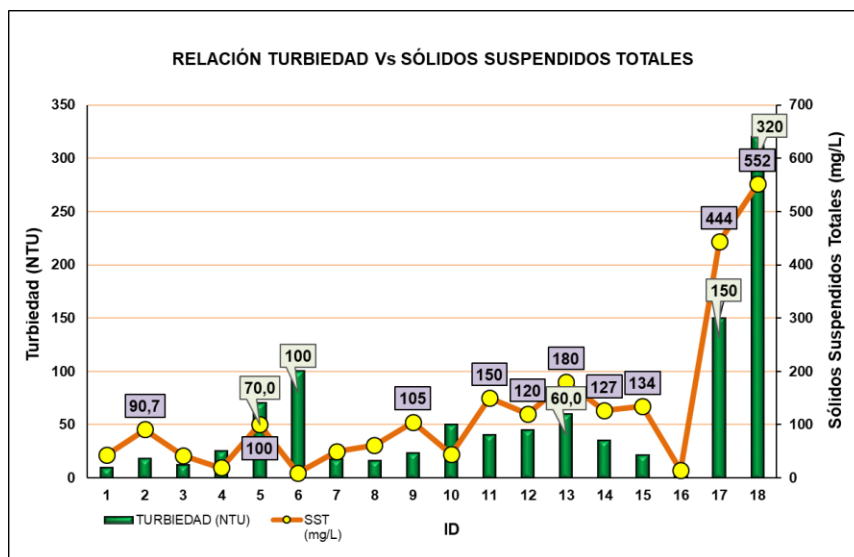
ID	NOMBRE	COLIFORMES TOTALES (NMP/100 mL)	E. coli (NMP/100 mL)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	1097	323
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteandredo	912	337
3	Radio FM	9280	28510
4	Escuela Los Naranjos	173290	54750
5	El Diamante	81640	28510
6	La Donjuana	86640	18920
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	129970	21870
8	La Garita	72700	6500
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	38730	9330
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	155310	48840
11	Puente Elías M. Soto	686700	307600
12	Puente Jorge Gaitan Durán	1119900	344100
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	686700	344800
14	Confluencia Ríos Táchira-Pamplonita	1299700	272300
15	Río Enfermo	9804000	3873000
16	Paso de dos ríos	8664000	1842000
17	Agua Clara	2419600	1299700
18	Puente Angosto	613100	178500

Los coliformes incluyen un gran grupo de muchos tipos de bacterias que se encuentran en todo el medio ambiente, son comunes en el suelo y el agua superficial. La presencia de Coliformes fecales en la corriente superficial confirma que están afectados por vertimientos tanto domésticos como industriales u otro tipo de vertimiento que cuenten con la presencia de materia orgánica, los E. coli son un grupo de microorganismos que hacen parte de los Coliformes fecales y se encuentran normalmente en el intestino del ser humano y de los animales de sangre caliente.

Para este estudio se realizaron los ensayos de Coliformes totales y E. coli en toda la corriente hídrica, donde el mayor valor de Coliformes totales lo arrojó el ID 15 con 9804000 NMP/100mL, en este sitio ya se han descargado todos los vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas procedentes del municipio de Cúcuta al cuerpo hídrico. Así mismo, los E. coli de mayor concentración lo presentó este mismo ID con 3873000 NMP/100mL, lo anterior es una evidente alteración del recurso puesto que la gran mayoría de ensayos obtuvieron altas concentraciones incidiendo en la calificación de su calidad en Mala.

Por otro lado, también es importante resaltar que en el ID 9 los coliformes totales presentaron una concentración de 38730 NMP/100mL, superando lo estipulado en la norma Decreto 1076 de 2015 en cuanto a los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico Artículo 2.2.3.3.9.3 con 20000 NMP/100mL y Artículo 2.2.3.3.9.4 de 1000 NMP/100mL.

5.6 CRUCE DE VARIABLES (TURBIEDAD Vs SÓLIDOS SUSPENDIDOS) 2023

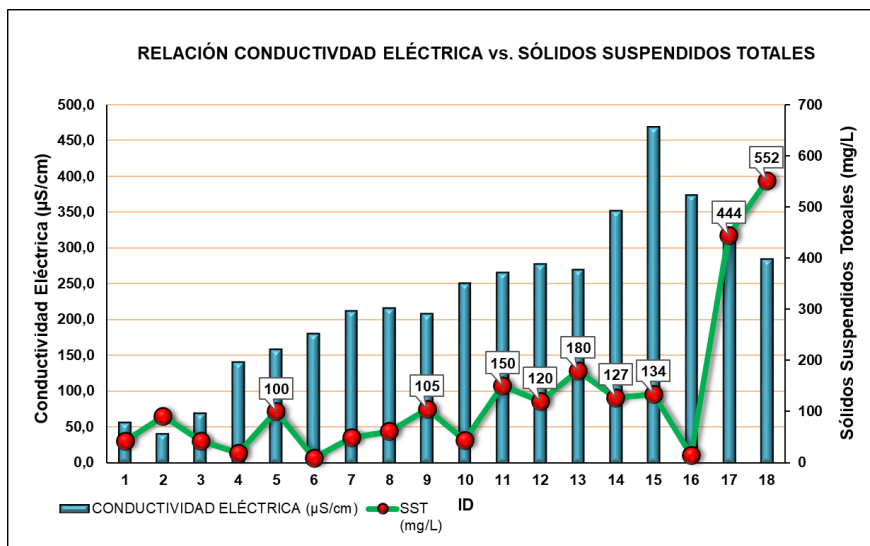


ID	NOMBRE	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/L)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	9,30	43,0
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteandentro	18,0	90,7
3	Radio FM	12,0	42,3
4	Escuela Los Naranjos	25,0	18,6
5	El Diamante	70,0	100
6	La Donjuana	100	9,20
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	17,0	49,7
8	La Garita	16,0	61,0
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	23,0	105
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	50,0	44,0
11	Puente Elías M. Soto	40,0	150
12	Puente Jorge Gaitan Durán	45,0	120
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	60,0	180
14	Confluencia Ríos Táchira-Pamplonita	35,0	127
15	Río Enfermo	21,0	134
16	Paso de dos ríos	7,80	14,0
17	Agua Clara	150	444
18	Puente Angosto	320	552

La turbiedad y los sólidos suspendidos totales son variables que se relacionan directamente y que afectan negativamente la calidad del agua, es decir, a mayor turbiedad y sólidos suspendidos, menor calidad del agua.

En este estudio, se observa esta relación, con concentraciones similares de turbiedad y sólidos suspendidos totales en los diferentes puntos de muestreo. Así mismo, se muestra en la gráfica que los valores más altos de estas variables se presentaron en el ID 17 y el ID 18, con 150 NTU y 320 NTU de turbiedad, y 444 mg/L y 552 mg/L de sólidos suspendidos totales, respectivamente. Estos resultados se asocian a la época de inicio de lluvias en que se realizó el muestreo, pero también a las actividades antrópicas que se realizan en el río, como la extracción de material, las obras de infraestructura de la vía 4G Pamplona –Cúcuta, la construcción de obras complementarias de la estructura vial entre Cúcuta y los Patios, y la adecuación con rocas de cantera en el lecho del río. Estas actividades generan un movimiento del suelo y un aumento de la sedimentación y el cauce lento del río en la parte baja de la cuenca, lo que incrementa las concentraciones de turbiedad y sólidos suspendidos totales, y disminuye el Índice de la Calidad del Agua, que en estos puntos es Mala.

5.7 CRUCE DE VARIABLES (CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Vs SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES) 2023



ID	NOMBRE	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	SST (mg/L)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	55,6	43,0
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteandentro	40,6	90,7
3	Radio FM	69,3	42,3
4	Escuela Los Naranjos	139,9	18,6
5	El Diamante	158,2	100
6	La Donjuana	180,2	9,20
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	212,0	49,7
8	La Garita	215,0	61,0
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	208,0	105
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	250,0	44,0
11	Puente Elías M. Soto	265,0	150
12	Puente Jorge Gaitan Durán	277,0	120
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	269,0	180
14	Confluencia Ríos Táchira-Pamplonita	351,0	127
15	Río Enfermo	468,0	134
16	Paso de dos ríos	373,0	14,0
17	Agua Clara	314,0	444
18	Puente Angosto	284,0	552

La conductividad del cuerpo hídrico depende de la concentración total de sustancias ionizadas disueltas en el agua y de la temperatura a la cual se hace la determinación. Al igual que la turbidez, la conductividad eléctrica (CE) en cuerpos de agua tiene estrecha relación con la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) y con el contenido de sales disueltas, a medida que aumentan las concentraciones de estas sustancias la calidad del agua se reduce. Esta condición se presentó en esta caracterización, en donde las concentraciones de estas tres (3) variables aumentaron conforme avanzaba la trayectoria del río, presentándose el valor más alto en conductividad eléctrica en el ID 15 con 468,0 $\mu\text{S/cm}$. Este resultado se debe a los vertimientos que provienen del municipio de Cúcuta, que deterioran la calidad del agua y la clasifican como Mala en este punto crítico de la cuenca.