

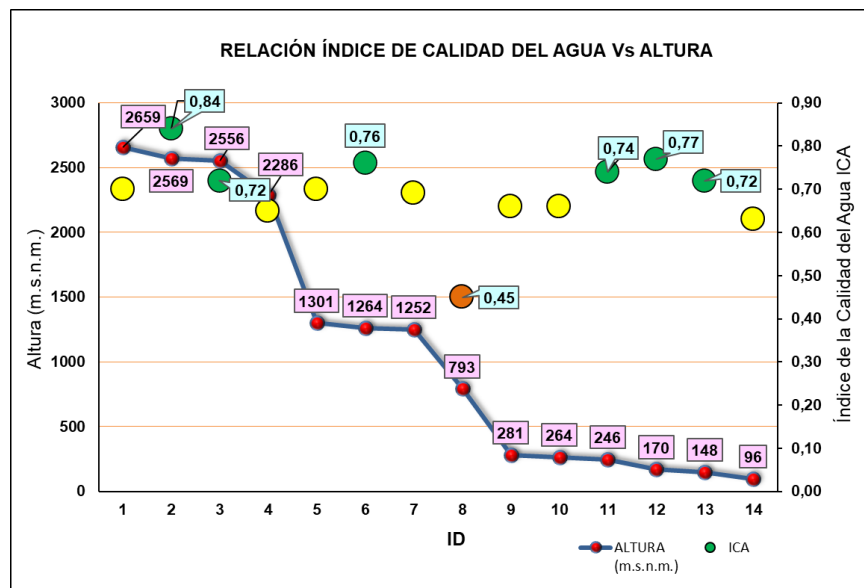
5. INTERPRETACIÓN VARIABLES CRUZADAS

Las variables cruzadas permiten interpretar y llevar a cabo el análisis de los resultados presentados en los diferentes ensayos y en cada ID o punto de muestreo caracterizado, además determina la incidencia directa o inversamente proporcional entre estos, que sumado a las actividades antrópicas en el área de influencia confirman hallazgos relacionados con la calidad fisicoquímica y microbiológica en la corriente hídrica estudiada.

Así mismo, se puede evaluar el comportamiento de las variables que se correlacionan y que reportan una sospecha de la afectación del recurso hídrico y su dinámica, tal como pudo ser demostrado con los diferentes reportes emitidos y sus respectivos análisis.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento de cada variable, la mayoría de las cuales interviene en el resultado y calificación del Índice de Calidad del Agua.

5.1 CRUCE DE VARIABLES (ALTURA Vs ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA – ICA) 2022



ID	NOMBRE	ALTURA (m.s.n.m.)	ICA
1	Río La Plata-El Molino	2659	0,70
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	2569	0,84
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	2556	0,72
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	2286	0,65
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	1301	0,70
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	1264	0,76
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	1252	0,69
8	Río Zulia-Puente Unión	793	0,45
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	281	0,66
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	264	0,66
11	Río Zulia-Puente Zulia	246	0,74
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	170	0,77
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	148	0,72
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	96	0,63

Se considera que la altura sobre el nivel del mar es una variable directamente proporcional con la calidad del agua, y que, a mayor altura las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de los cuerpos de agua son óptimas, sin embargo, las actividades antrópicas y otras variables que influyen en el cuerpo de agua pueden cambiar estas condiciones de favorabilidad.

De acuerdo con la gráfica, se observa que en la parte alta de la cuenca a 2659 m.s.n.m en el ID 1 a inicios de la caracterización, la calificación del Índice de Calidad del Agua es Regular, posterior a ello, el cuerpo hídrico se recupera levemente y tiene un cambio a calificación Aceptable en sólo dos (2) ID de la parte alta de la cuenca, lo anterior producto de los asentamientos humanos al margen del río que generan descargas de vertimientos, además de las actividades agropecuarias y de piscicultura (criaderos de truchas), esta última, como una de las principales actividades económicas del municipio de Mutiscua que van ejerciendo presión sobre la fuente hídrica.

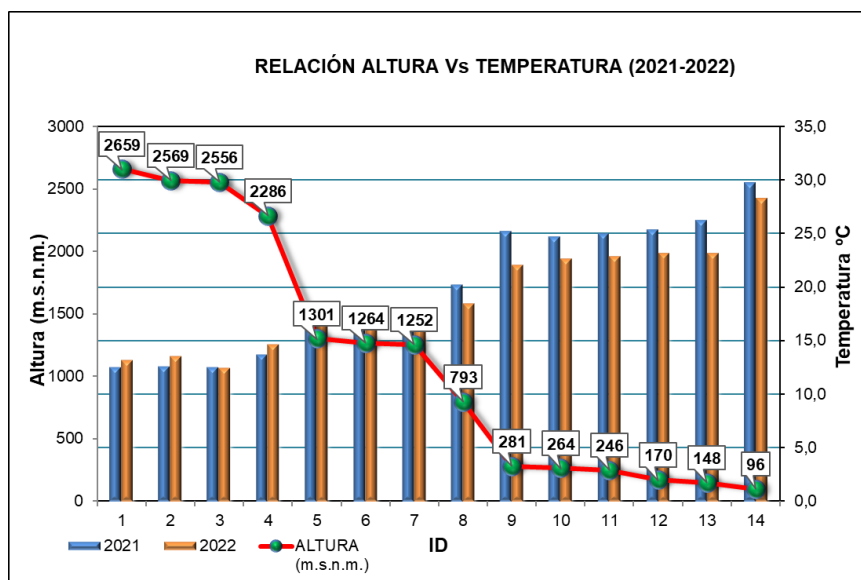
Lo mismo ocurre en el ID 5, ubicado en el municipio de Cucutilla a una altura de 1301 m.s.n.m, en el que la calidad del agua se mantiene en Regular también producto de las actividades antrópicas que se encuentran a su alrededor. Seguidamente, se logra una recuperación en el ID 6 a una altura de 1264 m.s.n.m con un Índice de Calidad del Agua de 0,76 gracias al aporte de caudal al confluir el río Zulasquilla y el río Cucutilla.

Continuando el recorrido de la corriente superficial, en el ID 8 a una altura de 793 m.s.n.m, se observa un cambio en su calidad a calificación Mala con 0,45, que además de las actividades antrópicas en la zona influyó notablemente la época de lluvias en que se realizó el muestreo cambiando sus características fisicoquímicas y microbiológicas del cuerpo de agua.

Posterior a este punto, se puede evidenciar en los ID restantes que la calificación del Índice de Calidad del Agua tiene una tendencia a Regular en tres (3) ID propiciado por la minería, actividades agropecuarias con grandes extensiones de cultivos de arroz y la presencia de la planta termoeléctrica que conllevan a una fuerte presión en la cuenca hídrica, presentando mejoría en tres (3) tres puntos en la parte baja de la cuenca y

finalmente al culminar el recorrido presenta un valor de 0,63 en el ID 14 a una altura de 96 m.s.n.m. con calificación Regular.

5.2 CRUCE DE VARIABLES (ALTURA vs TEMPERATURA 2021-2022)



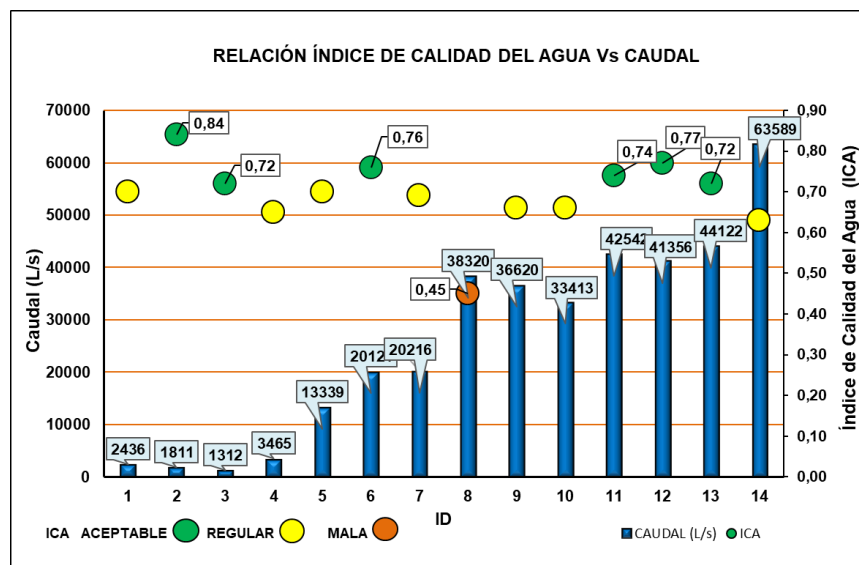
ID	NOMBRE	ALTURA (m.s.n.m.)	TEMPERATURA	
			2021	2022
1	Río La Plata-EI Molino	2659	12,6	13,2
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	2569	12,6	13,6
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	2556	12,6	12,5
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	2286	13,7	14,7
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	1301	18,3	18,3
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	1264	16,8	17,7
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	1252	17,0	17,7
8	Río Zulia-Puente Unión	793	20,2	18,5
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	281	25,3	22,1
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	264	24,8	22,7
11	Río Zulia-Puente Zulia	246	25,0	22,9
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	170	25,4	23,2
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	148	26,3	23,2
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	96	29,8	28,3

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

Lo anterior se evidencia en las mediciones de temperatura realizadas en el sitio de muestreo, en el que la temperatura más baja se presentó en el ID 1 ubicado en el municipio de Mutiscua a una altura de 2659 m.s.n.m en la parte alta de la cuenca para los dos años de estudio (2021-2022) con valores de 12,6 °C y 13,2°C respectivamente, por otro lado, el mayor registro de temperatura se reportó en la parte baja de la cuenca en el ID 14 a una altura de 96 m.s.n.m en el municipio de El Zulia con valores de 29,8°C en el año 2021 y 28,3°C en el año 2022.

La gráfica también permite observar, que a partir del ID 8 hay una notable disminución de temperatura con respecto al año anterior con una variación de 3 °C aproximadamente, lo anterior obedece a que el muestreo se llevó a cabo en época de lluvias.

5.3 CRUCE DE VARIABLES (CAUDAL Vs ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA-ICA) 2022



ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	ICA
1	Río La Plata-El Molino	2436	0,70
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	1811	0,84
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	1312	0,72
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	3465	0,65
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	13339	0,70
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	20121	0,76
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	20216	0,69
8	Río Zulia-Puente Unión	38320	0,45
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	36620	0,66
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	33413	0,66
11	Río Zulia-Puente Zulia	42542	0,74
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	41356	0,77
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	44122	0,72
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	63589	0,63

La medición de caudal es una variable importante porque ayuda a comprender los resultados de la caracterización de acuerdo con la dinámica del río, que además inciden con las actividades antrópicas de la zona, sumado a la época climática en que se realizan estas actividades de muestreo.

La caracterización de la cuenca del río Zulia inició en la parte alta de la cuenca en el ID 1 con un caudal de 2436 L/s, en el ID 3 se observa una disminución en el cauce a 1312 L/s puesto a que es captada para la piscicultura (criaderos de truchas) teniendo en cuenta que esta actividad es una de las principales actividades económicas del municipio de Mutiscua, seguidamente el caudal va en ascenso por las descargas de estas actividades, y en los siguientes puntos o ID continua en aumento por los aportes de afluentes importantes sobre la cuenca como el río Arboledas y el río Salazar.

En el ID 8, se puede observar un aumento significativo de caudal con 38320 L/s en el cuerpo hídrico, esto se debe a las lluvias presentadas el día anterior al muestreo, en el que sus características fisicoquímicas y microbiológicas cambiaron coincidiendo con una calificación Mala de 0,45 en este punto de muestreo.

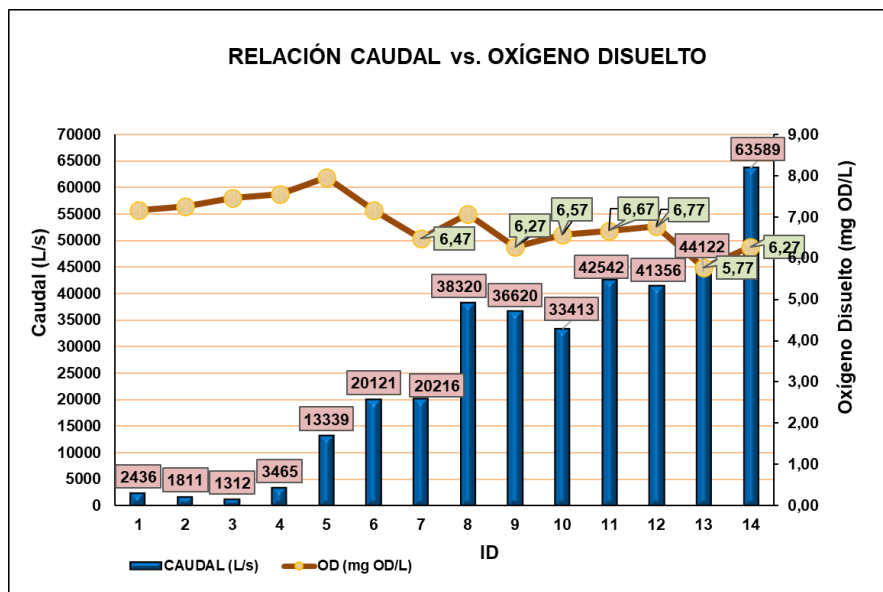
Posteriormente, en los ID restantes se ve seriamente comprometida su calidad también producto de la época de lluvia en el que se realizó la caracterización, sumado a las actividades antrópicas de la zona. Adicional a ello, se observa en el ID 10 una reducción del caudal posiblemente por la captación de la planta termoeléctrica Termotasajero para su funcionamiento presentando un caudal de 33413 L/s, que a su vez influyó en la calificación Regular en este punto desmejorando su calidad.

Continuando la trayectoria del cuerpo superficial, se evidencia una recuperación en el ID 11 el Índice de Calidad del Agua con un valor de 0,74 y calificación Aceptable por el aporte del río Peralonso a pesar de los vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas provenientes de la Quebrada Tonchalá, que, por primera vez, arroja una calificación Regular por las constantes precipitaciones que se vienen presentando.

Finalizando el recorrido, en la parte baja de la cuenca alcanza un caudal de 63589 L/s, producto de la confluencia con el río Pamplonita que también tiene una afectación importante al final de su trayectoria.

Es importante resaltar, que más del 80% de los caudales aumentaron en este estudio por la época de lluvias en que se realizó la caracterización de la corriente superficial.

5.4 CRUCE DE VARIABLES (CAUDAL Vs OXÍGENO DISUELTO) 2022

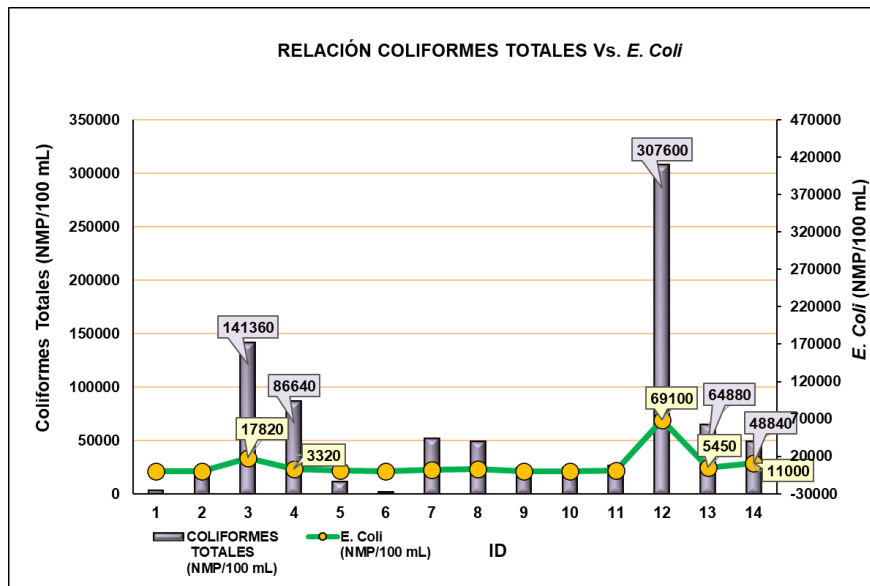


ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	OD (mg OD/L)
1	Río La Plata-El Molino	2436	7,16
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	1811	7,26
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	1312	7,46
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	3465	7,56
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	13339	7,96
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	20121	7,16
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	20216	6,47
8	Río Zulia-Puente Unión	38320	7,06
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	36620	6,27
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	33413	6,57
11	Río Zulia-Puente Zulia	42542	6,67
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	41356	6,77
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	44122	5,77
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	63589	6,27

El oxígeno disuelto es una variable muy importante junto con el caudal en una fuente hídrica, a mayor cantidad de oxígeno disuelto es mejor el estado o calidad del agua, así mismo, se ven involucrados diferentes factores como la temperatura, materia orgánica en descomposición, la turbidez y partículas sólidas en suspensión que pueden generar la disminución del oxígeno disuelto en el cuerpo lótico.

La gráfica anterior refleja valores estables en las concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de la cuenca del río Zulia, pero es importante mencionar que a partir de ID 8 los registros de oxígeno disuelto medidos en campo tienen una leve disminución en su concentración, lo anterior se debe posiblemente a que la caracterización se realizó en época de lluvias donde la turbidez y las partículas sólidas en suspensión incidieron en su valor a pesar del aumento del caudal en cada punto de muestreo, a su vez se evidencia en los Índices de Calidad del Agua en estos ID en el que la calidad del cuerpo hídrico desmejoró.

5.5 CRUCE DE VARIABLES (COLIFORMES TOTALES Vs E. coli) 2022



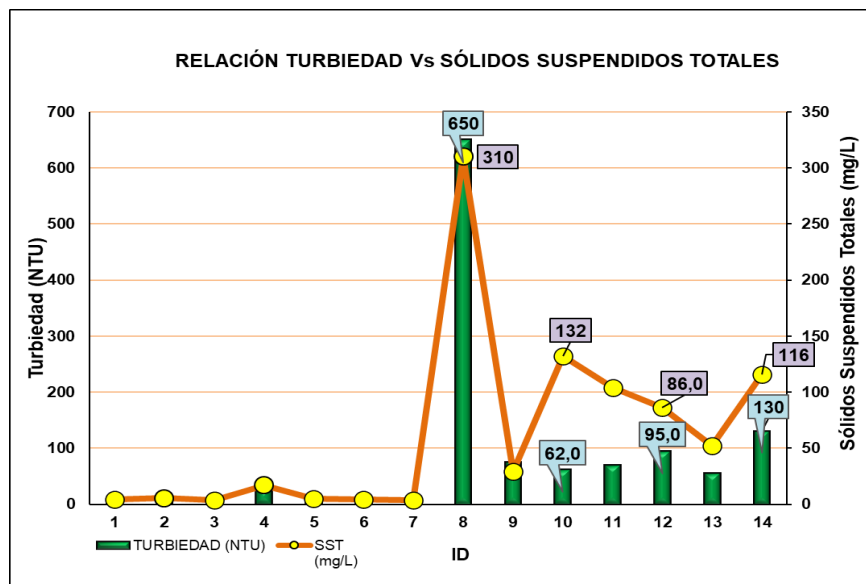
ID	NOMBRE	COLIFORMES TOTALES (NMP/100 mL)	E. Coli (NMP/100 mL)
1	Río La Plata-El Molino	3255	282
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	19863	169
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	141360	17820
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	86640	3320
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	11370	730
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	1553	160
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	51720	2470
8	Río Zulia-Puente Unión	48840	3010
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	24196	529
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	24196	521
11	Río Zulia-Puente Zulia	26130	1460
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	307600	69100
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	64880	5450
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	48840	11000

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, la Escherichia coli es una bacteria que hace parte de este grupo de fecales y se encuentran normalmente en el intestino del ser humano y de los animales de sangre caliente.

En la gráfica se observa que la mayor concentración de Coliformes totales y *E. coli* se presentaron en el ID 12 con 307600 NMP/100 mL y 69100 NMP/100 mL, el cual se relaciona con la carga orgánica proveniente de los vertimientos de aguas residuales del municipio El Zulia.

Así mismo se presentaron altas concentraciones de Coliformes totales y *E. coli* en el ID 3 con 141360 NMP/100 mL y 17820 NMP/100 mL respectivamente, lo anterior obedece a los vertimientos de aguas residuales domésticas del municipio de Mutiscua, aunado a las actividades piscícolas (criaderos de truchas) como principal actividad económica del municipio. Además en el ID 4 se presentaron concentraciones considerables con 86640 NMP/100 mL de Coliformes totales y 17820 NMP/100 mL de *E. coli*, valores que hacen alusión a la misma actividad antrópica en el municipio en mención.

5.6 CRUCE DE VARIABLES (TURBIEDAD Vs SÓLIDOS SUSPENDIDOS) 2022



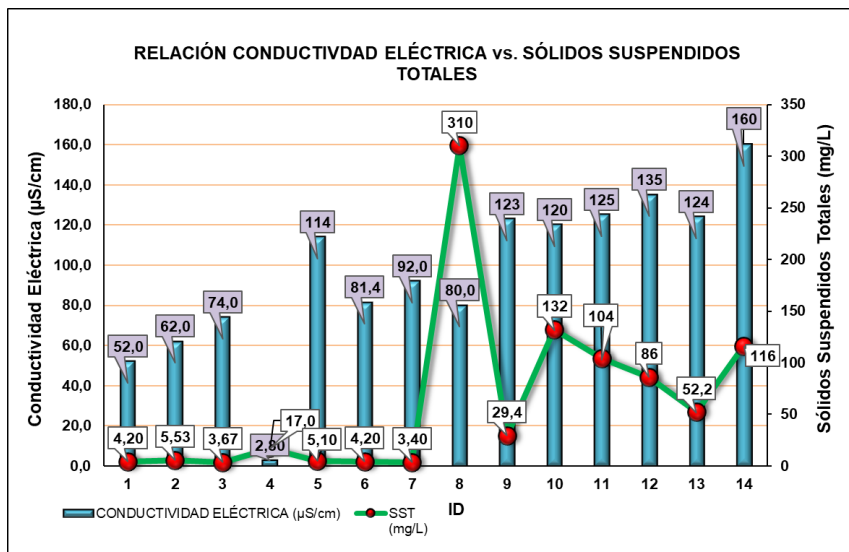
ID	NOMBRE	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/L)
1	Río La Plata-El Molino	8,70	4,20
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	12,0	5,53
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	6,90	3,67
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	27,0	17,0
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	8,50	5,10
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	2,00	4,20
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	4,40	3,40
8	Río Zulia-Puente Unión	650	310
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	75,0	29,4
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	62,0	132
11	Río Zulia-Puente Zulia	70,0	104
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	95,0	86,0
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	55,0	52,2
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	130	116

Los sólidos suspendidos totales y turbiedad tienen entre sí una estrecha relación y son inversamente proporcionales con la calidad del agua, es decir, cuando las concentraciones de dichas variables aumentan la calidad del agua disminuye.

Lo anterior se ve reflejado en los resultados obtenidos en el que mantienen esta estrecha relación en todo el trayecto de la cuenca en estudio. Las concentraciones más altas para ambas variables se presentaron en el ID 8 con 650 NTU para turbiedad y 310 mg/L para sólidos suspendidos totales, valores que obedecen a las precipitaciones presentadas el día anterior a la realización del muestreo, así mismo, se vio comprometida la calidad en el cuerpo superficial con calificación Mala en este punto de muestreo.

Posteriormente, la gráfica permite inferir que en la parte baja de la cuenca las concentraciones para ambas variables van en aumento puesto a que es característico de la corriente superficial por el engrosamiento del cauce, el arrastre de sedimentos y pérdida de velocidad en el mismo. Igualmente, se comprueba el desmejoramiento de la calidad con la calificación Regular en la gran mayoría de los puntos muestreados.

5.7 CRUCE DE VARIABLES (CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Vs SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES) 2022

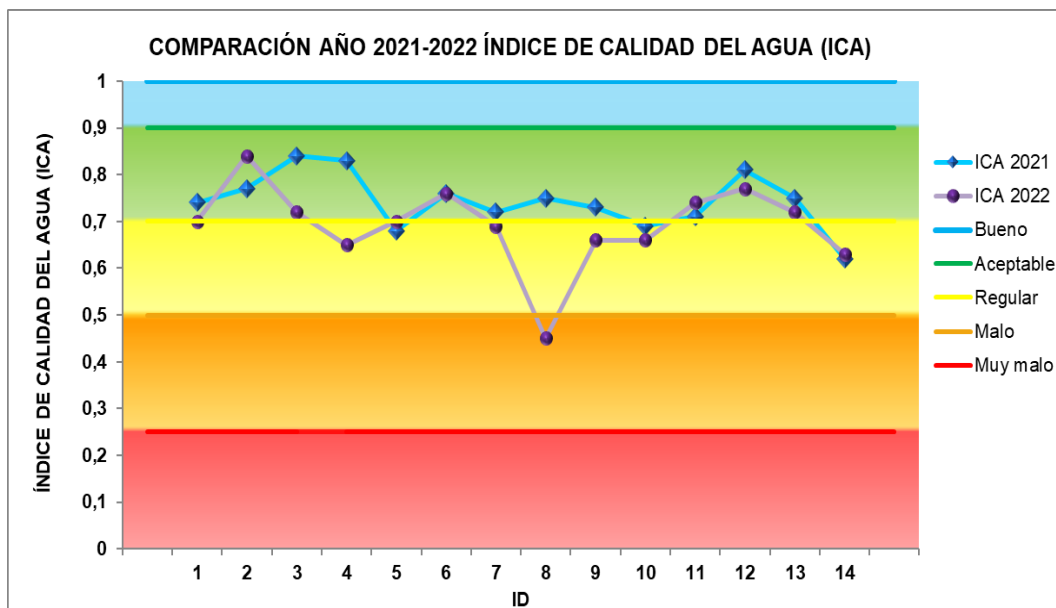


ID	NOMBRE	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SST (mg/L)
1	Río La Plata-El Molino	52,0	4,20
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	62,0	5,53
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	74,0	3,67
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	2,80	17,0
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	114	5,10
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	81,4	4,20
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	92,0	3,40
8	Río Zulia-Puente Unión	80,0	310
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	123	29,4
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	120	132
11	Río Zulia-Puente Zulia	125	104
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	135	86
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	124	52,2
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	160	116

La conductividad del cuerpo hídrico depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas 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.

Lo anterior se refleja en los resultados obtenidos, en el que las concentraciones para las variables en mención aumentaron conforme avanzaba la trayectoria del río aunado a las actividades antrópicas alrededor del cuerpo hídrico, presentándose el valor más alto en conductividad eléctrica de 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el ID 14, lo cual es coherente con la calificación Regular en este punto de muestreo por las presiones que se ejercen sobre el agua superficial en esta zona que conllevan al desmejoramiento de su calidad.

5.8 COMPORTAMIENTO ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) 2021 – 2022



ID	NOMBRE	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)	
		2021	2022
1	Río La Plata-El Molino	0,74	0,70
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	0,77	0,84
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	0,84	0,72
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	0,83	0,65
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	0,68	0,70
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	0,76	0,76
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	0,72	0,69
8	Río Zulia-Puente Unión	0,75	0,45
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	0,73	0,66
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	0,69	0,66
11	Río Zulia-Puente Zulia	0,71	0,74
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	0,81	0,77
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	0,75	0,72
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	0,62	0,63
PROMEDIO		0,74	0,69

CALIFICACIÓN:	ACEPTABLE	REGULAR	MALA
---------------	-----------	---------	------

La caracterización de la cuenca del río Zulia presentó una calificación Regular en el Índice de Calidad de Agua con un valor promedio a nivel general de la cuenca de 0,69, resultado que refleja un desmejoramiento en su calidad si se compara con el año 2021 con un valor de 0,74 y calificación Aceptable. El cuerpo hídrico presenta una leve recuperación a lo largo de su trayecto en sólo 5 ID o puntos de muestreo quedando en evidencia las condiciones de desfavorabilidad de la corriente en estudio.

Este desmejoramiento inicia en la parte alta de la cuenca donde se sitúa el primer punto de muestreo o ID 1 El Molino en el municipio de Mutiscua con calificación Regular, posteriormente, se presenta una recuperación considerable cambiando a calificación Aceptable, sin embargo, en el ID 4 vuelve a desmejorar su calidad, producto de las actividades piscícolas (criaderos de trucha) que se presentan en la zona.

Luego, al continuar su recorrido a la altura del municipio de Cucutilla en el ID 5, su calificación se mantiene en Regular en el Índice de Calidad del Agua si se compara con el año 2019 y 2021, seguidamente, a pesar del caudal que aporta el río Zulasquilla, en el ID 7 la calidad del agua cambia de Aceptable a Regular volviéndose crítico en el ID 8 con un valor de 0,45 y calificación Mala. Luego, el cuerpo de agua superficial tiene una leve mejoría cambiando a calificación Regular en los ID 9 y 10 con valores de 0,66, en esta área hay presencia de actividades mineras, tráfico vehicular constante de carbón, además de la ubicación de la planta generadora y comercializadora de energía eléctrica Termotasajero. En el ID 11, vuelve a recuperarse la calidad del cuerpo de agua causado por el aporte del río Peralonso y la Quebrada Ocarena.

Finalmente, en la parte baja de la cuenca en el ID 14, la calidad del agua vuelve a calificación Regular manteniéndose en esta calificación si se compara con los años (2019, 2021 y 2022) de estudio de la cuenca, lo anterior obedece a la fuerte presión antrópica como la descarga de aguas residuales domésticas de los diferentes municipios aledaños del recurso hídrico, las extensas áreas de cultivos de arroz, actividad agrícola y minera y la confluencia con el río Pamplonita que trae consigo una afectación considerable

Por otro lado, es importante destacar que los afluentes de la cuenca hídrica El Zulia presentaron una leve mejoría a nivel general en el Índice de Calidad del Agua (ICA) reportando un promedio de 0,73 si se compara con el año 2021, lo anterior obedece a que la Quebrada Tonchalá por primera vez presentó calificación Regular en su calidad, toda vez que en ella se descargan las aguas residuales domésticas y no domésticas con alta carga contaminante.