

## 2.6 Interpretación Variables Cruzadas

Los resultados de los 14 puntos de control permiten entender el estado del río Zulia al comparar sus niveles físicos y químicos con el impacto de las actividades humanas en la zona. Este análisis ayuda a identificar cómo la minería, la agricultura y los desechos de las ciudades están alterando el equilibrio natural del río y afectando su calidad en algunos tramos.

A continuación, se explica el comportamiento de cada parámetro, los cuales fueron la base para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) y ver qué tanto ha cambiado el río en los últimos años.

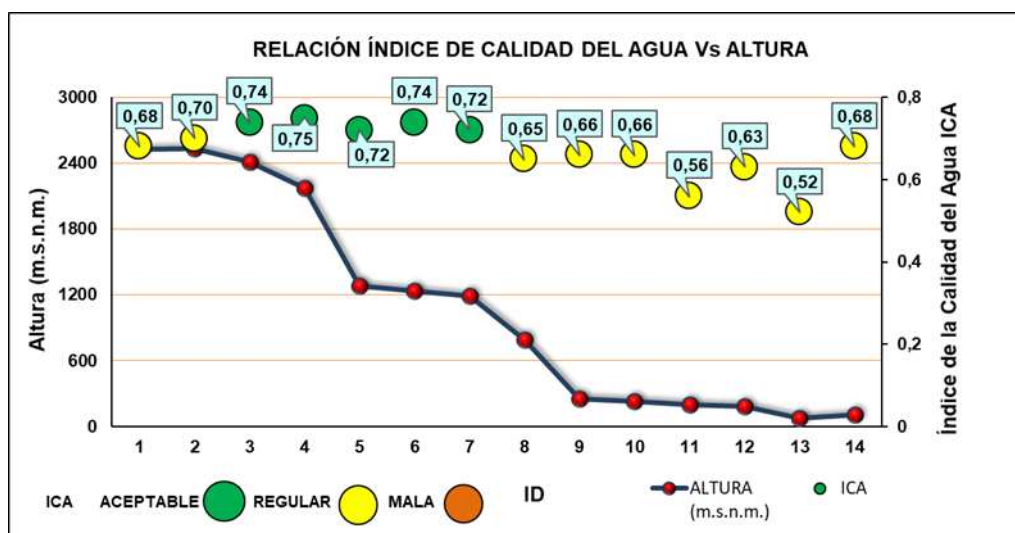
### 2.6.1 Cruce de Variables (Altura Vs Índice de Calidad del Agua – ICA) 2025

**Tabla 12.** ID Río Zulia, datos de la altura y el índice de Calidad del Agua – ICA

ID	NOMBRE	ALTURA (m.s.n.m.)	ICA
1	Río La Plata-El Molino	2526	0,68
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	2535	0,70
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	2414	0,74
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	2172	0,75
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	1281	0,72
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	1238	0,74
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	1191	0,72
8	Río Zulia-Puente Unión	787	0,65
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	254	0,66
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	229	0,66
11	Río Zulia-Puente Zulia	202	0,56
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	184	0,63
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	79	0,52
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	105	0,68

Fuente: IR- 25-08 (56- al 81) del 10 de diciembre de 2025- Corponor.

**Figura 36.** Altura Vs Índice de Calidad del Agua – ICA Río Zulia



El análisis del Índice de Calidad de Agua (ICA) en relación con el gradiente altitudinal de la cuenca permite identificar una degradación progresiva de la salud del río a medida que este desciende hacia la zona baja. En el tramo de la parte alta, ubicado entre los ID 3 e ID 7, predomina una calidad de agua “Aceptable” con valores que oscilan entre 0,72 y 0,75.

Es notable que el punto Río La Plata-Truchas El Cerro (ID 4), situado a 2172 m.s.n.m., presenta el ICA más alto de todo el monitoreo (0,75), lo que sugiere que, a pesar de la actividad piscícola y agrícola de hortalizas en sus laderas, el cuerpo hídrico conserva una capacidad de autodepuración efectiva en este nivel de elevación. No obstante, los puntos de cabecera como Río La Plata-El Molino (ID 1) y Puente Hogar Juvenil (ID 2) inician con una calidad “Regular” de 0,68 y 0,70 respectivamente, indicando presiones antrópicas iniciales antes de alcanzar los tramos con mayor cobertura o dilución, evidenciando que las actividades observadas durante el monitoreo y descritas en la identificación de Acciones Antropogénicas causan presiones negativas directas en la calidad de agua de estos ID.

A medida que el río desciende por debajo de la cota de los 800 m.s.n.m., la calidad del agua se deteriora de manera sostenida, manteniéndose en una categoría “Regular” (color amarillo) en todos los puntos restantes.

Desde el Río Zulia-Puente Unión (ID 8) a 787 m.s.n.m. hasta el punto Río Zulia-Antes de la captación (ID 13) a tan solo 79 m.s.n.m., se observa un descenso en el ICA, alcanzando su valor más bajo de 0,52 esta tendencia está vinculada a la pérdida de pendiente y al aumento de la temperatura, factores que, sumados a la acumulación de vertimientos urbanos, la escorrentía de cultivos de arroz y

palma, y el impacto del tránsito de maquinaria pesada y volquetas, superan la capacidad de recuperación del ecosistema.

Finalmente, tras la confluencia con el Río Pamplonita en el ID 14, el ICA muestra una ligera recuperación a 0,68, aunque persiste la condición de calidad “Regular” que caracteriza a todo el tramo bajo de la cuenca.

## 2.6.2 Cruce de Variables (Caudal Vs Índice de Calidad del Agua – ICA) 2025

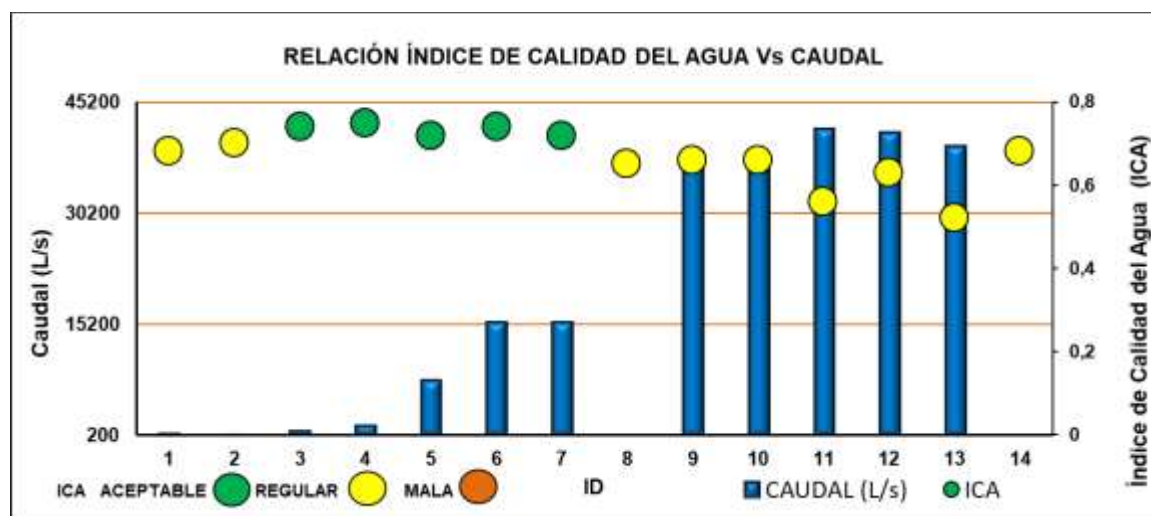
**Tabla 13.** ID Río Zulia, datos del Caudal y el índice de Calidad del Agua – ICA

ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	ICA
1	Río La Plata-El Molino	547	0,68
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	308	0,70
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	860	0,74
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	1557	0,75
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	7722	0,72
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	15475	0,74
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	15505	0,72
8	Río Zulia-Puente Unión	NR	0,65
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	38506	0,66
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	37893	0,66
11	Río Zulia-Puente Zulia	41494	0,56
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	41056	0,63
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	39140	0,52
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	NR	0,68

NR: No realizado

Fuente: IR- 25-08 (56- al 81) del 10 de diciembre de 2025- Corponor.

**Figura 37.** Relación Índice de Calidad del agua Vs Caudal



*El monitoreo del caudal en un río constituye una herramienta fundamental para la evaluación de su dinámica hidrológica, ya que su variabilidad determina la capacidad de transporte, dispersión y dilución de contaminantes a lo largo del cauce, influyendo directamente en la calidad del agua y en el equilibrio de los ecosistemas asociados dentro de la cuenca hidrográfica.*

*La dinámica del flujo hídrico está estrechamente ligada a la variabilidad climática y a las intervenciones humanas, factores que a su vez alteran las propiedades fisicoquímicas del agua; por consiguiente, el caudal debe ser un eje articulador en la evaluación de la calidad ambiental del río.*

*En el caso específico del río Zulia, los datos revelan que no existe una dependencia lineal entre el volumen de agua y el Índice de Calidad del Agua (ICA). En la cabecera donde se registran los caudales más bajos del sistema (308 L/s y 547 L/s), el ICA inicia con una calificación "Regular" en los puntos ID 1 e ID 2. Posteriormente, en el tramo comprendido entre el ID 3 y el ID 7, se presenta una mejora en las condiciones del recurso, alcanzando una categoría "Aceptable" con valores de hasta 0,75 cuando el caudal se incrementa significativamente hasta los 15.505 L/s, por lo que inicialmente se podría pensar que si existe una relación positiva entre el caudal y el ICA.*

*Sin embargo, en el recorrido hacia la zona baja (desde el ID 8 hasta el ID 13), la calidad del agua experimenta un retroceso hacia la categoría Regular, llegando a su punto más crítico con un índice de 0,52. Este deterioro ocurre de manera simultánea al registro de los caudales máximos del monitoreo, los cuales superan los 39.000 L/s. Este fenómeno evidencia que el potencial de dilución aportado por el aumento del caudal es insuficiente para compensar la fuerte carga contaminante generada por las actividades agrícolas, industriales y urbanas que caracterizan el sector bajo de la cuenca.*

## 2.6.4 Cruce de Variables (Caudal Vs Oxígeno Disuelto- OD) 2025

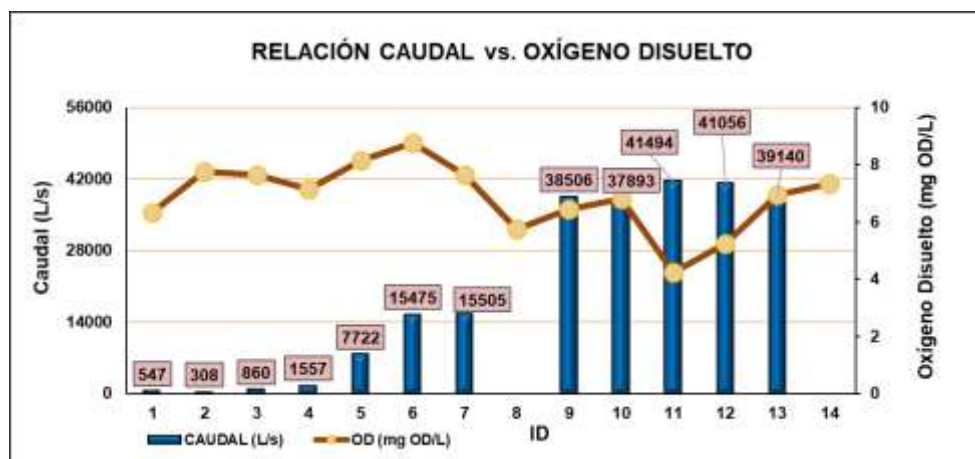
**Tabla 14.** Datos Caudal y Oxígeno Disuelto- OD Río Zulia.

ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	OD (mg OD/L)
1	Río La Plata-El Molino	547	6,34
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	308	7,75
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	860	7,65
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	1557	7,15
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	7722	8,16
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	15475	8,76
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	15505	7,65
8	Río Zulia-Puente Unión	NR	5,74
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	38506	6,45
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	37893	6,80
11	Río Zulia-Puente Zulia	41494	4,23
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	41056	5,24
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	39140	6,95
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	NR	7,35

NR: No realizado

Fuente: IR- 25-08 (56- al 81) del 10 de diciembre de 2025- Corponor.

**Figura 38.** Relación Caudal Vs Oxígeno Disuelto- OD



El Oxígeno Disuelto (OD) es un indicador clave para evaluar la calidad del agua, ya que concentraciones elevadas suelen relacionarse con un mejor estado del recurso hídrico. Además, un mayor caudal favorece su mantenimiento. Sin embargo, esta relación no es permanente, porque la cantidad de Oxígeno puede variar debido a distintos factores, como la temperatura, la descomposición de materia orgánica, la turbidez y la presencia de sólidos suspendidos.

La relación entre el Caudal y el Oxígeno Disuelto (OD) en los diferentes puntos de muestreo del río Zulia evidencia que no existe una correspondencia directa entre estas dos variables. Aunque el caudal se incrementa de manera drástica desde los tramos altos hasta la zona baja, los niveles de Oxígeno no siguen un patrón de crecimiento proporcional, por ejemplo, en el punto Río Zulia-Puente Zulia (ID 11), donde se registra uno de los caudales más voluminosos del estudio (41.494 L/s), el OD presenta su nivel más crítico alcanzando apenas 4,23 mg/L.

En contraste, en sectores con caudales significativamente menores como el Río Cucutilla (ID 6) con 15.475 L/s, se reporta la concentración de oxígeno más elevada de toda la cuenca con 8,76 mg/L.

Este comportamiento refleja que el volumen de agua por sí solo no determina los niveles de oxigenación. En el río Zulia, influyen factores determinantes como la pérdida de pendiente en las zonas bajas, el aumento de la temperatura ambiental y las descargas de origen antrópico que incrementan la demanda de Oxígeno para la degradación de materia orgánica.

En otras palabras, para el caso del río Zulia, calidad de oxigenación depende más de las condiciones locales y de la dinámica ecológica del cuerpo de agua que del volumen de caudal transportado, lo que demuestra que la capacidad de dilución del río es inferior a su nivel de contaminación.

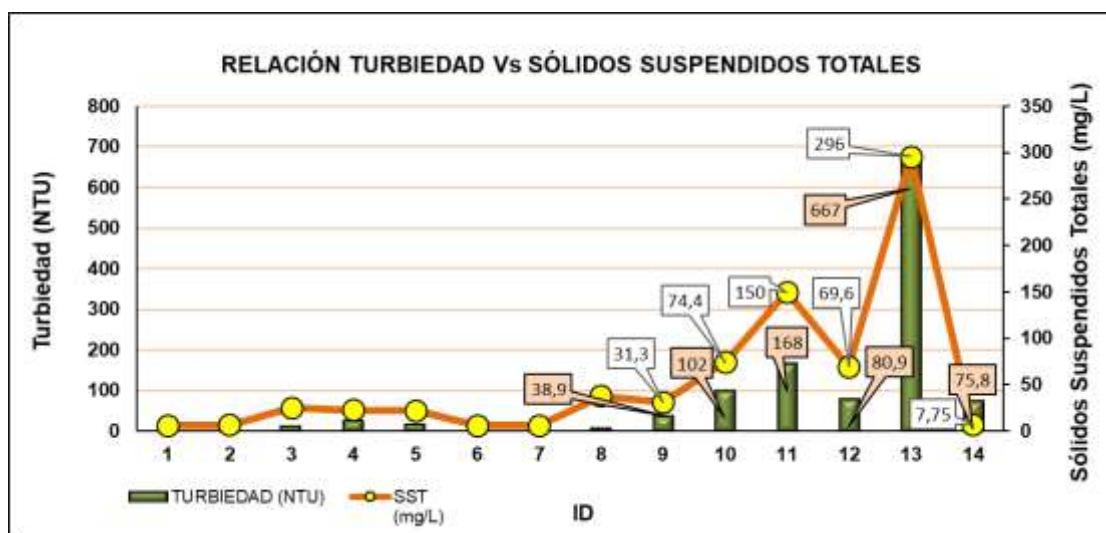
## 2.6.5 Cruce de Variables (Turbiedad Vs Sólidos Suspendidos Totales-SST) 2025

**Tabla 15.** Datos de Turbiedad y Sólidos Suspendidos Totales-SST).

ID	NOMBRE	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/L)
1	Río La Plata-El Molino	2,22	6,70
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	<2,00	6,3
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	15	24,9
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	28,2	22,8
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	19,9	22,8
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	3,5	<6,00
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	3,42	<6,00
8	Río Zulia-Puente Unión	9,43	37,6
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	38,9	31,3
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	102	74,4
11	Río Zulia-Puente Zulia	168	150
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	80,9	69,6
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	667	296
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	75,8	7,75

Fuente: IR- 25-08 (56- al 81) del 10 de diciembre de 2025- Corponor.

**Figura 39.** Relación Turbiedad y Sólidos Suspendidos Totales-SST



La Turbiedad y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son parámetros que guardan una estrecha relación, ya que ambos miden la presencia de material particulado (como arcillas, materia orgánica o microorganismos) que reduce la transparencia del agua. Generalmente, un incremento en la concentración de sólidos suspendidos se traduce en una mayor dispersión de la luz y, por ende, en un aumento de la turbiedad; no obstante, esta correlación puede variar dependiendo del tamaño y la naturaleza de las partículas presentes en el cauce.

En la cuenca del río Zulia, los resultados confirman una correspondencia directa y ascendente entre ambas variables a medida que se desciende en el gradiente altitudinal. En los tramos altos, como el río La Plata-Puente Hogar Juvenil (ID 2), se registran los valores más bajos con una Turbiedad de <2,00 NTU y 6,3 mg/L de SST, indicando aguas claras con baja carga de sedimentos. Sin embargo, se observa un pico crítico hacia el tramo bajo, específicamente en el punto río Zulia-Antes de la captación (ID 13), donde la Turbiedad alcanza los 667 NTU y los sólidos se elevan a 296 mg/L.

Este incremento masivo es un indicador de la fuerte erosión, la escorrentía de suelos agrícolas y el impacto del tránsito de maquinaria pesada y volquetas que remueven material en las riberas.

Es relevante notar que en puntos como el río Zulia-Puente Zulia (ID 11), la Turbiedad de 168 NTU y los SST de 150 mg/L demuestran que el río transporta una carga significativa de material que no solo afecta la estética del recurso, sino que también puede actuar como vehículo para otros contaminantes; en otras palabras, la relación entre estas variables evidencia que la calidad física del agua

se degrada severamente en los tramos finales, donde la capacidad de transporte de sedimentos del río supera los niveles deseables para su uso directo, reafirmando que la presión antrópica en la zona baja sobrepasa los procesos naturales de sedimentación del cuerpo hídrico.

### 2.6.6 Cruce de Variables (Conductividad Eléctrica Vs Sólidos Suspendedos Totales-SST) 2025

**Tabla 16.** Datos de Conductividad Eléctrica y Sólidos Suspendedos Totales-SST.

ID	NOMBRE	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	SST (mg/L)
1	Río La Plata-El Molino	111	6,70
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	124	6,3
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	101	24,9
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	129	22,8
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	89	22,8
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	72,5	<6,00
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	85	<6,00
8	Río Zulia-Puente Unión	107,2	37,6
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	120,8	31,3
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	95,5	74,4
11	Río Zulia-Puente Zulia	120	150
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	107	69,6
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	145	296
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	146	7,75

IR- 25-08 (56- al 81) del 10 de diciembre de 2025- Corponor.

**Figura 40.** Relación Conductividad y Sólidos Suspendedos Totales-SST



*La Conductividad Eléctrica y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) permiten diferenciar la carga de sustancias disueltas frente al material particulado en suspensión. Mientras que la conductividad mide la capacidad del agua para conducir electricidad debido a la presencia de iones y sales disueltas, los SST cuantifican las partículas físicas que no se disuelven. Aunque son parámetros distintos, su comportamiento conjunto suele reflejar la intensidad de los aportes externos, tanto químicos como erosivos.*

*En la cuenca del río Zulia, se observa que ambos parámetros tienden a aumentar conforme el río desciende, aunque no siempre de forma proporcional. En la parte alta, el punto Río La Plata-El Molino (ID 1) presenta valores bajos de ambos indicadores (68,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 6,70 mg/L), reflejando aguas con baja mineralización y pocos sedimentos, sin embargo, en el tramo bajo se identifica un incremento drástico; el punto Río Zulia-Antes de la captación (ID 13) registra el valor máximo de SST con 296 mg/L, coincidiendo con una conductividad elevada de 273  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .*

*Este aumento simultáneo sugiere que el río recibe una carga mixta: sedimentos por erosión y escorrentía agrícola (SST), junto con sales y compuestos iónicos derivados de vertimientos urbanos e industriales (Conductividad).*

*Es interesante notar que en puntos como río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero (ID 10), la Conductividad es alta (289  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pero los SST son comparativamente moderados (74,4 mg/L). Esto indica que en ciertos sectores predomina la contaminación por sustancias químicas disueltas sobre el material particulado.*

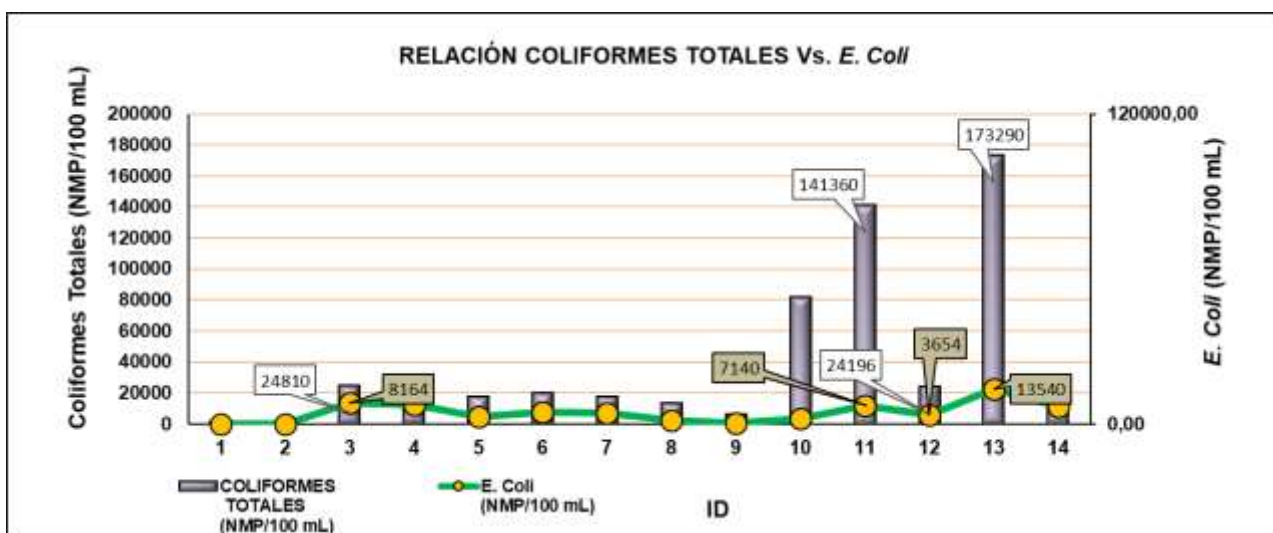
*La relación entre estas variables demuestra que la capacidad de dilución del río es inferior a su nivel de contaminación, ya que tanto la carga iónica como la sedimentaria saturan el cuerpo hídrico en las zonas de mayor aprovechamiento para el Distrito de Riego.*

## 2.6.7 Cruce de Variables (Coliformes Totales Vs E. coli) 2025

**Tabla 17.** ID Río Zulia, datos de Coliformes Totales y E. coli

ID	NOMBRE	COLIFORMES TOTALES (NMP/100 mL)	E. Coli (NMP/100 mL)
1	Río La Plata-El Molino	1421	<1,00
2	Río La Plata-Puente Hogar Juvenil Campesino	754	<1,00
3	Río La Plata-Después de los vertimientos de aguas residuales del suelo Urbano	24810	8164
4	Río La Plata-Truchas El Cerro	22470	7270
5	Río Zulasquilla-Puente Capira	17329	2909
6	Río Cucutilla-Aguas abajo de la confluencia con el Río Zulasquilla	19863	4611
7	Río Cucutilla-Después de los vertimientos del suelo Urbano	17329	4106
8	Río Zulia-Puente Unión	12997	1401
9	Río Zulia-Puente Termotasajero	6131	169
10	Río Zulia-Después de los vertimientos de Termotasajero	81640	7140
11	Río Zulia-Puente Zulia	141360	24196
12	Río Zulia-Después de los vertimientos del suelo urbano	24196	3654
13	Río Zulia-Antes de la captación represa Distrito de Riego	173290	13540
14	Río Zulia-Puente León después de la confluencia con el Río Pamplonita	24196	6867

**Figura 41.** Relación de Coliformes Totales y Escherichia coli (E. coli)



La presencia de Coliformes Totales y Escherichia coli en el agua es un indicador fundamental de la calidad sanitaria del recurso. Mientras que el grupo de Coliformes Totales engloba bacterias de diversos orígenes (suelo, vegetación y excretas), la presencia de E. coli es un marcador específico de contaminación de origen fecal reciente, lo que representa un riesgo directo para la salud humana y la biota acuática.

*En la cuenca del río Zulia, se observa que ambas variables mantienen una relación proporcional ascendente vinculada a los centros poblados y actividades productivas. En los puntos de cabecera como río La Plata-Puente Hogar Juvenil (ID 2), se registran los valores más bajos con 754 NMP/100 mL de Coliformes Totales y niveles de E. coli por debajo del límite de detección (<1,00 NMP/100 mL).*

*Sin embargo, esta condición cambia drásticamente al recibir las descargas del casco urbano; el punto ID 3 muestra un incremento crítico llegando a 24.810 NMP/100 mL de Coliformes Totales y 8.164 NMP/100 mL de E. coli, evidenciando el impacto directo de los vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo.*

*Hacia el tramo bajo, la carga microbiológica alcanza sus niveles máximos. En el punto río Zulia-Antes de la captación (ID 13), los Coliformes Totales se disparan a 173.290 NMP/100 mL y la E. coli a 13.540 NMP/100 mL.*

*Estos resultados reflejan una acumulación masiva de contaminantes fecales provenientes de las zonas urbanas e industriales de la parte media, así como de las escorrentías de zonas ganaderas y agrícolas. En conclusión, la alta densidad bacteriana en los puntos de antes de la captación demuestra que la capacidad de autodepuración del río es nula frente a la magnitud de los vertimientos fecales, lo que condiciona el uso del agua y exige tratamientos de desinfección rigurosos para cualquier tipo de aprovechamiento.*