

2.6. Interpretación Variables Cruzadas.

La interpretación de los resultados de los ensayos en los cinco (5) puntos de muestreo se fundamenta en el cruce de algunas variables fisicoquímicas. Al establecer la relación, ya sea directa o inversa, entre las variables analizadas y las actividades antropogénicas identificadas en el área de influencia, es posible obtener una caracterización integral de la calidad física, química y biológica de la Quebrada Tonchalá. Este enfoque metodológico permite no solo evaluar el grado de afectación del recurso hídrico, sino también comprender su dinámica de deterioro. A continuación, se presenta un análisis detallado del comportamiento individual y relacional de cada variable, muchas de las cuales han sido integradas en el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) para una evaluación sintética.

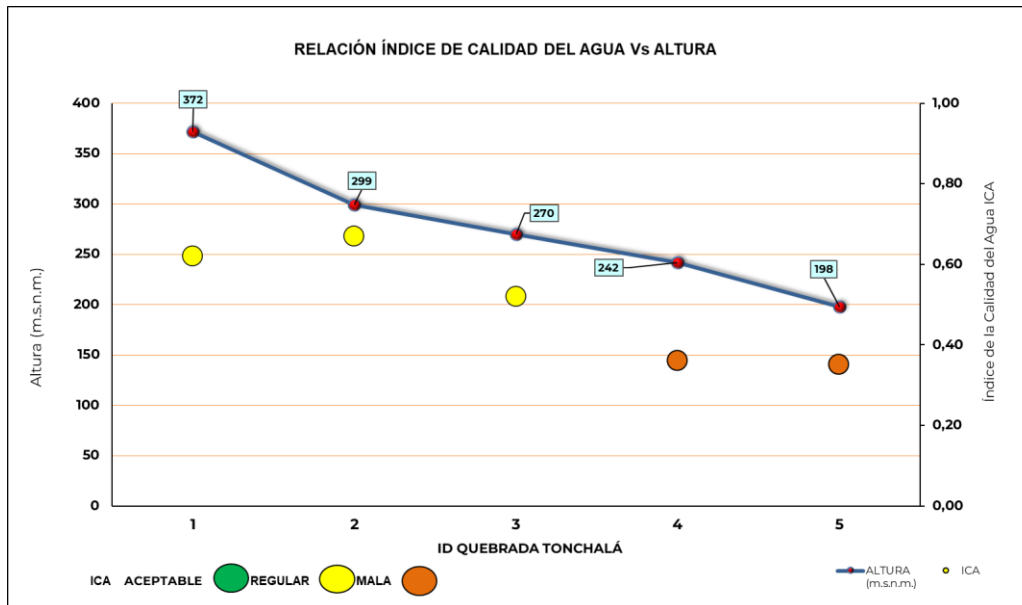
2.6.1. Cruce de Variables (Altura Vs Índice de Calidad del Agua-ICA) 2025.

Tabla 11 Resultados de Altura vs Índice de Calidad del Agua-ICA 2025.

ID	NOMBRE	ALTURA (m.s.n.m.)	ICA
1	Antes del centro poblado Carmen de Tonchalá	372	0,62
2	Después del centro poblado Carmen de Tonchalá	299	0,67
3	Antes de los vertimientos de Cúcuta	270	0,52
4	Después de los vertimientos de Cúcuta	242	0,36
5	Antes de la confluencia con el río Zulia	198	0,35

Fuente: IR-25-03 (27 al 31) del 16 de octubre de 2025- Corponor.

Figura 13 Relación Altura vs Índice de Calidad del Agua ICA 2025



El Índice de Calidad del Agua (ICA) actúa como el indicador sintético que valida y cuantifica la dinámica de deterioro observada en los análisis individuales. Los puntos de muestreo iniciales (ID1 al ID3) reflejaron una calidad "Regular" (ICA entre 0,52 y 0,67), lo cual es coherente con la estabilidad de pH/Temperatura y las bajas demandas de DBO_5 , aunque el alto DQO ya indicaba una contaminación latente por materia refractaria. Sin embargo, el impacto de los vertimientos urbanos genera un gran colapso de la calidad del agua, con el ICA descendiendo bruscamente a la clasificación "Mala" (0,36 y 0,35 en ID4 y ID5, respectivamente). Este descenso está directamente correlacionado con la anoxia total (OD 0,0 mg/L) causada por la sobrecarga masiva de materia orgánica biodegradable (DBO_5 hasta 56,0 mg/L), junto con el incremento exponencial de Nitrógeno y Fósforo que elevan el riesgo de eutrofización. En definitiva, la dramática caída del ICA confirma que la Quebrada Tonchalá pasa de un estado medianamente óptimo a una condición de contaminación severa e incompatible con la vida acuática en su tramo final.

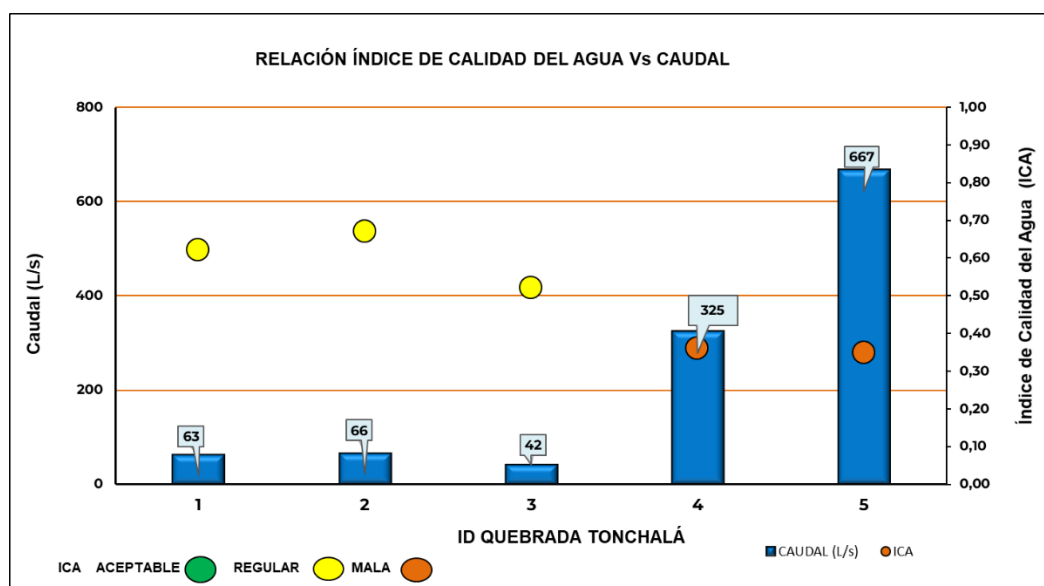
2.6.2. Cruce de Variables (Caudal Vs Índice de Calidad del Agua – ICA) 2025

Tabla 12 Resultados de Caudal vs Índice de Calidad del Agua ICA 2025

ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	ICA
1	Antes del centro poblado Carmen de Tonchalá	63	0,62
2	Después del centro poblado Carmen de Tonchalá	66	0,67
3	Antes de los vertimientos de Cúcuta	42	0,52
4	Después de los vertimientos de Cúcuta	325	0,36
5	Antes de la confluencia con el río Zulia	667	0,35

Fuente: IR-25-03 (27 al 31) del 16 de octubre de 2025- Corponor.

Figura 14 Relación Índice de Calidad del Agua ICA vs Caudal 2025.



El análisis del caudal vs ICA en los puntos ID1 a ID3 establece las condiciones basales de la Quebrada Tonchalá, caracterizadas por caudales bajos (entre 42 L/s y 66 L/s), un Oxígeno Disuelto saludable y una DBO₅ mínima, lo que resulta en una clasificación "Regular" del ICA (0,52 a 0,67). Sin embargo, la calidad

comienza a ser comprometida en el tramo correspondiente entre el ID3 y el ID4, donde múltiples vertimientos de casas ribereñas y algunos barrios de la Comuna 8 de Cúcuta, mediante tubería de 40 y 48 pulgadas descargan aguas residuales sobre la Quebrada Tonchalá y en conjunto con la convergencia de la Quebrada La Cañada pocos metros antes del ID 4, que también transporta una alta carga de aguas negras, provoca un incremento masivo del caudal a 325 L/s. Esta descarga sinérgica y voluminosa de materia orgánica supera la capacidad de autodepuración, colapsando el OD a 0,0 mg/L y hundiendo el ICA a 0,36 ("Mala").

La condición de severa contaminación se consolida y persiste en el tramo final, lo cual es ratificado por los resultados del ID5. El caudal se incrementa nuevamente a 667 L/s debido a los aportes intermedios adicionales, incluyendo aguas residuales de consumo interno de coquizadoras, descargas del casco urbano de Urimaco, curtiembres clandestinas y efluentes de galpones avícolas. Estos aportes sostienen la condición de anoxia, impulsando la DBO_5 a su pico extremo de 56,0 mg/L y manteniendo la clasificación "Mala" del ICA (0,35). La relación DQO/DBO_5 en este tramo final, junto con la presencia de nutrientes (Nitrógeno/Fósforo) y contaminantes no polares (Grasas/Aceites), confirma que la Quebrada Tonchalá es un cuerpo receptor abrumado por una carga contaminante acumulativa y de origen múltiple, lo cual exige una estrategia de saneamiento que priorice la intercepción de todas las descargas, tanto puntuales como difusas.

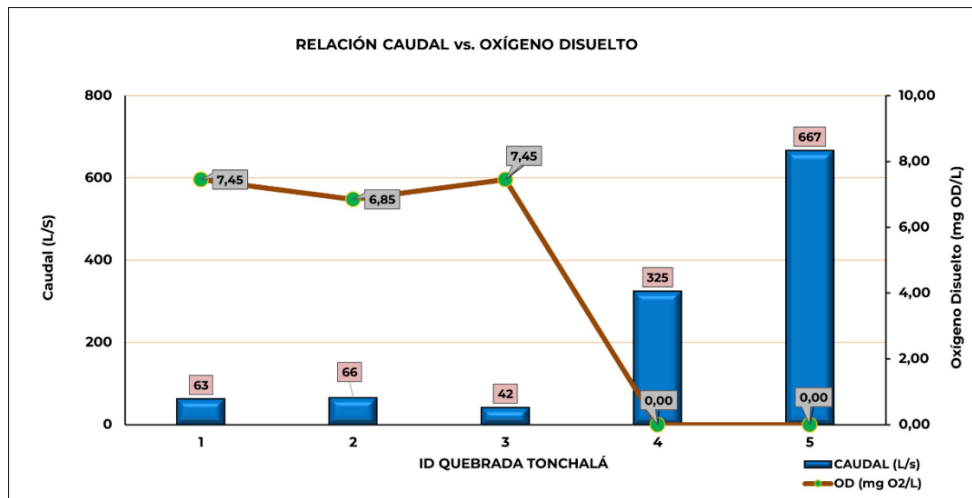
2.6.3. Cruce de Variables (Caudal Vs Oxígeno Disuelto- OD) 2025.

Tabla 13 Resultados de Caudal vs Oxígeno Disuelto (OD) 2025.

ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	OD (mg O2/L)
1	Antes del centro poblado Carmen de Tonchalá	63	7,45
2	Después del centro poblado Carmen de Tonchalá	66	6,85
3	Antes de los vertimientos de Cúcuta	42	7,45
4	Después de los vertimientos de Cúcuta	325	0,00
5	Antes de la confluencia con el río Zulia	667	0,00

Fuente: IR-25-03 (27 al 31) del 16 de octubre de 2025- Corponor.

Figura 15 Relación Caudal vs Oxígeno Disuelto (OD) 2025.



El análisis de los datos obtenidos sobre la Quebrada Tonchalá revela un colapso crítico en el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) directamente correlacionado con un incremento masivo en el caudal. Los tramos iniciales (ID1, ID2, ID3) presentan un caudal bajo (entre 42 L/s y 66 L/s), manteniendo un OD saludable de 7,45 y 6,85 mg O2/L. Sin embargo, entre el ID3 y el ID4, el caudal se

dispara a 325 L/s y continúa aumentando hasta 667 L/s en el ID5. Este aumento volumétrico del flujo se traduce inmediatamente en un agotamiento total del oxígeno, con el OD cayendo a 0,00 mg O₂/L en los puntos ID4 e ID5. Esta anoxia total indica que la carga añadida al caudal es de naturaleza orgánica y consume inmediatamente el oxígeno disponible. En contraste, las condiciones de Temperatura (oscilando entre 23,5 °C y 24,2 °C y pH (entre 7,16 y 7,43) permanecen estables y dentro de rangos normales a lo largo de todo el muestreo, lo cual confirma que el deterioro hídrico no es atribuible a alteraciones térmicas o ácidas/alcalinas, sino a la sobrecarga de contaminantes transportados por el incremento del caudal.

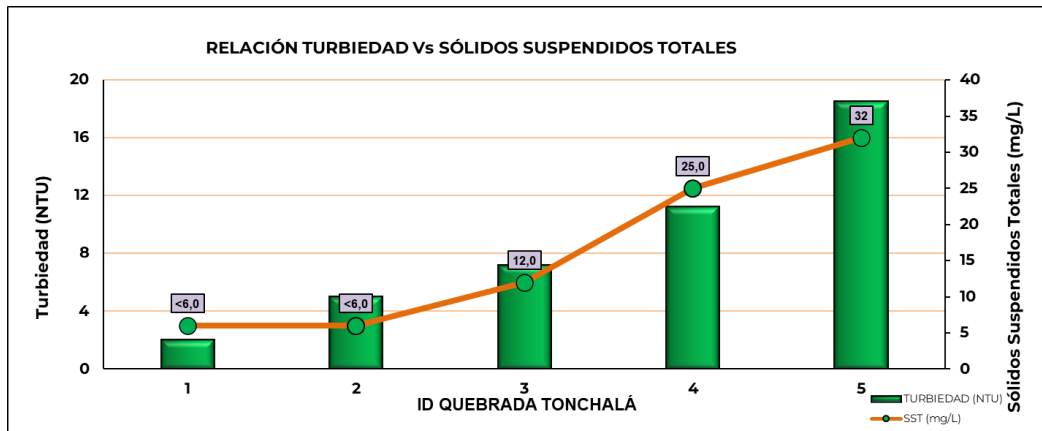
2.6.4. Cruce de Variables (Turbiedad Vs Sólidos Suspendidos Totales-SST) 2025

Tabla 14 Resultados de Turbiedad vs Sólidos Suspendidos Totales (SST) 2025

ID	NOMBRE	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/L)
1	Antes del centro poblado Carmen de Tonchalá	<2,00	<6,00
2	Después del centro poblado Carmen de Tonchalá	5,00	<6,00
3	Antes de los vertimientos de Cúcuta	7,20	12,0
4	Después de los vertimientos de Cúcuta	11,20	25,0
5	Antes de la confluencia con el río Zulia	18,5	32

Fuente: IR-25-03 (27 al 31) del 16 de octubre de 2025- Corponor.

Figura 16 Relación Turbiedad vs Sólidos Suspendidos Totales (SST) 2025.



El análisis de los indicadores de carga particulada revela una tendencia ascendente y crítica en la Quebrada Tonchalá a lo largo del muestreo. En los puntos iniciales (ID1 e ID2), la Turbiedad se mantuvo en niveles bajos (< 2,00 NTU y 5,00 NTU) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) fueron mínimos (< 6,00 mg/L), indicando condiciones de baja alteración particulada. Sin embargo, a partir del ID3, ambos parámetros inician un incremento progresivo: la Turbiedad sube a 7,20 NTU, y los SST alcanzan 12,0 mg/L. Este deterioro se agudiza drásticamente en los tramos bajos ID4 e ID5, coincidiendo con la recepción de vertimientos: la Turbiedad se dispara a 19 NTU y los SST alcanzan un máximo de 32 mg/L en el ID5. Este incremento confirma una descarga continua y masiva de material particulado, tanto inorgánico como orgánico (asociado a aguas residuales), lo cual compromete severamente la transparencia del agua y contribuye al estrés general del ecosistema.

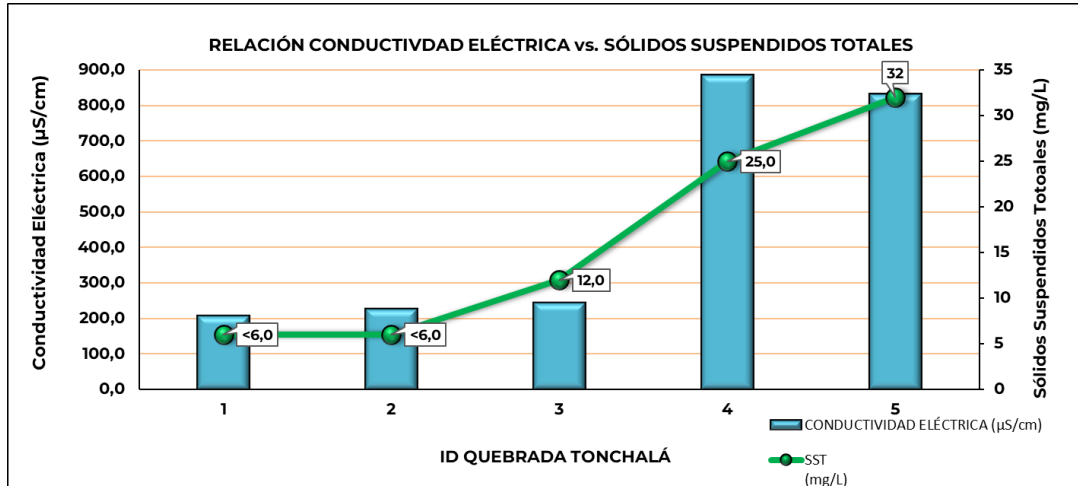
2.6.5. Cruce de Variables (Conductividad Eléctrica Vs Sólidos Suspendedos Totales-SST) 2025

Tabla 15 Resultados de Conductividad Eléctrica vs Sólidos Suspendedos Totales (SST) 2025

ID	NOMBRE	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	SST (mg/L)
1	Antes del centro poblado Carmen de Tonchalá	210,5	<6,00
2	Después del centro poblado Carmen de Tonchalá	229,0	<6,00
3	Antes de los vertimientos de Cúcuta	247,0	12,0
4	Después de los vertimientos de Cúcuta	886,5	25,0
5	Antes de la confluencia con el río Zulia	833,5	32

Fuente: IR-25-03 (27 al 31) del 16 de octubre de 2025- Corponor.

Figura 17 Relación Conductividad Eléctrica vs Sólidos Suspendedos Totales (SST) 2025.



El análisis de la relación entre la Conductividad Eléctrica y los Sólidos Suspendedos Totales (SST) es un indicador preciso del impacto de las descargas en la Quebrada Tonchalá. En los tramos iniciales ID1 a ID3, los valores de

Conductividad Eléctrica se mantuvieron bajos y estables (entre 210,5 y 247,0), y los SST fueron mínimos (<6,00 mg/L), lo que refleja una baja concentración de sales disueltas y de materia particulada. No obstante, a partir del ID4, se produce un salto abrupto en ambos indicadores, lo cual es prueba de una inyección masiva de contaminantes. la Conductividad se dispara de 247,0 a 886,5, lo que indica un aporte significativo de iones y sales disueltas típicas de aguas residuales y efluentes industriales. De manera simultánea, los SST se incrementan de 12,0 mg/L a 25,0 mg/ en el ID4, y alcanzan un máximo de 32 mg/L en el ID5, lo que confirma la descarga continua de sólidos. La correlación entre la elevación exponencial de la Conductividad y el aumento de los SST sella el diagnóstico de una contaminación química y física masiva, donde la carga particulada y la carga iónica contaminante se manifiestan de forma conjunta en los tramos bajos del cuerpo de agua.

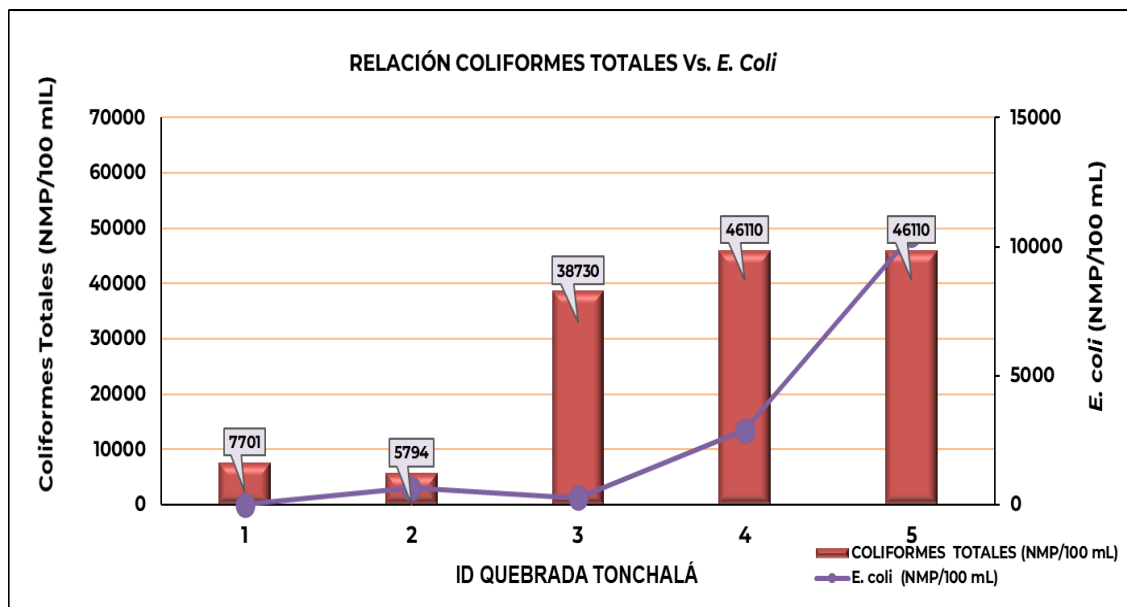
2.6.6. Cruce de Variables (Coliformes Totales Vs E. coli) 2025

Tabla 16 Resultados de Coliformes Totales vs E. Coli 2025

ID	NOMBRE	COLIFORMES TOTALES (NMP/100 mL)	E. coli (NMP/100 mL)
1	Antes del centro poblado Carmen de Tonchalá	7701	17,5
2	Después del centro poblado Carmen de Tonchalá	5794	649,8
3	Antes de los vertimientos de Cúcuta	38730	261,3
4	Después de los vertimientos de Cúcuta	46110	2894
5	Antes de la confluencia con el río Zulia	46110	10462

Fuente: IR-25-03 (27 al 31) del 16 de octubre de 2025- Corponor.

Figura 18. Resultados de Coliformes Totales vs E. Coli 2025.



El análisis microbiológico proporciona la evidencia más contundente de la contaminación de origen fecal en la Quebrada Tonchalá. En los puntos iniciales (ID1 a ID3), las concentraciones de Coliformes Totales y E. coli muestran un aumento progresivo (de 7701 a 38730 NMP/100 mL en Coliformes Totales), lo cual sugiere una intervención humana temprana. Sin embargo, el impacto se vuelve crítico en el ID4 e ID5; donde el Caudal se dispara de 42 L/s a 325 L/s y luego a 667 L/s e inyecta una carga microbiana masiva. Los Coliformes Totales se estabilizan en concentraciones muy altas (46110 NMP/100 mL), mientras que el indicador de contaminación fecal reciente, E. coli, se incrementa exponencialmente, alcanzando un máximo de 10462 NMP/100 mL en el ID5. Este aumento de indicadores bacterianos se correlaciona directamente con el colapso del ICA a la clasificación "Mala" (0,36 y 0,35 en el ID 4 Y 5, respectivamente), validando que el principal vector del deterioro del recurso es la descarga de aguas residuales sin tratamiento, lo cual convierte la quebrada en un riesgo significativo para la salud pública a lo largo de su descenso hacia la convergencia con el río Zulia.