

2.6. Interpretación de Variables Cruzadas Río Pamplonita 2025.

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.

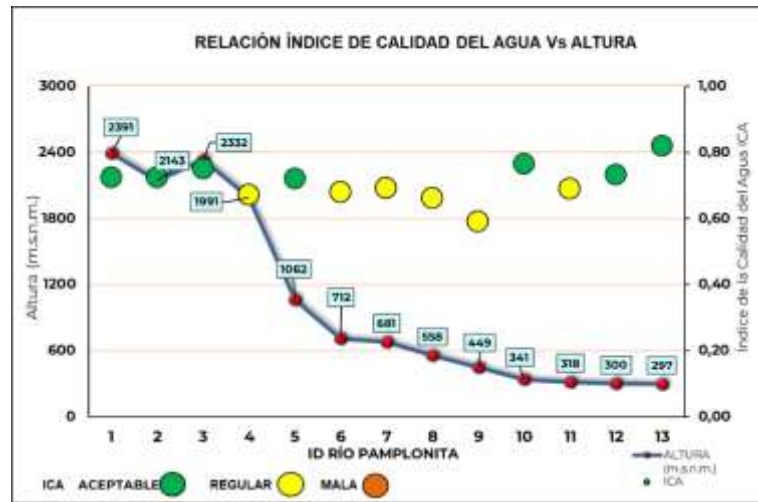
2.6.1. Cruce de Variables (Altura Vs Índice de Calidad del Agua – ICA) 2025.

Tabla 11 Resultado Altura e ICA.

ID	NOMBRE	ALTURA (m.s.n.m.)	ICA
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	2391	0,73
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada	2143	0,73
3	Radio FM	2332	0,75
4	Escuela Los Naranjos	1991	0,67
5	El Diamante	1062	0,72
6	La Donjuana	712	0,68
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	681	0,69
8	La Garita	558	0,66
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	449	0,59
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	341	0,77
11	Puente Elías M. Soto	318	0,69
12	Puente Jorge Gaitan Durán	300	0,73
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	297	0,82

Fuente: IR-25-01 (01 al 13) del 17 de septiembre de 2025-Corponor.

Figura 19 Gráfico ICA vs Altura.



En la parte alta de la cuenca (ID1 al ID4), ubicada entre los 2391 y 1991 m.s.n.m., los valores del Índice de Calidad del Agua (ICA) se mantienen en rangos de 0,67 a 0,73, clasificados como “Aceptable” a excepción del ID4, cuya calificación fue regular. Esto refleja la influencia positiva de la cobertura boscosa, la menor densidad poblacional y la ausencia de vertimientos significativos en estas zonas de cabecera. El comportamiento confirma que los ecosistemas de montaña funcionan como áreas de protección hídrica, con capacidad de autorregulación y con un aporte mínimo de contaminantes, generando condiciones más estables y resilientes frente a presiones externas.

En la zona media del río, particularmente en los puntos ID5 a ID9 (altitudes entre 1062 y 449 m.s.n.m.), se registra una disminución significativa de la calidad del agua, con ICA entre 0,59 y 0,72, clasificados en su mayoría como “Regular”, con excepción del ID5, donde a pesar de existir varios vertimientos de aguas residuales aguas arriba (municipios de Pamplona y Pamplonita), se clasificó como “Aceptable”, evidenciando la capacidad de autorregulación que posee el ecosistema de montaña para resistir alteraciones antrópicas. A partir del ID 6 en adelante el ICA se clasificó “Regular” lo cual está directamente asociado al incremento de actividades antrópicas, como descargas domésticas sin tratamiento adecuado, vertimientos industriales y aportes de origen agrícola que arrastran nutrientes y contaminantes afectando la capacidad de

autorregulación del río. Por otro lado, la ausencia de vegetación en las orillas ha dado lugar a extensas áreas de arena y rocas, impidiendo que el río se recupere naturalmente. La coincidencia del valor más crítico en la zona de captación de agua para consumo humano del municipio de Cúcuta es un hallazgo preocupante, ya que compromete tanto la salud pública como la sostenibilidad del recurso hídrico.

En la parte baja de la cuenca (ID10 a ID13), a altitudes menores de 341 m.s.n.m., se observa una recuperación parcial del ICA, con valores que oscilan entre 0,69 y 0,82, alcanzando nuevamente la categoría “Aceptable” en el ID13 (Puente Enrique Cuadros Corredor, ICA=0,82). Este comportamiento puede atribuirse a procesos naturales de dilución, sedimentación y autodepuración, que reducen las concentraciones de contaminantes aguas abajo. Sin embargo, la persistencia del valor “Regular” en el ID11 confirma que los vertimientos urbanos continúan ejerciendo presión sobre el río, por lo que la aparente mejora no debe interpretarse como una recuperación estructural del ecosistema, sino como un balance entre aportes contaminantes y mecanismos de autodepuración.

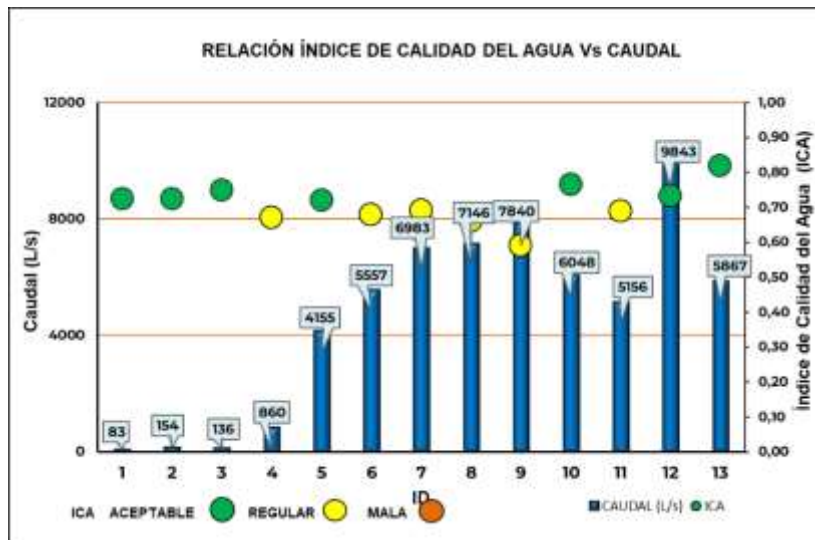
2.6.2. Cruce de Variables (Caudal Vs Índice de Calidad del Agua – ICA) 2025.

Tabla 12 Resultado Caudal e ICA.

ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	ICA
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	83	0,73
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monte dentro	154	0,73
3	Radio FM	136	0,75
4	Escuela Los Naranjos	860	0,67
5	El Diamante	4155	0,72
6	La Donjuana	5557	0,68
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	6983	0,69
8	La Garita	7146	0,66
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	7840	0,59
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	6048	0,77
11	Puente Elías M. Soto	5156	0,69
12	Puente Jorge Gaitan Durán	9843	0,73
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	5867	0,82

Fuente: IR-25-01 (01 al 13) del 17 de septiembre de 2025-Corponor.

Figura 20 Gráfico ICA vs Caudal.



En los tramos altos del río Pamplonita (ID1 a ID3), los caudales son bajos (83 a 154 L/s), pero los valores del ICA se mantienen en la categoría “Aceptable” (0,73–0,75). Este comportamiento indica que, en estas zonas de cabecera, pese a los menores volúmenes de agua disponibles, la baja presión antrópica y la mayor cobertura vegetal permiten conservar condiciones de calidad relativamente estables. La baja carga contaminante y la capacidad natural de autorregulación explican la correspondencia entre caudales reducidos y buen estado de la calidad del agua.

En la zona media de la cuenca (ID4 a ID9), los caudales aumentan significativamente (860 a 7840 L/s) debido a los aportes de tributarios y descargas urbanas, sin embargo, la calidad del agua desmejora hasta categorías “Regulares” (ICA entre 0,59 y 0,68). Esta relación evidencia que el incremento del caudal no necesariamente se traduce en mejor calidad, pues está acompañado de mayores aportes de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales. En particular, el ID9 (Bocatoma Acueducto Cúcuta) presenta la situación más crítica, con un ICA de 0,59 en un caudal de 7840 L/s, reflejando la influencia de descargas urbanas directas y la acumulación de contaminantes difusos en el tramo medio del río.

En la parte baja del río (ID10 a ID13), los caudales son los más altos del sistema (6048 a 9843 L/s), esto se debe a distintos cambios climáticos durante el periodo de medición. Aunque se hace necesario mencionar que, la pérdida de caudal relacionada entre el ID9 y el ID10 se debe a desvíos de agua para sistemas de riego de arrozceras, cultivo de pastizales, plátano, aguacate, etc. ubicados entre estos dos tramos. Por otro lado, se observa una recuperación parcial en la calidad del agua, con ICA entre 0,69 y 0,82. Este comportamiento puede atribuirse a procesos naturales de dilución, sedimentación y autodepuración, que atenúan parcialmente la carga contaminante aguas abajo. No obstante, la persistencia de categorías “Regulares” en los ID11 y el ID12 confirma que la presión antrópica sigue siendo significativa y que la aparente mejora no es producto de una reducción en la contaminación, sino de la mayor capacidad de dilución del sistema en tramos de gran caudal.

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

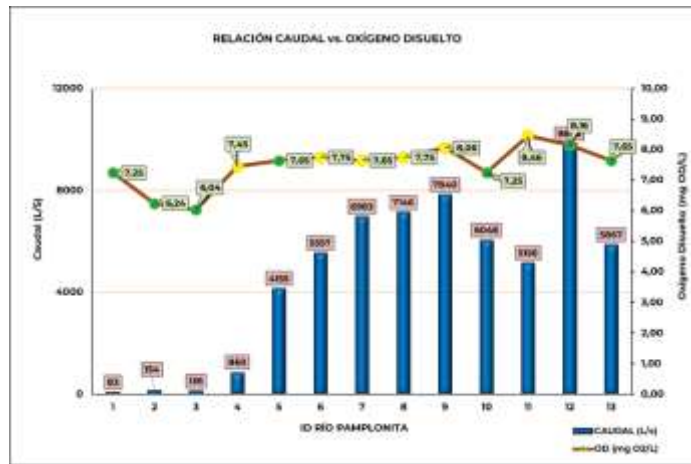
Tabla 13 Resultado Caudal y Oxígeno Disuelto.

ID	NOMBRE	CAUDAL (L/s)	OD (mg O ₂ /L)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	83	7,25
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monte dentro	154	6,24
3	Radio FM	136	6,04
4	Escuela Los Naranjos	860	7,45
5	El Diamante	4155	7,65
6	La Donjuana	5557	7,75
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	6983	7,65
8	La Garita	7146	7,75
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	7840	8,06
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	6048	7,25
11	Puente Elías M. Soto	5156	8,46
12	Puente Jorge Gaitan Durán	9843	8,16
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	5867	7,65

Fuente: IR-25-01 (01 al 13) del 17 de septiembre de 2025-Corponor.

El Oxígeno Disuelto es un parámetro importante que incide en la calidad del agua, a mayor concentración de Oxígeno Disuelto también lo es su calidad y a mayor cantidad de agua su favorabilidad se mantiene. Sin embargo, estas condiciones pueden variar ya que otros factores inciden en su concentración como son la temperatura, la materia orgánica en descomposición, la turbidez y partículas sólidas en suspensión.

Figura 21 Gráfico Caudal vs OD.



En los puntos de cabecera (ID2 y ID3), con caudales reducidos de 154 L/s y 136 L/s, se observaron los valores más bajos de Oxígeno Disuelto (6,24 mg/L y 6,04 mg/L, respectivamente). Esta condición refleja la vulnerabilidad de los tramos altos del río a la influencia de descargas puntuales y a la baja capacidad de dilución. El déficit de oxígeno puede estar asociado a una mayor concentración de materia orgánica biodegradable y nutrientes, lo que acelera la actividad bacteriana y provoca consumo de oxígeno. Esta dinámica compromete la calidad del agua en los nacimientos del río Pamplonita y puede afectar la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento que dependen de estos puntos.

A medida que el caudal del río aumenta en los tramos medios y bajos (ID5 al ID13), con valores entre 4.155 L/s y 9.843 L/s, se registran concentraciones de oxígeno disuelto entre 7,65 mg/L y 8,46 mg/L, alcanzando un máximo de 8,16 mg/L en el ID12. Este comportamiento está vinculado a la mayor turbulencia y capacidad de mezcla que generan los altos volúmenes de agua, favoreciendo la reaireación natural. Así, los tramos medios y bajos del río exhiben una mejor capacidad de recuperación frente a contaminantes orgánicos, reflejando un efecto positivo de dilución y autodepuración, aunque no exento de riesgos por la presión antrópica.

Si bien en general los valores de Oxígeno Disuelto se encuentran dentro de rangos aceptables para la vida acuática (6,0–8,5 mg/L), la variabilidad

observada a lo largo del perfil longitudinal indica una influencia significativa de factores externos. En los tramos altos, la limitación en oxígeno puede restringir hábitats de especies sensibles y aumentar la vulnerabilidad a procesos de eutrofización. En los tramos bajos, aunque se alcanzan valores óptimos, la estabilidad depende de mantener condiciones de caudal adecuadas y controlar descargas de aguas residuales urbanas y agrícolas. La interacción entre caudal, temperatura, cargas contaminantes y procesos de autodepuración convierte al oxígeno disuelto en un parámetro clave para la gestión integral de la calidad del agua del río Pamplonita.

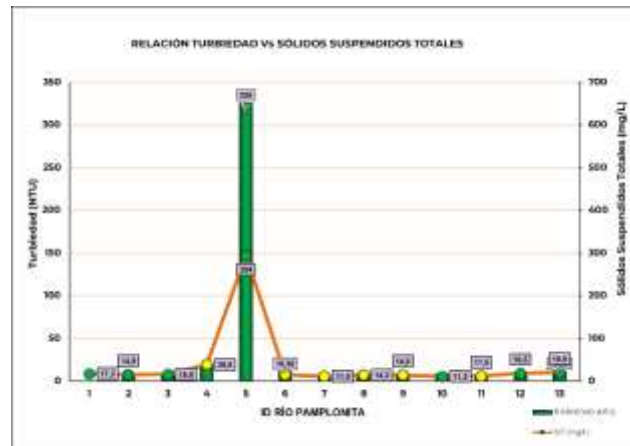
2.6.4. Cruce de Variables (Turbiedad Vs Sólidos Suspendedos Totales-SST) 2025

Tabla 14 Resultado Turbidez y SST.

ID	NOMBRE	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/L)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	<2,00	17,3
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteadentro	4,07	14,9
3	Radio FM	5,70	15,6
4	Escuela Los Naranjos	18,40	38,6
5	El Diamante	325	294
6	La Donjuana	10,30	15,2
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	4,88	11,0
8	La Garita	9,08	14,2
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	8,46	14,5
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	8,53	11,2
11	Puente Elías M. Soto	4,43	11,5
12	Puente Jorge Gaitan Durán	9,78	18,5
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	10,60	19,9

Fuente: IR-25-01 (01 al 13) del 17 de septiembre de 2025-Corponor.

Figura 22 Gráfico Turbidez y SST.



El punto ID5 (El Diamante) evidenció un pico atípico al registrar 326 NTU de turbiedad y 294 mg/L de SST, superando ampliamente los umbrales habituales. Este incremento drástico y simultáneo se atribuye directa y exclusivamente a las precipitaciones ocurridas el día previo al monitoreo, las cuales intensificaron los procesos de escorrentía y arrastre superficial no controlados (fenómenos erosivos) en la microcuenca. Este patrón de variabilidad temporal confirma que la causa principal es la erosión fluvial súbita y no una descarga contaminante crónica, lo cual deteriora severamente la calidad del agua, limita drásticamente su potabilización y compromete la biota acuática sensible a los incrementos abruptos de turbidez.

El análisis de los tramos medios del río (ID 3, 4, 6, 7 y 8) revela una correlación positiva entre la Turbiedad (5–18 NTU) y los SST (11–38 mg/L), lo que indica que la fracción particulada en suspensión es el factor dominante de la turbidez. Técnicamente, esta condición refleja aportes continuos y difusos de sólidos asociados a la escorrentía pluvial, la degradación de suelos en laderas y la erosión marginal de cauces, lo que favorece la sedimentación e impacta el desempeño hidráulico del afluente. Si bien los puntos bajos de la cuenca (ID9 a ID13) muestran una reducción de los parámetros (Turbiedad 4–11 NTU, SST 11–20 mg/L) debido a la decantación y autodepuración fluvial, la persistencia de estos valores superiores a los de cabecera confirma la limitada capacidad de resiliencia del río frente a la carga de arrastre. Esta condición subraya que, dada

la naturaleza no continua del monitoreo, las cifras registradas reflejan un sistema altamente reactivo a las lluvias, capturando las alzas y bajas súbitas de la turbiedad y los SST.

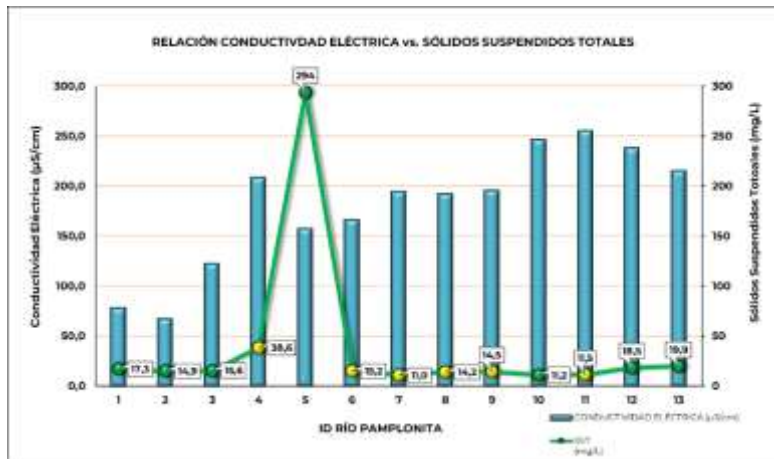
2.6.5. Cruce de Variables (Conductividad Eléctrica Vs Sólidos Suspendidos Totales-SST) 2025.

Tabla 15 Resultado Conductividad Eléctrica y SST

ID	NOMBRE	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (μS/cm)	SST (mg/L)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	79,0	17,3
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteadendro	68,0	14,9
3	Radio FM	123,0	15,6
4	Escuela Los Naranjos	209,0	38,6
5	El Diamante	158,0	29,4
6	La Donjuana	167,0	15,2
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	195,0	11,0
8	La Garita	193,0	14,2
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	196,0	14,5
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	247,0	11,2
11	Puente Elías M. Soto	256,0	11,5
12	Puente Jorge Gaitán Durán	239,0	18,5
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	216,0	19,9

Fuente: IR-25-01 (01 al 13) del 17 de septiembre de 2025-Corponor.

Figura 23 Gráfico Conductividad Eléctrica y SST.



Se evidencia un aumento progresivo de la conductividad eléctrica a medida que el río avanza hacia las zonas urbanizadas y de aumento progresivo de la Conductividad Eléctrica a medida que el río avanza hacia las zonas urbanizadas y de mayor intervención antrópica, alcanzando valores entre 193 y 256 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los puntos comprendidos desde La Garita (ID8) hasta el Puente Elías M. Soto (ID11). Este comportamiento indica la incorporación de sales disueltas y compuestos iónicos producto de descargas domésticas, infiltraciones de aguas residuales y posibles retornos de riego agrícola, lo cual altera el equilibrio iónico natural del sistema hídrico. Aunque estos valores aún se encuentran en rangos considerados moderados, reflejan una tendencia de presión ambiental creciente que compromete la calidad para consumo humano y ecosistemas acuáticos.

El análisis comparativo muestra que, mientras los SST se mantienen relativamente bajos y estables en la mayoría de los puntos (promedio entre 11 y 38.6 mg/L, exceptuando el punto ID5 (El Diamante), cuyo valor se disparó a 294 mg/L debido a las precipitaciones ocurridas el día previo al monitoreo), la conductividad eléctrica presenta un incremento significativo. Esto indica que la variabilidad en la carga contaminante no se debe principalmente al arrastre de material particulado, sino a la presencia de contaminantes solubles como nutrientes (nitratos, fosfatos) y sales provenientes de descargas puntuales o difusas. La disociación entre ambas variables sugiere que los procesos de

contaminación difieren: la Turbidez y SST responden a fenómenos erosivos o arrastre superficial, mientras que la conductividad refleja aportes de carácter químico-disuelto.

Los sitios con mayor conductividad, como Puente Elías M. Soto (256 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y Puente Benito Hernández – San Rafael (247 $\mu\text{S}/\text{cm}$), representan áreas críticas que requieren atención prioritaria. La elevada conductividad en estos puntos, pese a que los SST permanecen bajos, señala la existencia de descargas urbanas y vertimientos no tratados que aumentan la concentración de sales y nutrientes. Esta condición favorece procesos de eutrofización, proliferación de algas y deterioro de la calidad del agua, comprometiendo no solo la salud de los ecosistemas, sino también la eficiencia de las plantas potabilizadoras aguas abajo.

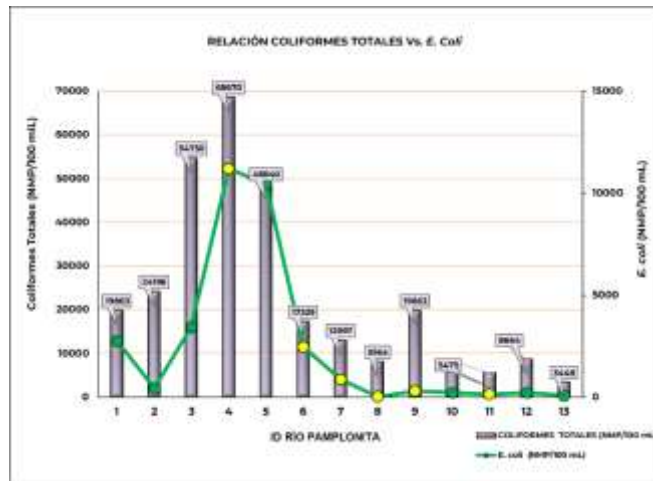
2.6.6. Cruce de Variables (Coliformes Totales Vs E. coli) 2025.

Tabla 16 Resultado Coliformes Totales y E. coli.

ID	NOMBRE	COLIFORMES TOTALES (NMP/100 mL)	E. coli (NMP/100 mL)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	19863	2755
2	Estación limnométrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteandreo	24196	439
3	Radio FM	54750	3448
4	Escuela Los Naranjos	68670	11199
5	El Diamante	48840	10462
6	La Donjuana	17329	2481
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	12997	884
8	La Garita	8164	20
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	19863	299
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	8164	233
11	Puente Elías M. Soto	5475	135
12	Puente Jorge Gaitán Durán	8664	218
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	3448	86

Fuente: IR-25-01 (01 al 13) del 17 de septiembre de 2025-Corponor.

Figura 24 Gráfico Coliformes Totales y *E. coli*.



Los valores más altos de Coliformes Totales se registraron en el ID4 (Escuela Los Naranjos, 68.670 NMP/100 mL) y en el ID5 (El Diamante, 48.840 NMP/100 mL), con concentraciones de *E. coli* de 11.199 y 10.462 NMP/100 ml respectivamente. Estos resultados superan ampliamente los límites establecidos para aguas superficiales de uso recreativo y abastecimiento según la normativa nacional e internacional, confirmando una fuerte presión de vertimientos domésticos e industriales. La presencia de *E. coli* en estos niveles constituye un indicador inequívoco de contaminación fecal reciente, lo que refleja un riesgo sanitario directo para la población y una pérdida de calidad ecológica en estos tramos.

En los puntos bajos del río (ID11, ID12, ID13), los niveles de Coliformes Totales disminuyen drásticamente, alcanzando valores entre 5.475 y 3.448 NMP/100 mL, mientras que la *E. coli* se mantiene en concentraciones inferiores a 218 NMP/100 mL. Esta reducción sugiere la existencia de procesos de dilución, autodepuración y sedimentación bacteriana que atenúan la carga microbiana aguas abajo. No obstante, aunque la tendencia evidencia cierta recuperación de la calidad microbiológica, los valores aún exceden los rangos recomendados para aguas de contacto primario, lo cual indica que la capacidad de resiliencia del río es limitada frente a la alta presión de descargas en la zona media.

La magnitud de los resultados, en particular en los tramos críticos (ID3 al ID5), confirma la presencia de focos de contaminación por aguas residuales no

tratadas o con tratamiento deficiente, que generan un riesgo sanitario para usos recreativos, abastecimiento y biodiversidad acuática. La correlación entre coliformes totales y E. coli refleja que la fuente predominante de contaminación es de tipo fecal humano y animal, lo cual puede derivar en la proliferación de patógenos entéricos (Salmonella, Shigella, protozoos). Frente a ello, se hace indispensable fortalecer los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, implementar planes de saneamiento básico rural y ejecutar programas de monitoreo microbiológico permanente, que permitan mitigar los riesgos para la salud pública y garantizar la integridad del ecosistema fluvial.