

2.5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS POR VARIABLES RÍO PAMPLONITA 2025.

El objetivo de este estudio es caracterizar la cuenca hídrica del río Pamplonita, que abarca desde el municipio de Pamplona hasta el municipio de Puerto Santander, y evaluar su calidad del agua ante la posible alteración de su cauce por las actividades antrópicas en el área de influencia. Para ello, se realizó un muestreo de la cuenca en el periodo comprendido entre el 21 de julio hasta el 5 de agosto del 2025, en los 13 primeros puntos o ID identificados desde el ID 1 “Bocatoma El Rosal” hasta el ID13 “Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)”, donde se midieron y analizaron diferentes variables fisicoquímicas y microbiológicas que afectan el estado del recurso hídrico.

Las variables que se utilizaron para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) según el protocolo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM fueron: pH, Conductividad Eléctrica, Sólidos Suspendidos Totales, Turbiedad, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Totales, E. coli, Nitrógeno Total y Fósforo Total. Estas variables reflejan el grado de contaminación del agua por diferentes fuentes, como los vertimientos de aguas residuales, la erosión, la materia orgánica, los nutrientes y los compuestos oxidables.

Además, en algunos ID se midieron otras variables que no influyen en el cálculo del ICA, pero que son relevantes para evaluar el impacto de las actividades humanas en la cuenca, como metales pesados, hidrocarburos, grasas y aceites. Estas variables indican la presencia de sustancias que pueden afectar la salud humana y la biodiversidad, y que pueden provenir de fuentes como la minería, la industria, el transporte o derrames de crudo.

2.5.1. Resultados de las variables Turbiedad y Sólidos Suspendidos Totales - SST 2025.

Los tramos de cabecera (ID1 al ID3) presentan la menor carga particulada, con Turbiedad entre 2,00 y 5,70 NTU y SST entre 14,9 y 17,3 mg/L, lo que refleja una calidad de agua inicial adecuada. No obstante, el monitoreo identifica un

pico atípico y extremo en el ID5 (El Diamante), donde los valores se disparan a 325 NTU y 294 mg/L respectivamente. Este incremento drástico y simultáneo es directamente consistente con un fenómeno de escorrentía y arrastre superficial descontrolado impulsado por las precipitaciones ocurridas el día previo al muestreo. Este evento es un claro indicador de la erosión fluvial súbita en la microcuenca adyacente al punto, y confirma que la contaminación por partículas gruesas en el río es predominantemente un fenómeno episódico y no el resultado de una descarga puntual constante.

Después del pico de turbidez en el ID5, el río muestra una capacidad de autodepuración y mitigación notable. En los tramos intermedios y bajos, el valor de los SST se reduce rápidamente, volviendo a un rango estable (entre 11 y 20 mg/L en los ID7 al ID13), lo que demuestra que la sedimentación y la dilución son mecanismos efectivos para remover la carga particulada masiva. Sin embargo, aunque la magnitud del pico no se sostiene, la turbiedad se mantiene fluctuante en el tramo urbano (ID9 al ID13) entre 4,43 y 10,60 NTU. Esta persistencia de valores que superan los niveles de cabecera indica que el río mantiene un balance contaminante neto positivo de sólidos finos que no decantan con facilidad, evidenciando una erosión crónica y difusa en las riberas y un impacto continuo de las escorrentías urbanas.

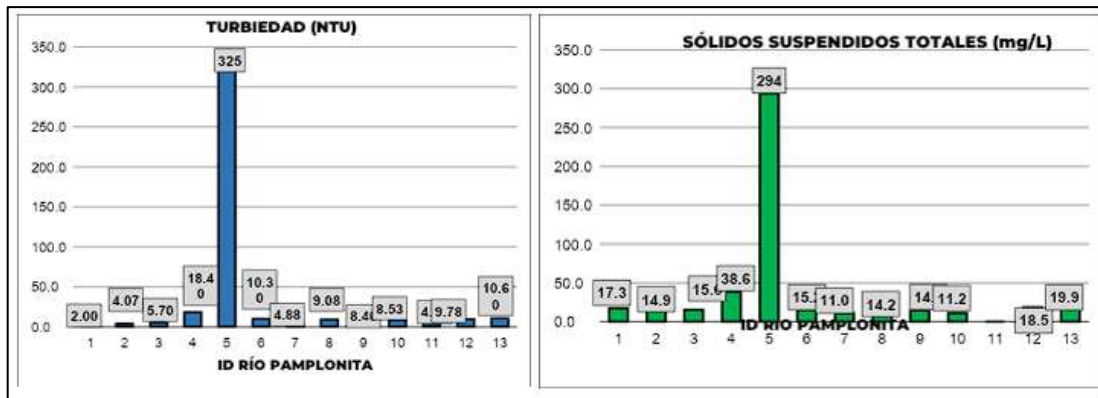
Tabla 6 Resultado Turbidez y Sólidos Suspendidos Totales.

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 Monteadendro	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.

El patrón de datos subraya que el principal riesgo de la carga particulada no es su cronicidad, sino su volatilidad e intensidad extrema. La presencia de picos de 325 NTU representa una amenaza significativa para las infraestructuras de abastecimiento, pues un aumento tan abrupto de sólidos reduce drásticamente la eficiencia de los procesos de potabilización convencional y genera costos operativos asociados al manejo de lodos y productos químicos. Se concluye que, si bien la carga de SST es limitada en condiciones normales, la vulnerabilidad del río a fenómenos erosivos súbitos exige una gestión ambiental prioritaria enfocada en el control de las fuentes difusas de sedimentos. Esto incluye la estabilización de laderas, el manejo de prácticas de uso del suelo y la implementación de un monitoreo en tiempo real para predecir y gestionar los riesgos operativos asociados a los picos de Turbiedad.

Figura 15 Gráfico Turbidez y SST.



2.5.2. Resultados de las variables Conductividad y Oxígeno Disuelto 2025.

El perfil longitudinal de la Conductividad Eléctrica CE (un indicador de iones y sales disueltas) evidencia una clara acumulación crónica de contaminantes a lo largo del recorrido fluvial. Los valores inician en un estado base en cabecera (ID2: 68,0 $\mu S/cm$) y experimentan un incremento progresivo y constante a lo largo del trayecto. Esta tendencia sostenida alcanza su punto más alto en los tramos urbanos de la parte baja, específicamente en el ID11 (Puente Elías M. Soto) con 256,0 $\mu S/cm$, un valor que casi cuadriplica los registros iniciales. Este patrón es una prueba inequívoca de la descarga continua de aguas residuales municipales y escorrentías urbanas, demostrando que la capacidad de autodepuración del río es completamente ineficaz para mitigar la carga contaminante de tipo químico disuelto (nitrógeno, fósforo y sales).

En contraste con la alta Conductividad Eléctrica (CE), los niveles de Oxígeno Disuelto (OD) se mantienen en un rango robusto y saludable a lo largo de todo el cauce. Los valores se sitúan en una condición normóxica, oscilando entre un mínimo de 6,04 mg OD/L (registrado en el ID 3, indicando el primer punto de consumo de oxígeno tras las descargas iniciales) y un pico de 8,46 mg OD/L (ID11). Esta recuperación y mantenimiento de altos niveles de OD sugiere que la turbulencia del cauce y la re-aireación física están favoreciendo una eficiente transferencia de oxígeno. La ausencia de valores críticos de hipoxia (por debajo de 5,0 mg OD/L) confirma que, al momento del muestreo, la Demanda

Bioquímica de Oxígeno (DBO) de la carga orgánica no está generando un déficit agudo, logrando mitigar el estrés orgánico inmediato.

Tabla 7 Resultados Conductividad Eléctrica y Oxígeno Disuelto.

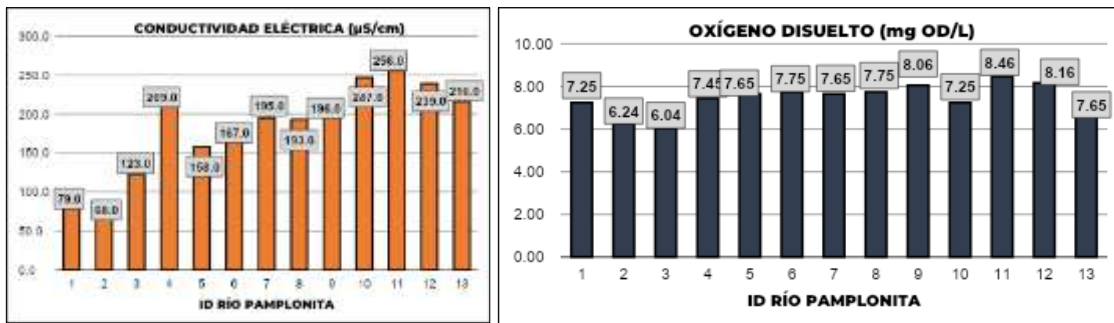
ID	NOMBRE	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	OXÍGENO DISUELTO (mg OD/L)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	79,0	7,25
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteadentro	68,0	6,24
3	Radio FM	123,0	6,04
4	Escuela Los Naranjos	209,0	7,45
5	El Diamante	158,0	7,65
6	La Donjuana	167,0	7,75
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	195,0	7,65
8	La Garita	193,0	7,75
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	196,0	8,06
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	247,0	7,25
11	Puente Elías M. Soto	256,0	8,46
12	Puente Jorge Gaitan Durán	239,0	8,16
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	216,0	7,65

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

La coexistencia de una Conductividad Eléctrica (CE) persistentemente elevada y niveles de Oxígeno Disuelto (OD) satisfactorios establece la principal desacoplación ambiental del sistema. Si bien los valores de OD (mínimo de 6,04 mg OD/L en el ID3) y CE (máximo de 256,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el ID11) se enmarcan en los parámetros permisibles establecidos en el Decreto 1076 de 2015, esta conformidad legal es insuficiente para validar la salud hídrica a largo plazo. La CE, al casi cuadruplicar su concentración desde la cabecera (ID2: 68,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$) hasta los tramos urbanos, evidencia una acumulación química crónica de contaminantes disueltos que no está siendo mitigada. La robusta capacidad de re-aireación del río mantiene los niveles de OD, enmascarando la gravedad de la carga iónica. Por consiguiente, la gestión debe abandonar la dependencia de

la resiliencia física del cauce y priorizar la implementación de tecnologías de saneamiento (PTAR) que aborden la remoción de la carga disuelta, pues esta tendencia ascendente de la CE es la que representa la amenaza sistemática y sostenida para la calidad del recurso.

Figura 16 Grafico Conductividad Eléctrica y Oxígeno Disuelto.



2.5.3. Resultados de las variables Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ – Demanda Química de Oxígeno DQO 2025.

Los valores de DBO₅ (3,20 – 10,00 mg/L) indican una presión orgánica variable en la cuenca, con un pico significativo en el ID4 (Escuela Los Naranjos) que evidencia una carga puntual de origen doméstico o antrópico.

El DQO registra máximos de 65,5 mg/L en el ID 4 y 63,5 mg/L en el ID9 (Bocatoma Acueducto Cúcuta), lo que refleja una fuerte presencia de materia orgánica biodegradable y no biodegradable, asociada a vertimientos y descargas urbanas.

En la parte alta (ID1 a ID3), los valores de DBO₅ y DQO son moderados y sugieren un menor impacto antrópico, aunque se evidencian incrementos iniciales que podrían estar vinculados a descargas dispersas de pequeña escala.

El contraste entre los picos de DQO y DBO₅ demuestra la existencia de compuestos no biodegradables que afectan la calidad del agua, lo que es consistente con descargas de origen industrial o arrastre de contaminantes por actividades de infraestructura.

En los puntos de la parte media de la cuenca (ID5 a ID7), los valores tienden a estabilizarse en niveles intermedios, lo que indica cierta capacidad de autodepuración del río, aunque sin alcanzar condiciones óptimas de calidad.

Los valores bajos de DBO₅ en el ID8 (1,73 mg/L) sugieren una dilución temporal de contaminantes, probablemente influenciada por aportes de tributarios menos contaminados.

El ID9 presenta simultáneamente la DQO más alta y una DBO relativamente baja (1,68 mg/L), lo que señala que los contaminantes predominantes en este tramo son de baja biodegradabilidad.

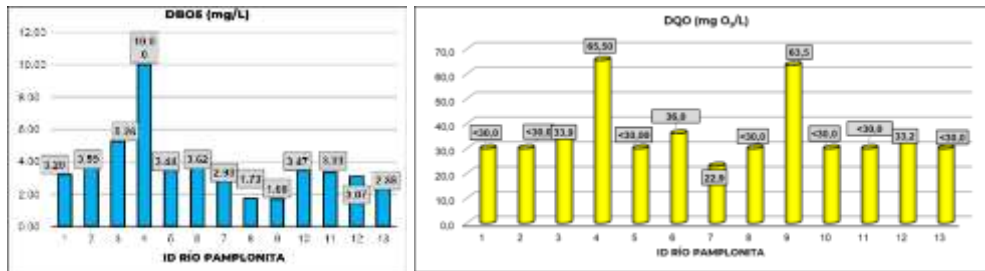
En la parte baja del río (ID10 a ID13), los valores de DBO₅ y DQO muestran oscilaciones, pero tienden a concentrarse en rangos medios, reflejando la acumulación de impactos provenientes de la parte alta y media de la cuenca.

Tabla 8 Resultados DBO₅ Y DQO.

ID	NOMBRE	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	3,20	30,0
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteadentro	3,59	30,0
3	Radio FM	5,26	33,9
4	Escuela Los Naranjos	10,00	65,50
5	El Diamante	3,44	30,00
6	La Donjuana	3,62	36,0
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	2,93	22,9
8	La Garita	1,73	30,0
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	1,68	63,5
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	3,47	30,0
11	Puente Elías M. Soto	3,33	30,0
12	Puente Jorge Gaitan Durán	3,07	33,2
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	2,38	30,0

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

Figura 17 Gráfico DBO₅ Y DQO



La relación DQO/DBO en varios puntos supera 3, lo que refuerza la hipótesis de presencia de materia orgánica recalcitrante, difícil de degradar, que compromete la capacidad de recuperación natural del río.

En términos de calidad del agua, los resultados ubican al río Pamplonita en condiciones entre Regulares y Malas en varios tramos, especialmente en ID 4 y el ID9, lo que obliga a fortalecer los sistemas de control de vertimientos y monitoreo ambiental en la cuenca.

2.5.4. Resultados de las variables Nitrógeno Total y Fósforo Total 2025.

El punto de monitoreo en cabecera ID1 (Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal) registra la concentración más alta de Nitrógeno Total (8,25 mg N/L), valor que contrasta con el nivel base subsiguiente en el ID2 y el resto del río (donde el nitrógeno se reporta uniformemente en <5,0 mg N/L). Este pico inicial es una evidencia directa de la contaminación difusa asociada a la matriz productiva circundante. La información contextual que ubica cultivos de fresa y papa en las inmediaciones sugiere que el alto nitrógeno es producto de la escorrentía de fertilizantes agrícolas (nitratos y amonio) y posiblemente de lixiviados provenientes de prácticas de manejo de suelos. Esta situación señala al sector agrícola como la fuente dominante de nitrificación en la parte alta de la cuenca, afectando la calidad del agua desde su origen.

En el punto ID4 (Escuela Los Naranjos), el río muestra un incremento simultáneo y marcado en ambos nutrientes: el Nitrógeno Total sube a 9,28 mg N/L (el valor más alto de todo el muestreo) y el Fósforo Total se dispara a 0,928 mg P/L (casi diez veces el valor del ID 1). Este perfil químico binario es

característico de un impacto antrópico mixto e intenso. Mientras que los altos niveles de nitrógeno pueden atribuirse a una combinación de escorrentía agrícola (plátano y pasto), el fuerte incremento del fósforo está directamente correlacionado con vertimientos domésticos ribereños. El fósforo, presente en detergentes y excretas, actúa como un marcador clave de aguas residuales no tratadas. La conjunción de estas fuentes de contaminación en el ID4 establece un punto crítico de deterioro justo antes de que el río ingrese a los tramos de mayor demanda de recursos.

Tabla 9 Resultado Nitrógeno y Fósforo Total.

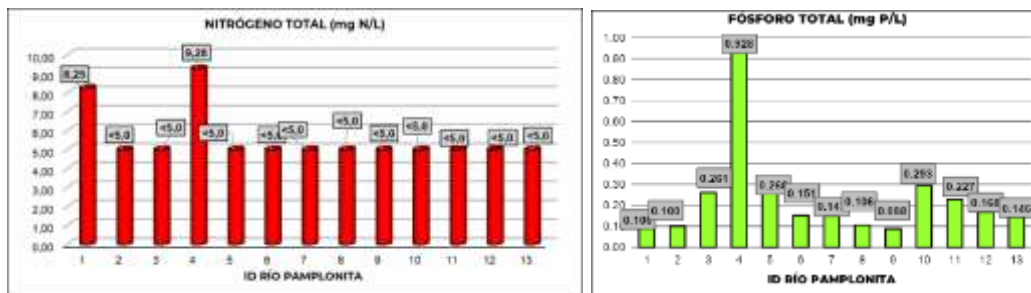
ID	NOMBRE	NITRÓGENO TOTAL (mg N/L)	FÓSFORO TOTAL (mg P/L)
1	Bocatoma El Rosal-Quebrada El Rosal	8,25	0,100
2	Estación limnimétrica Acueducto de Pamplona-Quebrada Monteadentro	5,0	0,100
3	Radio FM	5,0	0,261
4	Escuela Los Naranjos	9,28	0,928
5	El Diamante	5,0	0,266
6	La Donjuana	5,0	0,151
7	Confluencia Quebrada Iscalá-Río Pamplonita	5,0	0,147
8	La Garita	5,0	0,106
9	Bocatoma Acueducto Cúcuta (El Pórtico)	5,0	0,088
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	5,0	0,293
11	Puente Elías M. Soto	5,0	0,227
12	Puente Jorge Gaitan Durán	5,0	0,168
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	5,0	0,146

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

El patrón de enriquecimiento nutricional del Río Pamplonita genera un riesgo latente y sostenido de eutrofización en toda la cuenca. El pico extremo de Nitrógeno Total en el ID1 (8,25 mg N/L), que ocurre en una zona de montaña caracterizada por extensa cobertura vegetal, subraya que la causa no es un déficit de amortiguamiento natural, sino la intensa actividad agrícola

circundante. Esta carga difusa, sumada al fuerte aporte de Fósforo Total en el ID 4 (0,928 mg P/L) proveniente de vertimientos domésticos, exige una estrategia de gestión dual y segmentada. La prioridad debe ser, por un lado, la regulación estricta de las mejores prácticas de manejo de fertilizantes en las áreas de cabecera para mitigar la escorrentía difusa y, por otro, la urgente intercepción y tratamiento del saneamiento básico en los tramos medios y bajos.

Figura 18 Gráfica Nitrógeno y Fósforo Total.



El patrón de enriquecimiento nutricional del Río Pamplonita genera un riesgo latente y sostenido de eutrofización en toda la cuenca. El pico extremo de Nitrógeno Total en el ID1 (8,25 mg N/L), que ocurre en una zona de montaña caracterizada por extensa cobertura vegetal, subraya que la causa no es un déficit de amortiguamiento natural, sino la intensa actividad agrícola circundante. Esta carga difusa, sumada al fuerte aporte de Fósforo Total en el ID4 (0,928 mg P/L) proveniente de vertimientos domésticos, exige una estrategia de gestión dual y segmentada. La prioridad debe ser, por un lado, la regulación estricta de las mejores prácticas de manejo de fertilizantes en las áreas de cabecera para mitigar la escorrentía difusa y, por otro, la urgente intercepción y tratamiento del saneamiento básico en los tramos medios y bajos.

2.5.5. Resultados de las variables Metales, Aceites y Grasas e Hidrocarburos 2025.

Tabla 10 Resultado metales, aceites y grasas e Hidrocarburos.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA FRONTERA NORORIENTAL - CORPONOR			CARACTERIZACIÓN CUENCA RÍO PAMPLONITA 2025											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ID	NOMBRE	AÑO	ARSENICO TOTAL (mg As/L)	CADMIO TOTAL (mg Cd/L)	COBRE TOTAL (mg Cu/L)	CROMO TOTAL (mg Cr/L)	HIERRO TOTAL (mg Fe/L)	MERCURIO TOTAL (mg Hg/L)	NIQUEL TOTAL (mg Ni/L)	PLATA TOTAL (mg Ag/L)	PLOMO TOTAL (mg Pb/L)	ZINC TOTAL (mg Zn/L)	ACEITES Y GRASAS (mg/L)	HIIDROCARBUROS (mg/L)
4	Escuela Los Naranjos	2025	0,012	<0,002	0,004	0,004	1,42	<0,0005	0,012	<0,003	<0,008	0,039	17,2	<3,50
10	Puente Benito Hernández (San Rafael)	2025	0,010	<0,002	<0,002	0,006	0,591	<0,0005	0,015	<0,003	<0,008	0,014	10,8	<3,50
11	Puente Elias M. Soto	2025	0,015	<0,002	<0,002	0,004	0,833	0,0008	0,009	<0,003	<0,008	0,011	<7,00	<3,50
12	Puente Jorge Gaitan Durán	2025	<0,008	<0,002	<0,002	0,003	1,01	<0,0005	0,004	<0,003	<0,008	0,016	8,730	<3,50
13	Puente Enrique Cuadros Corredor (La Gazapa)	2025	<0,008	<0,002	<0,002	0,002	0,717	<0,0005	0,004	<0,003	<0,008	0,010	<7,00	<3,50

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

Los metales pesados son elementos químicos con propiedades metálicas y una alta densidad. Aunque algunos, como el hierro, el cobre y el zinc son esenciales para el organismo en pequeñas cantidades, otros, como el mercurio, el plomo, el arsénico y el cadmio, representan un riesgo para la salud y el medio ambiente debido a su toxicidad. Los metales pueden estar presentes en el agua, el aire y el suelo, ya sea por procesos naturales o como resultado de actividades antropogénicas, tales como la industria, la minería, la quema de combustibles fósiles y el uso de pesticidas y fertilizantes, entre otros.

En el agua, los metales pesados pueden contaminar el recurso hídrico y causar daños en la vida acuática en cuanto a la reproducción, el crecimiento y la supervivencia de los organismos acuáticos, y también pueden bioacumularse y biomagnificarse en los tejidos de los peces, lo que supone un riesgo para la salud humana si se consumen. Por lo anterior, es de suma importancia conocer su concentración en río Pamplonita, específicamente en los ID “4, 10, 11, 12 y 13” ya que poseen vertimientos de origen doméstico e industrial.

En la tabla 10 se observó que el análisis de las concentraciones de metales pesados en los diferentes puntos de monitoreo del río Pamplonita evidencia variaciones en los niveles de elementos como arsénico, cadmio, cromo, níquel, plomo y zinc, los cuales, aunque en su mayoría se presentan en bajas concentraciones, requieren una atención especial por su carácter bioacumulativo y sus implicaciones sobre la salud ambiental y humana.

Destaca el hierro como uno de los metales con mayores registros, alcanzando en la Escuela Los Naranjos un valor de 1,42 mg/L, cifra considerablemente superior en comparación con los demás puntos, lo que puede estar asociado a procesos de lixiviación natural de suelos o a descargas antrópicas vinculadas con actividades agrícolas y urbanas. De igual manera, la presencia de arsénico en todos los sitios, con valores entre 0,008 y 0,015 mg/L, representa un indicador crítico, dado su potencial tóxico incluso en bajas concentraciones y su relación con riesgos cancerígenos documentados en la literatura científica.

Por otro lado, elementos como cadmio, mercurio, plata y plomo mantienen valores constantes o similares entre las estaciones, lo que sugiere posibles fuentes difusas de contaminación que inciden de manera uniforme a lo largo del cauce. No obstante, resulta relevante señalar el comportamiento del níquel y el zinc, cuyos valores más elevados se registran en los puntos de mayor intervención antrópica, como la Escuela Los Naranjos y el Puente Benito Hernández, evidenciando la influencia de vertimientos y escorrentías agrícolas e industriales sobre la calidad del recurso hídrico. Estos hallazgos ponen de manifiesto la necesidad de fortalecer los procesos de vigilancia y gestión ambiental en la cuenca, ya que, si bien los valores reportados se encuentran en rangos relativamente bajos, su persistencia y acumulación pueden generar deterioro ecosistémico y riesgos a la salud de las comunidades que dependen del río Pamplonita como fuente de abastecimiento y sustento socioeconómico.