

## 1.1 DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL PLAN DE MONITOREO

Para determinar las condiciones actuales de calidad en el Río Penderisco, se diseñó un plan de monitoreo de calidad del agua, la localización de las estaciones o puntos de muestreo, se priorizaron sobre la corriente principal del cuerpo de agua objeto de ordenamiento y sobre los afluentes principales de la cuenca que se consideran importantes.

La selección de sitios de monitoreo se realizó de tal modo que proporcionen datos representativos, de preferencia en donde haya probabilidad de que ocurran cambios marcados de calidad o donde haya importantes usos del río y sus tributarios (actividades antrópicas), en zonas de mezcla o en zonas que no estén afectadas por una descarga, confluencias y descargas importantes.

### 1.1.1 Primera Campaña De Monitoreo

La primera campaña de monitoreo para época seca se llevó a cabo entre el 28 de febrero al 05 de mayo de 2023. Se monitorearon 14 sitios de muestreo de agua superficial y 3 estaciones de vertimientos, tal como lo muestra la Tabla 1.

**Tabla 1. Puntos seleccionados para monitoreo de calidad de agua**

<b>ESTACIONES</b>	<b>ESTE_</b>	<b>NORTE_</b>
Encarnación	76° 15' 12,761" W	6° 23' 24,584" N
Desembocadura Orobugo	76° 14' 13,437" W	6° 23' 3,286" N
Desembocadura quebrada Honda	76° 9' 38,503" W	6° 21' 22,421" N
Quebrada Urrao	76° 9' 18,975" W	6° 20' 0,270" N
Penderisco	76° 7' 52,017" W	6° 15' 20,169" N
Quebrada Pabón	76° 7' 54,996" W	6° 15' 12,092" N
Quebrada Tigre	76° 3' 36,751" W	6° 9' 25,592" N
Quebrada Cartagena	76° 5' 41,592" W	6° 11' 23,417" N
Quebrada Quebradona	76° 6' 34,759" W	6° 12' 6,609" N
Bocatoma	76° 5' 26,636" W	6° 20' 17,133" N
Antes del Área Urbana	76° 8' 4,801" W	6° 17' 45,893" N
Después Área Urbana	76° 8' 51,507" W	6° 19' 43,215" N
Después Quebrada Paso	76° 7' 16,121" W	6° 20' 19,042" N
Quebrada Ana	76° 4' 59,479" W	6° 20' 18,079" N

**Tabla 2. Puntos seleccionados para el monitoreo de vertimiento**

<b>ESTACIONES</b>	<b>ESTE_</b>	<b>NORTE_</b>
vertimiento Ptar	76° 8' 13,934" W	6° 19' 9,360" N
vertimiento San José	76° 7' 45,376" W	6° 15' 31,866" N
Vertimiento área urbana Urrao	76° 8' 13,734" W	6° 18' 28,885" N

En ese orden de ideas, para realizar la toma de muestras de las fuentes hídricas presentes en el área de estudio, se desplazó personal capacitado y calificado del

laboratorio de aguas ALTA BIOTECNOLOGIA COLOMBIANA. El cual cuenta con acreditación del IDEAM, con la Resolución No. 2114 de 2022.

A continuación, se muestra evidencia fotográfica de los puntos monitoreados para agua superficial.

**Tabla 3 Puntos De Muestreo En El Área De Influencia Del Río Penderisco.**

<b>Foto 1.</b>	<b>Punto 1. Desembocadura quebrada Orobugo</b>
	<p>Cuerpo lotico con abundante vegetación ripária, fondo heterogéneo compuesto por gravas, arena y rocas. Ancho aproximado del cauce de 30 metros, agua levemente turbia por material suspendido, se observan rocas de gran tamaño que funcionan como barreras físicas del cauce.</p>
<b>Foto 2.</b>	<b>Punto 2. Encarnación vereda El Sireno</b>
	<p>Cuerpo lotico de vegetación ripária compuesta por pastos arbolados en la ribera derecha y pastos con árboles dispersos en la ribera izquierda, canal con fondo heterogéneo compuesto por rocas, grava y arena, riberas sin evidencia de erosión en el sitio de muestreo. Ancho aproximado del cauce de 30 metros.</p>
<b>Foto 3.</b>	<b>Punto 3. Desembocadura quebrada Honda</b>
	<p>Cuerpo lotico de vegetación ripária en ambas riberas, fondo heterogéneo compuesto por gravas, arena y rocas. Agua turbia por material suspendido, corriente con gradiente medio, capaz de formar rápidos.</p>

---

**Foto 4.**

**Punto 4. Quebrada Urrao**

---



Cuerpo lotico con valle en forma de Box y un plano de inundación asimétrico, agua turbia, ribera derecha escarpada sin evidencia de procesos erosivos, presencia de vegetación ripiara. Ribera izquierda con presencia de pastos y cultivos agrícolas. Ancho del cauce aproximado de de ocho metros.

---

**Foto 5.**

**Punto 5. Bocatoma**

---



Cuerpo lotico angosto cuya corriente es interrumpida por una estructura física, construida para captar agua para posterior potabilización Bocatoma de acueducto veredal). Vegetación ripária en ambas riberas y presencia de cultivos agrícolas. El ancho del cauce es de dos metros aproximadamente.

---

**Foto 6.**

**Punto 6. Quebrada Ana**

---



Cuerpo lotico con valle en forma de Box, fondo heterogéneo compuesto por grava y rocas, pendiente mediana formando rápidos en el cauce, turbidez leve por material particulado, vegetación ripária compuesta por árboles y arbustos y vegetación herbácea.

---

**Foto 7.**

**Punto 7. Después Quebrada Paso**

---



Cuerpo lotico con canal escalonado, agua levemente turbia por material particulado, fondo heterogéneo compuesto por rocas y gravas, riberas compuestas por vegetación ripária, compuesta por algunos árboles aislados y vegetación herbácea.

---

**Foto 8.**

**Punto 8. Después del Área Urbana**

---



**Foto 9.**

Cuerpo lotico con canal en forma de caja ancha, pendientes de las riberas moderadas y cóncavas, vegetación ripária tipo arbustivo, fondo homogéneo compuesto por gravas, agua turbia por solidos suspendidos, corriente con inclinación suave. En el sitio de muestreo se tiene una estructura tipo puente que no afecta el flujo de la corriente.

**Punto 9. Antes del Área Urbana**

---



**Foto 10.**

Cuerpo lotico con canal en forma de caja ancha, pendientes de las riberas moderadas y cóncavas, vegetación ripária tipo arbustivo, fondo homogéneo compuesto por gravas, agua turbia por solidos suspendidos, corriente con inclinación suave.

**Punto 10. Quebrada El Tigre**

---

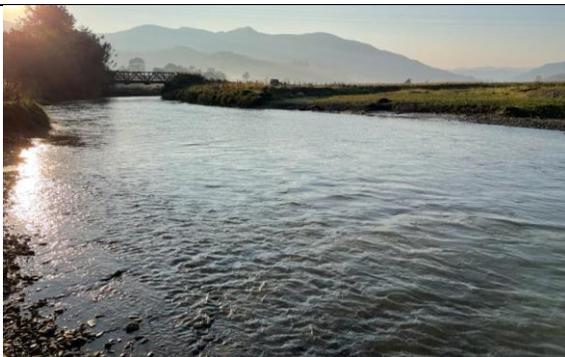


**Foto 11.**

Cuerpo lotico con plano de inundación simétrico, canal en forma de Box profundo, riberas escarpadas y cóncavas, sin evidencia de erosión, vegetación ripária compuesta por pastos arbolados, agua turbia con fondo homogéneo compuesto por gravas. Se identificó la presencia de una estructura fija tipo puente que no afecta el flujo de la corriente.

**Punto 11. Río Penderisco**

---



**Foto 12.**

Cuerpo lotico con bajo gradiente de corriente, fondo heterogéneo compuesto por arena y grava. Canal en forma de caja ancha con plano de inundación simétrico, riberas con presencia de vegetación ripária, sin estructuras que afecten el flujo de la corriente.

**Punto 12. Quebrada Pabón**

---



**Foto 13.**

Cuerpo lotico con bajo gradiente de corriente, fondo heterogéneo compuesto gravas y arenas. Canal en forma de caja ancha y con plano de inundación simétrico. El cauce no presenta estructuras que afecten el flujo de la corriente. La turbidez es baja y el ancho del cauce es de aproximadamente 12 metros.

**Punto 13. Quebrada Quebradona**



**Foto 14.**

Cuerpo lotico con bajo gradiente de corriente, canal en forma de caja ancha. No se evidencian procesos erosivos en la ribera y cobertura vegetal de pastos y arboles aislados. Fondo heterogéneo compuesto por arena y grava, agua poco turbia. No se observan estructuras físicas que alteren la corriente.

**Punto 14. Quebrada Cartagena**



**Puntos de vertimiento**

Cuerpo lotico con bajo gradiente de corriente, canal en forma de Box y pendiente de la ribera derecha ligeramente escarpada, vegetación riparia de ambas riveras, compuesta por pastos y arbustos. Se observa una estructura física tipo puente que no altera la corriente. El agua presenta baja turbidez, profundidad inferior a 0,8 metros y ancho aproximado de 15 metros.

**Foto 15.**

**Punto 15. Vertimiento PTAR**



Vertimiento puntual que sale de una red de alcantarillado, descarga al lado de la vía y se dirige al río Penderisco por un canal en forma de U. La cobertura vegetal es principalmente pasto.

Foto 16.

Punto 16. Área Urbana Urrao



Vertimiento puntual que descarga las aguas en una canalización que vierte al río Penderisco. El canal es profundo con forma de U. La vegetación alrededor se compone de pasto y otras herbáceas.

Foto 17.

Punto 17. Vertimiento San José



Vertimiento puntual, con corriente superficial que descarga las aguas directamente al río Penderisco. El vertimiento corre paralelamente a una vía de acceso público, con poca vegetación en sus márgenes.

Fuente: Equipo Consultor

### 1.1.1.1 Descripción de los procesos de toma de muestras

Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se tomaron muestras de agua y se usaron recipientes nuevos de plástico o vidrio, como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Recipientes para toma de muestras

Recipiente de plástico de 1 litro	Recipiente vidrio Ambar	Vidrio boca ancha	Bolsa microbiológica
			

Fuente: Elaboración consultor, 2023

Se usaron recipientes nuevos de plástico o vidrio según los procedimientos establecidos en el Laboratorio Alta Biotecnología Colombiana S.A.S. (Ver Recipientes de toma de muestras), siguiendo las especificaciones del Standard Methods Ed. 23th (2017).

**Figura 1. Registro fotográfico de toma de muestras**



Llenado de recipientes para muestras fisicoquímicas



Llenado de recipientes de vidrio para organofosforados y muestras de grasas y aceites

Las muestras, fueron preservadas (acidulando y refrigerando), según lo establecido en el Standard Methods Ed. 23th (2017), en donde también se especifica el volumen y el tiempo de conservación. Luego, se transportaron hasta el Laboratorio de Alta Biotecnología Colombiana S.A.S., manteniendo la cadena de frío.



Preservación de muestras



Toma de coordenadas



Llenado de recipiente para muestra microbiológica



## 1.2 INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

### 1.2.1 Estimación de índices de calidad fisicoquímica.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de estimar el Índice de Calidad del Agua (ICA) a partir de los resultados de los monitoreos de calidad del agua ejecutados en la etapa de diagnóstico en las fechas 27 y 28 de febrero de 2023 aplicando la metodología propuesta para las Evaluaciones Regionales del Agua – ERA (IDEAM, 2013).

De acuerdo con el IDEAM (2015) el índice de calidad del agua en corrientes naturales (ICA) califica en cinco categorías la calidad del agua en una corriente superficial a partir de un conjunto de cinco, seis o siete variables de calidad del agua mediante el cual se reflejan las condiciones fisicoquímicas generales de una corriente a partir de la valoración de los resultados del grupo de variables sumado a su clasificación del estado de calidad del agua del recurso para soportar la toma de decisiones en cuanto a la gestión del mismo.

De acuerdo con la metodología establecida por el IDEAM para los Estudios Regionales del Agua (IDEAM, 2013), la metodología el cálculo del índice a partir de la combinación de resultados o valoraciones de cinco, seis y siete parámetros monitoreados. En la Tabla 5. Parámetros y ponderaciones para el cálculo del ICA para 5, 6 y 7 variables, se presentan las combinaciones de variables para cada modelo de cálculo del ICA junto con las ponderaciones para cada parámetro de calidad del agua.

**Tabla 5. Parámetros y ponderaciones para el cálculo del ICA para 5, 6 y 7 variables**

<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Ponderación ICA 5 variables</b>	<b>Ponderación ICA 6 variables</b>	<b>Ponderación ICA 7 variables</b>
Oxígeno Disuelto	% saturación	0,20	0,17	0,16
Sólidos Suspendidos Totales	mg-L	0,20	0,17	0,14
Demanda Química de Oxígeno	mg-L	0,20	0,17	0,14
Conductividad Eléctrica	uS/cm	0,20	0,17	0,14
pH	Unidades de pH	0,20	0,15	0,14
Relación Nitrógeno Total-Fósforo Total	---	---	0,17	0,14
Coliformes totales	NPM/100ml	---	---	0,14

Teniendo en cuenta lo anterior, el resultado de cada variable se califica de acuerdo con métricas establecidas mediante ecuaciones teóricas y posteriormente se ponderan a través de un peso específico entre 0,0 y 1,0 que representa el peso relativo en el índice de cada variable, estas métricas son conocidas como "relación funcional" o "curva funcional" (ecuación) en la que los niveles de calidad de 0 a 1 se representan en las ordenadas de cada gráfico, mientras que los distintos niveles (o intensidades) de cada variable se disponen en las abscisas, trazando en cada gráfico una curva que represente la variación de la calidad del agua respecto a la magnitud de cada contaminante.

De acuerdo con la metodología de cálculo propuesta por IDEAM (2013) las curvas funcionales adoptadas son las propuestas por Ramírez y Viña para oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), y conductividad eléctrica (CE), la propuesta por Universitat Politècnica de Catalunya (2006) para demanda química de oxígeno (DQO), y la propuesta por el laboratorio del Departamento de Calidad Ambiental de Oregon (Estados Unidos) para pH, relación nitrógeno - fósforo y coliformes totales. Las valoraciones de cada variable de acuerdo con su subíndice se presentan a continuación

## **Resultados ICA.**

A partir de la evaluación de las variables obteniéndose el valor de cada subíndice y posteriormente ponderando dicho subíndice de acuerdo con los porcentajes de ponderación establecidos, se obtiene un valor numérico del índice normalizado, el cual se clasifica por intervalos y califica con un descriptor de calidad y un código de colores presentado en la siguiente tabla.

**Tabla 6. Valoración del índice de calidad ICA - IDEAM**

Descriptor	Ámbito numérico	Color
Muy mala	0 – 0,25	Rojo
Mala	0,26 – 0,50	Naranja
Regular	0,51 – 0,70	Amarillo
Aceptable	0,71 – 0,90	Verde
Buena	0,91 – 1,00	Azul

Fuente: IDEAM (2013)

Los parámetros analizados en la campaña de monitoreo ejecutada permiten el cálculo del ICA con las tres metodologías presentadas, por lo cual se presenta a continuación el resultado del cálculo del ICA con estas metodologías (5, 6 y 7 parámetros) para los sitios de monitoreo sobre el río Penderisco como corriente principal a través de la Tabla 7 se presentan los resultados de la valoración por peso de cada parámetro de acuerdo con su código de colores y el resultado del cálculo del ICA junto con la calificación de calidad y el código de colores y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el perfil con los resultados del ICA y valoraciones para las tres metodologías en los sitios de monitoreo del río Penderisco.

Los resultados muestran como en la parte alta de la cuenca del río Penderisco se valora una mejor calidad del agua respecto al resto de sitios de monitoreo en la cuenca media y baja de la corriente, con calificaciones de la calidad entre buenas y regulares en los sitios Desembocadura de la quebrada Quebradona (km. 20,73) y Centro Poblado San José (km. 28,50). A partir del análisis de calificación de los parámetros se observa como la cantidad de coliformes y saturación de oxígeno disuelto obtuvieron las menores valoraciones respecto al resto de parámetros y son los que inciden en dicha valoración, puntualmente, en el cálculo del ICA con siete y seis variables.

En la estación de monitoreo Antes del área urbana (km. 34,02) se presenta un leve deterioro respecto a las dos estaciones analizadas anteriormente ubicadas aguas arriba, sin embargo, las calificaciones de calidad permanecen en una calificación aceptable de calidad del agua. Este leve deterioro en la calidad al analizar la valoración por parámetro se asocia con las valoraciones de la saturación de oxígeno disuelto y los microorganismos patógenos, asociados con las actividades antrópicas que generan cargas contaminantes oxígeno-demandantes que son vertidas al río Penderisco o a través de sus principales afluentes, como es el caso de los vertimientos de aguas residuales generados en el tránsito de la corriente por el centro poblado de San José.

**Tabla 7. Resultados del calculo del indice de calidad del agua para los sitios de monitoreo del río Penderisco.**

Nombre Estación/sitio de monitoreo	Corriente/cuerpo de agua	Valoración índice de conductividad Icond	Valoración índice de DQO - IDQO	Valoración índice de relación N/P	Valoración índice de saturación de Oxígeno	Valoración índice de pH - IpH	Valoración índice de SST	Valoración índice de Coliformes - ICT	Valor y calificación del ICA con 7 variables		Valor y calificación del ICA con 6 variables		Valor y calificación del ICA con 5 variables	
Desembocadura Quebrada Quebradona	Río Penderisco	0,92	1,00	0,80	0,75	1,00	1,00	0,81	0,89	ACEPTABLE	0,91	BUENO	0,93	BUENO
Río Penderisco (Centro poblado San José)	Río Penderisco	0,95	0,91	0,80	0,72	1,00	0,97	0,98	0,90	ACEPTABLE	0,89	ACEPTABLE	0,91	BUENO

Nombre Estación/sitio de monitoreo	Corriente/cuerpo de agua	Valoración índice de conductividad Icond	Valoración índice de DQO - IDQO	Valoración índice de relación N/P	Valoración índice de saturación de Oxígeno	Valoración índice de pH - IpH	Valoración índice de SST	Valoración índice de Coliformes - ICT	Valor y calificación del ICA con 7 variables		Valor y calificación del ICA con 6 variables		Valor y calificación del ICA con 5 variables	
									Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Antes del Área Urbana Urrao	Río Penderisco	0,85	0,91	0,80	0,65	1,00	0,97	0,74	0,84	ACEPTABLE	0,86	ACEPTABLE	0,87	ACEPTABLE
Después Área Urbana Urrao	Río Penderisco	0,88	0,51	0,35	0,66	1,00	0,92	0,28	0,66	REGULAR	0,71	ACEPTABLE	0,79	ACEPTABLE
Desembocadura quebrada Orubugo	Río Penderisco	0,85	0,51	0,80	0,80	0,98	0,91	0,87	0,82	ACEPTABLE	0,80	ACEPTABLE	0,81	ACEPTABLE

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8. Resultados del cálculo del ICA para las corrientes afluentes al río Penderisco y en el río Urrao**

Nombre Estación/sitio de monitoreo	Corriente/cuerpo de agua	Valoración índice de conductividad Icond	Valoración índice de DQO - IDQO	Valoración índice de relación N/P	Valoración índice de saturación de Oxígeno	Valoración índice de pH - IpH	Valoración índice de SST	Valoración índice de Coliformes - ICT	Valor y calificación del ICA con 7 variables		Valor y calificación del ICA con 6 variables		Valor y calificación del ICA con 5 variables	
									Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Antes desembocadura Quebrada Tigre	Quebrada Tigre (Km 11,65)	0,99	1,00	0,80	0,76	1,00	1,00	0,81	0,91	BUENO	0,92	BUENO	0,95	BUENO
Antes desembocadura Quebrada Cartagena	Quebrada La Cartagena (Km 18,08)	0,92	1,00	0,80	0,73	1,00	1,00	0,84	0,90	ACEPTABLE	0,91	BUENO	0,93	BUENO
Antes desembocadura Quebrada Pabón	Río Pabón (Km 28,52)	0,92	1,00	0,80	0,72	1,00	1,00	0,47	0,84	ACEPTABLE	0,90	BUENO	0,93	BUENO
Desembocadura quebrada Honda	Quebrada Honda Arriba (Km 42,68)	0,89	0,26	0,80	0,72	1,00	0,84	0,98	0,78	ACEPTABLE	0,75	ACEPTABLE	0,74	ACEPTABLE
Río Encarnación Vereda Sireno	Río Encarnación (Km 59,86)	0,86	0,51	0,80	0,77	0,89	0,93	0,98	0,82	ACEPTABLE	0,79	ACEPTABLE	0,79	ACEPTABLE
Quebrada Urrao	Río Urrao (Km 39,55)	0,89	0,51	0,35	0,68	1,00	0,91	0,87	0,74	ACEPTABLE	0,72	ACEPTABLE	0,80	ACEPTABLE
Quebrada La Ana (Afluente Río Urrao)	Quebrada La Ana (Afluente Río Urrao) (Km 10,96)	0,92	1,00	0,80	0,65	1,00	1,00	0,91	0,89	ACEPTABLE	0,89	ACEPTABLE	0,91	BUENO
Bocatoma Sistema de Acueducto Mun. Urrao	Río Urrao (Km 11,86)	0,94	1,00	0,80	0,65	1,00	1,00	0,94	0,90	ACEPTABLE	0,90	ACEPTABLE	0,92	BUENO
Después confluencia Quebrada Paso	Río Urrao (Km 16,12)	0,91	0,91	0,80	0,66	1,00	0,98	0,87	0,87	ACEPTABLE	0,88	ACEPTABLE	0,89	ACEPTABLE

Fuente: Elaboración propia