

SISTEMAS DE CONTROL AMBIENTAL SEMESTRE 2025-2

Valentina Martínez Restrepo, estudiante Ingeniería Ambiental, 1000565118
Valentina Urrego Herrera, estudiante Ingeniería Ambiental, 1000404363
Juan David Mesa Giraldo, estudiante Ingeniería Ambiental, 1007218392

Resumen Ejecutivo Integrado

Introducción

Descripción del área de estudio

Tabla 1. Identificación y características generales

| Característica | Detalle |
|----------------------------------|--|
| Cuerpo de Agua Priorizado | Quebrada La Iguaná. Con los siguientes afluentes. Por la margen izquierda las quebradas La Seca, Los Amigos, El Limo, La Puerta, La Cumbre, Agua Fría, La Bermejala, La Honda, El Hato, La Chaguala, El Chagualón, La Puerta (o La Colonia), La Corcovada, La Gómez y el caño San Germán. Por la margen derecha, se destacan las quebradas La Popa, La Peña, La Culebra, La Tenche, El Uvito, Las Palacios, Las Paulinas, San Francisco, El Potrero, La Sopera, La Peña (parte baja) y el Zanjón Ferrini |
| Ubicación | Departamento de Antioquia, atraviesa el Valle de Aburrá (Medellín). |
| Nacimiento | Corregimiento de San Cristóbal, sector Boquerón. Coordenadas: 6°18'54"N 75°39'34"W. Altitud: 2,950 m.s.n.m. |
| Desembocadura | Río Aburrá (Medellín). Coordenadas: 6°15'34"N 75°34'29W. Altitud: 1,453 m.s.n.m. |
| Longitud Total | 17.3 kilómetros. |
| Zonas que Atraviesa | San Cristóbal (rural), Comunas Robledo, Laureles, San Javier, La América (urbanas). |
| Código NSS3 IDEAM | 2701-01-076-00 |

Tabla 2. Hidrología y Régimen de flujo.

| Parámetro Hidrológico | Valor y Régimen |
|---|---|
| Régimen de Precipitación | Bimodal, típico del Valle de Aburrá, con periodos lluviosos en mayo y octubre. |
| Precipitación Anual | Promedio de 1.500 mm. |
| Niveles Promedio (SIATA) | Estación 479 (San Cristóbal): 0.35 m. Estación 754 (Los Colores): 0.80 m. |
| Niveles Máximos (Lluvias Intensas) | Estación 479: Supera 1.20 m. Estación 754: Supera 1.50 m. |
| Caudales Máximos (Referencia) | 503 m ³ /s (Periodo de Retorno 100 años). 253 m ³ /s (Periodo de Retorno 5 años). |

Tabla 3. Usos del Suelo y Riesgos Históricos

| Temática | Hallazgos Clave |
|---------------------------|--|
| Uso de las Riberas | Transición de Cobertura Natural/Agropecuario (alta) a Urbano/Industrial/Residencial (baja). Fuerte presión antrópica y alteración de la morfología natural en la parte baja. |

| | |
|-------------------------------------|--|
| Afluentes (Margen Izquierda) | La Seca, Los Amigos, El Limo, La Puerta, La Cumbre, Agua Fría, La Bermejala, La Honda, El Hato, La Chaguala, El Chagualón, La Corcovada, La Gómez, San Germán. |
| Afluentes (Margen Derecha) | La Popa, La Peña, La Culebra, La Tenche, El Uvito, Las Palacios, Las Paulinas, San Francisco, El Potrero, La Sopera, La Peña, Zanjón Ferrini. |
| Eventos Históricos | 1880: Avenida torrencial que destruyó el poblado de Aná y cambió el cauce hacia el río Medellín. 2001: 16 deslizamientos superficiales en la parte media y alta (precipitación 33.2 mm/h). |

Tabla 4. Tramos, longitud, puntos referenciales y determinante de división

| Tramo / Longitud (km) | Hitos Geográficos y Delimitación Espacial | Criterio de Segmentación (Determinante Ambiental y Morfológico) |
|------------------------------|--|--|
| Tramo 0 (0,20 km) | Nacimiento: Alto de Boquerón, en límites político-administrativos con Bello y San Sebastián de Palmitas. | Protección Estricta de Nacientes: Área de manejo especial por normativa de protección de rondas hídricas en nacimientos. Zona de preservación estricta. |
| Tramo 1 (6,00 km) | Cuenca Alta Rural: Desde la Serranía de las Baldías (Antigua Vía al Mar, Centro Educativo Boquerón) hasta la Planta de Tratamiento de Aguas. | Vocación de Conservación: Tramo definido por la normativa de suelos de protección (RUNAP) y uso rural. Predominio de coberturas boscosas y baja intervención antrópica directa. |
| Tramo 2 (1,00 km) | Zona de Transición: Inicia en la intersección de la Carrera 152A con Calle 68. | Inicio de Presión Antrópica: Cambio en la ocupación de la ribera por asentamientos residenciales. Se identifica la primera alteración de calidad por descarga de Aguas Residuales Domésticas (ARD). |
| Tramo 3 (2,50 km) | Zona de Influencia Industrial: Inicia en la confluencia con la quebrada La Cumbre. | Aporte de Carga Externa: Influencia de usos industriales (alfarerías/ladrilleras) y cambio significativo en la calidad fisicoquímica por el aporte de tributarios con carga contaminante (Q. La Cumbre). |
| Tramo 4 (4,60 km) | Matriz Urbana Media: Sector adyacente a la Placa Polideportiva Caracolí (Carrera 125). | Alteración Fisicoquímica: Tramo delimitado por un punto de monitoreo de control que evidencia una divergencia remarcable en los parámetros de calidad del agua respecto a los tramos anteriores. |
| Tramo 5 (3,00 km) | Canalización y Desembocadura: Desde el Puente de la Avenida 80 (aprox. Calle 62) hasta la entrega al Río Medellín. | Modificación Hidromorfológica Severa: Tramo caracterizado por la intervención ingenieril del cauce (canalización en concreto), sellamiento del suelo adyacente y alta densidad urbana. |

Figura 1: Localización de la microcuenca de la quebrada la iguana en Medellín, mostrando los territorios que la componen (comuna 7 – robledo, comuna 11 – laureles estadio, comuna 13 – San Javier y el corregimiento de San Cristóbal), sobre base cartográfica satelital. Elaboración propia.

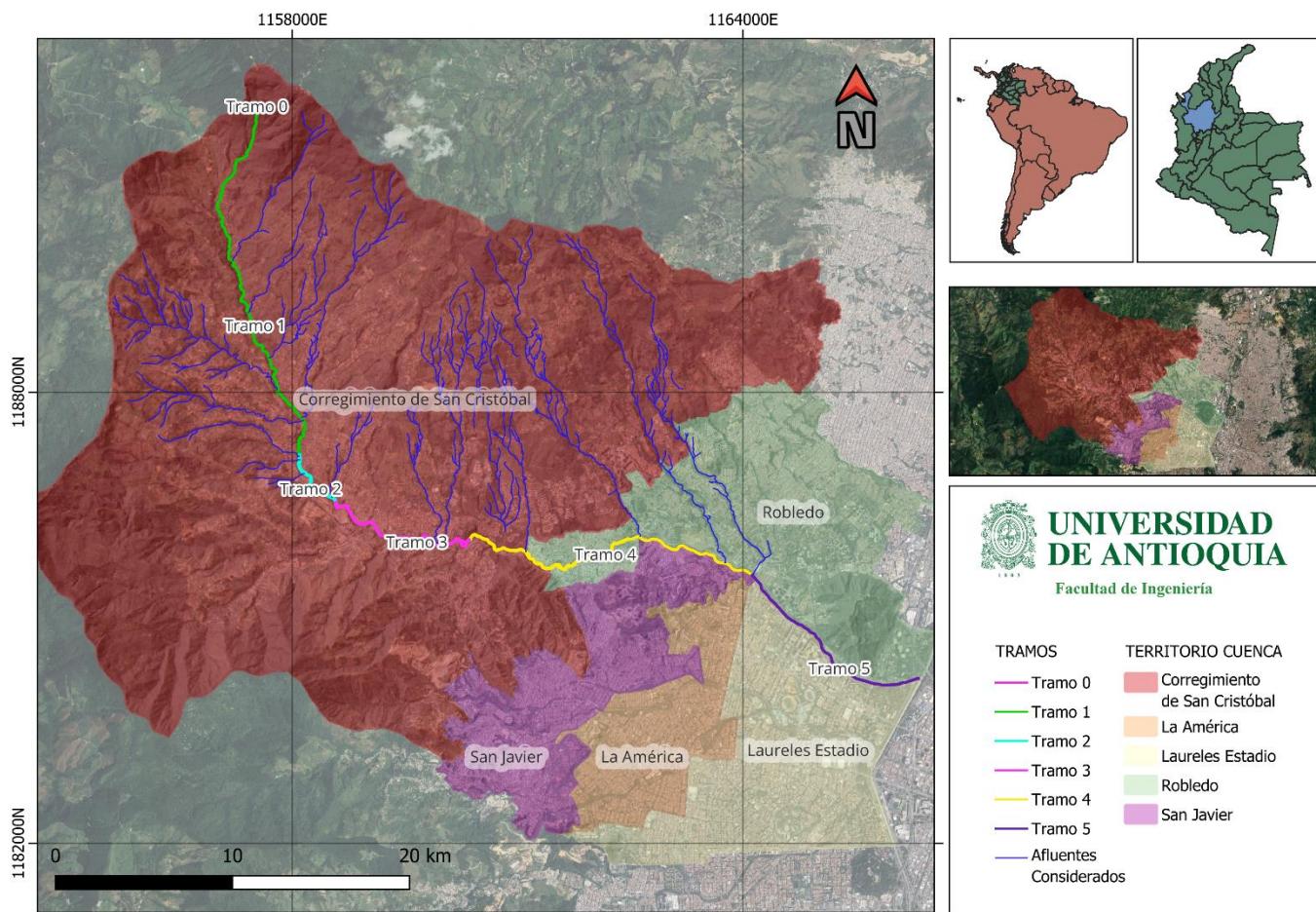


Tabla 5. Características generales de la microcuenca de la zona de estudio.

| | |
|--|--|
| Población actual de la zona de priorización | 696.544 habitantes aproximadamente, concentrados principalmente en Comuna 7 (Robledo) y Comuna 13 (San Javier). |
| Actividades económicas Cuenca Alta (Nacimiento a San Cristóbal) | Agricultura minifundista (hortalizas, flores y frutales); ganadería a pequeña escala; silvicultura y protección ambiental; turismo ecológico y fincas de recreo; comercio rural básico. |
| Cuenca Media (San Cristóbal a El Pesebre | Extracción de materiales de construcción (canteras y areneras); desarrollo inmobiliario y construcción (zonas de expansión); servicios institucionales (campus universitarios y grandes centros de salud); comercio minorista y talleres de mecánica ligera sobre ejes viales. |
| Cuenca Baja (El Pesebre a Desembocadura) | Comercio y servicios de alta densidad (bancario, oficinas); corredores gastronómicos y de entretenimiento; servicios automotrices especializados y |

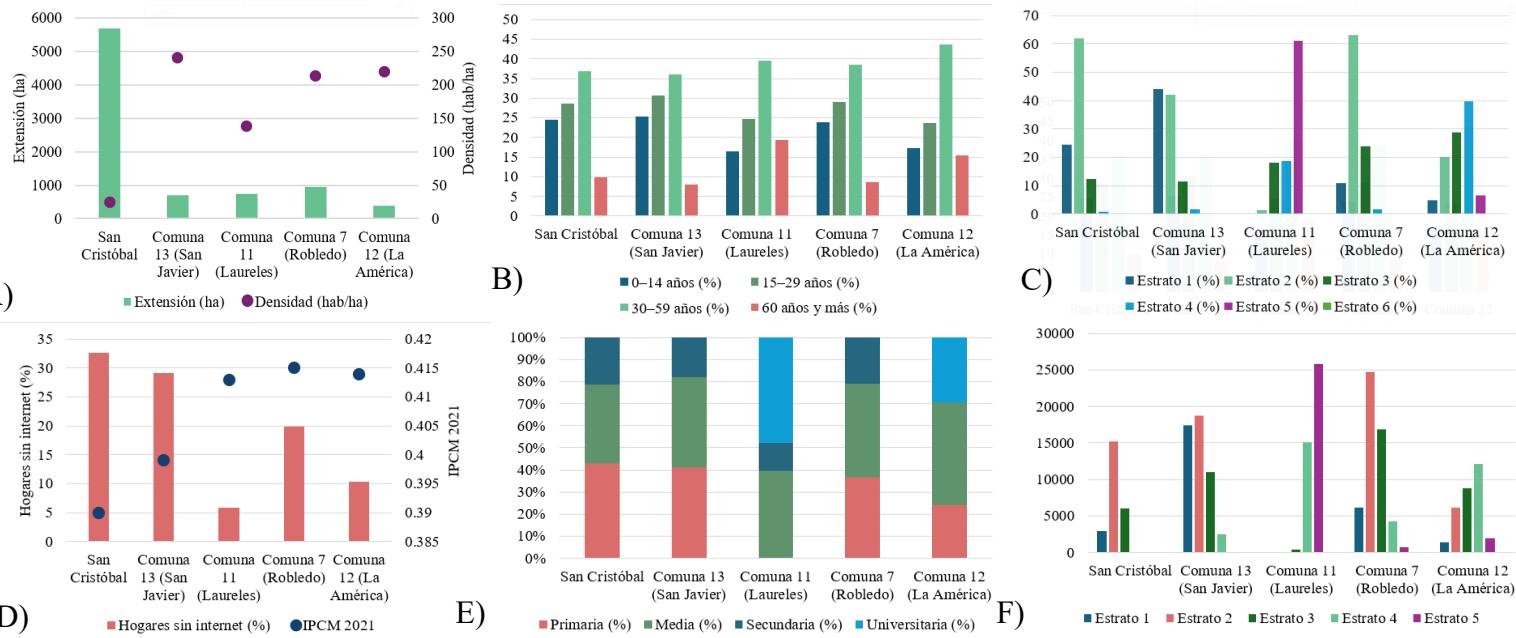
| | |
|----------------------------------|---|
| | metalmecánica; actividad institucional, educativa y deportiva (complejo Estadio). |
| Infraestructura relevante | Conexión Vial Aburrá-Río Cauca (Túnel de Occidente Fernando Gómez Martínez y Vía al Mar), corredores arteriales urbanos de alta capacidad (Avenida 80, Calle 50 - Colombia, Carrera 65) y Sistema Integrado de Transporte (Metro Línea B y Metrocable Línea J). |
| Dinámica Vehicular | Alta circulación de buses, motocicletas, camiones y vehículos particulares, especialmente en horas pico y en vías principales. |

Características generales de la población dentro el área de estudio

La microcuenca de la quebrada La Iguaná presenta una marcada dicotomía demográfica entre su cabecera y la zona urbana. Mientras el corregimiento de San Cristóbal se caracteriza por su ruralidad y baja densidad poblacional (24 hab/ha), las comunas de la cuenca media y baja (San Javier, Robledo y La América) concentran la mayor presión urbanística, con densidades que superan los 200 hab/ha. Robledo se destaca como el territorio más poblado (201.656 habitantes), seguido por San Javier, configurando un escenario donde la intensa ocupación del suelo en las laderas contrasta con la dispersión de la parte alta y la menor densidad relativa de Laureles.

En cuanto a la estructura etaria, el territorio muestra una transición clara: las zonas de ladera y rurales (San Javier, Robledo y San Cristóbal) poseen una población predominantemente joven, con cerca del 30 % de sus habitantes entre los 15 y 29 años. Por el contrario, la zona plana exhibe un envejecimiento progresivo; Laureles lidera este indicador con un 19,4 % de adultos mayores, mientras que La América presenta un perfil equilibrado con una fuerte base de población adulta (30-59 años), situándose como un punto medio entre la juventud de la cuenca alta y la longevidad de la desembocadura.

Figura 2. Características generales de la población por comuna. **A)** Extensión total y densidad poblacional, **B)** Estructura poblacional por grupos de edad, **C)** Distribución socioeconómica en porcentaje, **D)** Hogares sin internet y índice de participación ciudadana bajo índice IPCM, **E)** Nivel educativo, **F)** Cantidad de viviendas por estrato. Datos de Click or tap here to enter text.. Elaboración propia.



Las condiciones socioeconómicas profundizan estas diferencias territoriales. San Javier, Robledo y San Cristóbal son zonas predominantemente de estratos 1 y 2, tanto en población como en tipología de vivienda, reflejando mayores niveles de vulnerabilidad. En el extremo opuesto, Laureles se consolida como un sector de altos ingresos mayoritariamente de estrato 5. La Comuna 12 (La América) actúa nuevamente como una zona de transición heterogénea de clase media, con predominio del estrato 4 y presencia significativa de estratos 2 y 3, diferenciándose de la homogeneidad de los extremos sociales de la microcuenca.

Finalmente, estas brechas estructurales se replican en el capital social y la conectividad. Laureles sobresale con altos niveles de formación universitaria y la mayor cobertura de internet (solo 5,8 % de brecha), mientras que en las zonas de ladera predominan la educación básica y una desconexión digital cercana al 30 %. Paradójicamente, en términos de participación ciudadana (IPCM), territorios como Robledo y La

América muestran los índices más altos de gestión comunitaria. Este panorama de contrastes exige una gestión ambiental diferencial, que considere que las presiones sobre la quebrada provienen de poblaciones con capacidades económicas, edades y necesidades radicalmente distintas.

Módulo de residuos

Estimación de la generación de residuos y su composición

En el PGIRS Medellín 2016–2027, la Generación Per cápita de residuos (GPC) se calcula únicamente con la fracción de reciclables y orgánicos, dado que son las corrientes que permiten medir el verdadero potencial de aprovechamiento de los residuos sólidos Click or tap here to enter text.. Los reciclables (como papel, cartón, vidrio, plásticos y metales) representan materiales que pueden reincorporarse a cadenas productivas, mientras que los residuos orgánicos (restos de comida y podas) constituyen la fracción más abundante de la bolsa de basura y resultan fundamentales para procesos de compostaje o producción de biogás. En contraste, los residuos no aprovechables (como sanitarios o textiles contaminados) no se consideran en la GPC porque su destino final será siempre la disposición en rellenos sanitarios Click or tap here to enter text.. Esta metodología, además, unifica el cálculo con las directrices nacionales de la Resolución 754 de 2014 del Min Ambiente, que orienta la gestión hacia la reducción de disposición final y el incremento en la valorización de residuos.

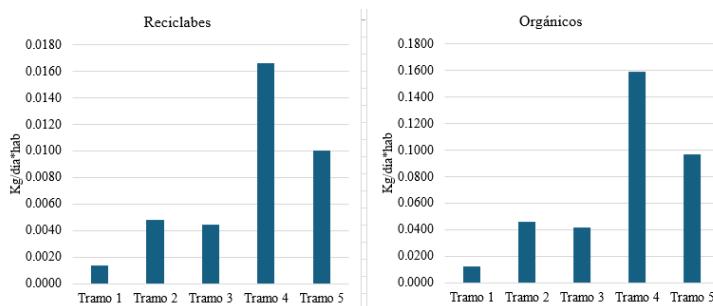
Para estimar la Producción Per cápita (PPC) de residuos reciclables y orgánicos por tramo de la red hídrica, se partió de los valores globales reportados para todo el territorio de estudio: 0,450 kg/día·hab para residuos reciclables y 1,391 kg/día·hab para residuos orgánicos. A partir de estas magnitudes se buscó distribuir la contribución relativa de cada tramo en función de su área de influencia. Con base en lo anterior se determina los factores base de Producción Per Cápita (PPC) para residuos aprovechables (0,193 kg/hab·día para reciclables y 0,597 kg/hab·día para orgánicos).

Tabla 6. Cálculo de la PPC para cada tramo.

| Tramo | Radio de influencia (Km) | Área (km ²) | Porcentaje de área respecto al total del territorio | Porcentaje Participación Ponderado | Apporte estimado | | Apporte estimado | |
|-------|--------------------------|-------------------------|---|------------------------------------|------------------|-----------------------|------------------|----------------------|
| | | | | | Peso | Reciclabes Kg/día*hab | Peso | Orgánicos Kg/día*hab |
| 1 | 0,50 | 5.125 | 6.05% | 14.10% | 0.007 | 0.0014 | 0.021 | 0.0125 |
| 2 | 0,80 | 1.402 | 1.66% | 3.86% | 0.025 | 0.0048 | 0.077 | 0.0460 |
| 3 | 1 | 4.05 | 4.78% | 11.15% | 0.023 | 0.0044 | 0.07 | 0.0418 |
| 4 | 2 | 15.485 | 18.29% | 42.62% | 0.086 | 0.0166 | 0.267 | 0.1594 |
| 5 | 2 | 10.273 | 12.13% | 28.27% | 0.052 | 0.0100 | 0.162 | 0.0967 |
| TOTAL | | 36.335 | 42.91% | 100.00% | 0.193 | | 0.597 | |

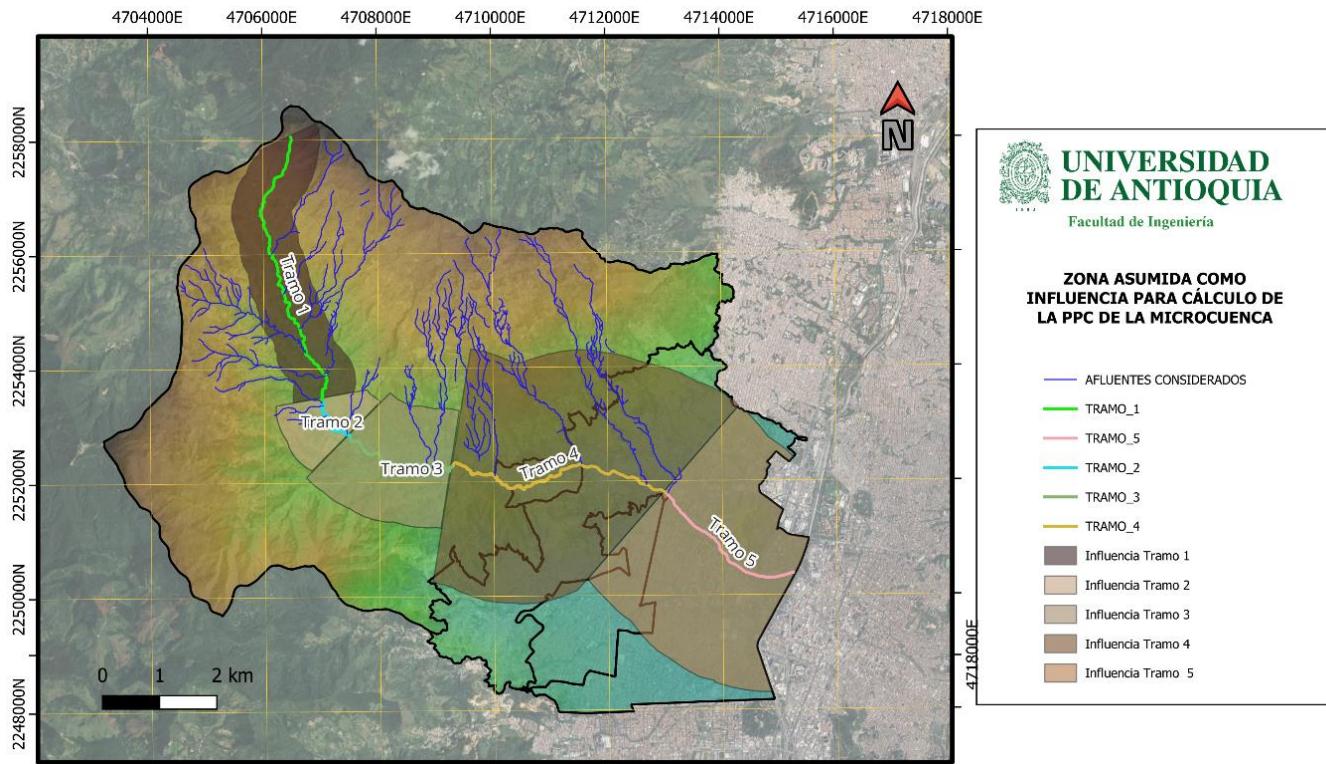
Dado que los tramos ubicados en la porción baja del sistema (tramos 4 y 5) se relacionan con áreas más urbanizadas, donde se concentra la mayor densidad poblacional y, por ende, la mayor generación de residuos; se asignaron mayores pesos relativos durante el proceso de ponderación. A partir del área acumulada de los cinco tramos (36.335 km²) y del área total de referencia de las comunas (84.69 km²), se determinó que los tres primeros tramos representan un aporte territorial menor, mientras que los tramos 4 y 5 reúnen más del 40% del área proporcional.

Figura 3. Producción per capita para cada tramo obtenido.



De acuerdo con los datos de la Tabla 2, los tramos que proyectan el mayor incremento en la generación per cápita de residuos son los tramos 4 y 5.

Figura 4. Visualización del área de influencia para cada tramo de acuerdo a criterios propios.



La figura NN permite visualizar de manera clara los buffers de influencia asociados a cada tramo, evidenciando cómo los sectores más urbanizados ejercen una mayor presión en términos de generación de residuos. La superposición entre tramos y áreas densamente pobladas explica por qué estos segmentos concentran los mayores aportes ponderados. Por su parte, los tramos 1, 2 y 3, al localizarse en zonas con menor ocupación humana y mayor presencia de coberturas naturales, presentan áreas más reducidas y, en consecuencia, participan de manera más marginal en la PPC total.

Problemáticas de manejo de residuos sólidos en la microcuenca la Iguaná

La gestión de los residuos sólidos en la microcuenca de la quebrada La Iguaná trasciende la operatividad del servicio de aseo para configurarse como un determinante histórico de la gestión del riesgo y la calidad ambiental del territorio. La disposición inadecuada de desechos ordinarios y escombros (Residuos de Construcción y Demolición - RCD) ha actuado históricamente como un agente modificador de la dinámica

fluvial, alterando la capacidad hidráulica del cauce y generando una condición de vulnerabilidad crónica que ha derivado en pérdidas humanas y materiales desde finales del siglo XIX hasta la actualidad.

Tabla 7. Matriz de revisión documental histórica y periodística respecto a la disposición de residuos sólidos en el área de estudio.

| Dimensión de la Problemática | Período / Contexto | Descripción del Evento o Fenómeno | Causa Directa Identificada (Driver) | Consecuencias e Impactos (Sociales, Ambientales, Sanitarios) | Evidencia / Fuente |
|---|-------------------------|--|--|---|----------------------------------|
| Histórica y de Gestión del Riesgo | Siglo XIX (1876 - 1880) | Avenidas torrenciales y cambios en el curso del afluente. | Represamiento de materiales, lodo, ramas, piedras y basura en el cauce. | <ul style="list-style-type: none"> • Destrucción y traslado del antiguo poblado de Aná (hoy Robledo). • Pérdidas humanas (7 fallecidos en 1880). | Click or tap here to enter text. |
| Histórica y de Gestión del Riesgo | Siglo XX (1961 - 1993) | Recurrencia de desbordamientos con alta afectación en infraestructura. | Reducción de la capacidad hidráulica por taponamientos con residuos sólidos y alta sedimentación. | <ul style="list-style-type: none"> • Destrucción de viviendas (Blanquiza). • Múltiples víctimas fatales (incluyendo niños) y cientos de damnificados (600 en 1982 y 1988). • Colapso de infraestructura (puentes). | Click or tap here to enter text. |
| Calidad Ambiental e Hídrica | Estudio Técnico (2009) | Deterioro de parámetros fisicoquímicos en el tramo urbano. | Vertimiento directo de residuos domiciliarios y escombros (Punto crítico: "Acopio de Escombros"). | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de carga orgánica (DBOs, DQO) y turbiedad. • Incremento de sólidos suspendidos y sedimentables. • Impacto acumulativo en el río Medellín y embalses (Porce). | Click or tap here to enter text. |
| Salud Pública y Saneamiento | Transversal | Deterioro de condiciones sanitarias en zonas ribereñas. | Acumulación de residuos que favorecen focos de contaminación. | <ul style="list-style-type: none"> • Proliferación de vectores. • Aumento en la incidencia de enfermedades digestivas y respiratorias en la población asentada. | Click or tap here to enter text. |
| Socio-Territorial y Amenaza Reciente | Contemporáneo (2022) | Crecientes súbitas recurrentes (4 eventos en < 2 meses) y emergencias en El Pesebre y Blanquiza. | Cultura de disposición directa: Viviendas en el borde ("abrir la puerta para desechar residuos") y desvíos antrópicos. | <ul style="list-style-type: none"> • Evacuación preventiva de familias y activación de alarmas (DAGR). • Daño estructural a viviendas en la ribera. • Persistencia de la vulnerabilidad por ocupación del cauce. | Click or tap here to enter text. |

El análisis de la evidencia histórica y técnica revela una sinergia negativa entre la ocupación informal del suelo y el deterioro sanitario de la fuente hídrica. En sectores críticos como El Pesebre y Blanquizal, la morfología urbana, donde las viviendas dan la espalda a la quebrada, ha naturalizado la práctica de disposición directa de residuos al cauce, convirtiendo al cuerpo de agua en un sistema de transporte de desechos. Esta dinámica genera un doble impacto: por un lado, incrementa las cargas contaminantes (aumento de DBO₅, DQO y sólidos suspendidos), comprometiendo la calidad del agua y la salud pública por la proliferación de vectores; y por otro, crea barreras físicas (taponamientos) que, ante eventos de precipitación intensa, detonan avenidas torrenciales y crecientes súbitas. Así, la basura deja de ser solo un problema de saneamiento para convertirse en el principal driver de amenaza hidrológica en la zona urbana, cerrando un ciclo de degradación donde la población generadora es, paradójicamente, la más expuesta a las consecuencias del represamiento.

Figura 5. Recopilatorio de imágenes cotidianas en épocas húmedas para el tramo medio de la quebrada.
Adaptado de *El Colombiano*, n.d.; *INFOBAE*, n.d.



La persistencia de emergencias recientes, como las registradas en 2022, evidencia que mientras no se resuelva la interfaz conflictiva entre los asentamientos de borde y el cauce, y no se implementen estrategias de cultura ciudadana y recolección diferenciada adaptadas a la topografía de ladera (Tramos 3 y 4), la quebrada continuará funcionando como un vertedero activo. Por tanto, la gestión integral de residuos debe articularse imperativamente con los instrumentos de planificación territorial y gestión del riesgo, priorizando la recuperación de la franja de retiro y la formalización del servicio en los puntos críticos identificados.

Proyectos ambientales identificados en la zona de estudio

La revisión de proyectos en la zona de estudio evidencia una oferta institucional heterogénea y fragmentada. Mientras que en la zona rural y en las comunas planas (11 y 12) existen procesos consolidados y operados por grandes actores como EMVARIAS, en las zonas de ladera de alta densidad las iniciativas tienden a ser de carácter piloto o comunitario, enfrentando problemas de sostenibilidad en el tiempo.

Tabla 8. Matriz de proyectos ambientales identificados en la zona de estudio. Adaptado de Click or tap here to enter text.

| Nombre del Proyecto / Estrategia | Ubicación / Cobertura | Entidad Responsable | Descripción y Alcance | Estado Actual / Observaciones Críticas |
|--|--|---|---|---|
| Fortalecimiento PRAE y Dimensión Ambiental | Transversa 1 (Énfasis en Comuna 7 - Robledo) | Secretaría de Educación / Municipio de Medellín | Integración de la gestión del riesgo y residuos sólidos en los Proyectos Ambientales Escolares. Incluyó diagnóstico en 180 instituciones y capacitación de líderes ambientales. | Línea Base (2010-2015): Se consolidó como antecedente del PGIRS actual. En Robledo tuvo énfasis en la quebrada Mal Paso, sirviendo de modelo pedagógico. |
| Puntos Naranja | Comuna 11 y Comuna 12 | EMVARIAS | Instalación de mobiliario urbano (acopio) para la recepción exclusiva de residuos reciclables, fomentando la separación en la fuente y la cultura ciudadana. | Operativo: Estrategia vigente para aumentar la tasa de aprovechamiento en zonas de alto flujo peatonal y comercial. |
| Centro de Acopio Temporal de Escombros (CATE) La Iguaná | Comuna 11 (Margen de la quebrada) | SINESCO (Convenio EMVARIAS) | Sitio de recepción de RCD (11.000 - 12.000 m ³ /mes). Incluye separación de madera y chatarra con inclusión de recicladores (15-20 personas). | Conflictos Territoriales: Aunque operativo y funcional, su ubicación en la franja de retiro de la quebrada (zona de riesgo según POT) exige su reubicación, planteando un reto logístico para la ciudad. |
| Aprovechamiento de Residuos de Poda (Vegetales) | Corregimiento San Cristóbal | EMVARIAS | Recepción y transformación de residuos de corte de césped y poda para la producción de abono e insumos agrícolas. | Economía Circular: Estrategia clave para cerrar el ciclo de la materia orgánica en la zona rural de la microcuenca, evitando que estos residuos lleguen al relleno. |
| Aplicación Móvil PIRSA (Piloto) | Comuna 13 - San Javier | Iniciativa Local / Comunitaria | Plataforma digital para conectar generadores de residuos orgánicos con recolectores para compostaje barrial. Logró desviar 4,5 toneladas en fase inicial. | Discontinuo / Incierto: Actualmente no disponible en tiendas de aplicaciones. Evidencia la fragilidad de las iniciativas tecnológicas comunitarias si no cuentan con soporte institucional a largo plazo. |

Un punto crítico identificado es el conflicto de uso del suelo del CATE (Centro de Almacenamiento Temporal de Residuos Sólidos), la infraestructura más importante para evitar el arrojo de escombros al cauce se encuentra ubicada dentro de la zona de riesgo de la misma quebrada.

Revisión de proyectos del PGIRS al año 2024 y adaptación del mismo a la microcuenca La Iguaná

Si bien el PGIRS de Medellín establece los lineamientos macro para la gestión de residuos, su aplicación efectiva en la microcuenca La Iguaná requiere una adaptación territorial que reconozca la heterogeneidad de la zona. La estrategia de 'café para todos' no es viable en un territorio donde conviven la autoconstrucción informal de Robledo con las dinámicas de remodelación de estrato alto en Laureles, o donde la logística rural de San Cristóbal difiere radicalmente de la trama urbana densa. Por tanto, se proponen ajustes específicos orientados a descentralizar la vigilancia, tecnificar el aprovechamiento según el flujo de materiales y empoderar a los actores locales (recicladores y líderes) como gestores del cambio.

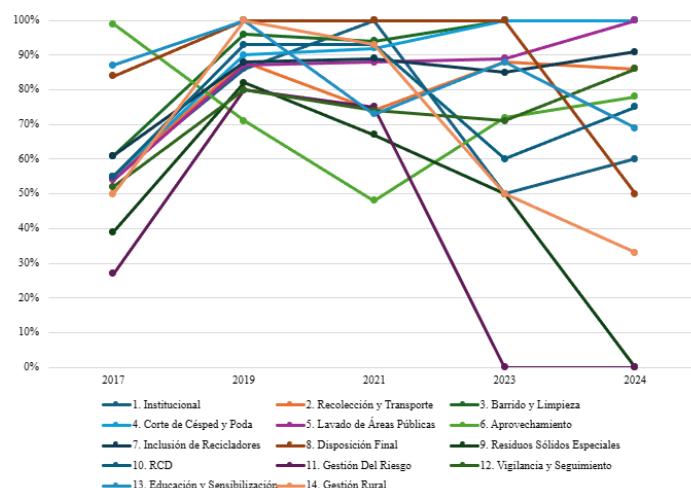
Tabla 9. Matriz de adaptación y ajuste de programas del PGIRS (2016 – 2027) a las dinámicas territoriales de la microcuenca La Iguaná. Adaptado de Alcaldía de Medellín et al., 2015.

| Programa PGIRS Base | Objetivo General (Nivel Municipal) | Contexto Específico en la Microcuenca | Estrategia de Adaptación y Focalización Territorial Propuesta |
|--|---|---|--|
| Vigilancia, control y medidas coercitivas | Garantizar cumplimiento normativo y aplicar sanciones (comparendos) por disposición inadecuada. | <ul style="list-style-type: none"> Debilidad institucional en zona rural. Puntos críticos recurrentes en barrios de borde. Diferencias en cultura ciudadana. | Barrios Críticos (El Pesebre / Juan XXIII): Instalación de cámaras de vigilancia y sistemas de monitoreo comunitario en puntos de arrojo. San Cristóbal: Capacitación en control ambiental a líderes comunitarios (veeduría) ante la baja capacidad de sanción policial. Divulgación Diferenciada: Estrategias digitales en Laureles vs. Educación presencial/barrial en Robledo y San Javier. |
| Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) | Mejorar gestión, infraestructura de disposición y promover economía circular de materiales. | Comunas 7 y 13: Alta tasa de autoconstrucción y arrojo a la quebrada. San Cristóbal: Urbanización dispersa. Comunas 11 y 12: Remodelaciones formales. | Zonas de Autoconstrucción: Creación de brigadas comunitarias de inspección para vigilar obras informales. Zona Rural: Instalación de puntos de acopio transitorio para evitar disposición en lotes baldíos/cauce. Zona Formal (Laureles): Pilotos de tecnologías de separación en la fuente y aprovechamiento de materiales (concreto/madera) con gestores privados. |
| Inclusión de Recicladores | Formalización, capacitación y mejora de condiciones laborales de la | Rol vital de los recicladores en la recuperación de materiales en la zona media y baja, | Comunas 11 y 12: Fortalecimiento de la separación en la fuente para mejorar la calidad del material entregado. Comunas 7 y 13: Formalización y adecuación técnica de bodegas y puntos de acopio (ECA). |

| | | | |
|------------------------|--|--|---|
| | población recicladora. | pero bajo condiciones precarias e informales. | San Cristóbal: Vinculación de recicladores a proyectos de compostaje comunitario para diversificar ingresos. |
| Aprovechamiento | Fortalecer la reutilización y valorización de residuos como oportunidad económica. | Necesidad de circuitos locales de economía circular diferenciados por tipología de residuo predominante. | Urbano: Optimización de rutas de recolección selectiva y acopio barrial. Rural: Énfasis en el cierre del ciclo de materia orgánica mediante compostaje y uso agrícola, reduciendo el transporte de residuos húmedos hacia la ciudad. |

Por otra parte el seguimiento a la ejecución del PGIRS de Medellín al corte del año 2024 revela un desempeño institucional heterogéneo, caracterizado por un cumplimiento anual variable que osciló desde un 89% en 2019 hasta estabilizarse en un 77% en la última vigencia. Si bien el componente operativo urbano mantiene altos estándares de eficacia, persisten rezagos estructurales críticos en líneas estratégicas como la Gestión de Residuos Especiales y la Gestión del Riesgo. Para el caso de estudio, se evidencia una brecha significativa en la atención a la ruralidad, donde el Programa de Gestión en el Área Rural apenas alcanzó un 33% de ejecución, lo que denota un sesgo en la inversión pública que prioriza la matriz urbana consolidada en detrimento de los corregimientos y zonas de borde.

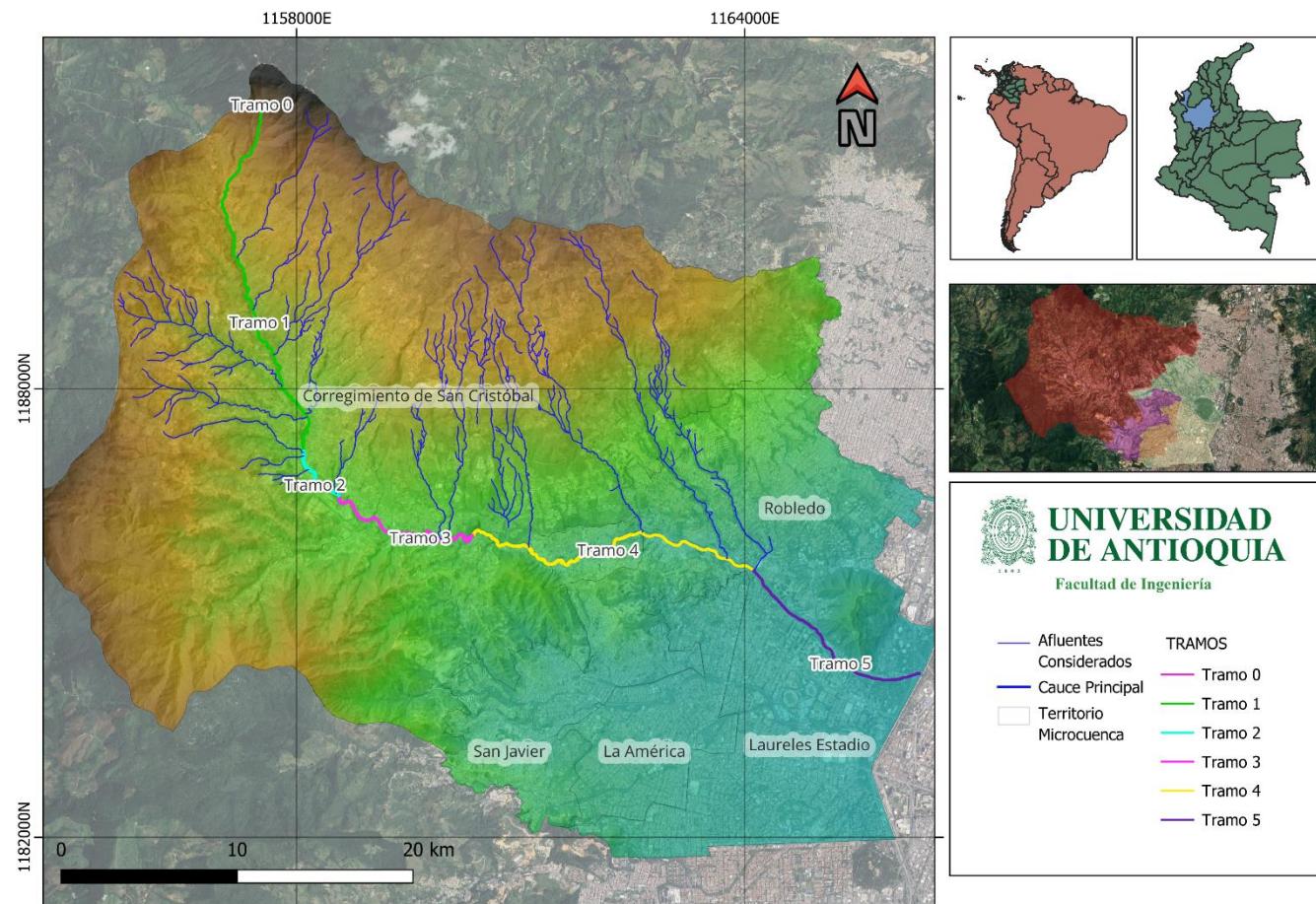
Figura 6. Porcentaje de cumplimiento desde la elaboración del PGIRS en 2015 con un intervalo de dos años. Adaptado de Alcaldía de Medellín et al., 2015.



Particularmente en la microcuenca La Iguaná durante 2024, la gestión se centró en estrategias de mitigación y control de puntos críticos. Mientras en la zona plana (Comuna 11 y Comuna 12) fortalecieron la fiscalización urbana, en las laderas de Robledo y San Javier (Comunas 7 y 13) los esfuerzos se limitaron a campañas educativas y caracterización de arrojos clandestinos.

Módulo de aguas

Figura 7. Mapa de la quebrada con los tramos y afluentes definidos.



Usuarios actuales del recurso hídrico y consolidación de la información

Tabla 10. Zonificación de tramos y usos actuales identificados en la Quebrada la Iguaná

| Tramo | Longitud / Punto de Quiebre | Usos Potenciales Identificados | Características de Ordenamiento |
|------------------------------|--|--|--|
| Tramo 0 (0,20 km) | Primeros 200 metros del nacimiento. | Preservación de Fauna y Flora | Zona de conservación estricta y protección del recurso hídrico en la parte alta. |
| Tramo 1 (6,00 km) | Inicia después del Tramo 0. | 1. Agrícola (múltiples captaciones) 2. Consumo Humano y Doméstico (por desinfección en dos estaciones) 3. Preservación de Fauna y Flora 4. Recreativo: Contacto Primario (múltiples puntos) | Se prioriza la calidad ambiental, el uso agrícola, y se proyectan usos de alta exigencia: Consumo Humano y Doméstico (Solo Desinfección) y Recreativo (Contacto Primario). |
| Tramo 2 (1,00 km) | Inicia por la introducción de vertimientos. | 1. Uso Industrial 2. Recepción de Vertimientos (ARnD) | Se integran los primeros vertimientos, sirviendo como punto de transición a la zona más intervenida. |
| Tramo 3 (2,50 km) | Inicia por la entrada a zona de alta vulnerabilidad y presión. | 1. Uso Industrial 2. Recepción de Vertimientos (ARD) | Zona de alta presión por la vulnerabilidad y la concentración de fuentes de contaminación. |
| Tramo 4 (4,60 km) | Inicia por la entrada de múltiples vertimientos y afluentes que cambian el caudal. | Uso Articulado al PORH del Río Aburrá – Conservación de Fauna y Flora | Tramo de alta mezcla y alto riesgo, donde el caudal y la carga contaminante son significativamente alterados. |
| Tramo 5 (3,00 km) | Inicia en el punto de canalización de la quebrada hasta la desembocadura en el Río Medellín. | Uso Articulado al PORH del Río Aburrá – Conservación de Fauna y Flora | Zona final fuertemente intervenida por obras civiles y vertimiento final al cuerpo receptor principal. |

Tabla 11. Criterios de calidad según normativa y fuentes secundarias (Se empleó como punto de partida para determinar los criterios nuevos al cruzarlos con los monitoreos).

| Parámetros / Unidades | | Consumo humano y doméstico | | Recreativo | | Preservación Fauna y Flora | Agrícola | Pecuario | Industrial | Vertimientos | |
|-----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------------------|----------|----------|------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | | Tratamiento convencional | Desinfección | Contacto Primario | Contacto Secundario | | | | | Aguas Residuales Domésticas | Aguas residuales no domésticas |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | ≥5.0 | ≥5.0 | ≥5.0 | ≥4.0 | ≥5.0 | ≥4.0 | ≥4.0 | ≥2.0 | ≥2.0 | ≥2.0 |
| Sólidos Suspensidos Totales | mg/L | ≤25.0 | ≤25.0 | ≤30.0 | ≤50.0 | ≤25.0 | ≤100.0 | ≤100.0 | ≤200.0 | 100.0 | 90.0 |
| DQO | mg/L | ≤15.0 | ≤15.0 | ≤20.0 | ≤30.0 | ≤20.0 | ≤75.0 | ≤75.0 | ≤150.0 | 200.0 | 180.0 |
| Conductividad Eléctrica | µS/cm | ≤1000.0 | ≤1000.0 | ≤1500.0 | ≤2000.0 | ≤1000.0 | ≤3000.0 | ≤3000.0 | ≤5000.0 | ≤2000.0 | ≤2000.0 |
| Ph | unidades pH | 5.0–9.0 | 6.5–8.5 | 5.0–9.0 | 5.0–9.0 | 4.5–9.0 | 4.5–9.0 | 4.5–9.0 | 4.0–9.0 | 6.0 - 9.0 | 6.0 - 9.0 |
| Nitrógeno Total | mg/L | ≤12.0 | ≤12.0 | ≤10.0 | ≤10.0 | ≤5.0 | ≤20.0 | ≤20.0 | ≤30.0 | ≤50.0 | ≤100.0 |
| Fosforo Total | mg/L | ≤0.1 | ≤0.1 | ≤0.2 | ≤0.3 | ≤0.05 | ≤1.0 | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤10.0 | ≤8.0 |
| Coliformes fecales | microorganismos/mL | ≤20.0 | ≤20.0 | ≤2.0 | ≤10.0 | ≤50.0 | ≤100.0 | ≤100.0 | ≤100.0 | ≤5.0 | ≤10.0 |
| Coliformes totales | microorganismos/mL | ≤200.0 | ≤200.0 | ≤10.0 | ≤10.0 | ≤50.0 | ≤500.0 | ≤500.0 | ≤500.0 | ≤50.0 | ≤50.0 |

| | |
|---------|---|
| Fuentes | (Cornare, n.d.; DECRETO 1076 DE 2015, n.d.-a; DECRETO 1077 DE 2015, n.d.; Ley 388 de 1997, n.d.; Nitrogen and Phosphorus in Rivers and Streams, n.d.; República de Colombia Promedio de Nitrógeno Total (PNT) (Hoja Metodológica Versión 1,2), n.d.; Resolución 2115 de 2007 - Lineamientos Calidad Del Agua Potable Colombia Household Water Treatment and Safe Storage Knowledge Base, n.d.; Water for Sustainable Food and Agriculture A Report Produced for the G20 Presidency of Germany, n.d.; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, n.d.; Municipio et al., n.d.; Sonneveld et al., n.d.; World Health Organisation, 2021) |
|---------|---|

Conflictos por usos del agua

Tabla 12. Conflictos por usos del agua

| | TRAMO | USO ACTUAL | CONFLICTO |
|-----------|--------------|--|---|
| LA IGUANÁ | 0 | (1) Preservación de fauna y flora | Tramo establecido únicamente para preservación de fauna y flora. |
| | 1 | (1) Conservación de fauna y flora (2) Agrícola (3) Recreativo primario (4) Consumo humano y doméstico (5) Pecuario | Se evidencia áreas agrícolas y pastos en ladera, con erosión y escorrentía superficial donde el fósforo presenta niveles que sobrepasan el criterio de calidad en algunas ocasiones para los usos de conservación de fauna y flora, esto puede deberse a usos de fertilizantes y estércoles en pequeñas parcelas rurales; también la escorrentía pluvial en épocas lluviosas arrastra material particulado, lo que eleva la turbidez y afecta los usos recreativos |
| | 2 | (1) Recepción de vertimientos (2) Industrial | Según usos actuales y los monitoreos no hay conflictos en los criterios establecidos. |
| | 3 | (1) Recepción de vertimientos (2) Industrial (3) Recepción de vertimientos domésticos | Sólidos suspendidos totales presenta valores por encima del criterio establecido, esto puede deberse a descargas pluviales que transportan escombros, sedimentos y residuos domésticos hacia la quebrada |
| | 4 | (1) Recepción de vertimientos (2) Recepción de vertimientos domésticos | De acuerdo con los monitoreos, el parámetro de sólidos suspendidos totales presenta valores por encima del criterio, esto debido a que afluentes urbanos, aportan altos volúmenes de aguas domésticas y lodos, también la canalización incrementa la velocidad del flujo y remueve sedimentos del fondo lo que eleva los SST aguas abajo |
| | 5 | (1) Recepción de vertimientos domésticos | |

Perfiles

En la información anteriormente presentada, se dividió la quebrada La Iguana en cinco tramos con el propósito de analizar de forma más detallada las variaciones en la calidad del agua a lo largo de su recorrido. Sin embargo, al momento de buscar datos de referencia, no fue posible encontrar registros organizados bajo esta misma división. En la página del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, dentro del apartado *Red Quebradas*, se identificó un archivo en formato Excel con información de monitoreo correspondiente a esta quebrada, estructurada únicamente en tres tramos: parte alta, media y baja.

A partir de dicha información disponible, se elaboraron los perfiles de calidad del agua que se presentarán a continuación. También es importante mencionar que, durante la revisión de los resultados del monitoreo, se identificaron valores atípicos en varios parámetros correspondientes a la medición del 29 de junio de 2022 en la parte media de la quebrada La Iguana.

Estos resultados presentan diferencias significativas respecto a los demás registros obtenidos en las demás fechas y estaciones de muestreo. Si bien dichas variaciones podrían estar asociadas a posibles errores de muestreo, procesamiento o digitación de datos, también se considera la posibilidad de que los valores reflejen condiciones excepcionales del sistema hídrico, ya que en la quebrada La Iguana, durante temporadas de lluvias intensas, pueden ocurrir crecientes súbitas e inundaciones que alteran la calidad del agua y la concentración de diversos parámetros. No obstante, para mantener la coherencia y la comparabilidad de la información empleada en el análisis de tendencias y perfiles de calidad, los datos de esta fecha no serán tenidos en cuenta en los cálculos ni en la interpretación de resultados.

Tabla 13. *Dinámica espacial, interpretación sanitaria y evaluación normativa de parámetros fisicoquímicos indicadores de calidad hídrica en la quebrada La Iguaná*

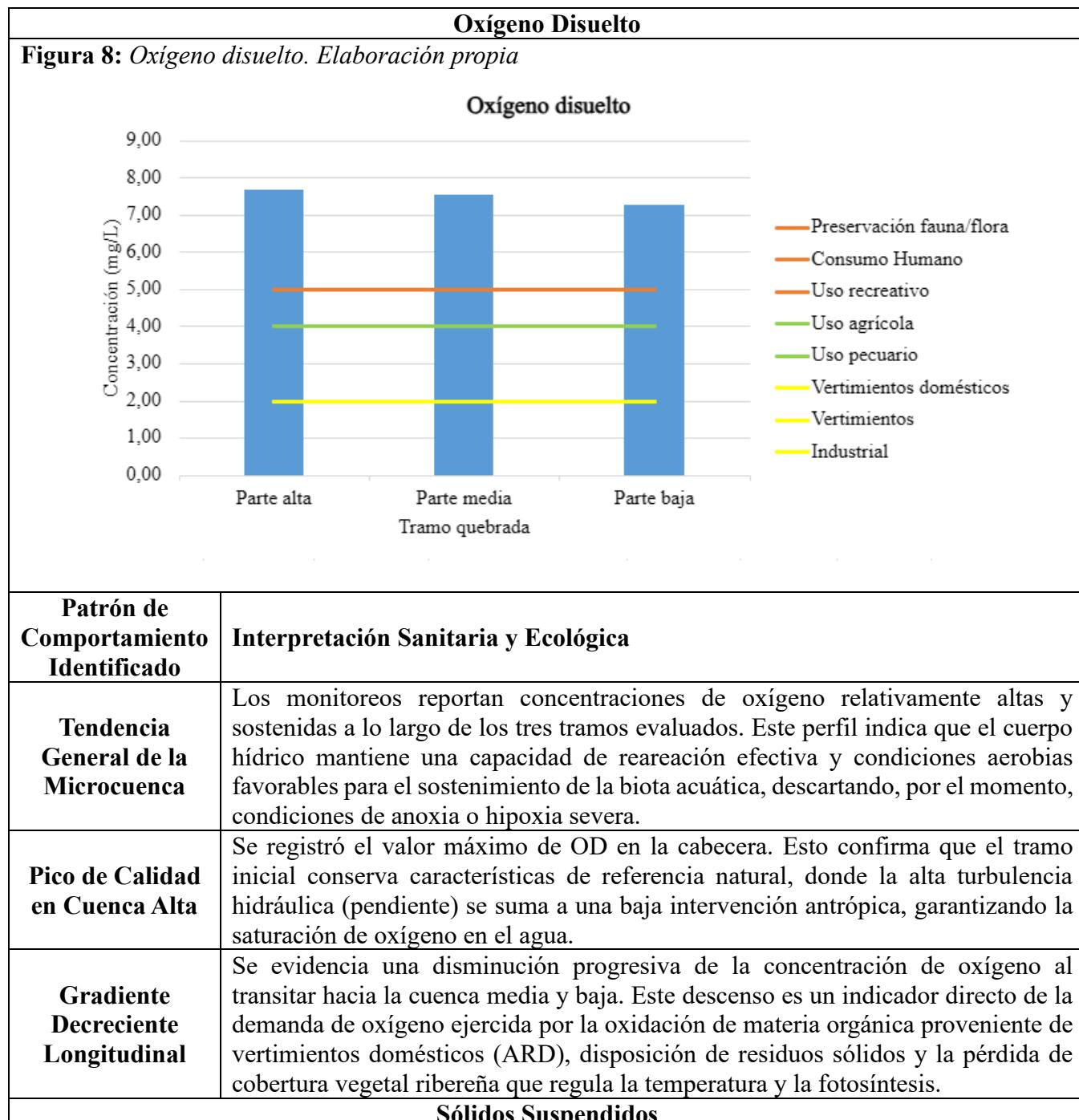
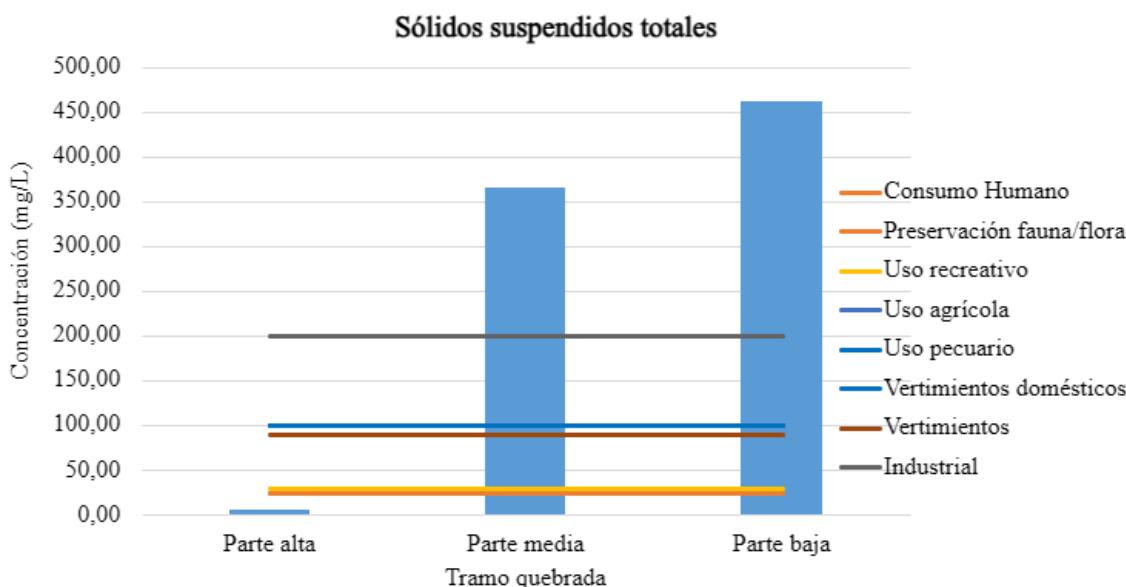
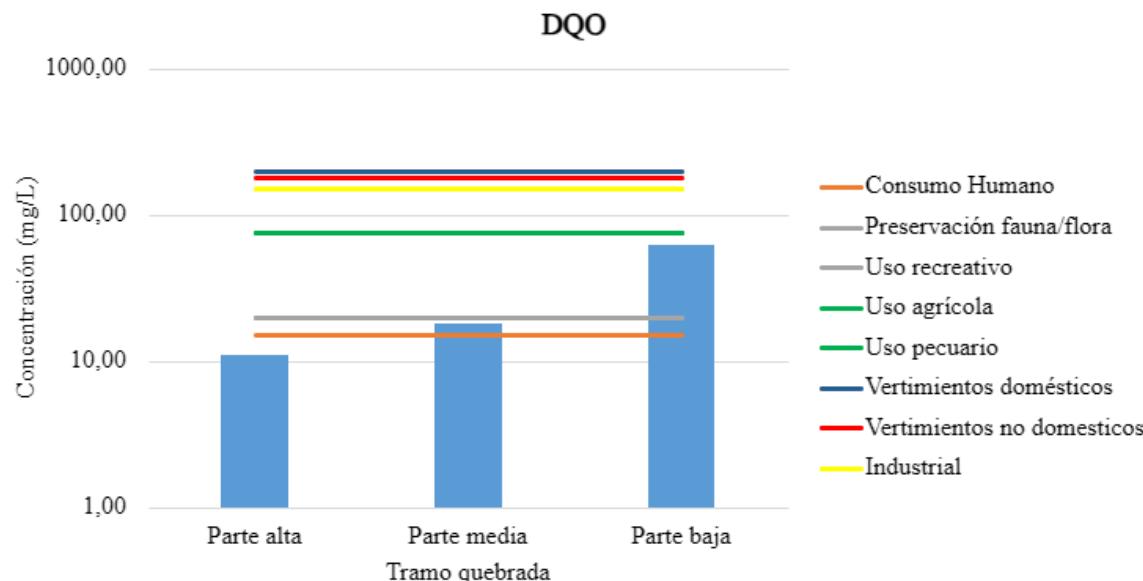


Figura 9: Sólidos suspendidos totales. Elaboración propia.



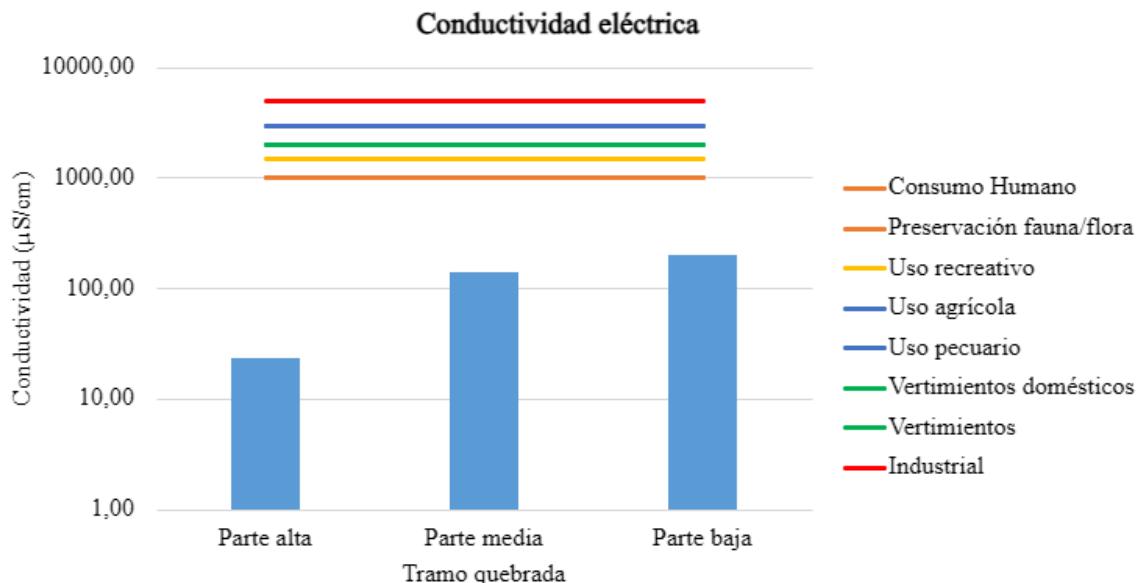
| | |
|---|---|
| Estabilidad en Cuenca Alta | En el tramo superior, las concentraciones de SST se mantienen bajas y estables, evidenciando un régimen hidráulico con baja tasa de transporte de sedimentos. Este comportamiento refleja la integridad de la cobertura vegetal protectora y la ausencia de procesos erosivos severos, garantizando el cumplimiento de los criterios de calidad para los usos potenciales asignados en la cabecera (consumo humano y preservación). |
| Incremento Exponencial en Tramos Urbanos | Se observa una ruptura del equilibrio natural al ingresar a los tramos medio y bajo, donde la carga de sólidos aumenta considerablemente. Este gradiente ascendente es indicativo de la presión antrópica acumulativa: la quebrada pasa de ser un cuerpo receptor a un sistema de transporte de residuos sólidos y sedimentos, alcanzando picos máximos en la desembocadura. |
| Causas y Restricción de Usos | El deterioro en la calidad física del agua se atribuye a una sinergia de factores: erosión laminar en laderas desprotegidas, aporte de escorrentía superficial urbana (lavado de calles) y vertimientos directos. Como consecuencia, los valores registrados en la zona baja exceden los límites máximos permisibles, restringiendo severamente la aptitud del recurso para usos agrícolas o recreativos. |
| Demandा Química de Oxígeno | |

Figura 10: Demanda química de oxígeno (DQO). Elaboración propia



| | |
|---|---|
| Gradiente Longitudinal de Carga Orgánica | Se evidencia un aumento progresivo y sostenido de la DQO desde la cuenca alta hacia la desembocadura. Este parámetro actúa como un indicador trazador de la carga contaminante total (biodegradable y no biodegradable), confirmando que el cuerpo hídrico pierde paulatinamente su calidad química a medida que atraviesa la matriz urbana. |
| Conformidad en Tramos Iniciales | En la cabecera y tramos rurales, las concentraciones se mantienen dentro de los rangos aceptables de la normativa vigente. Esto sugiere que el recurso hídrico aún conserva condiciones químicas estables y una baja presencia de compuestos oxidables, siendo compatible con la mayoría de los usos potenciales asignados en el ordenamiento. |
| Deterioro Crítico en Cuenca Baja | Al ingresar a la zona urbana densa, los valores de DQO se elevan drásticamente, excediendo los límites permisibles para los usos consumtivos y de preservación. Este incremento se atribuye a la sinergia de vertimientos directos (aguas residuales sin tratamiento y descargas industriales) y al aporte difuso por escorrentía superficial que arrastra lixiviados de residuos sólidos, generando una alta demanda de oxígeno para procesos de oxidación química que estresa el ecosistema acuático. |
| Conductividad Eléctrica | |
| | |

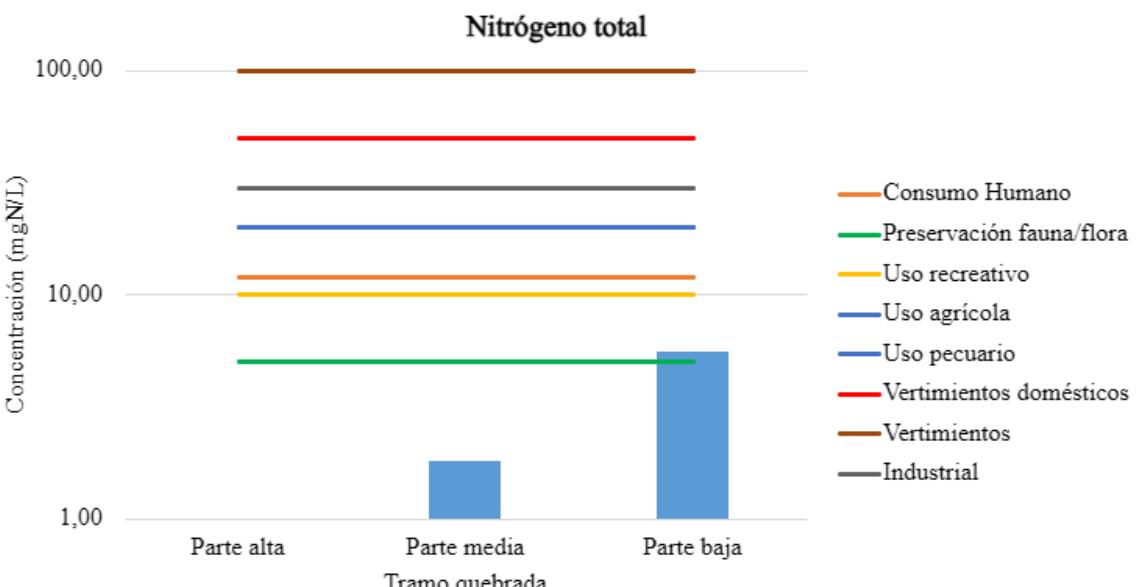
Figura 11: Conductividad eléctrica. Elaboración propia.



En la quebrada La Iguana se evidencia un incremento gradual de la conductividad eléctrica desde la parte alta hacia la parte baja, lo que refleja una mayor presencia de sales disueltas y sustancias ionizadas en el agua. A medida que el cauce avanza hacia los tramos medio y bajo, la conductividad aumenta de forma notoria, aunque aún sin superar los límites establecidos para los distintos usos del agua de la quebrada.

Nitrógeno Total

Figura 12: Nitrógeno total. Elaboración propia.



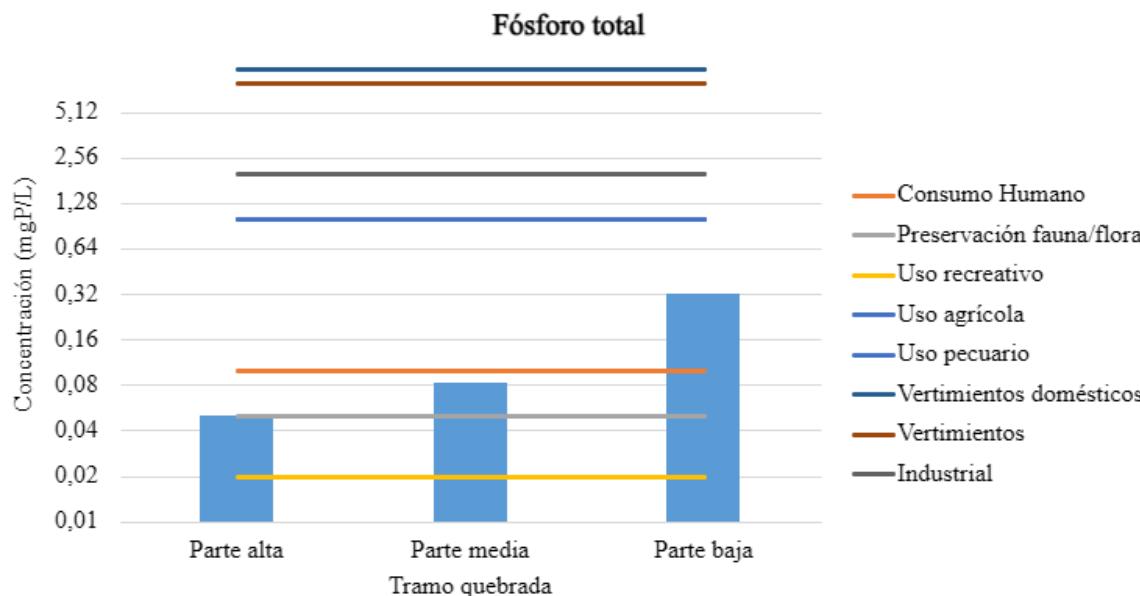
| |
|---|
| Acumulación Longitudinal de Nutrientes |
|---|

Se observa un **incremento progresivo** de la concentración de Nitrógeno Total desde la cabecera hacia la desembocadura. Este gradiente ascendente actúa como un indicador de la carga de nutrientes acumulada, sugiriendo un proceso de

| | |
|--|---|
| | enriquecimiento continuo del agua debido al aporte de materia orgánica y la transformación de compuestos nitrogenados (amonificación y nitrificación) a lo largo del cauce. |
| Asociación con Escorrentía y Vertimientos | El pico de concentración en la cuenca baja se atribuye a la convergencia de dos vectores de contaminación: el lavado de suelos agrícolas (fertilizantes) en la zona media y, predominantemente, la escorrentía urbana y vertimientos domésticos ricos en urea y proteínas. Esto señala una presión antrópica directa sobre el ciclo de nutrientes del cuerpo hídrico. |
| Evaluación de Aptitud de Uso | Pese al aumento de carga, el balance general muestra que el recurso mantiene condiciones compatibles con la mayoría de los usos asignados (agrícola, preservación). La excepción crítica es el consumo humano en el tramo bajo, donde se superan los niveles admisibles; sin embargo, esta restricción no genera un conflicto funcional inmediato, dado que en la zona urbana no existen bocatomas para acueducto ni aprovechamientos potables proyectados. |

Fósforo Total

Figura 13: Fósforo total. Elaboración propia.



| | |
|---|---|
| Incumplimiento en Cabecera (Línea Base Alterada) | Se registra una condición atípica en la cuenca alta, donde las concentraciones iniciales exceden los valores guía para uso recreativo . Esto indica que la quebrada nace o recibe rápidamente una carga significativa de fosfatos, atribuible a la contaminación difusa por escorrentía de suelos agrícolas fertilizados (N-P-K), descargas pecuarias y la erosión natural de suelos ricos en minerales fosfatados, comprometiendo su aptitud para contacto primario desde el inicio. |
| Acumulación Longitudinal Moderada | A diferencia de otros parámetros (como la DQO) que crecen exponencialmente, el Fósforo presenta un incremento leve hacia los tramos medio y bajo. Aunque se incorporan aportes urbanos (detergentes y materia orgánica), la tasa de aumento es gradual, sugiriendo posibles procesos de adsorción de fósforo en los sedimentos o asimilación por biomasa a lo largo del cauce. |

| | |
|---|---|
| Restricciones de Uso Específicas | El perfil de concentración genera conflictos normativos puntuales: restringe el uso recreativo en la zona rural (por riesgo sanitario y estético asociado a nutrientes) y limita el uso industrial en la zona baja. Sin embargo, para la mayoría de los demás usos consuntivos y de preservación, el recurso se mantiene dentro de los rangos de tolerancia, aunque persiste el riesgo latente de eutrofización si el caudal disminuye. |
|---|---|

Criterios de calidad

Los criterios de calidad constituyen el punto de partida técnico para la gestión ambiental del recurso hídrico, ya que permiten evaluar si un cuerpo de agua cumple con las condiciones necesarias para un uso determinado. Según la definición establecida, los criterios de calidad corresponden al conjunto de parámetros y sus valores mediante los cuales se determina si un cuerpo de agua es apto para un uso específico Click or tap here to enter text.. En Colombia, las principales referencias provienen del Decreto 1076 de 2015, la Resolución 631 de 2015, la Resolución 2115 de 2007 y documentos técnicos del IDEAM y el AMVA. Adicionalmente, se emplean guías internacionales de la FAO, la EPA y la OMS, especialmente para usos agrícola, recreativo y de preservación ecológica.

Tabla 14: Criterios de calidad nuevos para el cuerpo de agua priorizado y los afluentes considerados

| Tramo | Uso | Variable | Valor criterio |
|-----------------------------------|--|-----------------------------|----------------|
| Tramo 0 (Conservación) | Preservación de fauna y flora | Oxígeno Disuelto | ≥ 7.0 |
| | | Solidos Suspensidos Totales | ≤ 5.0 |
| | | DQO | ≤ 15.0 |
| | | Conductividad eléctrica | ≤ 200.0 |
| | | pH | 4.5–9.0 |
| | | Nitrógeno Total | ≤ 1.0 |
| | | Fosforo Total | ≤ 0.05 |
| | | Coliformes fecales | ≤ 20.0 |
| | | Coliformes totales | ≤ 20.0 |
| Tramo 1 | (1) Conservación de fauna y flora (2) Agrícola (3) Recreativo primario (4) Consumo humano y doméstico (5) Pecuario | Oxígeno Disuelto | ≥ 7.0 |
| | | Solidos Suspensidos Totales | ≤ 5.0 |
| | | DQO | ≤ 15.0 |
| | | Conductividad eléctrica | ≤ 200.0 |
| | | pH | 5.0–9.0 |
| | | Nitrógeno Total | ≤ 1.0 |
| | | Fosforo Total | ≤ 0.05 |



| | | | |
|----------------|---|-----------------------------|--------------|
| | | Coliformes fecales | ≤ 20.0 |
| | | Coliformes totales | ≤ 20.0 |
| | | Oxígeno Disuelto | ≥ 7.0 |
| | | Solidos Suspensidos Totales | ≤ 500.0 |
| | | DQO | ≤ 65.0 |
| | | Conductividad eléctrica | ≤ 220.0 |
| | | pH | 4.0–9.0 |
| | | Nitrógeno Total | ≤ 6.0 |
| | | Fosforo Total | ≤ 0.5 |
| | | Coliformes fecales | ≤ 20.0 |
| | | Coliformes totales | ≤ 20.0 |
| Tramo 2 | (1) Recepción de vertimientos (2) Industrial | Oxígeno Disuelto | ≥ 7.0 |
| | | Solidos Suspensidos Totales | ≤ 500.0 |
| | | DQO | ≤ 65.0 |
| | | Conductividad eléctrica | ≤ 220.0 |
| | | pH | 4.0–9.0 |
| | | Nitrógeno Total | ≤ 6.0 |
| | | Fosforo Total | ≤ 0.5 |
| | | Coliformes fecales | ≤ 20.0 |
| | | Coliformes totales | ≤ 20.0 |
| | | Oxígeno Disuelto | ≥ 7.0 |
| Tramo 3 | (1) Recepción de vertimientos (2) Industrial (3) Recepción de vertimientos domésticos | Solidos Suspensidos Totales | ≤ 500.0 |
| | | DQO | ≤ 65.0 |
| | | Conductividad eléctrica | ≤ 220.0 |
| | | pH | 4.0–9.0 |
| | | Nitrógeno Total | ≤ 6.0 |
| | | Fosforo Total | ≤ 0.5 |
| | | Coliformes fecales | ≤ 20.0 |
| | | Coliformes totales | ≤ 20.0 |
| | | Oxígeno Disuelto | ≥ 7.0 |
| | | Solidos Suspensidos Totales | ≤ 500.0 |
| Tramo 4 | (1) Recepción de vertimientos (2) Recepción de vertimientos domésticos | DQO | ≤ 65.0 |
| | | Conductividad eléctrica | ≤ 200.0 |
| | | pH | 6.0 - 9.0 |
| | | Nitrógeno Total | ≤ 6.0 |
| | | Fosforo Total | ≤ 0.5 |
| | | Coliformes fecales | ≤ 10.0 |
| | | Coliformes totales | ≤ 20.0 |
| | | Oxígeno Disuelto | ≥ 7.0 |
| Tramo 5 | (1) Recepción de vertimientos domésticos | Solidos Suspensidos Totales | ≤ 500.0 |
| | | DQO | ≤ 65.0 |
| | | Conductividad eléctrica | ≤ 200.0 |
| | | pH | 6.0 - 9.0 |
| | | Nitrógeno Total | ≤ 6.0 |
| | | Fosforo Total | $\leq 0.5.0$ |
| | | Coliformes fecales | ≤ 5.0 |
| | | Coliformes totales | ≤ 20.0 |

Se prioriza el Tratamiento por Desinfección sobre el Tratamiento Convencional, ya que es el estándar de calidad superior que busca el PORH. Al fijar el objetivo en Desinfección, se asegura que la calidad del agua cruda de la quebrada sea tan alta que el acueducto veredal del Tramo 2 (futura concesión en 2026) solo requiera los procesos más sencillos y de menor costo operativo. Esto maximiza la prevención de la contaminación y garantiza la sostenibilidad económica de la comunidad, evitando el requisito de construir una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de alta complejidad (Convencional).

Se excluye el Contacto Secundario debido a que el proyecto impone el uso más restrictivo: Contacto Primario (natación, buceo) en el Tramo 1 a partir de 2026. Este uso exige los criterios de calidad microbiológica más estrictos (p. ej., Coliformes Fecales muy bajos). De acuerdo con la Resolución 751 de 2018, el Objetivo de Calidad debe regirse por el uso más restrictivo. Al planificar para el Contacto Primario, se garantiza automáticamente que el agua es apta para el Contacto Secundario, haciendo que esta última categoría sea innecesaria y redundante en el establecimiento de los objetivos.

Los valores de Coliformes Fecales y Totales propuestos se basan en el principio de planificación del PORH de priorizar los usos más restrictivos para la Quebrada La Iguaná y garantizar la salud pública y el saneamiento ambiental. Se adopta el criterio más riguroso de microorganismos de Coliformes Fecales para el Uso Recreativo de Contacto Primario ya que este es el estándar legal más estricto para proteger la salud humana. Para el Consumo Humano, se aplica un objetivo para el agua cruda, buscando una calidad que permita a la Asociación de Acueducto Veredal del Tramo 2 operar únicamente con Desinfección, lo cual asegura la sostenibilidad económica del usuario y obliga al control estricto de los vertimientos para reducir la carga microbiológica en toda la microcuenca.

Usos potenciales

Los usos potenciales del agua representan actividades que un cuerpo hídrico podría soportar a futuro, esto de acuerdo con su estado actual de calidad, su dinámica ambiental y las acciones de manejo propuestas, esto permite establecer las metas de calidad y escenarios de aprovechamiento sostenible para el cuerpo de agua. En el caso de la quebrada La Iguana, los usos potenciales fueron determinados a partir de la evaluación fisicoquímica y ecológica, el análisis de los conflictos y la zonificación por tramos.

Para cada tramo se determinaron los usos potenciales en tres horizontes de planificación, corto (3años), mediano (5 años) largo plazo (10años), así tomando como referencia resultados del diagnóstico de la calidad del agua, las condiciones de presión antrópica y proyecciones de mejora ambiental. Estos usos se priorizan garantizando que la planificación contribuya tanto a la protección de los ecosistemas acuáticos como al bienestar de las comunidades alrededor del recurso hídrico.

- 1) Consumo humano y doméstico.
 1. Tratamiento convencional.
 2. Solo desinfección.
- 2) Preservación de flora y fauna (Agua cálida dulce).
- 3) Agrícola.
- 4) Pecuario.
- 5) Industrial.
- 6) Recreativo.
 1. Contacto primario.
 2. Contacto secundario.
- 7) Recepción de vertimientos.
 1. Aguas residuales domésticas (ARD).
 2. Aguas residuales no domésticas

Tabla 15. Usos potenciales del agua

| TRAMO | USO POTENCIAL | CORTO PLAZO (0-3 años) | MEDIANO PLAZO (5 años) | LARGO PLAZO (10 años) | OBSERVACIONES |
|-------|---|------------------------|------------------------|-----------------------|--|
| 0 | Conservación de fauna y flora | 2 | 2 | 2 | Tramo establecido estrictamente para conservación, mantenerlo libre de intervención para proteger la calidad del agua y sus procesos ecológicos, su función es proteger el nacimiento, debe mantenerte libre de intervenciones antrópicas, captaciones o vertimientos |
| 1 | 1.2) Consumo humano y doméstico – solo desinfección 2) Preservación de fauna y flora 3) Agrícola 4) Pecuario 6.1) Recreativo Primario | 1.2,2,3,4 | 1.2,2,3,4,6.1 | 1.2,2,3,4,6.1 | Se prioriza el uso agrícola y de consumo humano, garantizando el cumplimiento de criterios de desinfección, a partir del año 2026 se incorpora el uso recreativo por contacto primario, para esto deben controlarse los aportes de fosforo y coliformes mediante barreras vegetales y la gestión de fertilizantes |
| 2 | 1) Consumo humano y doméstico – solo desinfección 5) Industrial 7.2) Recepción de vertimientos ARnD | 1.2 | 1.2,5 | 1.2,5,7.2 | Desde el año 2026 se hará la concesión de agua para el acueducto veredal y, desde el 2027 el permiso de vertimientos industriales (café soluble). En un corto plazo debe priorizarse el consumo humano, a mediano y largo plazo se debe mantener el equilibrio entre abastecimiento y uso industrial limpio con el tratamiento obligatorio para vertimientos |
| 3 | 5) Industrial 7.1) Recepción de vertimientos ARD | 5,7.1 | 5,7.1,7.2 | 5,7.1,7.2 | Este tramo concentra alta densidad urbana, los SST superan los límites permitidos por lo que se recomienda fortalecer la infraestructura de |

| | | | | | |
|---|--|---------|-----------|-------------|---|
| | 7.2) Recepción de vertimientos ARnD | | | | drenaje y los sistemas de retención de sólidos, también el uso industrial debe tener el cumplimiento estricto de la normativa |
| 4 | 2) Preservación fauna y flora 7.1) Recepción vertimientos ARD 7.2) Recepción de vertimientos ARnD | 7.1 | 7.1,7.2 | 2,7.1,7.2 | El tramo recibe múltiples afluentes con altos valores de SST y DQO, por lo que en corto plazo se mantiene como receptor controlado, mientras se aplican acciones de restauración, a largo plazo se propone convertirlo en un corredor ambiental dentro del sistema ecológico de la cuenca |
| 5 | 2) Preservación de flora y fauna (uso estético) 5) Industrial 7.1.) Recepción de vertimientos ARD 7.2) Recepción de vertimientos ARnD | 7.1,7.2 | 7.1,7.2,5 | 7.1,7.2,5,2 | El tramo final canalizado cumple su función hidráulica, se recomienda incorporar estructuras para el control de sólidos antes del vertimiento al río Medellín, a largo plazo se busca potenciar su valor estético como parte de un corredor hídrico urbano |

Objetivos de calidad

De acuerdo con los lineamientos del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) y el Plan Quebradas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, los principales conflictos asociados a la presencia de sólidos suspendidos se esperan sean mitigados mediante la expansión del sistema de alcantarillado y la formalización de los usuarios que actualmente realizan descargas sin control.

Según la planeación de EPM, la cobertura del sistema de alcantarillado ya alcanza sectores de la parte alta del corregimiento de San Cristóbal, en la vereda La Peña, y se proyecta su ampliación hasta abarcar completamente la microcuenca Click or tap here to enter text..

En los tramos altos del cauce, donde persiste una fuerte interacción comunitaria con el entorno, se busca mantener los criterios de calidad que posibiliten el uso recreativo por contacto primario. Este enfoque reconoce la importancia cultural y social que tiene la quebrada para las comunidades rurales y urbanas que históricamente han hecho uso del recurso como espacio de encuentro, recreación y tradición. La preservación de esta función se concibe no solo como un objetivo ambiental, sino también como un componente de identidad territorial y de cohesión social.

A medida que avanza la implementación del PSMV y se consolidan los procesos de formalización de vertimientos, se proyecta una mejora sustancial en la calidad del agua en los tramos medios y bajos de la quebrada. En consecuencia, se plantea que el uso predominante en estos sectores evolucione hacia la preservación de fauna y flora, fortaleciendo los corredores ecológicos urbanos y rurales Click or tap here to enter text..

Si bien aún existen asentamientos informales y situaciones de vulnerabilidad a lo largo del cauce, el trabajo articulado entre el Área Metropolitana, Corantioquia, EPM y la comunidad

permitirá avanzar en medidas de control, educación ambiental y adecuación de vertimientos mediante sistemas sépticos en la parte alta.

De forma complementaria, se plantea mantener el uso agrícola tradicional en los tramos 1 y 2, dada su relevancia histórica y cultural. Finalmente, los objetivos de calidad propuestos apuntan a conservar los usos de consumo humano (desinfección) en la zona alta y a eliminar progresivamente los usos de vertimiento.

Tabla 16. Objetivos de calidad para el tramo 1.

| TRAMO 1 | Variable | Corto plazo | | Mediano plazo | | Largo plazo | |
|------------------|-----------------------------|-------------|---|---------------|---|-------------|---|
| | | Criterio | Usos | Criterio | Usos | Criterio | Usos |
| Oxígeno Disuelto | Oxígeno Disuelto | ≥7.0 | Consumo humano para desinfección, Recreativo para contacto primario, Agrícola, Pecuario, Conservación fauna y flora | ≥7.0 | Consumo humano para desinfección, Recreativo para contacto primario, Agrícola, Pecuario, Conservación fauna y flora | ≥7.0 | Consumo humano para desinfección, Recreativo para contacto primario, Agrícola, Pecuario, Preservación fauna y flora |
| | Solidos Suspendidos Totales | ≤5.0 | | ≤5.0 | | ≤5.0 | |
| | DQO | ≤15.0 | | ≤15.0 | | ≤15.0 | |
| | Conductividad Eléctrica | ≤200.0 | | ≤200.0 | | ≤200.0 | |
| | Ph | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | |
| | Nitrógeno Total | ≤1.0 | | ≤1.0 | | ≤1.0 | |
| | Fosforo Total | ≤0.05 | | ≤0.05 | | ≤0.05 | |
| | Coliformes fecales | ≤20.0 | | ≤20.0 | | ≤20.0 | |
| | Coliformes totales | ≤20.0 | | ≤20.0 | | ≤20.0 | |

Tabla 17. Objetivos de calidad para el tramo 2.

| TRAMO 2 | Variable | Corto plazo | | Mediano plazo | | Largo plazo | |
|------------------|-----------------------------|-------------|--|---------------|--|-------------|--|
| | | Criterio | Usos | Criterio | Usos | Criterio | Usos |
| OXÍGENO DISUELTO | Oxígeno Disuelto | ≥6.0 | Recepción de vertimientos, Industrial, Agrícola, Consumo humano y doméstico. | ≥6.0 | Recepción de vertimientos, Industrial, Agrícola, Consumo humano y doméstico. | ≥7.0 | Preservación de fauna y flora, Agrícola, Consumo humano y doméstico. |
| | Solidos Suspensidos Totales | ≤50.0 | | ≤50.0 | | ≤5.0 | |
| | DQO | ≤15.0 | | ≤15.0 | | ≤15.0 | |
| | Conductividad Eléctrica | ≤200.0 | | ≤200.0 | | ≤200.0 | |
| | Ph | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | |
| | Nitrógeno Total | ≤1.0 | | ≤1.0 | | ≤1.0 | |
| | Fosforo Total | ≤0.05 | | ≤0.05 | | ≤0.05 | |
| | Coliformes fecales | ≤50.0 | | ≤50.0 | | ≤50.0 | |
| | Coliformes totales | ≤50.0 | | ≤50.0 | | ≤50.0 | |

Tabla 18. Objetivos de calidad para el tramo 3.

| TRAMO 3 | Variable | Corto plazo | | Mediano plazo | | Largo plazo | |
|------------------|-----------------------------|-------------|---|---------------|---------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| | | Criterio | Usos | Criterio | Usos | Criterio | Usos |
| OXÍGENO DISUELTO | Oxígeno Disuelto | ≥6.0 | Recepción de vertimientos, Industrial, Recepción vertimientos domésticos, | ≥6.0 | Recepción de vertimientos, Industrial | ≥7.0 | Preservación de fauna y flora. |
| | Solidos Suspensidos Totales | ≤200.0 | | ≤200.0 | | ≤100.0 | |
| | DQO | ≤15.0 | | ≤15.0 | | ≤15.0 | |
| | Conductividad Eléctrica | ≤200.0 | | ≤200.0 | | ≤200.0 | |
| | Ph | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | |
| | Nitrógeno Total | ≤1.0 | | ≤1.0 | | ≤1.0 | |
| | Fosforo Total | ≤0.05 | | ≤0.05 | | ≤0.05 | |
| | Coliformes fecales | ≤50.0 | | ≤50.0 | | ≤50.0 | |
| | Coliformes totales | ≤50.0 | | ≤50.0 | | ≤50.0 | |

Tabla 19. Objetivos de calidad para el tramo 4.

| TRAMO 4 | Variable | Corto plazo | | Mediano plazo | | Largo plazo | |
|---------|-----------------------------|-------------|---|---------------|---------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| | | Criterio | Usos | Criterio | Usos | Criterio | Usos |
| TRAMO 4 | Oxígeno Disuelto | ≥6.0 | Recepción de vertimientos, Industrial, Recepción vertimientos domésticos, | ≥6.0 | Recepción de vertimientos, Industrial | ≥7.0 | Preservación de fauna y flora. |
| | Solidos Suspendidos Totales | ≤200.0 | | ≤200.0 | | ≤100.0 | |
| | DQO | ≤15.0 | | ≤15.0 | | ≤15.0 | |
| | Conductividad Eléctrica | ≤200.0 | | ≤200.0 | | ≤200.0 | |
| | Ph | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | |
| | Nitrógeno Total | ≤1 .0 | | ≤1.0 | | ≤1.0 | |
| | Fosforo Total | ≤0.05 | | ≤0.05 | | ≤0.05 | |
| | Coliformes fecales | ≤50 .0 | | ≤50.0 | | ≤50.0 | |
| | Coliformes totales | ≤50.0 | | ≤50.0 | | ≤50.0 | |

Tabla 20. Objetivos de calidad para el tramo 5.

| TRAMO 5 | Variable | Corto plazo | | Mediano plazo | | Largo plazo | |
|---------|-----------------------------|-------------|------------------------------------|---------------|------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| | | Criterio | Usos | Criterio | Usos | Criterio | Usos |
| TRAMO 5 | Oxígeno Disuelto | ≥6.0 | Recepción vertimientos domésticos. | 6.0 | Recepción vertimientos domésticos. | ≥7.0 | Preservación de fauna y flora. |
| | Solidos Suspendidos Totales | ≤200.0 | | ≤200.0 | | ≤200.0 | |
| | DQO | ≤15.0 | | ≤15.0 | | ≤15.0 | |
| | Conductividad Eléctrica | ≤200.0 | | ≤200 | | ≤200.0 | |
| | Ph | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | | 5.0–9.0 | |
| | Nitrógeno Total | ≤1.0 | | ≤1.0 | | ≤1.0 | |
| | Fosforo Total | ≤0.05 | | ≤0.05 | | ≤0.05 | |
| | Coliformes fecales | ≤50.0 | | ≤50.0 | | ≤50.0 | |
| | Coliformes totales | ≤50.0 | | ≤50.0 | | ≤50.0 | |

Módulo Aire

Diagnóstico de calidad del aire

Para el análisis de la calidad del aire en la microcuenca de la Quebrada La Iguaná, se evaluaron contaminantes criterios definidos por la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Contaminantes considerados

Tabla 21 Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire (Resolución 2254 de 2017 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, n.d.)

| Contaminante | Nivel máximo Permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Tiempo de Exposición |
|-------------------------|--|----------------------|
| PM₁₀ | 50 | Anual |
| | 75 | 24 horas |
| PM_{2.5} | 25 | Anual |
| | 37 | 24 horas |
| SO₂ | 50 | 24 horas |
| | 100 | 1 hora |
| NO₂ | 60 | Anual |
| | 200 | 1 hora |
| O₃ | 100 | 8 horas |
| CO | 5.000 | 8 horas |
| | 35.000 | 1 hora |

Condiciones actuales del recurso aire, análisis mediante estaciones POECA y Nubes de la red de monitoreo del AMVA.

La red de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, es operada por el Sistema de Alerta Temprana (SIATA). A partir de las estaciones POECA y nubes de la red de ciudadanos científicos del SIATA se hizo una caracterización general de la calidad del aire en la zona de estudio. Las fuentes principales de información corresponden a la estación de monitoreo de Parque Biblioteca Fernando Botero y Parque Biblioteca Tomás Carrasquilla, junto con las nubes 9, 128, 208 y 279.

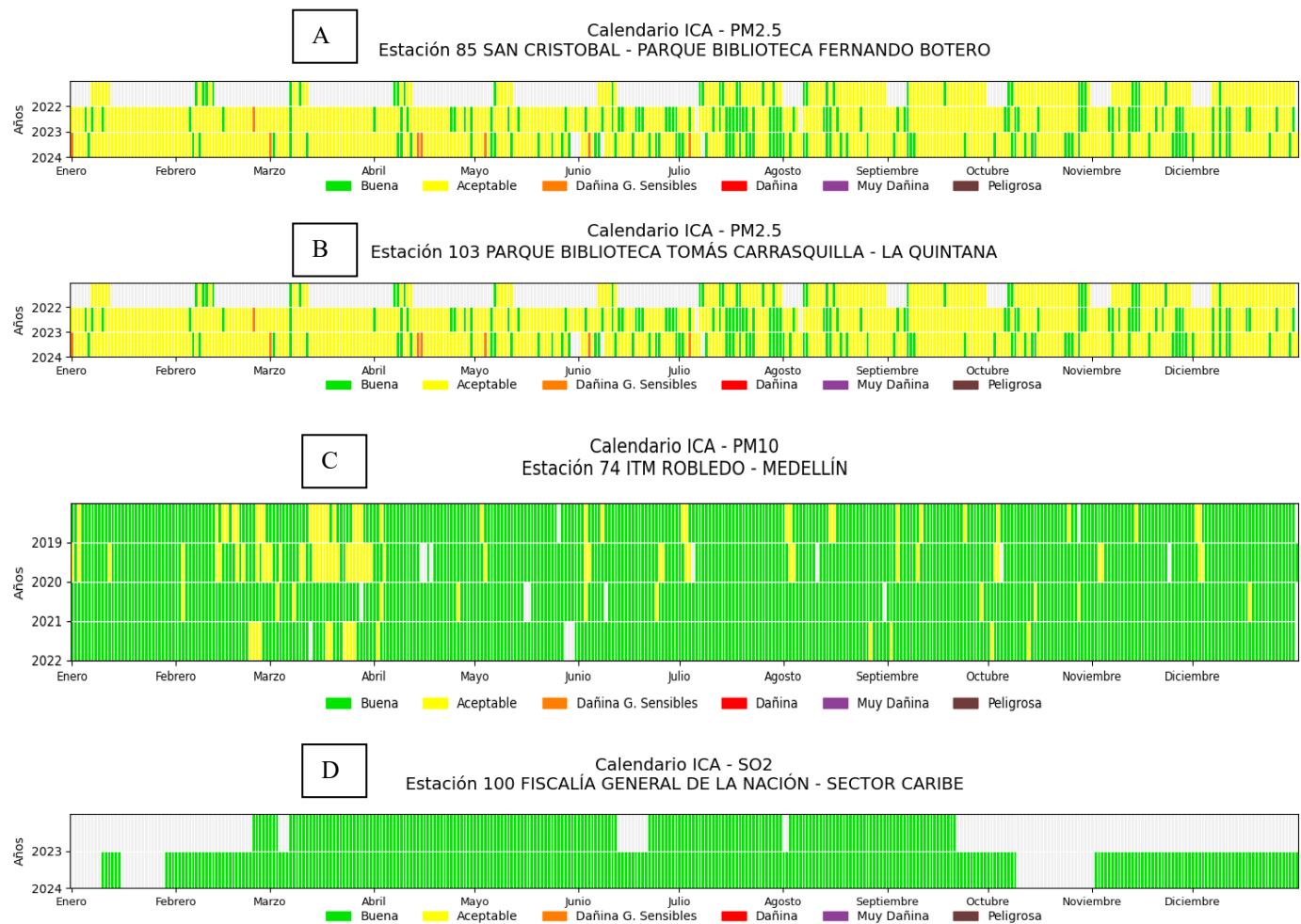
Tabla 22. Georeferenciación de las estaciones, WGS84.

| Nombre | Latitud | Longitud |
|--|----------|-------------|
| Estación 103 - Parque Biblioteca Tomás Carrasquilla | 6.284990 | -75.583050 |
| Estación 85 - Parque Biblioteca Fernando Botero | 6.277850 | -75.636488 |
| Estación 74 – ITM Robledo | 6.274003 | -75.5925751 |

Índice de Calidad del Aire para PM_{2.5} y PM₁₀

La señal más consistente en todo el período es la repetición del fenómeno de deterioro temporal entre enero y marzo, lo que confirma que, para San Cristóbal, los episodios críticos son estacionales, no estructurales. La calidad del aire en la zona se mantiene estable el resto del año, lo que sugiere que los conflictos atmosféricos en la microcuenca están más relacionados con el tráfico intermunicipal y la dinámica del corredor hacia el Occidente que con fuentes locales permanentes.

Figura 14. Índice de Calidad del Aire para las estaciones **A)** Estación 85 P.M_{2.5} (Referencia rural de la zona de estudio) **B)** Estación 103 P.M_{2.5} (Referencia urbana) y **C)** Estación 74 P.M₁₀ Referencia urbana) **D)** Estación 100 SO₂ (Referencia urbana) . Datos obtenidos de SISAIRE. Elaboración propia.



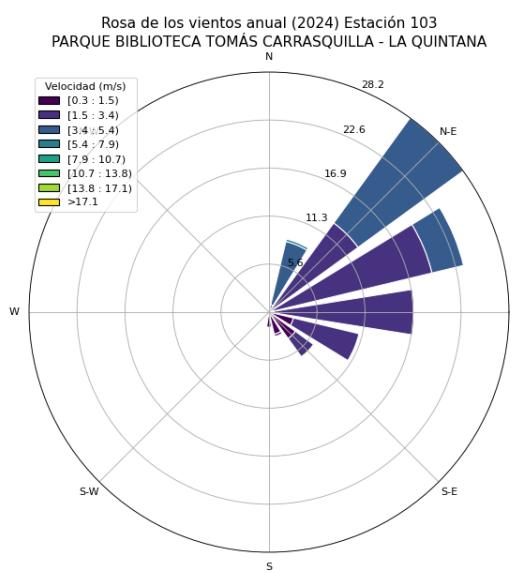
Dada la naturaleza socioambiental de la microcuenca, es pertinente priorizar la gestión del material particulado fino ($P.M_{2.5}$), ya que constituye el contaminante de mayor relevancia sanitaria y el de mayor persistencia en zonas con alta influencia de fuentes móviles y pendientes pronunciadas. La figura 2 evidencia que la estación en San Cristóbal registra de manera recurrente niveles catalogados como “Aceptables” según la metodología local de ICA, los cuales, pese a no activar episodios críticos, superan de forma sistemática los valores guía establecidos por la OMS para la protección de la salud. Esta permanencia en concentraciones elevadas sugiere un riesgo acumulativo para la población residente y una exposición continua que exige intervenciones específicas sobre fuentes de combustión, transporte y resuspensión,

reforzando así la necesidad de orientar los esfuerzos de control y planificación hacia la reducción efectiva del $P.M_{2.5}$.

Análisis de dispersión en zona urbana

La rosa de los vientos evidencia un predominio marcado de direcciones provenientes del nororiente hacia el suroeste, lo que implica que, en condiciones habituales, las masas de aire generadas en el valle urbano tienden a desplazarse hacia los sectores rurales de la parte alta de la microcuenca. Este patrón de transporte atmosférico sugiere que la dispersión de los contaminantes emitidos en la zona urbana no se concentra únicamente en el entorno inmediato de los tramos medios y bajos, sino que asciende hacia San Cristóbal y sus veredas.

Figura NN. Rosa de los vientos para una estación de referencia urbana (Estación 103) dentro la zona de estudio para el año 2024. Datos de SISAIRE. Elaboración propia.



Esta condición podría explicar la acentuación de $P.M_{2.5}$ en las zonas rurales. Debido a dinámicas de canalización del viento en el valle y por la pendiente ascendente que favorece el arrastre de partículas finas.

Análisis contaminantes criterio

Figura 15. Diagnóstico multianual de $P.M_{2.5}$ en la microcuenca La Iguaná: A) Estación 85 (muestra rural, cuenca alta) B) Estación 103 (muestra urbana baja). Se presentan 1. Series temporales mensuales, 2. Ciclos semanales, 3. Perfiles estacionales anuales y 4. Distribuciones diarias, junto a la norma nacional (Resolución 2254/2017). Datos SISAIRE. Elaboración propia.

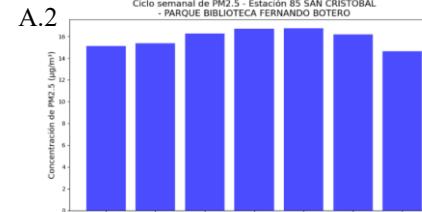
Material particulado *P.M_{2.5}*

A.1 PM2.5 - Estación 85 SAN CRISTOBAL - PARQUE BIBLIOTECA FERNANDO BOTERO

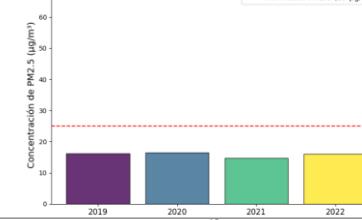


A

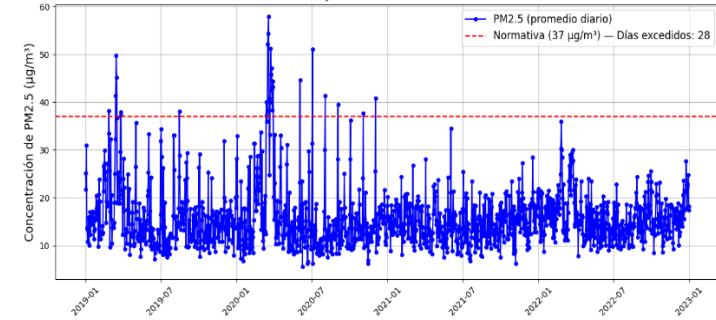
Ciclo semanal de PM2.5 - Estación 85 SAN CRISTOBAL - PARQUE BIBLIOTECA FERNANDO BOTERO



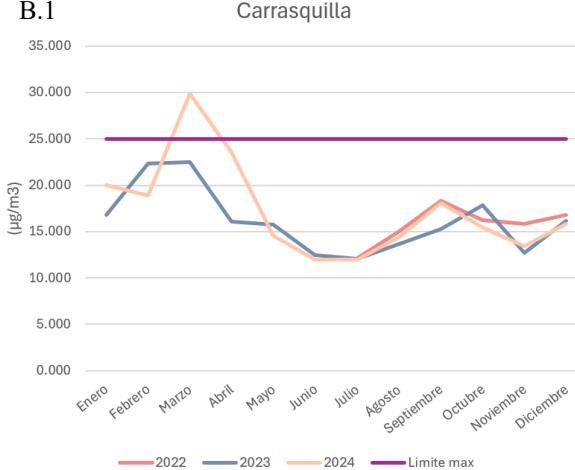
Promedio anual de PM2.5 - Estación 85 SAN CRISTOBAL - PARQUE BIBLIOTECA FERNANDO BOTERO



Promedio diario de PM2.5 - Estación 85 SAN CRISTOBAL - PARQUE BIBLIOTECA FERNANDO BOTERO

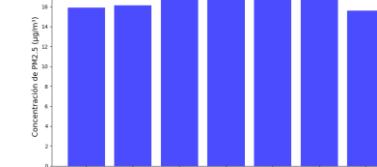


PM 2.5 Estación 103 Parque Biblioteca Tomás Carrasquilla



B

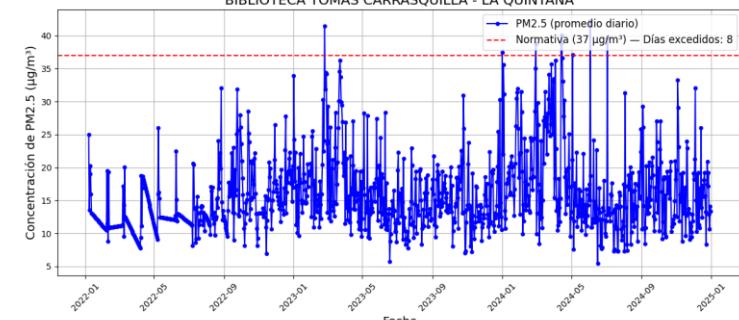
Ciclo semanal de PM2.5 - Estación 103 PARQUE BIBLIOTECA TOMÁS CARRASQUILLA - LA QUINTANA



Promedio anual de PM2.5 - Estación 103 PARQUE BIBLIOTECA TOMÁS CARRASQUILLA - LA QUINTANA



Promedio diario de PM2.5 - Estación 103 PARQUE BIBLIOTECA TOMÁS CARRASQUILLA - LA QUINTANA



El comportamiento del material particulado fino PM_{2.5} evidencia un patrón estacional, con mayores concentraciones durante los primeros meses del año, y una reducción hacia el segundo semestre.

Durante los meses de enero a marzo, se observan los valores más altos, siendo marzo el mes más crítico, especialmente en el año 2020, donde se registra un pico cercano a 40 µg/m³, superando el límite máximo de referencia (25 µg/m³), este incremento puede estar asociado a condiciones atmosféricas desfavorables características de la temporada seca, como baja velocidad en el viento, inversión térmica o escasa precipitación, lo que favorece la acumulación de contaminantes incluso en zonas alejadas del centro urbano.

A partir de abril se presenta una disminución de las concentraciones, donde se mantiene en valores relativamente estables, esto puede deberse a temporada de mayor precipitación, disminuyendo la presencia de partículas suspendidas. Estas condiciones favorecen que el material particulado se deposite por gravedad o arrastre superficial sobre las superficies cercanas, incluyendo la quebrada La Iguana y sus márgenes.

Aunque la estación se ubica en una zona que se considera rural o de menor influencia urbana, los niveles registrados indican que la calidad del aire no está exenta de afectaciones, donde el PM_{2.5} no proviene principalmente de fuentes directas, si no del transporte de contaminantes, la quema de biomasa, incendios forestales o procesos naturales como la resuspensión de polvo fino transportado por el viento.

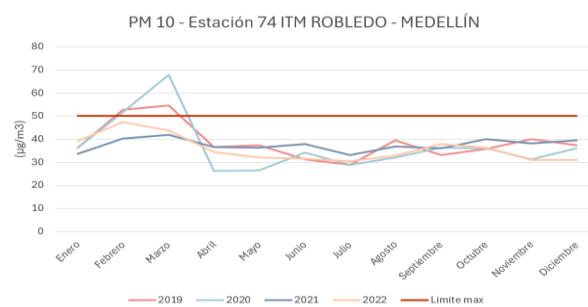
Si bien se observa una leve tendencia a la estabilización y reducción de los valores medios en los últimos años, las concentraciones promedio se mantienen oscilantes en rangos que frecuentemente comprometen los objetivos de calidad del aire más estrictos.

Se identifica claramente el régimen bimodal de episodios críticos de acumulación de contaminantes marcados durante los períodos de transición entre temporadas secas y lluviosas (marzo-abril y octubre-noviembre).

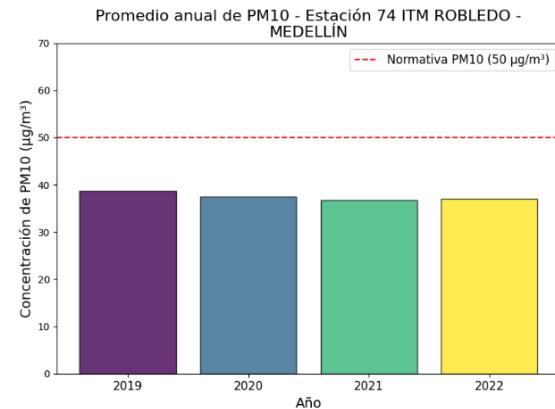
Figura 16. Diagnóstico multianual de material particulado grueso en la microcuenca La Iguaná, estación 74 (zona urbana). Se muestran:
1. Serie temporal mensual, 2. Promedio anual, 3. Distribución diaria, 4. Ciclo semanal. Datos SISAIRE. Elaboración propia.

Material particulado P. M₁₀

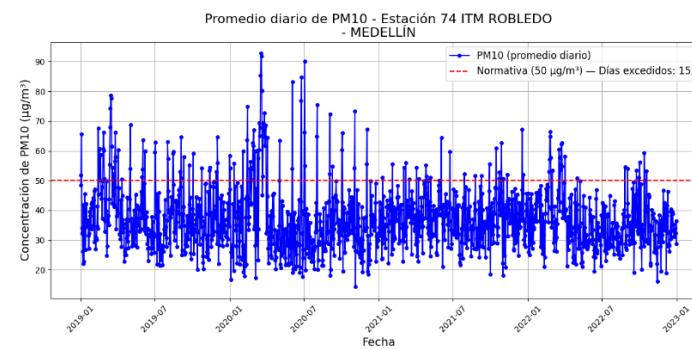
1.



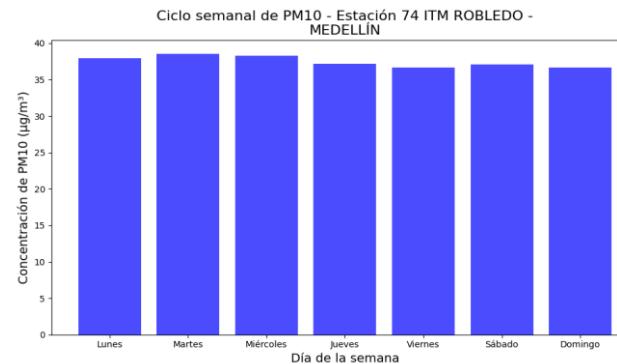
2



3.



4.



La grafica del material particulado PM10 evidencia el comportamiento típico de este contaminante en un entorno urbano, donde las concentraciones están influenciadas por el tráfico vehicular, las actividades de construcción y la meteorología.

Durante los primeros meses del año, especialmente en febrero y marzo se registraron niveles altos de material particulado, donde se destaca el año 2020 con una concentración cerca a $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de marzo, que supera el límite máximo permitido establecido por la norma, este comportamiento está asociado con condiciones meteorológicas típicas del valle de Aburra durante el inicio del año, donde se evidencia baja precipitación, bajas velocidades del viento y eventos de inversión térmica, donde favorece la acumulación de contaminante en la superficie.

Durante los eventos de lluvia, dichas partículas acumuladas en calles son arrastrados hacia el sistema de drenaje, ingresando al cauce de la quebrada, lo que incrementaría la carga de SST en el agua, deteriorando la calidad del recurso hídrico.

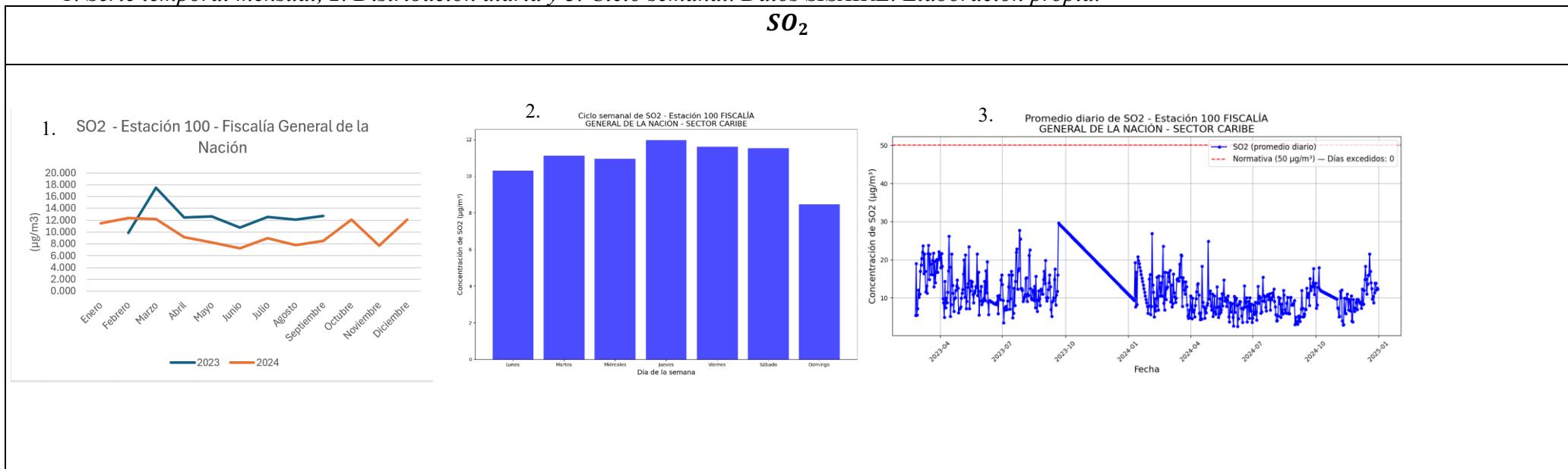
En el mes de abril se observa una disminución en las concentraciones, esto coincide con el inicio de las temporadas de lluvias del Valle de Aburra, lo que contribuyó a la remoción de partículas.

Aunque la mayoría de los meses durante estos años, las concentraciones se mantienen por debajo del límite normativo, es importante resaltar que valores cercanos a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indican una exposición diaria significativa para la población, lo que puede generar impactos significativos en la salud de las personas de esta zona.

Figura 17. Diagnóstico multianual de dióxidos de azufre en la microcuenca La Iguaná, estación 74 (zona urbana). Se muestran:

1. Serie temporal mensual, 2. Distribución diaria y 3. Ciclo semanal. Datos SISAIRE. Elaboración propia.

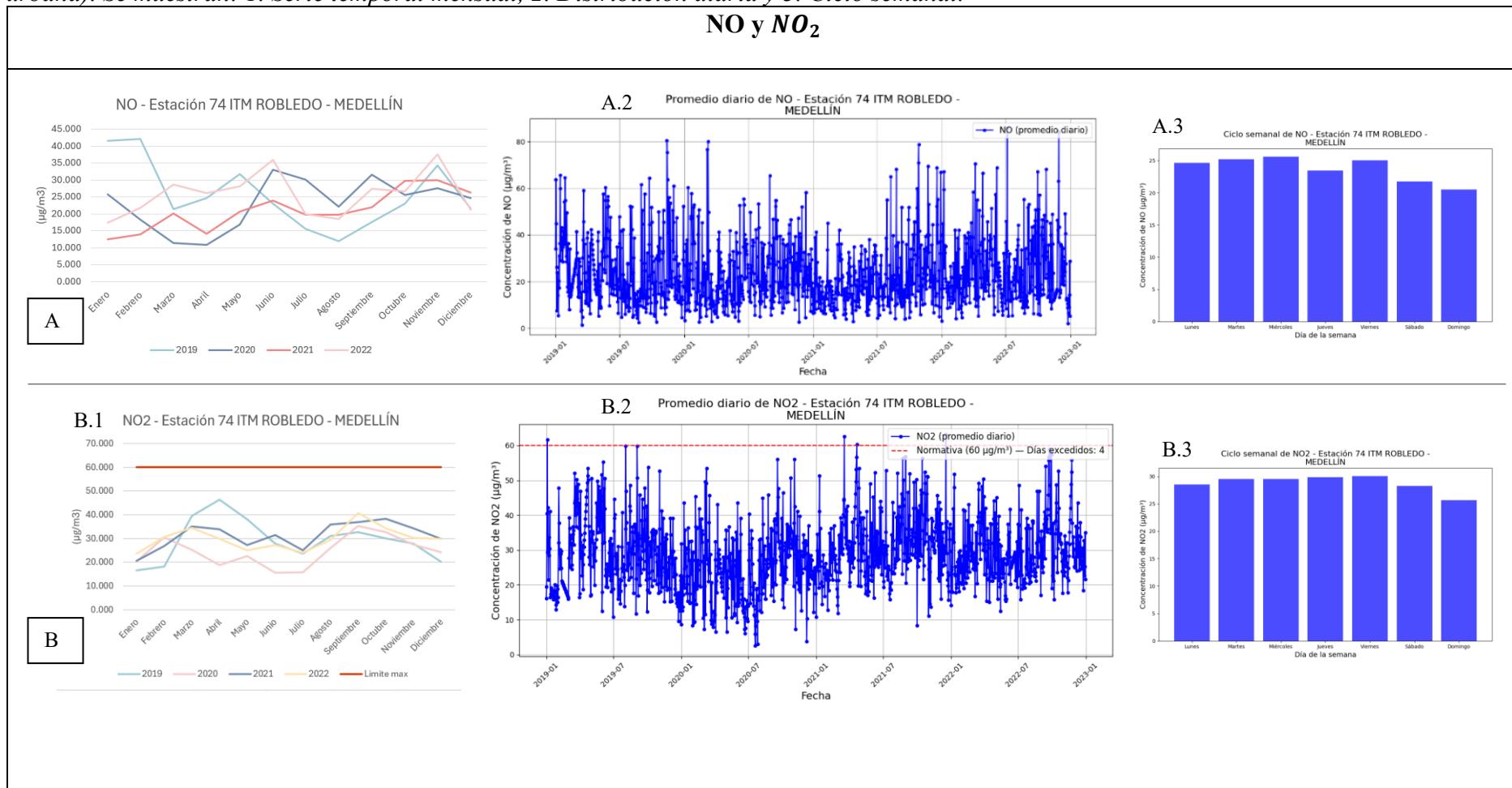
SO_2



Actualmente, los niveles registrados se encuentran muy por debajo del límite máximo permisible diario establecido en la Resolución 2254 de 2017, lo que indica que, a diferencia del material particulado, el dióxido de azufre ha dejado de ser un contaminante crítico de incumplimiento normativo en esta zona, aunque sigue siendo un trazador relevante de la actividad de carga pesada.

El ciclo semanal ofrece una caracterización precisa de las fuentes emisoras predominantes en el área de influencia. Se observa un perfil con concentraciones sostenidas de lunes a viernes y un descenso moderado el sábado, seguido de una caída abrupta y significativa durante el día domingo. Este patrón confirma el origen netamente antropogénico y móvil de las emisiones de dióxido de azufre en este sector, asociadas intrínsecamente a la operación logística de transporte de carga y pasajeros que disminuye drásticamente su operatividad el último día de la semana.

Figura 18. Diagnóstico multianual de A) monóxidos de nitrógeno y B) Dióxido de nitrógeno, en la microcuenca La Iguaná, estación 74 (zona urbana). Se muestran: 1. Serie temporal mensual, 2. Distribución diaria y 3. Ciclo semanal.



El comportamiento del monóxido de nitrógeno que se registra en la estación evidencia una fuerte influencia de fuentes móviles, principalmente tránsito vehicular, lo que es característico de un sector urbano, donde se encuentran cerca vías principales, transporte público, y zonas de alta densidad poblacional.

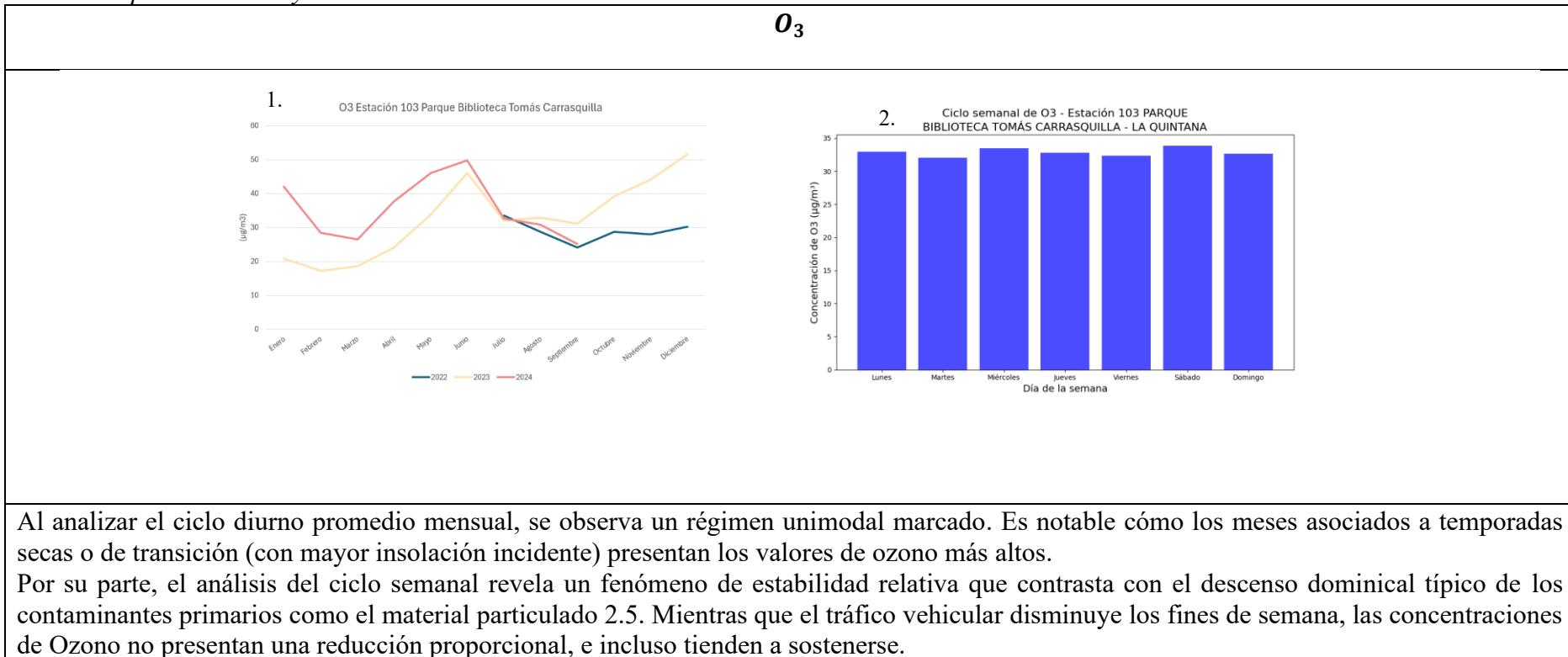
Durante los primeros meses del año se presentan concentraciones elevadas, lo que coincide con épocas secas y con menor ventilación, lo que favorece la acumulación de gases contaminantes en el Valle de Aburra debido también a su topografía.

Entre marzo y abril se presenta una disminución en las concentraciones, seguida de un incremento en los meses de mayo y junio, posiblemente asociado al aumento de movilidad urbana o condiciones meteorológicas, en los meses de julio y agosto se observan disminuciones, relacionada con el aumento de precipitaciones.

La grafica de dióxido de nitrógeno muestra un comportamiento típico del contaminante asociado a procesos de combustión urbana, en la zona del Valle de Aburra donde se ubica la quebrada, este contaminante también es generado principalmente por vehículos, especialmente aquellos que utilizan diésel, transporte público o transporte carga.

En general, las concentraciones registradas durante 2019 y 2022 se mantienen por debajo del límite máximo, lo que indica que el no supera la normativa durante el periodo evaluado, sin embargo, esto no implica el riesgo a la salud, ya que los valores sostenidos de dióxido de nitrógeno en concentraciones moderadas siguen afectando la salud respiratoria de población sensible.

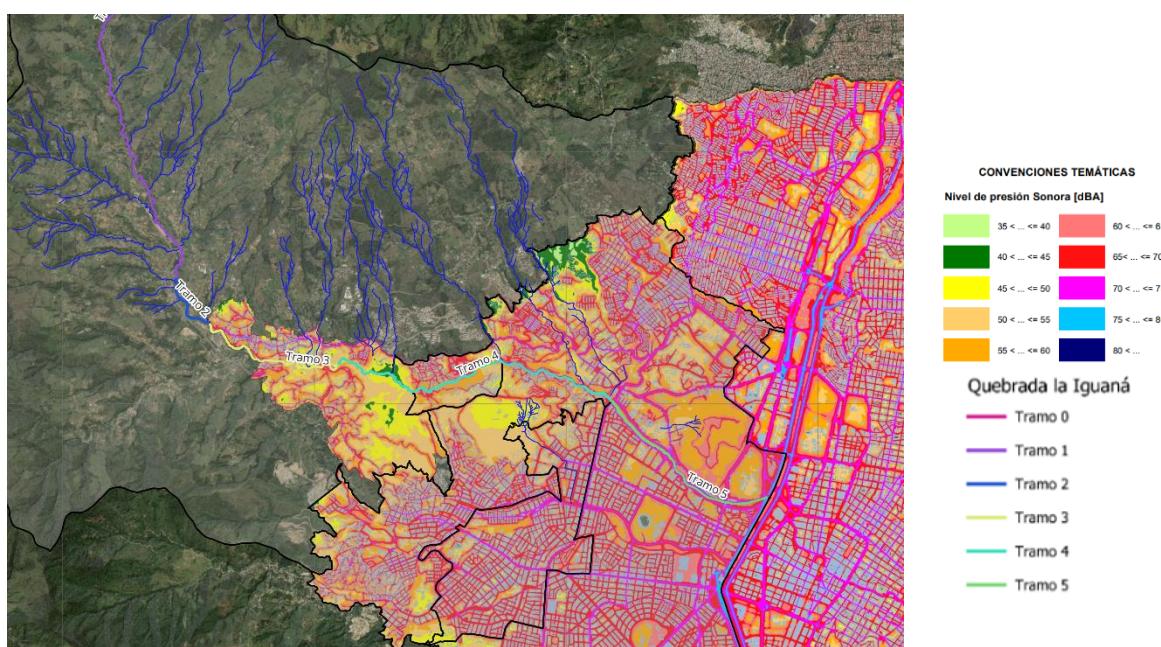
Figura 19. Diagnóstico multianual de Ozono en la microcuenca La Iguaná, estación 103 (zona urbana). Se muestran:
1. Serie temporal mensual y 2. Ciclo semanal.



Análisis de contaminación por ruido

La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Comunidad Económica Europea (CEE) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) han declarado de forma unánime que el ruido tiene efectos perjudiciales para la salud de las personas. Por esto, es necesario que se tomen medidas para abordar de una manera adecuada la problemática de contaminación por ruido.

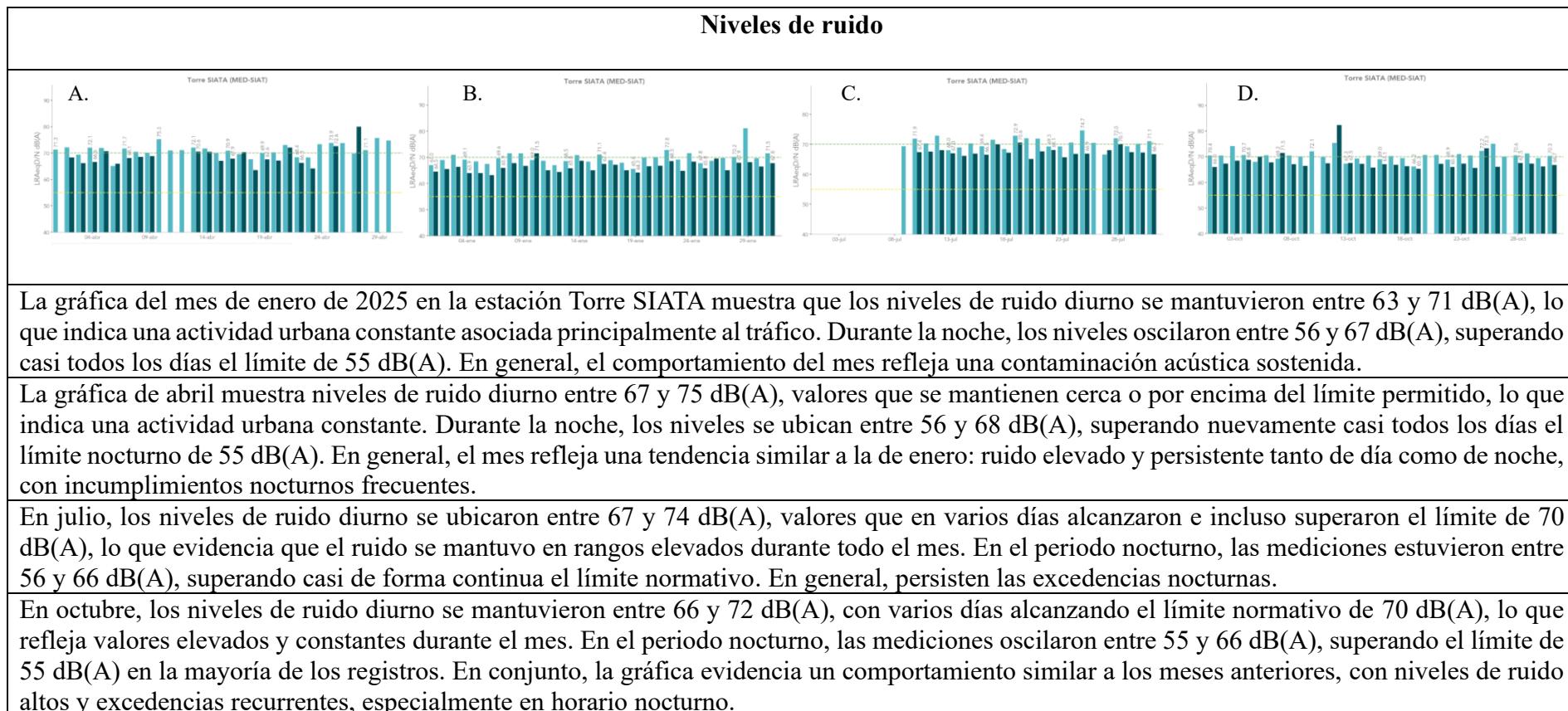
Ilustración 1. *Mapa de ruido diurno dentro el área de estudio. Adaptado de AMVA, 2025*



El mapa de ruido diurno evidencia que los niveles más altos de presión sonora se concentran en los tramos urbanos de la microcuenca, especialmente en las zonas cercanas a los corredores viales principales. Los tonos rosados y rojos, que representan valores superiores a 70 dB(A), aparecen de forma continua en sectores como la Autopista, la Avenida 80 y las áreas de mayor densidad edificada. Esto coincide con la presencia de tráfico pesado, transporte público y una alta actividad comercial, lo que explica la persistencia de niveles elevados durante el día. Hacia los bordes de Robledo y la parte baja de San Javier se observa una transición hacia niveles intermedios, lo que sugiere que, aunque el ruido disminuye, sigue superando los niveles recomendados para zonas residenciales.

En contraste, los tramos altos de la quebrada, especialmente en dirección hacia San Cristóbal, muestran valores significativamente más bajos (tonos verdes y amarillos), asociados a una menor intervención urbana, menos flujo vehicular y mayor presencia de áreas vegetadas. Esta diferencia clara entre los extremos de la microcuenca resalta el papel del uso del suelo y de la movilidad en la generación del ruido ambiental.

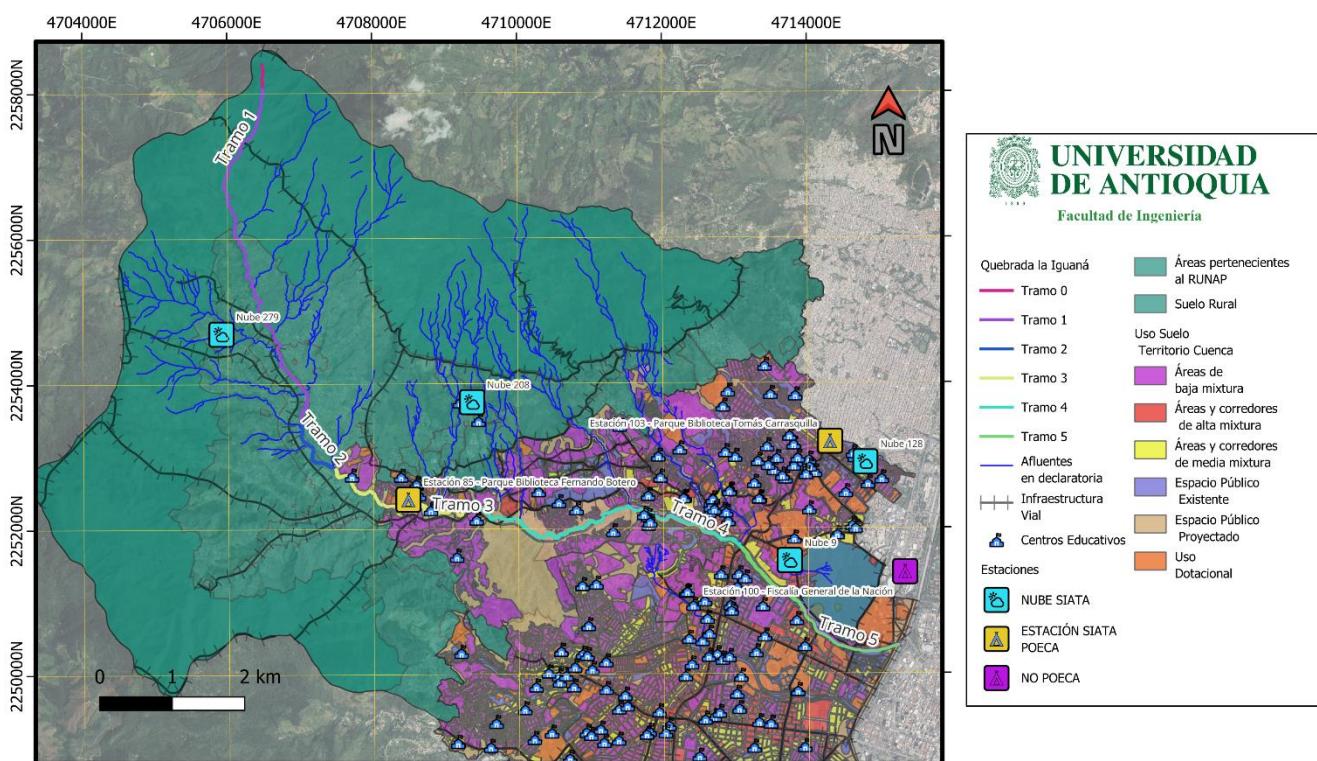
Figura 20: Análisis de niveles de ruido **A)** Enero, **B)** Abril, **C)** Julio y **D)** Octubre – Estación Torre SIATA, 2025



Conflictos por calidad del aire

El análisis espacial de la microcuenca de la quebrada La Iguaná revela una profunda dicotomía funcional y ambiental que define su comportamiento atmosférico: una tensión estructural entre la vocación de preservación de la cabecera rural en San Cristóbal y la densa matriz urbana de los tramos medio y bajo.

Figura 21. Identificación espacial de conflictos por calidad del aire y uso del territorio en la microcuenca La Iguaná. Se presentan A) Los corredores viales como fuentes lineales de emisión, B) La localización de receptores sensibles y C) La delimitación de áreas de fricción entre expansión urbana y conservación rural. Datos geográficos obtenidos de la Alcaldía de Medellín. Elaboración propia.



Desde la perspectiva del ordenamiento territorial, esta complejidad se intensifica al superponerse la cuenca con el eje estratégico de conexión vial Medellín Occidente Antioqueño; un corredor de importancia regional que ha canalizado un crecimiento urbanístico y logístico acelerado, transformando el territorio en un escenario donde la infraestructura de movilidad y la expansión demográfica entran en conflicto directo con la capacidad de carga del recurso aire.

Tabla 23. Matriz de conflictos territoriales y funcionales asociados a la calidad del aire a lo largo del gradiente de la microcuenca La Iguaná

| Zona / Tramo Funcional | Caracterización Territorial y Uso del Suelo | Dinámica de Emisiones y Fuentes de Presión | Receptores y Vulnerabilidad, Conflicto Ambiental y Funcional Identificado |
|--|---|---|---|
| Cabecera Rural (San Cristóbal - Parte Alta) | Predominio de suelo rural y de conservación. Coincide con el eje estratégico de conexión Medellín–Occidente Antioqueño (turismo y agroindustria). | Transporte Regional y Topografía: Influencia de fuentes móviles intermunicipales en vías de montaña. Las dinámicas topográficas favorecen turbulencias y el transporte de masas de aire desde el occidente. | Ecosistemas estratégicos. Vivienda rural dispersa. Cultivos. Paradoja de Conservación vs. Movilidad: Aunque la actividad local es baja, la zona actúa como corredor de contaminantes regionales. El alto flujo vehicular en pendientes pronunciadas incrementa el esfuerzo motor (Milojević et al., 2024). |
| Tramos de Pendiente y Transición (Bordes de Robledo y San Javier) | Zona de crecimiento acelerado y expansión urbana. Topografía de pendiente pronunciada que conecta la trama urbana con el Túnel de Occidente. | Alta Exigencia del Motor: El ascenso de vehículos pesados y livianos. | Nuevos desarrollos residenciales. Asentamientos informales en laderas. Conflicto generado por la superposición de zonas residenciales en expansión sobre ejes viales donde la topografía exacerba las emisiones vehiculares. |
| Matriz Urbana Compleja (Cuenca Media y Baja: Robledo, La América, Laureles) | Alta densidad de usos mixtos (residencial, comercial, servicios). Presencia de equipamientos educativos y corredores logísticos. | Convergencia de Fuentes: Sumatoria de fuentes móviles internas (transporte público, motos, logística urbana de última milla) y emisiones fijas/comerciales. La morfología urbana densa limita la ventilación. | Centros de Salud. Instituciones Educativas. Población en alta densidad. Susceptibilidad crítica a episodios de contaminación debido al encajonamiento de contaminantes. La ubicación de receptores sensibles como colegios y hospitales sobre corredores logísticos viales. Zonas de parque por debajo de la recomendación de la OMS. |

Objetivos de calidad del aire SMART
Tabla 24 Metas de calidad del aire.

| Horizonte Temporal | Objetivo Específico | Medible (Indicadores y Metas) |
|---------------------------------------|--|---|
| Corto plazo (3 años) | Estabilizar niveles de inmisión en puntos calientes. Establecer nuevas estaciones de medición según el Manual de Diseño de SVCA. Fortalecer el proceso de formalización de las fuentes fijas. Establecer planes de mitigación inmediata en receptores sensibles. | Implementación de mínimo cuatro nuevas estaciones automáticas para el monitoreo de contaminantes criterio. Establecimiento de mesas de diálogos con actores institucionales y empresariales como espacio de encuentro para las medidas de mitigación. Aumento en los registros de fuentes fijas. |
| Mediano plazo (5 años) | Acompañamiento técnico permanente en control de emisiones de fuentes fijas y móviles. Coordinación con administración municipal para planear nuevas rutas de tráfico pesado lejos de las zonas de conflicto. Reducir las concentraciones promedio anuales de PM2.5 en zonas residenciales. | Formalización y registro del 90 % de las fuentes fijas inventariadas con planes de reducción de emisiones aprobados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Realización de mínimo 120 operativos anuales de control de opacidad y emisiones en vía + 100 visitas técnicas a fuentes fijas con sistemas de control instalados y verificados. Aprobación y ejecución de al menos 1 nuevo corredor exclusivo o restricciones permanentes de circulación de vehículos de carga en horarios pico escolar. |
| Largo plazo (10 años) | Aproximar calidad del aire a guías OMS, transformando movilidad y reduciendo morbilidad atribuible. | Concentración anual PM2.5 $\approx 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en toda la microcuenca. Sustitución del 40% de movilidad motorizada privada por modos limpios/activos. Reducción del 10% en tasa de morbilidad respiratoria/cardiovascular por contaminación. |

Tabla 25. Objetivos de calidad del aire.

| Plazo/Contaminante en μm^3 en tiempo de exposición 24 horas* | Corto plazo (3 años) | Mediano plazo (5 años) | Largo plazo (10 años) |
|--|----------------------|------------------------|-----------------------|
| $P.M_{10}$ | 75 | 50 | 45 |
| $P.M_{2.5}$ | 37 | 25 | 15 |
| SO_2 | 50 | 45 | 40 |
| NO_2 ** | 200 | 100 | 50 |
| O_3 *** | 100 | 50 | 25 |
| CO *** | 35.000 | 32.000 | 30.000 |

*Los valores anuales quedan ligados a los niveles establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y sus modificatorias.

**Niveles máximos permitidos para tiempo de exposición de 1 hora.

***Niveles establecido para tiempo de exposición de 8 horas.

Medidas de gestión y estrategias de control

Tabla 26. Medidas de gestión por tipo de fuente, co-beneficios y riesgos.

| Fuente | Medida de gestión o control | Co-beneficios | Riesgos / Dificultades |
|---------|---|---|---|
| Móviles | Operativos de verificación de emisiones (opacidad) en puntos de alto flujo como la Av. 80, Autopista Norte y Calle Colombia. Control de maquinaria de obra (registro, revisión periódica, control de opacidad). Renovación gradual de flotas del transporte público (Euro VI, eléctricos, cero emisiones). Gestión del tráfico en vías críticas: reducción de congestión y optimización de semáforos. Promoción del transporte activo (bicicleta, caminar) y rutas seguras. | Reduce emisiones de PM _{2.5} y NO _x . Disminuye olores y humo visible. Fomenta mantenimiento vehicular. Disminuye emisiones en zonas de obras. Mejora la seguridad y vida útil de la maquinaria. Reducción significativa de PM _{2.5} , NO _x . Menor ruido urbano. Mejoran la salud pública a largo plazo. Menor consumo de combustible. Reduce el tiempo de exposición de peatones al contaminante. Reduce emisiones directas. Mejora salud y actividad física. | Requiere personal técnico. Posible resistencia de conductores. Costos operativos. Algunas empresas no cumplen voluntariamente. Maquinaria antigua difícil de regular. Altos costos de inversión. Requiere financiación y seguimiento institucional. Cambios en la movilidad pueden generar oposición. Requiere infraestructura segura. Baja aceptación al inicio. |

| | | | |
|----------------|--|---|---|
| Fijas | Actualización del registro de establecimientos emisores (panaderías, carpinterías, talleres, tintorerías). Instalación de filtros de tela o mangas en panaderías, carpinterías y procesos térmicos. Implementación de ventilación forzada y cabinas de extracción en tintorerías y talleres con solventes. Monitoreo rotativo con equipos portátiles para verificar emisiones. Programas de formación para comercios sobre buenas prácticas de combustión y manejo de emisiones. | Facilita el control y la planificación. Identifica fuentes antes no inventariadas. Reducción de PM ₁₀ y PM _{2.5} . Mejora la calidad del aire al interior del negocio. Disminuye exposición de trabajadores. Reduce compuestos orgánicos en el aire. No exige instalar sistemas fijos costosos. Permite detectar problemas temprano. Mejora cumplimiento normativo. Reduce incidentes por mala operación. | Algunos comercios pueden no reportar información. Mantenimiento periódico necesario. Costos moderados para pequeños negocios. Requiere inversión y capacitación. Requiere logística y programación continua. Baja participación si no es obligatorio. |
| Difusas | Control de polvo en obras: humectación, cubrimiento de materiales, lavado de llantas. Aumento de la frecuencia de barrido mecánico en vías con alta resuspensión (Av. 80, Robledo, San Cristóbal). Siembra de vegetación en taludes, estabilización de suelos y manejo de erosión. Mayor vigilancia y control de quemas de residuos; alternativas de gestión de residuos. Mejoramiento de vías deterioradas para reducir resuspensión por motos y autos. | Reducción de PM ₁₀ y PM _{2.5} . Menos molestias para vecinos. Reduce polvo resuspendido. Mejora el aspecto de la zona. Menor arrastre de partículas a la quebrada. Mejoras estéticas y ecológicas. Reduce picos de contaminación y olores. Evita incendios. Menos polvo en la atmósfera. Mejora la movilidad. | Difícil supervisión en todas las obras. Costos operacionales. Requiere mantenimiento continuo. Difícil control en zonas altas (San Cristóbal). Falta de infraestructura para disposición. Costos altos de intervención. |

Matriz multicriterio

Criterios utilizados (todos de 1 a 3 puntos):

1. Reducción del contaminante principal
 - 3 = reduce mucho (PM2.5, PM10, NO₂ según diagnóstico)
 - 2 = reduce moderadamente
 - 1 = reduce poco
 2. Costo
 - 3 = bajo
 - 2 = medio
 - 1 = alto
 3. Factibilidad (qué tan fácil es ponerla en práctica)
-
- 3 = muy fácil / ya se ha hecho en Medellín
 - 2 = moderada / requiere algo de logística
 - 1 = difícil / requiere recursos altos
4. Beneficio social
 - 3 = alto número de personas beneficiadas
 - 2 = beneficio medio
 - 1 = beneficio bajo o localizado

Tabla 27. Matriz multicriterio.

| Medida | Reducción de PM/NOx | Costo | Factibilidad | Beneficio social | Total |
|--|---------------------|-------|--------------|------------------|-------|
| Operativos de verificación de emisiones (opacidad) | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| Control de polvo en obras y resuspensión | 3 | 3 | 3 | 2 | 11 |
| Renovación gradual de flotas (Euro VI / eléctrica) | 3 | 1 | 1 | 3 | 8 |
| Mejora y pavimentación de vías deterioradas | 2 | 1 | 2 | 3 | 8 |
| Filtros de tela / mangas en panaderías y talleres | 2 | 2 | 2 | 1 | 7 |
| Cabinas y ventilación forzada para solventes | 1 | 1 | 2 | 1 | 5 |

Al aplicar la matriz multicriterio, las medidas relacionadas con las fuentes móviles fueron las que obtuvieron los puntajes más altos, lo cual coincide con los patrones observados en las gráficas del diagnóstico, donde los picos de PM_{2.5}, PM₁₀ y NO₂ se asocian principalmente al tráfico y a la dinámica vial de la zona urbana. Los operativos de verificación de emisiones (opacidad) se ubicaron como la acción prioritaria debido a su alta capacidad de reducción de contaminantes, su costo relativamente bajo y la facilidad para implementarlos en corredores como la Avenida 80 y la Autopista Norte. El control de polvo en obras y la disminución de resuspensión en vías también presentó una prioridad alta, ya que contribuye de manera directa a la reducción de material particulado en los meses secos, cuando este contaminante tiende a aumentar. En contraste, medidas como la renovación de flotas, aunque muy efectivas en términos de reducción de emisiones, mostraron una prioridad menor por sus altos costos y menor factibilidad inmediata. Las acciones dirigidas a fuentes fijas pequeñas, como filtros de tela o sistemas de extracción, obtuvieron una prioridad moderada, dado que su impacto es más localizado. En conjunto, la matriz evidencia que las acciones de control enfocadas en fuentes móviles y difusas representan las alternativas más viables y con mayor efecto para la microcuenca de la quebrada La Iguaná.

Análisis integrado

La gestión de los recursos sólidos, el estado del recurso hídrico y la calidad del aire están estrechamente conectados, y los impactos observados en cada uno de estos componentes se reflejan directa o indirectamente en los demás, por esto la microcuenca debe entenderse como un sistema ambiental integrado, en el que los procesos físicos, sociales y productivos influyen entre sí.

El componente de residuos demuestra la mala disposición de los residuos sólidos y los escombros en el cauce, que ha sido uno de los factores históricos más críticos en esta zona. Los residuos sólidos no solo contaminan el agua desde un punto de vista químico y microbiológico, sino que además afectan la dinámica del cauce

La acumulación de basuras reduce la capacidad hidráulica de la quebrada, lo que genera taponamientos que incrementan el riesgo de desbordamientos e inundación, estos efectos han sido evidentes en eventos históricos de crecientes en el tramo urbano, también estos depósitos favorecen procesos de descomposición orgánica, lo que eleva los parámetros como la DQO y también disminuyen la calidad ecológica del cuerpo.

El componente de aguas confirma esto al evidenciar el aumento del DQO y SST en los tramos bajo y medio, que son zonas donde se identifican mayores problemas de disposición inadecuada de residuos

Los residuos sólidos también constituyen como una fuente indirecta de contaminación del aire, ya que contribuye a la emisión de material particulado, gases contaminante y malos olores, donde la presencia de los residuos sólidos y escombros en las calles favorece la generación de material particulado, ya que los residuos acumulados se fragmentan o se pulverizan con el tiempo, generando partículas que pasan a la atmósfera en forma de polvo fino.

En algunos sectores, se presenta quema de residuos como una práctica informal, esta práctica libera contaminantes altamente dañinos para la salud como: PM2.5, monóxido de carbono,

óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles; estas emisiones deterioran la calidad del aire, lo que genera un riesgo para la salud en las personas, contribuye al calentamiento global, y formación de contaminante secundarios.

El componente de aire evidencia que el material particulado PM2.5 y PM10 es uno de los contaminantes criterio más crítico, en especial en la zona urbana durante los primeros meses del año, cuando se presentan condiciones meteorológicas como baja precipitación e inversión térmica, esto no solo afecta la salud sino que tiene un impacto sobre el recurso hídrico

Donde durante episodios de lluvia, el material particulado de la atmósfera se deposita en las vías, techos, y superficies, que son arrastrados por la escorrentía superficial hacia el sistema de drenaje cercano, e ingresa fácilmente a la quebrada, por lo que se puede explicar parcialmente incrementos en los Solidos Suspendidos Totales (SST) en los tramos medio y bajo, donde se superan los criterios de calidad para varios usos del recurso.

Proyectos y estrategias

Proyectos de gestión integrados

La matriz de proyectos de gestión integrados se formula como un instrumento estratégico para articular los componentes de residuos sólidos, agua y aire, reconociendo la interdependencia territorial y ambiental de la microcuenca. Se basa en el diagnóstico multiescalar de la zona de estudio. Se enfatiza la transición hacia usos potenciales del recurso hídrico (preservación ecológica en cabecera y recreativo en zona baja), la formalización de fuentes fijas/difusas en aire, y la minimización de disposición final en residuos, con enfoque en vulnerabilidad poblacional.

Tabla 28 *Matriz de proyectos estratégicos integrados.*

| Proyecto / Estrategia Integradora | Zona de Focalización (Tramos) | Componente RESIDUOS (Gestión de Carga) | Componente AGUA (Calidad y Ordenamiento) | Componente AIRE (Emisiones e Inmisión) | Sinergia y Co-beneficio Estratégico |
|--|--|---|---|--|--|
| Establecimiento de Mesas de Diálogo Articuladas | Tramo 1 (Nacimiento – San Cristóbal) y Tramo 2 | Integración de recicladores, líderes comunitarios y operadores del PGIRS para identificar puntos críticos y acordar rutas de mitigación. | Espacios para concertar la formalización de usuarios rurales, manejo de vertimientos dispersos y ordenamiento de la ronda hídrica. | Articulación entre comunidad, AMVA y SIATA para socializar episodios críticos y acciones preventivas de manejo de PM2.5. | Genera gobernanza territorial y cohesión institucional para acciones conjuntas en los tres sistemas de control, reduciendo la fragmentación operativa e impulsando decisiones coherentes en toda la cuenca. |
| Fortalecimiento de los Canales para la Formalización (Vertimientos, Residuos y Emisiones) | Tramo 3 y Tramo 4 (Zona Urbana – Comuna 13 y 7) | Simplificación de procesos para formalizar generadores de residuos, promover la separación en la fuente y asegurar trazabilidad de puntos críticos. | Apoyo técnico para formalizar conexiones al alcantarillado, ampliar cobertura donde aún no existe y promover sistemas sépticos donde es viable. | Creación de ventanillas únicas para reportes de fuentes fijas y móviles, facilitando declaraciones, inspecciones y reconversión tecnológica. | Reduce la informalidad ambiental en la cuenca, fortalece la capacidad institucional y disminuye cargas contaminantes simultáneamente en agua, aire y residuos, especialmente en sectores urbanos vulnerables. |
| Potenciamiento de Proyectos Actuales (Aprovechamiento, Saneamiento y Vigilancia de la Calidad del Aire) | Tramo 5 (Zona Baja – El Pesebre a desembocadura) | Escalamiento de proyectos de puntos limpios, logística inversa y recuperación de espacio público donde se acumula mayor carga residual. | Integración con planes de saneamiento para mejorar colectores, interceptores y control de conexiones erradas que afectan el tramo final de la quebrada. | Fortalecimiento de la red de monitoreo, instalación de sensores de bajo costo en barrios densos y aplicación del POECA en temporadas críticas. | Potencia iniciativas existentes sin iniciar desde cero, generando eficiencia administrativa y acelerando mejoras simultáneas en los tres sistemas ambientales en la parte más densamente poblada de la cuenca. |
| Corredor de Infraestructura Verde y Recuperación de Ronda | Tramos 3 y 4 (El Pesebre, Blanquizal, Robledo) | Eliminación de puntos críticos de arrojo de basura y escombros (RCD) en la franja de retiro. | Restauración de la capacidad hidráulica y reducción de aporte de lixiviados y sólidos por lavado de orillas. | Creación de barreras vivas que filtran material particulado PM10 y reducen la resuspensión de polvo vial. | Recuperación del Espacio Público: Transforma vertederos clandestinos en zonas de amortiguamiento que protegen el recurso hídrico y |

| | | | | | |
|---|--|---|--|--|---|
| | | | | | mejoran la calidad del aire local. |
| Agroecología y Economía Circular Rural (Cierre de Ciclo) | Tramo 1 (San Cristóbal - Cabecera) | Implementación masiva de compostaje in-situ para gestionar el 60% de la biomasa generada (evitando transporte). | Reducción de la carga de nutrientes (N y P) que llega a la quebrada por escorrentía agrícola (fertilizantes químicos). | Erradicación de las quemas agrícolas a cielo abierto, reduciendo emisiones de CO y Carbono Negro. | Soberanía Alimentaria y Menor Huella de Carbono: Al tratar el residuo en el sitio, se elimina la contaminación por transporte y se protege la calidad química del nacimiento de agua. |
| Gestión Técnica de RCD y Control de Erosión en Laderas | Tramos 2 y 3 (Zonas de expansión y autoconstrucción) | Formalización de la recolección de escombros y brigadas de control a obras informales. | Disminución drástica de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Turbiedad por arrastre de material de construcción. | Mitigación de emisiones fugitivas (polvo) generadas por acopios inadecuados y movimiento de tierras. | Prevención del Riesgo: Ataca la causa raíz de la sedimentación del cauce (riesgo de inundación) y mejora la calidad visual del aire en zonas residenciales. |
| Movilidad Sostenible y Limpieza Viaria Eficiente | Tramos 4 y 5 (Av. 80, C. Colombia, Laureles) | Optimización del barrido mecánico y limpieza de sumideros para evitar colmatación de alcantarillado. | Reducción de la carga contaminante (DQO, grasas y aceites) en la escorrentía pluvial urbana. | Disminución de la resuspensión de polvo vial por tráfico y reducción de NOx por congestión. | Salud Ambiental Urbana: Integra la gestión del saneamiento básico con la descontaminación atmosférica en los corredores de mayor exposición poblacional. |

Proyectos y estrategias residuos

La estrategia de residuos debe enfocarse en legalizar la disposición de los residuos, cerrar los botaderos y utilizar tecnología para la prevención, esto alineado a los objetivos del PGIRS del control ambiental

Tabla 28. *Estrategia de residuos*

| Estrategia | Desarrollo de estrategia |
|---|--|
| Sistema de alerta temprana contra botaderos ilegales | Implementar una herramienta digital para la comunidad donde participen en la vigilancia y reporte de botaderos ilegales Beneficio: Permite una respuesta temprana para eliminar residuos antes de que generen taponamientos del cauce |
| Plantas móviles de trituración de RCD | Una opción técnica para la disposición final de escombros cerca de las zonas de generación Beneficio: Evita vertimientos en el agua y reduce el riesgo de inundación |
| Fortalecimiento del MIRS | Desarrollar programas de manejo de residuos organiza y compostaje en la zona rural (San Cristóbal) Beneficio: Se reduce el crecimiento de residuos en la zona alta de la cuenca y evita que la materia organiza llegue al cauce |

Proyectos y estrategias aguas

La quebrada La Iguana tiene como principal objetivo transicionar la calidad del agua de su estado actual hacia los usos potenciales y los objetivos de calidad definidos, priorizando la preservación de fauna y flora en la cuenca alta y el uso recreativo por contacto primario

Las estrategias se centran el ordenamiento del recurso hídrico y se busca mitigar los conflictos de uso, como aquellos que se encuentran vinculados a problemas identificados en la calidad del agua y la contaminación atmosférica.

Tabla 29. *Estrategia de aguas*

| Estrategia | Desarrollo de estrategia |
|----------------------------|---|
| Saneamiento hídrico | Implementación de proyectos de restauración ecológica y construcción de biofiltros en las zonas donde se identifiquen botaderos clandestinos. Esta estrategia solo será efectiva si se logra la erradicación de botaderos clandestinos, el control de los sólidos permitirá que la vegetación ribereña y los biofiltros cumplan su función de filtrar contaminantes difusos y controlar la erosión, reduciendo los SST que entran al cauce |

| | |
|--|--|
| Gestión de nutrientes en la zona rural | Implementar programas de buenas prácticas agrícolas, y sistemas de residuos orgánicos, que bárcara mitigar la contaminación por fosforo total y otros nutrientes |
| Control y vigilancia de vertimientos en puntos críticos | Implementar programas de monitoreo y control en los puntos de vertimientos ya conocidos, donde se busca hacer cumplimiento de los permisos de vertimientos otorgados a empresas específicas, asegurando que el vertimiento de ARnD cumpla con la normativa y no afecte los objetivos |

Proyectos y estrategia aire

El Plan de Gestión de Calidad del Aire para la microcuenca tiene como objetivo reducir la exposición de la población al material particulado y a los contaminantes criterio, ajustando metas y objetivos de calidad.

El diagnostico indica que la problemática se concentra en las fuentes móviles y las fuentes difusas, por lo tanto, las estrategias se centran en el control de las emisiones de los corredores viales principales cerca de la microcuenca (Autopista norte, Av 80)

Tabla 30. Estrategia de aire

| Estrategia | Desarrollo de estrategia |
|---|---|
| Control de polvo en obras y resuspension | Implementación y supervisión estricta de medidas de mitigación de polvo en obras de construcción y demolición, ya que contribuye al material particulado, y al controlar el transporte de RCD, complementa la estrategia de disposición legal de residuos evitando que el material llegue a los botaderos clandestinos |
| Movilidad sostenible y limpia | Aunque es una medida a largo plazo, la promoción de transportes mas limpios tiene beneficios en el recurso hídrico al reducir la deposición atmosférica de contaminantes Al reducir las emisiones de NOx y PM2.5 en el aire, se disminuye la deposición de estos contaminantes sobre la cuenca, aunque es un efecto indirecto contribuye a mantener los objetivos de calidad hidrica |
| Fortalecimiento de operativos de verificación de emisiones | Es una medida directa para controlar el contaminante más critico PM2.5, la estrategia debe enfocarse en los corredores viajes que atraviesan la microcuenca |

Conclusiones