ANEXO 1

ESPECIFICACIONES TECNICAS

"REALIZAR UNA CAMPAÑA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE MEDIANTE ESTACIONES INDICATIVAS EN EL MUNICIPIO DE YOPAL – CASANARE, EN JURISDICCIÓN DE CORPORINOQUIA, COMO HERRAMIENTA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y EL FORTALECIMIENTO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL URBANA."

MAYO DE 2026

Tabla de contenido

1. GENERALIDADES....3

1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA....3

2. ESPECIFICACIONES TECNICAS....5

3. CALIDAD EN LA PRESENTACIÓN DE LOS DOCUMENTOS ESCRITOS GENERADOS. 18

4. EQUIPO DE TRABAJO....18

"REALIZAR UNA CAMPAÑA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE MEDIANTE ESTACIONES INDICATIVAS EN EL MUNICIPIO DE YOPAL – CASANARE, EN JURISDICCIÓN DE CORPORINOQUIA, COMO HERRAMIENTA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y EL FORTALECIMIENTO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL URBANA."

El contratista deberá desarrollar las actividades conforme a las especificaciones técnicas aquí descritas, garantizando la ejecución de una campaña de monitoreo de la calidad del aire mediante estaciones indicativas en el suelo urbano del municipio de Yopal, en coherencia con los lineamientos del Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA). La presente no contempla la implementación de un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) permanente, sino la generación de información técnica representativa que sirva como insumo para la evaluación del estado de la calidad del aire y el fortalecimiento de la gestión ambiental en el municipio.

1. GENERALIDADES

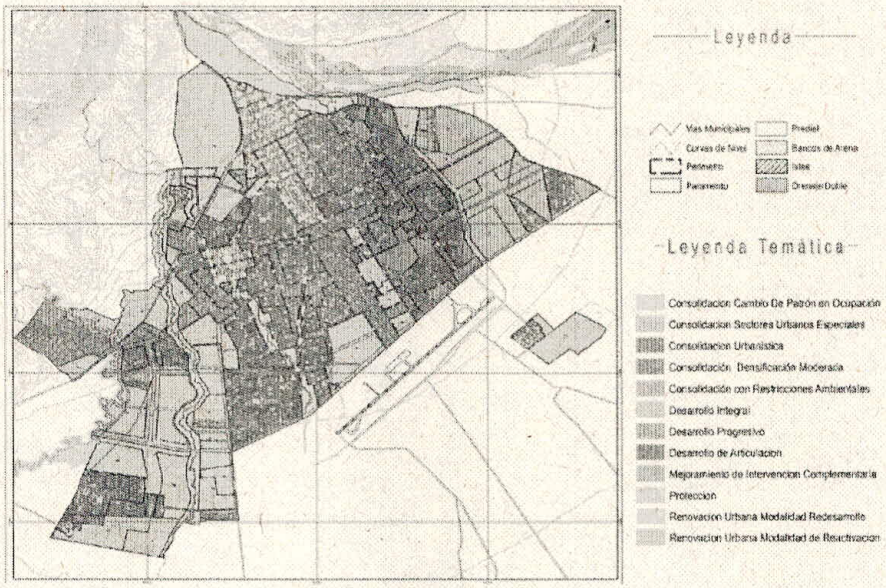
1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El municipio de Yopal se encuentra dentro de la jurisdicción de CORPORINOQUIA, ubicado en la región de la Orinoquia colombiana, al oriente del país, y es la capital del departamento de Casanare. Geográficamente, se localiza sobre la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, en la margen derecha del río Cravo Sur, uno de los principales afluentes del río Meta.

Su territorio se extiende desde el piedemonte llanero hasta la llanura aluvial, lo que le confiere una notable diversidad de paisajes, ecosistemas y dinámicas ambientales. Limita al norte con el municipio de Nunchía, al sur con Aguazul, al oriente con Pore y al occidente con el departamento de Boyacá, en zona de cordillera.

El casco urbano se encuentra a una altitud aproximada de 350 metros sobre el nivel del mar, presenta una temperatura promedio anual cercana a los 26 °C y un régimen climático monomodal, con una temporada seca definida entre los meses de diciembre y marzo y una temporada húmeda entre abril y noviembre, condiciones que influyen directamente en la dispersión, transporte y concentración de contaminantes atmosféricos.

Ilustración 1. ***Mapa tratamientos urbanísticos Yopal***



Fuente: POT 2013

En el contexto urbano, Yopal ha presentado un crecimiento demográfico y territorial significativo en las últimas décadas, asociado principalmente a la actividad petrolera, la expansión del parque automotor, el desarrollo de infraestructura vial y la consolidación de actividades comerciales y de servicios. Estas dinámicas generan presiones sobre la calidad del aire, particularmente por emisiones provenientes de fuentes móviles (tráfico vehicular), resuspensión de material particulado en vías sin pavimentar, obras civiles, almacenamiento y distribución de combustibles, y actividades industriales y de servicios.

El alcance del presente proyecto está orientado a la implementación, operación y puesta en marcha de una campaña de monitoreo de la calidad del aire mediante estaciones indicativas en el municipio de Yopal – Casanare, a través del desarrollo de actividades técnicas integrales que permitan medir, evaluar, analizar y reportar las concentraciones de contaminantes criterio, conforme a la normativa nacional vigente.

El monitoreo de la calidad del aire mediante estaciones indicativas permitirá generar información confiable y representativa para:

1. Evaluar el cumplimiento de la Resolución 2254 de 2017.
2. Analizar el comportamiento espacial y temporal de los contaminantes criterio.
3. Calcular y clasificar el Índice de Calidad del Aire (ICA).
4. Identificar excedencias, contaminantes críticos y niveles de exposición poblacional.
5. Generar insumos para el reporte en SISAIRE y procesos de modelación.
6. Apoyar la toma de decisiones y fortalecer la gestión ambiental y la salud pública en Yopal.

2. ESPECIFICACIONES TECNICAS

Para la ejecución de la campaña de monitoreo de la calidad de aire mediante estaciones indicativas en el municipio de Yopal – Casanare, las actividades técnicas y metodológicas deberán desarrollarse conforme a la normatividad nacional vigente en materia de calidad del aire.

El proyecto se regirá principalmente por la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), que establece los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio (PM10, PM2.5, SO_2, NO_2, O_3 y CO), así como los criterios de evaluación del cumplimiento. Asimismo, deberá cumplir con el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, los lineamientos del SISAIRE para el reporte de información y la aplicación de metodologías oficiales para el cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA).

El cumplimiento de este marco normativo garantiza la validez técnica y jurídica de los resultados, la trazabilidad de los datos y su articulación con los instrumentos de planificación ambiental, fortaleciendo la gestión ambiental urbana y la protección de la salud pública en el municipio de Yopal.

COMPONENTE 1: IDENTIFICAR ZONAS PRIORITARIAS, DEFINIR MÍNIMO CINCO (5) PUNTOS Y LOS PERIODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MUNICIPIO DE YOPAL

Este componente tiene como finalidad definir la ubicación de las estaciones de monitoreo y los periodos de medición requeridos para garantizar información representativa de la calidad del aire en el municipio de Yopal, conforme a los lineamientos establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Bogotá, 2010), el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire y la Resolución 2254 de 2017.

Para el desarrollo del presente componente, se deberá cumplir con lo exigido en el Manual de Diseño del SVCA, particularmente en lo relacionado con el diseño de redes de monitoreo, garantizando la representatividad espacial y temporal del sistema. En este sentido, se deberá definir el número y la ubicación de las estaciones de monitoreo con base en criterios técnicos, considerando el tamaño del área urbana, la densidad poblacional, la distribución de fuentes de emisión y las condiciones meteorológicas. Teniendo en cuenta que el Manual establece que el número de estaciones en un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire debe definirse en función de estos criterios, se deberá implementar un mínimo de cinco (5) estaciones de monitoreo en razón al crecimiento urbanístico del municipio de Yopal y a la diversidad de zonas dentro del suelo urbano, tales como áreas residenciales, comerciales, corredores de alto tráfico y zonas de transición urbana. Lo anterior permite garantizar una adecuada cobertura espacial y la

representatividad de los diferentes escenarios de exposición, en coherencia con la dinámica territorial y las fuentes de emisión presentes en el municipio.

Para la ubicación de las estaciones y la definición de los periodos de monitoreo, se deberá aplicar la metodología establecida en el Manual, para lo cual:

- Se deberá realizar la recolección y análisis de información general, conforme al Ítem 4.4.1 del Manual, incluyendo el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), características urbanas, uso del suelo, densidad poblacional, estudios ambientales existentes e información meteorológica disponible.
- Se deberá desarrollar el análisis del inventario de emisiones, conforme al Ítem 4.4.2 del Manual, el cual constituye un insumo fundamental para el diseño del sistema, permitiendo identificar, caracterizar y localizar las fuentes de emisión (móviles, fijas y de área), y definir las zonas con mayor carga contaminante para la ubicación de las estaciones.
- Se deberá realizar un estudio micrometeorológico y/o meteorológico preliminar, conforme al Ítem 4.4.3 del Manual, el cual deberá incluir como mínimo el análisis del comportamiento de los vientos (dirección y velocidad mediante rosa de vientos), con el fin de evaluar la dispersión de contaminantes y soportar técnicamente la localización de los puntos de monitoreo.
- Se deberá identificar las áreas con mayor presión ambiental, tales como corredores viales principales, zonas de mayor densificación urbana, áreas comerciales, industriales y sectores residenciales con alto flujo vehicular.
- Se deberá aplicar los criterios de representatividad espacial, exposición poblacional y características del entorno, de acuerdo con lo indicado en el Manual de Diseño del SVCA.

Así mismo, se deberá dar cumplimiento a lo establecido en el Manual (Ítem 5.7.4 y Tabla 20 – SVCA indicativo), definiendo estaciones indicativas orientadas a la evaluación de la calidad del aire. En este sentido, se deberá clasificar las estaciones según su representatividad, tales como tráfico, fondo urbano, residencial, entre otras.

En cuanto a los periodos de monitoreo, se deberá cumplir con lo establecido en el Manual (Ítem 5.7.4 – Tabla 20) y el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, definiendo campañas que garanticen la representatividad temporal de la información, así:

- **Temporada seca:** se deberá realizar mínimo dieciocho (18) muestras, correspondientes a dieciocho (18) días de monitoreo consecutivos, con frecuencia diaria (muestras de 24 horas).
- **Temporada húmeda o lluviosa:** se deberá realizar mínimo dieciocho (18) muestras, con frecuencia de muestreo día de por medio, hasta completar el total de muestras requeridas (36) días.

Lo anterior con el fin de capturar la variabilidad estacional de las concentraciones de contaminantes y garantizar la representatividad de la información.

Finalmente, se deberá cumplir con los criterios de localización establecidos en el Manual de Diseño del SVCA, para lo cual se deberá realizar la verificación en campo de cada punto seleccionado, garantizando condiciones de flujo libre de aire, distancias mínimas a obstáculos, altura de muestreo, seguridad, accesibilidad y adecuada representatividad de la calidad del aire del entorno urbano.

ACTIVIDADES

- Recopilar y analizar información secundaria del municipio de Yopal (POT, estudios ambientales, IDEAM, resultados de campañas de monitoreo previos, inventarios de emisiones y meteorología).
- Analizar las características urbanas y ambientales del municipio con el fin de identificar las zonas prioritarias para el monitoreo de calidad del aire.
- Se deberá desarrollar el estudio micrometeorológico preliminar – Estudio de vientos, conforme al Ítem 4.4.3 del Manual.
- Determinar mínimo 5 puntos para las estaciones de monitoreo requeridas para el SVCA y su clasificación según representatividad (tráfico, fondo urbano, residencial, entre otras).
- Definir los contaminantes criterio a monitorear conforme a la Resolución 2254 de 2017 (PM10, PM2.5, SO_2, NO_2, O_3 y CO).
- Establecer los periodos de medición requeridos para el desarrollo de las campañas de monitoreo, considerando las condiciones climáticas del municipio.
- Definir el cronograma general de monitoreo.
- Georreferenciar cada estación propuesta utilizando el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS.

PRODUCTO

- Documento técnico con la identificación de zonas prioritarias y definición de puntos de monitoreo en el suelo urbano del municipio de Yopal, incluyendo análisis de información secundaria, criterios de localización, estudio micrometeorológico, georreferenciación en MAGNA-SIRGAS y definición de periodos de monitoreo en temporada seca y húmeda a través de cronograma, con sus respectivos anexos técnicos de soporte.

  El documento deberá integrar el análisis de información secundaria, la aplicación de criterios técnicos de localización y representatividad, el estudio de variables meteorológicas, la georreferenciación de los puntos seleccionados y la ejecución de campañas de monitoreo, contemplando dieciocho (18) días consecutivos en temporada seca y dieciocho (18) mediciones día de por medio en temporada húmeda, hasta completar un total de treinta y seis (36) días de monitoreo.

COMPONENTE 2: CAMPAÑA DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN TEMPORADA SECA EN EL MUNICIPIO DE YOPAL

Este componente tiene como objetivo realizar el suministro, instalación, puesta en marcha y operación de cinco (5) estaciones automáticas indicativas para la campaña de monitoreo de la calidad del aire en el casco urbano del municipio de Yopal, conforme a lo establecido en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA), y la Resolución 2254 de 2017. Para ello, se deberá garantizar el uso de analizadores automáticos continuos para los contaminantes criterio (PM10, PM2.5, SO_2, NO_2, O_3 y CO), basados en métodos de referencia (FRM) o métodos equivalentes (FEM), conforme a lo indicado en el Ítem 6.5.1 del Manual, reconocidos por entidades como la US Environmental Protection Agency, la European Environment Agency, el CEN (Comité Europeo de Normalización) y la ISO.

Los analizadores automáticos deberán operar bajo principios electro-ópticos tales como absorción ultravioleta (UV), infrarrojo no dispersivo (NDIR), fluorescencia y quimioluminiscencia, permitiendo mediciones en tiempo real con alta resolución temporal (promedios horarios o cada 10–30 minutos), transmisión remota de datos y operación en cabinas con condiciones controladas de temperatura y humedad, conforme al Ítem 6.5.2.4 del Manual. Para material particulado (PM10 y PM2.5), se deberán emplear equipos tipo Beta Gauge (atenuación beta) o TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance), los cuales permiten medición continúa y precisa de masa de partículas.

En cuanto a los rangos de medición, aunque el Manual no define valores numéricos específicos, se deberá garantizar que los equipos cuenten con rangos adecuados a condiciones urbanas y coherentes con estándares internacionales, tales como: PM10 y PM2.5 (0–500 µg/m³), SO_2 y NO_2 (0–1 ppm), O_3 (0–0.5 ppm) y CO (0–50 ppm), con límites de detección bajos, alta precisión y exactitud certificada por fabricante.

La ubicación de las estaciones deberá cumplir con los criterios de macro y micro localización definidos en los Ítems 4.4.1 (recolección de información), 4.4.2 (inventario de emisiones) y 4.4.3 (análisis micrometeorológico) del Manual, garantizando representatividad espacial del área urbana. Se deberán considerar variables como densidad poblacional, uso del suelo, distribución de fuentes de emisión y comportamiento del viento (dirección y velocidad – rosa de vientos).

El contratista deberá contemplar como parte integral de la propuesta técnica, la gestión necesaria para garantizar la disponibilidad de predios, el suministro continuo de energía eléctrica y las condiciones adecuadas de seguridad y vigilancia. En este sentido, deberá considerar que, con base en estudios previamente realizados por la Entidad en el municipio, las posibles alternativas de localización para cada estación corresponden a predios de carácter institucional, tales como instituciones educativas, estaciones de servicio, centros de salud y/o instalaciones con condiciones técnicas y operativas equivalentes.

En términos de instalación, se deberán cumplir las siguientes condiciones técnicas:

- Altura de muestreo entre 3 y 10 metros sobre el nivel del suelo, con el fin de representar adecuadamente la exposición poblacional.
- Ubicación en zonas con flujo libre de aire, evitando recirculación o interferencias.
- Distancia adecuada a obstáculos (edificaciones, árboles, muros), evitando afectación en la captación de la muestra.
- Para material particulado, se deberá mantener una distancia prudente respecto a vías principales, con el fin de evitar la sobre-representación directa de emisiones vehiculares o sesgos en la medición, tal como lo indica el Manual en relación con la influencia de fuentes móviles sobre las concentraciones ambientales.

- Condiciones de seguridad, accesibilidad, disponibilidad eléctrica y estabilidad estructural para la instalación de cabinas.

Cada estación deberá incluir sensores meteorológicos para variables como velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación, en coherencia con el análisis micrometeorológico requerido.

Se deberá contar con un sistema de datos (DAQ – Data Acquisition System) mediante datalogger con registro mínimo horario, almacenamiento local y capacidad de transmisión remota en tiempo real (GPRS, 3G, 4G o Ethernet) hacia servidores o plataformas institucionales.

Se deberá implementar un sistema de respaldo energético compuesto por UPS (Uninterruptible Power Supply), bancos de baterías o sistemas solares, que garantice una autonomía mínima de 24 horas, asegurando la continuidad operativa del sistema.

En relación con la calidad de la información, se deberá implementar un programa de aseguramiento y control de calidad (QA/QC – Quality Assurance / Quality Control) que incluya calibraciones con gases patrón trazables (NIST), verificaciones periódicas de cero y span, mantenimiento preventivo y correctivo, auditorías técnicas, validación y depuración de datos, garantizando un porcentaje mínimo de 75% de datos válidos.

La campaña de monitoreo deberá ejecutarse conforme al Ítem 5.7.4 y Tabla 20 del Manual (SVCA indicativo), garantizando en temporada seca la obtención de mínimo 18 muestras en 18 días consecutivos, con frecuencia diaria (una muestra de 24 horas) y operación continua de los equipos.

ACTIVIDADES

- Suministrar analizadores automáticos continuos para los contaminantes criterio definidos en la Resolución 2254 de 2017.

- Instalar torres meteorológicas en cada estación para el monitoreo de variables como velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación.
- Instalar sistemas de adquisición de datos (datalogger) configurados para registrar información en promedios horarios.
- implementar un programa de aseguramiento y control de calidad (QA/QC)
- Ejecutar pruebas de funcionamiento y verificación de los equipos instalados.
- Elaborar actas de instalación y puesta en marcha.

PRODUCTO

Se deberá entregar un (1) informe técnico producto del monitoreo automático en temporada seca, de la calidad del aire realizado durante dieciocho (18) días de muestreo, ejecutados día de por medio en temporada húmeda, mediante cinco (5) estaciones en el casco urbano de Yopal, para medir PM10, PM2.5, SO_2, NO_2, O_3 y CO. Incluirá anexos de calibración y operación de equipos US-EPA (FRM/FEM) con metodologías acreditadas ante el IDEAM, medición meteorológica, anexos de adquisición y transmisión de datos. Se debe garantizar mínimo 75% de datos mediante QA/QC, mantenimiento, validación y procesamiento. Al documento se deberá anexar todos los soportes de respaldo debidamente relacionados.

COMPONENTE 3: CAMPAÑA DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN TEMPORADA HÚMEDA EN EL MUNICIPIO DE YOPAL

Este componente tiene como objetivo realizar el suministro, instalación, calibración, puesta en marcha y operación de cinco (5) estaciones automáticas indicativas de monitoreo de calidad del aire en el casco urbano del municipio de Yopal, conforme a lo establecido en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA), el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire y la Resolución 2254 de 2017. Para ello, se deberá garantizar el uso de analizadores automáticos continuos para los contaminantes criterio (PM10, PM2.5, SO_2, NO_2, O_3 y CO), basados en métodos de referencia (FRM) o métodos equivalentes (FEM), conforme al Ítem 6.5.1 del Manual, reconocidos por entidades como la US-EPA, EEA, CEN e ISO.

Los analizadores automáticos deberán operar bajo principios electro-ópticos (absorción UV, infrarrojo no dispersivo – NDIR, fluorescencia y quimioluminiscencia), permitiendo mediciones en tiempo real con alta resolución temporal (promedios horarios o cada 10–30 minutos), transmisión remota de datos y operación en cabinas con condiciones controladas, conforme al Ítem 6.5.2.4 del Manual. Para material particulado (PM10 y PM2.5), se deberán emplear equipos tipo Beta Gauge o TEOM, garantizando medición continua y precisa.

Se deberá garantizar que los equipos cuenten con rangos de medición adecuados a condiciones urbanas (ej. PM10 y PM2.5: 0–500 µg/m³; SO_2 y NO_2: 0–1 ppm; O_3: 0–0.5 ppm; CO: 0–50 ppm), con límites de detección bajos, precisión y exactitud certificada.

La ubicación de las estaciones deberá cumplir con los criterios definidos en los Ítems 4.4.1, 4.4.2 y 4.4.3 del Manual, considerando el inventario de emisiones, el análisis micrometeorológico (rosa de vientos) y la representatividad espacial. En la instalación se deberán garantizar condiciones como altura de muestreo entre 3 y 10 metros, flujo libre de aire, distancias adecuadas a obstáculos y condiciones de seguridad, accesibilidad y disponibilidad eléctrica. Para material particulado, se deberá considerar una distancia adecuada a vías, evitando la influencia directa de emisiones vehiculares que afecten la representatividad.

El contratista deberá contemplar como parte integral de la propuesta técnica, la gestión necesaria para garantizar la disponibilidad de predios, el suministro continuo de energía eléctrica y las condiciones adecuadas de seguridad y vigilancia. En este sentido, deberá considerar que, con base en estudios previamente realizados por la Entidad en el municipio, las posibles alternativas de localización para cada estación corresponden a predios de carácter institucional, tales como instituciones educativas, estaciones de servicio, centros de salud y/o instalaciones con condiciones técnicas y operativas equivalentes.

Cada estación deberá contar con sensores meteorológicos (velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación). El sistema deberá incluir un sistema de adquisición de datos (DAQ) con registro mínimo horario, almacenamiento y transmisión remota (GPRS, 3G, 4G o Ethernet). Se deberá implementar un sistema de respaldo energético (UPS, baterías o sistemas solares) con autonomía mínima de 24 horas.

Se deberá implementar un programa de aseguramiento y control de calidad (QA/QC), que incluya calibraciones con gases patrón trazables (NIST), verificaciones periódicas, mantenimiento, validación de datos y control de disponibilidad mínima del 75%.

La campaña de monitoreo deberá ejecutarse conforme al Ítem 5.7.4 y Tabla 20 del Manual, garantizando en temporada húmeda la obtención de mínimo 18 muestras de 24 horas, tomadas día de por medio, lo cual corresponde a un periodo aproximado de 36 días de monitoreo, asegurando la representatividad temporal de las condiciones climáticas.

ACTIVIDADES

- Suministrar analizadores automáticos continuos para los contaminantes criterio definidos en la Resolución 2254 de 2017.
- Instalar torres meteorológicas en cada estación para el monitoreo de variables como velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación.
- Instalar sistemas de adquisición de datos (datalogger) configurados para registrar información en promedios horarios.
- Implementar un programa de aseguramiento y control de calidad (QA/QC)
- Ejecutar pruebas de funcionamiento y verificación de los equipos instalados.

- Elaborar actas de instalación y puesta en marcha.

PRODUCTO

Se deberá entregar un (1) informe técnico con los resultados del monitoreo automático de la calidad del aire realizado durante dieciocho (18) días de muestreo, ejecutados día de por medio en temporada húmeda, mediante cinco (5) estaciones en el casco urbano de Yopal, para medir PM10, PM2.5, SO_2, NO_2, O_3 y CO. Incluirá soportes de instalación, calibración y operación de equipos US-EPA (FRM/FEM) con metodologías acreditadas ante el IDEAM, medición meteorológica, adquisición y transmisión de datos, respaldo energético y logística. Se debe garantizar mínimo 75% de datos mediante QA/QC, mantenimiento, validación y procesamiento. Al documento se deberá anexar todos los soportes de respaldo debidamente relacionados.

COMPONENTE 4: ELABORACIÓN DE INFORMES TÉCNICOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

Este componente tiene como propósito realizar el procesamiento, validación, análisis e interpretación de la información generada durante las campañas de monitoreo de calidad del aire en el municipio de Yopal, conforme a lo establecido en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire y la Resolución 2254 de 2017.

Se deberá dar cumplimiento a lo establecido en el Capítulo IV de la Resolución 2254 de 2017 (Artículos 18, 19, 20 y 21), en lo relacionado con la definición, clasificación, puntos de corte y cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA).

El análisis se deberá realizar a partir de la información obtenida en las campañas de monitoreo, considerando concentraciones en resolución horaria, promedios de 24 horas y promedios móviles de 8 horas (para O_3 y CO), conforme a los tiempos de exposición definidos en la norma.

Se deberá comparar la información con los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 2254 de 2017, tales como:

- PM10: 100 µg/m³ (24 horas)
- PM2.5: 50 µg/m³ (24 horas)
- O_3: 100 µg/m³ (8 horas)
- NO_2: 200 µg/m³ (1 hora)
- SO_2: 250 µg/m³ (24 horas)
- CO: 10 mg/m³ (8 horas)

Para cada contaminante y estación, se deberá determinar el cumplimiento normativo, el número de excedencias, la frecuencia de superación (%) y el comportamiento temporal de las concentraciones. El cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) se deberá realizar conforme al Artículo 21 de la Resolución 2254 de 2017, utilizando los puntos de corte establecidos en la Tabla 6.

$$ICA_p = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}}(C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

Donde:

- ICA_p: Índice de Calidad del Aire para el contaminante p
- C_p: Concentración medida del contaminante
- PC_{alto}: Punto de corte mayor o igual a C_p
- PC_{bajo}: Punto de corte menor o igual a C_p
- I_{alto}: Valor del ICA correspondiente al punto de corte alto
- I_{bajo}: Valor del ICA correspondiente al punto de corte bajo

1. De acuerdo con el Parágrafo 1 del Artículo 21, cuando en una estación se midan varios contaminantes, se deberá calcular el ICA para cada uno de ellos y reportar el valor más alto como representativo de la calidad del aire en el punto de monitoreo.
2. Conforme al Parágrafo 2, si la tecnología de monitoreo es automática (tiempo real), se deberá reportar el ICA diario y el ICA basado en promedios móviles según el tiempo de exposición del contaminante. En caso de monitoreo manual, el reporte será con resolución diaria.
3. Según el Parágrafo 3, el ICA móvil deberá calcularse con base en concentraciones promedio corridas para los tiempos de exposición definidos (por ejemplo, 8 horas para O_3 y CO).
4. Para el caso del ozono (O_3), se deberá calcular el ICA a 8 horas; sin embargo, cuando aplique, también se deberá calcular a 1 hora y reportar el valor más alto. Para concentraciones superiores a 394 µg/m³, únicamente se deberá calcular el ICA de 1 hora, conforme a lo indicado en la Tabla 6 de la Resolución.

El ICA obtenido deberá clasificarse conforme a la Tabla 5 de la Resolución 2254 de 2017, en las categorías:

- 0–50: Buena
- 51–100: Aceptable
- 101–150: Dañina para grupos sensibles
- 151–200: Dañina para la salud
- 201–300: Muy dañina para la salud
- 301–500: Peligrosa

Adicionalmente, el análisis deberá integrar la información meteorológica (dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y precipitación), conforme al Ítem 4.4.3 del Manual del SVCA, así como el análisis del inventario de emisiones (Ítem 4.4.2), con el fin de establecer relaciones entre los niveles observados y las fuentes de emisión.

Finalmente, se deberá realizar un análisis comparativo entre temporada seca y temporada húmeda, identificando variaciones en concentraciones, comportamiento atmosférico y ocurrencia de excedencias.

ACTIVIDADES

- Validar y depurar la base de datos generada durante las campañas de monitoreo.
- Calcular promedios horarios, diarios y máximos móviles de 8 horas.
- Comparar resultados con los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 2254 de 2017.
- Determinar número de excedencias y frecuencia (%) por contaminante.
- Calcular el ICA por contaminante conforme al Artículo 21.
- Identificar el contaminante crítico (mayor ICA por estación).
- Clasificar el ICA según Tabla 5.
- Analizar relación con variables meteorológicas.
- Analizar relación con fuentes de emisión.
- Realizar comparación entre temporada seca y húmeda.
- Elaborar informes técnicos por cada campaña.

PRODUCTO

Se deberán elaborar dos (2) informes técnicos, uno por cada campaña (seca y húmeda), con análisis de resultados frente a los niveles máximos permisibles de la Resolución 2254 de 2017. Cada informe deberá incluir descripción de la campaña, metodología, estaciones y equipos; procesamiento y validación de datos; presentación de concentraciones (horarias, 24 horas y máximos móviles de 8 horas); y comparación normativa indicando cumplimiento o incumplimiento por estación. Así mismo, deberán contener el cálculo del ICA (Art. 18–21), identificación del contaminante crítico, frecuencia de excedencias, análisis meteorológico y de fuentes, conclusiones y recomendaciones para la gestión de la calidad del aire en Yopal.

COMPONENTE 5: GESTIÓN, VALIDACIÓN, ESTANDARIZACIÓN Y REPORTE DE INFORMACIÓN EN SISAIRE

Este componente tiene como finalidad garantizar la adecuada gestión, estructuración, validación, estandarización y reporte de la información generada durante las campañas de monitoreo de calidad del aire en el municipio de Yopal, conforme a los lineamientos técnicos del Sistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE y la Resolución 2254 de 2017.

El contratista deberá estructurar bases de datos en formatos interoperables (CSV, Excel o bases estructuradas), asegurando que cada registro contenga como mínimo: fecha y hora (timestamp en formato estándar), código de estación, contaminante, concentración, unidad de medida, estado del dato (válido, inválido, estimado), método de medición y equipo asociado.

Se deberá incluir información de los contaminantes criterio PM10, PM2.5, SO_2, NO_2, O_3 y CO, en resolución horaria y en promedios de 24 horas cuando aplique, así como variables meteorológicas

asociadas (velocidad y dirección del viento en m/s y grados, temperatura en °C, humedad relativa en %, precipitación en mm y radiación solar en W/m², cuando esté disponible).

Los metadatos de cada estación deberán contener como mínimo: coordenadas geográficas en sistema MAGNA-SIRGAS (latitud, longitud), altitud, tipo de estación (tráfico, fondo urbano, residencial, etc.), descripción del entorno, equipos instalados (marca, modelo, principio de medición), fecha de instalación, condiciones de operación y responsable técnico.

Se deberá implementar un proceso riguroso de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) que incluya, como mínimo:

- Validación automática de rangos (detección de valores fuera de rango físico o normativo)
- Identificación de datos atípicos mediante análisis estadístico (outliers)
- Verificación de consistencia temporal (continuidad de series, datos duplicados o vacíos)
- Cruce de variables meteorológicas para validación de coherencia (ej. dirección del viento vs comportamiento de contaminantes)
- Marcación y trazabilidad de datos inválidos, estimados o corregidos

Se deberá garantizar un porcentaje mínimo de disponibilidad de datos del 75% por estación y por contaminante, calculado como la relación entre datos válidos y datos esperados en el periodo de monitoreo.

La información deberá ser homologada a los catálogos de SISAIRE, incluyendo:

- Codificación oficial de estaciones
- Nombres estandarizados de contaminantes
- Unidades de medida exigidas (µg/m³, ppm, etc.)
- Estructura de campos requerida por el sistema
- Formatos de fecha y hora compatibles

Se deberán generar archivos estructurados listos para cargue, cumpliendo con las plantillas y validaciones del sistema, garantizando integridad referencial y ausencia de errores de formato. Adicionalmente, el contratista deberá brindar acompañamiento técnico especializado al profesional de la Entidad que en su momento sea designado a través de la supervisión para el proceso de validación y cargue, así como verificación posterior del cargue exitoso en la plataforma, asegurando la disponibilidad, trazabilidad y consulta de la información en el sistema nacional.

ACTIVIDADES

- Consolidar y estructurar bases de datos de calidad del aire y meteorología.
- Estandarizar formatos de fecha, unidades y nomenclatura.
- Generar base de datos con resolución horaria y agregaciones diarias.

- Elaborar metadatos completos de estaciones de monitoreo.
- Implementar protocolo QA/QC para validación de datos.
- Detectar, clasificar y documentar datos inválidos, atípicos o faltantes.
- Calcular porcentaje de disponibilidad de datos por estación y contaminante.
- Homologar información a catálogos y estructura de SISAIRE.
- Generar archivos en formatos compatibles para cargue.
- Validar integridad y consistencia de la base de datos final.
- Brindar acompañamiento técnico a la Entidad contratante para cargue de la información en la plataforma.
- Verificar cargue exitoso por la Entidad y correcta visualización en el sistema.

PRODUCTO

Se deberá entregar un (1) informe técnico conforme a los lineamientos del SISAIRE, que incluya bases de datos validadas con concentraciones de PM10, PM2.5, SO_2, NO_2, O_3 y CO en resolución horaria y promedios de 24 horas, junto con información meteorológica y metadatos completos de las estaciones. La información deberá estar sometida a procesos de aseguramiento y control de calidad (QA/QC), garantizando identificación de datos inválidos o faltantes y una disponibilidad mínima del 75%. El entregable deberá incluir la homologación a catálogos del sistema y el acompañamiento técnico para validación, depuración y cargue en la plataforma. Se deberá anexar los metadatos de cada que deben contener como mínimo: coordenadas geográficas en sistema MAGNA-SIRGAS (latitud, longitud), altitud, tipo de estación (tráfico, fondo urbano, residencial, etc.), descripción del entorno, equipos instalados (marca, modelo, principio de medición), fecha de instalación, condiciones de operación y responsable técnico.

COMPONENTE 6: IMPLEMENTACIÓN DE MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA, VALIDACIÓN CON DATOS DE MONITOREO Y EVALUACIÓN FRENTE A ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AIRE

Este componente tiene como propósito la implementación de un modelo de dispersión atmosférica en escenario actual para el municipio de Yopal, como herramienta técnica de apoyo al Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA), conforme a los lineamientos del Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire y la Resolución 2254 de 2017.

En cumplimiento de lo establecido en el parágrafo aplicable de la Resolución 2254 de 2017, las autoridades ambientales que utilicen modelos de dispersión deberán basarse en modelos recomendados por la US Environmental Protection Agency, mientras el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adopta la Guía Nacional de Modelación de Calidad del Aire. En este sentido, el contratista deberá seleccionar, justificar e implementar modelos reconocidos internacionalmente, tales como AERMOD para fuentes fijas, CALINE4 o CAL3QHC-R para fuentes móviles (tráfico vehicular), y CALPUFF en caso de requerirse simulaciones en condiciones meteorológicas complejas, dominios de mayor escala o transporte de contaminantes a mayor

distancia, de acuerdo con la disponibilidad de información, características del terreno y tipo de fuentes de emisión.

La modelación deberá desarrollarse con base en los insumos definidos en el Manual del SVCA, particularmente los establecidos en el ítem 4.4.1 (recolección de información general), ítem 4.4.2 (inventario de emisiones) —incluyendo fuentes puntuales, móviles y de área y el ítem 4.4.3 (estudio micrometeorológico y/o meteorológico preliminar), el cual deberá contemplar como mínimo el análisis de dirección y velocidad del viento (rosa de vientos), estabilidad atmosférica y demás variables relevantes.

El modelo deberá integrar información meteorológica representativa en resolución horaria, variables topográficas (modelo digital de elevación) y características del uso del suelo, garantizando la coherencia entre las condiciones reales del territorio y el escenario modelado. Así mismo, se deberá definir un dominio de modelación que cubra el área urbana y su zona de influencia, estableciendo una resolución espacial acorde con la escala del municipio (tamaño de celda entre 100 m y 500 m), y periodos de simulación consistentes con los tiempos de evaluación establecidos en la Resolución 2254 de 2017 (promedios de 1 hora, 8 horas y 24 horas, según contaminante).

El modelo deberá generar salidas en términos de concentraciones de contaminantes criterio (PM10, PM2.5, SO_2, NO_2, O_3 y CO), permitiendo la elaboración de mapas de distribución espacial, análisis de gradientes de concentración, identificación de zonas de mayor impacto y evaluación de la contribución de las fuentes de emisión.

De acuerdo con el Manual del SVCA, uno de los objetivos del monitoreo es la validación de modelos de calidad del aire; por lo tanto, el contratista deberá realizar la validación del modelo mediante la comparación con datos medidos en campo, empleando indicadores estadísticos como error medio absoluto (MAE), error cuadrático medio (RMSE), sesgo (BIAS) y coeficiente de correlación (R), con el fin de evaluar la capacidad predictiva del modelo y su representatividad.

Así mismo, se deberá realizar la comparación de las concentraciones modeladas frente a los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 2254 de 2017, permitiendo identificar posibles excedencias, zonas críticas y niveles de exposición de la población. Se deberá tener en cuenta que, conforme al Manual del SVCA, la validación robusta de modelos requiere series de datos de largo plazo; sin embargo, para el presente estudio, la validación se realizará con la información disponible de las campañas, evaluando la coherencia entre modelación y medición.

Finalmente, el componente deberá incluir un análisis técnico integral que relacione las emisiones, las condiciones meteorológicas y el comportamiento de los contaminantes, así como la formulación de conclusiones y recomendaciones orientadas a la gestión, prevención y control de la contaminación atmosférica, en coherencia con los objetivos del SVCA establecidos en el Manual de Diseño.

ACTIVIDADES

- Recopilar y procesar la información base (inventario de emisiones, meteorología y topografía).
- Seleccionar y justificar el modelo de dispersión conforme al Manual del SVCA y la Resolución 2254 de 2017.Definir el dominio de modelación, la resolución espacial y los parámetros de simulación.
- Ejecutar el modelo de dispersión en escenario actual.
- Generar mapas de concentración y realizar el análisis espacial de resultados.
- Validar los resultados del modelo con datos de monitoreo en campo.
- Comparar las concentraciones modeladas con los niveles máximos permisibles.
- Interpretar los resultados y formular recomendaciones para la toma de decisiones.

PRODUCTOS

Se entregará un (1) informe técnico de modelación de dispersión atmosférica para el municipio de Yopal, conforme al Manual del SVCA y la Resolución 2254 de 2017. El documento incluirá la selección y justificación del modelo, configuración del escenario, insumos utilizados (emisiones, meteorología y topografía) y parámetros de simulación. Presentará resultados de concentraciones de contaminantes criterio mediante mapas de distribución espacial, identificación de zonas críticas y análisis de la contribución de fuentes. Incorporará la validación con datos de monitoreo, comparación con niveles máximos permisibles, análisis técnico de resultados y recomendaciones orientadas a la gestión y control de la calidad del aire.

3. CALIDAD EN LA PRESENTACIÓN DE LOS DOCUMENTOS ESCRITOS GENERADOS.

Tener en cuenta para la elaboración de todos los documentos y productos que sean generados y entregados durante el desarrollo de la consultoría, las normas Icontec vigentes actualmente, basadas en la norma técnica colombiana NTC-1486, que orientan para que los mismos sean más legibles y estandarizados, haciéndolos más confiables y pertinentes.

Se debe entregar dos copias en medio físico y dos copias en medio magnético de todos los productos

4. EQUIPO DE TRABAJO

De acuerdo con las actividades a realizar en la ejecución del contrato producto del Concurso de Méritos, el Proponente deberá vincular, el siguiente personal, que cumpla con los perfiles descritos en cada caso y obligaciones asignadas:

CARGO	PERFIL	EXPERIENCIA
DIRECTOR DEL PROYECTO	Profesional 5: Título profesional Ingeniería Ambiental y/o Ingeniería Química y/o Ingeniería Electrónica. Será responsable por dirigir, coordinar y responder integralmente por la ejecución técnica, administrativa y operativa del contrato.	Mínimo cuatro (4) años de experiencia profesional. Dos (2) años de experiencia profesional relacionada en dirección, coordinación o ejecución de proyectos de monitoreo de calidad del aire, sistemas de vigilancia de calidad del aire (SVCA), inventarios de emisiones atmosféricas, modelación de dispersión de contaminantes o proyectos ambientales relacionados.
PROFESIONAL DE CALIDAD DEL AIRE	Profesional 3: Título profesional en Ingeniería Ambiental y/o Ingeniería Química y/o Ingeniería Electrónica.	Mínimo tres (3) años de experiencia profesional. Dos (2) años de experiencia relacionada en monitoreo de contaminantes atmosféricos, análisis de calidad del aire, operación de estaciones de monitoreo, manejo de datos de calidad del aire o elaboración de estudios relacionados con contaminación atmosférica.
PROFESIONAL SIG Y ANÁLISIS DE DATOS	Profesional 2: Título profesional en Ingeniería Ambiental, Ingeniería Catastral y Geodesia, Ingeniería Química.	Mínimo dos (2) años de experiencia profesional en manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis espacial, procesamiento de información ambiental.
TÉCNICO DE MONITOREO AMBIENTAL	Técnico o tecnólogo en áreas ambientales, saneamiento ambiental	Mínimo dos (2) años de experiencia en instalación, operación o mantenimiento de equipos de monitoreo ambiental, toma de muestras de calidad del aire o manejo de instrumentos de medición ambiental.
AUXILIAR ADMINISTRATIVO	Asistencial 1: Título de bachiller.	Experiencia mínima de seis (6) meses en apoyo administrativo, organización

DIRECTOR DEL PROYECTO: Será responsable de la dirección integral del contrato, asegurando la correcta ejecución de los Componentes 1 al 6. Deberá aprobar el diseño del sistema de monitoreo, incluyendo la ubicación de estaciones y periodos de medición, así como validar la implementación técnica de las estaciones automáticas en campo. Supervisará el cumplimiento del programa de aseguramiento y control de calidad (QA/QC), garantizando la disponibilidad mínima de datos y la confiabilidad de la información. Así mismo, deberá validar las metodologías de análisis, cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) y modelación de dispersión atmosférica, asegurando la coherencia técnica entre todos los componentes. Será el responsable de revisar, aprobar y avalar todos los productos técnicos del contrato, en cumplimiento de la Resolución 2254 de 2017 y el Manual del SVCA.

PROFESIONAL DE CALIDAD DEL AIRE: Será responsable de liderar los aspectos técnicos relacionados con el diseño, ejecución y análisis del monitoreo de calidad del aire en los Componentes 1, 2, 3 y 4. Deberá definir los criterios técnicos para la ubicación de estaciones, selección de contaminantes y condiciones de medición, conforme a la normativa vigente. Supervisará la operación de los equipos automáticos y la correcta aplicación de metodologías de referencia o equivalentes (FRM/FEM), así como la implementación del programa QA/QC. Tendrá a su cargo el procesamiento y análisis de la información, incluyendo el cálculo de concentraciones, promedios normativos y el Índice de Calidad del Aire (ICA), identificando excedencias, contaminantes críticos y tendencias del comportamiento atmosférico.

PROFESIONAL SIG Y ANÁLISIS DE DATOS: Será responsable del manejo, procesamiento y análisis espacial de la información generada en los Componentes 1, 4, 5 y 6. Deberá realizar la georreferenciación de las estaciones en el sistema MAGNA-SIRGAS, así como la elaboración de cartografía temática que soporte el análisis de la calidad del aire. Tendrá a su cargo la estructuración, validación, estandarización y consolidación de las bases de datos conforme a los lineamientos del sistema SISAIRE. Deberá generar análisis espaciales, mapas de concentración y zonas críticas, así como apoyar la implementación y validación del modelo de dispersión atmosférica mediante herramientas SIG y análisis estadísticos.

TÉCNICO DE MONITOREO AMBIENTAL: Será responsable de la ejecución operativa de los Componentes 2 y 3, relacionados con la instalación y operación de estaciones de monitoreo. Deberá instalar los equipos automáticos y torres meteorológicas, garantizando el cumplimiento de condiciones técnicas como altura, flujo libre de aire, seguridad, accesibilidad y disponibilidad eléctrica. Tendrá a su cargo la operación continua de los equipos para la medición de contaminantes criterio, la ejecución de las campañas de monitoreo en temporada seca y húmeda, así como la realización de verificaciones, mantenimiento básico y registro de datos en campo. Apoyará las actividades de aseguramiento y control de calidad (QA/QC).

AUXILIAR ADMINISTRATIVO: Brindará apoyo transversal a todos los componentes del proyecto, garantizando la adecuada gestión documental y administrativa. Será responsable de la organización, consolidación y archivo de actas, informes técnicos y soportes del contrato, así como del apoyo logístico requerido para la ejecución de las actividades de campo y reuniones técnicas. Deberá realizar seguimiento a cronogramas, entregables y comunicaciones, asegurando la disponibilidad y trazabilidad de la información administrativa del proyecto.

Proyectó:

ALEJANDRA ROA
Profesional de Apoyo SPA

SAMUEL DAVID CRUZ
Profesional de Apoyo SPA

Revisó:

JULIE ANGELICA PÁEZ B.
Profesional Universitario, Coordinadora OAT

Aprobó:

LILIANA AGUDELO CIFUENTES
Subdirectora de Planeación Ambiental