

2017

MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO “ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ (PLMB)”, UBICADO EN EL ÁREA URBANA DE BOGOTÁ, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA, PARA LA EMPRESA INGETEC S.A.



Imagen: Proyecto Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá

INGETEC
INGENIEROS CONSULTORES

**PRESENTADO A:
INGETEC S.A.**



**CONSULTOR:
K2 INGENIERÍA S.A.S.
JULIO 2017**

INFORME FINAL

Las mediciones de calidad del aire fueron realizadas en el periodo comprendido entre los días 01 a 20 de agosto de 2017 y analizadas entre los días 16 a 29 de agosto de 2017, por la División de Monitoreos de la empresa K2 INGENIERÍA S.A.S. con NIT 804.007.055-3, ubicada en la Carrera 36 Número 36 – 28, Barrio El Prado, en la ciudad de Bucaramanga, acreditada ante el IDEAM mediante la Resolución de renovación 1695 del 4 de agosto de 2016.

	Nombre	Cargo	Firma
Elaboración Informe	Zulibeth Quirós	Ingeniero Consultor	
Revisó y Aprobó	Olga Lucia Ramírez Pineda	Gerente de la División de Monitoreos	



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS Y ALCANCE	2
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2.3	ALCANCE.....	2
2.3.1	Monitoreo de Calidad del Aire	2
3	GENERALIDADES.....	5
3.1	INFORMACIÓN DE LA EMPRESA.....	5
3.2	ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE.....	5
4	NORMATIVIDAD APLICABLE DE CALIDAD DEL AIRE	14
4.1	RESOLUCIÓN 601 DE 2006 Y RESOLUCIÓN 610 DE 2010 DEL MADS	14
4.2	RESOLUCIÓN 650 DEL 29 DE MARZO DE 2010	14
4.3	RESOLUCIÓN 2154 DEL 2 DE NOVIEMBRE DE 2010	15
5	METODOLOGÍA.....	16
5.1	MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (PM ₁₀)	16
5.2	MUESTREADORES DE BAJO VOLUMEN PARA PM _{2.5}	18
5.3	MEDICIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO Y DIÓXIDO DE AZUFRE (NO ₂ y SO ₂).....	20
5.4	MEDICIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	23
5.5	ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	24
5.6	DIAGRAMA DE CAJAS	25
5.7	COMPARACIÓN DE CONCENTRACIÓN CON LA NORMA	27
5.8	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA)	27
5.8.1	Rangos del ICA.....	28
5.8.2	Puntos de Corte del ICA	28
5.8.3	Cálculo del Índice Nacional de Calidad del Aire	29
6	ANÁLISIS METEOROLÓGICO	30
6.1	TEMPERATURA	33
6.2	PRECIPITACIÓN.....	35
6.3	PRESIÓN BAROMÉTRICA	37
6.4	DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO	40

7	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
7.1	CONCENTRACIONES DE PM ₁₀ VS NORMA.....	45
7.1.1	Comparación Indicativa con la Norma Anual de PM ₁₀	48
7.1.2	Consistencia de los Datos de PM ₁₀	49
7.2	CONCENTRACIONES DE PM _{2.5} VS NORMA.....	52
7.2.1	Comparación Indicativa con la Norma Anual de PM _{2.5}	55
7.2.2	Consistencia de los Datos de PM _{2.5}	56
7.3	COMPARACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES PM ₁₀ Y PM _{2.5}	59
7.4	CONCENTRACIONES DE NO ₂ VS. NORMA.....	62
7.4.1	Comparación Indicativa con la Norma Anual de NO ₂	65
7.5	CONCENTRACIONES DE SO ₂ VS. NORMA.....	66
7.5.1	Comparación Indicativa con la Norma Anual de SO ₂	69
7.6	CONCENTRACIONES DE CO.....	70
7.7	VOC'S EXPRESADOS COMO BTX.....	73
7.8	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA).....	77
7.9	INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE.....	80
8	OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES.....	81
9	BIBLIOGRAFÍA.....	84
10	ANEXOS.....	86
	ANEXO 1. GLOSARIO.....	86
	ANEXO 2. FIRMA CONSULTORA.....	89
	ANEXO 3. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y EFECTOS A LA SALUD.....	93
	ANEXO 4. FORMATOS DE CÁLCULO.....	95
	ANEXO 5. FORMATOS DE CAMPO.....	96
	ANEXO 6. REPORTES DE LABORATORIO.....	97
	ANEXO 7. VERIFICACIÓN DE EQUIPOS.....	98
	ANEXO 8. REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	99
	ANEXO 9. ACREDITACIÓN IDEAM PARA MONITOREO, CONSULTORÍA Y ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	112

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de calidad del aire	13
Ilustración 2. Muestreador Hi-Vol de PM ₁₀	17
Ilustración 3. Equipamiento que conforma el kit de calibración Variflow	17
Ilustración 4. Balanza Analítica OHAUS PA-214-CO	18
Ilustración 5. Muestreadores Low-Vol PM _{2.5}	19
Ilustración 6. Equipamiento que conforma el kit de calibración Deltacal	20
Ilustración 7. Muestreador de Gases tipo RAC	21
Ilustración 8. Montaje del calibrador de burbuja	22
Ilustración 9. Espectrofotómetro Genesys 10 Uv-Vis Scanning Thermo Electron	23
Ilustración 10. Analizador automático de CO.....	24
Ilustración 11. Estación meteorológica Vue–Davis Instruments	25
Ilustración 12. Descripción de un diagrama de cajas	26
Ilustración 13. Temperatura promedio diaria Estación Villa Blanca	33
Ilustración 14. Temperatura promedio diaria Estación RMCAB	34
Ilustración 15. Temperatura promedio horaria Estación Villa Blanca	34
Ilustración 16. Temperatura promedio horaria Estación RMCAB.....	35
Ilustración 17. Precipitación acumulada diaria Estación Villa Blanca	35
Ilustración 18. Precipitación acumulada diaria Estación RMCAB.....	36
Ilustración 19. Perfil horario de precipitación Estación Villa Blanca.....	37
Ilustración 20. Perfil horario de precipitación Estación RMCAB	37
Ilustración 21. Presión barométrica promedio diaria Estación Villa Blanca	38
Ilustración 22. Presión barométrica promedio diaria Estación RMCAB.....	38
Ilustración 23. Presión barométrica promedio horaria Estación Villa Blanca.....	39
Ilustración 24. Presión barométrica promedio horaria Estación RMCAB	39
Ilustración 25. Velocidad del viento promedio diaria Estación Villa Blanca	40
Ilustración 26. Velocidad del viento promedio diaria Estación RMCAB.....	40
Ilustración 27. Velocidad del viento promedio horaria Estación Villa Blanca.....	41

Ilustración 28. Velocidad del viento promedio horaria Estación RMCAB	41
Ilustración 29. Rosa de vientos – Estaciones Meteorológicas	44
Ilustración 30. Concentraciones diarias de PM ₁₀ vs. Norma	47
Ilustración 31. Concentraciones promedio PM ₁₀ vs Norma anual	49
Ilustración 32. Diagrama de cajas de contaminantes evaluados – PM ₁₀	51
Ilustración 33. Concentraciones diarias de PM _{2.5} vs. Norma.....	54
Ilustración 34. Concentraciones promedio PM _{2.5} vs Norma anual	56
Ilustración 35. Diagrama de cajas de contaminantes evaluados – PM _{2.5}	58
Ilustración 36. Concentraciones diarias de NO ₂ vs. Norma diaria	64
Ilustración 37. Concentraciones promedio NO ₂ vs Norma anual	66
Ilustración 38. Concentraciones diarias de SO ₂ vs. Norma diaria	68
Ilustración 39. Concentraciones promedio SO ₂ vs Norma anual	70
Ilustración 40. Concentraciones promedio horarias de CO vs. Norma	71
Ilustración 41. Media móvil octahoraria vs. Norma.....	72
Ilustración 42. Resultados de VOC's expresados como BTX	74
Ilustración 43. Concentración de Benceno Vs Norma anual.....	76
Ilustración 44. Concentración de Tolueno Vs Norma semanal	77
Ilustración 45. Índice de Calidad de Aire.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información de la empresa contratante.....	5
Tabla 2. Descripción técnica de las estaciones de monitoreo de calidad del aire	6
Tabla 3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio.....	14
Tabla 4. Información de la balanza utilizada en laboratorio.....	18
Tabla 5. Información del espectrofotómetro utilizado en laboratorio	23
Tabla 6. Convenciones Índice de Calidad del Aire.....	28
Tabla 7. Puntos de corte del ICA	28
Tabla 8. Microlocalización estaciones meteorológicas Villa Blanca y RMCAB.....	30
Tabla 9. Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo Estación Villa Blanca	31
Tabla 10. Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo Estación RMCAB.....	32
Tabla 11. Escalas de precipitación.....	36
Tabla 12. Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y a la dirección del viento para la Estación Villa Blanca	42
Tabla 13. Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y a la dirección del viento para la Estación RMCAB	43
Tabla 14. Clasificación de vientos según velocidad (Beaufort)	43
Tabla 15. Concentraciones diarias de PM ₁₀ vs. Norma diaria	46
Tabla 16. Consolidado de resultados de PM ₁₀ para el periodo evaluado	48
Tabla 17. Parámetros estadísticos de las estaciones de Calidad del Aire evaluadas – PM ₁₀	50
Tabla 18. Concentraciones diarias de PM _{2,5} vs. Norma diaria.....	53
Tabla 19. Consolidado de resultados de PM _{2,5} para el periodo evaluado.....	55
Tabla 20. Parámetros estadísticos estaciones de Calidad del Aire evaluadas – PM _{2,5}	57
Tabla 21. Comparación concentración diaria PM ₁₀ – PM _{2,5} VS Normas.....	59
Tabla 22. Concentraciones diarias de NO ₂ vs. Norma diaria.....	63
Tabla 23. Consolidado de resultados de NO ₂ para el periodo evaluado.....	65
Tabla 24. Concentraciones diarias de SO ₂ vs. Norma diaria	67

Tabla 25. Consolidado de resultados de SO ₂ para el periodo evaluado	69
Tabla 26. Consolidado resultados BTX [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].....	73
Tabla 27. Comparación indicativa de Benceno y Tolueno con la normatividad	75
Tabla 28. Valores Índice de calidad del aire – PM ₁₀	78
Tabla 29. Cálculo de incertidumbre	80

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS DIGITALES

Anexo Digital 1. Certificados de Calibración

ANEXOS FÍSICOS

Anexo 1. Glosario

Anexo 2. Firma Consultora

Anexo 3. Contaminantes Atmosféricos y Efectos a la Salud

Anexo 4. Formatos de Cálculo

Anexo 5. Formatos de Campo

Anexo 6. Reportes de Laboratorio

Anexo 7. Verificación de Equipos

Anexo 8. Registro Fotográfico

Anexo 9. Acreditación IDEAM Para Monitoreo, Consultoría y Análisis de Laboratorio

1 INTRODUCCIÓN

De conformidad con el objeto contractual: REALIZAR UNA CAMPAÑA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE, EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO “ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ (PLMB)” UBICADO EN EL ÁREA URBANA DE BOGOTÁ, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA, PARA LA EMPRESA INGETEC S.A.”, según la propuesta técnica simplificada No. 2010128-7-17-V3 del año 2017, se presenta el informe final correspondiente a la campaña de calidad del aire realizada en el periodo comprendido entre el 01 y el 20 de agosto de 2017.

Los contaminantes analizados en el monitoreo de calidad del aire son: Material Particulado PM_{10} (partículas con diámetro aerodinámico menor a $10 \mu m$), Material Particulado $PM_{2.5}$ (partículas con diámetro aerodinámico menor a $2,5 \mu m$), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Dióxido de Azufre (SO_2), Monóxido de Carbono (CO) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) expresado BTX. También se realizó la medición de variables meteorológicas. Los procedimientos de muestreo y tratamiento de muestras en laboratorio se realizaron teniendo en cuenta las recomendaciones de la U.S. EPA y los acreditados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) y la normatividad actual vigente, empleando equipos de muestreo de tecnología manual y automática.

El documento incluye el alcance del estudio, la metodología seguida en la ejecución de los muestreos y su respectivo reporte de cálculos y resultados. Además, se presenta una comparación de los resultados de las mediciones con las normas de calidad de aire en caso que apliquen y las conclusiones respectivas.

2 OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un (1) monitoreo de calidad del aire, en dieciocho (18) puntos, para el proyecto “Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)”, ubicado en el área urbana de Bogotá, departamento de Cundinamarca, para la empresa INGETEC S.A.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Consolidar los resultados de concentración obtenidos en los monitoreos dentro del marco del actual estudio para los contaminantes de interés comparándolos con los respectivos estándares máximos permisibles de acuerdo a la normativa aplicable.
2. Analizar las concentraciones obtenidas en los monitoreos.
3. Definir los valores del ICA para cada uno de los sitios de medición.
4. Identificar las principales fuentes de emisión de contaminación atmosférica.
5. Presentar un documento técnico final con resultados, análisis y conclusiones para el periodo de estudio analizado.

2.3 ALCANCE

Caracterización de las condiciones de calidad del aire, en el área de influencia del Proyecto “Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)”, ubicado en el área urbana de Bogotá, departamento de Cundinamarca, con base en los términos de referencia dispuestos en la propuesta técnica simplificada No. 2010128-7-17-V3 y teniendo en cuenta los criterios particulares adoptados por el Interventor.

2.3.1 Monitoreo de Calidad del Aire

El alcance del Monitoreo de Calidad del Aire abarca el análisis consolidado de los contaminantes del aire, tales como, Material Particulado Fino (PM_{10} , $PM_{2.5}$), Dióxidos de Nitrógeno (NO_2), Dióxidos de Azufre (SO_2), Monóxido de Carbono (CO), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y la medición de variables meteorológicas.

Las estaciones de monitoreo se ubican teniendo en cuenta los puntos escogidos de común acuerdo con el Interventor del proyecto y el cumplimiento del *Protocolo Para el Diseño y Vigilancia de la Calidad del Aire*, además se consideran las Resoluciones 601 de 2006 y 610 de 2010.

2.3.1.1 Monitoreo de PM_{10}

Comprende la instalación de **dieciocho (18)** estaciones PM_{10} con equipos High-Vol., para la toma de muestras por un periodo de **dieciocho (18) días continuos**. En total se toman dieciocho (18) muestras por estación durante todo el periodo de medición.

El método de toma de muestras utilizado es:

- Toma de muestra y análisis de laboratorio para la determinación material particulado como PM_{10} en la atmósfera, Método EPA e-CFR. Título 40, Parte 50, Apéndice J: PM_{10} .

2.3.1.2 Monitoreo de $PM_{2.5}$

Comprende la instalación de **dieciocho (18)** estaciones $PM_{2.5}$ con equipos Low-Vol., para la toma de muestras por un periodo de **dieciocho (18) días continuos**. En total se toman dieciocho (18) muestras por estación durante todo el periodo de medición.

El método de toma de muestras utilizado es:

- Toma de muestra y análisis de laboratorio para la determinación material Particulado como $PM_{2.5}$: EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice L: $PM_{2.5}$. Método de referencia manual RFP-0498-116.

2.3.1.3 Monitoreo de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y Dióxido de Azufre (SO_2)

Comprende la instalación de **dieciocho (18)** estaciones para la medición de gases con el muestreador RAC de 3 gases, y la toma de muestras por un periodo de **dieciocho (18) días continuos**. En total se toman dieciocho (18) muestras por estación para cada contaminante durante todo el periodo de medición.

Los métodos de toma de muestras utilizados son:

- Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de SO_2 : EPA e-CFR. Título 40, Parte 50, Apéndice A: Pararrosalinina.
- Toma de muestras y análisis para la determinación de NO_2 : Jacobs – Hocheiser Modificado por D.A Levaggi, W. Siu y M. Feldstein; Journal of the Pollution Control Association 2012, 23:1, 30-33. Trietanolamina.

2.3.1.4 Monitoreo de Monóxido de Carbono (CO)

Comprende la toma de muestras de CO con un analizador de gases, durante el periodo de medición. Se toma una muestra de **veinticuatro (24) horas continuas** en cada estación rotando el equipo por cada estación.

El método de toma de muestras utilizado es:

- Determinación directa de Monóxido de Carbono (CO): Método equivalente a EPA e-CFR. Título 40, Parte 50, Apéndice C: Fotometría Infrarroja No Dispersiva.

2.3.1.5 Monitoreo de VOC Expresado BTX

Comprende la instalación de **dieciocho (18)** estaciones para la medición de VOC expresados como Benceno, Tolueno y Xileno (BTX) con tubos pasivos, con un periodo de exposición de **dieciocho (18) días continuos**; cada punto de medición tendrá una muestra con su duplicado. En total se utilizarán treinta y seis (36) tubos para todo el periodo de medición, dos (02) tubos por estación.

El método de toma de muestras utilizado es:

- Toma de Muestra para la determinación **BTX**: Norma Europea EN 13528-2:2002. Captadores Difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores en aire ambiente.

2.3.1.6 Medición de Variables Meteorológicas

Comprende la medición de variables meteorológicas (dirección y velocidad del viento, presión barométrica, temperatura, precipitación, humedad relativa) durante los **dieciocho (18) días** de monitoreo de calidad del aire. Se ubican **dos (2) estaciones meteorológicas** en puntos estratégicos que permitan registrar las condiciones meteorológicas de forma representativa para las estaciones de monitoreo.

3 GENERALIDADES

3.1 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

INGETEC S.A. es una empresa dedicada al diseño, asesoría y supervisión de proyectos de infraestructura (hidroeléctricos, termoeléctricos, viales, transporte masivo y estudios ambientales, entre otros), (Tabla 1).

Tabla 1. Información de la empresa contratante

Nombre	INGETEC S.A.
NIT:	8600019861
Dirección	Carrera 6 # 30A-30, Bogotá D.C.
Contacto:	Ingeniera María Alejandra Tirado
Teléfono:	(57 1) 3238050
Email:	info@ingetec.com.co

Fuente: INGETEC S.A.

3.2 ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

En la **Tabla 2** se describen las estaciones definidas, ubicadas y puestas en operación para el monitoreo de calidad del aire, especificando su georreferenciación en coordenadas geográficas WGS84 y coordenadas planas MAGNA Sirgas Colombia Bogotá¹, un registro fotográfico, descripción de la ubicación, equipos utilizados, periodo de medición y contaminantes monitoreados.

¹ En cumplimiento a la Resolución 1415 de 2012 y la Resolución 0188 de 2013 ambas expedidas por el actual MADS.

Tabla 2. Descripción técnica de las estaciones de monitoreo de calidad del aire

ESTACIÓN 1	Nombre:	PATIO TALLER	
	Coordenadas:	04°38'41,7"N	74°11'57,5"W
		X: 986485.772	Y: 1005388.278
	Altitud:	2.556 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Finca Cañaveralejo cercana al acueducto, en el sector El Corzo. Como fuente del entorno se evidencia el tráfico de vehículos pesados por vía destapada.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 2	Nombre:	PORTAL AMERICAS	
	Coordenadas:	04°37'45,4"N	74°10'15,7"W
		X: 989623.148	Y: 1003658.426
	Altitud:	2.562 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en un parqueadero y Centro de Lavado de la Av. Villavicencio con 86A. Se evidencia tráfico vehicular en el entorno.	
Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20		

ESTACIÓN 3	Nombre:	VILLA BLANCA	
	Coordenadas:	04°37'14,2"N	74°10'02,4"W
		X: 990032.958	Y: 1002699.999
	Altitud:	2.554 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Carrera 80 con Calle 43. Como fuente del entorno se identifica el tráfico vehicular.	
Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20		

ESTACIÓN 4	Nombre:	KENNEDY	
	Coordenadas:	04°36'59,3"N	74°09'30,7"W
		X: 991009.97	Y: 1002242.2
	Altitud:	2.560 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 41C-Sur # 78-36. No se evidencian fuentes importantes de emisión en el entorno.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 5	Nombre:	PALENQUE	
	Coordenadas:	04°36'58,7"N	74°09'04,5"W
		X: 991817.52	Y: 1002223.68
	Altitud:	2.560 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 39A # 73C-29 Sur. Predomina el tráfico vehicular normal en el entorno.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 6	Nombre:	AVENIDA BOYACÁ	
	Coordenadas:	04°37'09,8"N	74°08'25,2"W
		X: 993028.87	Y: 1002564.52
	Altitud:	2.563 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 6 Sur # 72-39. Se evidencia como fuente en el entorno el tráfico de vehículos livianos.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 7	Nombre:	AVENIDA 68	
	Coordenadas:	04°36'29,4"N	74°07'42,8"W
		X: 994335.65	Y: 1001323.45
	Altitud:	2.562 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Punto ubicado en la Calle 27 Sur # 54-08. En el entorno se evidencia tráfico vehicular leve.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 8	Nombre:	ROSARIO	
	Coordenadas:	04°36'08,6"N	74°07'21,9"W
		X: 994979.81	Y: 1000684.49
	Altitud:	2.574 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Carrera 50B # 29-31. Presencia de tráfico vehicular en el entorno.	
Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20		

ESTACIÓN 9	Nombre:	NQS	
	Coordenadas:	04°35'49,4"N	74°06'47,8"W
		X: 996030.84	Y: 1000094.66
	Altitud:	2.568 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 18 Sur # 34C-04. En el entorno hay presencia importante de tráfico vehicular de la Avenida 1º de Mayo.	
Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20		

ESTACIÓN 10	Nombre:	SANTANDER	
	Coordenadas:	04°35'32,2"N	74°05'44,2"W
		X: 997991.19	Y: 999566.25
	Altitud:	2.604 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la casa del señor Diego Meneses. Las fuentes de emisión del entorno son el tráfico vehicular y algunas industrias.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 11	Nombre:	HOSPITALES	
	Coordenadas:	04°35'36,0"N	74°05'16,5"W
		X: 998845.00	Y: 999682.96
	Altitud:	2.614 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la portería principal del Hospital La Misericordia. La principal fuente del entorno es el tráfico vehicular de la Avenida Caracas con Calle 1ª.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 12	Nombre:	CALLE 10-11	
	Coordenadas:	04°35'56,2"N	74°04'46,02"W
		X: 999784.50	Y: 1000303.44
	Altitud:	2.626 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la azotea del Centro Comercial El Gran San. Calle 10 con Carrera 10. La principal fuente del entorno es el tráfico vehicular en las zonas aledañas.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 13	Nombre:	CALLE 26	
	Coordenadas:	04°36'43,2"N	74°04'22,3"W
		X: 1000515.62	Y: 1001747.14
	Altitud:	2.642 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la terraza de la Universidad Incca de Colombia. La principal fuente del entorno es el tráfico vehicular de la Calle 26.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 14	Nombre:	CALLE 45	
	Coordenadas:	04°38'0,7"N	74°04'02,4"W
		X: 1001128.95	Y: 1004127.72
	Altitud:	2.610 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la terraza del nuevo Edificio de Psicología de la Universidad Católica. La fuente más relevante del entorno es el tráfico vehicular de la Av. Caracas con Calle 46.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 15	Nombre:	CALLE 52	
	Coordenadas:	04°38'29,9"N	74°03'56,5"W
		X: 1001310.79	Y: 1005024.66
	Altitud:	2.594 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la terraza de la Secretaría Distrital de Ambiente. En el entorno se destaca el tráfico vehicular de la zona.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 16	Nombre:	CALLE 63	
	Coordenadas:	04°39'2,8"N	74°03'56,6"W
		X: 1001307.69	Y: 1006035.26
	Altitud:	2.587 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Calle 63A # 15-15. Como fuentes del entorno se destacan el tráfico vehicular de la zona y la remodelación de un edificio ubicado a 80 m aproximadamente.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 17	Nombre:	CALLE 72	
	Coordenadas:	04°39'22,7"N	74°03'50,2"W
		X: 1001504.93	Y: 1006646.53
	Altitud:	2.582 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en el la Calle 15 # 68-86, que corresponde a un parqueadero en construcción. Se evidencia en el entorno tráfico vehicular.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

ESTACIÓN 18	Nombre:	CALLE 76	
	Coordenadas:	04°39'51,3"N	74°03'32,1"W
		X: 1002062.76	Y: 1007525.05
	Altitud:	2.589 msnm	
	Equipos:	Low-Vol VFC PM _{2.5} , Hi-Vol VFC PM ₁₀ , RAC 3 Gases, Tubos Pasivos BTX, Analizador Infrarrojo CO.	
	Contaminantes:	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO, BTX.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la terraza del Centro Comercial de Alta Tecnología, en la Carrera 15 # 77-05. Predomina tráfico vehicular en la zona.	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/20	

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

En el **Anexo 8** se presenta el registro fotográfico completo de las estaciones. La definición de los contaminantes evaluados de acuerdo a la literatura y las tecnologías empleadas para las mediciones de calidad del aire se encuentran en el **Anexo 3**.

La **Ilustración 1** muestra el mapa con la localización geográfica de las dieciocho (18) estaciones de monitoreo de calidad del aire.

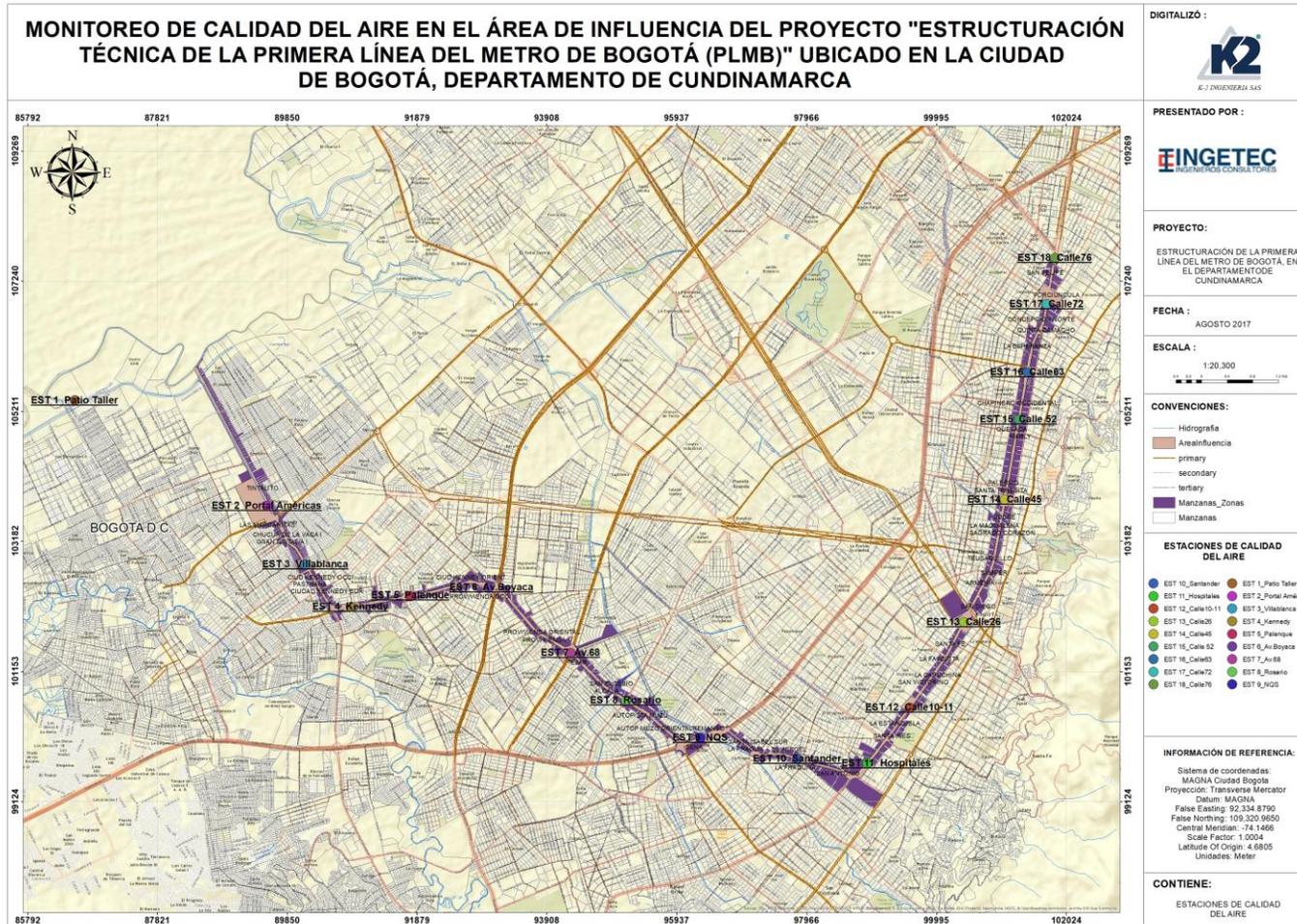


Ilustración 1. Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de calidad del aire

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

4 NORMATIVIDAD APLICABLE DE CALIDAD DEL AIRE

4.1 RESOLUCIÓN 601 DE 2006 Y RESOLUCIÓN 610 DE 2010 DEL MADS

La Resolución 601 de 2006 fue establecida como norma nacional de calidad del aire para el territorio nacional en condiciones de referencia de conformidad con los artículos 6, 10 y 12 del Decreto 948 de 1995. La Resolución 610 de 2010 modifica parcialmente los artículos definidos en un principio por la Resolución 601 de 2006 más no la deroga. Dentro de los artículos modificados se encuentran los estándares máximos permisibles diferenciados por contaminantes y duración de exposición, los cuales se presentan en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio

Contaminante	Nivel Máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PM ₁₀	50	Anual
	100	24 horas
PM _{2,5}	25	Anual
	50	24 horas
SO ₂	80	Anual
	250	24 horas
	750	3 horas
NO ₂	100	Anual
	150	24 horas
	200	1 hora
O ₃	80	8 horas
	120	1 hora
CO	10000	8 horas
	40000	1 hora
C ₆ H ₆	5,0	Anual
C ₇ H ₈	260	Semanal
Nota: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las condiciones de 298,15 K y 101,325 kPa (25°C y 760 mmHg).		

Fuente: Resolución 610 de 2010, MAVDT (actual MADS)

4.2 RESOLUCIÓN 650 DEL 29 DE MARZO DE 2010

La Resolución 650 del 29 de marzo de 2010 “Por la cual se adopta el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire*”. El protocolo establece las directrices, metodologías y

procedimientos necesarios para llevar a cabo las actividades de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire en el territorio nacional.

4.3 RESOLUCIÓN 2154 DEL 2 DE NOVIEMBRE DE 2010

La Resolución 2154 del 2 de noviembre de 2010, "Por la cual se ajusta el *Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire* adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones. Este protocolo está compuesto por los siguientes dos manuales, que forman parte integral de la resolución mencionada:

- Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. Versión octubre de 2010.
- Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. Versión octubre de 2010.

5 METODOLOGÍA

Durante los muestreos de calidad del aire, se siguieron los procedimientos para la evaluación de contaminantes criterio procedentes de la ejecución del proyecto "Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)", ubicado en el área urbana de Bogotá, departamento de Cundinamarca, para la empresa INGETEC S.A.

Dentro de la metodología se tienen en cuenta los términos de referencia establecidos en la normativa Resolución 610 de 2010 y Resolución 601 de 2006, ambas expedidas por el actual MADS, la U.S. EPA y el *Protocolo Nacional de Calidad del Aire*.

Las mediciones se realizaron con una frecuencia de monitoreo diaria hasta completar 18 muestras, de acuerdo a los lineamientos especificados en los términos de referencia enviados por el cliente.

En los monitoreos se utilizaron los métodos de muestreo y de cálculo recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S. EPA) y avalados por la legislación colombiana, tanto las soluciones para el muestreo como las muestras en sí, permanecieron en una cadena de frío y estas últimas se transportaron bajo cadena de custodia, lo cual permitió mantener la trazabilidad y calidad de los resultados.

Los métodos utilizados en el monitoreo son los siguientes:

5.1 MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (PM₁₀)

- *Toma de muestras para la Determinación de Material Particulado como PM₁₀ en la Atmósfera, Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J: PM₁₀*

Para el monitoreo de las partículas y la calibración de los equipos de muestreo de alto volumen se siguieron las recomendaciones de las normas de la U.S. EPA contenidas en el 40 CFR Parte 50, Apéndice J, "*Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere*"; junto con la Norma Técnica Colombiana NTC 3704 del ICONTEC.

El método consiste en hacer pasar una muestra de aire, succionada por un motor, a través de un filtro de fibra de vidrio, previamente secado y pesado, durante 24 horas. Los flujos de operación se encuentran entre 1,02 y 1,24 (m³/min) para PM₁₀. Para material particulado se utilizaron equipos de alto volumen Hi – Vol (**Ilustración 2**), los cuales fueron verificados al inicio del muestreo mediante el uso de metodología de orificios.

Al estar operando en éste rango de flujo, las muestras se colectaron por periodos de 24 horas. La concentración de la masa de las partículas suspendidas se calculó por medio de la diferencia en pesos del filtro antes y después del muestreo y del total del flujo de aire muestreado.



Ilustración 2. Muestreador Hi-Vol de PM₁₀
Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

Equipos de Verificación

La verificación del equipo se realizó con un kit de calibración (**Ilustración 3**), este consta una resistencia de flujo variable, la cual es un tubo metálico con un par de discos que permiten obtener varias aberturas al girar uno de los discos; este kit de calibración posee la respectiva ecuación de calibración con su respectiva curva.



Ilustración 3. Equipamiento que conforma el kit de calibración Variflow
Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

Finalizado el tiempo de muestreo, el filtro se seca a 85°C por una hora en estufa, se lleva a temperatura ambiente en desecador y se pesa nuevamente. La diferencia de peso, es la masa (μg) neta, que dividida por el volumen de aire (m^3) muestreado durante las 24 horas, determina la concentración de partículas, expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la determinación del material particulado, en el Laboratorio de K2 INGENIERÍA S.A.S. se utilizó una balanza digital OHAUS (**Ilustración 4**).



Ilustración 4. Balanza Analítica OHAUS PA-214-CO

Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

La balanza digital (**Tabla 4**) utilizada en laboratorio por la firma consultora K2 INGENIERÍA S.A.S. fue:

Tabla 4. Información de la balanza utilizada en laboratorio

Serial	Marca y Modelo	Fecha de Calibración	Fecha de Vencimiento Calibración
8328240501	OHAUS PA214	2015-05-20	2018-05-20

Fuente: Información de equipos y calibraciones de K2 INGENIERÍA S.A.S.

5.2 MUESTREADORES DE BAJO VOLUMEN PARA PM_{2.5}²

Este muestreador fue concebido desde el principio como una plataforma de muestreo secuencial. Tanto las versiones de cuatro y 12 canales del dispositivo proporcionan capacidades de muestreo secuenciales. Muestreadores de cuatro canales se pueden actualizar en una fecha posterior a la configuración de 12 canales. Cuatro canales de flujo pueden ser operados simultáneamente, cada uno con un caudal de hasta 16,7 L/min (un m³/hora) para lograr condiciones termodinámicas comparable con PM_{2.5} muestreadores FRM. Esto también permite más material para ser recogida en cada filtro de 47 mm para el análisis que a velocidades de flujo más bajas. Control de flujo volumétrico activo mantiene una velocidad de flujo volumétrico constante especificada por el usuario mediante la incorporación de cuatro controladores de flujo másico y sensores de temperatura y presión ambiente, (**Ilustración 5**).

² <http://www.thermoscientific.com/en/product/partisol-2300-speciation-sampler.html#sthash.yEaRnXOP.dpuf>



Ilustración 5. Muestreadores Low-Vol PM_{2.5}
Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

Características principales:

- Secuencial flexible (12 canales) unidad con interfaz de usuario
- Activol™ de control de flujo con cuatro controladores de flujo; trayectoria de flujo recta
- PM_{2.5} y PM₁₀ impactadores aseguran punto de corte tamaño aguda similar a FRM
- Flujos programables (hasta 18 L/min.)
- Configuraciones de Base (cuatro canales) y la plataforma de muestreo flexibles disponibles

Los canales pueden ser agrupados en las siguientes maneras:

- Tres grupos de cuatro canales de flujo
- Tres grupos de tres canales de flujo
- Seis grupos de dos canales de flujo
- Doce canales de flujo

Información adicional:

- Tres tipos de almacenamiento de datos interno
- La simplicidad de la operación
- Intercambio conveniente de módulos de muestreo sin abrir caja del instrumento
- Operación remota a través de entrada o de dos vías analógicas RS-232 enlace serie
- Bajos requerimientos de mantenimiento

La Verificación de los equipos Low-Vol se realizó con un Calibrador 'deltaCal' fabricado por BGI, Inc., para calibrar monitores de PM (con sensor de temperatura y presión), (**Ilustración 6**). Muestra flujo

actual y flujo a condiciones estándares, brinda información sobre flujo volumétrico, presión barométrica, temperatura de ambiente entre otros.



Ilustración 6. Equipamiento que conforma el kit de calibración Deltacal

Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

5.3 MEDICIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO Y DIÓXIDO DE AZUFRE (NO₂ y SO₂)

- *Toma de muestras y análisis para determinación de SO₂, Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A: Pararrosalinina y Toma de muestras para determinación de NO_x, Método Jacobs N° EQN-1277-026: Arsenito de Sodio*

Para realizar el análisis de SO₂ y NO₂, se utilizó un equipo que opera mediante el sistema de burbujeo de la muestra en tubos lavadores, los cuales poseen soluciones absorbentes específicas para estos gases. El cálculo de la concentración en 24 horas se determina mediante el flujo de muestreo, tiempo de operación del muestreador, concentración de SO₂ y NO₂ en la muestra y la curva de calibración correspondiente. El flujo requerido de 180 y 220 ml/min se logra mediante la utilización de orificios críticos, una vez que la bomba mantenga un vacío mínimo de 500 mm de Hg.

Los equipos utilizados para el muestreo de gases son los conocidos RAC tres gases que operan mediante el sistema de burbujeo de la muestra en tubos lavadores, los cuales poseen soluciones absorbentes específicas para cada NO₂ y SO₂.

Equipo Utilizado

El equipo muestreador de gases tipo RAC (**Ilustración 7**), consta de una caja metálica con tapa móvil y dos compartimentos. El primer compartimento tiene una bomba de vacío cuyas características cumplen las especificaciones recomendadas por la U.S. EPA 40 CFR App A³ (motor de 1700 rpm, 0.5

³US EPA CFR 40 Appendix A to Part 50—Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method) [Federal Register: Vol. 47, page 54899, 12/06/82 and Vol. 48, 17355, 04/22/83]

HP de fuerza, presión máxima de 20 psi, 110-115 voltios y 23 pulgadas de mercurio de capacidad de vacío a nivel del mar). En el segundo compartimiento se encuentra el tren de muestreo, que va conectado a la bomba de vacío y consta de un tubo distribuidor conectado en serie a tres colectores de vidrio de borosilicato (burbujeadores) que contienen la solución absorbente para NO₂, SO₂ y O₃ que hace las veces de trampa (burbujeador trampa). El flujo de aire que pasa a través del sistema es controlado por orificios críticos, el cual es calibrado antes y después de la colección de la muestra (24 horas). El sistema es protegido por un filtro de membrana de 8 μm colocado entre la entrada de la muestra y el primer burbujeador y por una trampa de humedad (sílice gel) colocada entre el burbujeador trampa y la bomba de vacío.



Ilustración 7. Muestreador de Gases tipo RAC

Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

Adicionalmente, el colector de SO₂ va empotrado en una pequeña nevera refrigerada con hielo seco o hielo y una salmuera para mantener el sistema a una baja temperatura. Los gases, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno, fueron monitoreados mediante este equipo muestreador RAC, el cual es un instrumento que utiliza un sistema de absorción de gases con químicos húmedos.

Verificación RAC

La verificación se efectuó empleando una unidad tipo burbuja Gilibrator 2 o tubo cilíndrico graduado, siguiendo los pasos que se describe a continuación:

- Ensamblar el equipo como muestra la **Ilustración 8**.
- Llenar los tubos de muestreo con 50 ml de agua destilada.
- Revisar las conexiones.
- Encender la bomba de vacío y verifique la presión manométrica.
- Verificar el funcionamiento de los burbujeadores en el tren de muestreo.
- Formar una burbuja, medir y registrar el tiempo de viaje entre las marcas de volumen conocido en el calibrador de burbuja, repetir esta operación como mínimo tres veces; hasta

que los tiempos de recorrido no difieran entre sí en más del 5%. Registrar la información en el formato para calibración de orificios críticos.

- Promediar el tiempo de viaje para 10 corridas.
- Corregir el volumen desplazado a condiciones de referencia (760 mmHg y 25°C)
- Dividir el volumen corregido por el tiempo promedio para determinar la tasa de flujo.
- La tasa de flujo para cada orificio de flujo crítico debe localizarse entre 180 y 220 ml/min, si no se cumple esta condición debe desecharse el orificio.

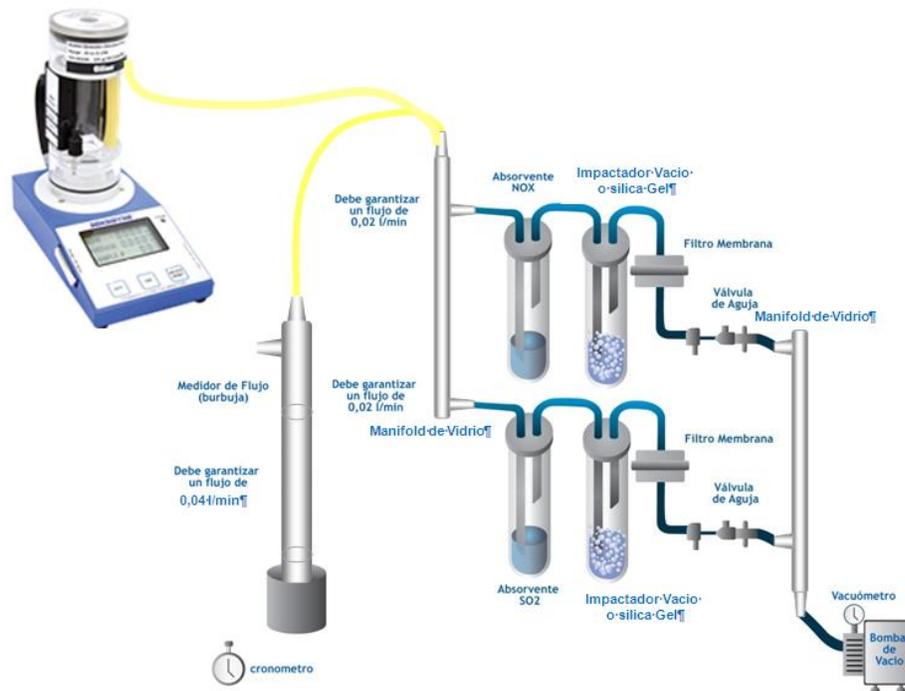


Ilustración 8. Montaje del calibrador de burbuja

Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

Análisis de Laboratorio

Para SO_2 , en laboratorio se sigue el método de la Pararosanilina para el Dióxido de Azufre (EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A), el cual es absorbido en una solución de Potasio o de Tetracloromercurato de Sodio (TCM). La muestra es acondicionada para evitar interferencias, en particular de metales y de agentes oxidantes, como Ozono y Óxidos de Nitrógeno. La solución es tratada con Formaldehído, Ácido Fosfórico y Pararosanilina, a fin de mantener condiciones adecuadas de pH y de color. La concentración final se determina mediante colorímetro para lo cual se utiliza un espectrofotómetro, a una longitud de onda a 548 nm.

Para los NO_2 se aplica el Método Jacobs Modificado por D.A Levaggi, W. Siu y M. Feldstein; Journal of the Air Pollution Control Association 2012, 23:1, 30-33. Trietanolamina adoptado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Las concentraciones atmosféricas de

Dióxido de Nitrógeno (NO₂) son medidas indirectamente por fotometría midiendo la intensidad de luz, en longitudes de onda mayor a 600 nanómetros.

Para la cuantificación de los colores, es utilizado un espectrofotómetro como se observa en la **Ilustración 9**.



Ilustración 9. Espectrofotómetro Genesys 10 Uv-Vis Scanning Thermo Electron

Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

La información sobre el espectrofotómetro utilizado en laboratorio por la firma consultora K2 INGENIERÍA S.A.S. se presentan en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Información del espectrofotómetro utilizado en laboratorio

Serial	Marca y Modelo	Fecha de Calibración	Fecha de Vencimiento Calibración
2L5L366001	Thermo Genesys 10	2016-05-16	2018-05-16

Fuente: Información de equipos y calibraciones de K2 INGENIERÍA S.A.S.

5.4 MEDICIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

- *Toma de muestras para determinación de CO, Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice C.*

El método de referencia se basa en la absorción de energía de determinadas longitudes de onda que tiene el CO y consiste en medir la radiación infrarroja absorbida por el CO mediante un fotómetro no dispersivo.

Para las mediciones de CO se realiza en tiempo real con analizadores infrarrojo no dispersivo CO12M Enviromental S.A., (**Ilustración 10**). El CO12M representa la última evolución de la tecnología de detección de gases, cuyas concentraciones son reportadas en ppm. El método consiste en realizar mediciones al aire libre en cada una de los puntos a evaluar.



Ilustración 10. Analizador automático de CO

Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

Para los cálculos, se requiere la conversión de la concentración en ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con la siguiente expresión establecida en la sección 7.3.1.1. Manejo y presentación de las variables de calidad del aire del *Manual de Diseño del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire* (Resolución 2154 de 2010):

Ecuación 1. Cálculo de concentración de CO

$$C_{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}} = \frac{C(\text{ppm}) * PM}{24.45} * 10^3$$

Dónde:

$C(\mu\text{g}/\text{m}^3)$: Concentración de CO en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$C(\text{ppm})$: Concentración de CO en ppm.

5.5 ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Para la obtención de la información meteorológica, durante la campaña de monitoreo se emplearon dos (2) estaciones meteorológicas: Vantage Vue marca Davis Instruments.

Los equipos cuentan con sensores de dirección y velocidad del viento, registran datos de temperatura ambiente, presión barométrica, porcentaje de humedad relativa, precipitación, entre otras. Este tipo de equipos también presenta la predicción del estado del tiempo, es decir, si las próximas horas corresponderán a tiempos soleados, parcialmente cubiertos, cubiertos, con lluvias y/o con nieve (esta última, sólo es aplicable en aquellos lugares donde se presenta este fenómeno).

En la **Ilustración 11** puede observarse la consola y la estación meteorológica.

**Ilustración 11. Estación meteorológica Vue–Davis Instruments**

Fuente: Base de datos K2 INGENIERÍA S.A.S.

La mayor aplicabilidad de este tipo de estaciones es su uso en el apoyo de las campañas de monitoreo de calidad del aire y análisis meteorológicos, ya que realizan la medición precisa de todas las variables mencionadas anteriormente y además, almacena la información en un datalogger, el cual puede ser posteriormente conectado a un computador y realizar la respectiva descarga de información para poder ser empleada en la elaboración de los informes. Para la ejecución de la campaña de monitoreo, se empleó una resolución temporal de treinta (30) minutos.

5.6 DIAGRAMA DE CAJAS

La elaboración de estos diagramas, permitió la realización del análisis de los datos para su validación. El diagrama de caja es una representación gráfica de varias estadísticas:

- El primer cuartil (valor por debajo del cual está el 25% de los datos) representado por el borde inferior de la caja.
- La mediana como medida de tendencia central, correspondiente al segundo cuartil (valor por debajo del cual está el 50% de los datos) representada por la línea horizontal dentro de la caja.
- El tercer cuartil (valor por debajo del cual está el 75% de los datos) representado por el borde superior de la caja.
- El intervalo intercuartílico como medida de la dispersión, definido como la diferencia entre el tercer y primer cuartil, representado por la altura de la caja.
- El valor mínimo que corresponde al mínimo valor de los datos o, en caso de valores atípicos, a 1,5 distancias intercuartílicas, medidos hacia abajo desde la mediana.

- El valor máximo que corresponde al máximo valor de los datos o, en caso de valores atípicos, a 1,5 distancias intercuartílicas, medidos hacia arriba desde la mediana.
- Los valores extremos, que son los que se encuentran entre 1,5 distancias intercuartílicas y hasta 3 distancias intercuartílicas medidas desde la mediana, representados por un círculo.
- Los datos atípicos que se encuentran a más de tres (3) distancias intercuartílicas medidos desde la mediana, representados por un asterisco.
- El número de caso que corresponde a la medición en la cual se encontró el valor extremo o el dato atípico.

Los percentiles son valores que dividen una distribución de frecuencias obtenida en una medición en cien partes ordenadas y de igual área; de forma similar se definen los deciles y los cuartiles ya que corresponden a dividir una distribución de frecuencias en 10 partes iguales (10, 20, 30,..., 90, 100) y en 4 partes iguales (25, 50, 75 y 100), respectivamente. Teniendo en cuenta que cada diagrama de caja corresponde a la representación gráfica del monitoreo de algún contaminante específico para determinado intervalo de tiempo, es adecuado que la lectura de los valores de concentraciones se realice en el eje vertical del diagrama y que cada bloque o caja corresponda a un intervalo de tiempo definido, (**Ilustración 12**).

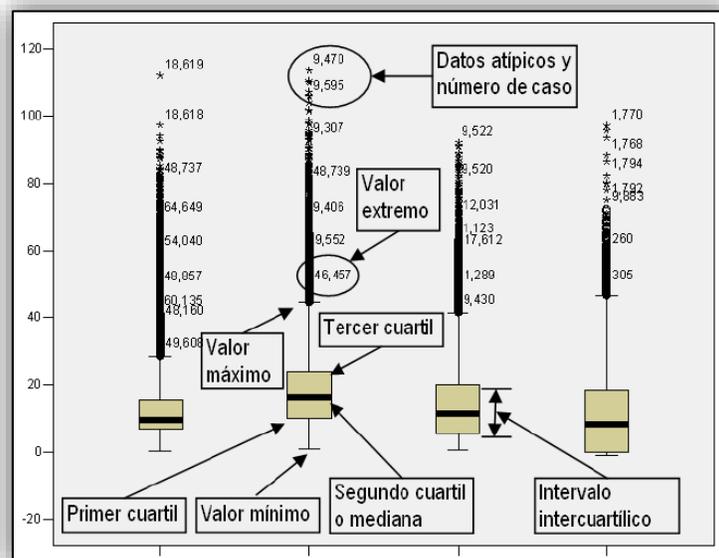


Ilustración 12. Descripción de un diagrama de cajas⁴
Fuente: Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

⁴ Resolución MAVDT 2154 de 2010 "Por la cual se ajusta el Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones".

5.7 COMPARACIÓN DE CONCENTRACIÓN CON LA NORMA

Los datos promedio de concentración que se obtienen del monitoreo de calidad de aire corresponden a los valores de concentración de cada contaminante en particular obtenidos a las condiciones locales de presión y temperatura. Para realizar la comparación de estos promedios con los estándares máximos establecidos en Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 “Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006” del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), deben ser corregidos a condiciones de referencia⁵, es necesario expresar cada dato obtenido a estas mismas condiciones de referencia de 298,15 K y 101.325 kPa (25°C y 760 mmHg) y deben estar expresados en µg/m³.

La conversión a condiciones de referencia se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2. Concentración a condiciones de referencia

$$CCR = \frac{CL * PL}{760} * \frac{298 K}{(273 + TL)}$$

Dónde:

CCR: Concentración del contaminante a condiciones de referencia; µg/m³

CL: Concentración del contaminante a condiciones de locales de presión y temperatura; µg/m³

PL: Presión barométrica promedio local; mmHg.

TL: Temperatura ambiente promedio local; (°C).

5.8 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA)

El *Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire* de Colombia, año 2010, define al ICA como un índice que “permite comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de las estaciones que pertenecen a un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA). Es un indicador de la calidad del aire diaria. El ICA corresponde a una escala numérica a la cual se le asigna un color, el cual a su vez tiene una relación con los efectos a la salud. El Índice de calidad del aire ha sido adoptado a partir del documento *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –the Air Quality Index (AQI) documento EPA-454/B-09-001 de febrero de 2009. El índice de calidad del aire está enfocado en cinco contaminantes principales: Ozono, material particulado, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno y Monóxido de Carbono.*”.

⁵ Resolución 610 de 2010 del 24 de marzo de 2010 “Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006.

5.8.1 Rangos del ICA

El ICA corresponde a un valor adimensional, que oscila entre 0 y 500. En la **Tabla 6** y **Tabla 7** se presentan los efectos a la salud que se deben tener en cuenta y los rangos de corte cualitativos, de acuerdo al valor del ICA.

5.8.2 Puntos de Corte del ICA

Teniendo en cuenta que el ICA tiene una correlación directa con los efectos en la salud, los puntos de corte del ICA son los límites correspondientes a efectos entre la salud y la calidad del aire. En este caso, se utiliza la información reportada por la EPA que presenta dichas relaciones. En la **Tabla 6** se muestra los puntos de corte del ICA de acuerdo con los efectos sobre la salud reportados por estudios de la EPA (2005).

Tabla 6. Convenciones Índice de Calidad del Aire

ICA	Clasificación	Efectos a la Salud de Acuerdo con el Rango del ICA
0-50	Buena	Ninguno
51-100	Moderada	Posibles síntomas respiratorios en individuos sensibles. Posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos jóvenes.
101-150	Dañina a la salud para grupos sensibles	Aumento de riesgo de síntomas respiratorios en individuos sensibles, agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón y mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos jóvenes.
151-200	Dañina a la salud	Incremento de los síntomas respiratorios y recrudecimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población en general.
201-300	Muy dañina a la salud	Aumento significativo en síntomas respiratorios y aumento de la gravedad de enfermedades pulmonares como asma; incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general.
301-500	Peligrosa	Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudecimiento de enfermedades pulmonares como asma; probables efectos respiratorios en la población en general.

Fuente: Modificado de Manual de Operación del Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, 2010. Págs. 135-136, Tabla 34

En la **Tabla 7** se muestran los puntos de corte a partir de los cuales se determina el Índice de Calidad del Aire (ICA) en las estaciones.

Tabla 7. Puntos de corte del ICA

ICA	Color	Clasificación	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm (1)	PM ₁₀ 24h µg/m ³	PM _{2.5} 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0-50	Verde	Buena	0.001	-	0	0.0	0.0	0.000	(2)
			0.059	-	54	15.4	4.4	0.034	
51-100	Amarilla	Moderada	0.060	-	55	15.5	4.5	0.035	(2)
			0.075	-	154	40.4	9.4	0.144	

ICA	Color	Clasificación	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm (1)	PM ₁₀ 24h µg/m ³	PM _{2.5} 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
101-500	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0.076 0.095	0.125 0.164	155 254	40.5 65.4	9.5 12.4	0.145 0.224	(2)
151-200	151-200 Dañina a la salud	Dañina a la salud	0.096 0.115	0.165 0.204	255 354	65.5 150.4	12.5 15.4	0.225 0.304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	0.116 0.374 (0.155 0.404) (4)	0.205 0.404	355 424	150.5 250.4	15.5 30.4	0.305 0.604	0.65 1.24
301-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0.405 0.604	425 604	250.5 500.4	30.5 50.4	0.605 1.004	1.25 2.04

(1) Para O₃ se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.
 (2) Para NO₂ se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomado de valores y parámetros EPA.
 (3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (w301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.
 (4) Los números entre paréntesis se asocian valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

*Fuente: Manual de Operación del Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, 2010.
Pág. 133, Tabla 33*

5.8.3 Cálculo del Índice Nacional de Calidad del Aire

El ICA es calculado a partir de la siguiente ecuación, que corresponde a la metodología utilizada por la U.S. EPA y debe ser reportado el mayor valor que se obtenga del cálculo de cada uno de los contaminantes medidos:

Ecuación 3. Cálculo del ICA

$$I_p = \frac{(I_{Hi} - I_{Lo})}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} * (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

I_p = Índice para el contaminante p

C_p = Concentración medida para el contaminante p

BP_{Hi} = Punto de corte mayor o igual a C_p

BP_{Lo} = Punto de corte menor o igual a C_p

I_{Hi} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Hi}

I_{Lo} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Lo}

6 ANÁLISIS METEOROLÓGICO

Se ubicaron dos estaciones meteorológicas Vantage Vue, marca Davis Instruments en puntos estratégicos, las cuales permitieron registrar el comportamiento de las condiciones atmosféricas de forma representativa para las estaciones de monitoreo. La microlocalización de las estaciones meteorológicas se presenta en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Microlocalización estaciones meteorológicas Villa Blanca y RMCAB

ESTACIÓN METEOROLÓGICA 1	Nombre:	ESTACIÓN VILLA BLANCA	
	Coordenadas:	4°37'18.38"N	74°9'59.17"W
		X: 990132.53	Y: 1002828.384
	Altitud:	2.554 msnm	
	Equipos:	Vantage Vue, marca Davis Instruments	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/19	
ESTACIÓN METEOROLÓGICA 2	Nombre:	RMCAB ⁶ Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá	
	Coordenadas:	4°37'31.04"N	74°4'2.06"W
		X: 1001139.445	Y: 1003216.654
	Altitud:	2.621 msnm	
	Equipos:	Vantage Vue, marca Davis Instruments	
	Periodo de Medición:	2017/08/01 - 2017/08/19	

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Con estos datos se determinan predominancias en velocidad y dirección del viento con el fin de establecer la dirección y grado de dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Por otra parte,

⁶ Secretaría Distrital de Ambiente [en línea] [http://ambientebogota.gov.co/web/sda/inicio_Link "Calidad del Aire en Bogotá"](http://ambientebogota.gov.co/web/sda/inicio_Link_Calidad%20del%20Aire%20en%20Bogot%C3%A1) [citado en junio de 2017]

es importante el análisis de la pluviometría de la zona para determinar si existe o no remoción húmeda en la zona (lavado atmosférico). La combinación de otros aspectos como humedad y datos de superficie como temperatura, radiación solar y velocidad del viento deben llevar a la estimación de la estabilidad atmosférica⁷.

En la **Tabla 9** y **Tabla 10** se muestran los datos diarios obtenidos a partir de las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente, donde se consolida el valor promedio de: velocidad del viento, temperatura, presión barométrica y humedad relativa así como la precipitación acumulada.

Tabla 9. Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo Estación Villa Blanca

Parámetro	Temperatura (°C)	Presión Barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Velocidad del Viento (m/s)	Humedad (%)
2017-07-31	13.47	570.45	0.00	0.77	73
2017-08-01	14.16	569.96	0.00	0.41	74
2017-08-02	15.42	568.69	0.00	0.53	70
2017-08-03	15.87	569.03	0.00	0.83	69
2017-08-04	15.11	568.29	1.02	0.68	76
2017-08-05	15.11	568.80	0.00	0.87	72
2017-08-06	15.46	568.65	0.00	0.78	69
2017-08-07	15.76	567.85	0.00	0.74	69
2017-08-08	13.20	567.95	5.84	0.74	70
2017-08-09	16.80	568.38	1.01	0.84	72
2017-08-10	15.53	568.66	0.00	0.51	73
2017-08-11	15.78	567.71	0.00	0.42	74
2017-08-12	15.50	567.81	0.00	0.54	72
2017-08-13	15.50	568.32	0.00	0.69	69
2017-08-14	16.28	568.19	0.00	0.68	58
2017-08-15	15.28	567.12	0.00	0.51	71
2017-08-16	16.29	566.97	0.00	0.84	70
2017-08-17	16.72	566.55	3.05	0.57	74
2017-08-18	16.01	565.51	19.06	0.70	81
2017-08-19	14.10	565.92	10.66	0.66	85
2017-08-20	15.19	567.35	0.00	0.79	75
2017-08-21	15.61	569.02	0.00	0.76	69
2017-08-22	14.90	569.51	0.25	0.92	70

⁷Resolución 2154 de 2010. *Manual de Diseño del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire*. Sección 4.4.3. Estudio Micro meteorológico y/o Meteorológico Preliminar. Pág. 21.

Parámetro	Temperatura (°C)	Presión Barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Velocidad del Viento (m/s)	Humedad (%)
Promedio	15.35	568.12	40.89	0.69	72
Máximo	16.80	570.45	19.06	1.72	85
Mínimo	13.20	562.77	0.00	0.41	58

*Precipitación acumulada

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Tabla 10. Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo Estación RMCAB

Parámetro	Temperatura (°C)	Presión Barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Velocidad del Viento (m/s)	Humedad (%)
2017-08-01	13.93	564.54	0.40	1.12	62
2017-08-02	14.98	564.08	0.00	1.90	58
2017-08-03	15.40	564.33	0.00	1.31	58
2017-08-04	15.10	564.33	4.50	1.48	64
2017-08-05	15.10	564.21	0.10	2.38	60
2017-08-06	15.25	564.13	0.00	1.78	57
2017-08-07	15.51	563.58	0.00	1.24	58
2017-08-08	15.68	563.54	6.70	1.49	58
2017-08-09	15.38	564.17	4.50	1.57	61
2017-08-10	15.15	564.25	0.00	1.45	62
2017-08-11	15.62	563.71	0.00	1.33	62
2017-08-12	15.35	563.71	0.20	1.58	60
2017-08-13	14.60	564.04	0.50	1.48	58
2017-08-14	15.70	563.42	0.00	0.91	50
2017-08-15	15.11	563.17	0.20	1.40	57
2017-08-16	16.04	563.21	0.10	1.00	59
2017-08-17	16.25	563.08	4.90	1.49	63
2017-08-18	15.65	562.88	28.50	0.75	70
2017-08-19	14.17	562.71	28.80	0.95	73
2017-08-20	15.26	563.21	0.20	1.33	63
2017-08-21	15.38	564.21	0.10	1.32	58
2017-08-22	14.79	564.17	0.00	1.49	57
Promedio	15.25	563.76	79.70	1.40	60
Máximo	16.25	564.54	28.80	2.38	73
Mínimo	13.93	562.71	0.00	0.75	50

*Precipitación acumulada

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

6.1 TEMPERATURA

En la **Ilustración 13** y la **Ilustración 14** se presenta la temperatura promedio diaria para las estaciones meteorológicas Villa Blanca y RMCAB, respectivamente, durante el periodo de la campaña de monitoreo.

En la estación Villa Blanca, los valores medidos presentaron variaciones entre 13,2°C (valor mínimo) y 16,8°C (valor máximo) registrados los días 08 y 09 de agosto, respectivamente. El promedio del periodo es de 15,35°C.

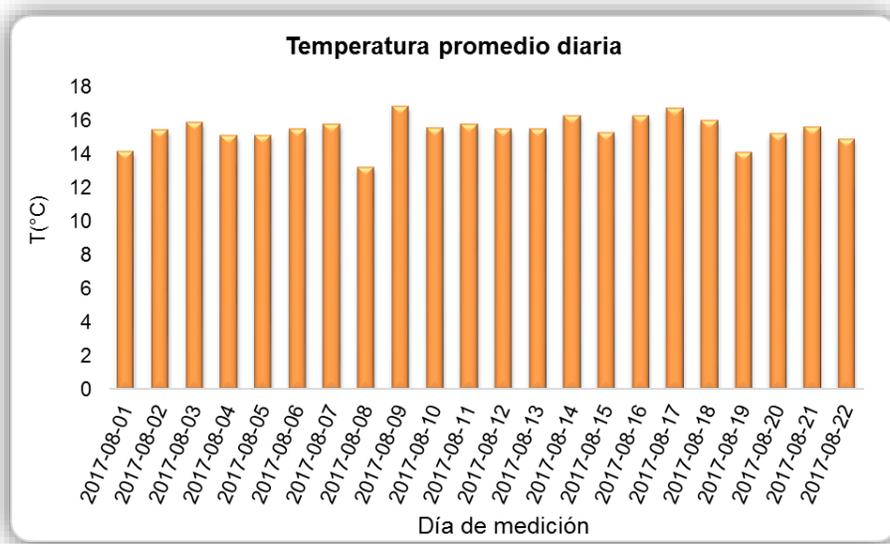


Ilustración 13. Temperatura promedio diaria Estación Villa Blanca

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

En la estación RMCAB, el valor mínimo fue de 14,6°C, el valor máximo de 16,25°C, el promedio en esta estación fue de 15,25°C.

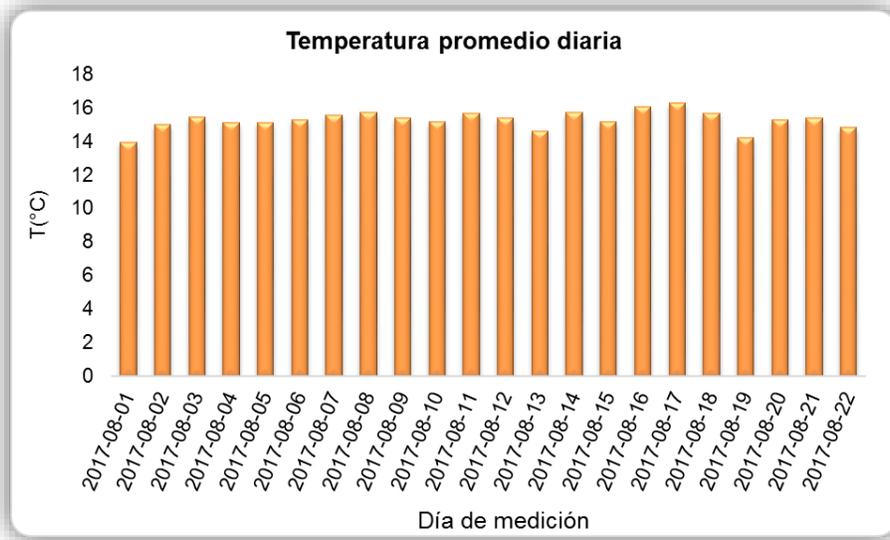


Ilustración 14. Temperatura promedio diaria Estación RMCAB
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

En general, durante el periodo de muestreo, la temperatura promedio horaria oscila entre los 11,7°C y los 19,0°C. Como se puede observar en la **Ilustración 15** e **Ilustración 16** las máximas temperaturas se presentan desde la hora 11 (11:00 A.M.) hasta la hora 16 (4:00 P.M.).

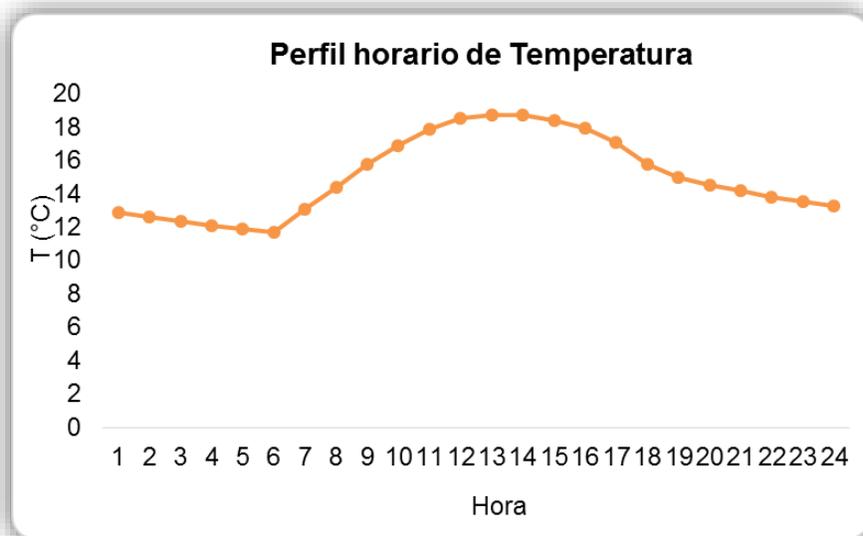


Ilustración 15. Temperatura promedio horaria Estación Villa Blanca
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

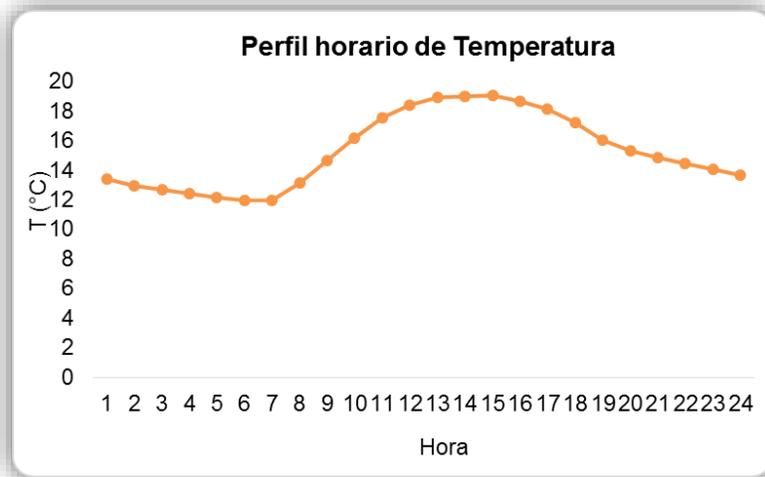


Ilustración 16. Temperatura promedio horaria Estación RMCAB
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

6.2 PRECIPITACIÓN

En la **Ilustración 17 e Ilustración 18** se presenta la precipitación acumulada diaria. La precipitación acumulada durante el periodo de monitoreo fue de 40,89 mm de agua en la estación Villa Blanca y de 79,7 mm en la estación RMCAB; el día 18 de agosto de 2017 se alcanzó el máximo registro, 19,06 mm de agua en la estación Villa Blanca, mientras que en la estación RMCAB el máximo valor fue de 28,50 mm y se alcanzó el 19 de agosto de 2017.

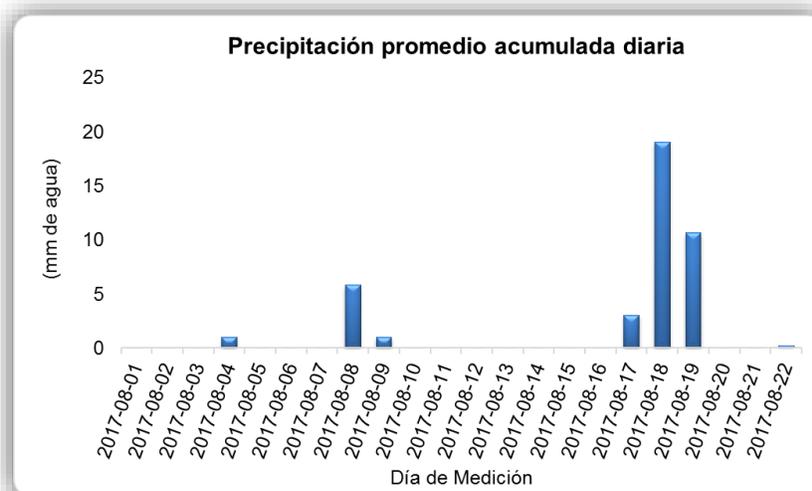


Ilustración 17. Precipitación acumulada diaria Estación Villa Blanca
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

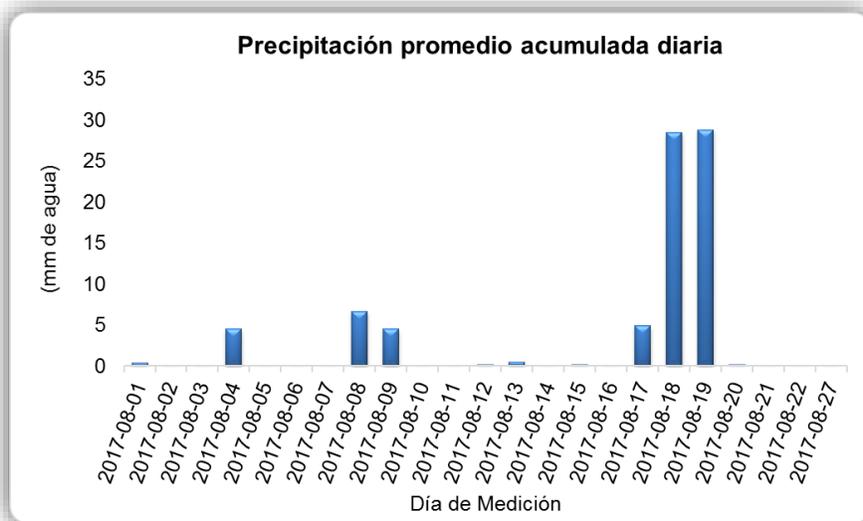


Ilustración 18. Precipitación acumulada diaria Estación RMCAB

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Teniendo en cuenta la escala de precipitación presentada en la **Tabla 11** y el acumulado diario, la precipitación se encuentra en un rango de 41 a 80 mm de agua/mes clasificándose como "Moderada".

Tabla 11. Escalas de precipitación

Denominación	Precipitación Diaria (mm)	Precipitación Mensual (mm)
Escasa	0 - 5	0 - 20
Ligera	6 - 10	21 - 40
Moderada	11 - 20	41 - 80
Fuerte	21 - 50	81 - 200
Muy Fuerte	51 - 70	201 - 280
Intensa	> 70	> 281

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, Dirección de Control Ambiental, Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. Informe anual consolidado sobre niveles de concentración de contaminantes, 2008.

La variación horaria de precipitación acumulada presenta a las horas de la tarde y la noche como las de mayor precipitación, específicamente entre la hora 15 (03:00 P.M.) y la hora 23 (11:00 P.M.), (**Ilustración 19** e **Ilustración 20**).

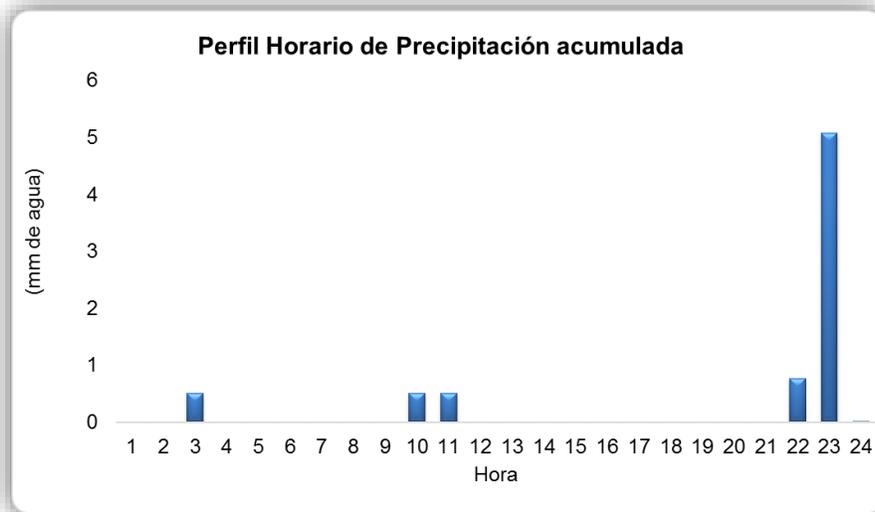


Ilustración 19. Perfil horario de precipitación Estación Villa Blanca
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

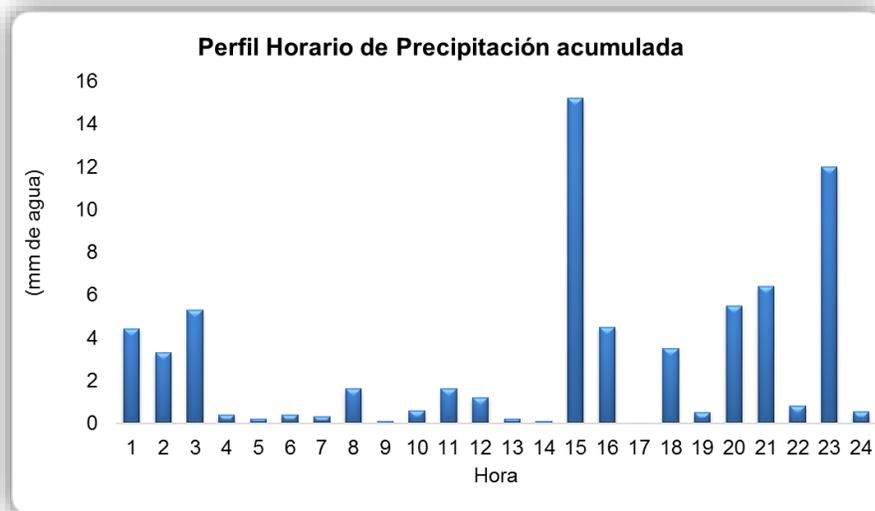


Ilustración 20. Perfil horario de precipitación Estación RMCAB
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

6.3 PRESIÓN BAROMÉTRICA

En la **Ilustración 21** e **Ilustración 22** se muestra de manera gráfica la presión barométrica promedio diaria registrada en las dos estaciones. Las variaciones de los promedios diarios de presión no

superaron los 10 mm de Hg, el promedio durante el periodo de monitoreo fue de 568,12 mm de Hg en la estación Villa Blanca y de 563,76 mm de Hg en la estación RMCAB.

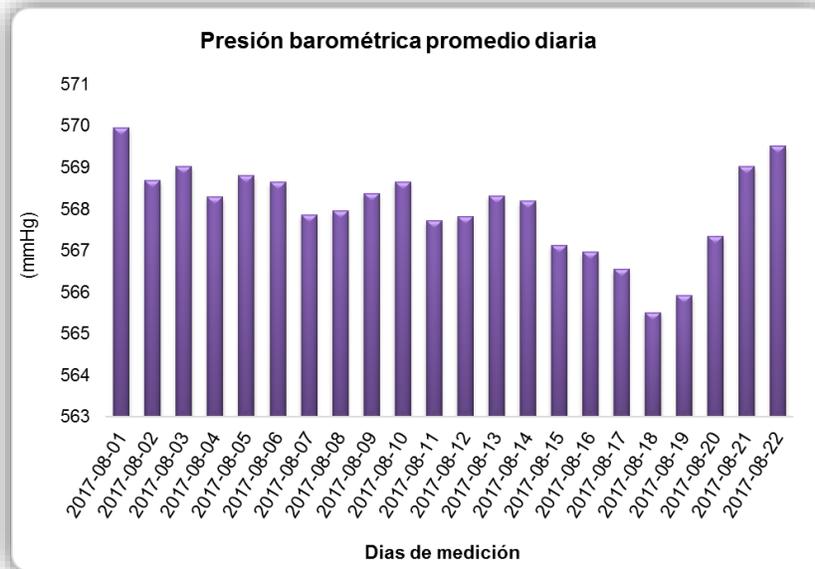


Ilustración 21. Presión barométrica promedio diaria Estación Villa Blanca
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

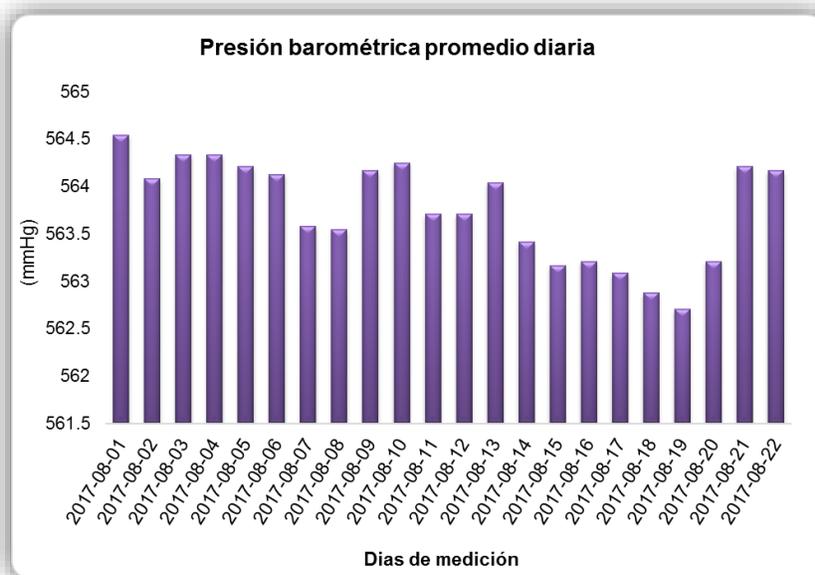


Ilustración 22. Presión barométrica promedio diaria Estación RMCAB
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

En la **Ilustración 23** e **Ilustración 24** se puede observar el comportamiento de la presión barométrica promedio para las diferentes horas del día en el área de interés; se observa un comportamiento cíclico con incrementos en horas de la mañana (entre las 7:00 A.M. a 10:00 A.M.) y noche (entre las 9:00 P.M. a 12:00 P.M.) y una tendencia decreciente entre las horas 12:00 M. a 5:00 P.M. y de 1:00 A.M. a 4:00 A.M.

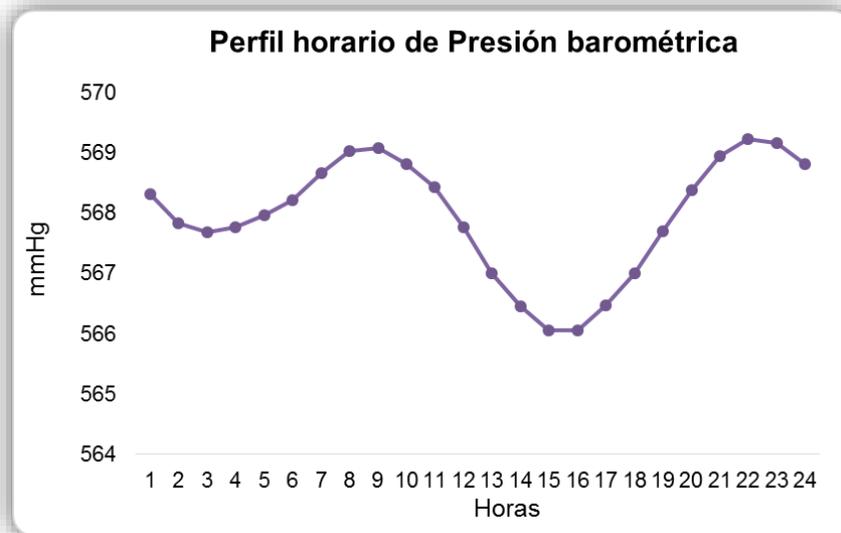


Ilustración 23. Presión barométrica promedio horaria Estación Villa Blanca
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

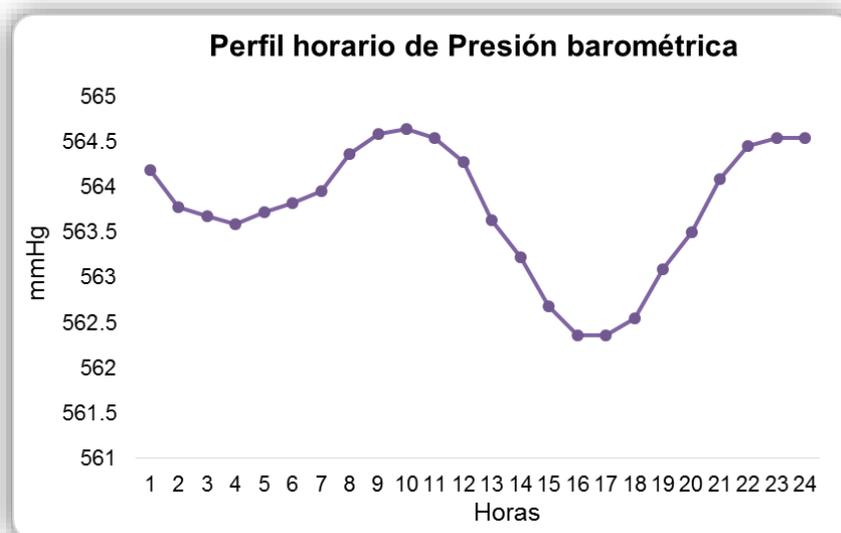


Ilustración 24. Presión barométrica promedio horaria Estación RMCAB
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

6.4 DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO

En la **Ilustración 25** e **Ilustración 26** se presenta la velocidad promedio del viento diaria de las estaciones durante el periodo de monitoreo. El promedio de velocidad del periodo de monitoreo (1 al 20 de agosto de 2017) en las estaciones Villa Blanca y RMCAB es de 0,69 m/s y 1,40 m/s, respectivamente. En la estación RMCAB se incrementa un poco el valor debido a que se encuentra a mayor altura. Las velocidades más elevadas se presentaron el día 5 de agosto y 22 de agosto en la estación Villa Blanca y 5 de agosto en la estación RMCAB.



Ilustración 25. Velocidad del viento promedio diaria Estación Villa Blanca

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

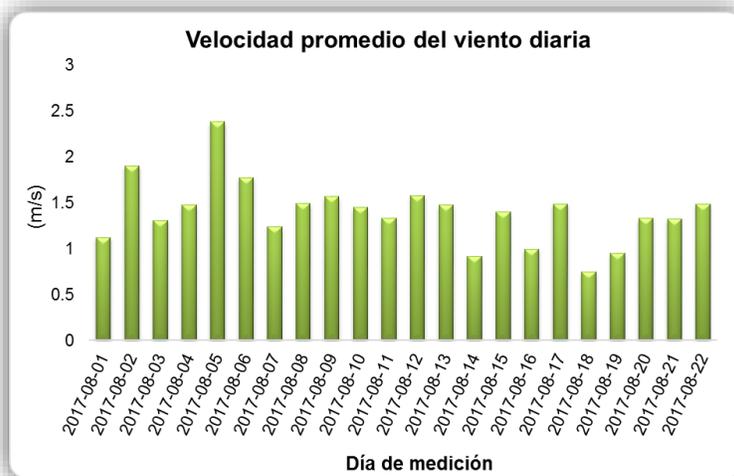


Ilustración 26. Velocidad del viento promedio diaria Estación RMCAB

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

En la **Ilustración 27** e **Ilustración 28** se presenta el comportamiento de la velocidad promedio del viento para las diferentes horas del día. Las mayores velocidades se presentan entre la hora 13 (1:00 P.M.) y la hora 16 (4:00 P.M.).



Ilustración 27. Velocidad del viento promedio horaria Estación Villa Blanca
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)



Ilustración 28. Velocidad del viento promedio horaria Estación RMCAB
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

En la **Tabla 12** y la **Tabla 13** se presenta la distribución de frecuencias de dirección y velocidad del viento, de acuerdo a la Escala de Beaufort que se presenta en la **Tabla 14**. Se aprecia que los mayores porcentajes corresponden a “Aire Ligero”, seguido de “Brisa Ligera”.

Tabla 12. Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y a la dirección del viento para la Estación Villa Blanca

Direcciones / Clases de Viento (m/s)	Aire Ligero 0,2 - 1,5	Brisa Ligera 1,5 - 3,3	Brisa Suave 3,3 - 5,4	Brisa Moderada y Mayores >= 5,4	Total
N	2%	0%	0%	0%	1%
NNE	0%	0%	0%	0%	0%
NE	3%	0%	0%	0%	3%
ENE	3%	0%	0%	0%	3%
E	10%	2%	0%	0%	10%
ESE	30%	7%	0%	0%	32%
SE	2%	0%	0%	0%	2%
SSE	0%	0%	0%	0%	0%
S	2%	0%	0%	0%	2%
SSW	6%	1%	0%	0%	6%
SW	1%	0%	0%	0%	1%
WSW	1%	0%	0%	0%	1%
W	0%	0%	0%	0%	0%
WNW	1%	0%	0%	0%	0%
NW	0%	0%	0%	0%	0%
NNW	1%	0%	0%	0%	1%
Sub-Total	54%	9%	0%	0%	63%
Calmas	-	-	-	-	26%
Incompletos	-	-	-	-	11%
Total	-	-	-	-	100%

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Tabla 13. Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y a la dirección del viento para la Estación RMCAB

Direcciones / Clases de Viento (m/s)	Aire Ligero 0,2 - 1,5	Brisa Ligera 1,5 - 3,3	Brisa Suave 3,3 - 5,4	Brisa Moderada y Mayores >= 5,4	Total
N	0%	0%	0%	0%	0%
NNE	0%	0%	0%	0%	0%
NE	0%	0%	0%	0%	0%
ENE	5%	1%	1%	0%	6%
E	12%	5%	4%	0%	20%
ESE	16%	1%	0%	0%	17%
SE	17%	1%	0%	0%	18%
SSE	5%	1%	0%	0%	5%
S	4%	2%	1%	0%	6%
SSW	4%	2%	2%	0%	8%
SW	3%	2%	0%	0%	5%
WSW	2%	2%	0%	0%	4%
W	2%	0%	1%	0%	3%
WNW	1%	0%	1%	0%	2%
NW	1%	0%	0%	0%	1%
NNW	0%	0%	0%	0%	0%
Sub-Total	73%	16%	9%	0%	98%
Calmas	-	-	-	-	2%
Incompletos	-	-	-	-	0%
Total	-	-	-	-	100%

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Tabla 14. Clasificación de vientos según velocidad (Beaufort)

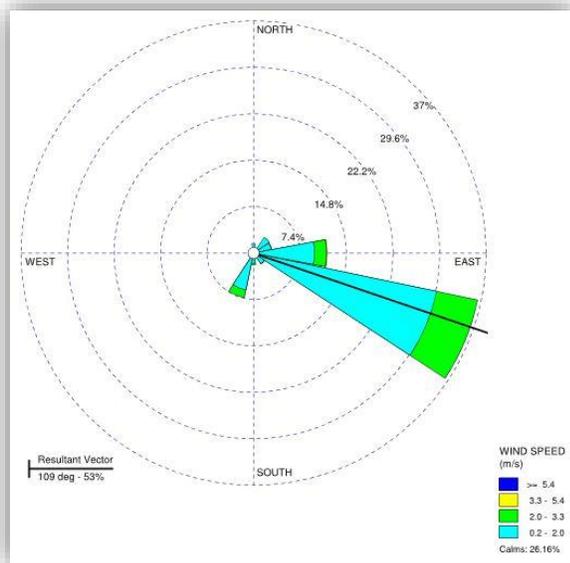
Denominación	Descripción del Efecto del Viento	Rango Vel. (m/s)
Calma	Calma, el humo asciende verticalmente	0 - 0.2
Aire ligero	El humo indica la dirección del viento	0.3 - 1.5
Brisa ligera	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos	1.6 - 3.3
Brisa suave	Se agitan las hojas, ondulan las banderas	3.4 - 5.4
Brisa moderada	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles	5.5 - 7.9
Brisa fresca	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada	8 - 10.8
Brisa fuerte	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas	10.9 - 13.8
Viento casi temporal	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento	13.9 - 16.9
Viento temporal	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa	17 - 20.5
Viento temporal fuerte	Daños en árboles, imposible andar contra el viento	20.6 - 24.1
Tormenta	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones	24.2 - 28.3

Denominación	Descripción del Efecto del Viento	Rango Vel. (m/s)
Tormenta violenta	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles	28.4 - 32.6
Huracán	Destrucción total	>32.7

Fuente: NOAA, 2008

Como se puede apreciar en la **Ilustración 29** – Rosa de vientos, se registra una predominancia de los vientos provenientes de la dirección Este Sureste (ESE) y del Este (E) en la estación Villa Blanca, mientras que en la estación RMCAB predominan los vientos provenientes del Este (E), del Este Sureste (ESE) y del Sureste (SE).

Estación Villa Blanca



Estación RMCAB

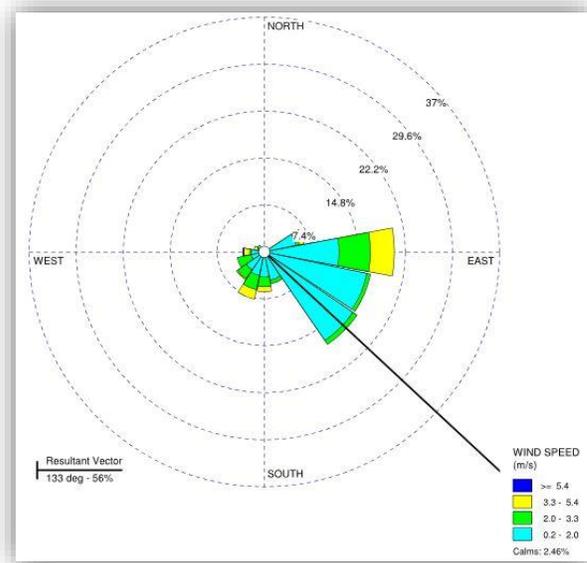


Ilustración 29. Rosa de vientos – Estaciones Meteorológicas

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual) - Datos meteorológicos procesados en software WRPLOT View – Freeware
V: 6.7.165 – Lakes Environmental

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analizan los resultados del monitoreo de calidad del aire, realizado durante el periodo comprendido entre los días 01 y 19 de agosto de 2017, en el área de influencia del proyecto "Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)", ubicado en el área urbana de Bogotá, departamento de Cundinamarca.

Una vez tomadas las muestras de campo, analizadas en el laboratorio y posteriormente aprobadas por el Supervisor de Calidad, se determinó si estas cumplían con todos los requerimientos para ser validadas y tenidas en cuenta en el tratamiento estadístico. Todos los resultados de concentración presentados se encuentran en Condiciones de Referencia de 25°C y 760 mmHg.

Los monitoreos de calidad del aire se realizaron mediante la ubicación de dieciocho (18) estaciones en la zona de influencia del proyecto por un periodo de 18 días continuos. En el **Anexo 5** se pueden observar todas las variables obtenidas en el monitoreo para las estaciones y por medio de las cuales se calculan las concentraciones de los contaminantes monitoreados. La descripción de los contaminantes monitoreados se detalla en el **Anexo 3**.

7.1 CONCENTRACIONES DE PM₁₀ VS NORMA

En la **Tabla 15** se presenta el consolidado de los resultados para PM₁₀ diarios obtenidos de las dieciocho (18) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

Durante la campaña de monitoreo realizada se observa que los valores de concentración de material particulado – PM₁₀ NO presentan excedencias respecto a la norma diaria de calidad del aire establecida en la Resolución 610 de 2010 (100 µg/m³) del MAVTD hoy MADS. En la **Ilustración 30** se observa que los niveles más elevados de concentración registrados entre las dieciocho estaciones se presentaron los días: cuatro (4) en la estación Calle 45 (99,80 µg/m³), diez (10) en la estación NQS (99,65 µg/m³) y uno (1) en la estación Portal Américas (97,16 µg/m³).

Los equipos cumplieron con el tiempo requerido para las mediciones de PM₁₀, en tanto que estas se llevaron a cabo en periodos de 24±1 hora, cumpliendo así con lo establecido en el *Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire*. **NO** se presentaron datos inválidos durante el periodo de monitoreo.

Tabla 15. Concentraciones diarias de PM₁₀ vs. Norma diaria

	Patio Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76	Norma Diaria (µg/m ³)
Día 1	66,19	97,16	85,97	51,18	72,24	55,68	48,76	68,34	10,86	50,82	90,89	54,91	51,72	40,69	77,51	68,87	77,02	69,48	100
Día 2	57,22	82,55	90,16	68,78	33,08	68,00	55,05	57,03	76,10	38,33	92,79	62,68	51,31	48,09	59,98	58,78	59,55	58,42	100
Día 3	58,60	90,09	46,02	46,73	30,77	74,46	35,28	31,40	61,45	33,45	68,04	52,86	50,64	20,61	48,10	45,17	47,86	50,76	100
Día 4	47,80	79,13	38,53	46,52	33,03	73,90	37,55	29,58	40,87	37,54	61,23	50,18	45,70	99,80	45,56	36,94	45,16	46,60	100
Día 5	45,91	83,55	46,61	30,44	40,41	54,09	32,01	32,48	19,72	43,31	64,71	53,92	48,79	65,77	48,89	46,11	48,56	44,95	100
Día 6	68,45	94,68	94,25	37,10	40,10	51,94	35,58	30,22	61,99	37,15	60,47	47,98	51,93	65,22	50,37	50,75	50,16	30,00	100
Día 7	49,66	78,21	47,99	43,66	29,68	57,16	38,65	30,97	17,53	36,15	40,91	36,60	32,90	95,09	38,43	38,02	38,23	33,04	100
Día 8	57,31	84,76	37,01	38,69	53,22	57,98	32,57	27,20	62,20	26,16	54,14	40,95	32,35	47,01	34,64	36,96	34,49	28,35	100
Día 9	43,05	79,22	64,97	62,65	70,23	73,89	54,48	40,37	64,40	32,44	46,15	49,54	38,83	54,78	41,47	41,71	41,21	34,93	100
Día 10	48,63	70,45	68,39	55,17	40,23	85,42	48,68	56,90	98,65	46,72	59,96	53,86	40,39	28,58	41,85	35,49	41,50	24,24	100
Día 11	40,69	61,52	48,72	46,90	37,12	60,46	24,89	25,91	59,50	28,77	42,38	41,00	27,36	19,36	26,92	28,58	26,74	19,34	100
Día 12	37,56	69,21	44,86	23,02	30,38	43,10	33,51	21,80	72,39	24,27	37,88	32,16	23,27	28,24	24,96	25,78	24,75	11,65	100
Día 13	30,27	83,87	46,73	46,08	39,63	49,55	27,38	23,84	15,34	22,94	26,38	25,46	23,75	15,29	30,91	28,89	30,68	33,34	100
Día 14	53,27	87,86	66,71	65,53	56,18	68,66	48,50	43,15	52,03	31,57	40,91	16,26	28,51	17,76	44,47	40,23	44,21	35,82	100
Día 15	53,37	72,98	62,83	41,94	43,84	47,55	34,42	27,52	51,73	28,21	38,22	31,89	17,71	51,29	37,79	33,55	37,49	39,50	100
Día 16	50,11	84,23	65,73	44,84	69,22	57,51	44,77	35,20	20,24	32,63	47,02	37,80	32,73	38,34	44,75	43,02	44,59	44,43	100
Día 17	71,60	53,14	63,16	38,81	61,36	44,64	42,90	33,87	68,43	34,26	69,76	35,70	45,83	24,53	83,55	69,50	83,33	38,99	100
Día 18	46,42	57,21	39,98	40,38	36,46	45,95	37,65	29,17	24,10	36,65	16,96	34,14	34,63	21,38	40,93	45,82	40,72	25,53	100

*Promedio aritmético

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

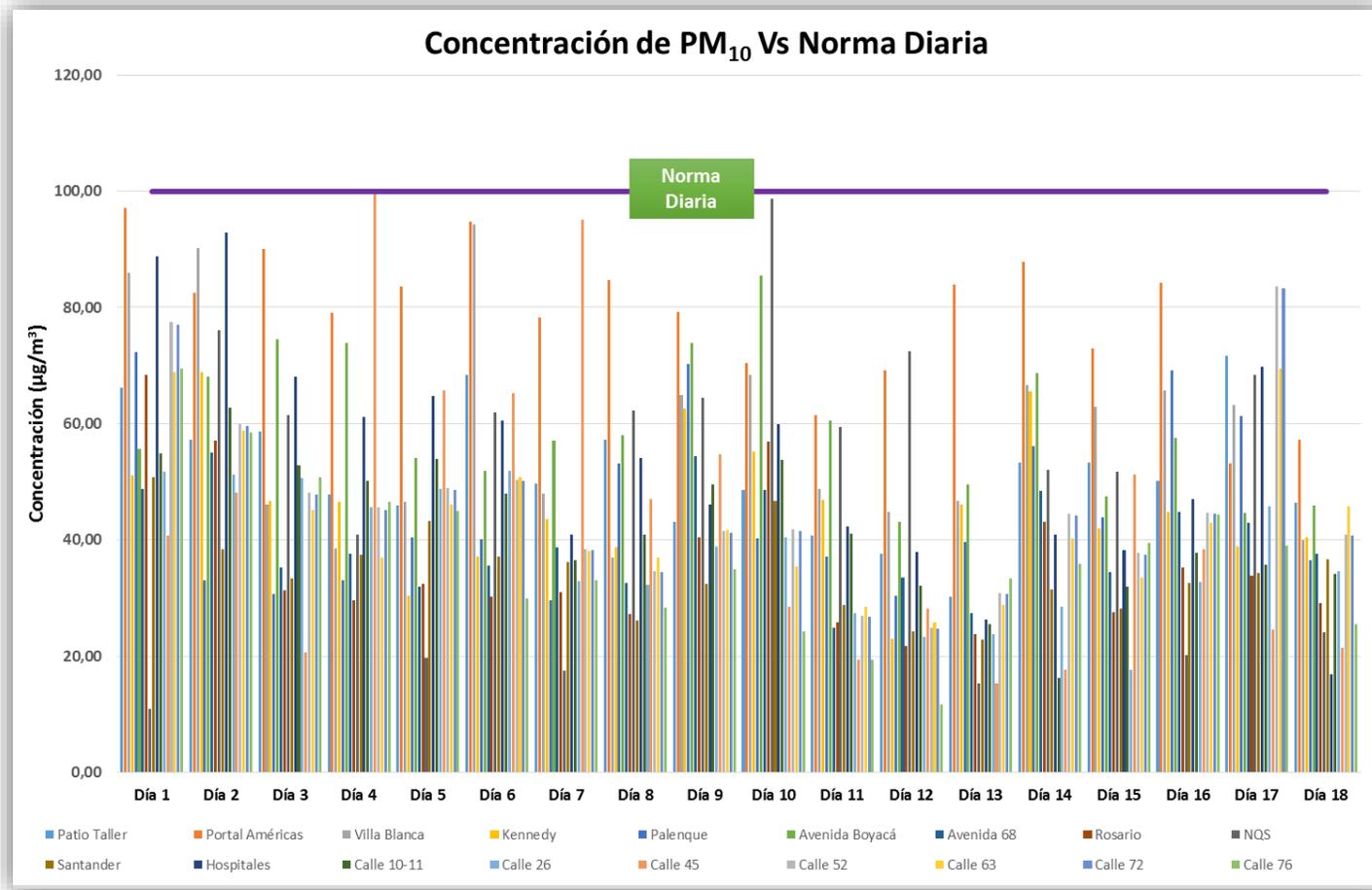


Ilustración 30. Concentraciones diarias de PM₁₀ vs. Norma

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.1.1 Comparación Indicativa con la Norma Anual de PM₁₀

La Resolución 610 de 2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para PM₁₀ establece una concentración de 50 µg/m³. En la **Tabla 16** se registran las concentraciones promedio obtenidas por las estaciones de monitoreo durante la campaña.

Tabla 16. Consolidado de resultados de PM₁₀ para el periodo evaluado

	Estación	Promedio PM ₁₀ * (µg/m ³)	Norma Anual (µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma
1	Patio Taller	51,45	50	102,90%
2	Portal Américas	78,32	50	156,65%
3	Villa Blanca	58,81	50	117,62%
4	Kennedy	46,02	50	92,05%
5	Palenque	45,40	50	90,80%
6	Avenida Boyacá	59,44	50	118,88%
7	Avenida 68	39,59	50	79,18%
8	Rosario	35,83	50	71,66%
9	NQS	48,75	50	97,50%
10	Santander	34,52	50	69,04%
11	Hospitales	53,27	50	106,53%
12	Calle 10-11	42,10	50	84,21%
13	Calle 26	37,69	50	75,37%
14	Calle 45	43,44	50	86,87%
15	Calle 52	45,62	50	91,23%
16	Calle 63	43,01	50	86,02%
17	Calle 72	45,35	50	90,70%
18	Calle 76	45,35	50	90,70%

*Promedio aritmético

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Así mismo la **Ilustración 31** presenta de manera gráfica los valores promedio del consolidado de datos obtenidos y al comparar con la norma anual de 50 µg/m³, se puede detectar que cinco (5) de las dieciocho (18) estaciones superan el límite permisible anual; no obstante, es preciso destacar que estas concentraciones se comparan solo de *forma indicativa*, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año considerado y determinar el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma.

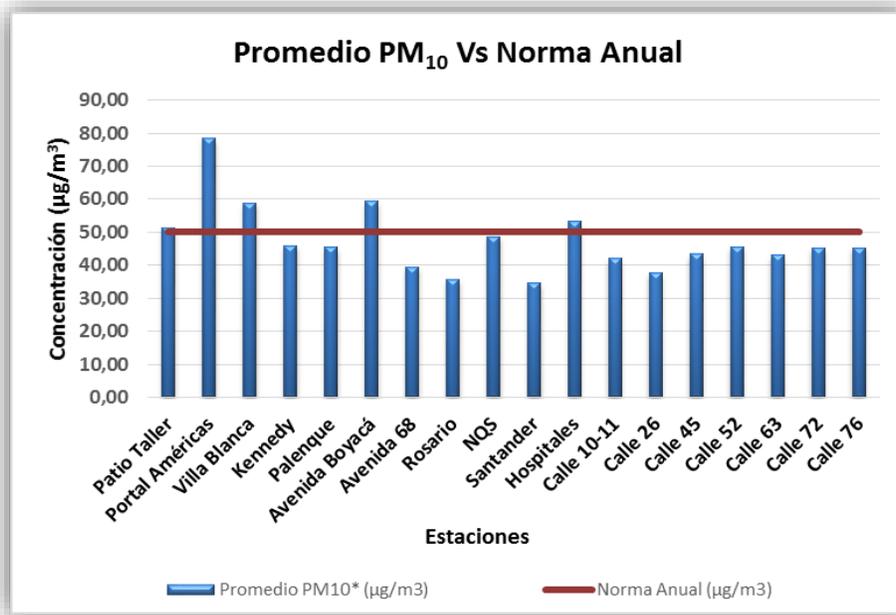


Ilustración 31. Concentraciones promedio PM₁₀ vs Norma anual
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.1.2 Consistencia de los Datos de PM₁₀

En la **Tabla 17** se describe de forma gráfica y numérica, la distribución estadística de los niveles de inmisión de PM₁₀ reportados por las dieciocho (18) estaciones de calidad del aire, teniendo en cuenta lo recomendado en *el Manual de Operación del Protocolo de Calidad del Aire, capítulo 7, pág. 112*, referente a elaborar diagramas de caja por contaminante para evaluar la consistencia de los datos.

En términos generales, teniendo en cuenta la información estadística presentada en la **Tabla 17** y el diagrama de cajas o boxplot (**Ilustración 32**), la estación que presenta la mayor dispersión de datos es la identificada como NQS. Esta dispersión se relaciona con las condiciones atmosféricas y la dinámica de las fuentes aportantes de material particulado en el sector. Adicionalmente, se registraron valores atípicos en cinco (5) estaciones.

Tabla 17. Parámetros estadísticos de las estaciones de Calidad del Aire evaluadas – PM₁₀.

Estación	Patio Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76
Número de Datos (n)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Promedio Geométrico (X)	50,37	77,34	56,45	44,59	43,41	58,32	38,66	34,07	40,94	33,79	49,43	40,22	36,00	37,19	43,49	41,43	43,22	43,22
Valor Más Alto Registrado (µg/m ³)	71,60	128,44	94,25	68,78	72,24	85,42	55,05	68,34	98,65	50,49	92,79	62,68	51,93	99,80	83,55	69,50	69,48	83,33
Valor Más Bajo Registrado (µg/m ³)	30,27	53,14	37,01	23,02	29,68	43,10	24,89	21,80	10,86	22,94	16,96	16,26	17,71	15,29	24,96	25,78	11,65	24,75
Desviación Estándar (S)	10,71	17,71	17,76	11,63	14,54	12,11	8,82	12,79	25,36	7,35	19,97	11,98	11,09	25,35	15,31	12,51	14,00	15,26
Parámetro de Distribución T	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
Intervalo de Confianza Media (95%) µ1	46,13	72,61	49,98	40,24	38,17	53,42	35,20	29,47	36,14	30,85	43,34	36,15	32,17	30,83	38,00	36,79	30,23	37,76
Intervalo de Confianza Media (95%) µ2	56,77	90,23	67,65	51,81	52,63	65,47	43,98	42,19	61,36	38,16	63,20	48,06	43,20	56,04	53,23	49,23	44,15	52,94
Mediana	49,88	81,39	55,78	45,46	40,17	57,33	37,60	31,18	55,76	33,86	50,58	40,97	36,73	39,52	43,16	40,97	35,38	42,85
Percentil 25	46,04	71,08	46,17	39,20	33,92	50,15	33,74	27,93	21,21	29,47	40,91	34,53	29,47	22,17	37,95	35,86	28,76	37,67
Percentil 75	57,29	87,08	66,46	50,11	55,44	68,50	47,56	39,08	63,85	37,44	63,84	52,19	48,05	53,91	48,69	46,03	44,82	48,39

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

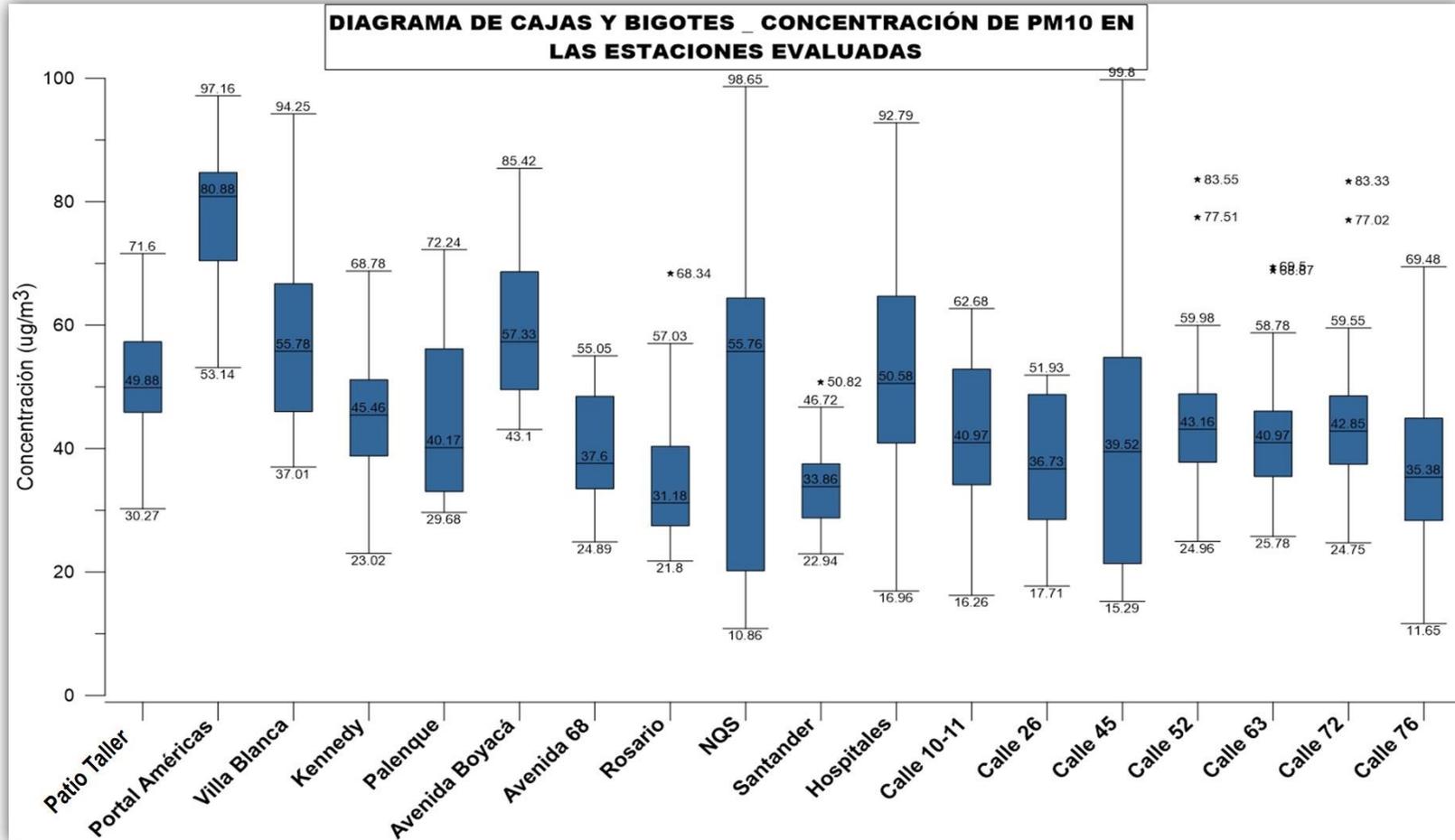


Ilustración 32. Diagrama de cajas de contaminantes evaluados – PM₁₀

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.2 CONCENTRACIONES DE PM_{2.5} VS NORMA

En la **Tabla 18** se presenta el consolidado de los resultados para PM_{2.5} diarios obtenidos de las dieciocho (18) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

Durante la campaña de monitoreo realizada se observa que el 98,8% de los valores de concentración de material particulado – PM_{2.5} no presentan excedencias respecto a la norma diaria de calidad del aire establecida en la Resolución 610 de 2010 (50 µg/m³) del MAVTD hoy MADS. Sólo cuatro (4) valores (1,2%) exceden la norma y se hallan registrados en las estaciones Portal Américas (75,78 µg/m³ en el día 1), NQS (57,65 µg/m³ en el día 10) y Hospitales (57,80 µg/m³ y 58,99 µg/m³ en los días 1 y 2, respectivamente), (**Ilustración 33**).

Los equipos cumplieron con el tiempo requerido para las mediciones de PM_{2.5}, en tanto que estas se llevaron a cabo en periodos de 24±1 hora, cumpliendo así con lo establecido en el *Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire*. **NO** se presentaron datos inválidos durante el periodo de monitoreo.

Tabla 18. Concentraciones diarias de PM_{2.5} vs. Norma diaria

	Patio Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76
Día 1	41,93	75,78	22,03	35,19	30,37	29,94	24,53	48,83	8,67	37,45	57,80	28,45	24,19	26,04	24,70	40,66	49,06	43,46
Día 2	37,53	40,38	-	42,54	14,55	47,83	23,02	22,02	16,33	19,05	58,99	38,51	27,68	25,57	46,10	32,45	29,95	25,46
Día 3	37,19	28,41	13,06	36,43	24,57	48,31	11,33	19,93	39,51	18,85	25,54	21,95	22,38	16,04	28,88	23,69	17,07	39,74
Día 4	36,98	47,61	-	27,60	21,57	17,46	16,47	21,88	26,85	19,05	34,94	37,97	13,84	37,72	29,72	15,11	19,53	18,80
Día 5	40,65	42,01	24,13	20,62	25,80	19,93	18,63	17,22	11,24	22,96	38,69	23,54	15,76	25,56	14,11	27,68	20,16	18,47
Día 6	36,58	30,86	12,14	18,23	22,43	31,91	16,02	15,43	36,53	20,81	37,64	25,78	25,58	46,56	32,46	32,09	29,48	12,14
Día 7	42,70	47,43	47,16	25,06	13,28	23,04	19,47	15,00	13,60	18,07	28,45	17,98	12,33	32,02	19,01	15,49	20,00	14,34
Día 8	41,83	24,33	17,93	17,04	15,59	27,50	19,72	13,42	37,35	10,67	39,17	20,38	13,53	20,42	15,57	22,83	13,59	16,03
Día 9	17,11	17,68	21,32	45,10	47,69	30,75	29,45	25,97	32,52	22,44	35,74	27,28	17,68	37,57	26,25	22,50	26,46	15,19
Día 10	17,57	52,83	17,30	24,92	28,09	27,47	24,02	21,20	57,65	26,93	44,97	27,52	22,16	13,09	19,30	17,07	28,94	13,06
Día 11	25,74	17,27	24,67	24,66	16,83	27,38	15,52	12,93	31,85	13,06	26,94	27,43	11,46	12,22	13,25	16,35	10,37	12,82
Día 12	17,21	28,26	21,41	17,12	15,50	28,32	16,42	12,18	42,04	12,51	17,89	17,52	9,98	17,68	12,23	12,48	15,35	9,66
Día 13	11,93	30,97	18,65	35,57	29,75	34,93	13,01	12,98	11,69	10,84	13,96	13,87	12,93	10,42	18,73	16,66	17,37	17,96
Día 14	30,89	27,72	24,37	35,67	20,36	29,24	21,82	19,99	36,81	18,52	29,74	10,98	13,97	12,43	24,40	27,22	20,23	14,30
Día 15	27,50	48,33	25,19	32,86	34,54	26,93	17,41	15,12	31,46	12,56	26,76	24,66	11,03	25,27	15,33	12,76	11,70	17,97
Día 16	26,42	37,33	13,29	29,35	21,39	24,26	24,95	21,55	11,77	18,72	27,49	26,38	13,61	16,17	21,41	26,45	11,35	27,93
Día 17	37,20	49,78	34,81	18,81	23,62	18,17	20,33	20,67	32,01	19,66	39,75	24,77	10,38	13,16	28,41	42,33	46,02	19,68
Día 18	36,09	25,49	16,99	21,03	17,94	20,33	19,51	12,47	16,94	23,01	10,98	21,81	15,18	14,59	28,20	28,40	13,54	12,84

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

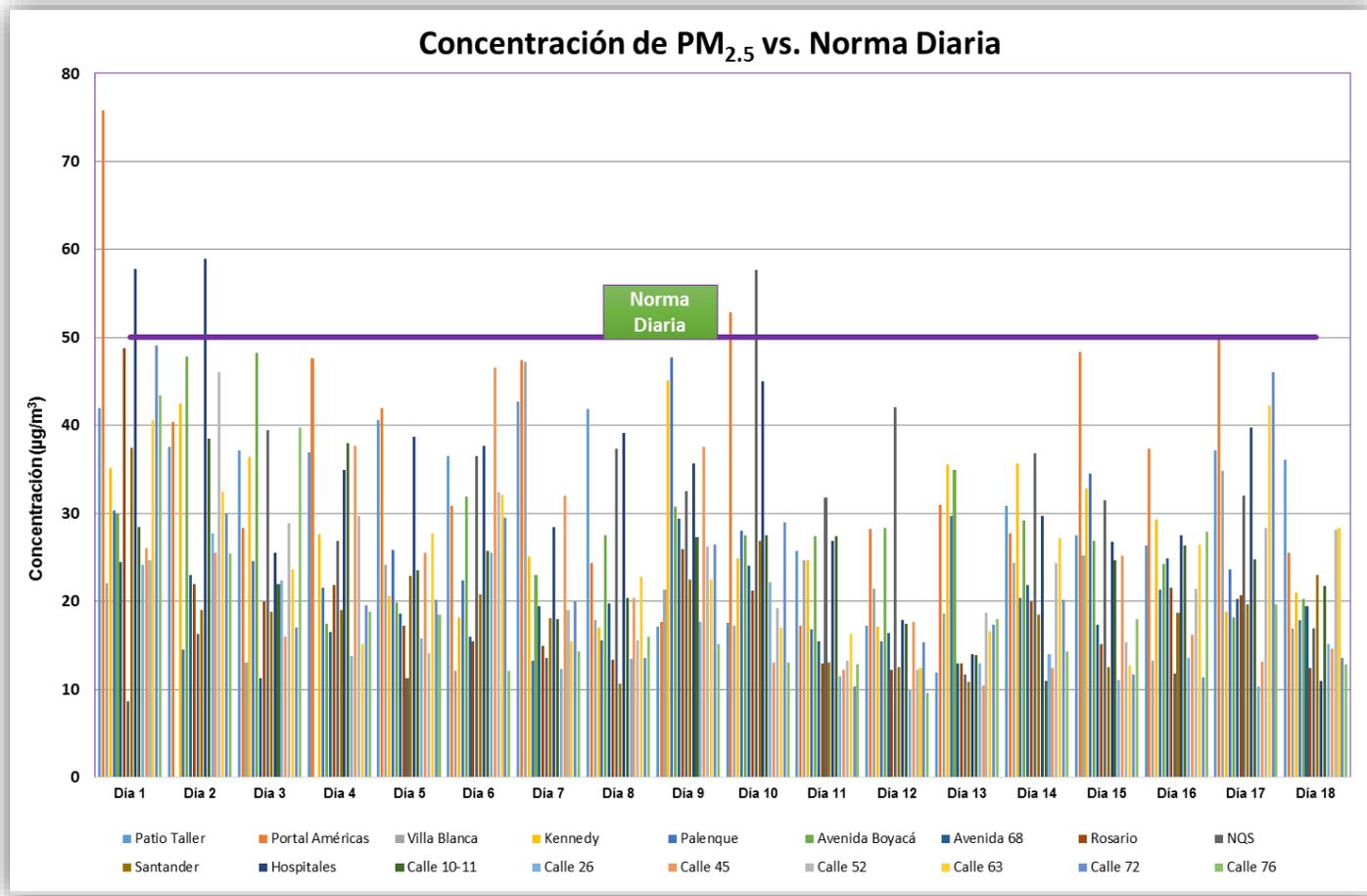


Ilustración 33. Concentraciones diarias de PM_{2.5} vs. Norma

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.2.1 Comparación Indicativa con la Norma Anual de PM_{2.5}

La Resolución 610 de 2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para PM_{2.5} establece una concentración de 25 µg/m³. En la **Tabla 19** se registran las concentraciones promedio obtenidas por las estaciones de monitoreo durante la campaña.

Tabla 19. Consolidado de resultados de PM_{2.5} para el periodo evaluado

	Estación	Promedio PM _{2.5} * (µg/m ³)	Norma Anual (µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma
1	Patio Taller	31,00	25	123,99%
2	Portal Américas	38,06	25	152,23%
3	Villa Blanca	22,50	25	89,99%
4	Kennedy	28,63	25	114,54%
5	Palenque	23,88	25	95,52%
6	Avenida Boyacá	29,02	25	116,08%
7	Avenida 68	19,54	25	78,16%
8	Rosario	19,78	25	79,13%
9	NQS	28,11	25	112,44%
10	Santander	18,95	25	75,81%
11	Hospitales	34,38	25	137,52%
12	Calle 10-11	24,41	25	97,65%
13	Calle 26	16,38	25	65,53%
14	Calle 45	22,82	25	91,28%
15	Calle 52	22,93	25	91,73%
16	Calle 63	23,75	25	95,02%
17	Calle 72	22,74	25	90,98%
18	Calle 76	19,82	25	79,30%

*Promedio aritmético

Fuente: K2 INGENIERÍA (Estudio actual)

La **Ilustración 34**, presenta los valores promedio del consolidado de datos obtenidos. Al comparar con la concentración definida para la norma anual (25 µg/m³), se evidencia que en seis (6) de las dieciocho (18) estaciones de monitoreo superan el límite permisible anual. Estas estaciones son: Patio Taller (31,00 µg/m³), Portal Américas (38,06 µg/m³), Kennedy (28,63 µg/m³), Avenida Boyacá (29,02 µg/m³), NQS (28,11 µg/m³) y Hospitales (34,38 µg/m³). Sin embargo, estas concentraciones se comparan solo de *forma indicativa*, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año considerado y determinar el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma.

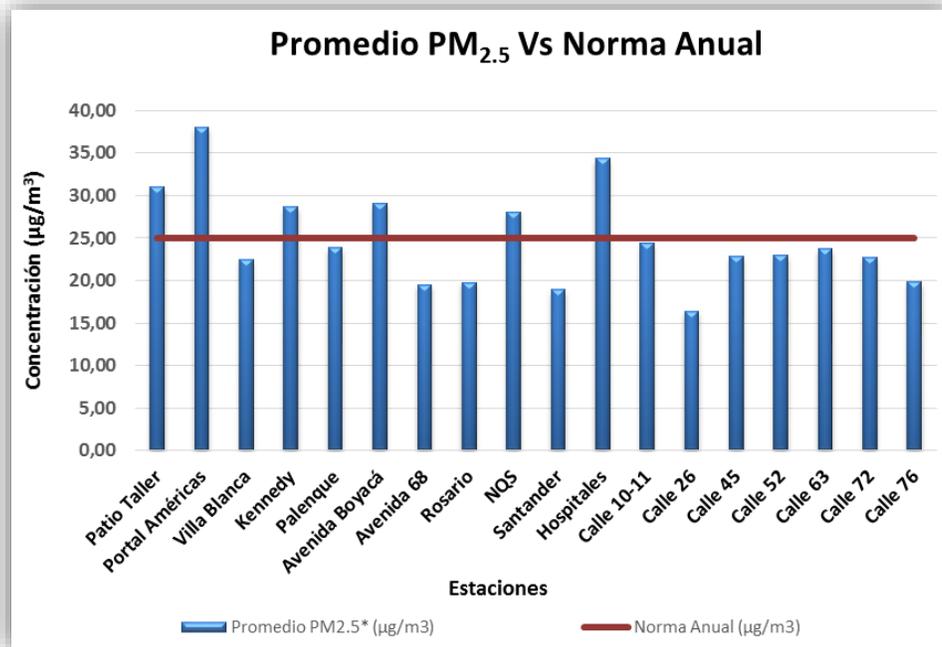


Ilustración 34. Concentraciones promedio PM_{2.5} vs Norma anual

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.2.2 Consistencia de los Datos de PM_{2.5}

En la **Tabla 20** se describe de forma gráfica y numérica, la distribución estadística de los niveles de inmisión de PM_{2.5} reportados en las dieciocho (18) estaciones de calidad del aire, teniendo en cuenta lo recomendado en *el Manual de Operación del Protocolo de Calidad del Aire*, referente a elaborar diagramas de caja por contaminante para evaluar la consistencia de los datos.

Considerando la información estadística presentada en la **Tabla 20** y la **Ilustración 35**, se deduce que la estación con mayor dispersión es la estación NQS. Este mismo comportamiento se da para el caso de concentración PM₁₀, lo que confirma la variabilidad de las condiciones atmosféricas y la dinámica de las fuentes aportantes de material particulado en este sector.

Tabla 20. Parámetros estadísticos estaciones de Calidad del Aire evaluadas – PM_{2.5}

Estación	Patio Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76
Número de Datos (n)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Promedio Geométrico (X)	31,28	38,06	23,27	28,21	23,55	28,54	19,54	19,38	27,49	19,18	33,08	24,27	16,32	22,36	23,23	24,01	22,23	19,44
Valor Más Alto Registrado (µg/m ³)	42,70	75,78	47,16	45,10	47,69	48,31	29,45	48,83	57,65	37,45	58,99	38,51	27,68	46,56	46,10	42,33	49,06	43,46
Valor Más Bajo Registrado (µg/m ³)	11,93	17,27	12,14	17,04	13,28	17,46	11,33	12,18	8,67	10,67	10,98	10,98	9,98	10,42	12,23	12,48	10,37	9,66
Desviación Estándar (S)	9,90	14,83	10,20	8,81	8,49	8,57	4,56	8,43	13,63	6,44	12,95	7,04	5,60	10,48	8,50	8,99	11,11	9,28
Parámetro de Distribución T	2,11	2,12	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
Intervalo de Confianza Media (95%) µ1	26,36	30,43	18,19	23,83	19,33	24,28	17,27	15,18	20,71	15,97	26,64	20,77	13,53	17,15	19,00	19,54	16,71	14,82
Intervalo de Confianza Media (95%) µ2	36,20	45,68	28,34	32,59	27,77	32,80	21,81	23,57	34,27	22,38	39,52	27,77	19,10	27,57	27,45	28,48	27,76	24,05
Mediana	36,33	37,33	21,37	26,33	22,00	27,48	19,49	18,57	31,66	18,95	32,34	24,72	13,91	19,05	22,91	23,26	19,77	17,00
Percentil 25	25,91	28,26	17,32	20,72	17,10	23,35	16,43	13,82	14,29	14,32	26,81	20,74	12,48	13,52	16,36	16,43	14,03	13,37
Percentil 75	37,45	47,61	24,59	35,47	27,52	30,55	22,72	21,46	36,74	22,04	39,05	27,40	21,04	25,92	28,35	28,22	28,32	19,46

K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

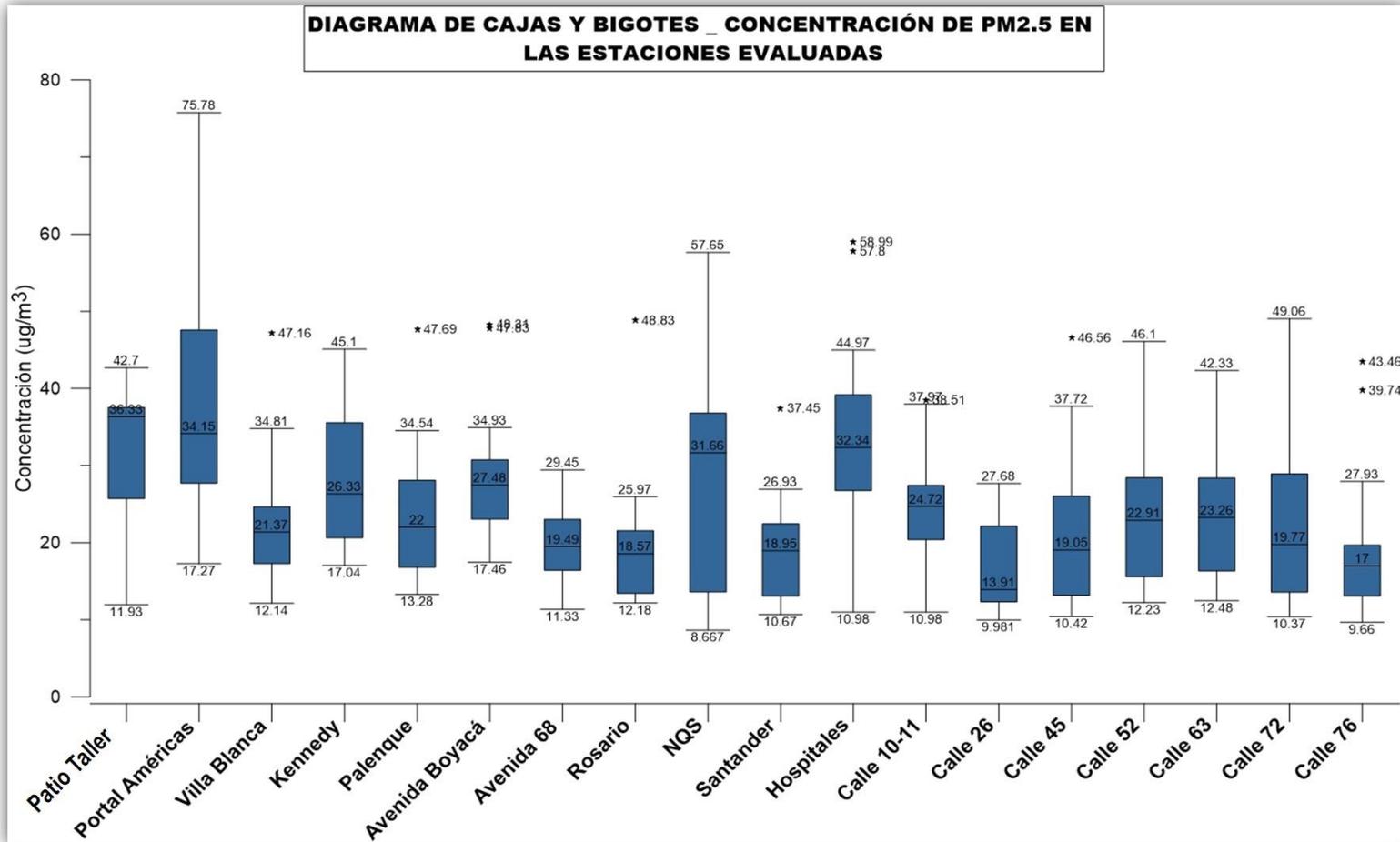


Ilustración 35. Diagrama de cajas de contaminantes evaluados – PM_{2.5}

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.3 COMPARACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES PM₁₀ Y PM_{2.5}

A continuación se presenta de manera gráfica el comportamiento de la concentración diaria de PM₁₀ y PM_{2.5} en cada estación durante todo el periodo de monitoreo (Tabla 21).

Tabla 21. Comparación concentración diaria PM₁₀ – PM_{2.5} VS Normas







K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

El análisis de las gráficas presentadas en la **Tabla 21** permite señalar que ninguna de las dieciocho estaciones reporta concentraciones PM₁₀ promedio diarias que superen la norma diaria (100 µg/m³). Mientras que para concentraciones PM_{2.5} promedio diarias, las estaciones Portal Américas (día 1 y día 10), NQS (día 10) y Hospitales (día 1 y día 2), exceden la norma diaria (50 µg/m³).

7.4 CONCENTRACIONES DE NO₂ VS. NORMA

Las muestras de NO₂ fueron recolectadas mediante equipos RAC 3 gases en las dieciocho (18) estaciones de calidad del aire. Los datos reportados cuentan con los criterios de aceptación de calidad establecidos por el *Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire* desarrollado por el MADS, el cual establece un tiempo mínimo de 23 horas de monitoreo⁸.

En la **Tabla 22** se presentan los resultados de NO₂ obtenidos en cada estación durante el periodo de monitoreo.

Los valores de concentración reportados con asterisco (*) se calcularon con el valor mínimo detectable del método (LCM NO₂ = 0,05 µg/ml de Solución), lo cual indica que estas concentraciones se encuentran en niveles muy bajos o en su defecto no se presenta concentración alguna de este parámetro. Los demás valores reportados superan el mínimo detectable, más no la norma diaria para NO₂ que es de 150 µg/m³ dado por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS. En la estación Avenida Boyacá se registra una concentración (149,2 µg/m³) que se acerca al límite permisible, sin embargo, no lo supera. En consecuencia todas las concentraciones reportadas no exceden la norma diaria y cumplen con lo establecido en dicha resolución, (**Ilustración 36**).

⁸ Resolución 2154 del 2010 // *Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire*.

Tabla 22. Concentraciones diarias de NO₂ vs. Norma diaria

	Patio Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76
Día 1	15,70*	15,50*	16,10*	25,60	30,60	15,60*	44,20	16,30*	42,60	12,60*	29,90	15,00*	14,60*	13,50*	13,60*	13,70*	25,10	16,00
Día 2	36,00	13,90*	15,80*	19,80	15,10*	149,20	18,00	26,90	12,20*	14,60*	61,70	15,00*	22,10	13,20*	15,50*	12,60*	16,20*	16,70
Día 3	10,90*	23,00	14,70*	13,90*	26,70	14,10*	36,10	15,80*	15,70*	14,00*	36,60	13,80*	13,80*	12,40*	34,50	14,70*	16,20*	14,10*
Día 4	15,70	15,70*	15,80	15,20*	11,50	44,60	14,30*	15,10*	31,50	14,10*	25,70	15,00*	39,60	12,80*	17,80	14,50*	15,90*	14,40*
Día 5	14,60*	14,70*	27,40	14,80*	13,60*	46,70	26,40	18,60	16,90	13,70*	33,90	15,00*	14,00*	12,60*	23,40	16,40	16,20*	15,70*
Día 6	14,80*	15,60*	16,10	14,60*	14,20*	13,10*	19,10	15,50*	21,70	13,10*	32,50	15,00*	13,60*	28,20	15,70	15,30*	15,60*	14,10*
Día 7	14,90*	15,50*	25,30	17,10	23,90	15,60	13,40*	16,10*	15,50*	13,80*	31,00	15,10*	14,30*	19,80	15,80*	18,50	16,00*	13,50*
Día 8	15,60*	15,70*	33,90	18,00	20,90	22,10	14,90*	14,00*	32,80	13,80*	49,90	15,10*	14,00*	12,90	15,80*	14,90*	16,70*	13,80*
Día 9	11,00*	16,30*	18,30	22,80	18,60	14,10*	22,40	15,70*	15,50*	13,20*	57,80	13,80*	13,30*	19,00	15,80*	15,20*	16,20*	15,40*
Día 10	16,30*	15,00*	22,70	13,70*	15,70*	15,60*	21,60	15,70*	45,40	14,20*	61,00	15,10*	13,00*	23,20	15,60*	15,40*	15,60*	14,40*
Día 11	14,20*	15,70*	19,60	15,30*	15,90*	12,80*	24,60	16,20*	31,60	14,70*	43,50	15,10*	13,70*	15,80*	28,10	14,80*	16,10*	14,10*
Día 12	14,00*	15,60*	15,20*	15,00*	14,50*	21,00	13,20*	15,80*	25,80	13,70*	55,60	15,10*	13,00*	15,80*	17,30	15,40*	15,90*	13,50*
Día 13	13,80*	15,70*	18,20	15,60*	15,50*	13,80*	15,30*	14,80*	26,60	14,00*	32,50	15,10*	13,00*	26,70	15,70*	15,30*	14,30*	16,00*
Día 14	13,80*	15,00*	29,20	15,30*	15,80*	12,60*	15,10*	11,90*	17,60	13,30*	34,80	14,20*	13,00*	15,80*	20,90	15,10*	16,30*	14,20*
Día 15	14,00*	15,70*	19,60	23,70	13,90*	24,30	19,20	14,70*	16,30	13,60*	41,90	15,10*	14,10*	25,80	15,60*	13,50*	16,30*	13,50*
Día 16	13,50*	15,70*	16,60	30,70	13,50*	14,80*	32,30	15,80*	30,20	14,90*	48,30	15,20*	13,40*	30,10	20,60	15,40*	15,70*	13,50*
Día 17	14,20*	15,70*	14,20*	23,50	13,20*	14,50*	14,30*	15,70*	13,30*	14,30*	57,30	15,20*	13,10*	15,50*	15,90*	15,40*	16,30*	14,50*
Día 18	15,40*	15,60*	14,80*	21,10	15,70*	31,60	15,20*	15,70*	15,80*	14,30*	60,50	15,10*	13,70*	15,80*	24,70	14,80*	15,60*	14,50*
Geomét	14,93	15,78	18,96	18,11	16,56	20,78	19,71	15,92	21,89	13,87	42,45	14,88	14,82	17,46	18,41	15,00	16,35	14,52
Aritmét	15,47	15,87	19,64	18,65	17,16	27,56	21,09	16,13	23,72	13,88	44,13	14,89	15,52	18,27	19,02	15,05	16,46	14,55

*Concentraciones calculadas con el valor mínimo detectable para (LCM NO₂ = 0,05 µg/ml de Solución)

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S (Estudio actual)

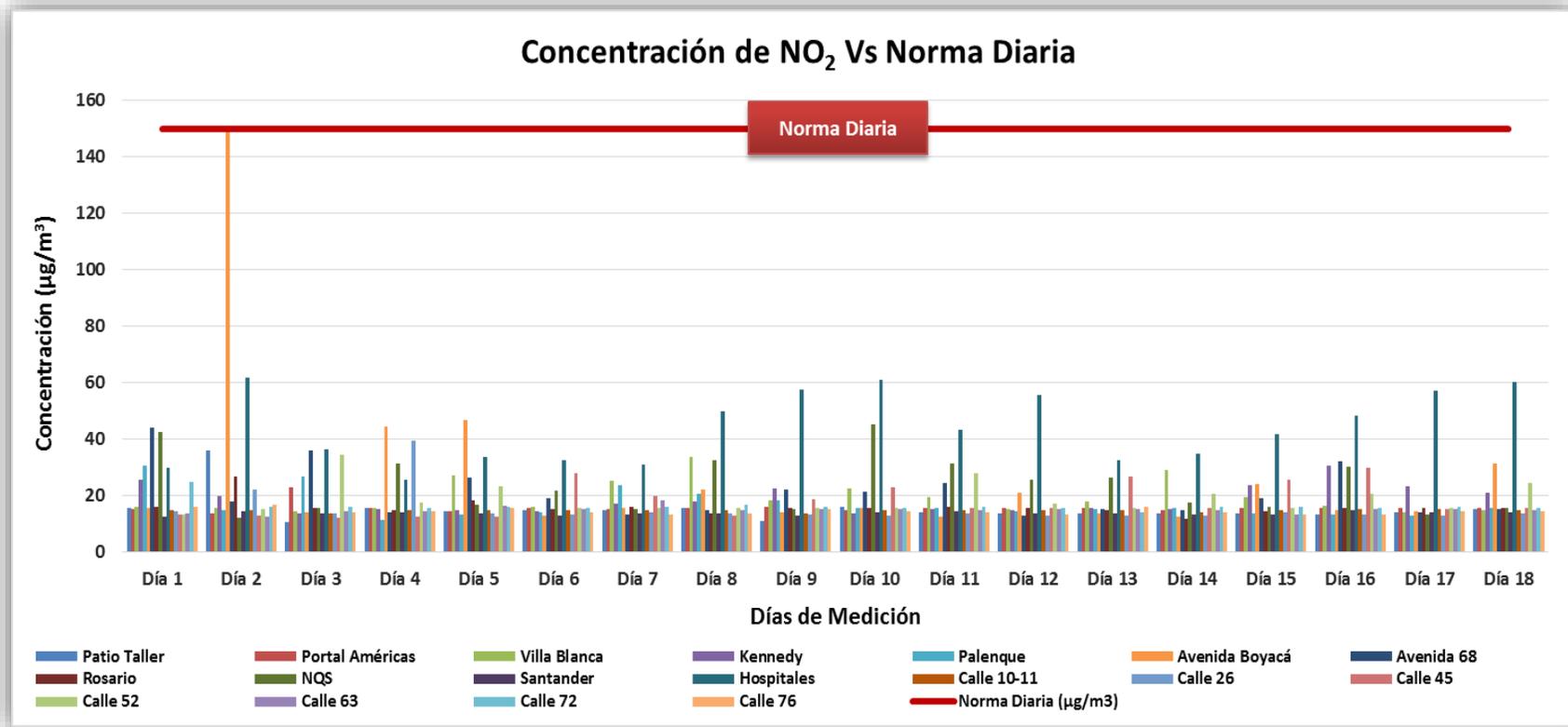


Ilustración 36. Concentraciones diarias de NO₂ vs. Norma diaria

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.4.1 Comparación Indicativa con la Norma Anual de NO₂

La Resolución 610 de 2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para PM₁₀ establece una concentración de 100 µg/m³. En la **Tabla 23** se registran las concentraciones promedio obtenidas por las estaciones de monitoreo durante la campaña.

Tabla 23. Consolidado de resultados de NO₂ para el periodo evaluado

	Estación	Promedio NO ₂ * (µg/m ³)	Norma Anual (µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma
1	Patio Taller	15,47	100	15,47%
2	Portal Américas	15,87	100	15,87%
3	Villa Blanca	19,64	100	19,64%
4	Kennedy	18,65	100	18,65%
5	Palenque	17,16	100	17,16%
6	Avenida Boyacá	27,56	100	27,56%
7	Avenida 68	21,09	100	21,09%
8	Rosario	16,13	100	16,13%
9	NQS	23,72	100	23,72%
10	Santander	13,88	100	13,88%
11	Hospitales	44,13	100	44,13%
12	Calle 10-11	14,89	100	14,89%
13	Calle 26	15,52	100	15,52%
14	Calle 45	18,27	100	18,27%
15	Calle 52	19,02	100	19,02%
16	Calle 63	15,05	100	15,05%
17	Calle 72	16,46	100	16,46%
18	Calle 76	14,55	100	14,55%

*Promedio aritmético

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Así mismo la **Ilustración 37** presenta de manera gráfica los valores promedio del consolidado de datos obtenidos y al comparar con la norma anual de 100 µg/m³, se puede detectar que ninguna de las estaciones supera el límite permisible anual.

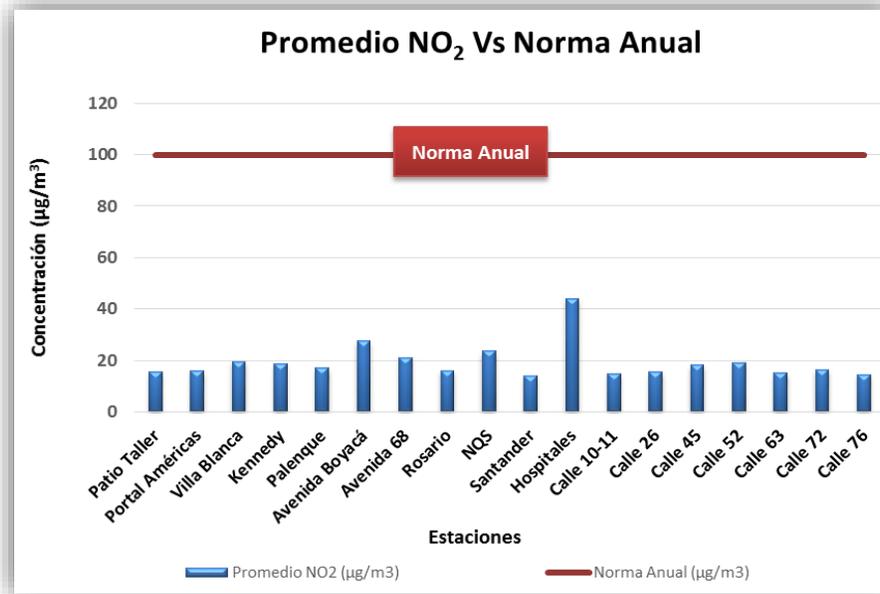


Ilustración 37. Concentraciones promedio NO₂ vs Norma anual

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.5 CONCENTRACIONES DE SO₂ VS. NORMA

Al igual que para NO₂, las muestras de SO₂ fueron recolectadas mediante equipos RAC 3 gases y cuentan con los criterios de aceptación de calidad establecidos por el *Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire* desarrollado por el MADS, el cual establece un tiempo mínimo de 23 horas de monitoreo.

En la **Tabla 24** se presentan los resultados de SO₂ obtenidos en cada estación durante el periodo de monitoreo.

Los valores de concentración reportados con asterisco (*) se calcularon con el valor mínimo detectable del método (LCM SO₂ = 0,77 µg/10 ml de Solución), lo cual indica que estas concentraciones se encuentran en niveles muy bajos o en su defecto no se presenta concentración alguna de este parámetro. Los demás valores reportados superan el mínimo detectable, más no la norma diaria para NO₂ que es de 250 µg/m³ dado por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS. En consecuencia todas las concentraciones reportadas no exceden la norma diaria y cumplen con lo establecido en dicha resolución, (**Ilustración 38**).

Tabla 24. Concentraciones diarias de SO₂ vs. Norma diaria

	Patio Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76
Día 1	18,30	16,30*	18,00*	15,70*	14,30*	17,60*	15,80*	16,30*	23,00	17,70*	17,20*	24,20	52,10	17,50*	17,50*	15,50*	14,00*	16,10*
Día 2	17,90*	15,60*	17,70*	15,80*	18,60*	17,70*	14,50*	13,70*	17,10*	15,60*	16,90*	17,80*	16,90	14,80*	15,90*	17,30*	17,20*	17,60*
Día 3	42,20	17,40*	17,40*	18,40*	18,60*	17,70*	17,30*	16,80*	17,50*	18,70*	16,80*	17,90*	14,50*	18,00*	17,70*	16,30*	16,50*	15,20*
Día 4	18,50	17,60*	16,50*	18,00*	22,90	17,60*	13,30*	12,80*	17,50*	18,80*	16,90*	17,50*	42,90	24,80	17,60*	16,30*	17,20*	15,50*
Día 5	17,20	17,50*	16,60*	18,30*	18,20*	17,60*	14,40*	13,70*	17,10*	18,60*	17,30*	18,70	19,00	18,30*	17,70*	14,90*	15,50*	14,80*
Día 6	47,90	17,50*	17,30*	17,30*	22,70	17,90*	15,60*	17,60*	17,50*	18,00*	16,90*	17,90*	18,40	17,70*	18,00*	17,10*	17,20*	14,80*
Día 7	16,30	17,30*	17,10*	17,50*	17,70*	37,50	12,50*	18,30*	17,60*	16,70*	16,60*	18,70	17,20	17,70*	17,70*	16,40*	17,30*	14,10*
Día 8	17,00	17,20*	16,60*	16,70*	18,00*	17,50*	14,90*	17,00*	18,20	17,80*	17,40*	18,70	15,20*	17,70*	17,30*	16,90*	14,20*	14,90*
Día 9	18,70	18,30*	16,90*	16,80*	16,80*	17,70*	16,80*	17,80*	17,60*	17,80*	17,60*	30,30	21,10	17,60*	17,60*	17,20*	17,20*	17,60*
Día 10	17,60	16,90*	17,60*	14,60*	16,60*	17,70*	14,40*	17,70*	17,50*	18,20*	17,60*	17,70*	17,00	17,60*	17,50*	16,80*	17,20*	15,50*
Día 11	16,40*	17,20*	17,60*	17,90*	18,40*	15,30*	16,50*	18,40*	17,50*	18,40*	17,70*	17,80*	13,90*	17,70*	17,30*	16,00*	17,00*	16,20*
Día 12	16,60*	17,40*	17,70*	17,70*	16,80*	15,30*	13,30*	17,90*	17,10*	18,00*	17,90*	16,20*	14,20*	17,60*	17,30*	15,60*	17,20*	14,50*
Día 13	16,20*	17,50*	17,10*	17,40*	18,00*	15,30*	12,50*	17,60*	17,50*	17,60*	17,60*	17,60*	13,80*	18,00*	17,60*	16,70*	17,30*	17,60*
Día 14	16,40*	17,40*	17,40*	17,20*	18,20*	15,70*	17,50*	17,50*	17,60*	17,20*	17,70*	17,80*	14,30*	17,70*	18,00*	15,70*	17,20*	16,30*
Día 15	16,50*	17,20*	17,10*	18,20*	17,40*	16,30*	16,70*	16,70*	17,10*	17,50*	17,70*	16,30*	15,00*	17,70*	18,10*	15,70*	17,30*	14,80*
Día 16	15,80*	17,60*	17,00*	18,20*	17,30*	17,10*	15,60*	18,10*	17,60*	17,50*	17,90*	17,80*	13,90*	17,70*	17,70*	16,80*	17,30*	14,50*
Día 17	16,10*	17,50*	17,20*	17,50*	15,80*	16,00*	16,00*	17,90*	14,00*	18,60*	17,60*	16,40*	14,20*	17,70*	17,70*	16,80*	17,20*	14,20*
Día 18	17,50*	17,40*	16,80*	17,50*	18,30*	15,30*	15,70*	16,80*	17,50*	18,60*	17,70*	17,00*	14,90*	17,60*	17,60*	18,20*	17,10*	15,50*
Geomét	18,98	17,26	17,20	17,23	17,93	17,52	15,11	16,72	17,52	17,83	17,38	18,46	17,76	17,89	17,54	16,44	16,69	15,50
Aritmét	20,17	17,27	17,20	17,26	18,03	17,93	15,18	16,81	17,58	17,85	17,39	18,68	19,36	17,97	17,54	16,46	16,73	15,54

*Concentraciones calculadas con el valor mínimo detectable para (LCM SO₂ = 0,77 µg/10 ml de Solución)

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

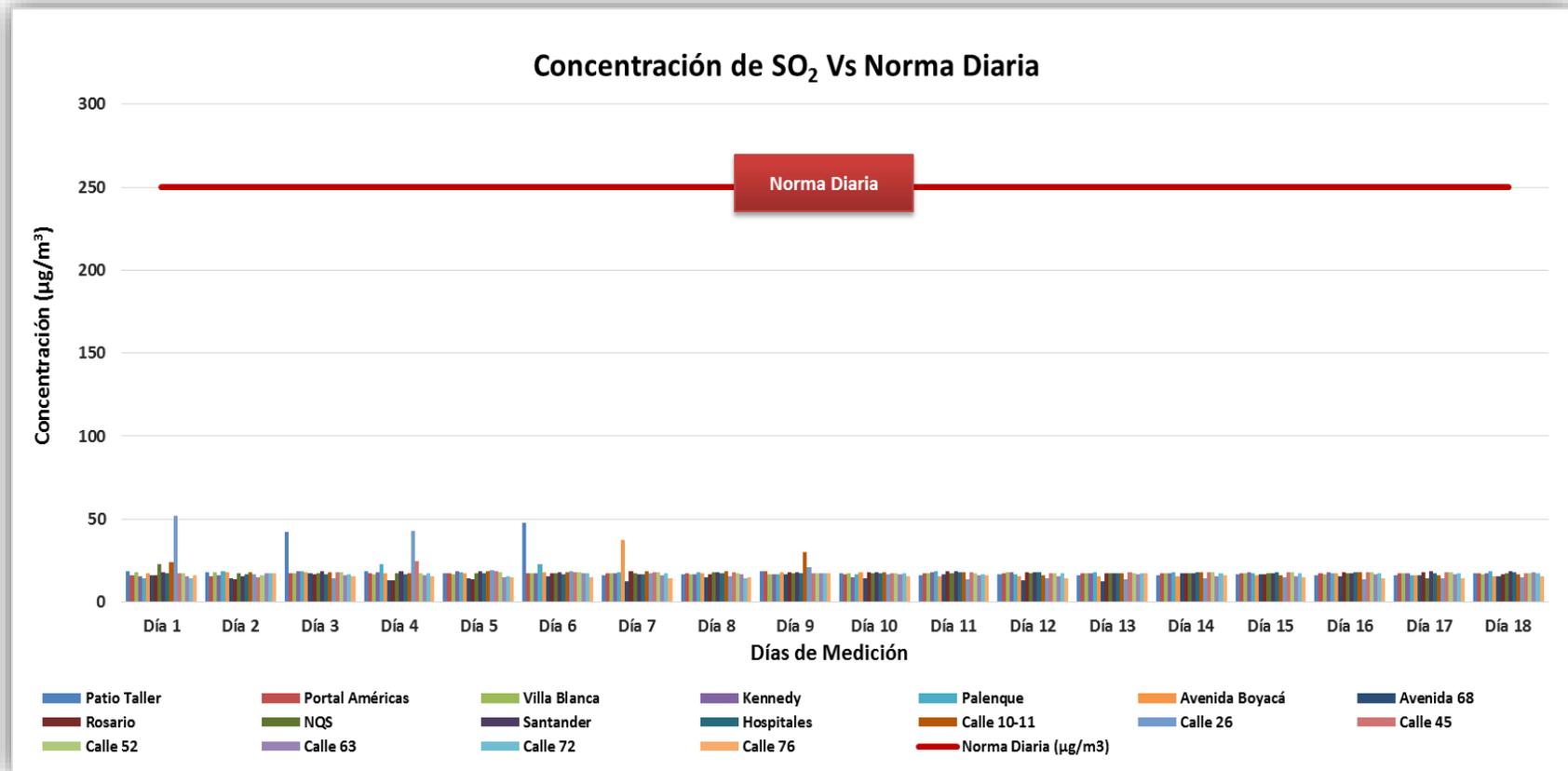


Ilustración 38. Concentraciones diarias de SO₂ vs. Norma diaria

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.5.1 Comparación Indicativa con la Norma Anual de SO₂

La Resolución 610 de 2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para SO₂ establece una concentración de 80 µg/m³. En la **Tabla 25** se registran las concentraciones promedio obtenidas en las estaciones de monitoreo durante la campaña.

Tabla 25. Consolidado de resultados de SO₂ para el periodo evaluado

	Estación	Promedio NO ₂ * (µg/m ³)	Norma Anual (µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma
1	Patio Taller	20,17	80	25,22%
2	Portal Américas	17,27	80	21,58%
3	Villa Blanca	17,20	80	21,50%
4	Kennedy	17,26	80	21,58%
5	Palenque	18,03	80	22,54%
6	Avenida Boyacá	17,93	80	22,42%
7	Avenida 68	15,18	80	18,98%
8	Rosario	16,81	80	21,01%
9	NQS	17,58	80	21,98%
10	Santander	17,85	80	22,31%
11	Hospitales	17,39	80	21,74%
12	Calle 10-11	18,68	80	23,35%
13	Calle 26	19,36	80	24,20%
14	Calle 45	17,97	80	22,46%
15	Calle 52	17,54	80	21,93%
16	Calle 63	16,46	80	20,57%
17	Calle 72	16,73	80	20,91%
18	Calle 76	15,54	80	19,42%

*Promedio aritmético

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Así mismo la **Ilustración 39** presenta de manera gráfica los valores promedio del consolidado de datos obtenidos y al comparar con el valor definido en la norma anual (80 µg/m³), se puede detectar que ninguna estación supera el límite permisible anual.

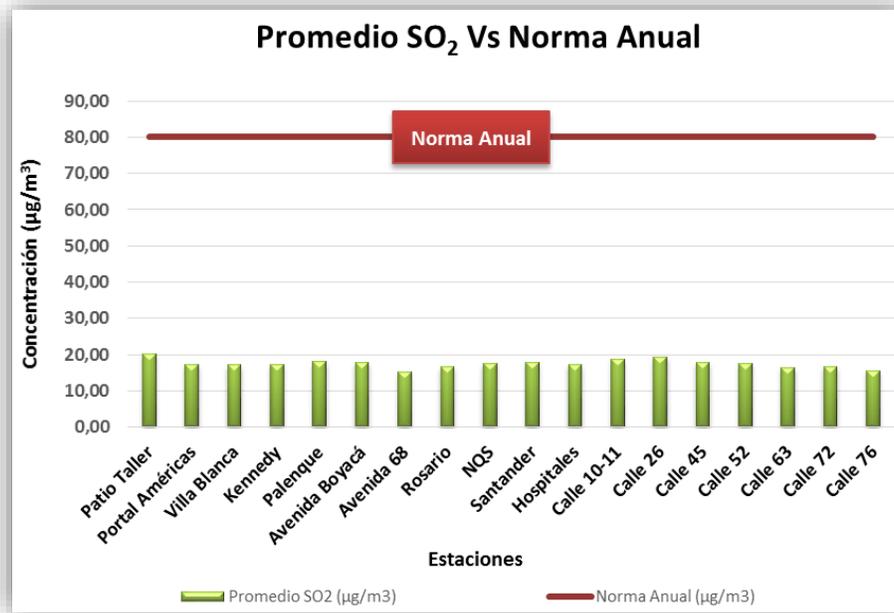


Ilustración 39. Concentraciones promedio SO₂ vs Norma anual
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.6 CONCENTRACIONES DE CO

Las muestras en las dieciocho (18) estaciones evaluadas fueron recolectadas mediante un equipo automático (Analizador infrarrojo no dispersivo), el cual fue rotado por cada una de las estaciones para obtener el mínimo número de días que fueran representativos para cada estación y cuentan con los criterios de aceptación de calidad establecidos por el *Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire* desarrollado por el MADS, el cual, establece un tiempo mínimo de monitoreo de 24 horas⁹ en cada estación. En el **Anexo 4** se presenta el consolidado de las concentraciones hora a hora y la media móvil¹⁰ obtenidas en cada una de las estaciones.

7.6.1 Norma Horaria

En la **Ilustración 40** se presenta gráficamente el comportamiento de las concentraciones promedio horarias de CO obtenidas en cada una de las dieciocho estaciones. Se evidencia que ninguno de los valores promedios máximos exceden la norma horaria de 40.000 µg/m³, establecida para CO en la Resolución 610 de 2010.

⁹ Resolución 2154 del 2010 // *Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire*.

¹⁰ Cálculo para la comparación con la norma Octahoraria.

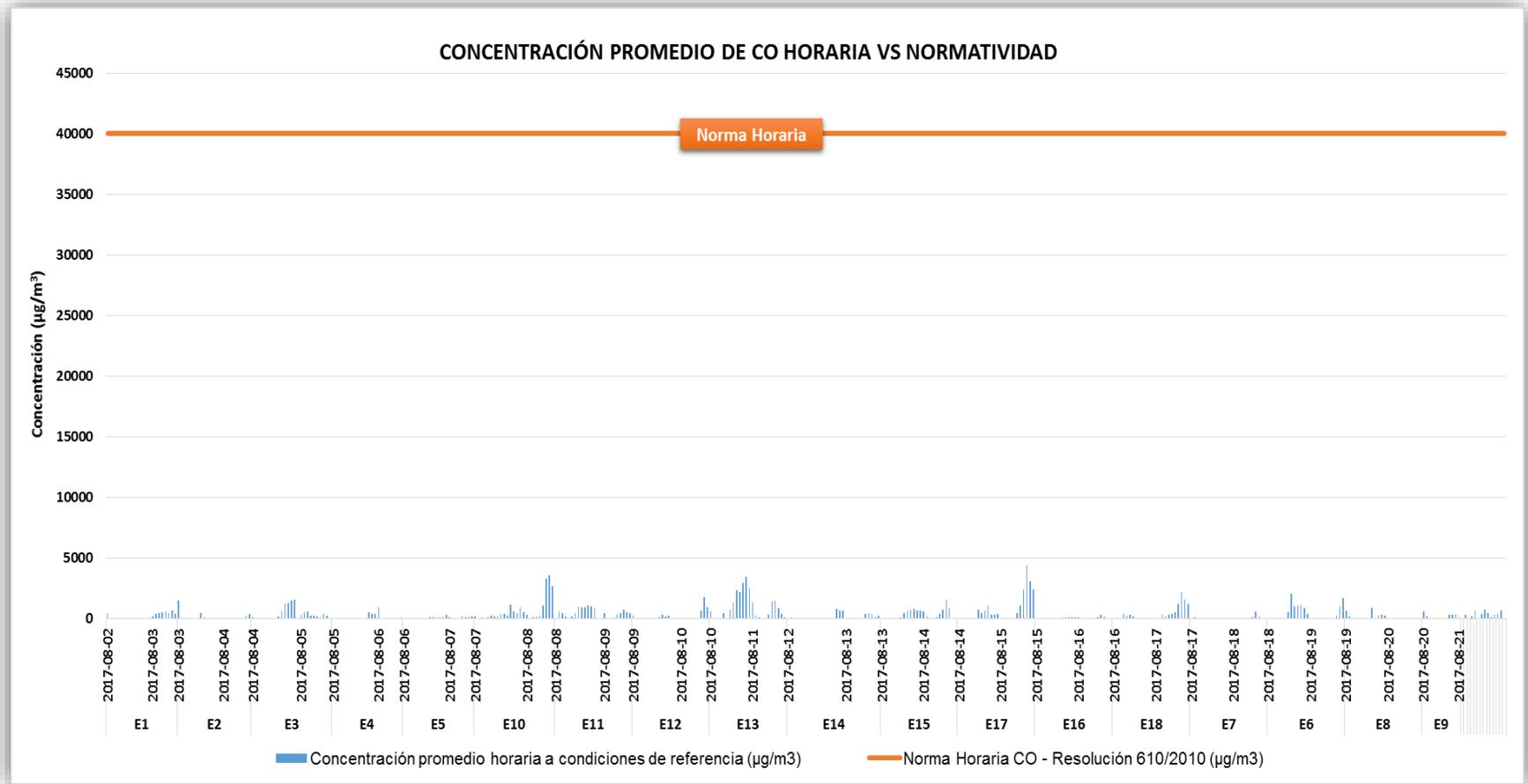


Ilustración 40. Concentraciones promedio horarias de CO vs. Norma

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.6.2 Norma Octahoraria

Para realizar el promedio octahorario horario, se determina la media móvil para cada estación durante los días de medición. En la **Ilustración 41** se presenta el comportamiento de la media móvil calculada para cada estación.

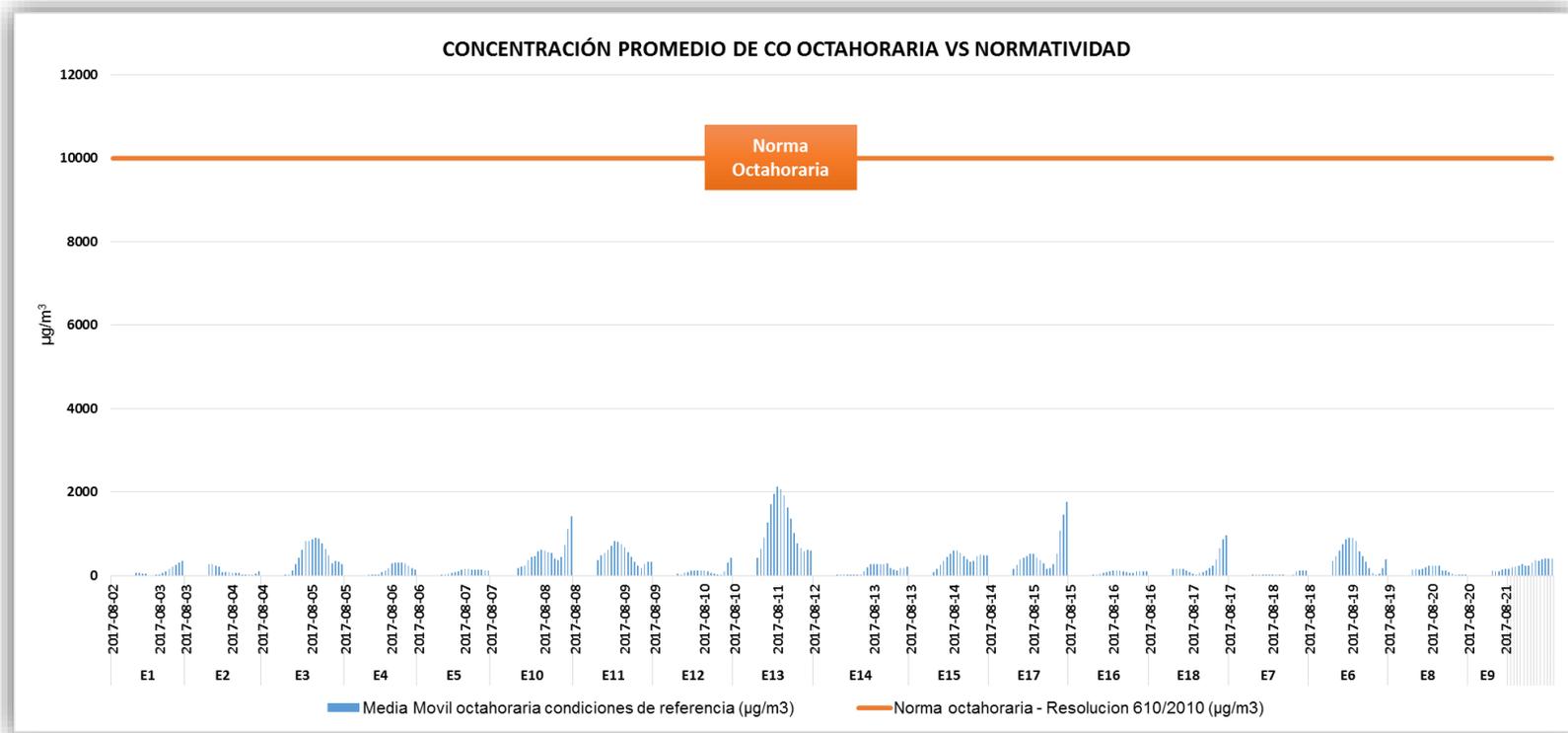


Ilustración 41. Media móvil octahoraria vs. Norma

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

7.7 VOC'S EXPRESADOS COMO BTX

En el **Anexo 6** se observan los resultados de concentración reportados por el Laboratorio Passam Ltd.

En la **Tabla 26** se consolidan los resultados promedio para cada punto de medición. El tiempo de exposición correspondió a 18 días para cada determinación realizada en cada punto, los promedios han sido corregidos a condiciones de referencia de 25°C y 760 mmHg como lo establece la normatividad.

Tabla 26. Consolidado resultados BTX [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Punto	Nombre	Fecha Inicio	Fecha Final	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	p-xileno	m-xileno	o-xileno
1	Patio Taller	31/07/2017	19/08/2017	1,30	6,55	1,29	1,24	2,63	1,12
2	Portal Américas	31/07/2017	19/08/2017	4,59	25,31	5,06	4,95	11,78	4,48
3	Villa Blanca	31/07/2017	19/08/2017	3,84	20,78	3,45	3,53	8,26	2,94
4	Kennedy	31/07/2017	19/08/2017	2,42	10,63	2,47	2,51	5,67	2,26
5	Palenque	31/07/2017	19/08/2017	1,82	9,68	2,05	2,14	4,48	1,64
6	Avenida Boyacá	31/07/2017	19/08/2017	3,74	14,40	3,20	2,97	7,17	2,91
7	Avenida 68	31/07/2017	19/08/2017	2,31	13,95	3,20	2,96	6,52	2,52
8	Rosario	31/07/2017	19/08/2017	2,19	13,73	2,45	2,55	5,75	2,06
9	NQS	31/07/2017	19/08/2017	3,04	26,72	8,78	9,67	22,91	6,20
10	Santander	01/08/2017	19/08/2017	1,97	17,17	2,48	2,38	5,18	2,06
11	Hospitales	01/08/2017	19/08/2017	5,55	26,90	5,35	4,96	11,59	5,38
12	Calle 10-11	01/08/2017	19/08/2017	1,68	24,58	2,27	2,32	5,51	2,00
13	Calle 26	01/08/2017	19/08/2017	1,92	14,03	2,30	2,32	5,04	1,98
14	Calle 45	01/08/2017	19/08/2017	2,19	7,22	1,83	1,56	3,38	1,72
15	Calle 52	01/08/2017	19/08/2017	1,82	8,22	1,75	1,69	3,29	1,39
16	Calle 63	01/08/2017	19/08/2017	1,76	14,39	2,49	2,32	5,17	2,02
17	Calle 72	01/08/2017	19/08/2017	1,89	13,15	3,42	3,35	7,75	2,67
18	Calle 76	01/08/2017	19/08/2017	2,12	13,39	2,33	2,06	4,79	2,07

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. con información de Passam Ltd. (Estudio actual)

Al observar los valores duplicados de concentración de cada contaminante, reportados por el laboratorio para los puntos de medición (**Anexo 6**), se evidencia que estos son bastante cercanos entre sí; esto muestra la reproducibilidad del método y su precisión reflejando una mayor certeza de los datos obtenidos. La **Ilustración 42** muestra los resultados de los hidrocarburos totales expresados como BTX, (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, p-xileno, m-xileno y o-xileno).

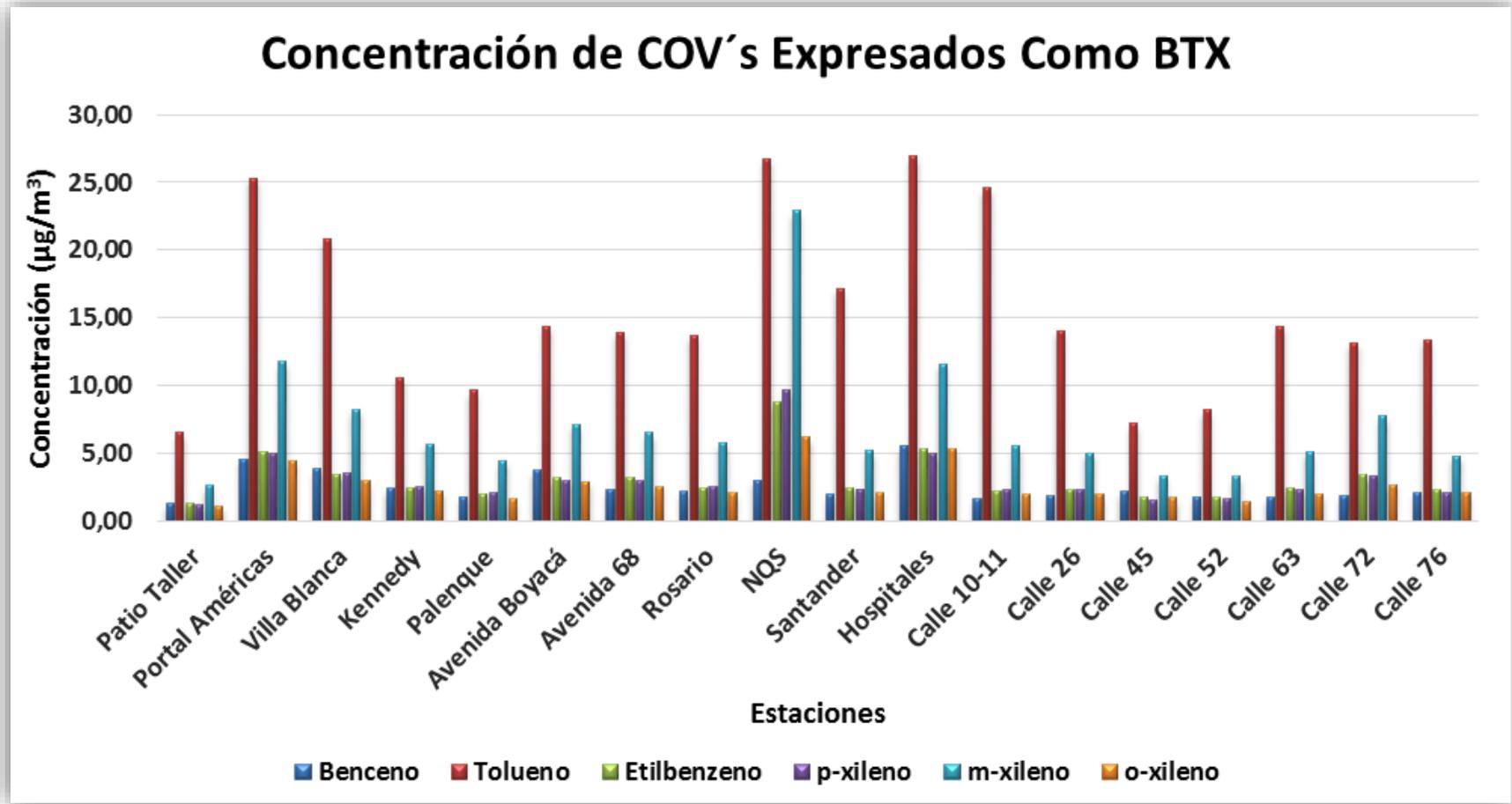


Ilustración 42. Resultados de VOC's expresados como BTX
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. con información de Passam Ltd. (Estudio actual)

Como se evidencia en la **Ilustración 42** las mayores concentraciones de los contaminantes no convencionales, se reportan en las estaciones NQS, Hospitales y Portal Américas.

La Resolución 610 de 2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición para el Benceno establece una concentración de $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el Tolueno de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los demás contaminantes analizados, no se encuentran regulados por la normatividad colombiana. En la **Tabla 27** se presentan los valores de concentración promedio de Benceno y Tolueno obtenidos en las dieciocho estaciones durante el periodo de monitoreo (18 días) y una comparación *indicativa* con los estándares de la Resolución 610 de 2010. No es posible realizar un comparación absoluta de los resultados obtenidos con la normatividad, porque la resolución de medición del monitoreo de calidad del aire de este informe (18 días) no coincide con la resolución establecida para los estándares definidos en la normatividad del Benceno y el Tolueno. Por lo anterior, las comparaciones, así como lo establece *el Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire* en el *Manual de Diseño* en su sección 4.4.4., *son indicativas y no concluyentes*.

Tabla 27. Comparación indicativa de Benceno y Tolueno con la normatividad

Estación	Benceno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Tolueno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Norma Para Benceno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]*	Norma Para Tolueno [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]**
Patio Taller	1,30	6,55	5,0	260
Portal Américas	4,59	25,31	5,0	260
Villa Blanca	3,84	20,78	5,0	260
Kennedy	2,42	10,63	5,0	260
Palenque	1,82	9,68	5,0	260
Avenida Boyacá	3,74	14,40	5,0	260
Avenida 68	2,31	13,95	5,0	260
Rosario	2,19	13,73	5,0	260
NQS	3,04	26,72	5,0	260
Santander	1,97	17,17	5,0	260
Hospitales	5,55	26,90	5,0	260
Calle 10-11	1,68	24,58	5,0	260
Calle 26	1,92	14,03	5,0	260
Calle 45	2,19	7,22	5,0	260
Calle 52	1,82	8,22	5,0	260
Calle 63	1,76	14,39	5,0	260
Calle 72	1,89	13,15	5,0	260
Calle 76	2,12	13,39	5,0	260

*Norma para tiempo de exposición anual. **Norma para tiempo de exposición semanal

Fuente: INGENIERÍA K2 S.A.S. con información de Passam Ltd. (Estudio actual)

Al comparar indicativamente los valores de concentración reportados durante los días de monitoreo con el nivel máximo permisible de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el Tolueno (semanal) establecido por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS, se evidencia que cumplen con la normatividad. Con respecto a las concentraciones de Benceno, en la estación Hospitales se reporta una concentración ($5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que excede el máximo permisible, las demás concentraciones cumplen con la norma. En la **Ilustración 43** y la **Ilustración 44** se presenta de manera gráfica la comparación indicativa mencionada.

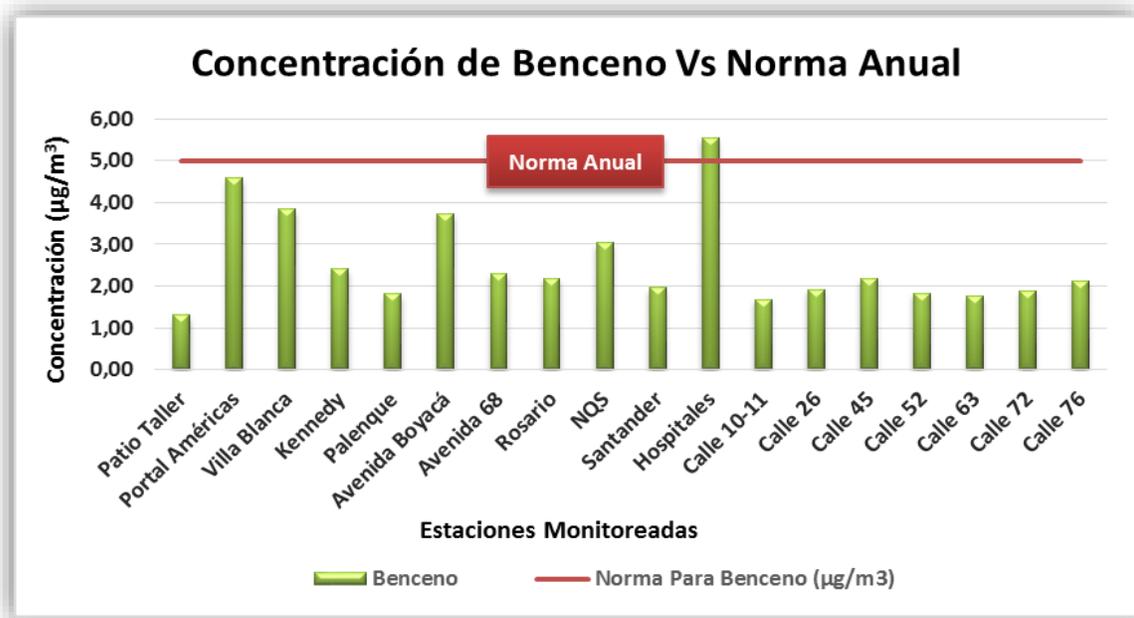


Ilustración 43. Concentración de Benceno Vs Norma anual

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. con información de Passam Ltd. (Estudio actual)

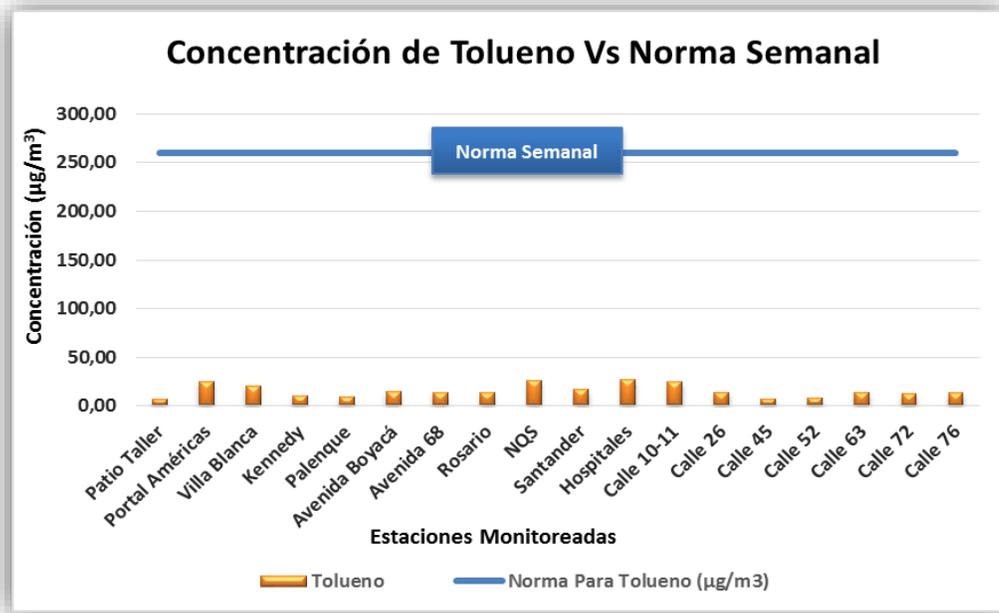


Ilustración 44. Concentración de Tolueno Vs Norma semanal
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. con información de Passam Ltd. (Estudio actual)

7.8 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA)

En todas las estaciones de calidad del aire se realizaron mediciones de contaminantes criterio: PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂ y SO₂.

El ICA fue calculado a partir de las concentraciones obtenidas de Material Particulado PM₁₀, por considerarse este como el contaminante criterio más restrictivo, entre todos contaminantes analizados en el estudio. En la **Tabla 28** se registran los valores de ICA calculados para cada día muestreado.

La estación Portal Américas es la que reporta la mayor cantidad de valores (17 de 18 registros) en la categoría "Calidad del Aire Moderada". De otra parte, la estación Santander ubica la totalidad de sus valores (18 registros) en la categoría "Calidad del Aire Buena".

En la **Ilustración 45** se consolida el total de Índices de Calidad del Aire calculados para el periodo de monitoreo de calidad del aire.

Tabla 28. Valores Índice de calidad del aire – PM₁₀

Fecha	Patio Taller	Portal Américas	Villa Blanca	Kennedy	Palenque	Avenida Boyacá	Avenida 68	Rosario	NQS	Santander	Hospitales	Calle 10-11	Calle 26	Calle 45	Calle 52	Calle 63	Calle 72	Calle 76
DIA 1	56	72	66	47	59	51	45	57	10	47	68	51	48	38	62	58	62	58
DIA 2	52	65	68	58	31	57	51	52	61	35	70	55	47	44	53	53	53	52
DIA 3	53	68	43	44	29	60	32	29	54	31	57	49	47	19	44	42	44	47
DIA 4	44	63	36	44	31	60	35	28	38	35	54	46	43	73	43	34	42	44
DIA 5	43	65	44	28	37	50	30	30	19	40	56	50	45	56	45	43	45	42
DIA 6	57	71	70	34	37	48	33	28	54	34	53	44	48	56	46	47	46	28
DIA 7	46	62	44	41	28	52	36	29	17	33	38	34	31	71	35	35	35	31
DIA 8	52	66	34	36	49	52	31	25	54	24	50	38	30	44	32	34	31	26
DIA 9	40	63	56	55	58	60	50	37	55	30	43	46	36	51	38	39	38	32
DIA 10	45	58	57	51	37	66	45	52	73	44	53	50	37	27	39	32	38	22
DIA 11	38	54	45	44	34	53	23	24	53	27	39	38	25	18	25	27	25	18
DIA 12	35	58	42	21	28	40	31	20	59	22	35	30	21	26	23	24	23	11
DIA 13	28	65	44	43	37	46	25	22	14	21	24	23	22	14	29	27	29	31
DIA 14	49	67	57	56	51	58	44	40	48	30	38	15	27	17	41	37	41	33
DIA 15	49	60	55	39	41	44	31	26	48	26	35	30	17	47	35	31	34	36
DIA 16	46	65	56	42	58	52	42	32	19	31	44	35	31	35	42	40	42	41
DIA 17	59	49	55	36	54	42	40	31	57	31	58	33	43	23	65	58	65	36
DIA 18	43	52	37	37	33	43	35	27	22	34	16	31	32	19	38	43	38	24

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

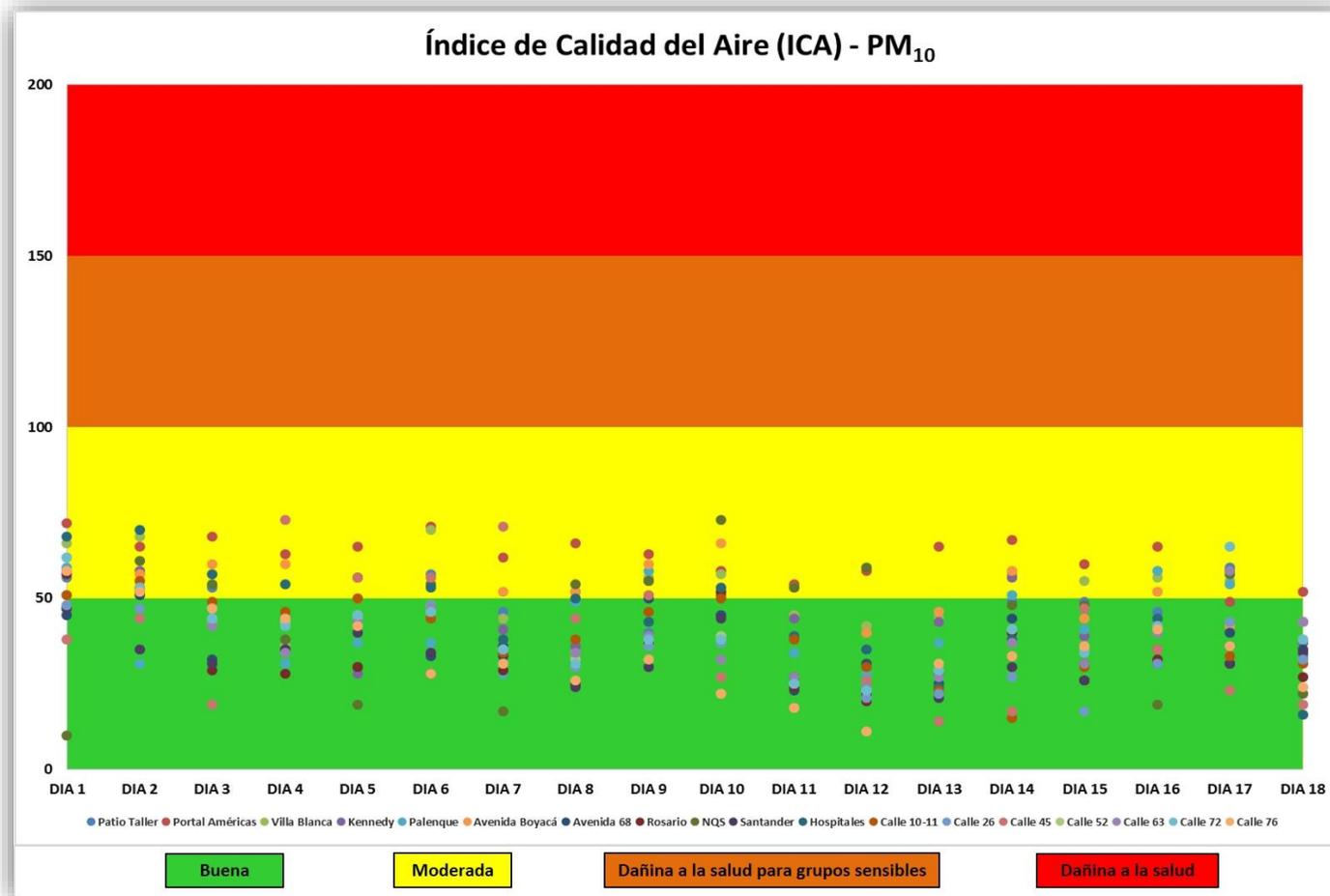


Ilustración 45. Índice de Calidad de Aire
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

De acuerdo a las condiciones de calidad del aire de la zona, obtenidas durante el periodo de muestreo, se observa que el 72% (233 de 324 registros) de los valores estimados corresponden a la banda de color verde que significa “Calidad del Aire Buena” y el 28% (91 de 324 registros) de los valores se halla en la banda de color amarillo que corresponde a “Calidad del Aire Moderada”. Esta representación indica que el riesgo actual en la salud de las poblaciones del área de estudio por efecto de la calidad del aire es bajo a nulo (ver **Tabla 6** y **Tabla 7**). Cabe resaltar, que el análisis y los efectos sobre la salud son los establecidos por el *Protocolo de SVCAs*, y no son el objeto propio de este estudio.

7.9 INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

La incertidumbre asociada a las mediciones equivale a la incertidumbre teórica de los métodos empleados en las mediciones y análisis de laboratorio, y a la incertidumbre entregada por el certificado de calibración para cada uno de los equipos empleados. En el **Anexo Digital 1** se adjuntan las copias de los certificados originales de calibración.

El procedimiento para el cálculo de la incertidumbre corresponde a la guía dada en:

- EURACHEM/CITAC *Guide Quantifying Uncertainty in analytical Measurement*. EURACHEM/CITAC –2012- England Crown Copyright 3° Ed.

Teniendo en cuenta las siguientes fuentes:

- Incertidumbre calculada y reportada en el laboratorio.
- Precisión de equipos (datos del manual).
- Certificados de calibración.

En la **Tabla 29** se presentan los valores de incertidumbre considerados para cada contaminante criterio.

Tabla 29. Cálculo de incertidumbre

Fuentes Identificadas de Incertidumbre	PST		PM ₁₀		NO ₂		SO ₂	
	Inc. Estándar Combinada uc(y)	Inc. Expandida U	Inc. Estándar Combinada uc(y)	Inc. Expandida U	Inc. Estándar Combinada uc(y)	Inc. Expandida U	Inc. Estándar Combinada uc(y)	Inc. Expandida U
Análisis de laboratorio	+/- 0.02	+/- 0.04	+/- 0.23	+/- 0.46	+/- 0.08	+/- 0.17	+/- 0.14	+/- 0.28
Equipo de medición (en campo)								
Equipo de verificación en campo								

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

8 OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- El estudio fue realizado para determinar los niveles de inmisión actuales del área de influencia del proyecto "Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)" ubicado en el área urbana de Bogotá, departamento de Cundinamarca, para la empresa **INGETEC S.A.**
- Los valores de las condiciones meteorológicas y calidad del aire de la zona de influencia del proyecto "Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)" se pueden considerar representativos del área aunque el periodo de monitoreo fue corto. Durante los monitoreos no se presentó pérdida de muestras respecto a los días programados inicialmente.
- Las comparaciones realizadas con las normas anuales o periodos de tiempo diferentes al tiempo de monitoreo, se hacen sólo de modo indicativo, de manera que, su importancia radica en dar un estimativo sobre el cumplimiento que puede tener cada zona evaluada del proyecto y conocer la tendencia de las posibles concentraciones en un año completo de monitoreo.
- Durante la campaña de monitoreo el rango de precipitación se clasificó como "Moderada". Las velocidades promedio del viento durante el periodo fueron inferiores a 1,50 m/s, con algunos periodos de calmas, lo que conlleva a que no se presente re-suspensión de los contaminantes evaluados.
- Los monitoreos de calidad del aire se realizaron mediante la ubicación de dieciocho (18) estaciones en la zona de influencia del proyecto por un periodo de 18 días continuos.
- De acuerdo a la síntesis de los resultados presentados en el Capítulo 7 donde se exponen las concentraciones obtenidas y el cumplimiento respecto a la normatividad pertinente, se observa que las concentraciones determinadas para los contaminantes regulados por la legislación vigente en el área de influencia del proyecto presentan niveles de material particulado PM₁₀, por debajo de los límites permisibles exigidos. Por lo antes expuesto *los puntos evaluados cumplen con los límites permisibles según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 del MAVDT.*
- Los niveles más elevados de concentración de PM₁₀ registrados entre las dieciocho estaciones se presentaron los días: cuatro (4) en la estación Calle 45 (99,80 µg/m³), diez (10) en la estación NQS (99,65 µg/m³), y uno (1) en la estación Portal Américas (97,16 µg/m³).

- Al comparar los valores promedio del consolidado de datos obtenidos con la norma anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se detectó que cinco (5) de las dieciocho (18) estaciones superaron el límite permisible anual; no obstante, es preciso destacar que estas concentraciones se comparan solo de *forma indicativa*, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año considerado y determinar el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma.
- Teniendo en cuenta la información estadística y el diagrama de cajas o boxplot para concentración PM_{10} , la estación que presentó la mayor dispersión de datos es la identificada como NQS. Esta dispersión se relaciona con las condiciones atmosféricas y la dinámica de las fuentes aportantes de material particulado en el sector.
- El 98,8% de los valores de concentración de material particulado – $\text{PM}_{2,5}$ no presentan excedencias respecto a la norma diaria de calidad del aire establecida en la Resolución 610 de 2010 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) del MAVTD hoy MADS. Sólo cuatro (4) valores (1,2%) exceden la norma y se hallan registrados en las estaciones Portal Américas ($75,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el día 1), NQS ($57,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el día 10) y Hospitales ($57,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $58,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los días 1 y 2 respectivamente).
- Al comparar la concentración definida para $\text{PM}_{2,5}$ por la norma anual ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con los valores promedio del consolidado de datos obtenidos, se evidenció que seis (6) de las dieciocho (18) estaciones de monitoreo superaron el límite permisible anual. Estas estaciones son: Patio Taller ($31,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Portal Américas ($38,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Kennedy ($28,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Avenida Boyacá ($29,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$), NQS ($28,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Hospitales ($34,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, estas concentraciones se comparan solo de *forma indicativa*, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año considerado y determinar el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma.
- Los valores de concentración de NO_2 y SO_2 obtenidos en las dieciocho estaciones de monitoreo no presentaron excedencia respecto a la norma diaria ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_2 y $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para SO_2) y a la norma anual ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_2 y $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para SO_2), por tanto cumplen con los lineamientos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS.
- Los valores correspondientes a las concentraciones promedio horarias de CO obtenidas en cada una de las dieciocho estaciones no exceden la norma horaria de $40.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, establecida para CO en la Resolución 610 de 2010.
- Se realizó la comparación indicativa de los valores de concentración reportados durante los días de monitoreo con el nivel máximo permisible de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el Tolueno (semanal) establecido por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS, evidenciando que cumplen con la normatividad. Con respecto a las concentraciones de Benceno, en la

estación Hospitales se reportó una concentración ($5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que excedió el máximo permisible, las demás concentraciones de este contaminante cumplieron con la norma.

- De acuerdo a las condiciones de calidad del aire de la zona, obtenidas durante el periodo de muestreo, se observó que el 72% (233 de 324 registros) de los valores estimados correspondieron a la banda de color verde que significa "Calidad del Aire Buena" y el 28% (91 de 324 registros) de los valores se halló en la banda de color amarillo que corresponde a "Calidad del Aire Moderada". Esta representación indica que el riesgo actual en la salud de las poblaciones del área de estudio por efecto de la calidad del aire es bajo a nulo.
- La estación Portal Américas reportó la mayor cantidad de valores (17 de 18 registros) en la categoría "Calidad del Aire Moderada". De otra parte, la estación Santander ubicó la totalidad de sus valores (18 registros) en la categoría "Calidad del Aire Buena".

9 BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de Control de la Calidad del Aire. E. Roberts Alley Associates, Inc. Mc Graw Hill.
2. Resolución 601 de 2006. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia.
3. Resolución 610 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia.
4. Manual de Diseño de Sistemas para la Vigilancia de la Calidad del Aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – K2 Ingeniería.
5. Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – K2 Ingeniería.
6. Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Manual de diseño y Manual operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia. Noviembre 2010. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co//documentos/normativa/ambiente/resolucion/res21540211_10_manual_operacio.pdf
7. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. En: <http://www.epa.gov>

FIN DEL DOCUMENTO

Estos resultados son válidos únicamente para el presente muestreo (las muestras analizadas y los parámetros analizados), estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente y/o totalmente sin la autorización por escrito de K2 INGENIERÍA S.A.S.

Esta versión del informe cumple con los requisitos de la propuesta técnica presentada al cliente y las posteriores observaciones recibidas dadas las diferentes revisiones realizadas antes de entregar la versión final.

10 ANEXOS

ANEXO 1. GLOSARIO

Aire: Fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de Oxígeno, 77% de Nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.

Área-Fuente: Es una determinada zona o región, urbana, suburbana o rural, que por albergar múltiples fuentes fijas de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del aire.

Atmósfera: Es la capa gaseosa que rodea a la Tierra.

Concentración de una Sustancia en el Aire: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

Condiciones de Referencia: Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25°C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

Contaminación Atmosférica: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

Contaminantes: Fenómenos físicos o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

Emisión: Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.

Episodio o Evento: Es la ocurrencia o acaecimiento de un estado tal de concentración de contaminantes en el aire que, dados sus valores y tiempo de duración o exposición, impone la declaratoria por la autoridad ambiental competente, de alguno de los niveles de contaminación, distinto del normal.

Fuente de Emisión: Actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

Fuente Fija: Fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Fuente Móvil: Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.

Inmisión: Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un "receptor". Se entiende por inmisión a la acción opuesta a la emisión. Aire inmiscible es el aire respirable a nivel de la troposfera.

Media Móvil: Se calcula del mismo modo que el promedio aritmético para una cantidad n de datos y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato agregado y manteniendo siempre el número de datos correspondiente a la cantidad definida.

NO₂ (Dióxido de Nitrógeno): Gas de color pardo rojizo fuertemente tóxico cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas.

Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión: Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Nivel Normal (Nivel I): Es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.

Nivel de Prevención (Nivel II): Es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.

Nivel de Alerta (III): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.

Nivel de Emergencia (IV): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.

O₃ (Ozono): Gas azul pálido que, en las capas bajas de la atmósfera, se origina como consecuencia de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (gases compuestos de carbono e hidrógeno principalmente) en presencia de la luz solar.

PST (Partículas Suspendidas Totales): Material particulado que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en periodos cortos sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad.

PM₁₀ (Material Particulado Menor a 10 Micras): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales.

PM_{2.5} (Material Particulado Menor a 2,5 Micras): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros nominales.

Promedio Aritmético: Es la sumatoria de todos los datos a promediar, dividido por el número total de datos.

Promedio Geométrico: Es la raíz enésima del producto de todos los datos a promediar.

Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire: Conjunto de equipos de medición de calidad del aire instalados sistemáticamente para verificar el cumplimiento de uno o varios de los objetivos de vigilancia de calidad del aire previstos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

SO₂ (Dióxido de Azufre): Gas incoloro, no inflamable que posee un fuerte olor en altas concentraciones.

Sustancias Peligrosas: Son aquellas que aisladas o en combinación con otras, por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al ambiente.

Tiempo de Exposición: Es el lapso de duración de un episodio o evento de contaminación.

ANEXO 2. FIRMA CONSULTORA

DATOS BÁSICOS

▪ **Razón Social**

K-2 INGENIERÍA S.A.S.

▪ **Dirección de la Empresa**

Carrera 36 # 36-26 Barrio El Prado – Bucaramanga

▪ **Teléfono**

(57) 7 6352870

▪ **Correo Electrónico**

info@k2ingenieria.com

▪ **Actividad Económica**

K2 INGENIERÍA es una empresa colombiana, constituida en 1998 en Bucaramanga, que integra la experiencia en las áreas de la ingeniería ambiental, civil y mecánica para ofrecer un amplio portafolio de servicios, consultoría y suministros.

▪ **Mercado Actual**

K2 INGENIERÍA es una empresa especializada en Servicios de Ingeniería, Integración de Tecnologías y Monitoreos Ambientales para los sectores Estatal, CARS, Hidrocarburos, Minero, Industrial, Empresas de Servicios Públicos, Agrícola y Náutico, con cobertura geográfica histórica en Colombia, Ecuador, Perú y Panamá y potencial en Brasil.

UNIDADES ESTRATÉGICAS DE NEGOCIO

INGENIERÍA

Gerenciamiento Ambiental

- Administración y gestión especializada de proyectos ambientales
- Operación de sistemas de monitoreo ambiental

Consultoría en Calidad del aire

- Diseño e instalación de redes urbanas e industriales de monitoreo y seguimiento de calidad del aire
- Modelos de dispersión
- Inventarios de emisiones
- Manuales y protocolos técnicos
- Interventorías de redes y sistemas de vigilancia

Consultoría en Ruido

- Mapas digitales de ruido ambiental
- Diseño, instalación y operación de redes para medición de emisión de ruido en la industria y zonas urbanas

Consultoría en Hidrología y Calidad del agua

- Análisis hidrológico e hidrogeológico de cuencas
- Diseño e instalación de sistemas automáticos de información Hidrometeorológica- SAIH (Sistemas de alertas tempranas)
- Diseño e instalación de redes automáticas para monitoreo de calidad hídrica
- Asesorías e Interventoría en construcción de redes de calidad hídrica y sistemas de Alertas Tempranas (SAT)

Consultoría en Residuos

- Residuos peligrosos
- Montajes de sistema de tratamiento

Forestales y Afines

- Proyectos de aprovechamiento forestal
- Planes de salvamento y reubicación de especies
- Inventarios forestales
- Inventarios de fauna
- Programas de revegetación

TECNOLOGÍAS**Sector Ambiental***Proyectos Hidrometeorológicos*

- Suministro, instalación y puesta en marcha de redes para medición de variables meteorológicas e hidrométricas (caudal y nivel), transmisión de datos en tiempo real y visualización a través de aplicativos web para Sistema de alertas tempranas (SAT)
- Redes pluviométricas automáticas para sistemas de acueducto

Proyectos de Calidad del agua

- Suministro, instalación y puesta en marcha de redes para medición de variables de calidad hídrica

Proyectos Aire

- Redes de calidad del aire automáticas para medición de gases y partículas
- Redes de calidad del aire con muestreadores autónomos, manuales y pasivos
- Redes de material particulado para medición simultánea de PST, PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁

Proyectos Ruido

- Redes de estaciones automáticas para la medición continua de ruido ambiental y emisión de ruido

Sector Agrícola

- Redes agro-meteorológicas autónomas de precisión

Sector Minero, Petróleo y Gas

- Soluciones integrales para proyectos mineros e hidrocarburos

Sector Náutico

- Soluciones de comunicación náutica para aplicación civil y militar

MONITOREOS**Calidad del aire**

- Monitoreo automático
- Monitoreo con muestreadores pasivos
- Monitoreo con muestreadores manuales y autónomos

Fuentes Fijas

- Determinación de contaminantes por métodos EPA

Calidad del Agua

- Toma de muestras y análisis de calidad del agua

Ruido

- Monitoreo de ruido ambiental y emisión de ruido

MISIÓN

K2 INGENIERÍA brinda a la sociedad servicios de calidad superior en el área de la ingeniería, con una rentabilidad coherente que permita a la empresa crecer, y de esta forma facilitar a nuestros empleados y accionistas la oportunidad de realizar sus objetivos y metas.

MEGA 2020

En el año 2020, K2 INGENIERÍA habrá consolidado su modelo de negocios en las áreas de ingeniería en Colombia y tendrá presencia permanente en otros países de América Latina.

PRINCIPIOS

- Buscamos superioridad en todo lo que emprendemos y vamos más allá de las expectativas.
- Trabajamos con pasión, sacrificio y abnegación.
- Nos esmeramos porque nuestra imagen y productos tengan una presentación impecable.
- Generamos e inspiramos confianza.
- Brindamos oportunidades individuales y recompensas basadas en el mérito.
- Estandarizamos nuestros procesos e innovamos de manera permanente.



ANEXO 3. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y EFECTOS A LA SALUD

A.1.1. MATERIAL PARTICULADO (PM₁₀ Y PM_{2.5})

El Material Particulado respirable consiste en toda la materia emitida como sólidos, líquidos y vapores pero que están suspendidas en el aire. Las partículas se pueden emitir directamente a la atmósfera (partículas primarias) o formadas en ésta última por reacciones químicas (partículas secundarias). El tamaño de partícula, expresado generalmente en términos de su diámetro aerodinámico y la composición química son influenciados por su origen.

Además, los efectos sobre la salud humana dependen en gran parte del tamaño de la partícula debido principalmente al nivel de penetración en diferentes partes del sistema respiratorio, tal y como se representa en la **Ilustración A.1.**



Ilustración A.1. Deposición de partículas en el sistema respiratorio y comparación de diámetros

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente, 2013.

http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/ima/2013/imagenes/cap03_16a.jpg

A continuación, se hace una breve referencia sobre el contaminante monitoreado por el muestreador de alto volumen:

Tabla A.1. Características generales del Material Particulado

Definición	Cualquier material sólido o líquido dividido finamente diferente al agua no combinada según medición por los métodos federales de referencia (40 CFR 53)
Ejemplos	Polvo, humo, gotitas de petróleo, berilio, asbesto entre otros
Fuentes	Hornos, trituradoras, molinos, afiladores, estufas, calcinadores, calderas, incineradores, bandas transportadora, acabados textiles, mezcladoras y tolvas, cubilotes, equipo procesador, cabinas de aspersión, digestores, incendios forestales entre otros.
Efectos	Visibilidad disminuida, efecto del humo y el polvo sobre la salud humana, enfermedades crónicas del sistema respiratorio, asbestosis, envenenamiento con plomo, suciedad de la casa y la ropa, destrucción de la vida vegetal y la agricultura y efectos sobre el clima.

Legislación	Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
Varios	Las partículas pequeñas son particularmente peligrosas para la salud humana porque su pequeño tamaño hace posible que pasen a través de los vellos de las fosas nasales y lleguen al interior de los pulmones.

Fuente: US EPA, 2006

Las partículas respirables PM₁₀, incluyen a todas las partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 µm. El pequeño tamaño de las partículas de PM₁₀ les permite entrar fácilmente a los alvéolos pulmonares donde se pueden depositar causando efectos adversos sobre la salud. Los efectos en salud vinculados a la exposición prolongada a este contaminante corresponden a un aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar, muertes prematuras, síntomas respiratorios severos e irritación de ojos y nariz.

ANEXO 4. FORMATOS DE CÁLCULO

ANEXO 5. FORMATOS DE CAMPO

ANEXO 6. REPORTES DE LABORATORIO

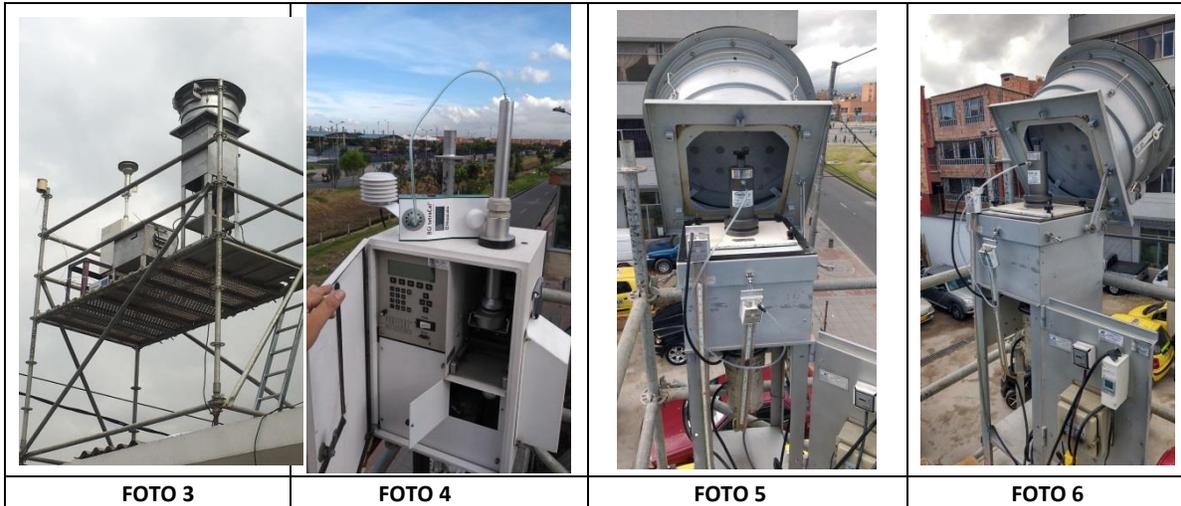
ANEXO 7. VERIFICACIÓN DE EQUIPOS

ANEXO 8. REGISTRO FOTOGRÁFICO

A.8.1. MONITOREO CALIDAD DEL AIRE

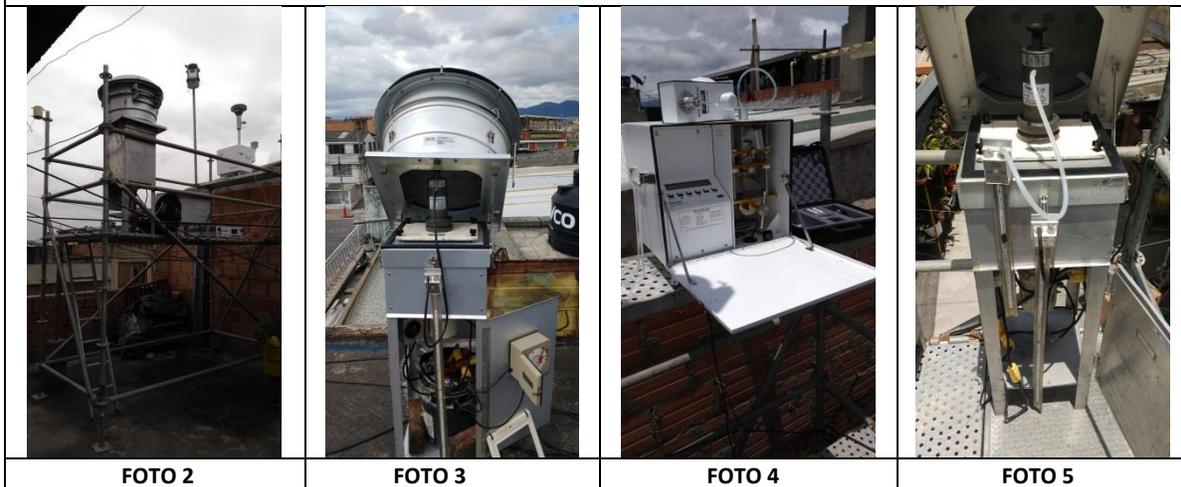
ESTACIÓN PATIO TALLER			
COORDENADAS	04°38'41,7"N 74°11'57,5"W	X: 986485.772 Y: 1005388.278	ALTITUD: 2.556 msnm
			
FOTO 1		FOTO 2	
			
FOTO 3	FOTO 4	FOTO 5	FOTO 6

ESTACIÓN PORTAL AMÉRICAS			
COORDENADAS:	04°37'45,4"N 74°10'15,7"W	X: 989623.148 Y: 1003658.426	ALTITUD: 2.562 msnm
			
FOTO 1		FOTO 2	



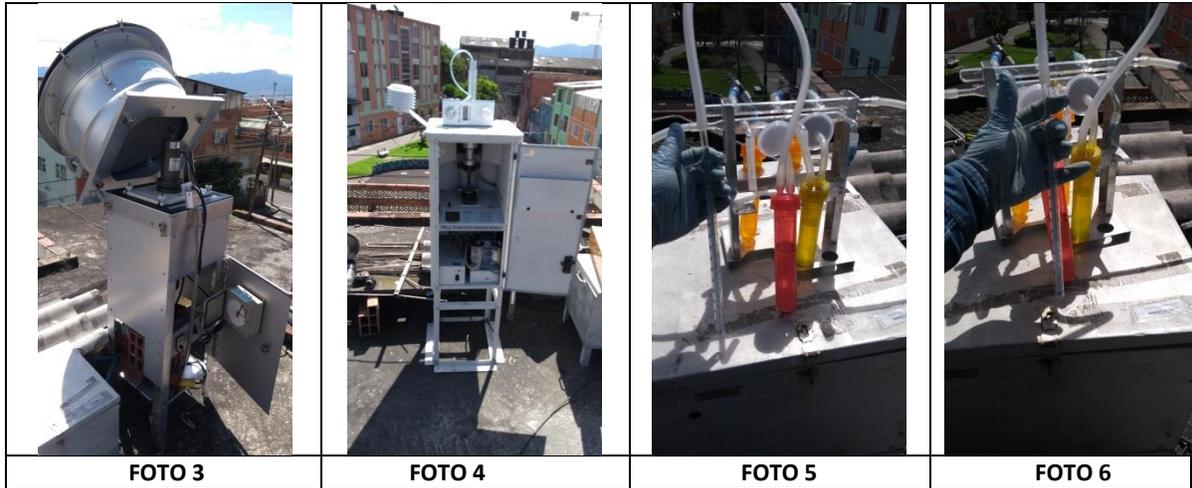
ESTACIÓN VILLA BLANCA			
COORDENADAS:	04°37'14,2"N 74°10'02,4"W	X: 990032.958 Y: 1002699.999	ALTITUD: 2.554 msnm

FOTO 1



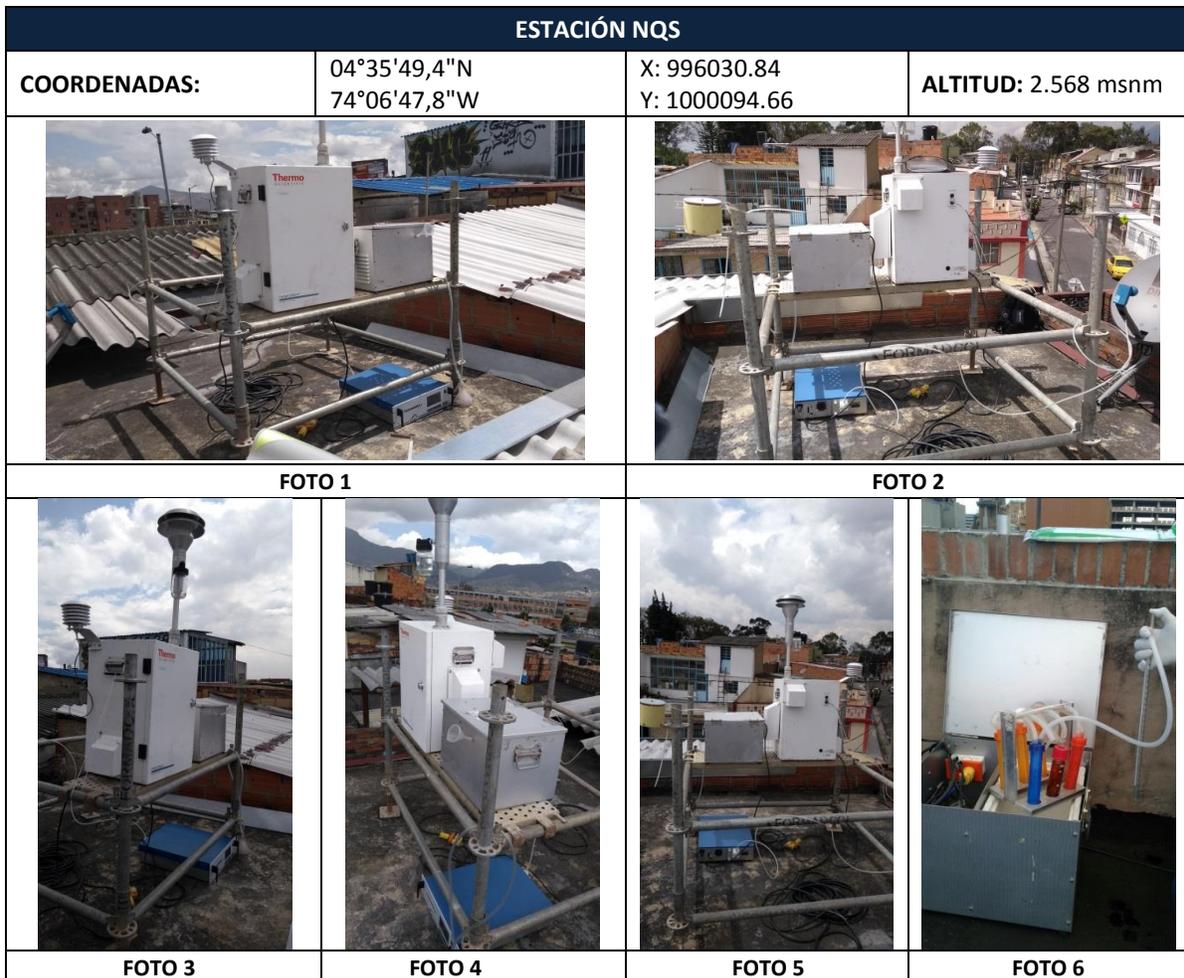
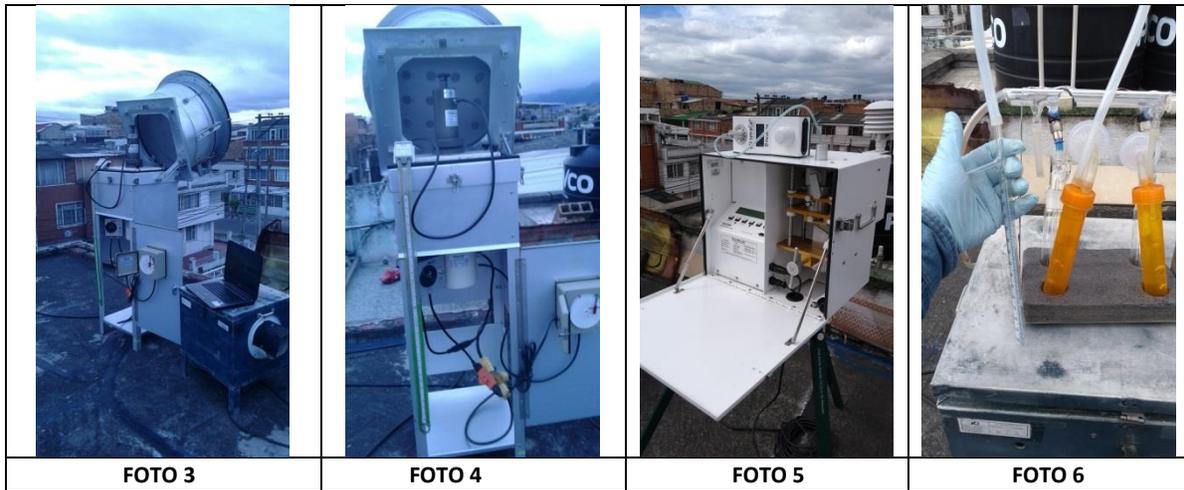
ESTACIÓN KENNEDY			
COORDENADAS:	04°36'59,3"N 74°09'30,7"W	X: 991009.97 Y: 1002242.2	ALTITUD: 2.560 msnm
FOTO 1		FOTO 2	
FOTO 3	FOTO 4	FOTO 5	FOTO 6

ESTACIÓN PALENQUE			
COORDENADAS:	04°36'58,7"N 74°09'04,5"W	X: 991817.52 Y: 1002223.68	ALTITUD: 2.560 msnm
FOTO 1		FOTO 2	



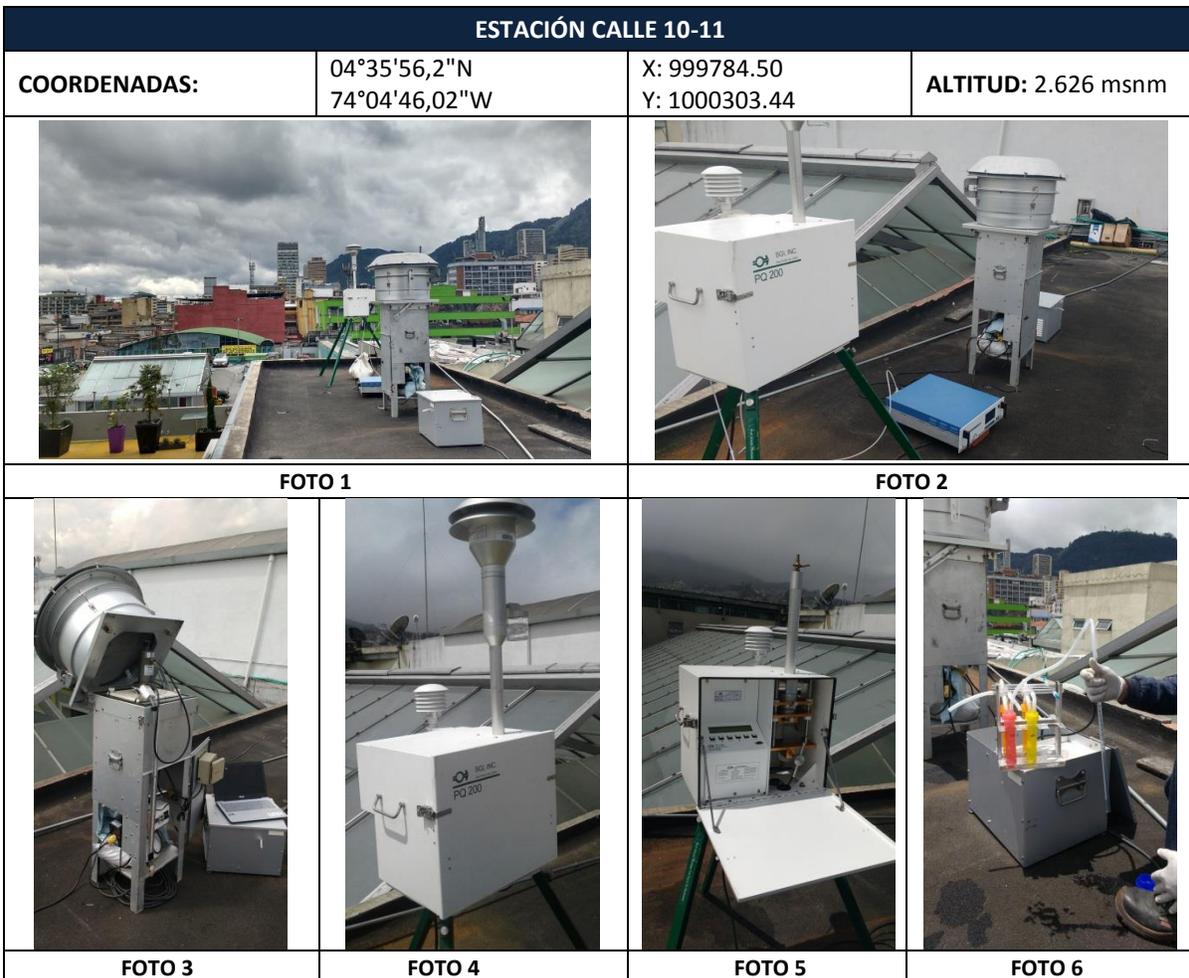
ESTACIÓN AVENIDA 68			
COORDENADAS:	04°36'29,4"N 74°07'42,8"W	X: 994335.65 Y: 1001323.45	ALTITUD: 2.562 msnm
FOTO 1		FOTO 2	
FOTO 3	FOTO 4	FOTO 5	FOTO 6

ESTACIÓN ROSARIO			
COORDENADAS:	04°36'08,6"N 74°07'21,9"W	X: 994979.81 Y: 1000684.49	ALTITUD: 2.574 msnm
FOTO 1		FOTO 2	



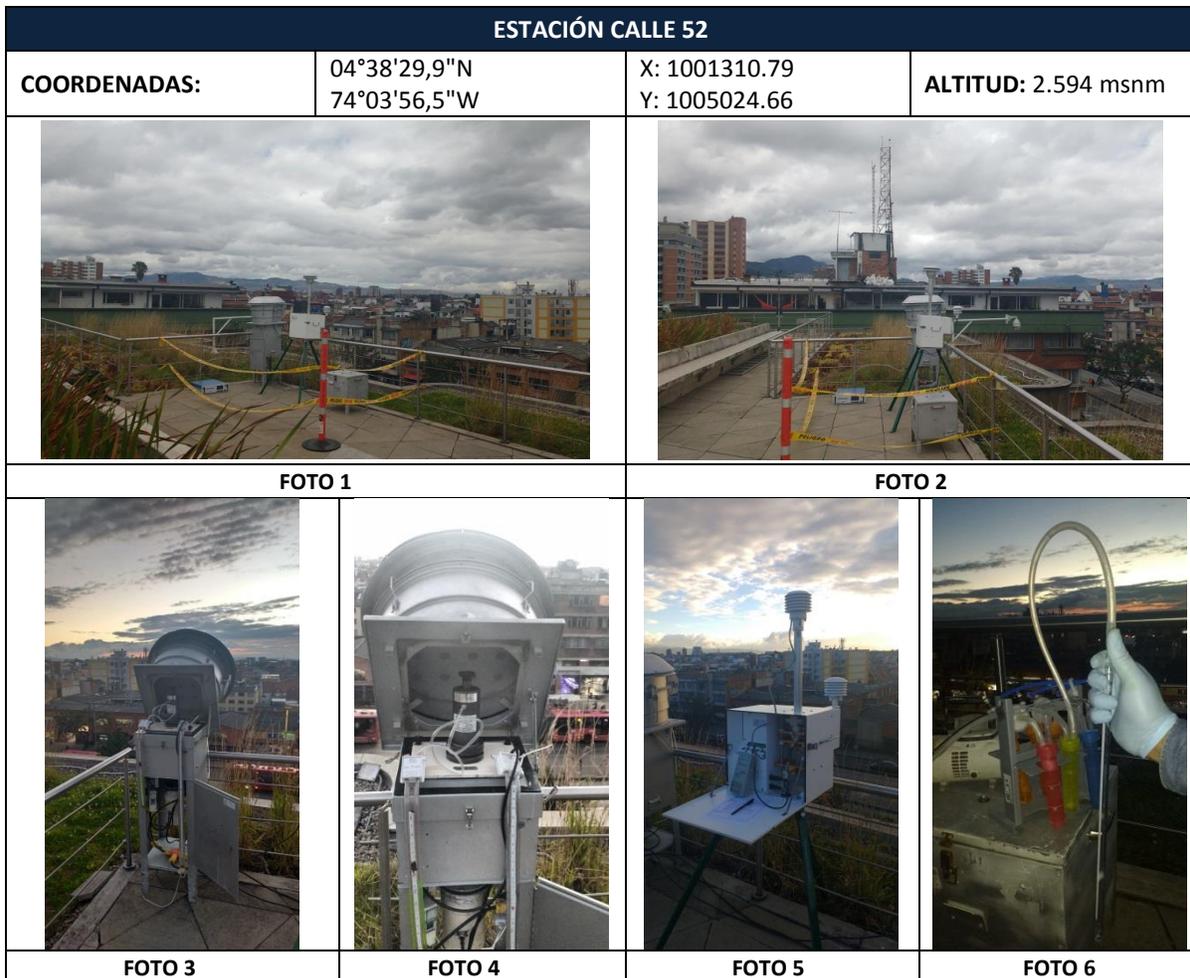
ESTACIÓN SANTANDER			
COORDENADAS:	04°35'32,2"N 74°05'44,2"W	X: 997991.19 Y: 999566.25	ALTITUD: 2.604 msnm
			
FOTO 1		FOTO 2	
			
FOTO 3	FOTO 4	FOTO 5	FOTO 6

ESTACIÓN HOSPITALES			
COORDENADAS:	04°35'36,0"N 74°05'16,5"W	X: 998845.00 Y: 999682.96	ALTITUD: 2.614 msnm
			
FOTO 1		FOTO 2	



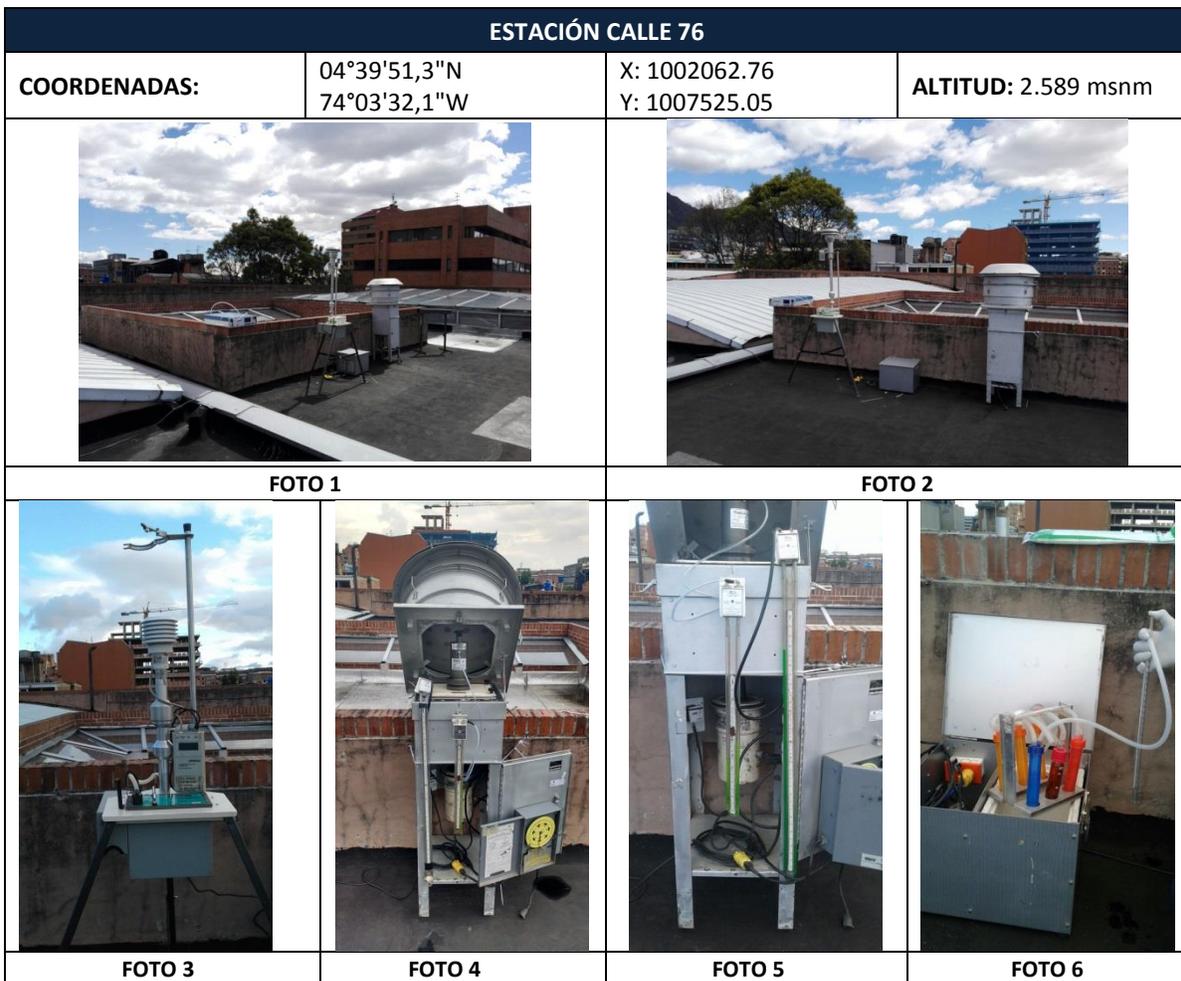
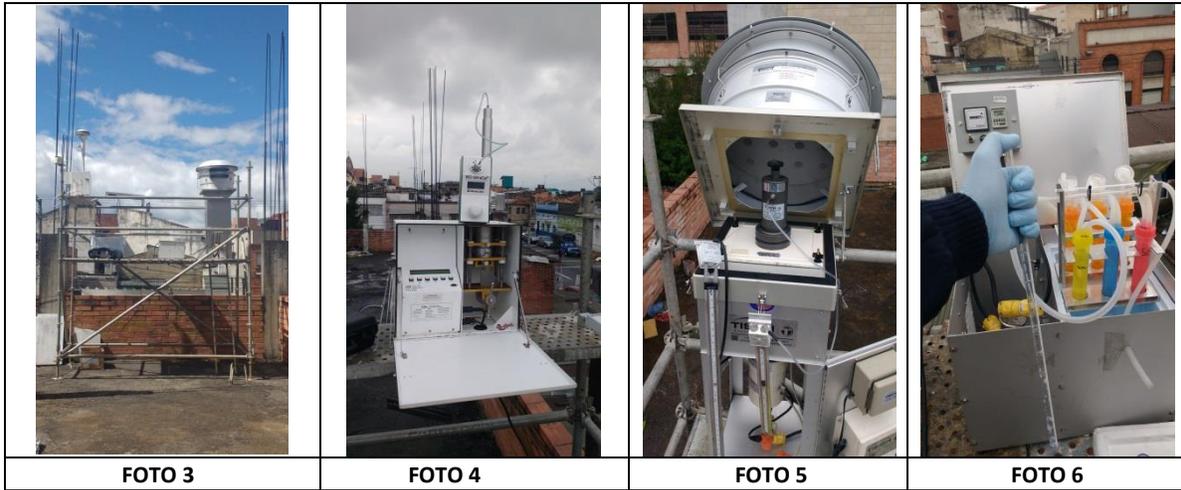
ESTACIÓN CALLE 26			
COORDENADAS:	04°36'43,2"N 74°04'22,3"W	X: 1000515.62 Y: 1001747.14	ALTITUD: 2.642 msnm
			
FOTO 1		FOTO 2	
			
FOTO 3	FOTO 4	FOTO 5	FOTO 6

ESTACIÓN CALLE 45			
COORDENADAS:	04°38'0,7"N 74°04'02,4"W	X: 1001128.95 Y: 1004127.72	ALTITUD: 2.610 msnm
			
FOTO 1		FOTO 2	



ESTACIÓN CALLE 63			
COORDENADAS:	04°39'2,8"N 74°03'56,6"W	X: 1001307.69 Y: 1006035.26	ALTITUD: 2.587 msnm
			
FOTO 1		FOTO 2	
			
FOTO 3	FOTO 4	FOTO 5	

ESTACIÓN CALLE 72			
COORDENADAS:	04°39'22,7"N 74°03'50,2"W	X: 1001504.93 Y: 1006646.53	ALTITUD: 2.582 msnm
			
FOTO 1		FOTO 2	



ANEXO 9. ACREDITACIÓN IDEAM PARA MONITOREO, CONSULTORÍA Y ANÁLISIS DE LABORATORIO