



INFORME DE RESULTADOS –
Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715
de 2025



ANALQUIM LIMITADA

**CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL DEL VALLE DEL
CAUCA**



*Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca*

INFORME DE RESULTADOS

PROYECTO MUESTREADORES PASIVOS

2025

Valle del Cauca



Entregable Original Analquim Ltda © – Informe de resultados Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025

INFORME DE RESULTADOS

EMPRESA: CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

NIT: 890399011-3

TELÉFONO: 601 26206600

DIRECCIÓN: Cra. 56 #11 - 36, Comuna 17, Cali, Valle del Cauca

ELABORADO POR:



ANALQUIM LTDA.
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y CALIDAD DEL AIRE

TELÉFONOS: 6309945, 3291873, 2318149, 2255160

DIRECCIÓN: Carrera 25 No. 73 – 60 / 66 Barrio Alcázares – Bogotá

CORREO ELECTRÓNICO: Coordinador de atención al cliente:
atencionalcliente@analquim.com

PÁGINA WEB: www.analquim.com


**VALLE DEL CAUCA – COLOMBIA
DICIEMBRE DE 2025**



**INFORME DE RESULTADOS –
Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715
de 2025**



HOJA DE CONTROL DEL DOCUMENTO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE DEL CLIENTE:	Corporación Autónoma Regional Del Valle Del Cauca Cvc
DIRECCIÓN PREDIO:	Cra. 56 #11 - 36, Comuna 17, Cali, Valle Del Cauca
CIUDAD / DEPARTAMENTO:	Cali – Valle Del Cauca
NOMBRE CONTACTO:	Leydy León
CONTRATO Y/O COTIZACIÓN:	CVC No. 0715 De 2025
INFORMACION DE MONITOREO	
MATRIZ AMBIENTAL:	Aire
SUB CLASIFICACIÓN MATRIZ AMBIENTAL:	Calidad Del Aire
CONTAMINANTES MODELADOS	Dióxido De Azufre (So2), Dióxido De Nitrogeno (No2), Ozono (O3) Btex
ESTACIÓN DE MONITOREO:	42 puntos De Medición Para Dióxido De Azufre (SO2), Dióxido De Nitrogeno (NO2), Ozono (O3). 11 puntos Para BTEX.
GENERACIÓN DE INFORME	
TÍTULO DEL INFORME:	INFORME DE RESULTADOS – MUESTRADORES PÁSIVOS.
VERSIÓN	2
	AIR-0183-25
FECHA EXPEDICIÓN INFORME MONITOREO E INTERPRETACIÓN:	2025-12-31
ELABORÓ:	Juan Sebastián Páez Cortes Ingeniero Químico Director de Proyectos Línea de Operaciones Matriz Aire Analquim Ltda
	Firma: 

Revisó. IQ. Viviana Andrea Parra – Auditora de Proyectos

Notas:

- El presente documento no podrá ser reproducido parcial o total sin la autorización de Analquim Limitada o el contratante.
- Para comprobar la autenticidad de este documento, comuníquese a la empresa citando el número de informe y número de oficio digital relacionado en la entrega oficial a través del correo corporativo controldeproyectos@analquim.com.

Entregable Original Analquim Ltda © – Informe de resultados Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025



**INFORME DE RESULTADOS –
Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715
de 2025**



- Para la interpretación de los valores numéricos presentados en este informe, el símbolo que permite separar la parte entera de su parte decimal “separador decimal” será la coma (,) y para los miles se expresa la parte entera de forma agrupada.
- El plazo límite para cualquier observación sobre el contenido de este informe técnico, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de entrega del mismo al cliente. Adicional a esto en caso de requerir una corrección, la emisión del informe en su siguiente número anula y reemplaza el anterior.

Tabla de Contenido

Introducción.....	6
1. Objetivos	7
2. Principios Fundamentales De Funcionamiento	7
3. Configuración Y Preparación De Sitios De Medición	8
4. Procedimientos De Instalación Específicos Por Tipo De Muestreador	9
5. Selección De Sitios De Monitoreo.....	10
5.1. Criterios De Micro Localización.....	10
5.2. Instalación Y Exposición.....	13
5.2.1. Preparación De Equipos:	13
5.2.2. Procedimiento De Instalación	13
5.2.3. Períodos De Exposición.....	13
6. Procedimientos De Finalización Y Retiro	14
6.1. Procedimiento De Recolección	14
6.2. Cadena De Custodia	14
7. Consideraciones De Almacenamiento Y Transporte.....	15
8. Análisis De Laboratorio Y Validación	15
9. Estaciones De Monitoreo.....	17
10. . Resultados Del Monitoreo.....	42
10.1. Comparación Con La Norma	42
10.2. Dióxido De Azufre (So ₂).....	42
10.3. Dióxido De Nitrógeno (No ₂)	43
10.4. Ozono (O ₃)	43
10.5. (Benceno, Tolueno, Etilbenceno Y Xilenos)	43
11. . Analisis Resultados	46
11.1. Dióxido De Azufre (So ₂).....	46
11.2. Dióxido De Nitrógeno (No ₂)	48
11.3. Ozono(O ₃)	50
11.4. <i>Btex (Benceno, Tolueno, Etilbenceno Y Xilenos)</i>	52
12. . Conclusiones	54
13. Bibliografía.....	60
14. Anexos.....	62

INTRODUCCIÓN

El presente estudio evaluó la información de calidad de aire en los municipios del Valle del Cauca durante la campaña de monitoreo en el periodo 2025 utilizando la tecnología de muestreadores pasivos, dada su versatilidad, facilidad de instalación y bajos costos, propiedades que permiten una mayor cobertura regional.

Esta metodología se basa en los principios de difusión molecular según la primera ley de Fick, permitiendo la captación de contaminantes gaseosos sin requerir fuentes de energía eléctrica o sistemas mecánicos complejos.

Durante el proceso de muestreo, los contaminantes presentes en el aire migran espontáneamente hacia el material absorbente del muestreador debido al gradiente de concentraciones establecido entre el ambiente exterior y el interior del dispositivo. Esta diferencia de concentraciones constituye la fuerza motriz que impulsa el transporte molecular por difusión.

En el desarrollo de esta campaña se utilizaron los muestreadores pasivos tipo badge, producidos por Passam AG diseñados para detectar contaminantes dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃), Tipo Tube para NO₂ y Tipo Glass para BTEX, los cuales estarán instalados en los 45 puntos medición por distintas agrupaciones de contaminantes según corresponde conforme a Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025.

El presente documento consolida la ejecución de las actividades de monitoreo realizadas durante la campaña 2025 y la metodología aplicada para la medición de NO₂, SO₂, O₃ y BTEX mediante muestreadores pasivos,. La metodología implementada se fundamenta en las instrucciones de operación del proveedor PASSAM LTD., acreditado por el Swiss Accreditation Service (SAS) (N.º de acreditación STS 0149), y se articula de manera parcial con los lineamientos del “Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire – Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (2010)” del entonces MAVDT (actual MADS), en lo pertinente a criterios de ubicación, representatividad y aseguramiento de calidad del monitoreo.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Evaluar la calidad del aire mediante muestreadores pasivos para NO₂, SO₂, O₃ y BTEX, con el fin de aportar información técnica para la gestión ambiental del recurso aire en municipios priorizados de la jurisdicción CVC.

1.1 Objetivos Específicos

- Medir y evaluar la calidad del aire a escala regional en el área del Valle de Cauca mediante el uso de muestreadores pasivos.
- Determinar las concentraciones de Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrogeno (NO₂), Ozono (O₃) para los 42 puntos de medición por distintas agrupaciones de contaminantes según corresponde conforme a Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025.
- Determinar las concentraciones de BTEX para los 11 puntos de medición por distintas agrupaciones de contaminantes según corresponde conforme a Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025.
- Comparar de manera indicativa los datos obtenidos en el monitoreo de calidad de aire ejecutado durante treinta (30) días con un tiempo de exposición: Siete (7) días para Ozono (O₃) y treinta (30) días para Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrogeno (NO₂), Ozono (O₃) y BTEX, según valores de referencia establecidos por la normatividad ambiental vigente en materia de calidad del aire (Resolución 2254 de 2017 del MADVT actual MADS), conforme a Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025.

2. Principios Fundamentales de Funcionamiento

La metodología de muestreo pasivo se fundamenta en el principio de difusión molecular de los contaminantes gaseosos desde el aire ambiente hacia un medio de adsorción específico. Este proceso físico-químico opera bajo la primera ley de Fick, donde la fuerza impulsora es el gradiente de concentración entre el aire circundante y la superficie de adsorción, considerando esta última con concentración nula. Durante el período de exposición, las moléculas gaseosas se difunden hacia el interior del muestreador donde

Entregable Original Analquim Ltda © – Informe de resultados Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025

son recogidas cuantitativamente en un filtro impregnado o material adsorbente, permitiendo alcanzar una concentración promedio representativa del tiempo considerado sin requerimientos energéticos externos.

El cálculo de concentraciones se basa en parámetros físicos específicos incluyendo la sección transversal del muestreador, la ruta de difusión, el coeficiente de difusión del contaminante objetivo y el tiempo de exposición. La concentración se determina mediante la ecuación

$$C = (m \times L) / D A \times t)$$

- C Concentración del contaminante ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- m = Masa del contaminante recolectada (μg)
- L Longitud de difusión (cm)
- D Coeficiente de difusión (cm^2/s)
- A Área de difusión (cm^2)
- t = Tiempo de exposición (s)

estos parámetros físicos constantes definen el cociente de captación específico para cada tipo de muestreador. La determinación cuantitativa final se realiza mediante análisis instrumental utilizando técnicas como espectrofotometría, cromatografía de gases o cromatografía iónica, dependiendo del contaminante analizado.

3. Configuración y Preparación de Sitios de Medición

La implementación correcta requiere una selección cuidadosa de sitios que cumplan criterios técnicos específicos de representatividad espacial y temporal. Los sitios deben ubicarse en estructuras que permitan flujo de aire no obstruido, típicamente en terrazas o balcones de edificaciones a alturas entre 2 y 2.5 metros para centros urbanos. La selección previa utiliza cartografía detallada de cada centro poblado, buscando una distribución estratégica que permita cobertura representativa de las áreas urbanas sin influencia directa de fuentes puntuales de emisión.

Los refugios protectores constituyen elementos fundamentales para mitigar efectos meteorológicos adversos que podrían comprometer la integridad de las muestras. Estos refugios se fijan mediante cable ties, cuerdas o alambre en estructuras permanentes como postes de madera construidos específicamente para este propósito. La consideración de factores de seguridad es crítica, seleccionando ubicaciones que minimicen riesgos de vandalismo mientras mantienen la accesibilidad necesaria para las actividades de instalación y retiro de muestreadores.

4. Procedimientos de Instalación Específicos por Tipo de Muestreador

Muestreadores Tipo Badge

La instalación de muestreadores tipo badge requiere procedimientos específicos que aseguren la exposición adecuada del medio adsorbente al flujo atmosférico. El proceso inicia con la remoción cuidadosa de la tapa transparente protectora, que debe almacenarse en ubicación segura para su uso posterior durante el sellado final. El muestreador se coloca dentro del refugio protector utilizando brackets metálicos diseñados específicamente, asegurando que la abertura del muestreador quede orientada hacia abajo para prevenir acumulación de precipitación o material particulado que podría interferir con el proceso de adsorción.

Cada refugio puede acomodar varios muestreadores tipo badge, Tube y Glass permitiendo medición simultánea de diferentes contaminantes. Esta configuración múltiple optimiza la eficiencia espacial del monitoreo mientras mantiene la independencia analítica de cada muestra. La orientación específica hacia abajo es crítica para prevenir interferencias meteorológicas directas que podrían comprometer la representatividad de las mediciones obtenidas.

Estos muestreadores son diseñados para analizar los gases inorgánicos como Diseñados para gases inorgánicos como CH_2O , SO_2 , NH_3 , NO_2 , H_2S , O_3 , HCl , HF y CO .

Muestreadores Tipo Glass

Los muestreadores tipo glass requieren un protocolo de instalación diferenciado debido a su configuración física específica para captación de compuestos orgánicos volátiles. El proceso inicia con la remoción cuidadosa de la tapa metálica del contenedor de transporte y la extracción del colector, almacenando tanto el contenedor como la tapa en ubicación segura. El colector, consistente en un tubo de vidrio con carbón activado, se inserta horizontalmente en clips metálicos pequeños instalados en la apertura del refugio protector.

La orientación horizontal es fundamental para este tipo de muestreador, diferenciándolo de la orientación vertical de los muestreadores tipo badge. Esta configuración permite exposición controlada del material adsorbente mientras mantiene la integridad estructural del sistema de captación. Cada refugio puede acomodar hasta tres colectores tipo glass, que pueden combinarse con otros tipos de muestreadores para estudios multi-contaminante, proporcionando flexibilidad operacional considerable.

Estos muestreadores son diseñados para analizar compuestos orgánicos volátiles (BTEX) y fracciones polares y no polares de COV.

Muestreadores Tipo Tube

La instalación de muestreadores tipo tube sigue un protocolo más complejo que incluye el uso opcional de filtros protectores. El proceso requiere apertura del refugio protector mediante su tapa roja característica, seguida por la remoción de la tapa roja del muestreador pasivo, que debe almacenarse seguramente para uso posterior. Un elemento distintivo es la colocación del filtro protector identificado con tapa verde, aunque en circunstancias excepcionales este filtro puede omitirse según las condiciones específicas del sitio.

La capacidad de albergar hasta seis muestreadores tipo tube por refugio representa la mayor densidad de muestreo entre las tres configuraciones disponibles. Esta alta densidad permite estudios intensivos de óxidos de nitrógeno o implementación de múltiples réplicas para robustez estadística. El protocolo de cierre del refugio después de la instalación asegura protección continua contra condiciones meteorológicas adversas durante todo el período de exposición.

Estos muestreadores son diseñados para analizar óxidos de nitrógeno (NO₂, NO_x).

Ilustración 1. Tipo de Muestreadores Fabricados por Passam Ltd.

Pos	Article	Product number
1	BTEX glas-type, including analysis	SP16
2	SO ₂ badge-type, including analysis	SP10
3	O ₃ badge-type, including analysis	SP20
4	NO ₂ tube-type	SP01

5. Selección de Sitios de Monitoreo

5.1. Criterios de Micro localización

- Altura de instalación: 2 - 2.5 metros sobre el nivel del suelo (Mínima)
- Distancia mínima a obstáculos (vertical): 2 veces la altura del obstáculo

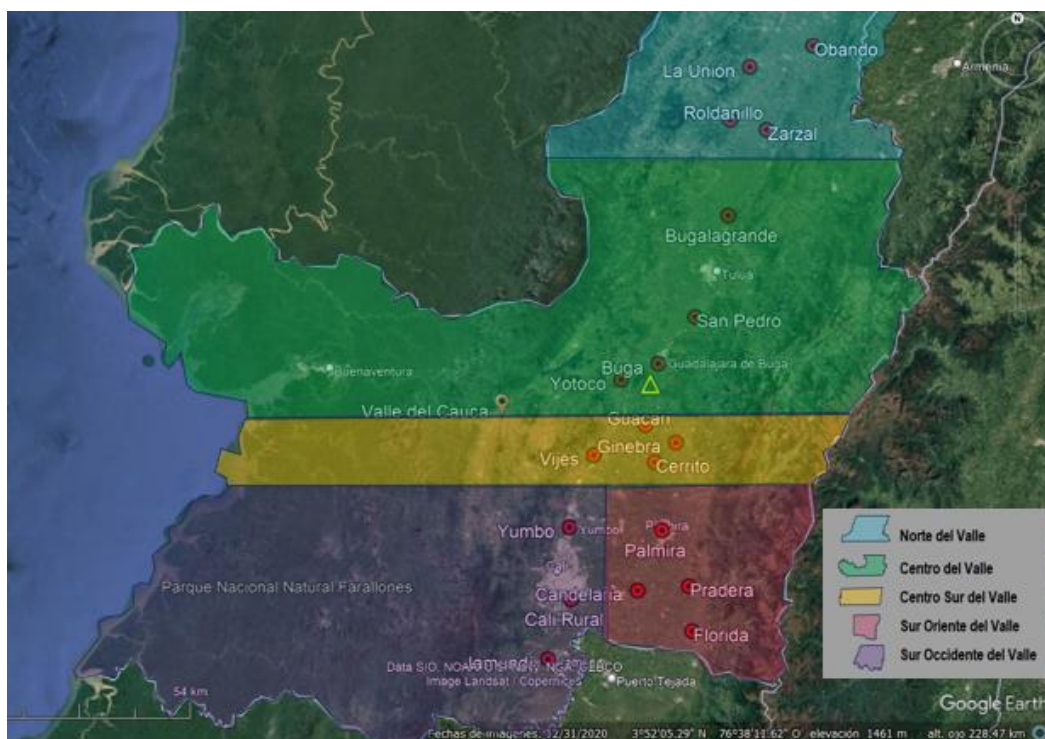
Entregable Original Analquim Ltda © – Informe de resultados Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025

- Distancia mínima a obstáculos (Horizontal): 10 m con respecto a obstáculos

Ilustración 2. Listado de puntos y localizaciones.

Municipio	# Puntos	Parámetros
Bugalagrande	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Cerrito	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Guacarí	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Zarzal	3	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Yotoco	3	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Obando	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Roldanillo	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
La Unión	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Ginebra	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Vijes	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Yumbo (Industrial)	1	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Palmira (La Dolores)	1	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Jamundí	3	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Florida (SAC)	3	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Pradera	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Buga (Acuavalle)	1	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
Candelaria	4	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
San Pedro	2	NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , COV (BTEX)
Cali (rural)	3	NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , COV (BTEX)
Buenaventura	3	COV (BTEX)
Yotoco	3	COV (BTEX)
TOTAL PUNTOS	48	NUMERO TOTAL DE MUESTREADORES: 137 (NO₂ = 42; SO₂ = 42; O₃ = 42; COV = 11)

Ilustración 3. Zonificación del Departamento Valle del Cauca



La distribución de zonas en el Valle del Cauca, según el mapa presentado, segmenta el territorio en franjas horizontales que agrupan los municipios por su ubicación geográfica y criterios de vigilancia ambiental. La región está dividida en una parte norte con localidades como La Unión, Obando, Roldanillo y Zarzal, seguida por un sector central que incluye municipios como Bugalagrande y San Pedro. Más hacia el sur, se observa una zona que abarca poblaciones representativas como Ginebra, Pradera y Palmira, extendiéndose hasta los límites del departamento. Dicha organización facilita la cobertura del monitoreo de calidad del aire en áreas urbanas y rurales, asegurando la observación sistemática y comparativa de los contaminantes atmosféricos en diferentes subregiones del Valle del Cauca.

Las cuadrillas organizadas para el monitoreo ambiental en el Valle del Cauca se dividen por zonas, asegurando que cada grupo cubra eficientemente su sector asignado. Cada cuadrilla tiene un responsable de operación y está encargada de realizar la instalación de los correspondientes muestreadores pasivos.

Se identifican de la siguiente manera:

- La primera cuadrilla cubre el norte del Valle, atendiendo cuatro puntos principales con nueve sitios de monitoreo en total, bajo la supervisión de Luis Espitia.
- La segunda cuadrilla corresponde al centro del Valle, abarcando ocho sitios de muestreo distribuidos entre Yotoco, Buga, San Pedro y Bugalagrande, dirigida por Carlos Alvarado.
- La tercera cuadrilla trabaja en el centro sur del Valle, con ocho sitios distribuidos en Vijes, El Cerrito, Ginebra y Guacarí, coordinada por Omar Orjuela.
- La cuarta cuadrilla cubre el sur oriente, encargándose de Cali Rural, Yumbo y Jamundí, sumando siete puntos de monitoreo, bajo el liderazgo de Carlos Alvarado.
- La quinta cuadrilla opera en el sur occidente, con localidades como Palmira, Candelaria, Florida y Pradera, y está dirigida por Oscar Peralta y Jesús España.
- Finalmente, la sexta cuadrilla gestiona el centro occidente, concentrándose exclusivamente en Buenaventura, bajo la coordinación de Jose Luis Parra.

5.2. Instalación y Exposición

5.2.1. Preparación de Equipos:

- Verificación de integridad de muestreadores
- Registro de códigos de identificación
- Documentación de fechas de vencimiento
- Preparación de refugios protectores

5.2.2. Procedimiento de Instalación

- Muestreadores Badge: Remover tapa transparente, instalar con abertura hacia abajo
- Muestreadores Glass: Extraer del vial de transporte, instalar horizontalmente
- Muestreadores Tube: Remover tapa roja, instalar filtro verde, colocar verticalmente

5.2.3. Períodos de Exposición

- Badge y Glass: 7 - 30 días dependiendo de concentraciones esperadas
- Tube: 14 - 30 días para mediciones representativas
- Ozono: máximo 7 días

6. Procedimientos de Finalización y Retiro

La finalización del período de muestreo requiere procedimientos específicos que preserven la integridad de las muestras recolectadas. Para muestreadores tipo badge, el proceso involucra remoción cuidadosa del refugio protector y sellado inmediato utilizando la tapa transparente almacenada durante la instalación inicial. La minimización del tiempo de exposición post-muestreo es crítica para prevenir contaminación cruzada o alteración de las concentraciones determinadas.

Los muestreadores tipo glass requieren remoción cuidadosa del refugio seguida por colocación inmediata en el vial de transporte original y cierre hermético con la tapa metálica correspondiente. Este protocolo dual de contención asegura estabilidad química y física durante el transporte posterior al laboratorio. Para muestreadores tipo tube, el protocolo incluye remoción del filtro protector verde cuando este haya sido utilizado, seguido por sellado con la tapa roja original y cierre del refugio protector.

6.1. Procedimiento de Recolección

- Documentar fecha y hora de recolección.
- Sellar inmediatamente con tapas protectoras.
- Almacenar en bolsas plásticas herméticas.
- Evitar exposición a temperaturas extremas.
- Transportar en condiciones refrigeradas.

6.2. Cadena de Custodia

Mantener registro detallado que incluya:

- Identificación del muestreador.
- Ubicación exacta del punto de muestreo.
- Fechas y horas de instalación y recolección Condiciones meteorológicas observadas
- Responsables de cada cuadrilla.

7. Consideraciones de Almacenamiento y Transporte

Las condiciones de almacenamiento pre y post-muestreo son críticas para mantener la integridad analítica de las muestras. Los muestreadores deben mantenerse consistentemente en bolsas plásticas selladas, evitando exposición a la luz solar y a temperaturas extremas como las que pueden presentarse en vehículos durante períodos de calor intenso. La vida útil anterior al muestreo está claramente indicada en las etiquetas de cada dispositivo, y las condiciones específicas de almacenamiento post-muestreo varían según el tipo de muestreador y los analitos objetivo, información detallada en las hojas de datos técnicos correspondientes.

El protocolo de retorno establece un procedimiento interno para el transporte y la recepción de muestras físicas con su respectiva documentación. Los muestreadores se envían mediante correo certificado a las instalaciones del laboratorio subcontratado PASSAM LTD. junto con una copia de la respectiva cadena de custodia, conservando en Analquim Ltda el archivo original.

8. Análisis de Laboratorio y Validación

El análisis de laboratorio representa la culminación del proceso metodológico, donde la cantidad de contaminante adsorbido se determina mediante técnicas analíticas específicas según el contaminante objetivo. Los laboratorios especializados utilizan metodologías acreditadas bajo normas ISO/IEC 17025:2017, asegurando trazabilidad metrológica y confiabilidad de resultados. La velocidad de difusión, medida experimentalmente por el fabricante para cada tipo de muestreador, combinada con el tiempo de exposición documentado, permite calcular el volumen total de moléculas del gas que ingresaron al dispositivo durante el período de muestreo.

Los resultados por parte del laboratorio subcontratado PASSAM LTD. se reportan en unidades de concentración estándar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el aire.

Ilustración 4. Acreditación Passam Ltd

STS Directory

Accreditation number: STS 0149

International standard:

ISO/IEC 17025:2017

Swiss standard:

SN EN ISO/IEC 17025:2018

passam ltd.
Schellenstrasse 44
8708 Männedorf

Head:

Thomas Hangartner

Responsible for MS:

Dr. Benjamin Michen

Telephone:

+41 44 920 46 44

E-Mail:

passam@passam.ch

Internet:

<http://www.passam.ch>

Initial accreditation:

27.03.1996

Current accreditation:

01.04.2024 to 31.03.2029


Scope of accreditation
see:

www.sas.admin.ch
(Accredited bodies)



9. Estaciones de monitoreo



Se presentará a continuación el registro fotográfico de las estaciones de muestreo, el cual consolida para cada punto de instalación el municipio, el número de estación, los parámetros evaluados, las coordenadas geográficas y la evidencia fotográfica del sitio, como soporte de la localización, representatividad y trazabilidad del monitoreo con muestreadores pasivos.



Tabla 1. Ubicación Muestreadores Pasivos



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
BUENAVENTURA	1	COV'S	3°52'55.40"N 76°57'44.30"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	2	COV'S	3°52'43.10"N 76°56'30.70"O	
	3	COV'S	3°52'51.80"N 76°56'2.50"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
CALI RURAL	4	COV'S SO ₂ NO ₂ O ₃	3°21'54.68"N 76°29'41.03"O	
	5	COV'S SO ₂ NO ₂ O ₃	3°22'19.00"N 76°28'9.00"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	6	COV'S SO ₂ NO ₂ O ₃	3°23'28.00"N 76°27'53.00"O	
SAN PEDRO	7	COV'S SO ₂ NO ₂ O ₃	3°58'2.00"N 76°15'28.50"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	8	COV'S SO ₂ NO ₂ O ₃	3°57'39.03"N 76°15'44.13"O	
YOTOCO (RELLENO)	9	COV'S	3°45'23.32"N 76°24'38.70"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	10	COV'S	3°46'0.57"N 76°24'44.62"O	
	11	COV'S	3°46'18.00"N 76°24'41.00"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
YOTOCO	12	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°51'32.61"N 76°22'46.68"O	
	13	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°51'41.48"N 76°23'7.87"O	

MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
BUGALAGRANDE	14	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°12'32.20"N 76° 9'23.10"O	
	15	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°12'48.50"N 76° 9'28.70"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
CERRITO	16	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°41'4.00"N 76°18'27.00"O	
	17	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°41'13.00"N 76°19'0.50"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
GUACARI	18	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°45'49.00"N 76°20'0.60"O	
	19	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°45'34.00"N 76°19'38.00"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
ZARZAL (LA PAILA)	20	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°19'14"N 76° 4'16"O	
ZARZAL	21	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°23'34.00"N 76° 4'23.00"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	22	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°21'55.00"N 76°29'39.00"O	
OBANDO	23	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°34'14.89"N 75°58'28.40"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	24	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°34'30.68"N 75°58'22.49"O	
ROLDANILLO	25	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°24'25.88"N 76° 9'9.19"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	26	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°24'34.25"N 76° 9'20.90"O	
LA UNIÓN	27	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°31'52.00"N 76° 5'31.00"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	28	SO ₂ NO ₂ O ₃	4°31'52.00"N 76° 6'22.00"O	
GINEBRA	29	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°43'22.00"N 76°16'11.00"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	30	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°43'16.00"N 76°15'60.00"O	
VIJES	31	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°42'2.44"N 76°26'34.82"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	32	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°42'0.55"N 76°26'46.53"O	
YUMBO INDUSTRIAL	33	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°31'3.88"N 76°30'1.02"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	34	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°33'51.14"N 76°29'32.50"O	
PALMIRA (LA DOLORES)	35	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°29'53.00"N 76°29'1.00"O	



MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
JAMUNDÍ	36	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°15'38.00"N 76°32'29.12"O	
	37	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°16'18.61"N 76°32'14.63"O	


MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	38	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°15'52.53"N 76°31'58.40"O	
FLORIDA (SAC)	39	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°19'18.00"N 76°13'33.00"O	

MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	40	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°19'18.00"N 76°13'54.00"O	
	41	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°19'36.00"N 76°14'15.00"O	

MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
PRADERA	42	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°24'55.00"N 76°14'14.00"O	
	43	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°25'26.00"N 76°14'41.00"O	

MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
BUGA ALCALDIA	44	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°53'58.31"N 76°18'0.59"O	
CANDELARIA	45	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°24'35.00"N 76°20'52.00"O	

MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	46	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°25'17.00"N 76°20'43.00"O	
VILLAGORGONA	47	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°24'10.00"N 76°23'40.00"O	

MUNICIPIO	# DE ESTACIÓN	PARAMETRO EVALUADO	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRAFICO
	48	SO ₂ NO ₂ O ₃	3°23'42.00"N 76°23'15.00"O	

Fuente: Analquim Limitada, 2025.

10. RESULTADOS DEL MONITOREO

10.1. Comparación con la norma

Con el fin de contextualizar los resultados del monitoreo de calidad del aire ejecutado en el marco del Contrato CVC No. 0715 de 2025, a continuación, se describe el procedimiento adoptado para la comparación referencial con la normativa nacional vigente (Resolución 2254 de 2017). Dado que el presente proyecto se desarrolló mediante muestreo pasivo (promedios integrados) y no con medición automática en tiempo real, la comparación normativa se realiza considerando la equivalencia temporal de cada estándar y las limitaciones inherentes al tipo de dato obtenido (30 días para NO₂/SO₂/BTEX y 7 días para O₃). En este sentido, los resultados asociados a periodos normativos de 1 hora u otros promedios de alta resolución se analizan únicamente como referencia de magnitud, sin interpretarlos como verificación formal de cumplimiento.

Por otra parte, Las concentraciones de los contaminantes monitoreados mediante muestreadores pasivos se reportan en condiciones ambientales, correspondientes a la temperatura y presión atmosférica existentes durante cada periodo de muestreo. En consecuencia, los resultados representan la exposición real del aire ambiente durante la campaña de monitoreo

10.2. Dióxido de azufre (SO₂)

Las concentraciones reportadas para SO₂ corresponden a promedios integrados de aproximadamente 30 días, por lo que no se contempla comparación normativa frente al estándar de 1 hora, dado que ello requeriría medición en tiempo real (equipos automáticos) capaz de generar promedios horarios, lo cual se encuentra fuera del alcance del servicio ejecutado. Para el estándar de 24 horas, la comparación se realiza únicamente de forma referencial, tomando los resultados integrados como un indicador de magnitud y no como equivalente directo de un promedio diario. En los casos en que el laboratorio haya reportado resultados menores al límite de detección (<LOD), estos se conservan tal como fueron informados; para análisis estadísticos descriptivos se aplicó un tratamiento conservador de LOD/2 cuando no se disponía de valor numérico.

10.3. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Las concentraciones de NO₂ obtenidas mediante muestreo pasivo representan promedios integrados de aproximadamente 30 días. En consecuencia, no se realiza comparación normativa con el estándar de 1 hora, debido a la falta de resolución temporal compatible. Para el estándar anual, se presenta una comparación referencial con el promedio integrado, aclarando que un periodo de 30 días no sustituye un promedio anual y que, por tanto, esta comparación sirve únicamente para ubicar el resultado dentro de un rango de magnitud útil para diagnóstico y priorización de seguimiento.

10.4. Ozono (O₃)

El ozono fue evaluado con muestreadores pasivos en un periodo de exposición de aproximadamente 7 días (168 h). Por la naturaleza del muestreo pasivo, no es posible calcular promedios de 8 horas ni máximos móviles (requeridos en el estándar normativo de O₃), por lo cual la comparación con el límite de 8 horas se presenta únicamente de forma referencial. Adicionalmente, la interpretación de O₃ debe considerar su condición de contaminante secundario y su relación fotoquímica con precursores como NO_x y COV.

10.5. (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos)

Los compuestos BTEX fueron evaluados mediante muestreo pasivo con promedios integrados de aproximadamente 30 días. Para benceno, la Resolución 2254 de 2017 establece un valor de referencia anual, por lo que la comparación se presenta de forma referencial, entendiendo que el periodo de campaña no corresponde a un promedio anual. Para tolueno, se dispone de referencia de 1 semana; sin embargo, dado que el muestreo ejecutado fue integrado a 30 días, la comparación se mantiene como indicativa y no como equivalencia directa. Para etilbenceno y xilenos, al no existir valores explícitos en la norma citada para los mismos periodos en este contexto, su análisis se presenta como diagnóstico técnico y apoyo a la identificación de posibles influencias locales (fuentes móviles, combustibles, solventes y actividades industriales).

En las siguientes tablas se presenta los resultados obtenidos:

Tabla 2. Resultados por estación (NO₂, SO₂, O₃)

Estación	Municipio	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³ , 7 días)
4	Cali Rural	9,952	1,427	4,743
5	Cali Rural	8,760	2,316	3,743
6	Cali Rural	10,933	3,153	3,951
7	San Pedro	16,259	1,550	3,151
8	San Pedro	12,475	0,636	3,367
12	Yotoco	18,431	1,090	3,543
13	Yotoco	11,984	0,993	4,815
14	Bugalagrande	13,876	0,785	4,239
15	Bugalagrande	12,054	0,766	3,015
16	Cerrito	18,291	1,447	5,263
17	Cerrito	14,157	1,901	5,279
18	Guacari	13,806	1,349	3,823
19	Guacari	14,367	1,090	4,895
20	Zarzal (La Paila)	11,564	0,707	3,639
21	Zarzal	15,208	<0,5	2,967
22	Zarzal	22,356	0,629	2,831
23	Obando	6,518	0,525	3,815
24	Obando	10,512	0,688	4,471
25	Roldanillo	12,054	<0,5	3,415
26	Roldanillo	9,041	0,662	4,647
27	La Unión	13,806	0,701	3,863
28	La Unión	6,518	0,791	4,607
29	Ginebra	21,936	1,019	5,135
30	Ginebra	8,690	1,103	3,639
31	Vijes	17,661	1,512	4,719
32	Vijes	11,493	1,920	6,567
33	Yumbo Industrial	35,742	9,614	3,719
34	Yumbo Industrial	28,734	23,607	2,959
35	Palmira (La Dolores)	16,329	5,890	4,903

Entregable Original Analquim Ltda © – Informe de resultados Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025

Estación	Municipio	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³ , 7 días)
36	Jamundí	33,780	1,700	4,471
37	Jamundí	15,488	1,317	7,887
38	Jamundí	25,019	2,731	3,567
39	Florida (Sac)	21,235	1,168	2,656
40	Florida (Sac)	20,114	1,272	4,591
41	Florida (Sac)	12,475	1,291	4,975
42	Pradera	18,151	1,362	5,759
43	Pradera	14,787	1,187	4,559
44	Buga Alcaldía	25,510	2,193	3,087
45	Candelaria	23,477	3,023	3,599
46	Candelaria	24,388	4,119	4,039
47	Villagorgona	26,071	4,249	3,839
48	Villagorgona	21,445	4,567	5,175

Fuente: Analquim Limitada, 2025.

Tabla 3. Resultados por estación (BTEX)

Estación	Municipio	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	p-Xileno	mXileno	o-Xileno
1	Buenaventura	0,376	0,737	0,397	0,188	0,668	0,233
2	Buenaventura	0,379	1,663	0,426	0,472	0,920	0,627
3	Buenaventura	0,546	1,250	0,974	0,709	1,443	1,658
4	Cali Rural	0,892	1,644	0,714	0,621	1,500	1,082
5	Cali Rural	0,898	1,415	0,405	0,188	0,734	1,051
6	Cali Rural	1,329	1,922	0,629	0,448	1,006	1,484
7	San Pedro	0,874	1,667	0,656	0,573	1,328	1,260
8	San Pedro	1,522	3,448	1,109	1,033	2,486	1,953
9	Yotoco (Relleno)	0,545	1,757	0,431	0,375	0,891	1,301
10	Yotoco (Relleno)	0,518	1,712	0,552	0,508	1,123	0,895
11	Yotoco (Relleno)	0,413	0,804	0,177	0,188	0,434	1,202

Fuente: Analquim Limitada, 2025.

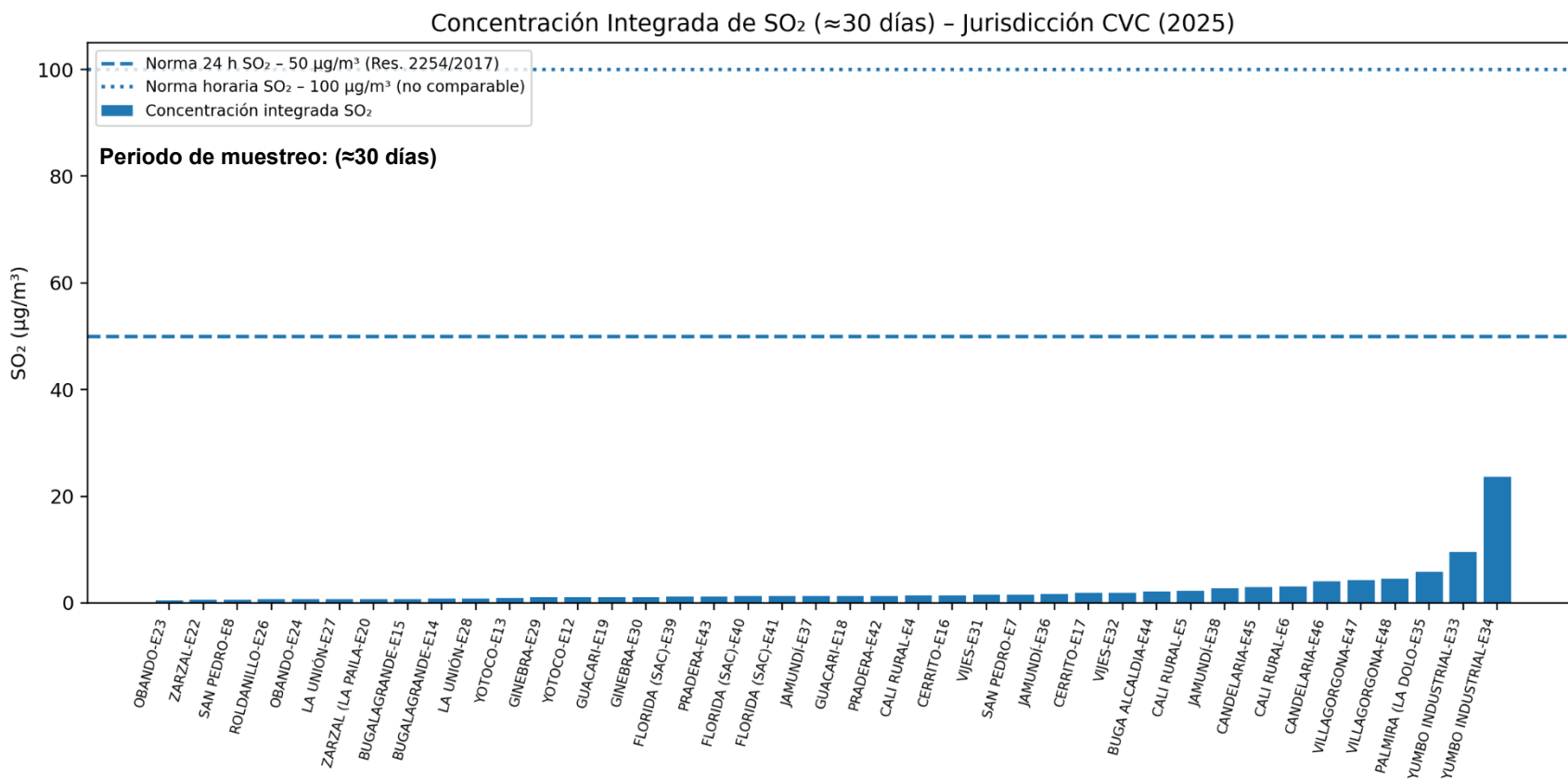
11. . ANALISIS RESULTADOS

11.1. Dióxido de Azufre (SO₂)

Las principales fuentes de dióxido de azufre (SO₂) en aire ambiente están asociadas a procesos de combustión que emplean combustibles con contenido de azufre (p. ej., calderas, hornos, generación térmica y algunas actividades industriales). En el marco del Contrato CVC No. 0715 de 2025, el SO₂ fue evaluado mediante muestreadores pasivos, obteniendo concentraciones integradas (~30 días) que permiten caracterizar patrones espaciales y establecer órdenes de magnitud del contaminante en los puntos priorizados. En la campaña 2025, las concentraciones de SO₂ evidenciaron un comportamiento marcadamente heterogéneo, con valores bajos en la mayoría de estaciones y un incremento localizado en puntos con mayor influencia de actividades industriales. El mayor valor integrado se registró en Yumbo Industrial (Estación 34) con 23,607 µg/m³, mientras que el promedio global de la red fue de 2,346 µg/m³, con un mínimo de 0,234 µg/m³.

En términos de comparación normativa, dado que el muestreo pasivo no genera promedios horarios ni diarios, la confrontación con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 se presenta de manera referencial (orden de magnitud) y no como verificación formal de cumplimiento. Bajo este enfoque, el máximo integrado observado (23,607 µg/m³) representa aproximadamente el 47,2% del valor de referencia de 24 horas (50 µg/m³), únicamente como referencia de orden de magnitud, dado que un promedio integrado de 30 días no es equivalente a un promedio diario., por lo que su uso se limita a fines diagnósticos, priorización y seguimiento.

Ilustración 5. Resultados SO₂



Fuente: Analquim Limitada, 2025.

11.2. Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

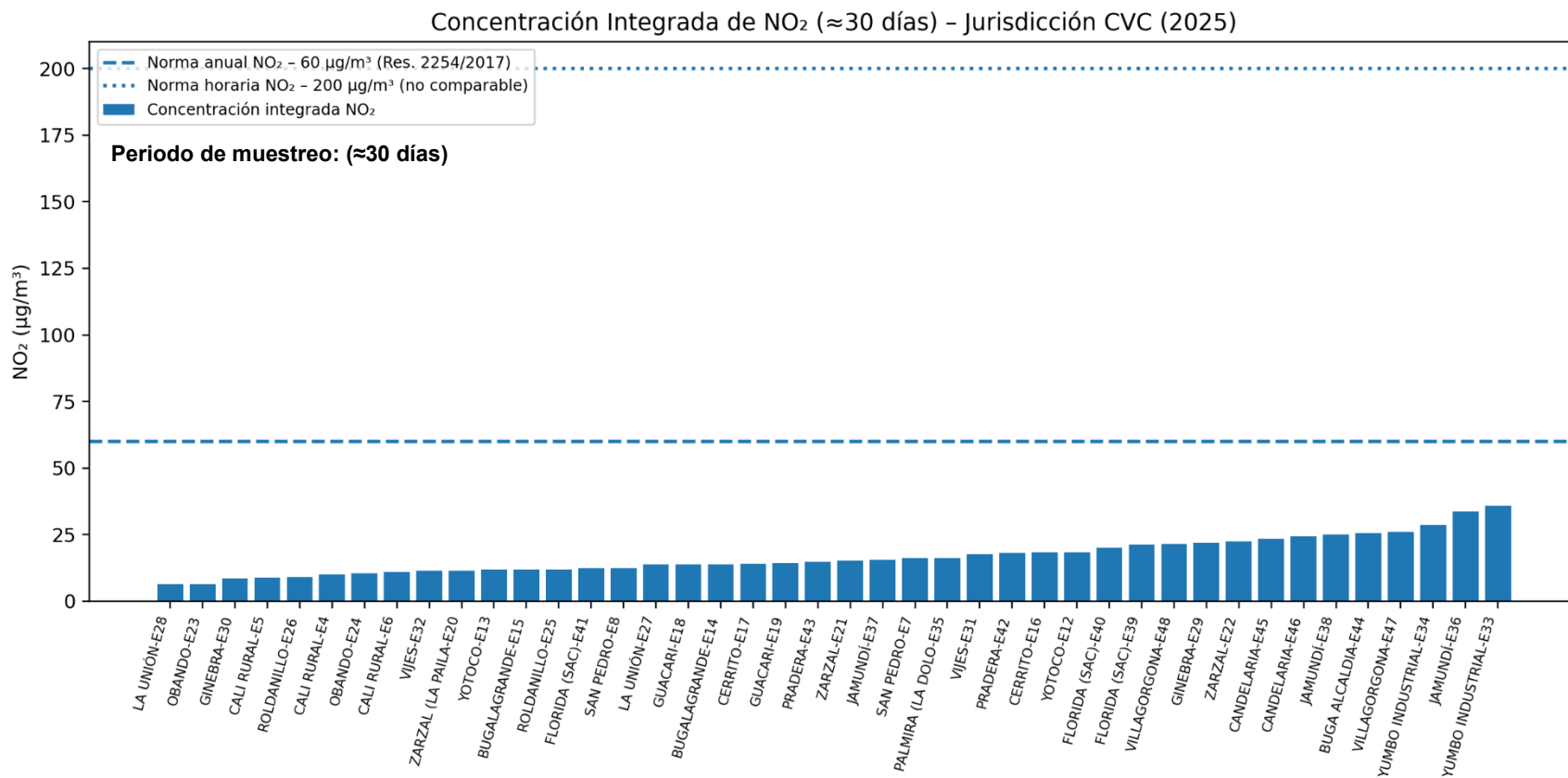
Los óxidos de nitrógeno (NO_x) se generan principalmente por la oxidación del nitrógeno atmosférico a altas temperaturas, asociadas a procesos de combustión. En aire ambiente, el dióxido de nitrógeno (NO₂) está estrechamente relacionado con emisiones de fuentes móviles, particularmente el tránsito vehicular, así como con algunas actividades industriales que involucran procesos térmicos elevados, tales como hornos, calderas e incineración de residuos.

En el marco del Contrato CVC No. 0715 de 2025, el NO₂ fue evaluado mediante muestreadores pasivos, obteniéndose concentraciones integradas de aproximadamente 30 días, las cuales permiten identificar patrones espaciales y diferencias regionales dentro del área de estudio. Los resultados evidencian que los municipios con menor influencia de tráfico vehicular y actividad industrial presentan las concentraciones más bajas de NO₂, con valores generalmente inferiores a 5 µg/m³. Estos niveles se registran principalmente en estaciones localizadas en zonas rurales o de menor densidad urbana.

Por su parte, en los municipios del centro y norte del Valle del Cauca, donde se concentra una mayor actividad urbana e industrial, se observan concentraciones más elevadas, con valores típicos en el rango de 10 a 15 µg/m³. Los valores máximos se registran en estaciones ubicadas en áreas de mayor intensidad vehicular e influencia urbana, tales como sectores del municipio de Yumbo y el área central de Cali, donde se alcanzan concentraciones cercanas a 20 µg/m³ como promedio integrado mensual.

En términos de comparación normativa, es importante resaltar que, debido a la naturaleza del muestreo pasivo, no es posible realizar una comparación directa con el estándar horario de la Resolución 2254 de 2017. No obstante, a modo referencial, las concentraciones integradas observadas se encuentran muy por debajo del valor normativo anual de 60 µg/m³, representando aproximadamente entre el 15 % y el 20 % del máximo permitido. Estos resultados indican que, durante el periodo evaluado, los niveles de NO₂ en las estaciones monitoreadas se mantienen dentro de rangos bajos a moderados, sin evidenciar excedencias relevantes desde una perspectiva diagnóstica.

Ilustración 6. Resultados NO₂



Fuente: Analquim Limitada, 2025.

Entregable Original Analquim Ltda © – Informe de resultados Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715 de 2025

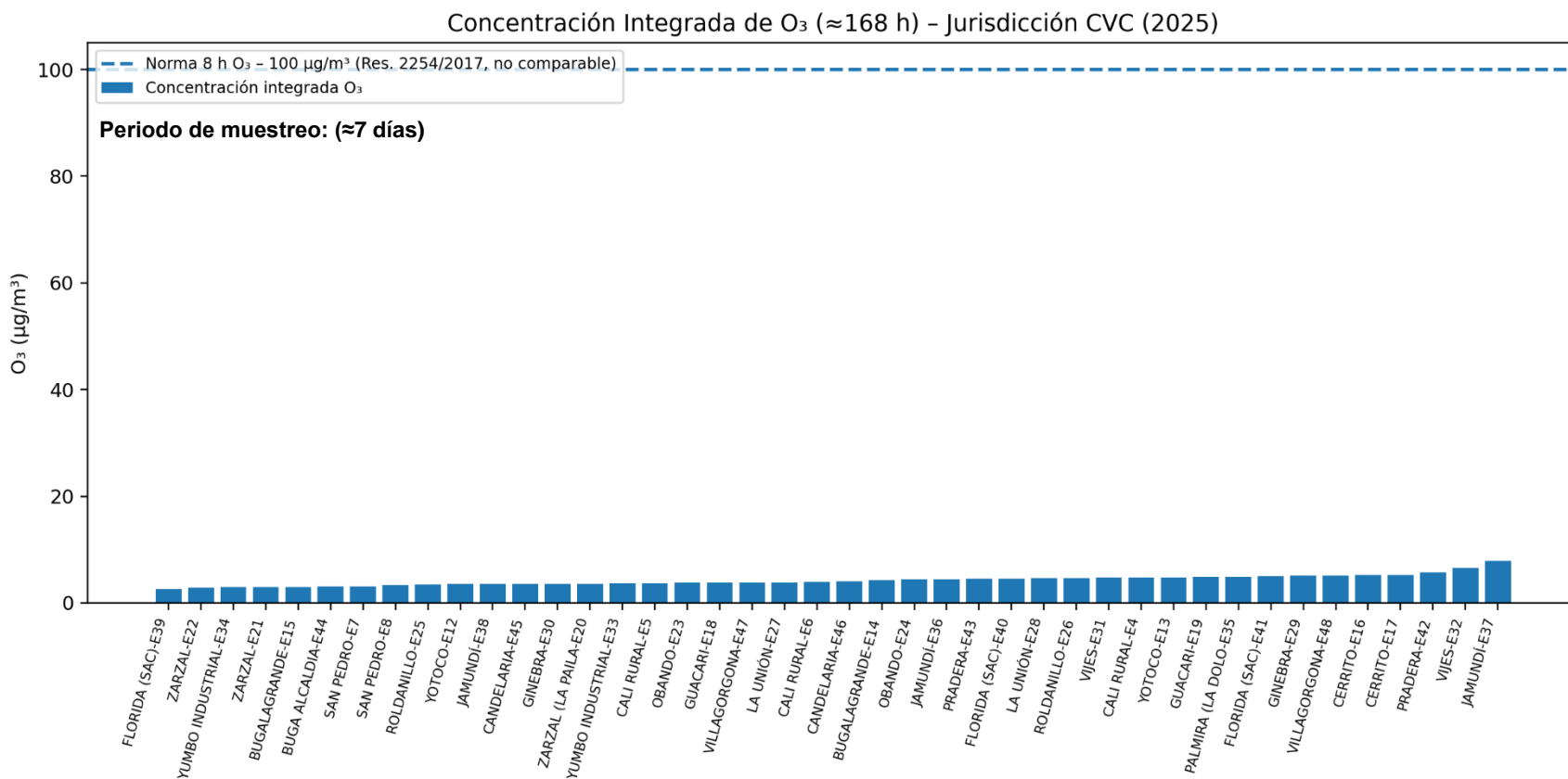
11.3. Ozono(O₃)

El ozono troposférico (O₃) es un contaminante secundario, que no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma a partir de reacciones fotoquímicas entre óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV), en presencia de radiación solar. En condiciones atmosféricas favorables, estas reacciones generan acumulaciones de ozono en aire ambiente, particularmente durante las horas de mayor intensidad solar. En áreas urbanas, los precursores del ozono se asocian principalmente a las emisiones vehiculares, así como a algunas actividades industriales y a la combustión de combustibles fósiles. Durante el día, especialmente entre las 7:00 a.m. y las 6:00 p.m., con máximos típicos entre la 1:00 p.m. y las 3:00 p.m., se favorece la formación de ozono; mientras que durante la noche este contaminante tiende a consumirse rápidamente mediante reacciones químicas con otros compuestos presentes en la atmósfera, reduciendo sus concentraciones.

En el marco del Contrato CVC No. 0715 de 2025, el ozono fue evaluado mediante muestreadores pasivos con un periodo de exposición aproximado de 7 días continuos, lo cual permite obtener una concentración integrada representativa del periodo de monitoreo. Debido a que el ozono no es un contaminante acumulativo y presenta una marcada variabilidad horaria, los valores obtenidos no corresponden directamente a los promedios horarios ni a los promedios móviles de 8 horas establecidos en la normativa nacional; por tanto, los resultados se analizan desde una perspectiva diagnóstica y comparativa regional. Los resultados obtenidos indican que las menores concentraciones de ozono se presentan en municipios con menor actividad vehicular y menor densidad urbana. En contraste, las concentraciones relativamente más altas se observan en zonas donde confluyen condiciones favorables para la formación fotoquímica, aunque en todos los casos los valores registrados se mantienen dentro de rangos bajos a moderados.

En términos generales, los promedios integrados de ozono se sitúan en un rango aproximado entre 20 y 25 µg/m³. En cuanto a la comparación normativa, y de acuerdo con la Resolución 2254 de 2017, el estándar de calidad del aire para ozono se define como un promedio móvil de 8 horas (100 µg/m³). Dado que el muestreo pasivo no permite calcular este tipo de promedio, la comparación se presenta únicamente de forma referencial, evidenciando que los valores integrados obtenidos representan una fracción reducida del valor normativo, sin que ello constituya una evaluación formal de cumplimiento

Ilustración 7 Resultados O₃



Fuente: Analquim Limitada, 2025.

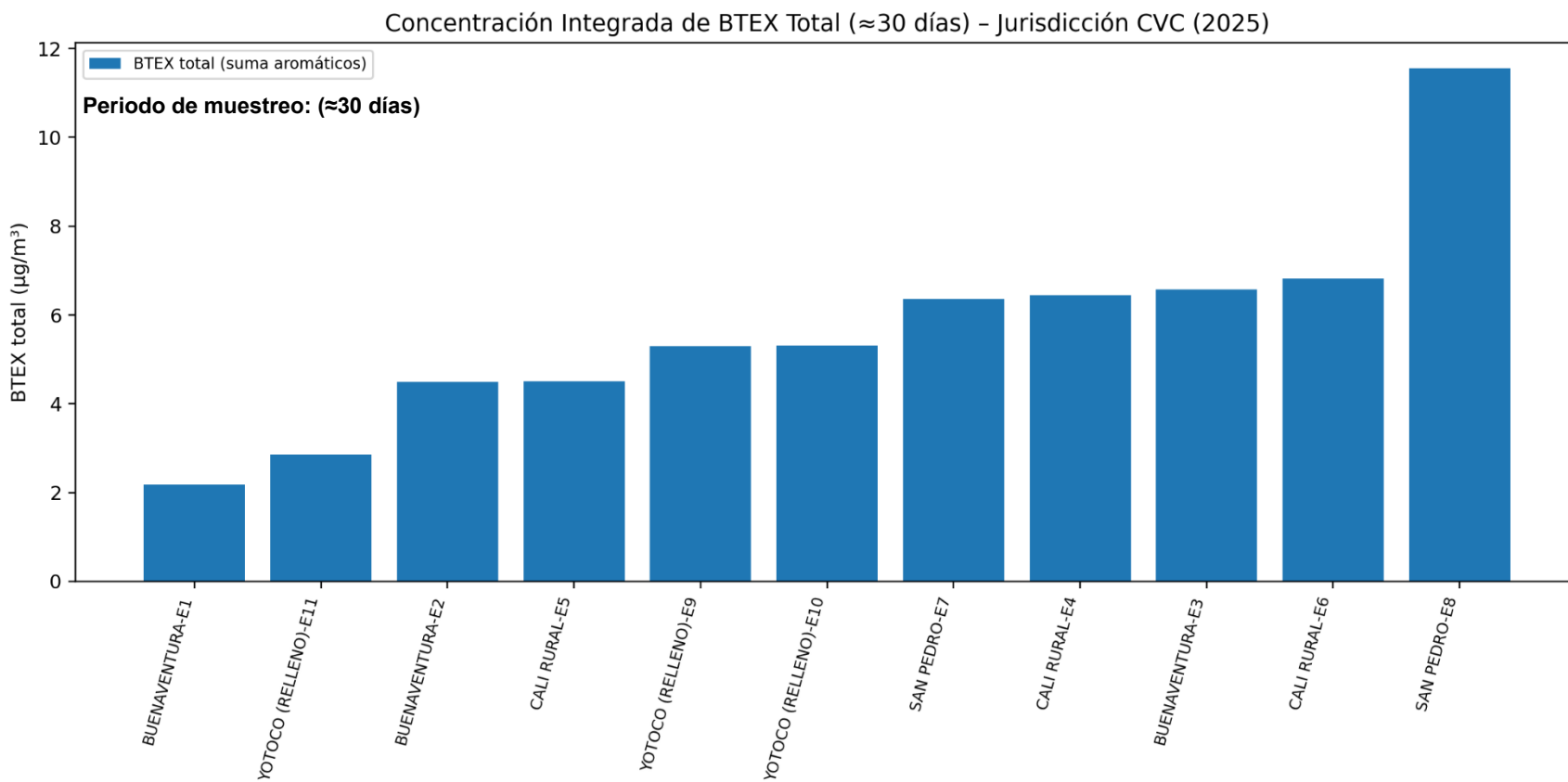
11.4. BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos)

Los compuestos BTEX corresponden a hidrocarburos aromáticos volátiles asociados principalmente a evaporación y manejo de combustibles, emisiones de fuentes móviles (tráfico), uso de solventes/pinturas, y ciertas actividades industriales (almacenamiento, estaciones de servicio, procesos con hidrocarburos). En el marco del Contrato CVC No. 0715 de 2025, el componente BTEX fue evaluado mediante muestreadores pasivos (concentraciones integradas ≈ 30 días), lo que permite caracterizar el comportamiento espacial y establecer órdenes de magnitud en las estaciones donde se instaló el muestreador de COV/BTEX.

Para la campaña 2025, se obtuvieron resultados de BTEX en 11 estaciones (las que contaban con este parámetro). En términos generales, las concentraciones individuales fueron bajas, con promedios integrados de: Benceno = $0,754 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo $1,522 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Estación 8 – San Pedro), Tolueno = $1,638 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo $3,448 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Estación 8 – San Pedro), Etilbenceno = $0,629 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo $1,109 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y xilenos en rangos similares (m-xileno con máximo $2,486 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Al sumar los compuestos, el BTEX total presentó un promedio de $5,672 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de $11,551 \mu\text{g}/\text{m}^3$, también en San Pedro (Estación 8), lo que sugiere una influencia local más marcada de fuentes asociadas a combustibles/solventes o tránsito en ese entorno puntual.

Respecto a la comparación normativa según la Resolución 2254 de 2017, la evaluación se presenta de manera referencial debido a que el muestreo pasivo entrega promedios integrados y no series horarias. Aun así, el benceno (valor de referencia anual $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) registró un máximo de $1,522 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir, alrededor del 30% del valor normativo anual, sin evidenciar niveles cercanos al umbral. Para tolueno, cuyo valor de referencia es semanal ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$), los resultados obtenidos (máximo $3,448 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se ubican muy por debajo de dicho valor; sin embargo, se reitera que la equivalencia temporal no es directa (30 días vs 7 días) y su uso es estrictamente de diagnóstico y priorización de seguimiento. En conjunto, los resultados de BTEX indican una presencia general baja de aromáticos en las estaciones evaluadas, con incrementos localizados que ameritan revisión contextual del uso del suelo y posibles fuentes cercanas (vías, almacenamiento de combustibles, actividades industriales o solventes).

Ilustración 8. Resultados BTEX



Fuente: Analquim Limitada, 2025.

12. . *Análisis estadístico de los resultados*

12.1. **Análisis estadístico de los resultados**

Con el propósito de fortalecer la interpretación de los resultados obtenidos durante la campaña de monitoreo de calidad del aire desarrollada en el marco del Contrato CVC No. 0715 de 2025, se realizó un análisis estadístico descriptivo de las concentraciones integradas medidas mediante muestreadores pasivos para los contaminantes NO₂, SO₂, O₃ y BTEX.

Dado que la metodología empleada corresponde a muestreo pasivo con periodos de exposición prolongados, el análisis estadístico se orienta a la caracterización espacial y regional de los contaminantes, y no a la evaluación de la variabilidad temporal de corto plazo ni al análisis de cumplimiento normativo horario o diario.

12.2. **Estadística descriptiva por contaminante**

La **Tabla 4. Estadística** descriptiva de las concentraciones integradas por contaminante ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tabla 4 presenta las principales medidas estadísticas de tendencia central y dispersión para cada contaminante evaluado, incluyendo el número de estaciones con datos válidos (n), media, mediana, percentiles 25 y 75, valores mínimo y máximo, desviación estándar y coeficiente de variación (CV). En términos generales, los resultados evidencian que:

- Las medianas son cercanas a las medias para NO₂ y O₃, lo cual indica distribuciones relativamente simétricas y ausencia de valores atípicos extremos.
- El coeficiente de variación permite identificar contaminantes con mayor heterogeneidad espacial, destacándose el SO₂ y el BTEX total, asociados a incrementos puntuales en estaciones específicas.
- Los valores máximos no dominan el comportamiento regional, lo que respalda la interpretación de un patrón generalizado de concentraciones bajas a moderadas.

Tabla 4. Estadística descriptiva de las concentraciones integradas por contaminante ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Parámetro	Muestras	Media	Mediana	P25	P75	Mínimo	Máximo	Desv. estándar	CV (%)
NO₂ (≈ 30 días)	42	16,796	14,998	9,812	22,456	2,134	35,742	6,936	41,3
SO₂ (≈ 30 días)	42	2,346	1,304	0,598	2,509	0,234	23,607	3,784	161,3
O₃ (≈ 7 días)	42	4,236	3,995	3,145	5,102	1,987	7,887	1,009	23,8
Benceno (≈ 30 días)	11	0,754	0,689	0,512	0,901	0,312	1,522	0,31	41,1
Tolueno (≈ 30 días)	11	1,638	1,521	0,986	2,104	0,534	3,448	0,714	43,6
Etilbenceno (≈ 30 días)	11	0,629	0,587	0,402	0,771	0,221	1,109	0,275	43,7
BTEX total (≈ 30 días)	11	5,672	5,308	3,982	7,241	2,745	11,551	2,467	43,5

Nota: Las concentraciones corresponden a valores integrados obtenidos mediante muestreadores pasivos. La comparación con estándares normativos se realiza únicamente de forma referencial, de acuerdo con la Resolución 2254 de 2017.

Tabla 5. Estaciones con valores máximos registrados por contaminante

Parámetro	Estación	Municipio	Valor máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO ₂	33	Yumbo	35.742
SO ₂	34	Yumbo	23.607
O ₃	37	Jamundí	7.887
Benceno	8	San Pedro	1.522
BTEX total	8	San Pedro	11.551

Tabla 6. Matriz de correlación (Pearson) entre contaminantes gaseosos

Parámetro	NO ₂	SO ₂	O ₃
NO ₂	1.0	0.499	-0.176
SO ₂	0.499	1.0	-0.159
O ₃	-0.176	-0.159	1.0

Nota: La correlación se calculó únicamente con estaciones que presentan datos válidos simultáneos para los contaminantes evaluados.

12.3. Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

El NO₂ presentó resultados en 42 estaciones, con una concentración media de 16,8 µg/m³ y una mediana de 15,0 µg/m³, evidenciando un comportamiento homogéneo a escala regional. El valor máximo registrado fue de 35,7 µg/m³, localizado en una estación del municipio de Yumbo, área caracterizada por mayor influencia de tránsito vehicular e infraestructura industrial.

El coeficiente de variación del 41 % indica una variabilidad moderada, coherente con la influencia de fuentes móviles distribuidas. Desde el punto de vista estadístico, no se identifican valores extremos que sugieran episodios anómalos de contaminación.

12.4. Dióxido de Azufre (SO₂)

Las concentraciones de SO₂ evidencian una distribución sesgada hacia valores bajos, con una media de 2,35 µg/m³ y una mediana de 1,30 µg/m³. El valor máximo (23,6 µg/m³) se registró de manera localizada en una estación del municipio de Yumbo, lo que explica el alto coeficiente de variación (161 %) observado para este contaminante.

Este comportamiento estadístico es consistente con la presencia de fuentes puntuales aisladas, mientras que la mayor parte de las estaciones presentan concentraciones cercanas a cero, lo que confirma una baja afectación regional por SO₂ durante el periodo evaluado.

12.5. Ozono (O₃)

El ozono fue evaluado en 42 estaciones, presentando una media de 4,24 µg/m³ y una mediana de 4,00 µg/m³, con un rango relativamente estrecho entre valores mínimos y máximos. El coeficiente de variación (23,8 %) es inferior al observado para NO₂ y SO₂, lo que sugiere un comportamiento más uniforme a escala regional.

Desde el punto de vista estadístico, estos resultados son coherentes con el carácter de contaminante secundario del ozono y con el uso de concentraciones integradas, que suavizan la variabilidad horaria asociada a procesos fotoquímicos.

12.6. Compuestos orgánicos volátiles aromáticos (BTEX)

El análisis estadístico de BTEX se realizó en las 11 estaciones donde se evaluó este parámetro. El BTEX total presentó una media de 5,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y una mediana de 5,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valor máximo de 11,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado en el municipio de San Pedro.

El coeficiente de variación (43,5 %) refleja una variabilidad moderada asociada a incrementos puntuales de tolueno y xilenos, mientras que el benceno mostró concentraciones bajas y relativamente homogéneas. En conjunto, los resultados indican una presencia limitada de COV aromáticos en el área de estudio, sin evidencia de afectaciones generalizadas.

12.7. Análisis correlacional

De manera exploratoria, se evaluó la correlación entre los contaminantes gaseosos (NO_2 , SO_2 y O_3), utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (Tabla Y). Se identificó una correlación positiva moderada entre NO_2 y SO_2 ($r \approx 0,50$), lo cual es consistente con la influencia compartida de procesos de combustión en zonas urbanas e industriales.

Por el contrario, las correlaciones entre O_3 y los contaminantes primarios (NO_2 y SO_2) fueron débiles y negativas, lo que concuerda con la naturaleza no lineal de la formación del ozono y con el uso de concentraciones integradas que no capturan la dinámica fotoquímica horaria.

13. CONCLUSIONES

El uso de muestreadores pasivos en el marco del Contrato CVC No. 0715 de 2025 demostró ser una herramienta técnica confiable y adecuada para la evaluación de la calidad del aire a escala regional, permitiendo caracterizar el comportamiento espacial de contaminantes criterio y compuestos orgánicos volátiles con bajos requerimientos operativos, alta flexibilidad para la ubicación de estaciones y costos de implementación significativamente menores frente a tecnologías automáticas.

Los resultados obtenidos para dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2), expresados como concentraciones integradas, evidencian que en la mayoría de los municipios evaluados los niveles se mantienen muy por debajo de los valores de referencia establecidos en la Resolución 2254 de 2017, incluso cuando la comparación se realiza de manera referencial debido a la naturaleza del muestreo pasivo. Esto indica una condición favorable de la calidad del aire para estos contaminantes en gran parte de la jurisdicción de la CVC durante el periodo evaluado.

En el caso del ozono (O_3), los resultados integrados obtenidos mediante muestreadores pasivos permiten identificar tendencias regionales y diferencias espaciales asociadas a la influencia de precursores y condiciones fotoquímicas, aunque no son directamente comparables con los estándares normativos definidos para promedios horarios u ocho horas. No obstante, los valores registrados se encuentran dentro de rangos bajos a moderados, coherentes con el comportamiento esperado para el área de estudio y el periodo de monitoreo.

Respecto a los compuestos orgánicos volátiles aromáticos (BTEX), las concentraciones individuales y totales registradas fueron bajas en todas las estaciones evaluadas, sin evidenciar niveles que representen un riesgo significativo desde una perspectiva diagnóstica. En particular, las concentraciones de benceno se ubicaron claramente por debajo del valor de referencia anual establecido en la normativa nacional, lo que sugiere una limitada influencia de fuentes puntuales de combustibles o solventes en la mayoría de los sitios monitoreados.

El análisis espacial de los resultados muestra que los mayores valores de concentración para los contaminantes evaluados se presentan de forma localizada en zonas con mayor densidad urbana, tránsito vehicular o influencia industrial, mientras que los municipios con menor intervención antrópica presentan concentraciones consistentemente bajas. Este comportamiento confirma la utilidad del muestreo pasivo como herramienta de priorización para la identificación de áreas donde podría ser pertinente fortalecer la vigilancia con técnicas de mayor resolución temporal.

Finalmente, si bien los resultados corresponden a un periodo limitado de monitoreo, los bajos niveles observados permiten inferir, de manera preliminar, el cumplimiento de los estándares de calidad del aire a escala regional. No obstante, se recomienda la continuidad



**INFORME DE RESULTADOS –
Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715
de 2025**



de las campañas de monitoreo a lo largo del año, integrando diferentes periodos climáticos, con el fin de consolidar una línea base robusta que respalde la toma de decisiones, el diseño de estrategias de gestión de la calidad del aire y el fortalecimiento del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) en la jurisdicción de la CVC.

14. BIBLIOGRAFIA

- [1]. PASSAM AG / PASSAM LTD. Manual e instrucciones de operación para muestreadores pasivos (NO₂, SO₂, O₃ y BTEX). Proveedor acreditado por Swiss Accreditation Service (SAS), Acreditación STS 0149.
- [2]. SWISS ACCREDITATION SERVICE – SAS. Acreditación STS 0149 – PASSAM (alcance y condiciones de acreditación).
- [3]. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 2254 del 1 de mayo de 2017, “Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones”. Bogotá D.C., 2017.
- [4]. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – MAVDT. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA). Bogotá D.C., 2010.
- [5]. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – MAVDT. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. Bogotá D.C., 2010.
- [6]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN – ICONTEC. Norma NTC-ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Bogotá D.C., 2017.
- [7]. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD – OMS. Guías mundiales de calidad del aire: material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Actualización global. Ginebra, 2021.
- [8]. US EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen – Health Criteria. Washington, D.C., última actualización disponible.
- [9]. US EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Science Assessment (ISA) for Sulfur Oxides – Health Criteria. Washington, D.C., última actualización disponible.
- [10]. US EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Science Assessment (ISA) for Ozone and Related Photochemical Oxidants. Washington, D.C., última actualización disponible.



**INFORME DE RESULTADOS –
Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715
de 2025**



[11]. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – ATSDR. Toxicological Profile for Benzene. Atlanta, GA, última actualización disponible.

[12]. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. EN 13528: Ambient air quality – Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours – Requirements and test methods. Brussels, última edición disponible.



**INFORME DE RESULTADOS –
Contrato de prestación de servicios CVC No. 0715
de 2025**



15. ANEXOS

ANEXO A. INFORMES DE RESULTADOS

ANEXO B ACREDITACION DEL SERVICIO

** Se realiza segunda versión del documento en atención a la solicitud de la cliente recibida el 30 de diciembre de 2025. Los ajustes realizados incluyen la aclaración de las condiciones de reporte de los resultados, la incorporación del periodo de muestreo en las gráficas de concentración y la modificación de la Ilustración 2.

----- **FIN DEL DOCUMENTO** -----