

Instructivo: lineamientos para evaluar el desempeño en campo de sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad ambiental del aire



MUNICIPALIDAD DE
LIMA



Municipalidad Metropolitana de Lima

RESOLUCIÓN DE GERENCIA N° 18-2020-MML/GSCGA

Lima, 10 DIC 2020

VISTO, el Memorando N° 721-2020-MML/GSCGA, de la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental, el Informe N° 197-2020-MML-GP-SOM, de la Subgerencia de Organización y Modernización, el Memorando N° 500-2020-MML-GP, de la Gerencia de Planificación y el Informe N° 765-2020-MML-GAJ, de la Gerencia de Asuntos Jurídicos, y;

CONSIDERANDO

Que, los gobiernos locales gozan de autonomía política, económica y administrativa en los asuntos de su competencia; autonomía reconocida por la Constitución Política del Perú y la Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades, que radica en la facultad de ejercer actos de gobierno administrativos y de administración, con sujeción al ordenamiento jurídico;

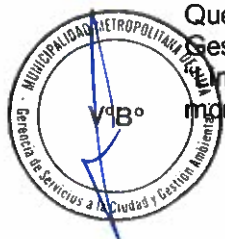
Que, de acuerdo a lo establecido en el literal c) del artículo 73 de la Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades, dentro del marco de sus competencias y funciones, las municipalidades, tomando en cuenta su condición de municipalidad provincial o distrital, asumen las competencias y ejercen las funciones específicas señaladas en el Capítulo I del Título V, con carácter exclusivo o compartido, en las materias siguientes: (...) 3. Protección y conservación del ambiente. 3.1. Formular, aprobar, ejecutar y monitorear los planes y políticas locales en materia ambiental y frente al cambio climático, en concordancia con las políticas, normas y planes regionales, sectoriales y nacionales (...); así también, el artículo 80, de la Ley Orgánica de Municipalidades, señala que las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejerce la siguiente función, entre otras: 1.2. Regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente;

Que, en esa línea, conforme a lo establecido en la Directiva N° 001-2006-MML/GP-SDI, aprobada mediante Resolución de Alcaldía N° 405 y sus modificatorias, en cuyo Anexo N° 01 la naturaleza del Instructivo es emitir disposiciones para casos específicos, y asimismo dispone que, el mismo es elaborado por los órganos de la Municipalidad Metropolitana de Lima, y que su aprobación se otorga mediante Resolución del órgano que lo propone, requiriendo contar previamente con el visto bueno de la Gerencia de Planificación;

Que, el artículo 165 del Reglamento de Organización y Funciones de la Municipalidad Metropolitana de Lima, aprobado mediante Ordenanza N° 2208 (en adelante, ROF de la MML), indica que la Subgerencia de Gestión Ambiental de la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental, es la unidad orgánica responsable de conducir los procesos de evaluación de impacto ambiental y de evaluación ambiental estratégica bajo su competencia, así como la evaluación y supervisión ambiental a cargo de la Municipalidad Metropolitana de Lima;

Que, el numeral 23) del artículo 166 del ROF de la MML, señala que son funciones y atribuciones de la Subgerencia de Gestión Ambiental, entre otras, la de formular, proponer e implementar ordenanzas, acuerdos, decretos, resoluciones, directivas, instructivos, y otras normas de aplicación institucional metropolitana, de acuerdo a sus competencias;

Que, la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental a través de la Subgerencia de Gestión Ambiental, resulta funcionalmente competente para presentar el Proyecto de Instructivo de Saneamientos para evaluar el desempeño en campo de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad ambiental del aire”;





Municipalidad Metropolitana de Lima

Que, en mérito a la precitada competencia establecida en el mencionado Reglamento de Organización y Funciones, la Subgerencia de Gestión Ambiental, mediante el Memorando N° 780-2020-MML-GSCGA-SGA, de fecha 31 de agosto de 2020, adjunta el Informe N° 334-2020-MML/GSCGA-SGA-DCAEA, de fecha 27 de agosto de 2020, de la Jefatura de División de la Calidad de Aire y Evaluaciones Ambientales, por el cual concluye que: i) Teniendo en cuenta la problemática existente en la ciudad de Lima, así como advirtiéndose las experiencias nacionales e internacionales, que guardan relación a la implementación de redes de monitoreo de la calidad de aire utilizando los sensores *low-cost*, por parte de los gobiernos municipales, es de vital importancia contar con una normativa que permita evaluar el correcto desempeño en campo de los sensores de bajo costo utilizados para el monitoreo de la calidad del aire; y ii) Habiéndose presentado y sustentado el proyecto de directiva "Lineamientos para evaluar el desempeño en campo de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad ambiental del aire", se sugiere proseguir con el procedimiento regular para su posterior aprobación de corresponder y así contar con una red de monitoreo que genera información confiable y robusta en beneficio de toda la población de nuestra ciudad;

Que, a través del Memorando N° 721-2020-MML/GSCGA, de fecha 24 de septiembre de 2020, la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental, señala que: Acorde a las disposiciones establecidas en la Directiva N° 001-2006-MML/GP-SDI y modificatorias, donde se define el concepto y alcance de los términos Directiva e Instructivo, en coordinación con la Subgerencia de Gestión Ambiental y la División de la Calidad del Aire y Evaluaciones Ambientales, se ha modificado la denominación de la propuesta alcanzada, de Directiva a Instructivo, por cuanto un instructivo es definido como el instrumento normativo para casos específicos, y es tal el contenido de la propuesta remitida, que aborda específicamente un tema puntual, como es la evaluación del desempeño de sensores de bajo costo para monitoreo de la calidad del aire, lo que guarda relación con las materias de competencia de la Subgerencia de Gestión Ambiental;

Que, la Subgerencia de Organización y Modernización, mediante Informe N° 197-2020-MML-GP-SOM de fecha 16 de noviembre de 2020, remitido mediante Memorando N° 500-2020-MML-GP de la Gerencia de Planificación, señala que el Proyecto de Instructivo se adecúa a los lineamientos descritos en la Directiva N° 001-2006-MML/GP-SDI "Estructura básica de las comunicaciones escritas y el diseño y empleo de sellos en la Municipalidad Metropolitana de Lima" (y modificatorias), por lo que emite opinión favorable, otorgando el visto bueno correspondiente;

Que, por su parte, la Gerencia de Asuntos Jurídicos mediante Informe N° 765-2020-MML-GAJ, de fecha 04 de diciembre de 2020, concluye que: i) La Municipalidad Metropolitana de Lima tiene competencia para formular, aprobar, ejecutar y monitorear los planes y políticas en materia ambiental; así como, para regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes del medio ambiente; ii) La Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental y la Subgerencia de Gestión Ambiental, tienen competencia para elaborar y presentar el Proyecto de Instructivo "Lineamientos para evaluar el desempeño en campo de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad ambiental del aire"; iii) El Proyecto de Instructivo cumple con lo establecido en la Directiva N° 001-2006-MML/GP-SDI "Estructura básica de las comunicaciones escritas y el diseño y empleo de sellos en la Municipalidad Metropolitana de Lima", aprobada por Resolución de Alcaldía N° 405 de fecha 28 de marzo de 2006 y sus modificatorias. Asimismo, acorde a dicha Directiva el Instructivo es elaborado por los órganos de la Municipalidad Metropolitana de Lima, y su aprobación se otorga mediante Resolución del





Municipalidad Metropolitana de Lima

órgano que lo propone, requiriendo contar previamente con el visto bueno de la Gerencia de Planificación; y iv) Resulta conforme a la normatividad vigente, y acorde a la opinión emitida por la Gerencia de Planificación, a través de la Subgerencia de Organización y Modernización, se apruebe mediante Resolución de la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental, el Proyecto de Instructivo "Lineamientos para evaluar el desempeño en campo de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad ambiental del aire";

Que, habiéndose cumplido con el procedimiento establecido en la Directiva N° 001-2006-MML/GP-SDI, corresponde a la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental, de conformidad con lo señalado en numerales 2 y 11 del artículo 161 del Reglamento de Organización y Funciones de la Municipalidad Metropolitana de Lima; regular, evaluar, supervisar y fiscalizar los aspectos técnicos y administrativos de la gestión ambiental, así como formular, proponer e implementar, entre otros, instructivos, de acuerdo a su competencia, respectivamente;

Estando a lo dispuesto en la Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades, la Directiva N° 001-2006-MML/GP-SDI "Estructura básica de las comunicaciones escritas y el diseño y empleo de sellos en la Municipalidad Metropolitana de Lima", aprobada mediante Resolución de Alcaldía N° 405 y sus modificatorias, así como en concordancia con la Ordenanza N° 2208, mediante la que se aprueba el Reglamento de Organización y Funciones de la Municipalidad Metropolitana de Lima;

SE RESUELVE:

Artículo Primero.- Aprobar el Instructivo "Lineamientos para evaluar el desempeño en campo de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad ambiental del aire", el mismo que como anexo forma parte de la presente Resolución.

Artículo Segundo.- Disponer la publicación de la presente Resolución y su anexo en el Portal Institucional de la Municipalidad Metropolitana de Lima (www.munlima.gob.pe).

Regístrese, comuníquese y cúmplase.



MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA
GERENCIA DE SERVICIOS A LA CIUDAD Y GESTIÓN AMBIENTAL

XIMENA GARCÍA MALCA
GERENTE

INSTRUCTIVO N° 001-2020-MML-GSCGA

LINEAMIENTOS PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO EN CAMPO DE LOS SENSORES DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

I. OBJETIVO

El presente Instructivo tiene por objeto establecer los lineamientos para evaluar el desempeño en campo de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire, administrados o en uso por la Municipalidad Metropolitana de Lima. Estos lineamientos se basan en el acápite G. del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, aprobado por Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM y la directriz desarrollada por el Distrito de Gestión de la Calidad del Aire de la Costa Sur (SCAQMD).

II. FINALIDAD

Contar con un instructivo que permita evaluar el desempeño de los sensores de bajo costo y generar datos de calidad de aire más confiables, comparables con los Estándares de Calidad Ambiental para Aire vigentes, de acuerdo a lo establecido en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, así como para que estos datos puedan ser integrados a los análisis de calidad del aire en la Municipalidad Metropolitana de Lima, ampliando la cobertura y representatividad de la red de monitoreo existente.

III. ALCANCE

Las disposiciones establecidas en el presente instructivo son de aplicación y cumplimiento obligatorio para el personal de la Subgerencia de Gestión Ambiental que administre o utilice sensores de bajo costo para la evaluación de la calidad del aire.

Asimismo, el presente instructivo es susceptible de ser aplicado por el personal técnico de los órganos desconcentrados, organismos descentralizados y empresas municipales de la Municipalidad Metropolitana de Lima que, en el desarrollo de sus funciones, pudieran administrar o utilizar sensores de bajo costo para la evaluación de la calidad del aire y/o tengan programada su utilización.

IV. BASE LEGAL

- Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades y sus modificatorias.
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente y sus modificatorias.
- Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.
- Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM, Decreto Supremo que Aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire.
- Ordenanza N° 2208 aprueba el Reglamento de Organización y Funciones – ROF, de la Municipalidad Metropolitana de Lima.



V. DEFINICIONES

Para efectos del presente instructivo, se deberá tomar en cuenta las siguientes definiciones:

- a. **Calibración:** Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas, obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación. Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración. En algunos casos, puede consistir en una corrección aditiva (cero) o multiplicativa (span) de la indicación con su incertidumbre correspondiente (Centro Español de Metrología, 2012).
- b. **Contaminante gaseoso o particulado:** Sustancia presente en el aire en concentraciones que pueden dañar a los organismos (humanos, plantas y animales) o exceder los Estándares de Calidad Ambiental para Aire o la norma vigente sobre la materia, el cual se expresa en términos de concentración en microgramo por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- c. **Estación de Monitoreo de Calidad del Aire tipo Control (Estación control):** Es una estación de monitoreo equipada con instrumentos que empleen métodos de referencias y/o equivalentes (FRM y/o FEM) establecidos en la normativa ambiental vigente para el monitoreo de la calidad ambiental del aire, que sean utilizados para medir las concentraciones ambientales de contaminantes gaseosos o particulados para fines de regulación.
- d. **Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera la concentración o grado, podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (Congreso de la República, 2005).
- e. **Evaluación en campo:** Pruebas realizadas a los sensores de bajo costo, ubicados in situ en una estación de monitoreo de calidad del aire tipo control, durante un periodo de tiempo, con la finalidad de realizar una intercomparación entre los procedimientos alternativos de medición aplicados por los sensores de bajo costo y sus correspondientes métodos de referencia y/o equivalentes.
- f. **Incertidumbre de medición:** Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza. El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar, en cuyo caso se denomina incertidumbre estándar de medición (o un múltiplo de ella), o el semiancho de un intervalo con una probabilidad de cobertura determinada. En base a las incertidumbres estándares individuales asociadas a las magnitudes de entrada de un modelo de medición, se obtiene la incertidumbre estándar combinada, ésta se multiplica por un factor de cobertura (mayor que uno) para calcular la incertidumbre expandida. En general, la incertidumbre de medición incluye numerosos componentes, algunos pueden



calcularse mediante una evaluación tipo A de la incertidumbre de medición, a partir de la distribución estadística de los valores que proceden de las series de mediciones, y pueden caracterizarse por desviaciones estándar. Los otros componentes que pueden calcularse mediante una evaluación tipo B de la incertidumbre de medición, pueden caracterizarse también por desviaciones estándar, evaluadas a partir de funciones de densidad de probabilidad basadas en la experiencia u otra información (Centro Español de Metrología, 2012).



- g. **Método de Referencia (FRM):** Los métodos de referencia (FRM, por sus siglas en inglés, Federal Reference Method), de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés), son el "estándar técnico de oro" para el monitoreo de la calidad ambiental del aire, pues aseguran que los datos recolectados en diferentes sitios sean exactos y puedan ser comparables con los resultados obtenidos por diversas redes de monitoreo (Ministerio del Ambiente, 2019).
- h. **Método equivalente (FEM):** Los métodos equivalentes (FEM, por sus siglas en inglés Federal Equivalent Method), de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés), presentan una exactitud similar a los métodos de referencia (FRM) pero se basan en tecnologías de muestreo y/o análisis diferentes. Los resultados obtenidos con estos métodos también son válidos para ser comparados con el ECA para aire (Ministerio del Ambiente, 2019).
- i. **Proponente (Solicitante):** Organización que propone un diseño experimental en el marco del acápite G. del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire.
- j. **Sensor de bajo costo (sensor candidato):** Dispositivo electrónico miniaturizado, el cual, con un costo inicial de compra más reducido en comparación con el costo de adquisición de un solo instrumento que emplee un método de referencia y/o equivalente, mide el mismo parámetro de calidad ambiental del aire o uno similar (World Health Organization, 2018).
- k. **Variabilidad intra-modelo:** Evaluación de la proximidad y el error sistemático, entre los valores obtenidos en mediciones repetidas de un mismo sensor de bajo costo, bajo condiciones especificadas.

VI. DISPOSICIONES DE CARÁCTER GENERAL

6.1 Respecto a los sensores de bajo costo

La Municipalidad Metropolitana de Lima, a través de la Subgerencia de Gestión Ambiental de la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental, y a través del personal técnico de sus órganos desconcentrados, organismos descentralizados y empresas municipales, de ser el caso, al momento de establecer cuáles son los sensores candidatos para llevar a cabo la evaluación y/ o ensayos de campo, deberá tener en cuenta los siguientes criterios:

- El sensor candidato deberá estar disponible comercialmente para su adquisición (no se admiten prototipos), y el mismo deberá cumplir con una declaración de conformidad, de acuerdo a la norma ISO/IEC 17050-1 o Directiva CE.



- El sensor candidato medirá uno o más de los parámetros vigentes establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Aire (ECA - Aire) y que cuenten con método de referencia o equivalente disponible para pruebas en el ámbito nacional.
- El sensor candidato deberá contar con un Límite de Detección y/o Cuantificación igual o menor al 20% del valor ECA - Aire correspondiente al parámetro en evaluación; así mismo, el rango de medición debe contener al estándar antes mencionado.
- El sensor candidato deberá proveer mediciones en tiempo real o cuasi-real. Con el fin de ser considerado para la evaluación, el sensor candidato debe tener la capacidad de almacenamiento de datos y transmisión en línea. También es aceptable el registro de datos a un servidor virtual (ubicado en la "nube"); para este caso, la data deberá registrarse a una plataforma web, a la cual se accederá mediante un usuario y contraseña, generado por el proveedor del sensor candidato, para su descarga.
- El sensor candidato deberá tener la capacidad de funcionar continuamente durante el tiempo de evaluación de desempeño, utilizando Corriente Alterna (AC) o Corriente Continua (CC), contando con las medidas de seguridad eléctrica respectivas (supresor de picos, estabilizador, etc.), con suministro permanente de electricidad.
- El costo de mercado del sensor candidato debe ser menor de 2 500 USD (Garvey, S. et al, 2014). Si un dispositivo se presenta como un conjunto de sensores múltiples para medición de diversos parámetros acondicionados en un sólo módulo, entonces el costo por tipo de contaminante (sensor individual) debe ser menor a 2 500 USD.

6.2 Metodología a aplicar para evaluar el desempeño en campo de los sensores de bajo costo

La Municipalidad Metropolitana de Lima, a través de la Subgerencia de Gestión Ambiental de la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental, y a través del personal técnico de sus órganos desconcentrados, organismos descentralizados y empresas municipales, de ser el caso, deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones generales para la evaluación del desempeño en campo de los sensores de bajo costo:

- El proponente deberá evaluar, bajo su propio costo, el sensor de monitoreo "candidato" en condiciones ambientales, a través de un despliegue sobre el terreno, en una estación de monitoreo de calidad del aire tipo control (en adelante estación control).
- Durante el desarrollo de las pruebas de intercomparación, no se realizarán modificaciones al sensor candidato, ni ajustes a los algoritmos de cálculo o calibración (cero, span y exactitud), el mismo que será operado acorde a la guía del usuario o el manual del fabricante del sensor, para lo cual se realizará como mínimo, una implementación por triplicado. Si se especifica mediante la guía del usuario o el manual del fabricante de los sensores, los mismos pueden ser sometidos a un mantenimiento de rutina durante todo el estudio en campo.
- El mantenimiento de rutina puede incluir (pero no limitado al cambio de filtros de repuesto): la verificación del ratio de flujo volumétrico, sincronizaciones de fecha/tiempo y la evaluación de las opciones de energía: cable, batería, y/o energía solar. Es necesaria una evaluación del formato de salida de datos para garantizar un formato utilizable; asimismo, evaluar la funcionalidad del interruptor de encendido/apagado para probar si los sensores se encienden correctamente.



- Para asegurar un conjunto de datos estadísticamente relevantes, los sensores deberán ser desplegados mínimamente por triplicado (03 sensores de bajo costo que midan el mismo contaminante) y deberán contar como mínimo con un periodo de 30 días por periodo del año (verano e invierno) de información válida colectada (SCAQMD, 2017); no se considerarán los tiempos de estabilización que puedan requerir los sensores candidatos, una vez se encuentren instalados en la estación control seleccionada para este fin (Kunak Technologies, S.L., 2018).
- La implementación en triplicado como mínimo permitiría la estadística necesaria de comparabilidad intra-modelo entre los sensores candidatos y la capacidad de detectar fallos potenciales del mismo o un mal funcionamiento. Los sensores candidatos que cuenten con carcazas/cubiertas robustas y diseñados para diversas condiciones de monitoreo ambiental en exteriores (lluvia, granizo, viento, etc.), estarán montados típicamente sobre la infraestructura de la estación control.

Es preciso mencionar que, la realización de las pruebas de intercomparación se realizarán contando con el asesoramiento técnico de la División de Calidad de Aire y Evaluaciones Ambientales de la Subgerencia de Gestión Ambiental.

A. Validez espacial y temporal del desempeño del sensor candidato

Dado que, el rendimiento global del sensor candidato puede ser afectado por las condiciones ambientales del sitio de monitoreo, el uso de los sensores será válido solo en las zonas que tengan una similitud climática y de fuentes de contaminación, al lugar donde se realizó la evaluación, para lo cual se deberá considerar la delimitación por cuenca atmosférica y/o zona urbana provincial, priorizando la zona nor-este de la ciudad; así como zonas donde las fuentes de emisión sean preponderantes.

Las pruebas de intercomparación deberán realizarse durante dos periodos del año; un periodo que comprenda los meses de verano y el otro los meses de invierno, ello para asegurar la representatividad de las pruebas de intercomparación. Es importante mencionar que, se dará prioridad al periodo del año donde exista una mayor concentración de contaminantes atmosféricos (USEPA).

B. Lugar de instalación del sensor candidato

B.1 Estación de Monitoreo de Calidad del Aire tipo Control (Estación Control)

La estación control, que permitirá realizar las pruebas de desempeño, tendrá como requisito principal, cumplir con lo dispuesto en el "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire" (Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM), o la norma que lo sustituya, el mismo que tiene en consideración determinadas alturas y distancias, según se detalla en la Tabla N° 01:

Tabla N° 01: Criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo

Características	Criterios Técnicos	Otros aspectos a considerar
Altura de la entrada de la muestra (sobre el suelo).	Mínimo 1.5 m y máximo 15 m.	De 1.5 m a 4 m se considera lo más adecuado, teniendo en cuenta que la



Características	Criterios Técnicos	Otros aspectos a considerar
		medición está orientada a la calidad del aire que respiramos.
Distancia horizontal con respecto a obstáculos más altos que el equipo de monitoreo.	Mayor o igual a 2.5 veces la diferencia de alturas (altura del obstáculo – altura de la entrada de la muestra).	Se consideran obstáculos a cualquier barrera física como paredes, edificaciones, árboles, entre otros.
Distancia horizontal respecto de fuentes de emisión cercanas.	Mayor o igual a 20 m; o desde los linderos hacia el exterior, en el caso de actividades extractivas, productivas o de servicios ubicadas en zonas urbanas.	Si la estación de monitoreo utiliza la energía eléctrica de un motor a combustión (grupo electrógeno), éste debe encontrarse alejado como mínimo a 50 m al sotavento de la estación.
Distancia horizontal entre dos equipos de monitoreo en la misma estación.	Mayor o igual a 2 m, cuando uno de los equipos de monitoreo utilice flujos mayores a 200 litros por minuto.	
	Mayor o igual a 1 m, cuando ambos equipos de monitoreo utilicen flujos menores o iguales a 200 litros por minuto.	
Restricciones de flujo de aire hacia la estación de monitoreo.	La estación de monitoreo debe estar ubicada de tal manera que los obstáculos no eviten el ingreso de flujos de aire en al menos 3 de los 4 cuadrantes (Norte, Oeste, Este y Sur).	Una mayor restricción de flujos de aire libre pudiera afectar la representatividad espacial de la estación de monitoreo.

FUENTE: MINAM, 2019

En general, los criterios técnicos indicados en la Tabla N°1, deben ser cumplidos para asegurar la confiabilidad de los resultados. Excepcionalmente, de presentarse dificultades por razones de accesibilidad, seguridad, disponibilidad de energía eléctrica u otros factores, los equipos de monitoreo pueden ser instalados, aunque no se cumpla con exactitud alguno de los criterios indicados, siempre que se asegure que la ubicación de la estación no afectará el cumplimiento del objetivo de monitoreo, lo cual debe ser sustentado con documento técnico (MINAM, 2019). Asimismo, deberá contar con las características que se presentan a continuación:

- Deberá contar con equipos de medición de partículas, gases contaminantes y variables meteorológicas, cuya información generada servirá para fines regulatorios.
- La estación control incluirá equipos que empleen metodologías de referencia y/o equivalentes de acuerdo a la Tabla 6 del Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM, en los parámetros escogidos a monitorear.
- En concordancia con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, los resultados generados por la estación control deberán ser proveídos por organizaciones que cuenten con la acreditación respectiva del Instituto Nacional de Calidad - INACAL.
- Los puntos de entrada de aire de los equipos de referencia y/o equivalentes deben ubicarse a la misma altura sobre el nivel del suelo, y a un máximo de 4 metros de distancia horizontal para proporcionar una mejor información estadística de los resultados globales; de igual



manera, deben estar orientados de manera tal que se minimicen los efectos especiales climáticos y direccionales del viento en la recolección de muestras.

Los datos de la estación control (información de concentración de calidad de aire y variables meteorológicas medida durante el proceso de evaluación) y data histórica, deben ser enviados en tiempo real al servidor, para que la Municipalidad Metropolitana de Lima pueda incluirlos en su informe de intercomparación. Se indican a continuación algunos datos relevantes a considerar:

- Nombre de la estación
- Coordenadas UTM WGS84
- Altitud (msnm)
- Dirección
- Distrito/Provincia/Departamento
- Distancia de vías terrestres (en metros)
- Cobertura superficial (ejemplo: asfalto, cemento, arena, etc.)
- Entorno de monitoreo (ejemplo: urbano, periurbano, rural, etc.)
- Parámetros monitoreados
- Equipo de monitoreo oficial, marca, modelo, serie
- Método de monitoreo
- Principio de medición
- Institución gestora de la estación de monitoreo de calidad del aire tipo control
- Laboratorio Analítico de respaldo y número de registro de acreditación ISO 17025
- Escala espacial del monitoreo (ejemplo: microescala, local, etc.)
- Altura de la toma de muestra (m)
- Otros, que influyan en la interpretación de los resultados generados.

En caso se tenga más de una estación control para la realización de las pruebas de intercomparación, se elegirá aquella estación con el menor número de datos faltantes, en base al análisis histórico de los datos monitoreados por las estaciones disponibles.

B.2 Factores Específicos del Sitio de Pruebas

Los factores que pueden afectar las pruebas del sensor candidato incluyen:

- La ubicación del sitio de pruebas.
- La geografía de la zona.
- El periodo de exposición del sensor candidato.
- Las condiciones meteorológicas (Temperatura, Humedad Relativa, Velocidad/Dirección del Viento, Presión Atmosférica, etc.)
- Batería agotada y pérdida de energía
- Influencia causada por un contaminante diferente al que se está midiendo.
- El tipo de fuentes de emisión en el área de estudio.
- Efecto memoria del sensor
- Interferencias causadas por campos electromagnéticos



B.3 Condiciones ambientales exteriores

Los sensores de monitoreo de calidad de aire se deben colocar y probar el funcionamiento de los mismos, al lado de los equipos que empleen métodos de referencia (FRM) o métodos equivalentes (FEM), lo cuales se utilizan habitualmente para medir las concentraciones de los contaminantes del aire para fines de regulación.

C. Métodos analíticos para el Monitoreo de la Calidad del Aire

La lista de métodos designados como referentes (FRM) o equivalentes (FEM) para el monitoreo de la calidad del aire, se encuentra actualizada en la web de la EPA (USA). Asimismo, en el Perú, el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) cuenta con normas técnicas peruanas referidas a métodos de ensayo normalizados, las cuales también son válidas para su citado.

Es recomendable la consulta continua de los mencionados listados por parte de los proponentes, para un adecuado criterio de decisión al momento de emplear una estación oficial de monitoreo y/o un laboratorio analítico para las pruebas de intercomparación.

D. Procedimientos de Testeo de Campo

Antes del inicio de la evaluación del sensor candidato, se debe realizar una prueba de rendimiento en la estación control. La prueba de rendimiento consiste en:

- La evaluación de las opciones de energía: cables, baterías, energía solar, etc.
- La evaluación de las opciones de adquisición de datos: almacenamiento local, registro de datos portátiles, transmisión a la nube, etc.
- La evaluación del formato de salida de los datos, para asegurar un formato útil.
- Evaluar la funcionalidad de encendido/apagado de los sensores candidatos, para asegurar si funcionan apropiadamente.

Al pasar con éxito la prueba de rendimiento, los sensores candidatos son presentados a los representantes de la estación de monitoreo de calidad del aire tipo control. Si el equipo está construido sólidamente, para resistir las inclemencias del tiempo, el sensor puede estar montado en una barandilla, fuera de la estación. Si el sensor no es reforzado o no es montable, el mismo deberá ser colocado al interior de una estructura que lo proteja de las condiciones de monitoreo ambientales. Se debe proporcionar energía adecuada para los equipos, para lo cual se recomienda utilizar estabilizadores de voltaje para evitar daños a los dispositivos (Castelar, 2019); mientras que la adquisición de datos se establece de acuerdo con las especificaciones de fabricación de los respectivos sensores candidatos. La comprobación puede realizarse a criterio del operador, previa coordinación con los representantes de la estación control.

E. Evaluación del Sensor Candidato

La evaluación de campo de los sensores candidatos está basada en una comparación lado a lado entre los sensores de prueba y el instrumento con el método FRM / FEM referido al mismo contaminante a determinar. El sensor o conjunto de sensores candidatos (agrupados en un módulo), deben ser colocados a una distancia mínima de 30 cm y máxima de 2 metros (distancia horizontal) respecto a la toma de muestra de la estación control; asimismo, se ubicará a la misma



altura (distancia vertical) de la toma de muestra del equipo FRM/FEM, ello con el objetivo de proporcionar una mejor información estadística de los resultados globales. Son evaluadas una serie de parámetros relacionados con el rendimiento, los cuales afectarían las mediciones de calidad de aire en el campo. Tales parámetros incluyen:

- a) Recuperación de datos
- b) Variabilidad intra-modelo
- c) Coeficiente de variabilidad (precisión)
- d) Coeficiente de correlación de Pearson (r)
- e) Raíz del error cuadrático medio (RMSE)
- f) Coeficiente de determinación (R^2)
- g) Incertidumbre expandida de medición (U)

a) Recuperación de datos

La recuperación de datos es calculada usando una ratio (en %) del número de puntos de datos válidos del sensor de prueba sobre el número total de puntos de datos recogidos durante el período de evaluación (por ejemplo, 24 horas de pruebas, con una resolución de 5 minutos en tiempo, generaría una data de 252 datos en cada día). La integridad de la data es un factor importante para la producción de datos fiables y representativos, como se indica en las directrices de la EPA para la recopilación de datos regulatorios:



$$Data\ Recuperada\ (\%) = \frac{N_{data\ válida}}{N_{Periodo\ testeado}} * 100$$

Donde:

$N_{data\ válida}$, es el número de puntos de datos válidos generados por el sensor candidato durante el período de prueba

$N_{Periodo\ testeado}$, es el número total de puntos de datos para el período de prueba (desde el inicio hasta el fin)

Se propone un ejemplo: "Suponga que desea tomar datos por hora y promediarlos a 24 horas. Ahora supongamos que uno de los períodos de 24 horas en sus datos tenía solo 18 de 24 horas de datos utilizables. Ahora suponga que decide que necesita que cada período de 24 horas esté completo al 90%. En este ejemplo, no hay suficientes puntos de datos utilizables para cumplir este requisito, dado que los datos solo están completos en un 75% ($18/24 * 100 = 75\%$), entonces un promedio no sería reportado para ese período de 24 horas."

Cuanto más puntos de datos estén disponibles para promediar (mayor porcentaje de integridad de datos), cuanto mejor sea ese promedio, representa todo el período de medición. El criterio de aceptación para este parámetro está establecido en Tabla N° 02, según lo siguiente:

Tabla N° 02: Criterio de aceptabilidad para la recuperación de datos

Contaminante	Período	Recuperación de datos (%)
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 hrs	> 80%
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hr	
PM _{2,5}	24 hrs	
PM ₁₀	24 hrs	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hr	



	8 hrs	
Ozono (O ₃)	8 hrs	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 hrs	

FUENTE: Adaptado de USEPA, 2014

b) Variabilidad intra-modelo

La variabilidad intra-modelo está relacionada con cuán cerca se encuentran las mediciones generadas por los sensores de prueba instalados y en funcionamiento en el mismo momento, uno al lado del otro. Esta característica se evalúa a través de un conjunto de parámetros estadísticos descriptivos:

- **La media muestral**

$$\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Donde:

n : número de datos de la muestra

X_i : i -ésimo valor puntual de cada muestra obtenida del sensor de prueba en un determinado periodo de tiempo

- **La desviación estándar**

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2}{n - 1}}$$

Donde:

n : número de datos de la muestra

X_i : i -ésimo valor puntual de cada muestra obtenida del sensor de prueba en un determinado periodo de tiempo

\bar{X}_n : media muestral obtenida de los n datos del sensor de prueba en un determinado periodo de tiempo

c) El coeficiente de variabilidad (precisión)

$$CV\% = \frac{s}{\bar{X}_n} \times 100$$

Donde:

\bar{X}_n : media muestral obtenida de los n datos del sensor candidato

s : desviación estándar de las mediciones

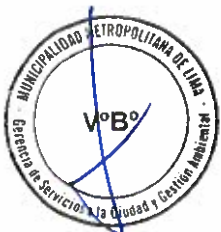
d) Sesgo (BIAS)

El sesgo evalúa la diferencia entre la media de las mediciones observadas y un valor de referencia. El sesgo indica cuál es la exactitud del sistema de medición cuando se compara con un valor de referencia.

$$BIAS = \bar{X}_n - VR$$

Donde:

\bar{X}_n : media muestral obtenida de los n datos del sensor candidato



VR: valor de referencia

La Tabla N° 03 proporciona pautas iniciales sobre qué tan bien debe funcionar un sensor para ser utilizado en diferentes tipos de aplicaciones de contaminación del aire. Los objetivos de rendimiento sugeridos son diferentes para cada una de las cinco áreas de aplicación (niveles). El Nivel V es el nivel de calidad más alto discutido, representando la aplicación de monitoreo regulatorio. Las aplicaciones en niveles más bajos tienen objetivos de rendimiento menos estrictos.

Tabla N° 03: Objetivos de rendimiento sugeridos para cada aplicación

Nivel	Área de aplicación	Contaminantes	Error de precisión y sesgo	Justificación
I	Educación e Información	Todos	< 50%	El error de medición no es tan importante como simplemente demostrar que el contaminante existe en un amplio rango de concentración
II	Identificación y caracterización de puntos críticos	Todos	< 30%	Aquí se necesita una mayor calidad de datos para garantizar que el contaminante de interés no solo exista en la atmósfera local, sino también en una concentración cercana a su verdadero valor.
III	Monitoreo Suplementario	Criterios contaminantes, tóxicos del aire	<20%	El monitoreo suplementario podría tener valor al proporcionar potencialmente datos adicionales de calidad del aire para complementar los monitores existentes. Para ser útil al proporcionar tales datos complementarios, debe ser de calidad suficiente para garantizar que la información adicional esté ayudando a "llenar" las brechas de monitoreo en lugar de hacer que la situación sea menos comprendida.
IV	Exposición personal	Todos	<30%	Muchos factores pueden influir en las exposiciones personales a los contaminantes del aire. Los errores de precisión y sesgo sugeridos aquí son representativos de los reportados en la literatura científica bajo una variedad de circunstancias. Las tasas de error superiores a estas dificultan la comprensión de cómo, cuándo y por qué se han producido exposiciones personales.
V	Para Monitoreo Regulatorio	O ₃ CO, SO ₂	<7% <10%	Se necesitan mediciones precisas para garantizar que se obtengan datos de



Nivel	Área de aplicación	Contaminantes	Error de precisión y sesgo	Justificación
		NO ₂ PM _{2.5} , PM ₁₀	<15% <10%	alta calidad para ser comparados con los requisitos reglamentarios

FUENTE: Adaptado de USEPA, 2014

e) Coeficiente de correlación de Pearson (r)

Este parámetro caracteriza la presencia de una relación lineal entre el sensor candidato y el método de referencia o equivalente, es el criterio de correlación más utilizado. Este coeficiente se obtiene a partir de:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde:

σ_{xy} : covarianza de x,y

σ_x : desviación estándar de la muestra obtenida del sensor de prueba en un determinado período de tiempo

σ_y : desviación estándar de la muestra obtenida del método de referencia o método equivalente en un determinado período de tiempo

El coeficiente de correlación de Pearson se expresa mediante un signo y una magnitud de la tendencia entre dos variables. El signo, nos indica la dirección de la relación: un valor positivo indica una relación directa y un valor negativo indica una relación inversa. La magnitud, indica el nivel de correlación (el cual va de 0 a 1), es decir, cuanto más cercano sea el valor a 1, mayor será la tendencia de las variables.

f) Raíz del error cuadrático medio (RMSE)

Este parámetro mide el nivel de error existente entre dos grupos de datos, según lo siguiente:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n - 1}}$$

Donde:

n : número de datos de la muestra

\hat{y}_i : i-ésimo valor puntual de cada muestra obtenida del sensor de prueba en un determinado período de tiempo

y_i : i-ésimo valor puntual de cada muestra obtenida del método de referencia o método equivalente en un determinado período de tiempo

g) Coeficiente de Determinación (R^2)

Este parámetro expresa la fuerza de la relación entre las concentraciones determinadas por las mediciones de la tecnología propuesta y las correspondientes a los equipos que emplean métodos de referencia (FRM) o equivalentes (FEM). El conjunto de datos emparejados será correlacionado mediante regresión lineal, obteniéndose una curva respectiva y su correspondiente R^2 :



$$r_{xy}^2 = \left[\frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \right]^2$$

Donde:

n : número de datos de la muestra del sensor de prueba y del equipo oficial

X_i : i-ésimo valor puntual de cada muestra obtenida del sensor de prueba en un determinado período de tiempo

Y_i : i-ésimo valor puntual de cada muestra obtenida del equipo oficial en un determinado período de tiempo

Un R^2 cercano a 1 reflejará una correlación casi perfecta entre las lecturas de la tecnología propuesta y las del equipo que emplea el método FRM o FEM, mientras que un valor cercano a 0 indicará una casi completa falta de correlación entre los grupos de datos generados.

Para el presente instructivo, se establecen determinados valores de R^2 , dependiendo del contaminante a evaluar:

Tabla N° 05: Criterio de aceptabilidad para R^2

Contaminante	Período	R^2 *
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 hrs	≥ 0,50
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hr	≥ 0,75
PM _{2,5}	24 hrs	≥ 0,75
PM ₁₀	24 hrs	≥ 0,75
Monóxido de Carbono (CO)	1 hr	≥ 0,50
	8 hrs	≥ 0,50
Ozono (O ₃)	8 hrs	≥ 0,50
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 hrs	≥ 0,50

FUENTE: Adaptado de USEPA-2018 & EC-JRC-2019

* Valores establecidos en función a una recopilación de los desempeños de tecnologías basadas en sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad ambiental del aire en experiencias internacionales.

Finalmente, se deberá indicar el rango de concentración del contaminante evaluado, sobre el cual se calculó el coeficiente de determinación.

h) Incertidumbre expandida de medición (U)

Este parámetro será calculado en base a la evaluación Tipo A de la incertidumbre típica y la incertidumbre combinada de medición (JCGM 100: 2008). Al respecto, se debe calcular la incertidumbre típica (u), según lo siguiente:

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2}{n(n-1)}}$$

Donde:

n : número de datos de la muestra

X_i : i-ésimo valor puntual de cada muestra obtenida del sensor de prueba en un determinado período de tiempo

\bar{X}_n : media muestral obtenida de los n datos del sensor de prueba en un determinado período de tiempo



Dado que las magnitudes evaluadas están correlacionadas significativamente, se procede a calcular la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$, en base a la varianza combinada. Es preciso mencionar que, la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ es la raíz cuadrada positiva de la varianza combinada $u_c^2(y)$:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j)$$

Donde:

$u_c^2(y)$: varianza combinada

n : número de datos de la muestra

f : relación funcional de la medición

X_i : i-ésimo valor puntual de cada muestra obtenida del sensor de prueba en un determinado período de tiempo

X_j : j-ésimo valor puntual de cada muestra obtenida del método de referencia o método equivalente en un determinado período de tiempo

x_i, x_j : estimaciones de X_i y X_j

$u(x_i, x_j)$: covarianza asociada a x_i, y_i

Finalmente se procede a calcular la incertidumbre expandida de medición (U), según la siguiente ecuación:

$$U = k u_c(y)$$

Donde:

k : factor de cobertura (mayor a 1)

$u_c(y)$: incertidumbre típica combinada obtenida del sensor de prueba en un determinado período de tiempo

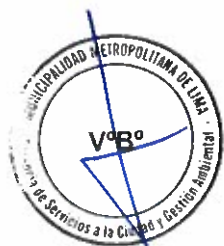
Para el presente instructivo, se tendrá en consideración los valores de incertidumbre de las mediciones indicativas establecidas en el documento técnico de la Comunidad Europea (2008) "Directiva 2008/50/CE - relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa".

Tabla N° 06: Criterio de aceptabilidad para incertidumbre de medidas indicativas

Contaminante	Período	U^*
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 hrs	25%
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hr	25%
PM _{2.5}	24 hrs	50%
PM ₁₀	24 hrs	50%
Monóxido de Carbono (CO)	1 hr	25%
	8 hr	25%
Ozono (O ₃)	8 hrs	30%
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 hrs	25%

FUENTE: Directiva 2008/50/CE, 2008

* Los porcentajes de incertidumbre del cuadro anterior se refieren a mediciones individuales tomadas durante el período considerado por el valor límite (ECA-Aire), para un intervalo de confianza del 95 %



F. Análisis de Data

La data de los sensores candidatos junto con los métodos de referencia y/o métodos equivalentes son validados en primer lugar siguiendo los procedimientos de control de calidad y aseguramiento de la calidad (QA/QC) básicos (es decir, eliminación de valores negativos, valores ceros y puntos de data inválida); sin embargo, la data no validada debe ser anexada en el informe técnico con los resultados de la evaluación de desempeño en campo de los sensores de bajo costo; para la estación control, se deberán suprimir aquellos valores alfabéticos que presenten datos invalidados, no medidos o resultados por debajo del rango mínimo detección (Roncancio, L., 2019).

La data válida es uniformizada a las consideraciones de tiempo (se recomienda trabajar con datos promediados de cinco minutos, expresados en microgramos por metro cúbico, según Garvey (2014); para ello, se efectuará una revisión del número de datos totales medidos por la estación control y los medidos por el sensor candidato para contrastar la cantidad de datos medidos por ambos, así como por las indicadas en los Estándares de Calidad Ambiental (01, 08, 24 horas); además, se realizan las correlaciones estadísticas donde coincidan los periodos de tiempo en los cuales hay mediciones para el sensor candidato y la estación control.

Asimismo, se lleva a cabo un análisis estadístico para evaluar cuantitativamente los parámetros descritos en el presente instructivo. Finalmente, el análisis respectivo se realizará utilizando un software estadístico o en su defecto un software basado en un lenguaje de programación, que permita el procesamiento de la data proveniente de la intercomparación.



VII. DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS

7.1 Evaluación de desempeño de los sensores de bajo costo

Se debe de reconocer que la evaluación ambiental en exteriores (campo) para los sensores de calidad de aire es limitada en algunos aspectos. En primer lugar, al igual que muchas otras evaluaciones de campo, el entorno ambiental es específico para su ubicación, así como la época del año en la cual se realizarían las pruebas de intercomparación. El entorno ambiental podría ni ser controlado ni duplicado.

Los factores que influyen en la evaluación del rendimiento del sensor proponente son los siguientes:

- Valores anormalmente altos o bajos (valores atípicos): Puntos de datos que parecen fuera de lugar mucho más bajo o más alto que los puntos de datos cercanos.
- Patrones esperados: podrían ser estacionales, diurnos / nocturnos o de lunes a viernes / fines de semana. La ausencia de patrones esperados puede indicar un problema con su sensor o con su enfoque de medición.
- Interferencia co-contaminante: Respuesta de medición positiva o negativa causada por un contaminante diferente al que se está midiendo; asimismo condiciones, suciedad, polvo e insectos.
- Influencias de la temperatura (T) y la humedad relativa (RH): Respuesta de medición positiva o negativa causada por variaciones en la temperatura ambiente T y RH.



- Deriva o cambio: Un cambio gradual (deriva) o repentino (cambio) en la respuesta de un sensor a las características con el tiempo - pueden ser positivas o negativas - pueden llevarlo a concluir que las concentraciones han aumentado o disminuido con el tiempo.

7.2 Reporte de los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de la evaluación del desempeño en campo de los sensores de bajo costo, deberán ser recopilados en un informe técnico elaborado con el asesoramiento técnico de la División de Calidad de Aire y Evaluaciones Ambientales de la Subgerencia de Gestión Ambiental. El contenido del informe técnico se detalla en el Anexo N° 01. De igual manera, se brindarán recomendaciones a futuro, según las circunstancias o problemas encontrados durante el proceso para promover la mejora de la realización del proceso de intercomparación.

7.3 Accesibilidad de la información

Con el objetivo de dar cumplimiento al acápite G, del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, la Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente podrá participar, en calidad de observador, de todas las fases de la prueba de intercomparación. Para tal efecto, el proponente brindará las facilidades de accesibilidad y seguridad que resulten necesarias, lo que incluye el acceso físico y virtual, tanto a lo concerniente a los equipos que emplean metodologías de referencia y/o equivalente, así como los equipos que emplean el procedimiento de medición alternativo (visita de campo, disponibilidad de información y datos recopilados).

7.4 Promoción de investigación científica

Con el fin de promover la investigación científica y alianzas interinstitucionales con diferentes actores de la sociedad civil, se generará material informativo que podrá ser difundido con el objetivo de promover el desarrollo de tecnologías basadas en sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire, lo cual será gestionado por la División de Calidad de Aire y Evaluaciones Ambientales de la Subgerencia de Gestión Ambiental.

VIII. DISPOSICIONES FINALES

8.1 Evaluación de desempeño de los sensores de bajo costo

La Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental a través de la Subgerencia de Gestión Ambiental queda encargada de supervisar el estricto cumplimiento de las disposiciones establecidas en el presente instructivo.

8.2 Aspectos no contemplados

Los aspectos no contemplados en el presente instructivo serán resueltos por la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental, teniendo en cuenta las normas emitidas sobre la materia.

8.3 Conflictos o discrepancia

En caso de conflicto o discrepancia entre lo señalado en el presente instructivo y las normas vigentes sobre la materia que resulten aplicables, prevalecerá lo dispuesto en estas últimas.



IX. FUENTES OFICIALES

Para la elaboración del presente instructivo, se recibieron los aportes y comentarios de fuentes oficiales tales como diferentes autoridades e instituciones nacionales e internacionales, relacionadas al monitoreo y evaluación de la calidad ambiental del aire, por lo que se agradece todo el apoyo brindado, entre las cuales se tiene a las siguientes:

- United States Environmental Protection Agency – USEPA
- Organización Panamericana de la Salud - OPS
- The South Coast Air Quality Management District - SCAQMD
- Universidad Nacional de Colombia - UNAL
- Kunak Technologies, S.L.
- Proyecto colombiano CanAirIO
- TD Environmental Services, LLC
- Ministerio del Ambiente – MINAM
- Circulo de Investigación de Ingeniería Gestión y Tecnología de Contaminación de Aire y Ruido de la Universidad Nacional Agraria La Molina – CI INGETCAR
- Grupo QAIRA S.A.C.
- Investigadoras: Yovitza Romero Ramos y Carol Ordoñez Aquino

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castelar, G. (2019). Comparación entre tres muestreadores de material particulado (PM 2.5), en el campus de la UNALM. (Tesis de Pre grado en Ing. Ambiental). Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Centro Español de Metrología. (2012). Vocabulario internacional de metrología: Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). Tercera edición.
- Congreso de la República. (2005). Ley N° 28611: Ley General del Ambiente y sus modificatorias.
- Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire y a una atmósfera más limpia en Europa.
- European Commission - Joint Research Centre (EC-JRC). (2019). Review of sensors for air quality monitoring – JRC116534 [Revisión de sensores para monitoreo de la calidad del aire – JRC116534].
- Garvey, S. et al. (2014). Evaluation of Field-deployed Low Cost PM Sensors. In U.S. Environmental Protection Agency. [Evaluación de sensores de PM de bajo costo implementados en campo. En la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos].
- ISO/IEC 17050-1 Conformity assessment - Supplier's declaration of conformity - Part 1: General requirements [Evaluación de la conformidad - Declaración de conformidad del proveedor - Parte 1: Requisitos generales].
- JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement [Evaluación de datos de medición: guía para la expresión de la incertidumbre en la medición]. 1st edition.
- Kunak Technologies, S.L. (2018). Co-location field study – Full report: Sevilla (Spain) [Estudio de campo de coubicación - Informe completo: Sevilla (España)].
- Ministerio del Ambiente. (2019). Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM: Decreto Supremo que aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire.



- Roncancio, L. (2019). Evaluación del desempeño de sensores de bajo costo como complemento para el monitoreo de la calidad del aire de Bogotá y como herramienta para la determinación del grado de exposición de una población caso de estudio (Tesis de maestría en Ing. Ambiental). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- South Coast Air Quality Management District (SCAQMD). (2017). Field Evaluation of Low-Cost Air Quality Sensors [Evaluación de campo de sensores de calidad del aire de bajo costo].
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). How to Evaluate Low-Cost Sensors by Collocation with Federal Reference Method Monitors [Cómo evaluar sensores de bajo costo por colocación con monitores de método de referencia federal]. Disponible en: <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/air-sensor-collocation-instruction-guide>
- United States Environmental Agency (USEPA). (2014). Air Sensor Guidebook – EPA 600/R-14/159 [Guía del sensor de aire – EPA 600/R-14/159].
- United States Environmental Agency (USEPA). (2018). EPA/600/R-18/324: Peer Review and Supporting Literature Review of Air Sensor Technology Performance Targets [EPA / 600 / R-18/324: Revisión por pares y revisión de la literatura de respaldo de los objetivos de desempeño de la tecnología de sensores de aire].
- World Health Organization (WHO). (2018). Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: Overview of topic and future applications [Sensores de bajo costo para la medición de la composición atmosférica: Descripción general del tema y aplicaciones futuras].



ANEXO N° 01

**INFORME TÉCNICO CON LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO EN CAMPO DE
LOS SENSORES DE BAJO COSTO**

1. BASE LEGAL
2. ANTECEDENTES
3. OBJETIVOS
4. INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE TIPO CONTROL
5. INFORMACIÓN TÉCNICA DEL SENSOR CANDIDATO
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
8. CONCLUSIONES
9. RECOMENDACIONES
10. BIBLIOGRAFÍA
11. ANEXOS (CADENA DE CUSTODIA, CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS, PRUEBAS ESTADÍSTICAS, REGISTRO FOTOGRÁFICO, ETC)

