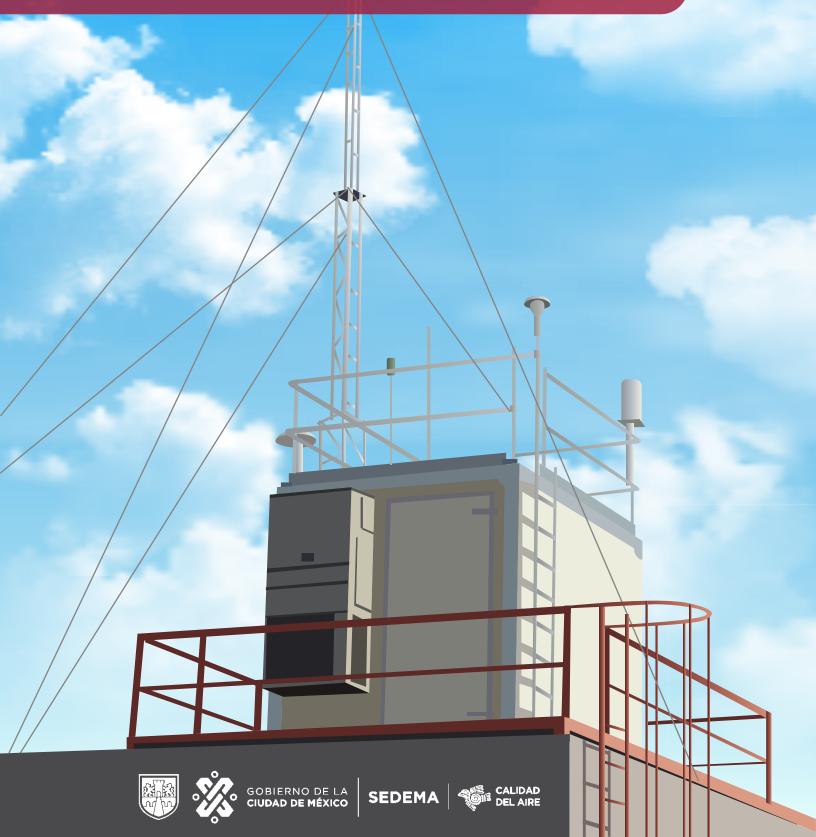
CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO FÍSICO Y DE LA REPRESENTATIVIDAD EN LAS ESTACIONES DEL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO





Integración del documento

Mónica Jaimes Palomera, Cintia Gabriela Reséndiz Martínez, Francisco Luna Falfan, Antonio Terrazas Ahumada, Milena Lemes Rosales.

Revisión del documento

Olivia Rivera Hernández

Recolección y validación de datos

Alejandro Jonathan Gallardo Pérez, Jorge Lara Osorio

Citar este documento como:

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2021. Caracterización, evaluación y análisis del entorno físico y de la representatividad en las estaciones del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México. Dirección General de Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo de Calidad del Aire.

La información contenida en este documento es el resultado de un trabajo de equipo realizado por el personal técnico operativo de la Dirección de Monitoreo de Calidad del Aire, quienes cada día realizan un esfuerzo importante con dedicación y compromiso.

Dirección de Monitoreo de Calidad del Aire

Olivia Rivera Hernández

Subdirección de Análisis y Modelación

Mónica Jaimes Palomera, Alejandro Jonathan Gallardo Pérez, Cintia Gabriela Reséndiz Martínez, Antonio Terrazas Ahumada, Francisco Luna Falfan, Eduardo Preciado Martínez, Sofia Fernanda Moreno Gillestegui, Citlali Mendoza Munguia, Víctor Jorge Taracena Morales, Laura Edith Ocampo Trejo, Jorge Lara Osorio.

Subdirección de Análisis Meteorológico

Alfredo Alfonso Soler, Milena Lemes Rosales, José Ávalos Torres.

Subdirección de Monitoreo de Calidad del Aire

J. J. Miguel Sánchez Rodríguez, Alfonso López Medina, Jorge Juan Domínguez Ochoa, Arturo Galicia Zepeda, Juan Manuel Campos Díaz, Julio César Argueta Rodríguez, Fernando Alonso Vega Bernal, Adrián Pérez Narváez, Antonio Silva Hernández, José Gabriel Elías Castro, Salvador Cervantes Garduño, Eugenio Rafael López Arredondo, Eloy Contreras Sánchez, Jorge Hernández Hernández, Jorge Alberto Rodas Rivera, Jesusyael Jiménez Valdez, Ángel César Sánchez Martínez, Luis Adrián Cruz Alavez, Ernesto González Carmona, José Salvador Juárez Mendoza, María del Rocío Carmona Mártir, Fernando Serralde Medina, Jesús Arriaga Falconi, Oscar Hernández Castillo, Anabel Rivera Arenas, María Dolores Maya Rojas, Viviana Jacqueline Campos Torres, Donaldo Manuel Godínez Ángeles, Ulises Josué López Fabián, Daniel Alejandro Rivera Ávila, Abraham López Dorantes, María Luisa Quintanar Chávez, Fernando Reyes Sandoval, Mariana Ramos Cerón.

Subdirección de Sistemas y Comunicaciones

José Luis del Río Jáuregui, Juan Manuel Arriaga Cosío, Mauricio Hernández Mote, Leyda Castro Rodríguez, Julio César Martínez Alpízar, Gabriela Hernández Cruz, María Gabriela Holguín Pacheco, Víctor Octavio Valdés Espinosa, Jorge Cornejo Martínez, Carlos Iván Aróstegui Gallardo, Víctor Manuel Muñoz Valladares, Luis Enrique Ruíz López, Ramón Gaona Díaz.

Administración

Margarita Barrientos Contreras, Francisco Serrano Vázquez, Xóchitl Loretto Carmona, Carla Fernanda Mayorga Domínguez, Gerardo Samuel López Venegas, Adriana Ramírez Tecla.



Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES	3
1.1. ESTADO ACTUAL DEL MONITOREO CONTINUO DEL SIMAT	5
1.1.1. RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO (RAMA)	6
1.1.2. RED DE METEOROLOGÍA Y RADIACIÓN SOLAR (REDMET)	
2. CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO FÍSICO Y DE LA	
REPRESENTATIVIDAD EN LAS ESTACIONES DE LA RAMA	
2.1. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO FÍSICO DE LAS ESTACIONES DE LA RAMA	12
2.2. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL ENTORNO FÍSICO DE LAS ESTACIONES DE LA RAMA	\ 17
2.2.1. Objetivo	17
2.2.2. Método	17
2.2.2.1. Evaluación de las estaciones con datos de viento	17
2.2.2.2. Evaluación de las estaciones sin datos de viento	21
2.2.3. Resultados de la evaluación del entorno físico de la RAMA	22
2.3. REPRESENTATIVIDAD DE LAS ESTACIONES: RAMA	26
2.3.1. Objetivo	27
2.3.2. Método	
2.3.3. Resultados del método de representatividad	31
2.4. RESULTADO DE LA CARACTERÍZACIÓN, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO FÍSICO Y DE LA REPRESENTATIVIDAD EN LAS ESTACIONES DE LA RAMA	51
3. CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO FÍSICO Y DE LA	
REPRESENTATIVIDAD EN LAS ESTACIONES DE LA REDMET	55
3.1. CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL ENTORNO FÍSICO DE LAS ESTACIONES DE LA REDMET	56
3.1.1. Objetivo	
3.1.2. Método	
3.1.2.1. Clasificación de las zonas climáticas urbanas	
3.1.2.2. Clasificación de las estaciones por la rugosidad	
3.1.2.3. Evaluación la ubicación de los sensores de viento	59
3.1.2.4. Evaluación la ubicación de los sensores de temperatura	62
3.1.2.5. Evaluación la ubicación de los sensores de humedad y radiación UV	63
3.1.2.6. Elaboración de los metadatos por estación	64
3.2. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN, ANÁLISIS DEL ENTORNO FÍSICO Y DE LA	
REPRESENTATIVIDAD EN LAS ESTACIONES DE LA REDMET	
4. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS PARA LA MODIFICACIÓN EN LOS SITIO	
DE LA RAMA Y REDMET	
5. REFERENCIAS	76



INTRODUCCIÓN

El monitoreo atmosférico es una herramienta útil en la evaluación de la calidad del aire y proporciona la información necesaria para el establecimiento o revisión de políticas de regulación y control. El monitoreo a largo plazo empleando procedimientos adecuados y prácticas de calidad, provee información confiable para científicos y tomadores de decisiones sobre los cambios en la tendencia de los contaminantes y el estatus de la composición guímica en la atmósfera.

Por esta razón, es esencial que el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Ciudad de México funcione correctamente en todos los aspectos operativos, de representatividad espacial y entorno físico, para garantizar que la información proporcionada sea confiable para los tomadores de decisiones, así como avisar oportunamente a la población sobre el estado de la calidad del aire en donde viven.

Es importante mencionar que la evolución de las zonas metropolitanas, ocasionada por el crecimiento poblacional y urbano, el cambio del uso de suelo y en las fuentes de emisión, los avances tecnológicos, entre otros; provocan cambios en la atmósfera, en el suelo y entorno general. Para el caso de los sitios de monitoreo, esta modificación en el entorno físico puede ser fundamental en la representatividad de las estaciones, así como un impacto en las mediciones que se están registrando en el sitio. Debido a estos factores, es necesario realizar una revisión periódica de las estaciones para comprobar que no existan elementos que pudieran interferir o afectar la medición de los contaminantes y parámetros meteorológicos. La Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), recomiendan que se realice periódicamente este diagnóstico de las estaciones para garantizar su representatividad y de ser necesario modificar, suprimir, relocalizar o establecer nuevas estaciones (US EPA, 1998; WHO, 1980).

El SIMAT, realiza cada dos años una evaluación de los entornos físicos y en caso necesario ejecuta acciones correctivas o sugiere la modificación o reubicación de los sitios que, por los cambios en su entorno ya no garantizan la representatividad de la información que colectan y no puedan cumplir con los objetivos de monitoreo para los que fueron establecidas. El estudio de campo se realizó durante 2017 y 2019, los hallazgos y mejoras del entono no se pudieron llevar a cabo, debido a la pandemia por COVID 19, que correspondían al periodo 2020 y 2021, este tendrá un retraso de dos años más y para el siguiente reporte que se efectuará en 2022 y 2023 se evaluaran las acciones.



OBJETIVO GENERAL

Evaluar y clasificar cada una de las estaciones que conforman el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, con base en su entorno físico y su escala de representatividad para cada contaminante y parámetro meteorológico.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1. Caracterizar el entorno físico de cada una de las estaciones por red de monitoreo.
- 2. Analizar y evaluar los resultados del entorno físico a través de criterios internacionales de la US EPA y Organización Mundial de Meteorología (OMM).
- 3. Determinar la representatividad espacial de las estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico.
- 4. Evaluar el cumplimiento de los objetivos de monitoreo.

Este reporte está estructurado en cuatro capítulos. En el primer capítulo de antecedentes se describen los cambios que han ocurrido en el SIMAT desde su implementación en 1986, además de la descripción del estado actual de las subredes de monitoreo continuo que conforman el SIMAT. En el capítulo 2 se describe la caracterización, análisis y evaluación del entorno físico y de la representatividad de las estaciones que conforman la RAMA, se explica el procedimiento de la inspección de los sitios, la recolección de los datos, la descripción de las escalas de representatividad y de los criterios de evaluación que especifica la US EPA para obtener mediciones óptimas y la metodología para evaluar el entorno físico, el diseño de indicadores que miden el grado de cumplimiento de los criterios de la US EPA, con esto se le asigna una calificación por estación y contaminante de acuerdo a las condiciones físicas del entorno del sitio, así como la aplicación de una metodología para determinar la representatividad de las estaciones por medio de interpolación espacial con métodos estadísticos para cada contaminante y posteriormente, se determina un radio de representatividad de las estaciones que indica el alcance de las mediciones por sitio y contaminante, con esto se determinó la cobertura que tienen las estaciones de la RAMA en la Ciudad de México y su área metropolitana.

En el capítulo 3, se describe la caracterización, análisis y evaluación del entorno físico y de la representatividad de las estaciones que conforman la REDMET, se hizo una evaluación de la REDMET, con base en los criterios óptimos para estaciones meteorológicas en zonas urbanas, se determinó si la ubicación de los sensores de variables como temperatura, viento, humedad relativa y radiación solar, estaban colocados correctamente y que, en consecuencia, sus mediciones sean adecuadas; en esta sección también se hacen sugerencias sobre los cambios necesarios para mejorar las mediciones de las estaciones de REDMET con base en los criterios evaluados. Finalmente, en el capítulo 4, se hacen las recomendaciones generales que consideran, en conjunto, los resultados de la evaluación de los sitios de RAMA y REDMET, así como un listado de las estaciones con sus respectivos cambios.



1. ANTECEDENTES

En octubre de 1986, la Red Automática de Monitoreo Atmosférico en la Ciudad de México inició actividades oficialmente, con el objetivo principal de generar información cuantitativa de forma continua sobre el grave problema de deterioro en la calidad del aire que en ese momento sufría la ciudad. En años posteriores, se integrarían las actividades de monitoreo de partículas con equipo manual, monitoreo de depósito atmosférico y de variables meteorológicas. En diciembre del año 2000, se conformó el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT), donde se integraron todas las subredes para homologar y unificar los procedimientos de medición, transmisión, validación y difusión de la información bajo un esquema de mejora continua.

El SIMAT se compone de cuatro subredes: la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) con 34 estaciones; la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) con 9 sitios de monitoreo; la Red de Depósito Atmosférico (REDDA) con 16 sitios de muestreo y la Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET) con 28 estaciones. También cuenta con una unidad de apoyo conocida como Unidad Móvil de Monitoreo Atmosférico, el Laboratorio de Análisis Ambiental y el Centro de Información de Calidad del Aire (CICA).

En las últimas décadas, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cual se integra por las 16 alcaldías de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y uno del Estado de Hidalgo (Tizayuca), ha experimentado un crecimiento continuo tanto en la población como en la extensión de su zona urbana, lo que ha provocado la modificación del uso de suelo, del tipo y en la distribución de las fuentes de emisión de contaminantes, así como en la composición de las emisiones. Es por este motivo que la distribución de las estaciones del SIMAT no se limita a una sola demarcación política, para conocer cómo afectan la contaminación a la Ciudad de México es necesario considerar diversos factores como el transporte, comportamiento y distribución de los contaminantes en el aire ambiente.

Es importante mencionar que la cobertura del SIMAT es menor al área representada por la ZMVM, ya que las estaciones se concentran en el área urbana de la ciudad y su periferia, así como en el suelo de conservación para propósitos específicos. A esta superficie de cobertura del SIMAT y para fines de este documento le llamaremos **Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)**, la cual está conformada por las 16 alcaldías de la CDMX y 29 municipios conurbados del Estado de México (Figura 1).



La evaluación periódica de las estaciones de la RAMA, REDMET y REDMA, tiene como objetivo determinar la escala espacial de representatividad¹ y definir su estado actual con relación a los criterios técnicos que definen el establecimiento de los sitios de monitoreo y de cada contaminante.

En 2003 y 2008, la anterior Dirección de Monitoreo Atmosférico realizó evaluaciones de los entornos físicos de las estaciones de monitoreo y de su representatividad espacial. En 2003, los principales resultados llevaron a realizar los siguientes cambios en las subredes:

- Reubicación del sitio Benito Juárez (BJU), hacia la azotea del edificio delegacional, debido a que, en el lugar anterior, había una construcción de un edificio que superaba los 10 m y estaba en la dirección del viento predominante (Norte) por lo que interfería en la medición.
- Se reubicó la estación Cuitláhuac (CUI) por la presencia de un edificio de más de 10 m, una estación de servicio y el crecimiento de varios árboles alrededor de la estación y el incremento de la carga vehicular de la avenida Cuitláhuac que presentaba interferencia para algunos contaminantes primarios.
- Reubicación de la estación Pedregal (PED) por el crecimiento de varios árboles cercanos. Actualmente se encuentra en la azotea de la escuela primaria John F. Kennedy en el mismo predio.
- Se recomendó mantener las estaciones Nezahualcóyotl (NET) y Xalostoc (XAL), por su importancia histórica y por el número de habitantes a los que representaban sus mediciones, posteriormente la estación NET, cambio sus siglas a NEZ y se reubicó en la Col. Metropolitana 2a sección (misma zona de representatividad) considerando que el sitio original se encontraba cerca de un paradero de transporte colectivo y de varias canchas de fútbol sin cubierta vegetal.

En el 2007 iniciaron operaciones las estaciones Acolman (ACO), Chalco (CHO) e Iztacalco (IZT). En 2008, se sustituyó el área de procesamiento y difusión de la información conocido como el Centro de Control por el Centro de Información de la Calidad del Aire (CICA). Posteriormente, se decidió realizar otra revisión de los sitios de monitoreo del SIMAT, con el propósito de evaluar su capacidad para generar información confiable de calidad del aire. Dada la extensión del proyecto, este inició en 2010 y se compuso de las siguientes etapas:

4

¹ Dimensión física de una parcela de aire cercana a una estación de monitoreo, dentro de la cual la concentración del contaminante es homogénea.



- 1. Definición de los objetivos del monitoreo.
- 2. Evaluación de las estaciones de monitoreo con respecto a los objetivos definidos.
- 3. Aplicación de los resultados para la suspensión o el reforzamiento de las estaciones.
- 4. Identificación de nuevos sitios para el monitoreo.

Derivado de la revisión, el resultado fue el cierre de las estaciones que se presentan en la Tabla 1. Es importante destacar que la estación Xalostoc (XAL) obtuvo una baja calificación en su entorno, por esta razón se reubicó a 650 m al sureste del sitio original para mejorar su representatividad.

Tabla 1. Resultados del Proyecto de revisión de sitios de monitoreo en 2010

Tabla 1. Resultados del Froyecto de revisión de sicios de monitoreo en 2010						
Estación	Inicio de operaciones	Motivos de suspensión				
Tacuba (TAC)						
Azcapotzalco (AZC)						
Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)						
La Villa (LVI)		No cumplieron con las				
Aragón (ARA)	1986	características del entorno,				
Lagunilla (LAG)		consistencia y asociación. No				
Plateros (PLA)		garantizan el cumplimiento de				
Cerro de la Estrella (CES)		todos sus objetivos del monitoreo				
Taxqueña (TAX)						
Vallejo (VAL)	1987					
La Perla (PER)	2003					

1.1. ESTADO ACTUAL DEL MONITOREO CONTINUO DEL SIMAT

Actualmente el SIMAT está integrado por cuatro subsistemas donde se realiza el monitoreo diversas variables, que interactúan entre sí para integrar un sistema más amplio, confiable y representativo, que incluye un laboratorio central de análisis de otras especies y mantenimiento de equipos, así como el procesamiento de la información y su difusión y proporciona información importante sobre la calidad del aire en la ZMCM. El SIMAT tiene 44 estaciones en total, las cuales se encuentran distribuidas en los cuatro subsistemas o redes de monitoreo (Figura 1):

- a) Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)
- b) Red de Meteorología (REDMET)
- c) Red de Depósito Atmosférico (REDDA)
- d) Red Manual (REDMA)





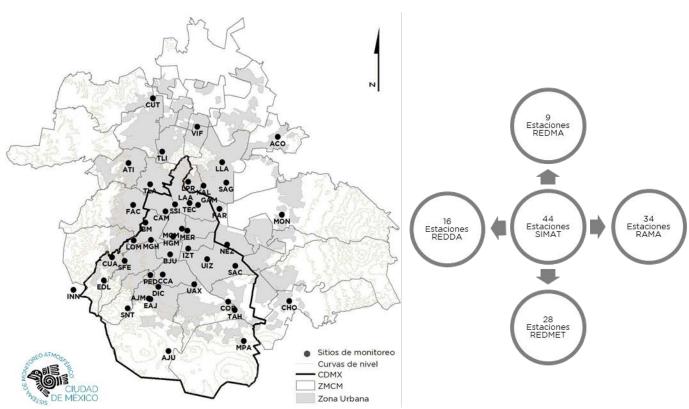


Figura 1. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la CDMX

En este documento solo se darán los resultados sobre los entornos y representatividad del monitoreo continuo, el cual, se lleva a cabo con la RAMA y la REDMET y a continuación se describen a detalle.

1.1.1. RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO (RAMA)

La RAMA mide continuamente las 24 horas del día durante todo el año los contaminantes criterio²: ozono (O_3) , óxidos de nitrógeno (NOx, NO_2, NO) , dióxido de azufre (SO_2) , monóxido de carbono (CO) y partículas suspendidas menores a 10 y 2.5 micrómetros $(PM_{10} \ y \ PM_{2.5})$. Esta red provee de información necesaria para comunicar, de manera horaria, el Índice de calidad del aire en la Ciudad de México y municipios conurbados, el cual es una herramienta indispensable para la población y los tomadores de decisiones.

² Contaminante criterio es aquel que presenta condiciones de concentración dañinos para la salud humana presente en el aire, cuenta con un valor límite normado que permite comparar los niveles de concentración en el ambiente con ese límite. En el ámbito internacional se reconocen ocho contaminantes criterio: O₃, CO, PST, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂ y Pb.



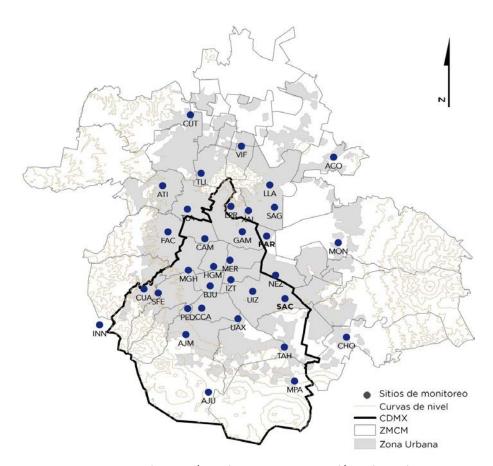
Por ejemplo, cuando los niveles de contaminación son altos, la población debe tomar medidas para reducir su exposición, así como realizar acciones para disminuir las emisiones de contaminantes hacia la atmósfera. Los principales objetivos de monitoreo de la RAMA son:

- Evaluar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de salud ambiental en la ZMCM.
- Evaluar el estado de la calidad del aire en la ZMCM respecto a la concentración de contaminantes criterio.
- Informar y prevenir a la población sobre los niveles de contaminación en la zona representativa de la estación y sus posibles riesgos a través del índice de calidad del aire.
- Proporcionar información inmediata para la activación o desactivación de alertas o procedimientos de emergencia asociados a un incremento en la concentración de los contaminantes que pueden representar un riesgo para la salud o el medio ambiente, derivado de actividades humanas.
- Generar información para la evaluación del transporte de contaminantes urbanos y la estimación de las concentraciones de fondo.
- Generar datos para la evaluación y seguimiento de las estrategias de gestión de la calidad del aire instrumentadas en la ZMCM.
- Evaluar la tendencia histórica de los contaminantes criterio en la ZMCM.

La RAMA tiene un total de 34 sitios para el monitoreo de contaminantes criterio gaseosos y particulados, sin considerar la determinación de Plomo (Pb), distribuidos en toda la ZMCM. La distribución se presenta por zona, considerando una delimitación geográfica sencilla hacia los diferentes puntos cardinales la región centro y no por representatividad en función las concentraciones y cercanía de las estaciones, la RAMA se presenta en el mapa 1 y la Tabla 2.







Mapa 1. Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)

Tabla 2. Distribución de las estaciones de la RAMA

Zona	Estaciones
Noroeste (NO) 8 estaciones	Atizapán (ATI), Camarones (CAM), Cuautitlán (CUT), FES Acatlán (FAC), Montecillo (MON), Nezahualcóyotl (NEZ), Tlalnepantla (TLA), Tultitlán (TLI)
Noreste (NE) 8 estaciones	Acolman (ACO), Gustavo Madero (GAM), FES Aragón (FAR), Los Laureles (LLA), La Presa (LPR), San Agustín (SAG), Villa de las Flores (VIF), Xalostoc (XAL)
Centro (CE) 5 estaciones	Benito Juárez (BJU), Hospital General de México (HGM), Iztacalco (IZT), Merced (MER), Miguel Hidalgo (MGH).
Suroeste (SO) 7 estaciones	Ajusco Medio (AJM), Ajusco (AJU), Centro Ciencias de la Atmósfera (CCA), Cuajimalpa (CUA), Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (INN), Pedregal (PED), Santa Fe (SFE).
Sureste (SE) 6 estaciones	Chalco (CHO), Milpa Alta (MPA), Santiago Acahualtepec (SAC) Tláhuac (TAH), UAM Xochimilco (UAX), UAM Iztapalapa (UIZ)



1.1.2. RED DE METEOROLOGÍA Y RADIACIÓN SOLAR (REDMET)

La REDMET mide, de manera continua y permanente, las variables meteorológicas más importantes, como la humedad relativa, temperatura ambiente, presión barométrica y dirección y velocidad del viento, las cuales proporcionan información para conocer la dispersión de los contaminantes. También se mide la radiación solar UV-A y UV-B, con este último se genera el Índice de Radiación Ultravioleta (IUV) que se reporta cada 15 minutos. El Laboratorio de Análisis Ambiental cuenta con un radar perfilador de viento para determinar la velocidad y dirección del viento en la vertical, así como un radiómetro para determinar la temperatura y humedad para obtener el perfil termodinámico de la atmósfera. La REDMET es de gran importancia para la calidad del aire, debido a que la concentración de los contaminantes está directamente relacionada con las variables meteorológicas y esta red proporciona información para determinar y entender el comportamiento de los contaminantes durante el día y el año.

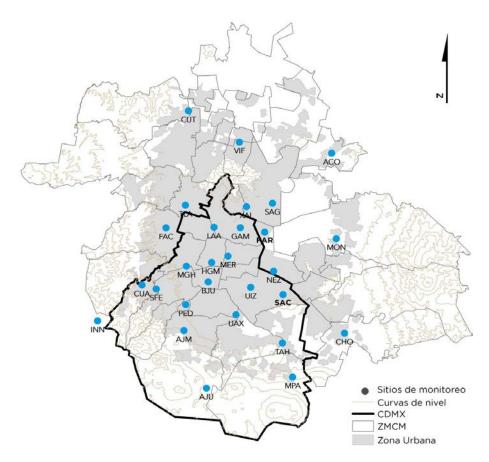
Los objetivos de monitoreo de la REDMET son:

- Caracterizar las condiciones meteorológicas en la ZMCM.
- Informar y prevenir a la población sobre los posibles riesgos asociados a la exposición por radiación solar.
- Proporcionar información meteorológica de la ZMCM para explicar las excedencias a las NOM de salud ambiental y la evolución en la tendencia de contaminantes atmosféricos.
- Proporcionar información meteorológica para la evaluación de episodios críticos de contaminación atmosférica.
- Proporcionar información meteorológica para evaluar el modelo de pronóstico de la calidad del aire.

En total, REDMET cuenta con 28 sitios de monitoreo distribuidos en la ZMCM, por lo que proporciona información robusta de las variables meteorológicas. La distribución por zona de las estaciones se presenta en el mapa 2 y la Tabla 3.







Mapa 2. Red de Meteorología y radiación solar (REDMET)

Tabla 3. Distribución de las estaciones de REDMET

Zona	Estaciones
Noroeste (NO)	Cuautitlán (CUT), FES Acatlán (FAC),
4 estaciones	Laboratorio de análisis Ambiental (LAA), Tlalnepantla (TLA)
Noreste (NE) 8 estaciones	Acolman (ACO), Gustavo Madero (GAM), FES Aragón (FAR), Montecillo (MON), Nezahualcóyotl (NEZ), San Agustín (SAG), Villa de las Flores (VIF), Xalostoc (XAL)
Centro (CE) 4 estaciones	Benito Juárez (BJU), Hospital General de México (HGM), Merced (MER), Miguel Hidalgo (MGH)
Suroeste (SO) 6 estaciones	Ajusco Medio (AJM), Ajusco (AJU), Cuajimalpa (CUA), Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (INN), Pedregal (PED), Santa Fe (SFE)
Sureste (SE) 6 estaciones	Chalco (CHO), Milpa Alta (MPA), Santiago Acahualtepec (SAC), Tláhuac (TAH), UAM Xochimilco (UAX), UAM Iztapalapa (UIZ)



2. CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO FÍSICO Y DE LA REPRESENTATIVIDAD EN LAS ESTACIONES DE LA RAMA

Las características físicas que rodean a una estación están relacionadas con los objetivos de monitoreo, por lo que la ubicación del sitio debe coincidir con la escala espacial que representa, el tipo de sitio y el contaminante a medir. La revisión que se realiza es para verificar que el sitio aún es representativo de los contaminantes que mide (Anexo I).

La escala de representatividad espacial se refiere a la localización física, descrita en términos de las dimensiones físicas, de la parcela de aire que rodea una estación de monitoreo donde las concentraciones de un contaminante son similares.

Para el caso de algunas estaciones de la RAMA y la REDMA, uno de los objetivos más importantes corresponde con la vigilancia de calidad del aire, por lo que la escala espacial de representatividad es vecinal (0.5 a 4 km) o urbana (4 a 50 km). La US EPA propone los criterios que deben cumplir los entornos de las estaciones de monitoreo de calidad del aire, para que la información que proporcionan sea considerada como representativa, uniforme y comparable (CFR 40, parte 58, Apéndice D y E). La Tabla 4 presenta los tipos de escala de representatividad espacial que puede tener una estación de acuerdo con los objetivos de monitoreo y el contaminante.

Tabla 4. Escalas espaciales de representatividad (EPA, CFR 40, Parte 58, apéndice D y E)

Escala de representatividad	Área de representatividad	Objetivo de monitoreo	Contaminantes
Micro	< 100 m	Concentración alta e impacto de	CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} , Pb y PST
Media	100 a 500 m	fuentes de emisión	SO_2 , CO , O_3 , NO_2 , PM_{10} , $PM_{2.5}$, Pb y PST
Vecinal	500 m a 4 km	Concentración alta, exposición de la población, impacto de fuentes de emisión, concentración de fondo	SO_2 , CO , O_3 , NO_2 , PM_{10} , $PM_{2.5}$, Pb y PST
Urbana	4 a 50 km	Exposición de la población, concentración de fondo, transporte de contaminantes, impactos en salud	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ ,
Regional	50 a 1,000 km	Concentración de fondo, transporte de contaminantes, impactos en salud	PM ₁₀ , PM _{2.5} , Pb y PST
Global	>1,000 km.	Calidad del aire a nivel nacional	



2.1. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO FÍSICO DE LAS ESTACIONES DE LA RAMA

La revisión y descripción detallada del entorno físico se realizó para todos los sitios de monitoreo que conforman el SIMAT. Las visitas para su revisión fueron programadas de acuerdo con la cercanía entre las estaciones, tiempo disponible y de los equipos en el sitio. Las visitas se realizaron dentro del periodo de mediados de 2017 a mediados del 2019, los datos y observaciones de cada estación de monitoreo fueron documentados en la matriz de entornos. La evaluación de un sitio de monitoreo se realiza con el análisis del entorno físico a partir de la información recopilada en campo, de acuerdo con los criterios descritos en el CFR 40, Parte 58, apéndice D y E. Los datos de mayor relevancia son: la dirección del viento predominante; la altura de la toma de muestra; posibles fuentes de emisión como industrias o vialidades cercanas y estimar su aforo vehicular, así como su distancia y dirección en la que se encuentran de la estación; además de la presencia de obstáculos como bardas o árboles que impidan el flujo libre del viento; el uso de suelo y tipo de superficie que existe alrededor del sitio de monitoreo, entre otros factores. La Tabla 5 resume las características de un entorno óptimo, sin embargo, en ocasiones no es posible que las estaciones cumplan con todos los requisitos debido a que existen dificultades en la logística y establecimiento de una estación como son los permisos para ubicar el equipo o la caseta en el sitio idóneo, por lo que algunas veces es necesario tener flexibilidad en dichos requisitos y conforme a esto, evaluar la estación y su representatividad.

Tabla 5. Requisitos generales que debe cumplir un entorno óptimo

			e eamptil all ellest			
Criterio	СО	NO ₂ O ₃	SO ₂	PM ₁₀ y PM _{2.5}	Pb y PST	
Altura de toma de muestra	3 - 3.5 m, Micro 3 - 15 m	3-15 m			2 - 15 m	
Obstrucciones sobre el techo (paredes, tanques de agua)		-				
Distancia al follaje de árboles	≥ 10 o ≥ 5 m, si es por encima de toma de muestra	≥ 10 m	≥ 20 o ≥ 10 m, si obstruye	≥ 20 o ≥ 10 n	≥ 10 m, si obstruye	
Distancia de los obstáculos	≥ 2 veces la altura encima de toma de muestra				encima de toma uestra	
Flujo del aire sin restricción	≥ 270° o 180°, si está ubicado cerca de un edificio			Al men	os 270°	
Hornos, incineradores e industrias.	- Ninguno a 30 m			Ningun	o a 30 m	
Distancia entre equipos	-			1 a 4 m	2 a 4 m	
Distancia a vialidades	2 - 10 m, Micro ≥ 10 m, ver tabla 7	Ver Labla 6		Ver Fig. 2	5 - 15 m, Micro (Fig. 2)	
Pavimentación		-			entada o con ación	



El procedimiento para la evaluación de entornos contiene lo siguiente:

- I. Desarrollo de una ficha para el ingreso a la estación.
- II. Elaboración de la matriz de evaluación de entornos.
- III. Logística e inspección de las estaciones de monitoreo.
- IV. Toma de fotografías en los alrededores de la estación.
- V. Calificación del entorno de cada estación de monitoreo.
- VI. Análisis de la información.

La matriz de entornos es el documento resultante de la inspección física de la estación, que contiene toda la información que describe el sitio como: coordenadas geográficas, subred a la que pertenece, distribución de los equipos, descripción detallada de los alrededores de la estación, posibles fuentes de emisión y obstáculos que afectan a la estación. Debido a esto, el correcto llenado de la matriz de entornos es de gran importancia para realizar el análisis y determinar la calificación del sitio de monitoreo.

A continuación, se detallan y describen las consideraciones que se deben tener con la distancia mínima a fuentes de emisiones, obstáculos, árboles y vialidades; sin embargo, es importante enfatizar que la dirección de viento predominante hacia la estación es el factor determinante para decidir si el obstáculo o fuente de emisión tiene influencia en la toma de muestra de un sitio de monitoreo.

1. Distancia horizontal y vertical de la toma de muestra

- Al menos el 80% de las estaciones de un sistema de monitoreo deben estar a una altura entre 2 a 15 metros del nivel de piso, especialmente si se monitorea O₃ o SO₂.
- La toma de muestra debe estar alejada, una distancia mínima de 1 m en la vertical y en la horizontal, de estructuras como paredes o bardas y lejos de áreas sucias o polvosas, si la toma de muestra está cerca de una construcción, deberá localizarse en la dirección hacia donde sopla el viento (sotavento).

2. Distancia a fuentes de emisión.

• Si el objetivo de la estación es medir el impacto de fuentes de emisión que tengan alguna influencia sobre los contaminantes primarios, entonces el sitio debe estar cercano a estas fuentes (microescala o media). Por el contrario, si el objetivo del monitoreo es determinar la calidad del aire en un área extensa, la estación debe estar alejada de estas fuentes de emisión a una distancia que represente una escala vecinal o urbana.



- Las estaciones de monitoreo, sobre todo las que miden partículas, no deben estar cerca de áreas no pavimentadas, de lo contrario, es preferible que el suelo tenga una cubierta vegetal durante todo el año, para reducir al mínimo el impacto de la suspensión de polvo por el viento.
- Las estaciones de monitoreo deben estar alejadas de chimeneas de hornos de incineración como fuentes de SO₂ y NO, la distancia estará en función del tipo de materiales que se quemen en los hornos, la altura de la chimenea y el nivel de azufre contenido en el combustible quemado.
- 3. Distancia de los equipos de monitoreo de O₃, NO₂, CO y partículas (PM₁₀, PM₂.₅ y PST) hacia las vialidades.
- **3.1** Contaminantes gaseosos (NO₂, NO, NOx, CO y O₃)
- Para los contaminantes NO₂, NO, NOx y O₃, se recomienda una distancia mínima de la estación hacia las vialidades, esto con el fin de minimizar la interferencia causada por contaminantes emitidos por automóviles, dado que algunos de estos reaccionan con el O₃. En la Tabla 6 se presenta la distancia con base a la cantidad promedio de vehículos por día.

Tabla 6. Distancia entre vialidades y las estaciones de escala vecinal o urbana.

Promedio de vehículos por día	Distancia mínima¹ (metros)
≤1,000	10
10,000	10
15,000	20
20,000	30
40,000	50
70,000	100
≥110,000	250

¹Distancia al borde del carril más cercano. La distancia deberá interpolarse a partir de los valores basados en el conteo actual.

- Un sitio de monitoreo que se encuentre más cerca de lo que indica la Tabla 6 se clasificará como escala mediana o micro.
- Si se cuenta con un analizador en una zona a campo abierto (rural), el área de monitoreo no debe cruzar sobre un camino con un promedio ≥ 10,000 vehículos al día.
- Para CO, el monitoreo a microescala tiene el objetivo de medir la exposición a la contaminación proveniente de vialidades, y los monitores deben estar ubicados a una distancia de 2 a 10 metros del borde de la vialidad y en el punto medio del segmento de la calle.





• La Tabla 7 indica la distancia mínima entre vialidades y la toma de muestra para el monitoreo de CO a escala vecinal.

Tabla 7. Distancia entre la toma de muestra de CO y vialidades

Promedio de vehículos por día	Distancia mínima* (metros)
≤ 10,000	10
15,000	25
20,000	45
30,000	80
40,000	115
50,000	135
≥ 60,000	150

^{*}Distancia del borde más cercano al primer carril. La distancia deberá interpolarse a partir de los valores basados en el conteo actual

3.2. Partículas Suspendidas (PM₁₀, PM₁₀, PST y Pb)

- Para la escala micro, la distancia óptima es de 5 a 15 m de la toma de muestra al borde más cercano de la vialidad.
- Para escalas media, vecinal y urbana, la distancia recomendada se presenta en la Figura
 2.

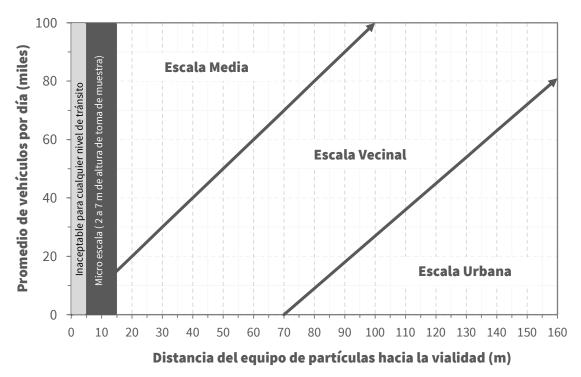


Figura 2. Distancia mínima de la toma de muestra a vialidades (m) y escala de representatividad de acuerdo con el promedio diario de vehículos (miles).



• De acuerdo con la Figura 2, por ejemplo, si la altura de la toma de muestra de una estación es de 2 a 7 metros, a una distancia horizontal de una vialidad de 10 m y con un promedio diario de 30,000 vehículos, entonces el sitio se clasifica como escala micro. Por otro lado, si la altura de la toma de muestra es mayor a 7 m, pero con el mismo flujo vehicular y misma distancia horizontal, entonces el sitio se clasificará como escala media, pero si cambia la distancia horizontal a 40 m de la vialidad con el mismo flujo vehicular, entonces se considerará como un sitio de escala vecinal y si está a 110 m de la vialidad, se convierte en escala urbana.

4. Distancia a obstáculos

- Los edificios u otras construcciones se consideran obstáculos cuando están entre el flujo de viento y la estación de monitoreo, estos obstáculos pueden impedir el flujo libre de aire. En zonas urbanas es complicado encontrar sitios que no tengan obstáculos y que cumplan con flujo libre de viento, por lo que se requiere que los obstáculos deben estar a una distancia mínima del doble de la altura que tiene dicha obstrucción por encima de la toma de muestra y así minimizar su interferencia en la medición.
- La excepción aplica en sitios en donde los edificios u otras estructuras no puedan evitarse, la toma de muestra debe tener un ángulo libre de 180° sin obstáculos y debe incluir la dirección predominante del viento.
- La toma de muestra debe estar a un mínimo de 2 m de separación de paredes o estructuras.

5. Distancia de los árboles

- Los árboles también pueden actuar como barreras que evitan el libre paso de viento, superficies de absorción para el SO₂, O₃ o NO₂, o propiciar el depósito de partículas, por lo que las estaciones de monitoreo deben estar alejadas de árboles por lo menos 10 metros.
- Los árboles se consideran obstáculos si están entre la fuente de emisión y el sitio de monitoreo, en el caso de que los árboles sean más altos que la toma de muestra, entonces se debe realizar la poda de las ramas más altas.
- Los árboles causan interferencia para la medición de O₃, el cual, es un gas inestable cuya molécula se rompe al tener contacto con cualquier superficie, por lo que debe evitarse la cercanía a estos. En otros casos, algunos árboles emiten compuestos orgánicos volátiles como el isopreno o terpeno que son sumamente reactivos y que contribuyen a la formación del ozono, lo cual podría considerarse también como interferencia en la medición.



2.2. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL ENTORNO FÍSICO DE LAS ESTACIONES DE LA RAMA

2.2.1. Objetivo

Evaluar y calificar las características físicas del entorno de las estaciones del SIMAT en la RAMA, con el uso de técnicas estadísticas para identificar los sitios que no cumplen con los criterios para monitorear adecuadamente, y con base en los resultados, se puedan realizar recomendaciones para su modificación o reubicación.

2.2.2. Método

Para la evaluación de cada sitio de monitoreo, se utilizará la información recabada en la matriz de entornos de cada estación, en la cual se identifica y describe el entorno físico. La evaluación y calificación de cada entorno considera lo siguiente:

- Los criterios generales determinados por la US EPA (CFR 40, parte 58, Apéndice D y E) que especifican los requerimientos de un sitio de monitoreo (altura de la toma de muestra, distancia mínima de las vialidades cercanas, obstáculos, etc.) para cada contaminante.
- Los objetivos de monitoreo de cada estación que conforma la RAMA y REDMA, los cuales se guían con el criterio de vigilancia continua de calidad del aire, por lo que deben tener una escala de representatividad vecinal o urbana.

El factor más importante para un entorno óptimo en una estación de monitoreo es que no existan obstáculos o fuentes de emisión dentro de la dirección del viento dominante que llega a la estación, por lo tanto, primero se determinó con datos de la REDMET, el viento dominante para cada sitio de monitoreo con medición de contaminantes. Con base en este criterio, se clasificaron en dos grupos de estaciones para su análisis: sitios con datos de la REDMET y aquellos que no disponen de mediciones de viento. Además, dentro de cada grupo de estaciones, se realiza el análisis por contaminante debido a que cada uno tiene criterios específicos obtenidos de las Tablas 5 a la 7, en este documento.

2.2.2.1. Evaluación de las estaciones con datos de viento

Para el análisis de este grupo de estaciones, se realiza una selección y clasificación de las variables más importantes para la evaluación de cada entorno, en dicha selección se hace un mayor énfasis en la dirección del viento dominante debido a que, como se mencionó anteriormente, es el factor más importante que indica si los obstáculos o fuentes de emisión cercanas, afectan directamente la medición de cada contaminante.



En la Tabla 8 se presenta la descripción de cada variable que fue seleccionada para el grupo de estaciones que tienen datos de dirección y velocidad de viento.

Tabla 8. Selección y descripción de variables para evaluación de entornos

Variable	Descripción			
V1	ID Estación			
V2	Dirección del viento (8 categorías)			
V3	Altura de la estación (m)			
V4	Obstáculo que puede afectar la medición			
V5	Distancia de los árboles u obstáculos a la estación (m)			
V6	Altura de los árboles u obstáculos (m)			
V7	Tipo de vialidad cercana a la estación (Primaria, Secundaria, Terciaria)			
V8	Flujo de vehículos en un día			
V9	Distancia de la vialidad a la estación (m)			
V10	Fuente de emisión			
V11	Distancia de la fuente a la estación (m)			
V12	Porcentaje de viento dominante durante 2019 (8 categorías)			

Para el desarrollo de la última variable (**V12**), en cada estación se obtuvieron los datos de velocidad y dirección de viento, divididos en tres horarios del día: de 7:00-14:59 h, 15:00-20:59 h y de 21:00-6:59; sin embargo, el último horario fue descartado para el análisis de la matriz de entornos, debido a que el comportamiento de la mayoría de los contaminantes se presenta durante el día y por la noche la dirección del viento cambia debido a la fisiografía de la ZMCM que se ubica dentro de una cuenca que durante el día presenta flujos de viento valle-montaña y durante la tarde noche cambian a montañavalle. Es importante mencionar que se realizó un análisis previo donde se elaboraron las rosas de viento de cinco años anteriores y se observó consistencia en el viento dominante, por lo que solamente se seleccionó el último año para la elaboración de esta evaluación.

Posteriormente, se aplicó estadística circular para obtener la resultante diaria de la dirección de viento por estación y se calcula su porcentaje de viento dominante (variable **V12**), el cual se determinó con la frecuencia de la resultante diaria dividida entre el total de días que la estación monitoreó.

En la Tabla 9 se presenta, como ejemplo, el resultado para la estación Merced (MER) en 2019, se observa que el mayor porcentaje de la dirección de viento proviene del noreste (NE).





Tabla 9. Ejemplo de variables para la estación Merced (MER)

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12
	N		Árbol	14.4	16.0	-	-	-	-	-	29.3 %
	NE		Árbol	15.0	15.0	Terciaria	14,472	180	-	-	42.1 %
	Е		-	-	-	-	-	-	-	-	12.2 %
MER	SE	18	-	-	-	-	-	-	-	-	12.3 %
IVILK	S	10	-	-	-	-	-	-	-	-	0 %
	SO		Árbol	13.0	19.2	-	-	-	-	-	0 %
	0		-	-	-	Secundaria	51,824	100	-	-	0 %
	NO		Árbol	14.5	16.0	-	-	-	-	-	0 %

Con la finalidad de proporcionar una calificación a cada estación de monitoreo, se desarrollaron cuatro indicadores derivados de los criterios para evaluar el entorno físico de la estación:

- 1. Evaluación de la altura de la toma de muestra de la estación: se asigna una calificación entre 1 y 5, donde el valor 1 indica que la altura de la toma de muestra no es apropiada, mientras que el valor 5 representa que la altura es óptima, esto de acuerdo con los criterios de la US EPA. En el SIMAT algunas estaciones se han ubicado a una mayor altura debido a cuestiones de falta de espacio en terreno abierto, para su evaluación se siguió el criterio de la US EPA.
- **2. Evaluación de obstáculos:** la presencia de una obstrucción en los alrededores de la estación no permite hacer mediciones adecuadas. Para evaluar este indicador se realizó lo siguiente:
- a) Se identificaron aquellos objetos (árboles, edificios, etc.) que están cerca de la estación.
- b) Los objetos se clasifican en dos grupos: 1 = Afecta las mediciones de la estación y 2 = No afecta la medición. En los casos donde la altura del objeto es mayor a la toma de muestra y su distancia hacia la estación es menor al umbral especificado para el contaminante (por ejemplo, en O₃, esta distancia debe ser ≤10 metros), entonces se codifica con 1 y en caso contrario con valor 2.
- c) En los objetos que fueron clasificados con 1, se analiza el porcentaje de viento que proviene de la dirección en la que se encuentra el objeto, es decir, se cuantifica el número de veces que el objeto representa una obstrucción para el flujo de aire hacia la estación, debido a que se interpone entre la llegada del viento y la toma de muestra.
- d) De acuerdo con este porcentaje se asigna una calificación de entre 0 y 10, donde 10 indica que la estación no tiene obstáculos.



- **3. Evaluación del impacto de las vialidades:** En este indicador se analiza el flujo vehicular y la distancia a la vialidad, ya que la cantidad de automóviles cercanos a una estación puede afectar la medición de ciertos contaminantes. Para el desarrollo de este indicador se realizó lo siguiente:
- a) Se consideraron las Tablas 6, 7 y la Figura 2, que establece la distancia mínima de separación entre la estación y la vialidad, que depende del promedio diario de vehículos. Aquellas estaciones que cumplen con el criterio de las tablas se codificaron con 2, mientras que las que no lo cumplen se les asignó el 1.
- b) En el caso de las estaciones que no cumplen con los criterios de las tablas y para estimar la magnitud del error con el que la estación opera, se ajustó un modelo polinomial y el tamaño del error se midió con la distancia entre el valor observado y la línea ajustada del modelo (Figura 3).

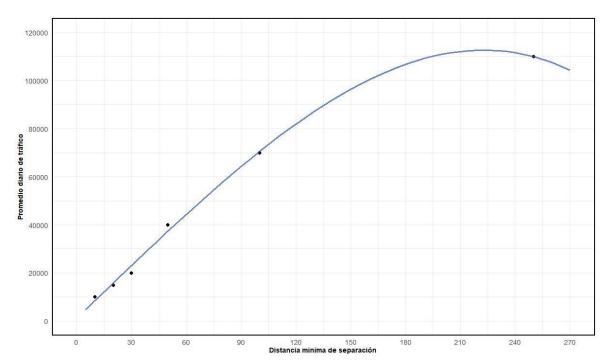


Figura 3. Modelo polinomial ajustado para la distancia mínima de separación y el flujo diario de vehículos

- La magnitud de los errores fue variable, se presentaron errores pequeños cuando la distancia mínima de separación es menor a 10 m y un flujo moderado de 6,000 vehículos, hasta errores mayores con distancia mínima de separación de 20 m y flujos de vehículos mayores a 80,000 al día.
- b) Las observaciones que anteriormente fueron codificadas con 1, se calificaron de acuerdo con la magnitud de su error obtenido del modelo polinomial y para evitar que la calificación sea afectada por errores con magnitud muy grande, se consideraron como



valores atípicos aquellos que están fuera del intervalo entre el primer cuartil -1.5(IQR) y el tercer cuartil +1.5(IQR), a estos valores se le asignó una calificación cercana a cero (0.1).

- c) Finalmente, los casos codificados con 1, son penalizados de acuerdo con el porcentaje de viento que proviene de la dirección donde está ubicada la vialidad.
- **4. Evaluación de fuentes de emisión**. Este indicador se enfoca principalmente en dióxido de azufre (SO₂) y partículas. Para asignar una calificación a este indicador se considera lo siguiente:
- a) Se identifican las fuentes de emisión (industrias, hornos incineradores, etc.) que se interponen entre el viento dominante y la estación.
- b) Se analiza el tamaño de la fuente, es decir, la magnitud de su emisión, además se considera la distancia de la fuente a la estación.

2.2.2.2. Evaluación de las estaciones sin datos de viento

Para la evaluación de los entornos en las estaciones que no miden dirección y velocidad de viento, se analizaron de la siguiente manera:

1. Se realizó la estimación de la dirección y velocidad de viento, esto con la extracción de datos meteorológicos del modelo WRF (Weather Research and Forecasting, NCAR, NOAA, 2020) para el dominio 3 (resolución de 3 km²) y dominio 4 (resolución de 1 km²) del Sistema de Modelación de Calidad del Aire de la Ciudad de México (AQFS-Mex).

En la Tabla 10, se presentan los sitios de monitoreo que están dentro de estos grupos, así como la categoría de dirección de viento resultante para cada dominio analizado. Se puede observar que, en ambos dominios del modelo, la dirección de viento resultante es la misma para cada estación, independientemente de la resolución de cada dominio.

Tabla 10. Estaciones de monitoreo sin datos REDMET y su dirección de viento resultante WRF.

Estación	Dominio 4	Dominio 3
ATI	NE	NE
CAM	N	N
CCA	NE	NE
IZT	N	N
LPR	SE	SE
LLA	NE	NE
TLI	N	N
LOM ¹		

¹No se cuenta con datos del modelo WRF para la estación.



2. Se comparó con los datos de las estaciones de REDMET más cercanas a las enlistadas en la Tabla 10, con la finalidad de verificar la dirección de viento resultante del modelo WRF y en caso de alguna variación poder ajustar el viento dominante de las estaciones, así como asignar una dirección a los sitios de monitoreo que no tienen datos de viento medido o modelado, como es el caso de LOM. Los resultados se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Dirección de viento resultante para estaciones sin REDMET.

Estación	Resultante Final
ATI	NE
CAM	N
CCA	NE
IZT	NE
LPR	Е
LLA	NE
TLI	N
LOM	NE

- 3. Se estimó un porcentaje de dirección del viento para estos sitios de monitoreo, con los datos obtenidos y con la distribución de la dirección de viento de las estaciones aledañas.
- 4. Se califican las estaciones sin datos REDMET conforme a los cuatro indicadores que fueron evaluados para las estaciones con datos REDMET (Evaluación de la altura de la estación, obstáculos, impacto de las vialidades y fuentes de emisión).

2.2.3. Resultados de la evaluación del entorno físico de la RAMA

La estimación de una calificación para cada estación de monitoreo con y sin datos de REDMET, se llevó a cabo con base en la evaluación de cada uno de los indicadores descritos en la metodología.

Es importante mencionar que para el grupo de estaciones sin datos de REDMET, la precisión de la calificación es menor debido a que el porcentaje de dirección de viento, que es una de las variables importantes, fue estimada a partir de datos modelados. En las Tablas 12 y 13 se presentan los resultados de la calificación calculada para cada contaminante y estación de monitoreo, con y sin meteorología, respectivamente.





Tabla 12. Calificación para estaciones que cuentan con mediciones de REDMET.

Estación	RED			CALIFICACIÓN POR CONTAMINANTE				
Estation	RAMA	REDMA	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	СО
ACO	Х		100	100		100	100	100
AJM	Х		92	94	94	92	92	92
AJU	Х		76		80			
BJU	Х		96	97	97	96	96	96
СНО	Х		96	97		96	96	96
CUA	Х		100	100		100	100	100
CUT	Х		100	100		100	100	
FAC	Х		100	100		100	100	100
FAR	Х		96		97	96	96	96
GAM	Х		88	91	91		88	
HGM	Х		88	91	91	92	88	88
INN	Х		100	100	100	100		100
MER	Х	Х	96	97	97	96	96	96
MGH	Х		92	94	94	92	92	92
MON	Х		100		100	100	100	100
MPA	Х		100		100	100	100	100
NEZ	Х	Х	100		100	100	100	100
PED	Х	Х	100	100	100	100	100	100
SAC	Х		100		100	100	100	100
SAG	Х	Х	100	91	91	100	100	100
SFE	Х		100	100	100	100	100	100
TAH	Х		100	100		100	100	100
TLA	X	Х	64	75	75	100	64	64
UAX	Х		92		94	92	92	92
UIZ	X	Х	96	97	97	96	96	96
VIF	X		100	100		100	100	100
XAL	X	Х	57	43	43	80	57	57

Tabla 13. Calificación para estaciones que no miden REDMET

Estación	RED		CALIFICACIÓN POR CONTAMINANTE						
	RAMA	REDMA	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	СО	
ATI	Х		76	77		76	76	76	
CAM	Х		100	100	100	100	100	100	
CCA	Х		96		97	96	96	96	
IZT	Х		100	99		100	100	100	
LLA	Х		100			100	100	100	
LOM		X		97	97				
LPR	Х		100			100		100	
LPR		X			100				
TLI	Х		76	83		76	76	76	



Para determinar qué estaciones miden mejor todos sus parámetros, se consideró un valor mayor o igual a 80 como una calificación óptima para un entorno y se calculó el promedio de sus calificaciones para todos los contaminantes que mide. Se observó que 31 estaciones de un total de 35 (incluyendo REDMA), es decir, el 90 % de los sitios de monitoreo, tienen un promedio alto de calificación (≥ 80) y, por el contrario, sólo cinco estaciones tienen calificaciones menores a 80, dentro de estas, cuatro obtienen un promedio entre 70 -79, que son Ajusco (AJU), Tultitlán (TLI), Atizapán (ATI) y Tlalnepantla (TLA). La estación Xalostoc (XAL) obtuvo el valor mínimo con un promedio de 56, lo que indica que XAL no tiene un entorno óptimo para medir todos sus parámetros (Figura 4).

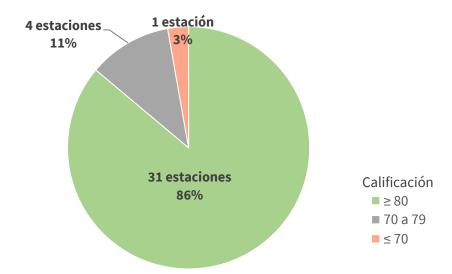


Figura 4. Número y porcentaje de estaciones por rango de calificación promedio para RAMA y REDMA.

Con los promedios de las estaciones, también se analizó su calificación por zona, con la finalidad de determinar donde se tienen mejores entornos. En la Figura 5 se presenta la distribución de las calificaciones y se observa que en la zona centro (CE) y sureste (SE), todas sus estaciones tienen un entorno con alta calificación, mientras que en el noroeste (NO), la mitad de las estaciones tienen un promedio de calificación bajo y el noreste (NE) es la zona con una estación con muy mala calificación, la cual es XAL como se había mencionado anteriormente.



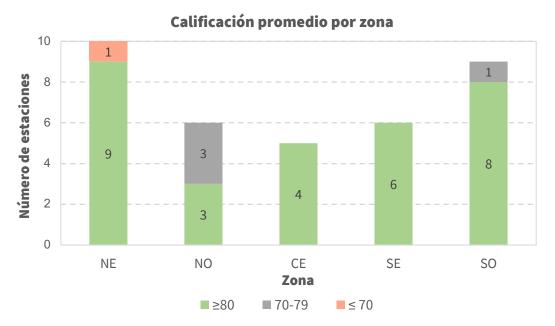


Figura 5. Distribución de calificaciones promedio por zona.

En un análisis más detallado, se calculó el promedio de calificación por contaminante y se observó que SO_2 obtiene el máximo con un valor promedio de 96.1, mientras que el mínimo fue $PM_{2.5}$ con 93.1, esto debido a estaciones como Xalostoc (XAL) y Tlalnepantla (TLA) que obtienen las calificaciones más bajas en todo el análisis y especialmente para $PM_{2.5}$ con calificación de 43 (XAL) y 75 (TLA).

En la Figura 6 se presenta el resultado del análisis por contaminante y se observa que los entornos de las estaciones que miden SO_2 obtienen mejores calificaciones, ya que del total de 32 estaciones que miden dicho parámetro, 30 sitios tienen una calificación mayor o igual 80, lo que corresponde a un 94 %. El contaminante que obtuvo menor porcentaje de estaciones con calificación mayor o igual a 80, fue ozono, con el 85 % de sus estaciones, es decir, del total de 34 que miden ozono, 29 cumplieron con los criterios de un entorno óptimo para el contaminante.





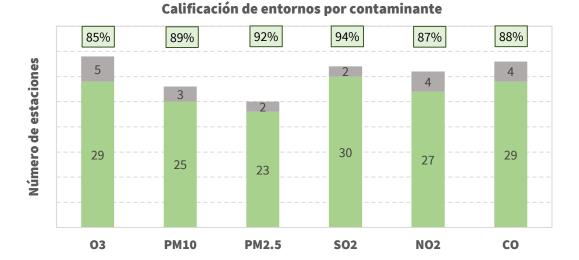


Figura 6. Distribución de las calificaciones de los entornos por contaminante

■ Calificación < 80

□ Porcentaje (≥ 80)

■ Calificación ≥ 80

El resultado de la evaluación de las estaciones cuando el valor es 100, significa que cumple con los criterios establecidos por la US EPA en el momento que el entorno fue visitado y que, previo a la evaluación, se realizaron acciones de mantenimiento como la poda de árboles que representaban un obstáculo, entre otros. Sin embargo, el valor máximo de calificación no implica que la estación monitorea correctamente el 100% de las veces, y que no tiene errores en la medición provocados por imprecisiones del equipo (deterioro, mala calibración, desajuste, etc.) o por fallas de algún otro tipo como pueden ser eléctricas o de mantenimiento.

2.3. REPRESENTATIVIDAD DE LAS ESTACIONES: RAMA.

El monitoreo de la calidad del aire es de gran importancia debido a los efectos negativos que la contaminación puede ocasionar en la salud de la población como es el aumento del riesgo de padecer enfermedades respiratorias, a corto y largo plazo.

Con la finalidad de transmitir a la población información veraz y confiable, es necesario tener una red de monitoreo continuo que sea adecuada para medir eficientemente la calidad del aire a través del cumplimiento de los objetivos de monitoreo, en este caso, observar los criterios específicos como: la calidad en los equipos de medición, el mantenimiento continuo, una correcta validación de la información obtenida, el entorno óptimo de las estaciones de monitoreo y una adecuada representatividad espacial de cada una.



El indicador de calidad de datos más importante de cualquier red de monitoreo de aire ambiental es la **representatividad**. Este término se refiere al grado en que los datos constituyen de manera exacta y precisa la distribución de frecuencia de una variable específica en la población (por ejemplo, la concentración del aire para la escala espacial de interés -US EPA, 2017-).

2.3.1. Objetivos

- 1. Definir la metodología que será utilizada para determinar la representatividad de una estación de monitoreo.
- 2. Calcular el área en la que una estación de monitoreo es representativa para cada uno de los contaminantes criterio que mide RAMA.
- 3. Clasificar las estaciones de monitoreo de acuerdo con las escalas espaciales que establece la US EPA.

2.3.2. Método

La representatividad es el área dentro de la cual la calidad del aire tiene características similares, comparado con las reportadas en el sitio de monitoreo (Spangl et al, 2007). La definición general de representatividad contiene dos criterios importantes:

- 1. Una estación de monitoreo es representativa de una ubicación si las diferencias entre los valores de concentración, durante un período especifico, en la estación y en la ubicación, es menor a un umbral³ o valor límite definido.
- 2. Las diferencias entre las características son inferiores a un umbral debido a factores o relaciones comunes.

Este análisis de la representatividad de las estaciones de la RAMA se realizó con base en el primer criterio que considera que las diferencias entre los valores de concentración, en un periodo específico, sean menores al umbral definido para cada contaminante.

Con la finalidad de que la representatividad sea analizada adecuadamente, se sugiere utilizar parámetros o indicadores estadísticos (diferencia entre los promedios y percentiles, coeficiente de correlación, promedios, etc.) que resuman las mediciones de calidad del aire en los sitios y estos deben representar la relación de similitud entre la concentración medida en un sitio de monitoreo y otro.

³ El umbral se define como la cantidad mínima necesaria de señal de una magnitud para poder ser registrada por un sistema, para este estudio se describe su obtención en el apartado de valores límite recomendados.



Los parámetros estadísticos que se seleccionen dependen del propósito de la evaluación, por ejemplo, si son para mediciones a largo plazo relacionadas con valores límite de un estándar de calidad del aire, o bien, con valores objetivo. La representatividad debe relacionarse con la excedencia estadística, es decir, delimitar hasta qué área es representativo el número de excedencias registradas en un año o el promedio anual, independientemente de las horas específicas en que esto ocurrió.

Existe un amplio conjunto de indicadores que pueden ser utilizados, por ejemplo, el promedio anual, los percentiles y series de tiempo, esto dependerá de los valores límite establecidos para un contaminante específico. Sin embargo, se sugiere utilizar solamente un indicador estadístico que sea válido para todos los contaminantes relevantes. Es importante mencionar que, además de aplicar esta metodología, la experiencia y los resultados de la evaluación física del entorno pueden modificar la representatividad que se asignó aplicando esta metodología.

2.3.2.1. INDICADORES

Para resumir la información de los contaminantes CO, NO₂, O₃ y SO₂ que miden las estaciones de RAMA, se utilizó el promedio anual como indicador estadístico, por lo tanto, una estación de monitoreo es representativa de un área, si la diferencia entre los valores de concentración promedio anual en la estación a evaluar y otro sitio de monitoreo cercano, es inferior a un umbral definido.

En el caso de los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$, se utilizó el percentil 90 (P90) de los promedios diarios, esto debido a la gran variabilidad que presentan estos contaminantes en sus mediciones, principalmente debido a valores extremos de concentración que sólo se presentan durante periodos breves (Incrementos Extraordinarios).

2.3.2.2. CÁLCULO DE INDICADORES

Inicialmente para los cálculos realizados se utilizaron los datos de RAMA del 2018, debido a que este año registró alta suficiencia de datos en la mayoría de las estaciones; sin embargo, no todas las estaciones tienen suficientes datos, por lo que se aplicó otro método para asegurar que todos los sitios obtuvieran los indicadores necesarios para la determinación de su representatividad.

La estimación de la representatividad de cada estación se realizó con un análisis espacial que considera los indicadores de cada estación y parámetro. Por esta razón fue importante contar con el mayor número de estaciones con datos válidos, debido a que son los puntos de partida para realizar las interpolaciones espaciales en la ZMCM.



Como se mencionó anteriormente, el indicador estadístico, promedio anual o el P90 de los promedios diarios, fue seleccionado en función del contaminante criterio. A continuación, se describe el procedimiento para el cálculo de cada uno de estos indicadores.

a) Promedio anual

Para obtener el indicador de promedio anual de los contaminantes, previamente se calculan los promedios mensuales por estación, para lo cual se consideraron aquellos sitios de monitoreo que tuvieron una suficiencia mayor o igual al 60 %. Posteriormente, para determinar el promedio anual, se consideraron las estaciones que tuvieron una suficiencia de datos en al menos 9 meses del año.

Debido a que el número de estaciones sin suficiencia era elevado, se consideró un procedimiento adicional para estos casos:

- Se utilizaron los datos mensuales del 2017 y 2019 para estimar el valor de los meses sin suficiencia en 2018. De esta manera se incrementó el valor de la suficiencia al 75% para cada mes y para cada estación. Es decir, cuando una estación no cumplía con la suficiencia del 60% en un mes del 2018, se analizó la suficiencia del sitio de monitoreo y del mismo mes durante 2017 y 2019, por lo que, si en dichos años sí se cumplió con suficiencia, el mes faltante del 2018 se estimaba mediante el promedio del 2017 y 2019 para el mismo mes.
- Finalmente, para lograr tener información de todas las estaciones de monitoreo, y dado que en algunos casos no se alcanzó la suficiencia con ninguna de las consideraciones anteriores, entonces en estos sitios se determinó el valor del promedio mensual del año adyacente (2017 o 2019) que tuviera mayor compleción de datos. De esta manera se logró contar con información en todas las estaciones de monitoreo, lo que permitió hacer un análisis más amplio y obtener estimaciones más cercanas a la realidad.

b) Percentil 90 de los promedios diarios

En este caso, se calcularon los promedios diarios para cada estación con suficiencia del 75 % de los datos, es decir, que al menos tiene datos de 18 horas en un día. Posteriormente, se calculó el P90 de estos promedios diarios para cada estación.

Para evitar la falta de información, en las estaciones que no cumplieron con el 75 % de suficiencia, se calculó el percentil 90 si la estación tenía al menos 219 días al año (60%) con datos suficientes. Por último, si aún se presentaban sitios de monitoreo con una suficiencia menor a los criterios establecidos, se optó por asignar el valor de dicho indicador del año adyacente (2017 o 2019) que contara con mayor compleción de datos.



2.3.2.3. VALORES LÍMITE RECOMENDADOS

Para determinar hasta qué área las mediciones de una estación no presentan diferencias significativas, se requiere definir un **umbral**. La selección de este valor límite es de gran importancia, pues de éste depende si una estación tiene un área representativa de mayor o menor magnitud. En la selección de este valor umbral se consideran los siguientes aspectos:

- Las variaciones en la concentración relacionadas al espacio o distancia entre las estaciones.
- Medidas de incertidumbre de los contaminantes
- Sensibilidad de la representatividad a los cambios en el valor umbral
- Determinar si la representatividad resultante es un área razonable.

2.3.2.4. CRITERIOS PARA DETERMINAR LA REPRESENTATIVIDAD

En el caso de la Unión Europea, se establecen los valores umbral para promedios y percentiles con una variación del 10% en el rango total de valores observados. Esto significa que el límite de concentración para definir el área en que una estación es representativa, será el valor registrado en el sitio de monitoreo \pm 5 % del rango total observado. Además, se considera que el valor umbral debe ser mayor al error de medición total, pero suficientemente pequeño como para hacer una distinción entre áreas con diferentes niveles de contaminación. Por lo tanto, se realizaron los ajustes correspondientes de acuerdo con cada contaminante y su comportamiento en la ZMCM, por ello se determinó utilizar una variación del 20 % (el valor registrado en el sitio de monitoreo \pm 10 % del rango total observado). En la Tabla 14 se presentan los rangos para el indicador (promedio anual y P90 del promedio diario) y los criterios para calcular el área de representatividad, así como el límite de concentración para cada contaminante.

Tabla 14. Rangos para indicadores y representatividad por contaminante

Contaminante	Rango del indicador	Rango total para representatividad	Límites de concentración para representatividad (± 10 % variación del rango total)
CO (ppm)	0.19 - 0.63	0.44	Valor promedio anual en la estación de monitoreo ± 0.044 ppm
NO ₂ (ppb)	6.37 - 34.22	27.85	Valor promedio anual en la estación de monitoreo ± 2.79 ppb
O₃ (ppb)	24.32 - 42.85	18.53	Valor promedio anual en la estación de monitoreo ± 1.85 ppb
SO ₂ (ppb)	1.64 – 7.87	6.23	Valor promedio anual en la estación de monitoreo ±0.62ppb
PM ₁₀ (μg/m³)	37.70 - 108.91	71.21	Valor del percentil 90 de los promedios diarios en la estación de monitoreo ±7.12 μg/m³
PM _{2.5} (μg/m³)	23.50 - 42.10	18.64	Valor del percentil 90 de los promedios diarios en la estación de monitoreo ±1.86 μg/m³



2.3.2.5. INTERPOLACIÓN ESPACIAL

Una vez obtenidos los indicadores para cada contaminante y estación, se estimó su concentración mediante la aplicación de técnicas de estadística espacial, con la finalidad de la distribución de cada contaminante en la ZMVM y posteriormente determinar el alcance de las mediciones en cada sitio. Para esto, se ajustaron modelos de interpolación espacial, los cuales utilizan puntos con datos conocidos para estimar valores desconocidos en otros puntos. En este caso se seleccionó el método *Kriging* (ESRI, 2020), el cual se describe en el Anexo II.

Finalmente, con los valores estimados en el área de la ZMCM, se realizó un algoritmo para determinar el área de representatividad de cada estación. Este algoritmo se construyó con base en los criterios descritos anteriormente, y su función fue delimitar circunferencias alrededor de las estaciones incrementando su radio hasta que el 5% del área dentro de la circunferencia no cumpliera con los criterios, es decir, se evaluó que el 95% de los valores estimados dentro cada circunferencia, tuvieran una diferencia con el indicador de la estación correspondiente, menor al umbral que se definió para cada parámetro (Tabla 14).

2.3.3. Resultados del método de representatividad.

La interpolación espacial y la representatividad obtenidas con el método descrito, fueron revisadas y se concluyó que en algunas estaciones se alcanzaron áreas de representatividad menores a la realidad, por lo que se incrementaron debido a la calificación que obtuvieron en la evaluación del entorno, lo que indica que el sitio tiene una medición representativa debido a que no tiene interferencia de emisiones directas, vialidades u obstáculos que impidan el flujo de aire.

Derivado de la revisión de los resultados de representatividad y los entornos, se determinó el área representativa por contaminante (CO, NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀, y PM_{2.5}) y estación de la RAMA, dichos resultados se resumen en la Tabla 15.

En las secciones siguientes se presenta el detalle del análisis por parámetro, y con la finalidad de visualizar los resultados del algoritmo, se presentan los mapas por contaminante con las circunferencias por sitio de monitoreo que delimitan su alcance o representatividad. Sin embargo, los resultados de la interpolación *Kriging* y del modelo de semivariograma⁴ por contaminante se presentan en el Anexo II de este documento.

⁴ Es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida, permite conocer el alcance, es decir, la distancia máxima a la que una muestra tiene influencia. El semivariograma traza este concepto de importancia crítica de cómo los valores de la muestra (contaminación, elevación, ruido, etc.) varían con la distancia.





Tabla 15. Representatividad por contaminante en estaciones RAMA. El radio está en metros.

	or eserritativiat	ad por contai	minante en es	taciones in the	ia. El faulo es	ta cir inctios.
Estación	СО	NO ₂	O ₃	SO₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
ACO	7,000	7,000	5,000	8,000	7,000	
AJM	4,500	4,500	4,500	8,500	7,000	8,000
AJU			7,000			8,000
ATI	3,000	4,000	8,000	4,000	4,500	
BJU	4,000	3,500	5,500	4,000	6,000	4,500
CAM	3,000	5,000	5,000	4,500	4,500	4,000
CCA	3,000	4,000	5,500	5,500		4,500
СНО	4,000	5,000	5,500	6,500	7,500	
CUA	3,500	7,500	5,500	5,000	4,500	
CUT		9,500	7,000	6,500	5,000	
FAC	5,000	4,000	6,500	6,500	4,500	
FAR		4,000	4,500	4,000		4,000
GAM		4,000	4,500		4,500	7,500
HGM	3,000	3,500	6,500	6,000	4,500	4,000
INN	5,500		6,000	5,500	5,000	6,000
IZT	2,500	4,000	4,000	3,500	4,000	
LLA	3,000	5,500	14,000	5,000		
LPR	3,500		4,500	4,000		
MER	2,500	2,000	3,500	4,000	4,000	3,500
MGH	3,500	3,500	4,500	6,500	6,500	5,000
MON	6,000	7,600	7,500	6,000		6,000
MPA	4,000	5,000	5,000	6,500		10,500
NEZ	4,000	5,000	12,000	4,500		5,500
PED	3,000	5,500	5,000	5,500	6,000	5,500
SAC	4,000	5,500	4,000	4,000		4,000
SAG	3,000	5,000	7,500	5,500	4,000	4,500
SFE	3,000	4,500	4,500	5,000	4,500	6,000
TAH	4,500	5,000	5,000	6,000	6,500	
TLA	3,000	3,000	3,500	4,500	4,000	4,500
TLI	3,500	5,500	12,500	5,500	4,500	
UAX	4,500	4,500	5,500	6,000		5,500
UIZ	3,000	3,500	5,000	5,000	4,000	4,000
VIF	4,000	4,500	10,500	6,500	4,500	
XAL	2,500	2,000	1,500	3,000	750	500



2.3.3.1. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El monóxido de carbono es un contaminante característico de las fuentes móviles, es decir, proviene en su mayoría de los automóviles que circulan dentro de la ZMCM. En el mapa de la interpolación para CO (Figura 7) se puede observar que la mayor concentración del contaminante se encuentra en la zona noreste y centro, lo cual es congruente con las emisiones vehiculares de dichas zonas.

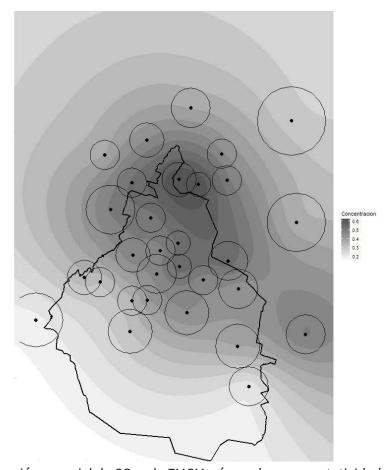


Figura 7. Distribución espacial de CO en la ZMCM y áreas de representatividad de las estaciones.

En la Tabla 16 se presenta el resultado para la representatividad de las estaciones que miden CO y el sitio de monitoreo con mayor radio de alcance fue Acolman (ACO), al noreste, con 7000 metros, correspondiente a la escala urbana definida por la US EPA (4 – 50 km). Por el contrario, las estaciones con menos representatividad obtuvieron un radio de 2500 m lo que indica una escala vecinal (0.5 – 4 km), fueron Iztacalco (IZT), Merced (MER) y Xalostoc (XAL). Se puede observar que la mayoría de las estaciones son de escala vecinal ya que de un total de 30 estaciones que miden CO, 17 sitios corresponden a escala vecinal (57%) y 13 a escala urbana (43%).





Tabla 16. Representatividad de estaciones que miden CO, ordenados del máximo al mínimo. NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.

	NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.					
Escala	Estación	Representatividad	Zona	Distribución de la representatividad de las		
Locata		(metros)	Lond	estaciones		
	ACO	7,000	NE			
	MON	6,000	SO			
	INN	5,500	SE			
<u> </u>	FAC	5,000	SO			
0	AJM	4,500	NO			
аг 00,	TAH	4,500	NO			
Urbana 0 a 50,0	UAX	4,500	NE			
Ur o a	BJU	4,000	NE			
Urbana (4,000 a 50,000 m)	СНО	4,000	CE			
4	MPA	4,000	SO			
	NEZ	4,000	CE			
	SAC	4,000	NE			
	VIF	4,000	NE	13 estaciones		
	CUA	3,500	SO	43% 17 estaciones		
	LPR	3,500	NE	57%		
	MGH	3,500	SO			
	TLI	3,500	NO			
	ATI	3,000	NO			
	CAM	3,000	NO			
E	CCA	3,000	SO			
al 000	HGM	3,000	CE	Freels Wednel		
Vecinal 0 a 4,00	LLA	3,000	NE	■ Escala Vecinal		
Ve 0 a	PED	3,000	SO	■ Escala Urbana		
Vecinal (500 a 4,000 m)	SAG	3,000	NE			
	SFE	3,000	SO			
	TLA	3,000	NO			
	UIZ	3,000	SE			
	IZT	2,500	CE			
	MER	2,500	CE			
	XAL	2,500	NE			



Se realizó un análisis por cada zona que conforma la ZMCM (Tabla 17 y Figura 8) y se observa que en el noroeste, suroeste y centro predomina la escala vecinal, mientras que en la zona sureste hay un predominio de escala urbana. En el noreste de la ZMCM, la proporción entre ambas escalas es del 50%.

Tabla 17. Número de estaciones de CO por zona y representatividad

Zona	Estaciones por zona	Vecinal	Urbana
NE	8	4	4
NO	5	4	1
SO	7	5	2
CE	4	3	1
SE	6	1	5
Total	30	17	13

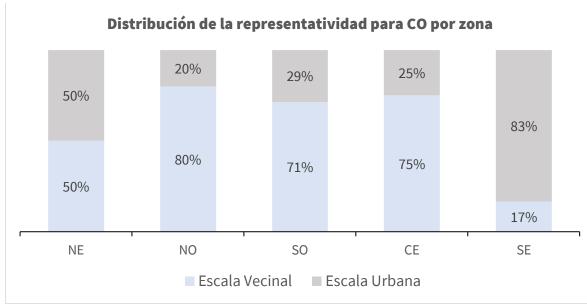


Figura 8. Representatividad de CO por zona: NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.



2.3.3.2. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO2)

El dióxido de nitrógeno es un contaminante con un comportamiento similar al CO debido a que su principal fuente de emisión son los vehículos; sin embargo, a diferencia del CO que es un contaminante primario, el NO₂ tiene parte primaria y secundaria, por lo que en el mapa de la distribución espacial de la concentración de NO₂ (Figura 9), los valores más altos se encuentran en el centro y norte, debido a que en estas zonas existe un mayor flujo vehicular.

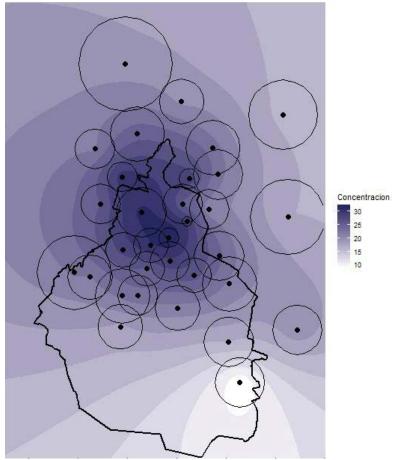


Figura 9. Distribución espacial de NO₂ en la ZMCM y áreas de representatividad de las estaciones.

En la Tabla 18 se presenta el resultado para la representatividad de las estaciones que miden NO_2 y el sitio de monitoreo con mayor radio fue Cuautitlán (CUT), al noroeste, con 9500 metros, correspondiente a la escala urbana (4 – 50 km). Por el contrario, la estación con menos representatividad fue Xalostoc (XAL) al noreste con un radio de 2000 metros, correspondiente a la escala vecinal. Se puede observar que la mayoría de las estaciones son de escala urbana, ya que de un total de 31 estaciones que miden NO_2 , 7 sitios corresponden a escala vecinal (23%) y 24 estaciones con escala urbana (77%).





Tabla 18. Representatividad de estaciones que miden NO₂, ordenados del máximo al mínimo. NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.

	NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.						
Escala	Estación	Representatividad	Zona	Distribución de la representatividad de las			
Locata	Lotation	(metros)	Lond	estaciones			
	CUT	9,500	NO				
	MON	7,600	NE				
	CUA	7,500	SO				
	ACO	7,000	NE				
	LLA	5,500	NE				
	PED	5,500	SO				
	SAC	5,500	SE				
	TLI	5,500	NO				
	CAM	5,000	NO				
E	СНО	5,000	SE				
00	MPA	5,000	SE				
Urbana 0 a 50,0	NEZ	5,000	NE	7 estaciones			
Irb; a 5	SAG	5,000	NE	23%			
Urbana (4,000 a 50,000 m)	TAH	5,000	SE				
4,0	AJM	4,500	SO				
	SFE	4,500	SO				
	UAX	4,500	SE	24 estaciones			
	VIF	4,500	NE	77%			
	ATI	4,000	NO				
	CCA	4,000	SO				
	FAC	4,000	NO				
	FAR	4,000	NE	■ Escala Vecinal			
	GAM	4,000	NE	■ Escala Urbana			
	IZT	4,000	CE				
	BJU	3,500	CE				
Ē	HGM	3,500	CE				
Vecinal 500 a 4,000 m)	MGH	3,500	SO				
Vecinal o a 4,000	UIZ	3,500	SE				
Ve 0 a	TLA	3,000	NO				
50	MER	2,000	CE				
)	XAL	2,000	NE				



En el análisis por cada zona que conforma la ZMCM (Tabla 19 y Figura 10) se observa que, en la mayoría de ellas, predomina la escala urbana, sin embargo, es más notable en las estaciones al noreste, noroeste, sureste y suroeste. En el centro, predomina la escala vecinal, en esta zona puede disminuir el rango de representatividad debido a la variabilidad de la concentración del contaminante, el cual registra sus valores máximos en el centro, ocasionado por el alto tránsito vehicular.

Tabla 19. Número de estaciones de NO₂ por zona y representatividad

Zona	Estaciones por zona	Vecinal	Urbana
NE	9	1	8
NO	6	1	5
SO	6	1	5
CE	4	3	1
SE	6	1	5
Total	31	7	24

Distribución de la representatividad para NO2 por zona

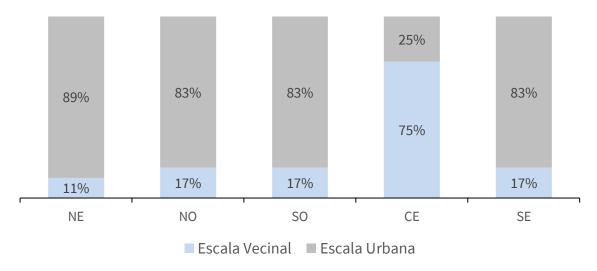


Figura 10. Representatividad de NO₂ por zona: NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.





2.3.3.3. OZONO (O₃)

El ozono es un contaminante secundario que se genera a partir de precursores (COV/NOx) y la radiación solar, en el mapa de la distribución espacial de la concentración de O₃ (Figura 11) los valores más altos se encuentran en el sur de la ZMCM. Esta interpolación espacial es congruente con el comportamiento característico del O₃, debido a que, en la ZMCM, el flujo de viento predominante es de norte a sur en la mayor parte del año y transporta los contaminantes hacia el sur. Adicionalmente, en los alrededores de la ciudad, existe una zona montañosa que es una barrera natural que impide la dispersión.

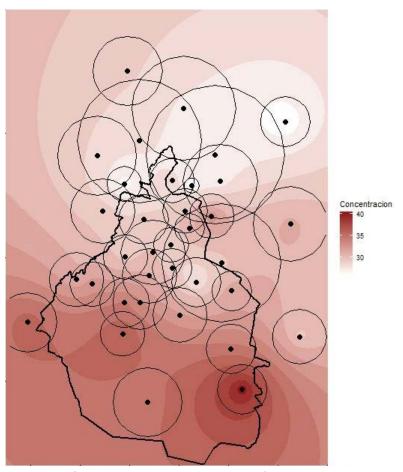


Figura 11. Distribución espacial de O₃ en la ZMCM y áreas de representatividad de las estaciones.

En la Tabla 20 se presenta el resultado para la representatividad de las estaciones que miden O₃ y el sitio de monitoreo con mayor radio de alcance fue Los Laureles (LLA), al noreste, con 14000 metros, correspondiente a la escala urbana definida por la US EPA (4 – 50 km), además es la estación y el contaminante que obtuvo el máximo radio de representatividad en todo el análisis. Por el contrario, la estación con menos representatividad fue Xalostoc (XAL) al noreste, con un radio de 1500 m, lo que indica una





escala vecinal (0.5 – 4 km). Se puede observar que, en el caso de ozono, la mayoría de las estaciones son de escala urbana ya que de un total de 34 estaciones que miden O_3 , 3 sitios corresponden a escala vecinal (9%) y 31 a la escala urbana (91%).

Tabla 20. Representatividad de las estaciones que miden O₃, ordenados del máximo al mínimo. NE – Noreste. NO – Noroeste. SO – Suroeste. CE – Centro. SE – Sureste.

	NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.					
Escala	Estación	Representatividad	Zona	Distribución de la representatividad de las		
- ESCATA	Estacion	(metros)	Lona	estaciones		
	LLA	14,000	NE			
	TLI	12,500	NO			
	NEZ	12,000	NE			
	VIF	10,500	NE			
	ATI	8,000	NO			
	MON	7,500	NE			
	SAG	7,500	NE			
	AJU	7,000	SO			
	CUT	7,000	NO			
	FAC	6,500	NO			
	HGM	6,500	CE	3 estaciones		
	INN	6,000	SO	9%		
=	BJU	5,500	CE			
0 11	CCA	5,500	SO			
e 00°	CHO	5,500	SE			
Urbana (4,000 a 50,000 m)	CUA	5,500	SO			
Ur.	UAX	5,500	SE			
0	ACO	5,000	NE			
4	CAM	5,000	NO			
	MPA	5,000	SE	31 estaciones		
	PED	5,000	SO	91%		
	TAH	5,000	SE			
	UIZ	5,000	SE			
	AJM	4,500	SO	■ Escala Vecinal		
	FAR	4,500	NE	■ Escala Urbana		
	GAM	4,500	NE			
	LPR	4,500	NE			
	MGH	4,500	SO			
	SFE	4,500	SO			
	IZT	4,000	CE			
	SAC	4,000	SE			
la e (î	MER	3,500	CE			
Vecinal (500 a 4,000 m)	TLA	3,500	NO			
Ve (.5	XAL	1,500	NE			



En el análisis por cada región que conforma la ZMCM (Tabla 21 y Figura 12) se observa una predominancia de la escala urbana, es decir, que el contaminante tiene una representatividad amplia en la ZMCM, lo cual es relevante debido a la importancia que tiene el ozono en la calidad del aire de la Ciudad de México y su área conurbada.

Tabla 21. Número de estaciones de O₃ por zona y representatividad

Zona	Estaciones por zona	Vecinal	Urbana
NE	10	1	9
NO	6	1	5
SO	8	0	8
CE	4	1	3
SE	6	0	6
Total	34	3	31

Distribución de la representatividad para O₃ por zona

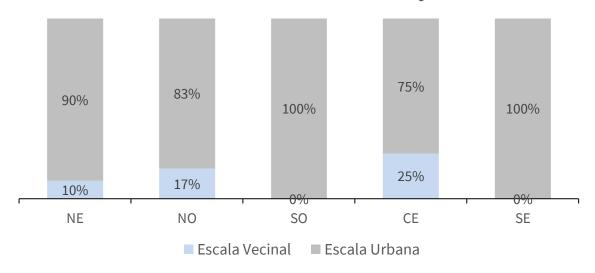


Figura 12. Representatividad de O₃ por zona: NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.



2.3.3.4. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

El dióxido de azufre es un contaminante que proviene principalmente de vehículos a diésel y de industrias que usan el combustóleo, gas LP, carbón, entre otros. En el caso de la ZMCM, las fuentes externas como la refinería de petróleo y termoeléctrica en el complejo industrial de Tula-Tepeji influyen en la concentración de SO₂ que mide RAMA. Esta influencia se puede observar en el mapa resultante de la interpolación (Figura 13) donde los niveles más altos de concentración se presentan en el noroeste de la ZMCM.

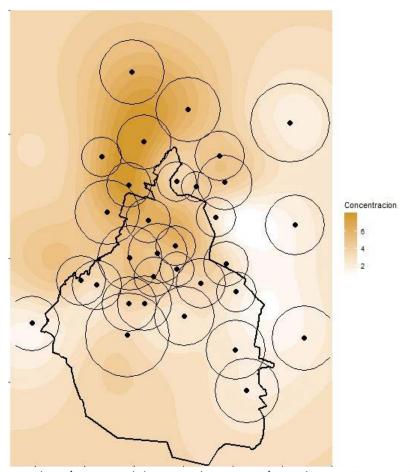


Figura 13 Distribución espacial de SO₂ en la ZMCM y áreas de representatividad de las estaciones.

En la Tabla 22 se presenta el resultado para la representatividad de las estaciones que miden SO₂. El sitio de monitoreo con mayor radio de alcance fue Ajusco Medio (AJM), al suroeste, con 8500 metros, correspondiente a la escala urbana. Por el contrario, las estaciones Iztacalco (IZT) y Xalostoc (XAL), tuvieron la menor representatividad, pues su radio fue de 3000 a 3500 m, lo que indica una escala vecinal. Se puede observar que en el caso de SO₂, la mayoría de las estaciones son de escala urbana ya que, de un total de 32 estaciones, 2 sitios corresponden a escala vecinal (6%) y 30 a escala urbana (94%).





Tabla 22. Representatividad de estaciones que miden SO₂, ordenados del máximo al mínimo.

NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste

	NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.					
Escala	Estación	Representatividad	Zona	Distribución de la representatividad de las		
ESCAIA	EStation	(metros)	ZUIIA	estaciones		
	AJM	8,500	SO			
	ACO	8,000	NE			
	СНО	6,500	SE			
	CUT	6,500	NO			
	FAC	6,500	NO			
	MGH	6,500	SO			
	MPA	6,500	SE			
	VIF	6,500	NE			
	HGM	6,000	CE			
	MON	6,000	NE	2 estaciones		
	TAH	6,000	SE	6%		
	UAX	6,000	SE			
E	CCA	5,500	SO			
00	INN	5,500	SO			
Urbana (4,000 a 50,000 m)	PED	5,500	SO			
Jrb a 5	SAG	5,500	NE			
700	TLI	5,500	NO			
7,0	CUA	5,000	SO			
	LLA	5,000	NE	30 estaciones		
	SFE	5,000	SO	94%		
	UIZ	5,000	SE			
	CAM	4,500	NO			
	NEZ	4,500	NE	■ Escala Vecinal		
	TLA	4,500	NO	■ Escala Urbana		
	ATI	4,000	NO			
	BJU	4,000	CE			
	FAR	4,000	NE			
	LPR	4,000	NE			
	MER	4,000	CE			
	SAC	4,000	SE			
inal 0 a 0 m)	IZT	3,500	NO			
Vecinal (500 a 4,000 m)	XAL	3,000	SO			



En el análisis por cada zona que conforma la ZMCM (Tabla 23 y Figura 14) se observa que la representatividad en la mayoría de las estaciones de todas las zonas es de escala urbana.

Tabla 23. Número de estaciones de SO₂ por zona y representatividad

Zona	Estaciones por zona	Vecinal	Urbana
NE	9	1	8
NO	6	0	6
SO	7	0	7
CE	4	1	3
SE	6	0	6
Total	32	2	30

Distribución de la representatividad para SO_2 por zona

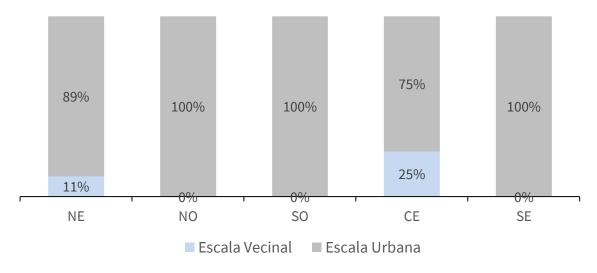


Figura 14. Representatividad de SO₂ por zona: NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.



2.3.3.5. PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS (PM₁₀)

Las partículas suspendidas PM_{10} es un contaminante de origen y composición diversa; sin embargo, su mayor contribución proviene de fuentes móviles y de la resuspensión del suelo. El resultado de la interpolación (Figura 15) muestra las zonas de mayor concentración de PM_{10} en el noreste de la ZMCM, lo cual es congruente con el comportamiento y las emisiones del contaminante durante el año (SEDEMA, 2018).

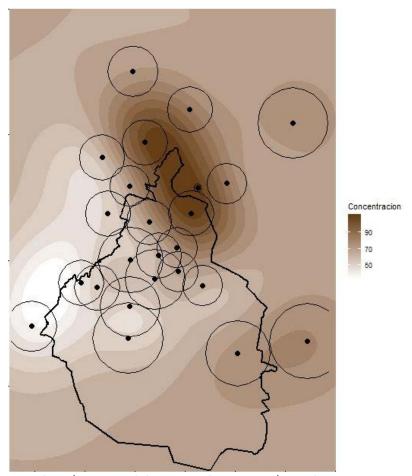


Figura 16. Distribución espacial de PM₁₀ en la ZMCM y áreas de representatividad de las estaciones.

En la Tabla 24 se presenta el resultado para la representatividad de las estaciones que miden PM_{10} y el sitio de monitoreo con mayor radio de alcance fue Chalco (CHO), al sureste, con 7500 metros, correspondiente a la escala urbana (4 – 50 km). Por el contrario, la estación con menos representatividad fue Xalostoc (XAL) con un radio de 750 m, lo que indica una escala vecinal (0.5 – 4 km). Se puede observar que de un total de 24 estaciones que miden PM_{10} , 1 sitio corresponde a escala vecinal (4%) y 23 a escala urbana (96%).



Tabla 24. Representatividad de las estaciones que miden PM₁₀, ordenados del máximo al mínimo. NE – Noreste. NO – Noroeste. SO – Suroeste. CE – Centro. SE – Sureste.

	111111111		Noroe	ste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.
Escala	Estación	Representatividad (metros)	Zona	Distribución de la representatividad de las estaciones
	CHO	7,500	SE	
	ACO	7,000	NE	
	AJM	7,000	SO	
	MGH	6,500	SO	
	TAH	6,500	SE	
	BJU	6,000	CE	1 estación
	PED	6,000	SO	4%
	CUT	5,000	NO	
=	INN	5,000	SO	
m o	ATI	4,500	NO	
a1 00,	CAM	4,500	NO	
Urbana (4,000 a 50,000 m)	CUA	4,500	SO	
Oa Oa	FAC	4,500	NO	
9	GAM	4,500	NE	
4)	HGM	4,500	CE	23 estaciones
	SFE	4,500	SO	96%
	TLI	4,500	NO	
	VIF	4,500	NE	
	IZT	4,000	CE	
	MER	4,000	CE	■ Escala Vecinal
	SAG	4,000	NE	■ Escala Urbana
	TLA	4,000	NO	
	UIZ	4,000	SE	
Vecinal (500 a 4,000	XAL	750	NE	

En el análisis por cada región que conforma la ZMCM (Tabla 25 y Figura 16) se observa que la representatividad en la mayoría de las estaciones al noroeste es de escala vecinal, mientras que en el noreste, suroeste y sureste predomina la escala urbana; en las estaciones del centro, la proporción entre vecinal y urbana es del 50% entre ambas escalas de representatividad.





Tabla 25. Número de estaciones de PM₁₀ por zona y representatividad

Zona	Estaciones por zona	Vecinal	Urbana
NE	5	1	4
NO	6	0	6
SO	6	0	6
CE	4	0	4
SE	3	0	3
Total	24	1	23

Distribución de la representatividad para PM_{10} por zona

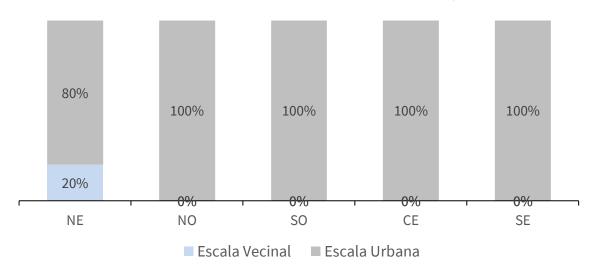


Figura 16. Representatividad de PM₁₀ por zona: NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.



2.3.3.6. PARTÍCULAS MENORES A 2.5 MICRÓMETROS (PM_{2.5})

Las $PM_{2.5}$ es la fracción fina de las partículas suspendidas y, al igual que PM_{10} , su origen y composición es diversa; sin embargo, su mayor contribución proviene de los automóviles a diésel. La composición de la fracción fina está dominada por materiales de origen secundario como los sulfatos, nitratos, compuestos orgánicos secundarios. El resultado de la interpolación de $PM_{2.5}$ (Figura 17) es similar al de PM_{10} , con los valores máximos al noreste y centro de la ZMCM.

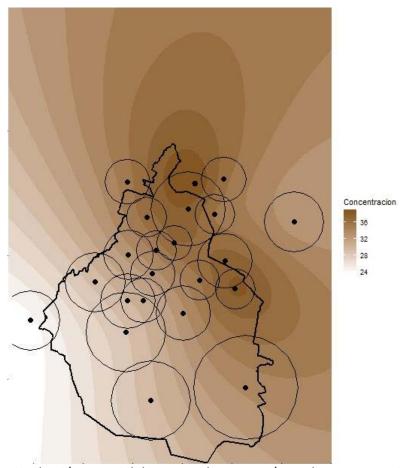


Figura 17. Distribución espacial de PM_{2.5} en la ZMCM y áreas de representatividad de las estaciones.

En la Tabla 26 se presenta el resultado para la representatividad de las estaciones que miden $PM_{2.5}$, la cual fue variable en la ZMCM y se encontró que el sitio de monitoreo con mayor radio de alcance fue Milpa Alta (MPA), al sureste, con 10500 metros, correspondiente a la escala urbana (4 – 50 km). Por el contrario, la estación con menos representatividad fue Xalostoc (XAL) con 500 m, lo que indica una escala media (0.1 – 0.5 km). Se puede observar que de un total de 22 estaciones que miden $PM_{2.5}$, un sitio corresponde a escala media (4.5 %), una estación a la escala vecinal (4.5 %) y 20 a escala urbana (91 %).





Tabla 26. Representatividad de las estaciones que miden PM_{2.5}, ordenados del máximo al mínimo. NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.

	minimo. NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.					
Escala	Estación	Representatividad (metros)	Zona	Distribución de la representatividad de las estaciones		
	MPA	10,500	SE			
	AJM	8,000	SO			
	AJU	8,000	SO			
	GAM	7,500	NE			
	INN	6,000	SO			
	MON	6,000	NE	1 estación		
	SFE	6,000	SO	4.5%		
Ē	NEZ	5,500	NE	1 estación		
Urbana (4,000 a 50,000 m)	PED	5,500	SO	4.5%		
Urbana) a 50,0	UAX	5,500	SE			
irba a 5	MGH	5,000	SO			
7 8	BJU	4,500	CE			
4,0	CCA	4,500	SO			
	SAG	4,500	NE			
	TLA	4,500	NO	20 estaciones		
	CAM	4,000	NO	91%		
	FAR	4,000	NE			
	HGM	4,000	CE			
	SAC	4,000	SE	■ Escala Media		
	UIZ	4,000	SE	■ Escala Vecinal		
Vecinal (500 a 4,000 m)	MER	3,500	CE	■ Escala Urbana		
Media (100 a 500 m)	XAL	500	NE			



En el análisis por cada región que conforma la ZMCM (Tabla 27 y Figura 18) se observa que, en todas las zonas predomina la representatividad de escala urbana, y en el noreste se presentan los tres tipos de escala ya que en esta zona se encuentra Xalostoc, la cual obtuvo la representatividad mínima de todo el análisis.

Tabla 27. Número de estaciones de PM_{2.5} por zona y representatividad

Zona	Total por zona	Media	Vecinal	Urbana
NE	6	1	0	5
NO	2	0	0	2
SO	7	0	0	7
CE	3	0	1	2
SE	4	0	0	4
Total	22	1	1	20

Distribución de la representatividad para $PM_{2.5}$ por zona

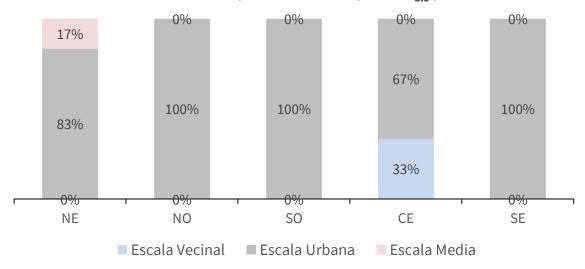


Figura 18. Representatividad de PM_{2.5} por zona: NE – Noreste, NO – Noroeste, SO – Suroeste, CE – Centro, SE – Sureste.



2.4. RESULTADO DE LA CARACTERÍZACIÓN, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO FÍSICO Y DE LA REPRESENTATIVIDAD EN LAS ESTACIONES DE LA RAMA

La representatividad y el entorno de una estación están directamente relacionados, debido a que las mediciones de un sitio de monitoreo serán representativas de una región si en los alrededores se tiene un buen entorno, es decir, que no se vea afectada por obstáculos, la influencia de emisiones directas, entre otros factores.

El análisis considera tanto la calificación del entorno como la representatividad obtenida por estación para determinar qué estaciones y contaminantes se deben revisar sus entornos para mejorar su calificación, o bien, cambiar su escala de representatividad que fue definida en estudios anteriores a este para que se conozca el área que efectivamente cubren las mediciones de algunas estaciones. En caso extremo se recomienda una reubicación de la estación; sin embargo, esto presenta dificultades debido a la logística que implica retirar un sitio y colocarlo en otro lugar, además que pueden ser estaciones históricas que, debido a su gran cantidad de datos a través de los años, no es posible eliminarlas y deben ser reubicas dentro de su área de representación de preferencia para continuar con información histórica.

A continuación, se presentan las consideraciones para determinar si alguna estación requiere algún tipo de cambio, ajuste o mejorar su calificación

- Si el entorno tiene calificación mayor o igual a 80 y la escala de representatividad obtenida en este análisis (calculada) y la reportada en estudios anteriores coinciden, entonces se cumplen ambos parámetros para determinar que la estación o su entorno **no requieren ajuste alguno**.
- Si el entorno tiene calificación mayor o igual a 80, pero la representatividad calculada y la reportada anteriormente no coinciden, entonces se deberá cambiar la escala conforme lo que se obtuvo en este análisis. Sin embargo, aunque las escalas de representatividad no coincidan, se considera que, si la calculada es mayor a la reportada, entonces la estación sí mide adecuadamente y solo requerirá que se clasifique en la escala superior, por ejemplo, en el caso de un sitio que obtiene una representatividad de escala urbana y anteriormente estaba clasificada como la vecinal.
- Si el entorno tiene calificación menor a 80 pero la representatividad calculada es igual o mayor a la reportada anteriormente, entonces se sugiere **revisar el entorno** o hacer pequeños cambios para mejorar su calificación.



 Si ambos parámetros no son adecuados (calificación menor a 80 y escalas de representatividad no coinciden) entonces se recomienda cambiar el objetivo de la estación o bien, en caso extremo, reubicar la estación.

En la Figura 19 se presenta el resumen del número de estaciones por contaminante que cumplen con las consideraciones antes descritas. Se puede observar que, en todos los contaminantes solamente se requiere ajustar la escala de representatividad.

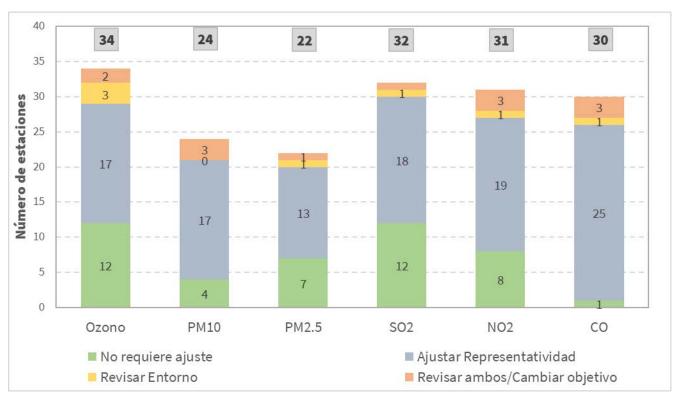


Figura 19. Número de estaciones por contaminante que requieren ajuste de representatividad o entorno

Al finalizar el análisis, cinco sitios requieren de ajustes para mejorar su entorno físico y aumentar su representatividad (Tabla 28), la estación Xalostoc (XAL) por las condiciones y la altura en la que se ubica, la cual supera el criterio sugerido por la US EPA, se propone sea reubicada en una zona cercana debido a que es una estación considerada histórica y representa una región donde hay una gran cantidad de población. En TLA se determinó que lo más factible es cambiar los objetivos de monitoreo de la estación ya que se considera que mide la fuente de emisión debido a la cercanía de industrias o tráfico, lo cual reduce la representatividad en la estación. Otras estaciones las cuales se debe mejorar sus condiciones son ATI, TLI y AJU, sin embargo, estas estaciones no se considerar históricas.



Tabla 28. Calificación y motivos por lo que las obtuvo en la evaluación de entornos

Estación	Calificaciones obtenidas por contaminante					Motivo ²		
ESTACION	O ₃	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	со	Motivo		
AJU	76					Presencia de 1 árbol que sobrepasa la toma de muestra y se encuentra a 9.5 metros de la estación en la dirección sur, por donde entra el 60% del viento dominante en el año.		
ATI ¹	76	76	76	76	76	Presencia de 3 árboles cercanos a la estación, de los cuales dos se encuentran entre la toma de muestra y la entrada del viento, lo que afecta la medición en más del 50%.		
TLA	64	75		64	64	Presencia de 2 vialidades muy cercanas, la que afecta más es una vialidad terciaria que se encuentra aproximadamente a 7 metros de la estación y que es por donde entra el viento dominante el 89% del año.		
TLI ¹	76		76	76	76	Presencia de 3 árboles cercanos a la estación, de los cuales dos se encuentran entre la toma de muestra y la entrada del viento, lo que afecta la medición en más del 60%.		
XAL	57	43		57	57	Presencia de 3 vialidades cercanas a la estación, la que afecta más es una vialidad primaria que se encuentra aproximadamente a 20 metros de la estación y que es por donde se entra el viento dominante en el 75% del año. Además, la altura de la estación no corresponde a los criterios establecidos ya que está por encima de la recomendación.		

¹ El viento dominante fue estimado con la salida del modelo y confirmado con estaciones cercanas con REDMET, por lo tanto, estos resultados pueden tener menos precisión en comparación a las estaciones que sí cuentan con datos de viento.

² Los datos fueron tomados de la matriz de entornos y algunos casos directamente revisados de los reportes en físico que se tienen, cualquier duda relacionada con las distancias de los objetos a la estación o la orientación del objeto, remitirse al área de expertos en campo que tomaron los datos



A estas cinco estaciones la representatividad descrita se debe de reducir debido a los problemas de entorno. Aunque la estación XAL presenta escalas reducidas, en las otras estaciones también se debe cambiar a la escala espacial de representatividad inferior, como se muestra en la Tabla 29. En consecuencia, algunas tendrán que cambiar de objetivos, al igual que los sitios en donde la representatividad de ciertos contaminantes haya registrado escalas media y micro. Un ejemplo es la estación MER para los contaminantes NO₂ y CO, ya que, al estar cerca de vialidades con alto tránsito vehicular, dichas fuentes de emisión tienen una importante influencia en la medición del sitio por lo que se considera que mide las fuentes y no una parcela de aire más grande y homogénea, que la haga representativa de la zona Centro.

Tabla 29. Escala de representatividad ajustada debido a problemas de entorno de la estación.

I dibta 25. Locata	Tabla 29. Escata de representatividad ajustada debido a problemas de entorno de la estación.									
Estación	СО	NO ₂	03	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}				
AJU-original			Urbana			Urbana				
AJU-ajustada			Vecinal			Vecinal				
ATI -original	Vecinal	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana					
ATI-ajustada	Media	Vecinal	Vecinal	Vecinal	Vecinal					
TLA-original	Vecinal	Vecinal	Vecinal	Urbana	Urbana	Urbana				
TLA-ajustada	Media	Media	Media	Vecinal	Vecinal	Vecinal				
TLI-original	Vecinal	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana					
TLI-ajustada	Media	Vecinal	Vecinal	Vecinal	Vecinal					
XAL-original	Media	Media	Micro	Media	Micro	Micro				
XAL-ajustada	Micro	Micro	Micro	Micro	Micro	Micro				



3. CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO FÍSICO Y DE LA REPRESENTATIVIDAD EN LAS ESTACIONES DE LA REDMET

La concentración de los contaminantes atmosféricos debe relacionarse con parámetros tales como la radiación, precipitación, velocidad y dirección del viento, así como la temperatura, para tratar de establecer un patrón de influencia. Este análisis permite crear información base representativa, con la cual, se pueda realizar la correcta planificación de los programas de vigilancia de la calidad del aire y el establecimiento de las correspondientes medidas de control.

A diferencia de las estaciones meteorológicas tradicionales, los sitios de monitoreo urbanos deben ubicarse considerando factores que influyen en el balance radiactivo del sistema Tierra-atmósfera y por lo tanto, en la micrometeorología urbana como son: la rugosidad de la superficie terrestre de la ciudad, el uso del suelo urbano, el agrupamiento, la orientación y las características de los edificios y viviendas aledañas al sitio de monitoreo, así como las perturbaciones que tienen origen en la capa de mezcla, la capa superficial y la capa de estela urbana, las condiciones micro climáticas de la capa límite planetaria y la capa límite urbana.

En las zonas urbanas no es posible atenerse a las directrices estandarizadas de la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos (OMM, 2017); debido a circunstancias tales como la obstrucción del flujo de aire, el intercambio de radiación que causan edificios y árboles, la presencia de una cubierta superficial no natural, así como los excedentes de calor y de vapor de agua que emiten las actividades humanas.

Es importante puntualizar que la REDMET, al igual que las demás subredes que conforman el SIMAT, a lo largo de los años ha evolucionado en concordancia con la adquisición de nuevas tecnologías en las áreas del monitoreo de calidad del aire y la meteorología urbana. Los dos grandes momentos de la red ocurrieron en 2003 y 2010, como ya se refirió; en aquellos momentos la instalación de los sensores de temperatura y humedad relativa se realizó conforme a las directrices de la US EPA, que indicaba ubicar los sensores a 2 o 3 metros con respecto a la superficie y esto respondió a la necesidad de conocer las condiciones ambiente del volumen de la muestra que se recolectaba en diferentes equipos que forman parte de la RAMA, como los TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance, por sus siglas en inglés) para el muestreo de partículas, puesto que los mismos no tenían acoplado equipo para la medición de temperatura y humedad relativa. De modo que dichos sensores tuvieron que cumplir doble función y dar resultados en ambas redes.



En el caso de los sensores de viento se hicieron modificaciones en las alturas de estos debido a que no se contaba con las condiciones laborales necesarias para realizar el manejo seguro en las torres; por lo que se tomó la decisión de disminuir la altura de los sensores de viento para proteger a los trabajadores y además se pudiera cumplir con el criterio de ubicar los sensores entre 8 y 10 metros.

3.1. CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL ENTORNO FÍSICO DE LAS ESTACIONES DE LA REDMET

El objetivo principal de esta nueva revisión a la REDMET es realizar las correcciones que sean posibles con la finalidad de mejorar la medición de las variables meteorológicas y cumplir los objetivos de la red, incluso con las limitaciones de las estaciones meteorológicas dentro de un espacio urbano.

El análisis y la calidad de los datos meteorológicos de la REDMET es importante para entender los fenómenos de meteorología urbana que son fundamentales en los problemas de contaminación atmosférica, como es el efecto de la isla de calor y la influencia de los edificios, así como de sus materiales de construcción en las mediciones de REDMET. Otro aspecto relevante de los datos meteorológicos es que, mediante la asimilación de datos, se puede optimizar el pronóstico en los modelos numéricos y para cumplir con este aspecto, es fundamental mejorar las mediciones de la red.

3.1.1. Objetivo

Evaluar las características físicas del entorno de las estaciones de la Red de Meteorología a través de una metodología flexible que determine las condiciones reales de cada estación, para asegurar la obtención de datos confiables y representativos de las diferentes escalas.

3.1.2. Método

En meteorología, las escalas se definen por las dimensiones de los rasgos morfométricos que constituyen un paisaje urbano (Anexo III: Concepto de escalas).

En las áreas urbanas existen propiedades que afectan a la atmósfera, por lo que a continuación se describen los aspectos básicos más importantes:



- a) *La estructura urbana:* dimensiones de los edificios y separación entre ellos, anchura y separación de las calles;
- b) *La cubierta urbana:* componentes, superficies pavimentadas y ajardinadas, suelo desnudo, agua;
- c) El tejido urbano: materiales de construcción y naturales;
- d) El metabolismo urbano: calor, agua y contaminantes debidos a la actividad humana.

Es importante mencionar que no existe un método universalmente aceptado de clasificación urbana con fines climáticos, por lo que para este estudio se utilizarán varios criterios.

3.1.2.1. Clasificación de las zonas climáticas urbanas

Las zonas climáticas urbanas (ZCU) permiten clasificar áreas de asentamientos similares de acuerdo con su potencial para modificar el clima local y para identificar posibles transiciones hacia otras zonas climáticas urbanas.

Este tipo de clasificación es esencial al iniciar la revisión o instalación de una estación meteorológica, con el fin de cumplir los criterios de homogeneidad espacial en el dosel urbano⁵ o por encima de la subcapa de rugosidad. Con fines de calidad del aire, es imprescindible caracterizar estas cuestiones en los entornos de cada estación, pues ello permitirá explicar la distribución espacial y temporal de los contaminantes dentro del área de estudio por lo que es el primer paso para la revisión.

Se escogió la clasificación simple (Tabla 1, Anexo III), que incluye grupos de zonas de Ellefsen (1991), más un indicador de la estructura, zH/W (ver la nota c de la Tabla 1 del Anexo III), estrechamente relacionado con el flujo, la protección solar y la isla de calor, así como un indicador de la cubierta superficial (en porcentaje de edificaciones), relacionado con el grado de permeabilidad de la superficie. Para llevar a cabo la clasificación es necesario contar con lo siguiente:

- Revisar fotografías aéreas e imágenes satelitales (en este caso se utilizaron los mapas de Google Maps) para describir correctamente cada entorno de estación.
- Reconocimiento visual realizado desde un vehículo y/o a pie (Información recabada en la matriz de entornos).

⁵ El dosel urbano es la capa de aire de las ciudades más cercana a la superficie, donde las personas viven, que se extiende desde el suelo hasta las copas de los árboles o los tejados de las edificaciones.



3.1.2.2. Clasificación de las estaciones por la rugosidad

Se van a dividir las estaciones en dos grupos según la clase de rugosidad descritos en la Tabla 30 (ver nota b de la Tabla 1 del Anexo III):

- Aquellas estaciones con longitud de rugosidad (z₀) superior a 0.25 m, incluye los sitios entre las zonas climáticas urbanas de la 2 a la 5.
- Aquellas estaciones con longitud de rugosidad inferior a 0.25 m, que corresponde a las zonas climáticas urbanas 6 y 7; en este caso se redujo al análisis de 5 estaciones (CUT, AJU, MPA, INN y CHO).

El viento es una variable meteorológica con un comportamiento vectorial y cuyas componentes x,y,z definen el transporte o advección de la concentración de los contaminantes u otras propiedades meteorológicas (temperatura y humedad). Este parámetro es importante para observar el comportamiento de la dirección y velocidad del viento y así determinar si la ubicación de la estación de calidad del aire es adecuada; incluso cuando esté o no localizada en el mismo sitio donde se miden los contaminantes atmosféricos o el resto de las variables

Tabla 30. Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno^a.

Clase	Z _o (m)	Descripción del paisaje
4 Abierto rugoso	0.10	Moderadamente abierto con obstáculos ocasionales (p. ej., edificios bajos aislados o árboles) con separaciones horizontales relativas de al menos 20 veces la altura del obstáculo.
5 Rugoso	0.25	Obstáculos dispersos (edificios) a distancias relativas de 8 a 12 veces la altura del obstáculo para objetos sólidos bajos (p. ej., edificios). El análisis puede requerir Zd.
6 Muy rugoso	0.5	Zona moderadamente cubierta por edificios con separaciones relativas de 3 a 7 veces la altura del obstáculo y sin árboles altos. El análisis requiere Zd.
7 Cerrado	1.0	Zona densamente construida sin demasiada variación en la altura de los edificios. El análisis requiere Zd.
8 Caótico	2.0	Centro de las ciudades con edificios altos y bajos. Se recomienda análisis por túnel de viento.

Notas:

- a) Versión abreviada (revisada solo para la rugosidad urbana) de Davenport et al (2000).
- b) Los valores de primer orden de Zd son fracciones de la altura media de los obstáculos, esto es: 0.5 zH, 0.6 zH y 0.7 zH para las categorías 5, 6 y 7 de Davenport, respectivamente.



3.1.2.3. Evaluación la ubicación de los sensores de viento

Se utilizan los resultados del paso 1, de acuerdo con los siguientes aspectos:

Para las zonas urbanas 6 y 7 se considera la ubicación de los sensores a 10 m, en una instalación en la que se apliquen las directrices sobre exposición típica en "paisajes abiertos"; los obstáculos más cercanos deben de estar a una distancia de 10 veces su altura desde el anemómetro, y no medir más de 6 m de altura en promedio (se pueden hacer correcciones si hay presencia de obstáculos, los detalles se explican en los resultados). La distancia a los objetos se determina de acuerdo con la Figura 20.

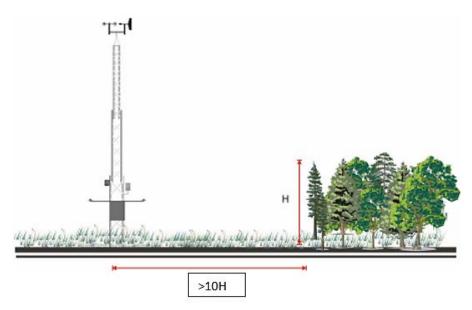


Figura 20. Ubicación de las estaciones meteorológicas.

La OMM no recomienda colocar sensores de viento y temperatura en los techos de los edificios. Los experimentos realizados mediante túneles de viento y sobre el terreno han demostrado que el flujo de viento sobre un obstáculo sólido aislado, como un edificio de gran altura, tiene perturbaciones por encima y en los alrededores del sensor. Estas perturbaciones implican alteraciones de las líneas de corriente, la presencia de zonas de recirculación sobre el techo y denominada "burbuja" o cavidad situada tras él y efectos de estela que persisten en el flujo corriente abajo y que afectan a una gran parte del entorno (Figura 21). La OMM también recomienda que los anemómetros no deben estar situados en mástiles de escasa altura sobre la cima de los edificios debido a que la velocidad y dirección varían considerablemente en distancias cortas, ya sea horizontal o verticalmente. Los resultados obtenidos



mediante los instrumentos instalados de esta manera no reflejan el flujo general de forma adecuada y dependen de las características del edificio, de la situación del mástil en la estructura y del ángulo de llegada del flujo hacia el edificio.

Los flujos de la circulación y del vórtice que se observan en la Figura 21, significan que, si el mástil está situado al frente sobre el techo o en la zona de cavidad situada atrás del edificio, la dirección del viento obtenida por las mediciones puede ser diferente de la dirección dominante del flujo, sin la influencia del clima eólico generado por el propio edificio (la zona A de la Figura 21a) y la velocidad será variable. Los instrumentos de viento deberán instalarse a una altura considerable para evitar que la zona de cavidad les afecte. Algunos autores han propuesto que la altura de esos sensores sea superior a la dimensión horizontal máxima del techo principal (Wieringa, 1996), mientras otros consideran que la altura mínima necesaria debe ser 2.5 veces superior a la altura del edificio. Sin embargo, ambas opciones conllevan un sistema de mástil costoso, con amarres que abarquen una gran extensión y probablemente dificultades para obtener el permiso de instalación.

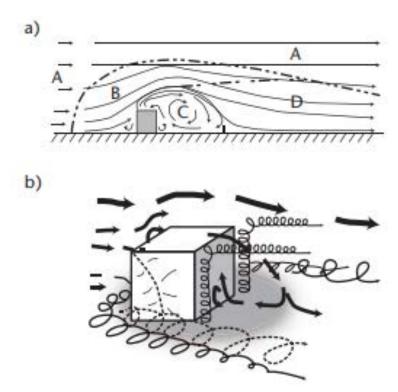


Figura 21. Flujo bidimensional típico alrededor de un edificio, con flujo perpendicular a la pared de barlovento. a) líneas de corriente y zonas de flujo; A representa la zona no perturbada, B corresponde a la zona de desplazamiento, C representa la cavidad y D representa la estela del flujo (Halitsky, 1963); b) flujo y estructuras de vórtice (simplificado de Hunt et. al, 1978).



En este trabajo se consideró que la mayoría de las estaciones de la REDMET, 68 % del total, se encuentran ubicadas en techos de edificios; se revisaron los sitios para evaluar el cumplimiento los criterios (Tabla 31), con las siguientes consideraciones:

- Colocación del sensor a una altura superior a 1.5 veces la altura media de los elementos del terreno (zh) siempre que fuera posible y no se tratara de edificios demasiado altos (en comparación con el entorno) y aislados, la altura de los elementos medios del terreno se igualó a la altura del edificio donde se ubica la estación (Este criterio es válido para localizar la altura donde comienza la subcapa de rugosidad y con ello el perfil logarítmico del viento).
- Torres ubicadas en edificios altos y aislados, se consideró el criterio de ubicar el sensor 2.5 veces la altura del edificio para evitar la zona de estela, generada por el mismo.

Tabla 31. Criterios óptimos para asegurar la correcta ubicación de los sensores de velocidad y dirección del viento según la OMM.

uneccion dei viento segunta olim.							
Va	riable	Criterio					
Altura del instrumento sobre el suelo		La altura estándar de los instrumentos anemométricos utilizados sobre terreno llano abierto es de 13 m por encima del suelo.					
Altura cuando se ubica en	Edificios juntos y de altura similar	Se colocará a alturas mayores de 1.5 zH, para asegurarse que esté ubicado por encima de la subcapa de rugosidad y no influyan características micro climáticas.					
techos	Edificio aislado	La profundidad total estimada de la estela del edificio, es aproximadamente 2.5 veces la altura del edificio.					
	el instrumento a torre	El instrumento se debe ubicar a 2 veces el diámetro de la torre, en dirección del viento predominante.					
Diámetro de la torre		Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.					
Distancia al obstáculo más cercano		La distancia entre el anemómetro y cualquier obstáculo debe ser por lo menos 10 veces superior a la altura del obstáculo.					
Altura del obstáculo más cercano		Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.					



3.1.2.4. Evaluación la ubicación de los sensores de temperatura

Según la OMM, la temperatura del aire medida por encima del palio urbano mediante sensores instalados en una torre todavía está influenciada por el aire intercambiado con el palio urbano más el efecto de los techos. La mayoría de las superficies del dosel urbano presentan una menor variabilidad térmica que en los techos, ya que estos últimos están diseñados para aislar y minimizar el intercambio de calor con el interior del edificio. En consecuencia, la temperatura superficial del techo aumenta durante el día mientras que el suelo y las paredes son más fríos; durante la noche, la situación se invierte. Por ello, aunque en el dosel urbano la temperatura casi no varía con la altura, hay una discontinuidad cerca del nivel del techo, tanto horizontal como vertical.

Considerando estos efectos, si se desea conseguir un promedio espacial representativo, los sensores de temperatura deberían estar situados por encima del nivel medio del techo, a una altura superior a 1.5 zH, con la finalidad de que el aire del techo esté mezclado con el de los alrededores. Por lo anteriormente mencionado, en esta revisión se consideraron los criterios citados en la Tabla 32.

Tabla 32. Criterios óptimos para asegurar la correcta ubicación de los sensores de temperatura

según la OMM.

Va	riable	Criterio					
	Zona climática urbana:2-5	Se colocará a 1.5 zH (considerando zH como igual a altura del inmueble donde está)					
Altura del instrumento	Zona climática urbana: 6 y 7 Superior a 2 metros por encima del nivel del su límite superior es flexible.						
Distancia al o cercano	bstáculo más	La distancia debe ser por lo menos 4 veces la altura del obstáculo más cercano.					
Altura del obs	táculo más	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.					
Distancia del torre	instrumento a la	El instrumento se debe ubicar a dos veces el diámetro de la torre, extendido hacia fuera en dirección del viento predominante.					
Ubicación		Debe tener exposición directa al sol y al viento, libre de la sombra o proximidad de árboles, edificios u otros objetos que obstruyan.					



Determinar el alcance mínimo necesario para la correcta clasificación de zonas climáticas y altura del sensor. Se realizó para las zonas climáticas urbanas de 2 a 5. El cálculo de esta variable consideró lo siguiente:

• El alcance o representatividad de cada estación puede ser determinada por la fórmula 100*(zr – zd), con el uso de la relación de altura/distancia 1:100 que es la relación recomendada para ambientes urbanos, considerándose condiciones neutras de estabilidad. El valor de zd se calculó como fracciones de zH, de acuerdo con inciso b de la Tabla 32.

Por ejemplo, una estación en un entorno calificado como zona urbana 5, clase de rugosidad efectiva del terreno de 6; con un valor de zH igual a 10 m; este último valor significa que zr no es inferior a 15 m (considerar que zr puede alcanzar valores de 1.5 a 4 zH; en este análisis se usó el valor mínimo de zr para comparar si es correcta la ubicación de los sensores). Si se selecciona la altura de 15 m como nivel de medición, el alcance requerido para dicha estación no será menor a 0.9 km, y zd = 0.6 zH (Nota b de la Tabla 32), será aproximadamente 6 m.

3.1.2.5. Evaluación la ubicación de los sensores de humedad y radiación UV

A continuación, en las Tablas 33 y 34 se resumen los criterios considerados para humedad relativa y para los sensores de UV, respectivamente.

Tabla 33. Criterios óptimos para asegurar la correcta ubicación de los sensores de humedad relativa según la OMM.

Vari	able	Criterio				
	Zona climática urbana: 2-5	Se colocará a 1.5 zH (con zH igual a altura del inmueble donde está)				
Altura del instrumento	Zona climática urbana: 6 y 7	Superior a 2 metros por encima del nivel del suelo y el límite superior es flexible.				
Distancia al obstáculo más cercano		La distancia debe ser por lo menos 4 veces la altura del obstáculo más cercano.				
	ostáculo más cano	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.				





Variable	Criterio
Distancia del instrumento a la torre	El instrumento se debe ubicar a 2 veces el diámetro de la torre, en dirección del viento predominante.
Ubicación	El sensor debe estar protegido de la lluvia y el viento, siempre que su protección no genere un microclima.

Tabla 34. Recomendaciones para la ubicación del sensor de radiación UV.

Tuble 11 Recommendation to part to absence on act of addition of								
Variable	Criterio							
Distancia del instrumento a la torre	El instrumento se debe ubicar en la parte superior de la torre o, a dos veces el diámetro de la torre, extendido hacia fuera y en dirección del viento predominante.							
Distancia al obstáculo más cercano	La distancia entre el sensor y cualquier obstáculo debe ser tal que no ocasione sombras en ninguna época del año.							
Altura del obstáculo más cercano	Se utiliza como información para verificar el cumplimiento del criterio anterior.							

3.1.2.6. Elaboración de los metadatos por estación

A partir del análisis realizado por la Subdirección de Meteorología y la recolecta de información durante las visitas a cada estación realizada por la Subdirección de Análisis y Modelación; se sigue la Guía de Instrumentos y Observaciones (OMM, 2017) para estaciones meteorológicas urbanas (Figura 22). A continuación, se describe la información que deben contener los metadatos:

- Mapa a escala local o mesoescalar (~1:50 000) como el de la Figura 22a, actualizado continuamente para identificar las variaciones del desarrollo urbano a gran escala, por ejemplo, conversión de terrenos sin edificar en viviendas, construcción de centros comerciales, aeropuertos, edificios altos, tala de áreas boscosas o con vegetación, drenaje de lagos, creación de estanques de retención, etc.
- Fotografía aérea y un mapa esquemático simple (a escala 1:500 000 o 1:1 000 000) para indicar la ubicación de la estación con respecto al resto de la región urbanizada (Figura 22b y 22c) y cualquier accidente geográfico importante, como grandes masas de agua, montañas y valles, o cambios del tipo de ecosistema (desierto, pantano, bosque).



- Imágenes satelitales en el espectro infrarrojo para observar aspectos importantes del microclima. Las superficies relativamente frías durante el día indican la existencia de humedad o de materiales con una emisividad⁶ superficial anómala. Las zonas más calientes de lo normal pueden estar muy secas, presentar un albedo bajo o un aislamiento muy eficaz.
 - Durante la noche, el frío relativo denota un buen aislamiento, mientras que el calor relativo indica la situación contraria, o bien, que un material con una admitancia térmica elevada emite el calor almacenado durante el día, o existe una fuente anómala de calor antropogénico.
- Fotografías tomadas desde los puntos cardinales del sitio donde se encuentran los instrumentos de medición.

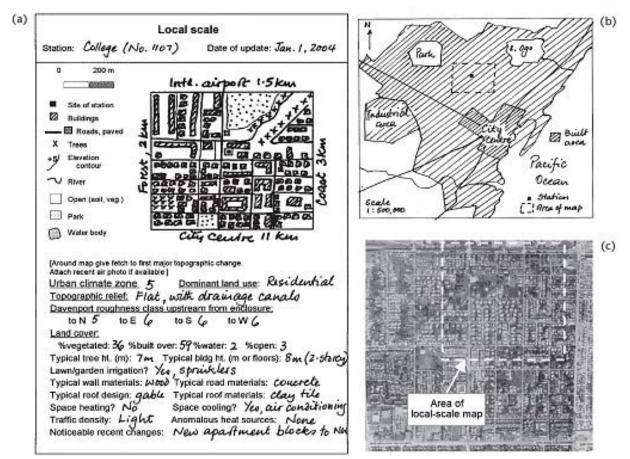


Figura 22. Información necesaria para describir el entorno a escala local de una estación urbana: a) una plantilla con información sobre la ubicación; b) un croquis para situar la estación en la región urbana más amplia, y c) una fotografía aérea.

⁶ La **emisividad**, llamada antiguamente **emitancia**, es la proporción de <u>radiación térmica</u> emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura



3.2. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN, ANÁLISIS DEL ENTORNO FÍSICO Y DE LA REPRESENTATIVIDAD EN LAS ESTACIONES DE LA REDMET

Se realizó una revisión del cumplimiento de los criterios para cada variable, lo primero fue clasificar las Zonas Climáticas Urbanas (ZCU), en la Tabla 35 se presenta las estaciones con el alcance mínimo necesario relacionado con su ZCU, la altura del sensor que mide el viento y, por último, el alcance real de la estación. La distribución de los sitios de acuerdo con la ZCU que les corresponde se observa en la Figura 23. Es importante mencionar, que para la estación Santa Fe (SFE) no fue posible determinar el alcance real a través de la metodología descrita, debido a que el sensor de viento se encuentra a una altura no representativa para realizar la evaluación

Tabla 35. Clasificación del tipo de zona climática urbana (ZCU), Davenport et al (2000).

			, Davenport et al (200		
ZCU	Estación	Alcance mínimo (m)	Alcance real (m)		
2	HGM	2,000	1,600		
2	SFE	1,200	500		
	AJM	1,632	1,062		
	BJU	976	1,176		
	CUA	566	1,336		
	FAC	688	1,208		
	GAM	912	1,594		
	LAA	520	995		
	MER	1,620	1,390		
3	MGH	2,070	1,500		
	PED	630	1,110		
	SAC	720	1,340		
	SAG	724	534		
	TAH	808	716		
	TLA	640	730		
	VIF	640	530		
	XAL	2,700	1,540		
	FAR	1,50	1,475		
4	NEZ	693	1,373		
	UIZ	1,368	956		
	ACO	837	942		
5	CUT	610	410		
	UAX	1,800	1,660		
	СНО	2,000	2,000		
6	INN	2,000	2,000		
	MON	2,000	2,000		
7	AJU	2,000	2,000		
•	MPA	2,000	2,000		





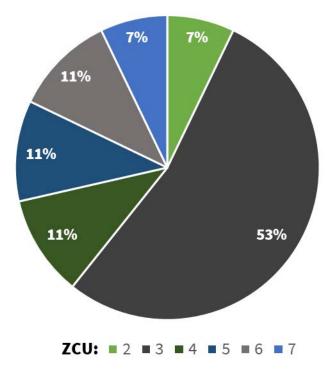


Figura 23. Distribución de los entornos en los sitios de meteorología de acuerdo con la ZCU que pertenecen.

Las estaciones semi rurales (AJU, INN, MON, MPA, CHO) que se encuentran en la periferia de la ZMCM, presentan objetivos de monitoreo específicos y se denominan estaciones de transporte; es decir, que la mayoría de los contaminantes son advectados⁷ por el viento y no emitidos por fuentes locales. Se recomienda que en las estaciones de transporte se evite la exposición a condiciones micro climáticas, por ejemplo, las mediciones del viento realizadas en las faldas de las montañas suelen reflejar los vientos catabáticos⁸; e influyen en el transporte a nivel de cuenca, por lo que pueden introducir ruido en los datos de algunos contaminantes y, en consecuencia, dichas estaciones no cumplirían con su objetivo fundamental. Es importante aclarar que en estos sitios de monitoreo se cumplió con el alcance mínimo necesario a través de la revisión visual de imágenes de satélite y las fotos del entorno del sitio; debido a que no se encontraron cambios de clase de rugosidad en ninguna dirección.

⁷ La **advección** es el transporte en un fluido. El fluido se describe matemáticamente para tales procesos como un campo vector, y el material transportado como una concentración escalar de sustancia, que está presente en el fluido. Un buen ejemplo de advección es el transporte de contaminantes o sedimentos en un río.

⁸ Derivado de "katabatikos" de la palabra griega que significa "ir cuesta abajo". Los vientos catabáticos llevan el aire de alta densidad de grandes alturas cuesta abajo por la fuerza de gravedad



Se encontró que 12 estaciones urbanas no representan las distancias óptimas para la mezcla de contaminantes. Es importante mencionar que, si una estación no cumple con el alcance óptimo, está relacionado directamente con una altura reducida del sensor de viento, por lo tanto, una corrección en la altura de sensor sería suficiente para garantizar el alcance mínimo de la estación, pues la revisión de las imágenes satelitales constató que las áreas alrededor de las estaciones son representativas de la ZCU en una extensión no menor a 2 km², a excepción de Santa Fe (SFE). En las Tablas 36 y 37, se presenta un resumen del cumplimiento de los criterios referidos a la correcta instalación de los sensores que miden las variables meteorológicas.

Tabla 36. Cumplimiento de los criterios para las estaciones con ZCU 6 y 7.

	Altura Sensor		Ubicación		Sensor			
Estación	>=10	>=3	del sensor >= 2 D	Obstáculo				UV libre de
	vv,vd	T, HR	UV	T, HR	x>=4H	vv,vd	x>=10H	sombra
AJU	Sí	Sí	Sí	Х	No	Χ	No	Sí
CHO ¹	Sí	No	Sí	Χ	No	Χ	No	Sí
INN	No	Sí	-	-	-	-	-	-
MON	No	Sí	Sí	-	-	-	-	Sí
MPA ²	No	No	Sí	-	-	-	-	Sí

Notas:

X=presencia de obstáculo

La estación SFE se encuentra sobre la superficie, y en un radio de 500 metros cumple con los estándares de una estación tradicional meteorológica; sin embargo, al Norte del sitio, a partir de los 500 metros de distancia, existe un abanico de grandes edificios; al NNO de la está la Torre H2O, con una altura de 140 metros y se localiza a una distancia de 617 m, además se encuentra la Torre Panorama (altura: 139.4 m; distancia: 673 m). Hacia el NNE se localiza la Torre Acuario con una altura aproximada de 48 m y a una distancia de 770 m. Finalmente, hacia el SSE se ubica la Torre Sequoia (altura: 78 m) a una distancia ligeramente inferior a 300 m. A través de las imágenes de satélite es posible identificar que los alrededores de la estación más allá de 500 metros de radio, en el norte presenta clase de rugosidad 8; y en el resto de los cuadrantes, tiene clase de rugosidad 7.

¹ La presencia de obstáculos tanto para el sensor de velocidad y dirección del viento como para el de temperatura puede corregirse incrementando la altura de los sensores.

²En el caso de la estación MPA debido a que se ubica en un edificio aislado, el cumplimiento de la altura de los sensores de temperatura y viento se comparó respecto a los criterios de 1.5 veces superior a la altura del inmueble y 2.5 veces, respectivamente.





En la estación SFE se consideraron sus limitaciones, se aplicaron los criterios descritos y finalmente se clasificó la estación SFE como una ZCU tipo 2, con la consideración que en el cuadrante norte existe una barrera de grandes edificios que pueden generar cambios importantes en las mediciones del viento y probablemente en otras variables. Cuando se estimó el alcance real de la estación SFE con el método descrito para una ZCU tipo 2, se obtuvo valor extremo; y es que, con una altura promedio de 15 metros de edificios y árboles, se necesitaría que el sensor estuviera a 22.5 metros, lo cual es más del 50 % de la altura actual del sensor (9.82 m). Sin embargo, en un radio de 500 metros la estación SFE cumple con los requisitos de la OMM y también con los de la US EPA, por ello se consideró dejar este valor como el alcance real del sitio. Se recomienda que, para obtener una mayor representatividad, se deberá elevar el sensor y, si es posible, realizar pruebas a diferentes alturas para analizar los resultados antes de reubicarlo.

Tabla 37. Cumplimiento de los criterios para las estaciones con zona climática urbana 2 a 5.

	Altura Sensor > 1.5zH		Ubicación del sensor >= 2 D			Sensor UV libre		
Estación	VV, VD	T, HR	UV	T, HR	х>=4Н	VV,VD	x>=10H	de sombra
CUA	Sí	SÍ	-	-	-	-	-	-
PED	Sí	Sí	Sí	-	-	-	-	Sí
TLA	Sí	Sí	Sí	X	No	Χ	No	Sí
SAC	Sí	-	-	-	-	-	-	-
ACO	Sí	No	-	-	-	-	-	-
BJU	Sí	No	-	-	-	-	-	-
FAC	Sí	No	SÍ	-	-	-	-	Sí
FAR	Sí	No	-	-	-	-	-	-
GAM	Sí	No	-	-	-	-	-	-
NEZ	Sí	No	-	Χ	Sí	Χ	No	-
CUT	No	Sí	Sí	-	-	-	-	Sí
SAG	No	Sí	Sí	Χ	No	Χ	Sí	Sí
TAH	No	Sí	-	-	-	-	-	-
SFE	No	Sí	Sí	-	-	-	-	Sí
AJM	No	No	-	-	-	-	-	-
HGM	No	No	-	-	-	-	-	-
MER	No	No	SI	-	-	-	-	Sí
MGH	No	No	-	-	-	-	-	-
UIZ	No	No	-	-	-	-	-	-
UAX	No	No	-	-	-	-	-	-
VIF	No	No	-	Χ	No	-	-	-
XAL ¹	No	No	Sí	-	-	-	-	Sí

NOTA: X=presencia de obstáculo

¹En el caso de la estación XAL, debido a que se ubica en un edificio aislado, el cumplimiento de la altura de los sensores de temperatura y viento se comparó respecto a los criterios 1,5 veces superior a la altura del inmueble y 2.5 veces, respectivamente.



En la Figura 24, se observa que 16 estaciones presentan problemas con la altura de los sensores de temperatura y humedad relativa, 15 tienen una altura inadecuada para el sensor de viento; la presencia de obstáculos puede afectar las mediciones del viento en 5 estaciones, así como en 6 sitios con sensores de temperatura y humedad.

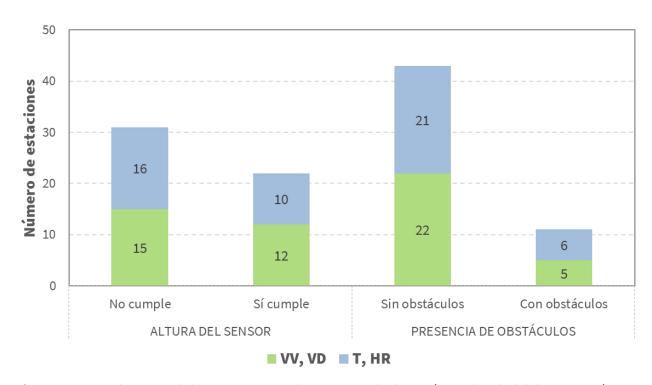


Figura 24. Cumplimiento de los criterios para los sensores de dirección y velocidad del viento, así como temperatura y humedad relativa.

En la Tabla 38 se presentan los valores de referencia por estación para determinar si la altura a la que se encuentran ubicados los sensores de velocidad e intensidad del viento, temperatura y humedad relativa, son los adecuados de acuerdo con su clasificación de ZCU y la ubicación de las torres meteorológicas, dependiendo si se encuentran sobre el piso o sobre un edificio.

En cuanto a la red de Radiación Solar, constituida por 12 estaciones, se constató que todos los sensores están correctamente colocados (libres de sombras) de acuerdo con la inspección física y el análisis de datos realizado por la Subdirección de Análisis y Modelación; lo cual da cumplimiento al objetivo número dos de REDMET.



Tabla 38. Altura óptima de los equipos de dirección (DD) e intensidad (VV) del viento, así como de temperatura (T) y humedad relativa (HR).

	de temperatura (1) y numedad relativa (HR).								
Estación	Ubicación de la torre	Altura Óptima respecto al p		Altura Óptima del sensor con respecto al inmueble (metros)					
	meteorológica	VV,DD	T, Hr	VV,DD	T, Hr				
ACO	Inmueble	13.95	13.95	4.65	4.65				
AJM	Inmueble	30.60	30.60	10.20	10.20				
AJU	Piso	10.00	3.00	NA	NA				
BJU	Inmueble	18.30	18.30	6.10	6.10				
CHO	Piso	10.00	3.00	NA	NA				
CUA	Inmueble	10.00	9.30	3.80	3.10				
CUT	Piso	10.00	NA	NA	NA				
FAC	Inmueble	12.90	12.90	4.30	4.30				
FAR	Inmueble	17.25	17.25	5.65	5.65				
GAM	Inmueble	17.10	17.10	5.70	5.70				
HGM	Inmueble	37.50	37.50	12.50	12.50				
INN	Piso	10.00	3.00	NA	NA				
LAA	Inmueble	10.00	9.75	3.50	3.25				
MER	Inmueble	27.00	27.00	9.00	9.00				
MGH	Inmueble	34.50	34.50	11.50	11.50				
MON	Piso	10.00	3.00	NA	NA				
MPA	Inmueble	23.50	14.10	14.10	4.70				
NEZ	Inmueble	11.55	11.55	3.85	3.85				
PED	Inmueble	10.50	10.50	3.50	3.50				
SAC	Inmueble	12.00	12.00	4.00	4.00				
SAG	Inmueble	10.00	7.60	5.40	3.00				
SFE	Piso	22.50	3.00	NA	NA				
TAH	Inmueble	10.00	6.20	7.80	3.00				
TLA	Piso	10.00	3.00	NA	NA				
UAX	Inmueble	30.00	30.00	10.0	10.00				
UIZ	Inmueble	22.80	22.80	7.60	7.60				
VIF	Piso	10.00	3.00	NA	NA				
XAL	Inmueble	45.00	45.00	15.00	15.00				

En la evaluación del entorno de los sitios de la REDMET, se aplicó un método flexible y adaptado a las condiciones urbanas de la ZMCM. Es importante mencionar que en este análisis se consideraron solo las condiciones mínimas necesarias para mejorar la medición de las variables meteorológicas, por lo que no es comparable con criterios más estrictos para estaciones meteorológicas.



La mayoría de las estaciones presentaron problemas con la altura de sus sensores de viento, temperatura y humedad relativa; sin embargo, se puede corregir con el aumento del tamaño de la torre meteorológica. En otros casos, la presencia de obstáculos afecta las mediciones y esto también se puede corregir con la elevación de la torre, específicamente en los sitios de monitoreo donde el obstáculo son construcciones o árboles que no se puedan modificar.

Las estaciones Villa de las Flores (VIF) y Tlalnepantla (TLA) realizan mediciones en el dosel urbano (a diferencia del resto de las estaciones urbanas ubicadas en edificaciones), es importante mencionar que los sensores se localizan muy cerca de vialidades y se observan edificaciones muy cercanas que conllevan al incumplimiento de los criterios óptimos para las mediciones. En estas dos estaciones se sugiere una corrección de altura de las torres y los sensores, para ello se debe considerar la altura media de los obstáculos en el entorno de cada estación y con base en esto, se recalcula la altura cero de los sensores.

La estación Xalostoc (XAL), se localiza en un edificio de gran altura, muy superior a la altura promedio de las edificaciones que rodean el sitio de monitoreo. La estación MPA, se encuentra en un inmueble de dos pisos, que se localiza en lo alto de una pequeña loma y su ubicación se considera estratégica para reflejar el transporte de los contaminantes desde el centro urbano, por lo que solo se necesita verificar si los flujos que genera el edificio afectan la medición de la dirección y velocidad del viento. Como se refirió anteriormente, el criterio para considerar la altura óptima del sensor de viento fue el de 2.5 H, donde H es la altura del edificio, con el objetivo de evitar los efectos de turbulencia que pudiera provocar el edificio en la medición de la velocidad e intensidad del viento. En el caso de MPA es factible elevar la torre ya que solo son algunos metros de diferencia con la altura actual del sensor. Sin embargo, en XAL la altura adecuada, es un valor muy extremo; se recomienda realizar mediciones a diferentes alturas para observar si hay diferencias sustanciales en las mediciones o analizar la posibilidad de un cambio de la estación hacia un lugar cercano. También se debe considerar el criterio que se manejó para su instalación, que fue contar con una estación que reflejara el transporte regional de contaminantes, viento arriba de las emisiones del transporte urbano. Por lo que se requiere revisar el efecto de turbulencia del edificio sobre las mediciones para asegurar que los datos responden al transporte regional y local, pero no a efectos de turbulencia de los obstáculos.



La revisión de REDMET está basada en elementos teóricos que han ofrecido buenos resultados; sin embargo, solamente a través de un diseño de experimentos se puede conocer si existen diferencias significativas en las mediciones cuando se colocan los sensores en diversas alturas y comprobar la perturbación del flujo por efecto de los edificios y árboles en los alrededores. Para realizar este experimento se tendrían que seguir los siguientes pasos:

- Realizar mediciones de las variables meteorológicas a la altura sugerida por el presente análisis en aquellas estaciones donde los cambios requieren de mayores recursos económicos y humanos.
- Comparar los resultados con los datos de las mediciones que se han realizado a las condiciones actuales de las estaciones. Si las diferencias, entre las condiciones actuales y con los cambios sugeridos, son insignificantes o pueden corregirse con cálculos matemáticos, lo más factible es no realizar los cambios en la altura del sensor; por el contrario, si hay diferencias importantes, se deberá considerar hacer los cambios en los sitios y esto conllevaría a un cambio en la tendencia histórica de los datos meteorológicos en diversas estaciones

Como resultado de la evaluación de la REDMET, se encontró la necesidad de medir velocidad y dirección de viento, así como temperatura en las capas superiores de la atmósfera. Para zonas con diferentes rugosidades de la superficie terrestre y condiciones térmicas particulares, como las que se presentan en la ZMCM (ver Anexo IV), se recomienda hacer mediciones en dos o cuatro estaciones para conocer los gradientes de temperatura y de viento en la vertical, pues son imprescindibles para caracterizar la estabilidad atmosférica que es un factor importante para predecir y caracterizar episodios de alta concentración de contaminantes, principalmente de ozono, $PM_{2.5}$ y PM_{10} .



4. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS PARA LA MODIFICACIÓN EN LOS SITIOS DE LA RAMA Y REDMET

De acuerdo con el análisis realizado para los subsistemas de la RAMA, REDMA y REDMET, hay algunos sitios que requieren de modificaciones mayores y otros que con unos pequeños cambios alcanzan la representatividad conforme a sus objetivos de monitoreo o que mejoran las mediciones que realizan actualmente. En la Tabla 39 se mencionan las recomendaciones para los diferentes sitios que conforman el SIMAT, solamente se enlistan los que requieren alguna modificación o ajuste.

Tabla 39. Estaciones del SIMAT con recomendaciones para su modificación

Estación	Recomendación para modificar el entorno o la posición de sensores para mejorar la calidad de las mediciones						
AJM							
CUT							
HGM							
MGH							
MPA	Corregir la altura del sensor de temperatura, humedad y viento						
NEZ							
TAH							
UAX							
UIZ							
ACO							
BJU	Corregir la altura del sensor de temperatura y humedad						
FAR	Corregii la altura del serisor de terriperatura y fidiriledad						
GAM							
INN	Corregir la altura del sensor de viento						
MON							
ATI	Presencia de 3 árboles cercanos a la estación, de los cuales 2 se encuentran entre la toma de muestra y la entrada del viento, lo que afecta la medición en más del						
TLI	50% (ATI) y 60% (TLI). Podar o cortar los árboles.						
AJU	Podar un árbol que sobrepasa la toma de muestra y se encuentra a 9.5 m al sur de la estación, por donde entra el 60% del viento dominante en el año.						
СНО	Presencia de 3 árboles en las direcciones N, S y O, a 9.5, 10.51 y 11.67 m; los cuales afectan las mediciones del viento y la temperatura, pero no se encuentran en la dirección del viento dominante, podar o cortar los árboles. Corregir la altura del sensor de temperatura, humedad y viento.						
MER	Corregir la altura del sensor de temperatura, humedad y viento. Cambiar los objetivos de monitoreo debido a la cercanía con las vialidades						
SAG	Presencia de 3 árboles al N, NE y SE, a distancias de 16, 30 y 17 m, respectivamente; que constituyen obstáculos para el viento y la temperatura. Corregir la altura del sensor de temperatura, humedad y viento						





Estación	Recomendación para modificar el entorno o la posición de sensores para mejorar la calidad de las mediciones
SFE	Es necesario estudiar el impacto de la barrera de edificios localizada en el cuadrante N, a partir de los 500 m desde la estación, sobre las diferentes variables. Corregir la altura del sensor de viento.
TLA	Presencia de 2 vialidades muy cercanas, la que afecta más es una vialidad terciaria que se encuentra aproximadamente a 7 m de la estación y es por donde entra el viento dominante el 89% del año. Se sugiere cambiar objetivos de monitoreo. El tanque de almacenamiento puede ser un obstáculo para la medición del viento y temperatura. Corregir la altura del sensor de temperatura, humedad y viento.
VIF	Presencia de 1 árbol al SO, a 15 m de la torre meteorológica, lo cual constituye un obstáculo para el viento y la temperatura. Uno de los edificios de la escuela donde se encuentra la estación, se localiza a 5 m de la torre, por lo que es un obstáculo para el viento. Corregir la altura del sensor de temperatura, humedad y viento. Podar el árbol que se encuentra junto a la torre.
XAL	Presencia de 3 vialidades cercanas a la estación, la que afecta más es una vialidad primaria que se encuentra aproximadamente a 20 m de la estación y que es por donde se entra el viento dominante en el 75% del año. Además, la altura del sitio no corresponde a los criterios establecidos ya que está por encima de la recomendación. La altura adecuada para el sensor de viento, para que se evite la estela de turbulencia que genera el edificio, requiere un mástil o torre de tamaño superior a 15 m. Reubicar la estación.

Como se señaló en cada uno de los capítulos, es necesario hacer algunos cambios ya sea en los sensores o en el entorno para asegurar que las estaciones cumplan con los objetivos de monitoreo para los que fueron diseñadas originalmente o bien, en el caso que lo amerite, modificar los objetivos.



5. REFERENCIAS

- 1. Davenport, A. G., C. S. B. Grimmond, T. R. Oke y J. Wieringa. (2000). Estimating the roughness of cities and sheltered country. Proceedings of the Twelfth Conference on Applied Climatology (Asheville, North Carolina). Sociedad Meteorológica de Estados Unidos, Boston, pp. 96 99.
- 2. Ellefsen R. (1991). Mapping and measuring buildings in the canopy boundary layer in ten US cities. Energy and Buildings, vol. 16, pp. 1025 1049.
- 3. Environmental Systems Research Institute, ESRI. (2020). ArcGIS. Método Kriging. https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm
- 4. Google Maps. Google. (s.f.). [Mapa de la Ciudad de México, México en Google maps]. Recuperado el 15 de agosto, 2020, en: https://www.google.com.co/maps/
- 5. Grimmond, C. S. B. y T. R. Oke. (1999). Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. Journal of Applied Meteorology. vol. 38 (9): 1262 1292.
- 6. Halitsky, J. (1963). Gas diffusion near buildings. Transactions of the American Society of Heating. Refrigerating and Air-conditioning Engineers, vol. 69: 464-485.
- 7. Hunt, J. C. R., C. J. Abell, J. A. Peterka y H.Woo, 1978: Kinematical studies of the flow around free or surface-mounted obstacles: Applying topology to flow visualization. Journal of Fluid Mechanics, vol. 86: 179-200.
- 8. Instituto Nacional de Ecología. (2010). Manual 1. Principios de la medición de la Calidad del aire, México, (2010). Disponible en: https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf
- 9. Instituto Nacional de Ecología. (2010). Manual 2. Sistemas de Medición de la Calidad del Aire, México. (2010). https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/2%20-%20Sistemas%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf
- 10. Instituto Nacional de Ecología. (2010). Manual 3. Redes, Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire, México. (2010). https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/3%20-%20Redes,%20Estaciones%20y%20Equipos%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf
- 11. Martínez, A., Romieu, I. (1996). Introducción al Monitoreo Atmosférico. ECO / GTZ / Departamento del Distrito Federal, México. (1996). 238 pp.
- 12. National Center for Atmospheric Research (NCAR), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2020). Weather Research and Forecasting Model (WRF). https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model
- 13. Oliver, M. A., (1990). Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems 4*: 313–332. 1990.



- 14. OMM. (2017). Guía de Instrumentos y Observación Meteorológicos de la Organización Mundial de Meteorología. No. 8, Ginebra.
- 15. OMM. (2006). Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites (T. R. Oke). Instruments and Observing Methods Report No. 81 (WMO/TD-No. 1250). Ginebra.
- 16. Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, SEDEMA. Sistema de Pronóstico de Calidad del Aire de la Ciudad de México, AQFS-Mex. (2020). http://www.aire.cdmx.gob.mx/pronostico-aire/sobre-modelo.php
- 17. Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, SEDEMA. (2020). Sistema de Monitoreo Atmosférico de la CDMX (SIMAT). http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php
- 18. Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. (2012). Informe Anual de Calidad del Aire 2011. 25 años de monitoreo atmosférico 1986–2011. http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/informe anual calidad aire 2011/#p=1
- 19. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, SEDEMA. (2018). Calidad del aire en la Ciudad de México, Informe 2017. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo Atmosférico. Ciudad de México. http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=Z6BhnmI=
- 20. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5259464&fecha=16/07/2012
- 21. Spangl, W., Schneider, J., Moosmann, L., Nagl, C. (2007). FINAL REPORT. Representativeness and classification of air quality monitoring stations. https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0121.pdf
- 22. United States Environmental Protection Agency. (1998). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II: Part 1. Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC 27711. EPA-454/R-98-044. August 1998.
- 23. United States Environmental Protection Agency, US EPA. (2016). Code of Federal Registers, CFR Title 40. Protection of Environment, Part 58 Ambient Air Quality Surveillance. (2016). https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2016-title40-vol6/pdf/CFR-2016-title40-vol6-part58.pdf
- 24. United States Environmental Protection Agency, US EPA. (2017). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume II. Ambient Air Quality Monitoring Program. EPA-454/B-17-001, 2017.
- 25. Wieringa, J. (1993). Representative roughness parameters for homogeneous terrain. Boundary-Layer Meteorology, vol. 63, (4): 323 363.
- 26. World Health Organization- WHO. (1980). Analyzing and Interpreting Air Monitoring Data. WHO Offset Publication No. 51. Geneva.



ANEXO I: REVISIÓN DE ENTORNOS Y FOTOGRAFÍAS

Glosario

CO Monóxido de carbono

DV Dirección del viento (desde donde sopla)

E Este

HR Humedad relativa

m Metros

msnm Metros sobre el nivel del mar

N Norte

N/A No aplica

NE Noreste

NO Óxido nítrico

NO Noroeste

NOx Óxidos de nitrógeno

NO₂ Dióxido de nitrógeno

O Oeste

PM_{2.5} Partículas menores a 2.5 micras

PM₁₀ Partículas menores a 10 micras

RADG Radiación Global

RAMA Red Automática de Monitoreo Atmosférico

REDMET Red de Meteorología

REDDA Red de Depósito Atmosférico

REDMA Red Manual

S Sur

SE Sureste

SO Suroeste

SO₂ Dióxido de azufre

TMP Temperatura

UV Ultravioleta

Veh/d Vehículos por día

VV Velocidad del viento



1) Acolman (ACO)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Acolman	ACO	Calz. de los Agustinos S/N, Col. Centro, CP 55895	Acolman Edo. Mex.	Palacio Municipal	19.635501	-98.912003

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM ₁₀
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	RADG	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)									
EQUIPOS RAMA				EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro	
2,198	9.3	2.6	1.2	1.3	5.0	3.9	5.7	N/A	1.3	

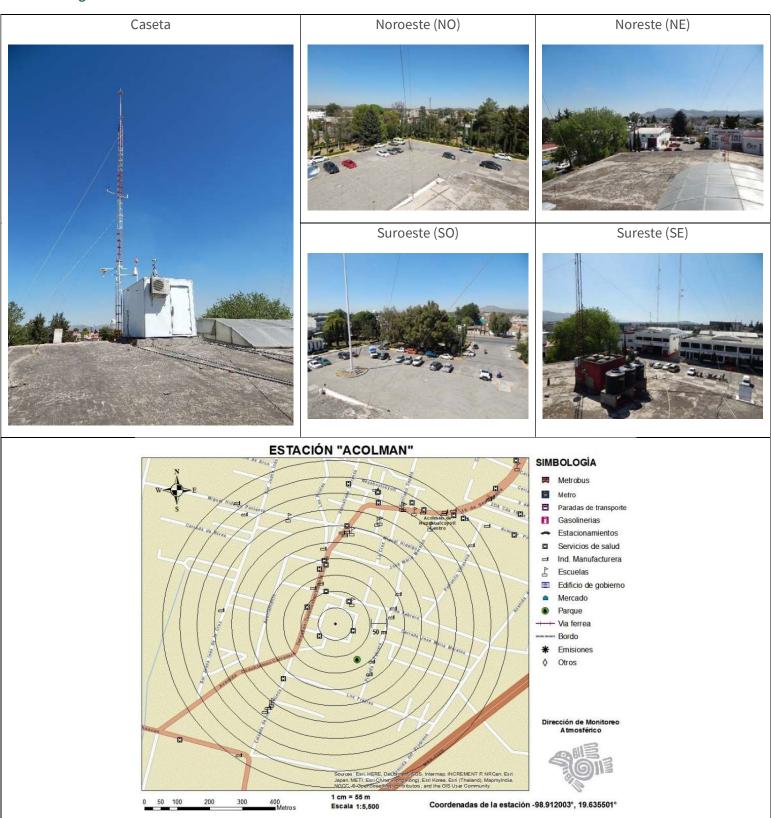
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a Gases a pluviómetro Gases a TMP Partículas a Partículas a Pluviómetro TMP TMP										
1	1 1.69 2.58 1.78 3.22 1.90									

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Calz. Los Agustinos	Secundaria	NO	120	19,024	Rodeada de estacionamientos	N/A
5 de Febrero	Terciaria	NE	120	3,538	a 60 m	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 5: Semiurbano de baja intensidad, rodeado de servicios y casas habitación	No presenta restricciones al flujo de aire	N/A	30% del suelo es cobertura vegetal, el resto es de construcciones	N y NO	Se considera estación de transporte. Cumplimiento en el Acceso y seguridad.



Imágenes de la estación ACO





2. Ajusco (AJU)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Ajusco	AJU	Km 36.5 Carretera Federal	Tlalpan CDMX	Centro Regional	19.154563	-99.162051
		México-Cuernavaca, C.P.		Conservación de los		
		14500		Recursos Naturales No 2		

Parmetros RAMA	03	PM2.5	N/A	N/A
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)									
Altitud Edificio EQUIPOS RAMA ALTURA REDMET						1ET				
(msnm)	(m)	Caseta	Gases	Partículas	Torre HR y TMP Veleta y Radiación Pluviómetr				Pluviómetro	
	anemómetro UV									
2,930	2,930 N/A 4.73 1.79 1.58 25 2.3 15 1.6 1.7							1.75		

DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP				
1.6	1.62	1.7	1.62	1.6	1.5				

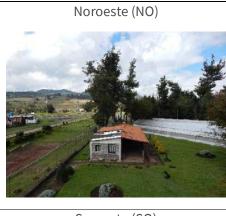
Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Carr. Fed. México - Cuernavaca	Secundaria	NO	200	77,080	O (10m) 10 veh.y NE (20m) 50 veh.	Zona
Camino sin asfaltar	Terciaria	NE	80	320	NE (2011) 50 Veil.	pastoreo

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 7: Zona semi-rural, rodeada de vegetación y zonas de pastoreo	Los árboles pueden restringir el flujo de aire	Árbol SE 5m dist, 8m alto Árbol S 9.5m dist. 9m alto Árbol E 13m dist 12m alto Árbol NE 18m dist 8m alto	Cobertura vegetal	N y S	Acceso y seguridad cumple. Se recomienda podar los árboles



Imágenes de la estación AJU

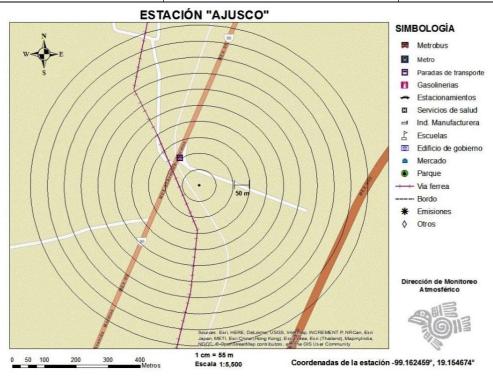














3. Ajusco Medio (AJM)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Ajusco	AJM	Encinos No 41, Col. Miguel	Tlalpan	Hospital General	19.272222	-99.206944
Medio		Hidalgo 4a Secc. CP 14250	CDMX	Ajusco Medio		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM ₁₀	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	RADG	N/A		N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)											
المناه		EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET							
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro			
2,580	20.4	2.7	1.82	1.98	9.5	3.5	4.5	N/A	1.63			

DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP				
2.11	2.45	1.6	1.8	1.65	1.52				

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Carretera Fed. Picacho - Ajusco	Secundaria	Е	150	22,960	N/A	N/A
Encino	Terciaria	S	40	1,528	IN/A	IN/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Urbano densidad media, rodeado de servicios y casas habitación	No presenta restricciones al flujo de aire	N/A	Urbano asfalto y concreto	NE, N y SO	A 70 m al S existe una estación de transferencia de residuos sólidos, por su ubicación no afecta las lecturas



Imágenes de la estación AJM





4. Atizapán (ATI)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio		Longitud E-O
Atizapán	ATI	Av. Océano Pacífico s/n Col.	Atizapán	Primaria Daniel	19.57696	-99.254150
		Lomas Lindas CP 54947	Edo. Mex.	Delgadillo		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM ₁₀

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Altitud EQUIPOS RAMA EQUIPOS REDM						MET					
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,336		3.14	0.94	1.53	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		

DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP				
1.58	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A				

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Océano Pacífico	Secundaria	Е	40	6,888	N/A	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Urbano densidad media, rodeado de comercios y casas habitación	Los árboles pueden restringir el flujo de aire	Árbol SE (6m dist), 5m alto Árbol NE (10m dist) 10m alto	Urbano asfalto y concreto	N/A	Es necesario mantener podados los árboles. Acceso y seguridad cumple



Imágenes de la estación ATI





5. Benito Juárez (BJU)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Benito	BJU	Municipio Libre y Uxmal, Col.	B. Juárez	Edificio de la	19.37158	-99.15887
Juárez		Sta. Cruz Atoyac CP 03310	CDMX	Alcaldía		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	СО	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	RADG	N/A-	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
EQUIPOS RAMA					EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,246	12.2	2.85	1.84	1.64	8.0	3.8	8.1	N/A	1.6		

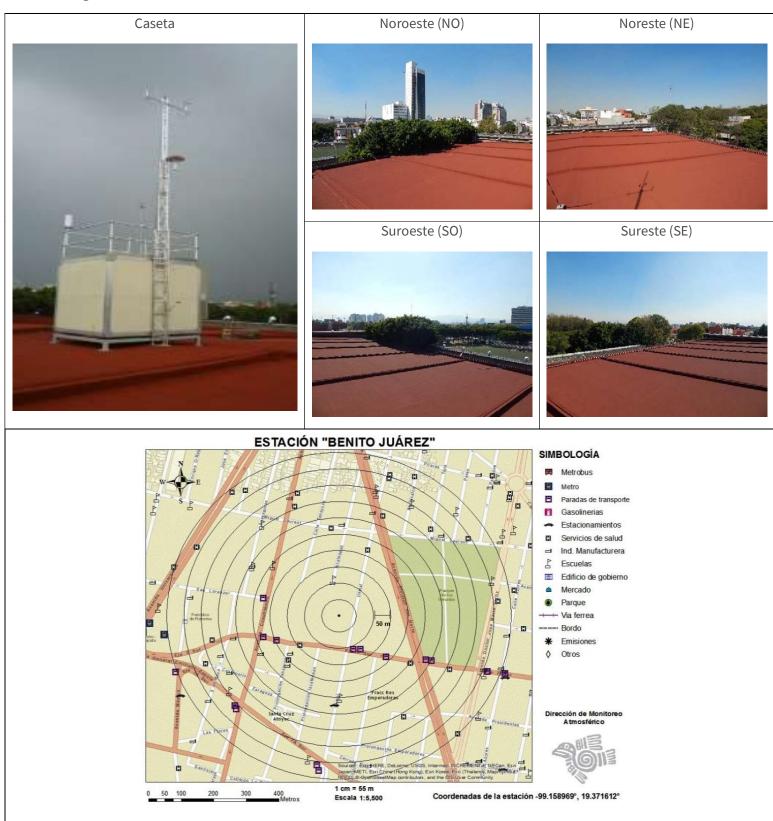
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
2.27	2.37	1.16	1.92	0.53	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Municipio Libre	Secundaria	S	100	6,625	N/A	N/A
Uxmal	Terciaria	E	36	1,528	IN/A	IN/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 2: Urbano densidad alta, rodeado de servicios, comercios y departamentos	No presenta restricciones al flujo de aire	N/A	Urbano asfalto y concreto	NE, N, E	En Fiestas de Independencia puede registrar valores altos de PM _{2.5}



Imágenes de la estación BJU





6. Camarones (CAM)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Camarones	CAM	Calle Malvón No 20, Col. Hogar y	Azcapotzalco	Primaria 20 de	19.468293	-99.169691
		Seguridad CP 02820	CDMX	Noviembre		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO

			A	LTURA DEL ED	IFICIO Y E	QUIPOS (m)			ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)											
Altitud EQUIPOS RAMA					EQUIPOS REDMET															
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro											
2,254	4.2	2.5	0.9	1.74	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A											

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)										
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP						
1.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						

Vialidad	Тіро	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Malvón	Terciaria	N	20	4,024	N/A	N/A
Las Nueces	Terciaria	Е	10	2,251	IN/A	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Urbano densidad media, rodeado de comercios y casas habitación	Los árboles pueden restringir el flujo de aire	Árbol E (5m dist) 5m alto Árbol SE (8.1m dist) 8m alto	Urbano asfalto y concreto	N/A	Se recomienda poda periódica. ₅



Imágenes de la estación CAM















7. Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	· Sitio		Longitud E-O
Centro de Ciencias de la	CCA	Circuito Exterior s/n Cd. Universitaria CP04510	Coyoacán CDMX	Edificio del CCA	19.32615	-99.17616
Atmósfera						

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM _{2.5}

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
المستقدية	Edificio	EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)		Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,278	15.0	3.04	1.12	1.9	N/A	N/A	\$N/A	N/A	N/A		

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
	Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP				
Г	1.55	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A				

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Privado Circuito de	Terciaria/Privada	NE	200	38,400	120 m distancia al	Ninguna
Investigación Científica					S, capacidad 150	
					vehículos	

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 6: Zona mixta con grandes edificios y espacios abiertos	No presenta restricciones al flujo de aire	N/A	Urbano asfalto y concreto	N/A	Cumple requisitos de acceso y seguridad. Excede altura sugerida



Imágenes de la estación CCA





8. Chalco (CHO)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	. Sitio		Longitud E-O
Chalco	СНО	Insurgentes s/n Esq. San Juan,	Chalco	Escuela	19.266948	-98.886088
		Col. Casco de San Juan, CP 56600	Edo. Mex	Preparatoria No 30		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM ₁₀
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	RADG	N/A-	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Alaitud	Edificio	EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)		Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,243	3.4	2.54	1.1	1.69	12.0	6.4	9.8	N/A	1.6		

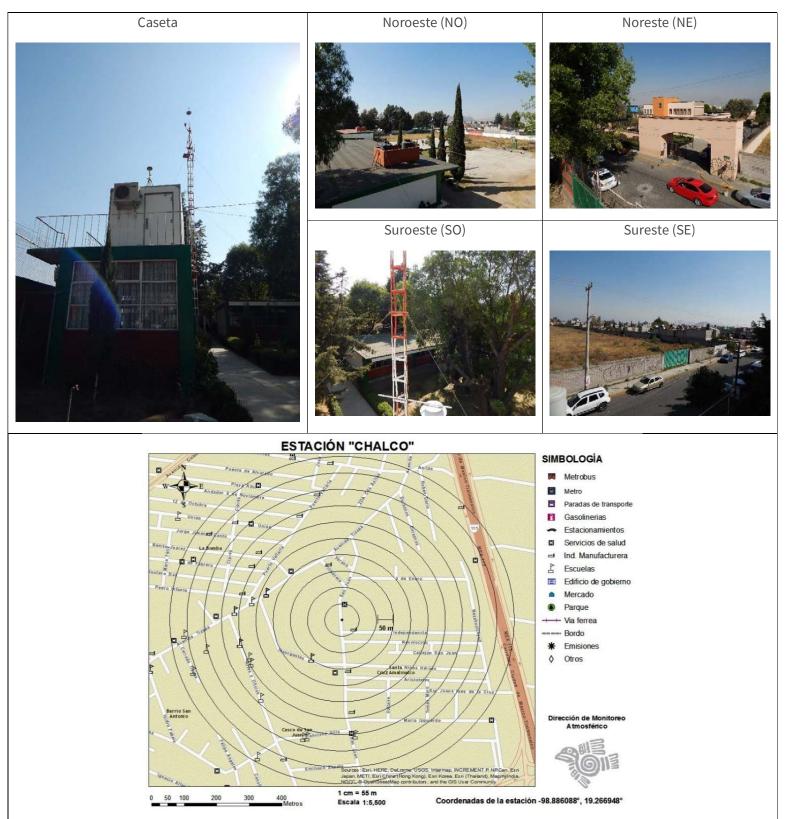
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
1.09	N/A	1.45	N/A	1.55	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Insurgentes	Secundaria	S	25	4,920	N/A	N/A
Calle San Juan	Terciaria	E	5	1,286	IN/A	IN/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 6: Urbano densidad baja, rodeado de comercios y casas habitación	Los árboles no restringen el flujo de viento dominante	Arbol N (9.5m dist) 15 m alto Arbol O (10.5m dist) 10 m alto	Urbano asfalto y concreto	E, SE	Acceso y seguridad adecuado Al NE hay un terreno baldío que puede generar tolvaneras



Imágenes de la estación CHO





9. Cuajimalpa (CUA)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Cuajimalpa	CUA	Monte Encino No 14 Col. Jesús	Cuajimalpa	Primaria Belisario	19.36530	-99.29164
		del Monte CP 05616	CDMX	Domínguez		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM ₁₀
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UV	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
مادندا		EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,684	6.2	3.0	1.08	1.63	17	3.86	11.5	N/A	1.6		

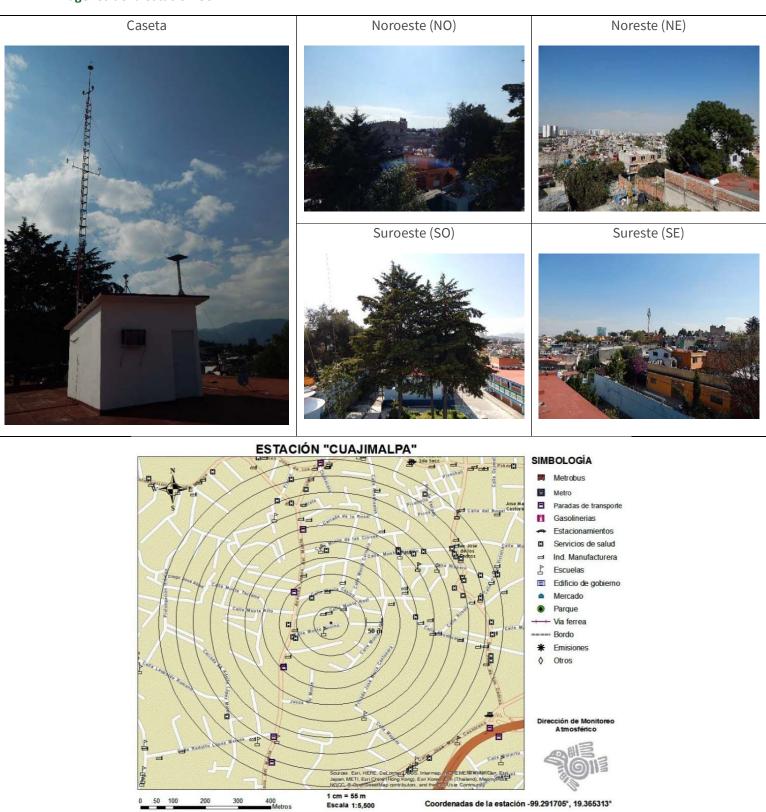
DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
 ises a tículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP				
1.6	N/A	1.62	N/A	1.53	N/A				

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Jesús del Monte	Secundaria	0	105	37,312	N/A	N/A
Monte Encino	Terciaria	S	11	643	IN/A	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Urbano densidad media, rodeado de comercios y casas habitación	El árbol puede restringir el flujo de aire	Arbol S (10m dist) 5 m alto Arbol O (14m dist) 5 m alto	Urbano asfalto y concreto	NE, N, O	Acceso y seguridad adecuado Se recomienda podar el árbol que está al O



Imágenes de la estación CUA





10. Cuautitlán (CUT)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	- Sitio		Longitud E-O
Cuautitlán	CUT	Carretera Circunvalación s/n, Col- El Trébol CP 54600	Tepotzotlán Edo. Mex.	Parque Xochitla	19.722186	-99.198602

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM ₁₀
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UV	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Altitud		EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET						
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,250	N/A	2.75	1.8	1.85	8.0	4.0	11.5	1.7	1.2		

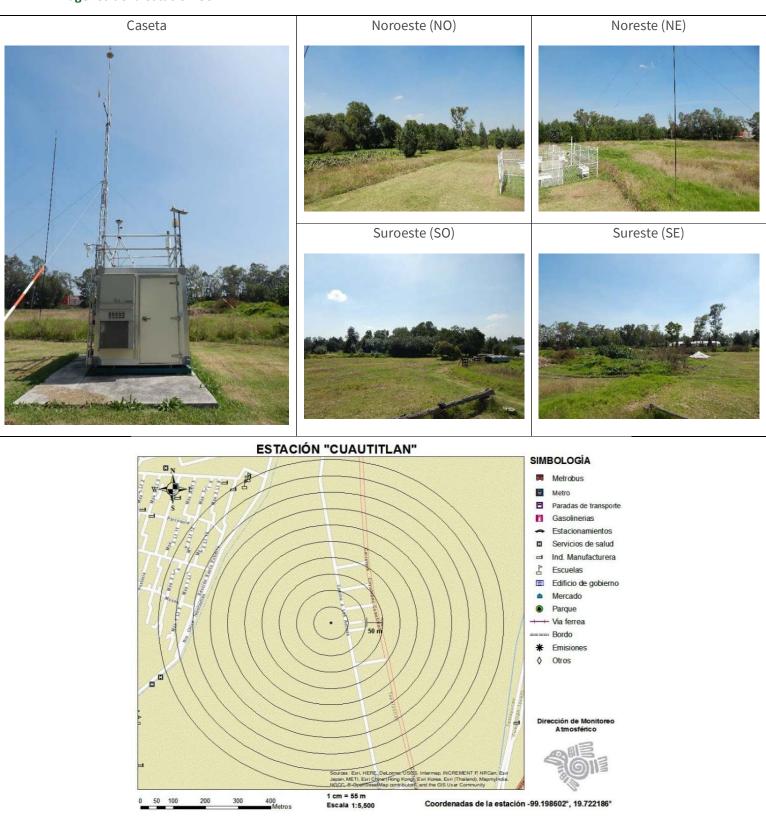
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)								
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP				
2.2	0.36	N/A	N/A	N/A	N/A				

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Calle privada	Terciaria	E	150	320	N/A	Ninguna

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 5: Zona urbana de baja densidad, abundantes zonas verdes	No presenta restricciones al flujo de aire	N/A	Cubierta vegetal	N, NE	Acceso y seguridad adecuado



Imágenes de la estación CUT





11. FES Acatlán (FAC)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
FES Acatlán	FAC	Av. Alcanfores y S. J. Totoltepec	Naucalpan	Facultad Estudios	19.48247	-99.24352
		s/n Col. S Cruz Acatlán CP 53150	Edo. Mex.	Superiores Acatlán		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM ₁₀
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UV	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)									
EQUIPOS RAMA						EQUIPOS REDMET				
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro	
2,299	8.6	2.6	1.14	1.14	12.50	3.6	9.5	1.97	1.68	

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)								
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP				
1	1.69	2.58	1.78	3.22	1.90				

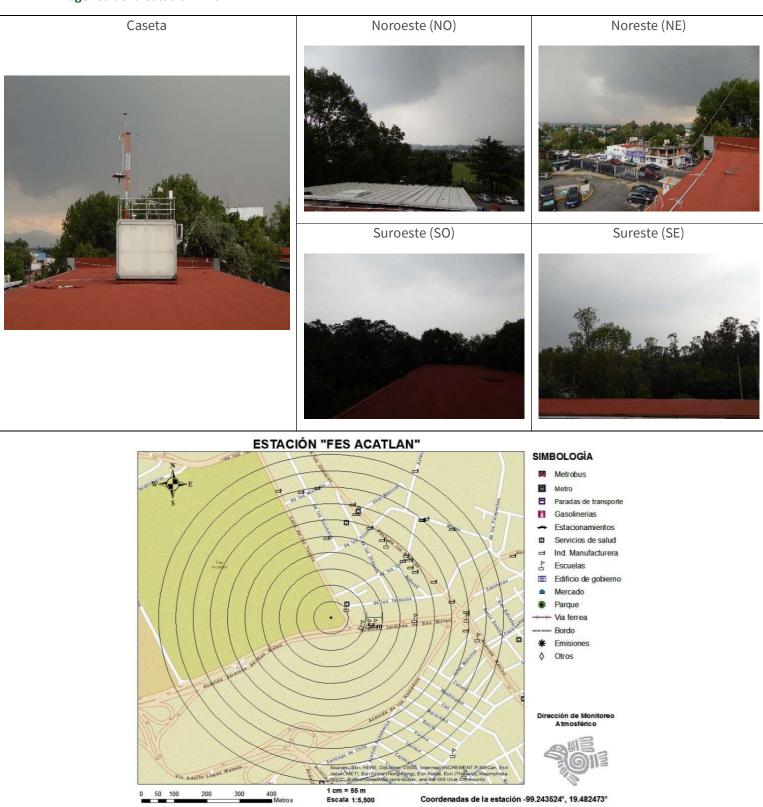
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
1.62	1.7	1.6	1.6	1.5	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Jardines San Mateo	Secundaria	S	80	18,696	NO a 50m, capacidad 50	NI/A
Av. Yaquis	Secundaria	Е	40	14,260	vehículos	N/A
Calle	Terciaria	N	20	643		

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 6: Zona mixta con grandes edificios y paisaje abierto	El árbol puede restringir el flujo de aire	Árbol NE (13m dist) 11m alto	Pavimento, concreto y cubierta vegetal	N, NO, NE	Acceso y seguridad adecuado Se recomienda podar el árbol



Imágenes de la estación FAC





12. FES Aragón (FAR)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
FES Aragón	FAR	Av. Hda. Rancho Seco s/n, Col.	Nezahualcóyotl	Facultad	19.476224	-99.046740
		Impulsora Popular Avícola CP	Edo. Mex.	Estudios		
		57130		Superiores Argón		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	CO	PM _{2.5}	N/A	N/A
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	RADG	N/A-	N/A

ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Altitud (msnm) Edifici		EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET					
	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro	
2,230	11.5	3.1	1.67	1.4	9	N/A	N/A	N/A	1.5	

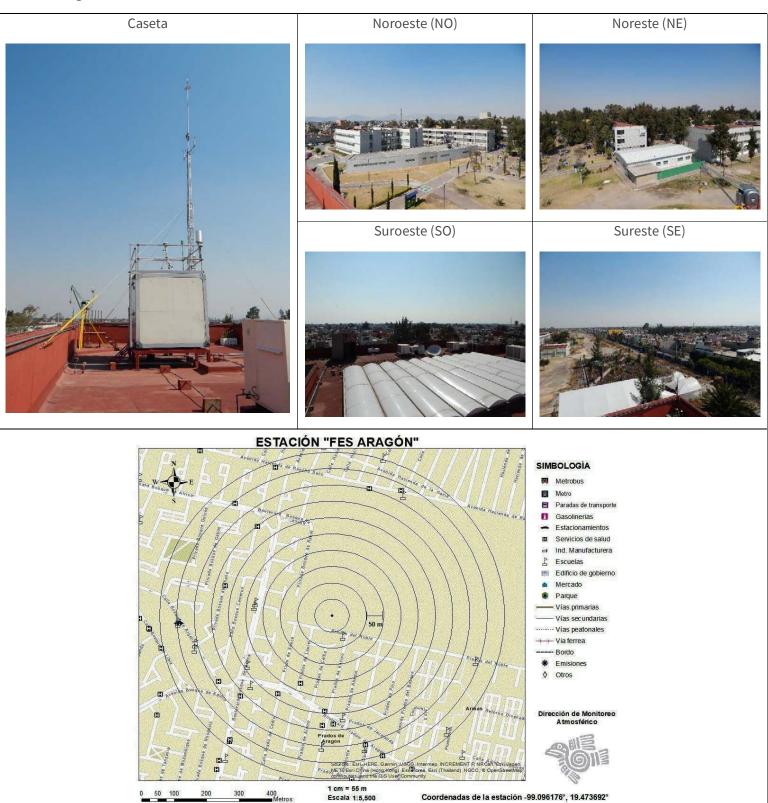
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)										
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP						
1.4	1.48	N/A	1.6	N/A	N/A						

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Privada Prados del Roble	Terciaria	S	60	320	Dirección O a	N/A
					110m, capacidad	
					110 veh	

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 6: Zona mixta con grandes edificios y paisaje abierto	No presenta restricciones al flujo de aire	N/A	Pavimento, concreto y cubierta vegetal	NE, E, SO	Acceso y seguridad adecuados



Imágenes de la estación FAR





13. Gustavo A. Madero (GAM)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Gustavo A.	GAM	Av. Eduardo Molina No 1577, Col.	G. A. Madero	ENP No3 Justo	19.48270	-99.094517
Madero		Salvador Díaz Mirón, CP 07400	CDMX	Sierra		

Parámetros RAMA	O ₃	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	N/A	N/A	N/A
Parámetros REDMET	V	DV	TMP	HR	N/A	N/A-	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Altitud	Alaiad		EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET					
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,227	11.4	3.2	1.72	1.54	12.5	4.16	12.52	N/A	1.58		

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)										
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP						
2.13	2.16	N/A	1.93	N/A	N/A						

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Eduardo Molina	Primaria	NO	250	13,967	Orientación NE a 8m, capacidad	N/A
					300 veh	,/

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 6: Zona mixta con grandes edificios y paisaje abierto	El árbol puede restringir el flujo de aire	Árbol N (6.7m dist) 18m alto	Pavimento, concreto y cubierta vegetal	NE, E, N	Acceso y seguridad adecuados. Se recomienda poda periódica del árbol



Imágenes de la estación GAM





14. Hospital General de México (HGM)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Hospital	HGM	Dr Balmis No 148, Col. Doctores	Cuauhtémoc	Hospital Gral. de	19.41162	-99.15221
General de		CP 06720	CDMX	México		
México						

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)									
Altitud (msnm)	Edificio	EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET				
		Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro
2,259	25	3.0	1.8	1.6	9	6.5	8.5		1.63

DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)								
Gases a Gases a pluviómetro		Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP			
1.61	0.46	1.2	1.3	N/A	N/A			

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Dr. Márquez	Terciaria	S	1.5	9,701		N/A
Av. Cuauhtémoc	Primaria	0	380	28,152	Rodeada de estacionamientos a 60 m	
Dr. Jiménez	Terciaria	Е	60	9,004		
Dr. Pasteur	Terciaria	NO	250	965		

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 2: Zona urbana alta densidad con edificios altos, comercios y servicios	No presenta restricciones al flujo de aire	N/A	Pavimento, concreto	N	Acceso y seguridad adecuado



Imágenes de la estación HGM





Noroeste (NO)



Noreste (NE)



Suroeste (SO)



Sureste (SE)







15. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (INN)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Inst. Nal.	INN	Carr. Mex. Toluca Km 36.5, La	Ocoyoacac	Inst. Nal.	19.291968	-99.38052
Investigaciones		Marquesa CP 52743	Edo. Mex.	Investigaciones		
Nucleares				Nucleares		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO	N/A
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A	N/AV

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)								
EQUIPOS RAMA EQUIPOS REDMET									
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro
3,082	N/A	2.8	1.05	1.4	8.7 3.8 8.7 N/A N/A				

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)							
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP			
1.33	6	N/A	4.7	N/A	N/A			

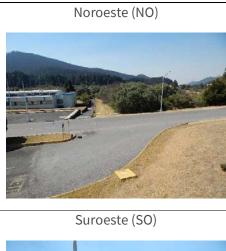
Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Calle privada	Terciaria	0	23	640	A 35m al S, 42	N/A
					cajones	

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 6: Zona mixta con grandes edificios y paisaje abierto	No presenta restricciones al flujo de aire	N/A	30% del suelo es cobertura vegetal, el resto es de construcciones	N y NO	Se considera estación de transporte. Cumplimiento en el Acceso y seguridad.



Imágenes de la estación INN

















16. Iztacalco (IZT)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Iztacalco	IZT	Guillermo Prieto No 73, Col.	Iztacalco	Centro de	19.384413	-99.117641
		Campamento 2 de octubre CP 08930	CDMX	Salud T-2		

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)								
EQUIPOS RAMA EQUIPOS REDMET									
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro
2,238	7.1	2.8	1.0	1.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)							
Gases a partículas	Gases a pluviometro Gases a TMP							
1.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Melchor Ocampo	Terciaria	E	35	4,824		Ninguna

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana	Los árboles pueden	Árbol al S (4m dist) 6m	Pavimento,	N/A	Acceso y seguridad
media densidad,	presentar	alto	concreto		adecuados
comercios y casas	restricciones al flujo	Árbol al SE (5m dist) 6m			Hay varias obras de
habitación	de aire	alto			construcción alrededor



Imágenes de la estación IZT





17. La Presa (LPR)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
La Presa	LPR	Asociación Mexicana de	Tlalnepantla	Centro de Atención	19.534727	-99.117720
		Excursionistas s/n, Col. La	Edo. Mex.	Primaria en		
		Presa CP 54187		Adicciones No III		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	CO
Parámetros REDMET	PM ₁₀	Pb	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
المناهية		EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,302	N/A	4.38	1.33	1.4	3.6	1.45	1.85	2,302	N/A		

DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP				
1.62	N/A	N(A	N/A	N/A	N/A				

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Asociación Mexicana de	Terciaria	0	6	6,110	NE a 3 m dist.	Fábrica Cuprum
Excursionistas					Capacidad 12 cajones	SA CV a 200m al SE

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana de media densidad con fábricas cercanas	Los árboles pueden afectar el flujo de aire	Árbol SO (6.2m dist.) 8m alto Árbol (5.2m dist.) 10m alto Árbol al S (10m dist.) 20m alto REDMA	Pavimento concreto	N/A	Acceso y seguridad adecuado Se recomienda podar los árboles



Imágenes de la estación LPR



Caseta

















18. Lomas (LOM) REDMA

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Lomas	LOM	Ciruelos No 99, Col. Bosques de	Miguel Hidalgo	Edificio	19.4030	-99.242062
		las Lomas CP 11500	CDMX	FERROMEX		

Parámetros REDMA	PM_{10}
------------------	-----------

ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)							
Altitud (msnm)	Edificio	Altura toma de muestra					
2,434	39.5	1.95					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Ciruelos	Terciaria	SE	15	7,756	Al NO a 4.3m dist. capacidad 120	NI/A
Abetos	Terciaria	NO	80	4,824	cajones y NE a 19m dist. con 100 cajones	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana densidad media rodeada de edificios y	No presenta restricciones al fluio de aire	N/A	Urbano asfalto y concreto	N/A
servicios	,			

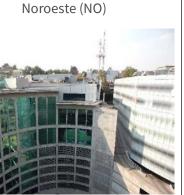




Imágenes de la estación LOM

Caseta

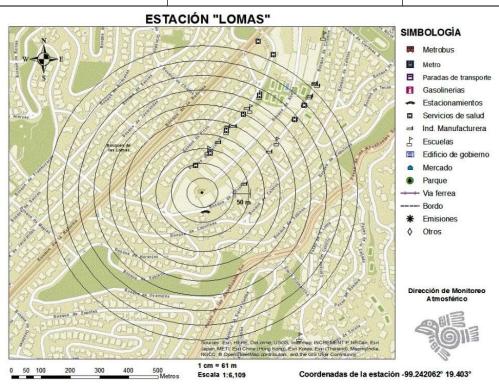














19. Los Laureles (LLA)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Los	LLA	Río Piedad esq. Ponce s/n, Col.	Ecatepe	Secundaria Fco.	19.578740	-99.039680
Laureles		Río Pïedras CP 55090	Edo. Mex.	Javier Clavijero		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Altitud			EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET					
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,242	5.6	2.9	0.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		

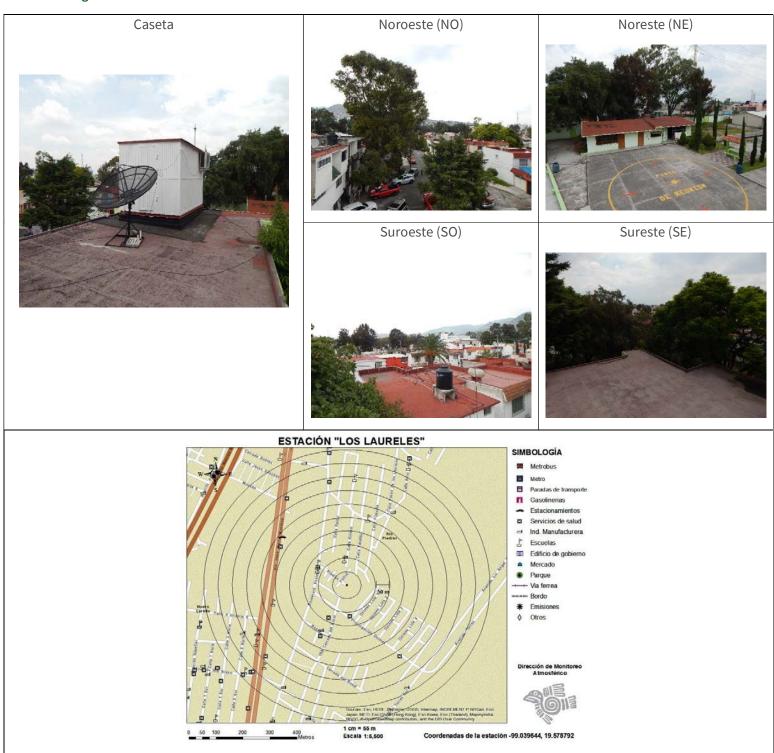
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Santurce	Terciaria	NO	5	643	Al NE a 5 m dist. Capacidad 15 cajones	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana de media densidad con casas y comercios	Los árboles pueden afectar el flujo de aire	Árbol SO (20m dist.) 10m alto Árbol E (25m dist.) 15m alto	Pavimento, concreto	N/A	Acceso y seguridad adecuado Se recomienda podar los árboles



Imágenes de la estación LLA





20. Merced (MER)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Merced	MER	Av. Congreso de la Unión esq.	V. Carranza	Secundaria	19.42461	-99.119594
		Estand de Tiro s/n, Col. Merced	CDMX	Diurna No 116		
		Balbuena CP 15960				

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UV	PA	N/A	N/A	N/A
Parámetros REDMA	PM10	PM2.5	PST	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

J	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)											
Ì	Altitud			EQUIPOS RA	MA	EQUIPOS REDMET						
	(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
ı	2,250	18	3.0	1.21	1.5	11.5	3.76	8.5	1.6	N/A		

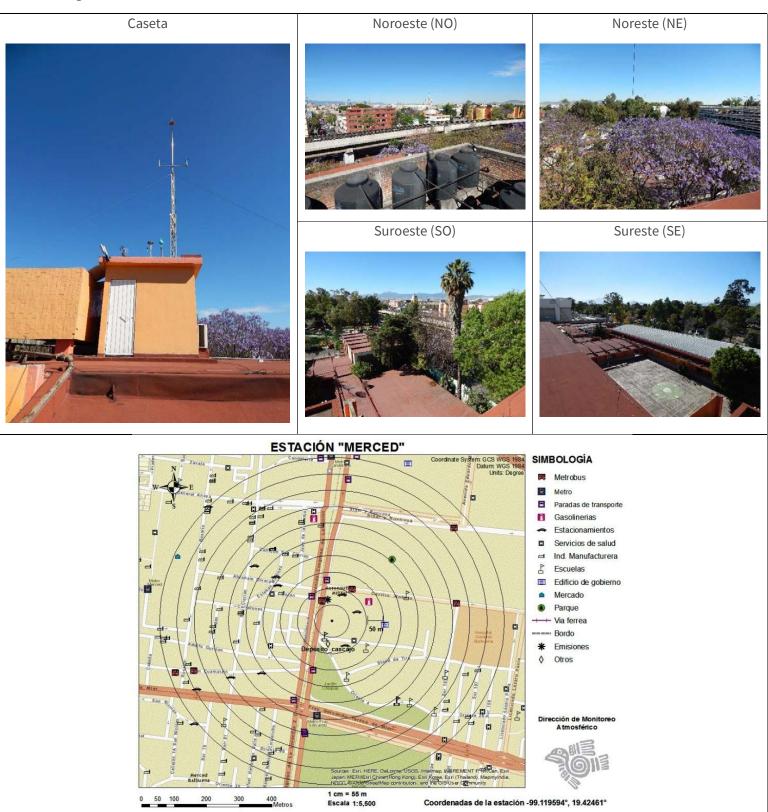
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
0.83	N/A	2.3	N/A	1.86	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Congreso de la Unión	Secundaria	0	100	51,824	Hacia el N a 90m, capacidad 400 veh	N/A
Cecilio Robledo	Terciaria	NE	180	14,472	capacidad 400 veii	IN/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo3: Zona urbana de media densidad, casas, servicios y comercios	Si crecen los árboles pueden restringir el flujo de aire	Árbol N (14.4m dist) 16m alto Árbol NE (15m dist) 15m alto Árbol SO (13m dist) 19.5m alto Árbol NO (14.5m dist) 16m alto.	Pavimento, concreto	NE, N, SE y E	Acceso y seguridad adecuados.



Imágenes de la estación MER





21. Miguel Hidalgo (MGH)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Miguel Hidalgo	MGH	Sur 128 No 53, Col. América CP 11801	Miguel Hidalgo CDMX	Foro del Saber Carmen Serdán	19.404050	-99.202603

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Altitud		EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET						
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,366	23	3.0	1.7	1.7	11.2	3.5	8.1	N/A	1.4		

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
2.1	1.7	N/A	2.1	N/A	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Sur 128	Terciaria	Е	45	8,856	En el sótano	
Poniente 73	Terciaria	N	35	960	existe uno capacidad 15	N/A
Poniente 73-A	Terciaria	SO	4	1,140	cajones	

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana de media densidad, casas, servicios y comercios	Sin restricciones	N/A	Pavimento, concreto	E, N, NE y NO	Acceso y seguridad adecuados. Existen palomas alrededor de la estación, sus plumas y excrementos pueden afectar las lecturas y los equipos



Imágenes de la estación MGH















22. Milpa Alta (MPA)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Milpa Alta	MPA	Fco. I. Madero Lote B, Col. Santa Ana	Milpa Alta	Secundaria No	19.176917	-99.990309
		Tlacontenco, La Gualupita CP 12900	CDMX	330		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	CO	PM _{2.5}	N/A	N/A
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UV	N/A-	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
EQUIPOS RAMA				EQUIPOS REDMET							
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,600	9.4	2.8	1.7	1.6	11.0	3.6	5.3	N/A	1.7		

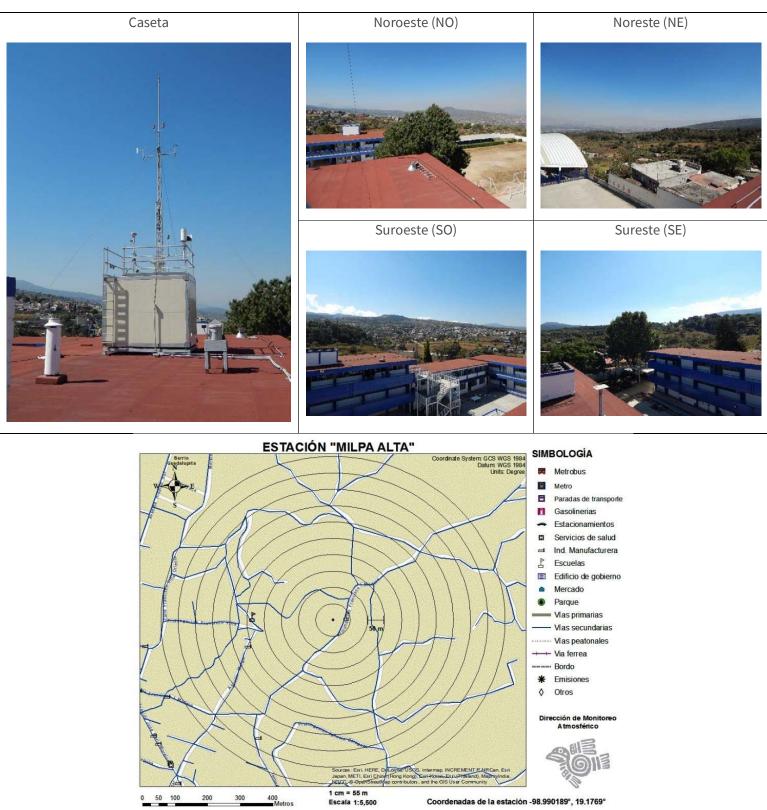
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
2.0	0.9	1.0	1.9	0.98	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
5 de Febrero	Terciaria	NE	120	3,538	N/A	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 7: Zona semi- rural con casas dispersas	Sin restricciones	N/A	Pavimento, cobertura vegetal	N, S, SO	Acceso y seguridad adecuados. Al NO hay una cancha de tierra que fue recubierta con pasto sintético



Imágenes de la estación MPA





23. Montecillo (MON)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Montecillo	MON	Km 36.5 Carr. México Texcoco,	Texcoco	Colegio Posgraduados	19.4634	-98.904819
		Col. Montecillo CP56230	Edo. Mex.	Chapingo		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM _{2.5}
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UVA	UVB	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)									
EQUIPOS RAMA E				EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro	
2,064	N/A	2.9	0.87	1.36	11.2	3.8	9.5	N/A	1.14	

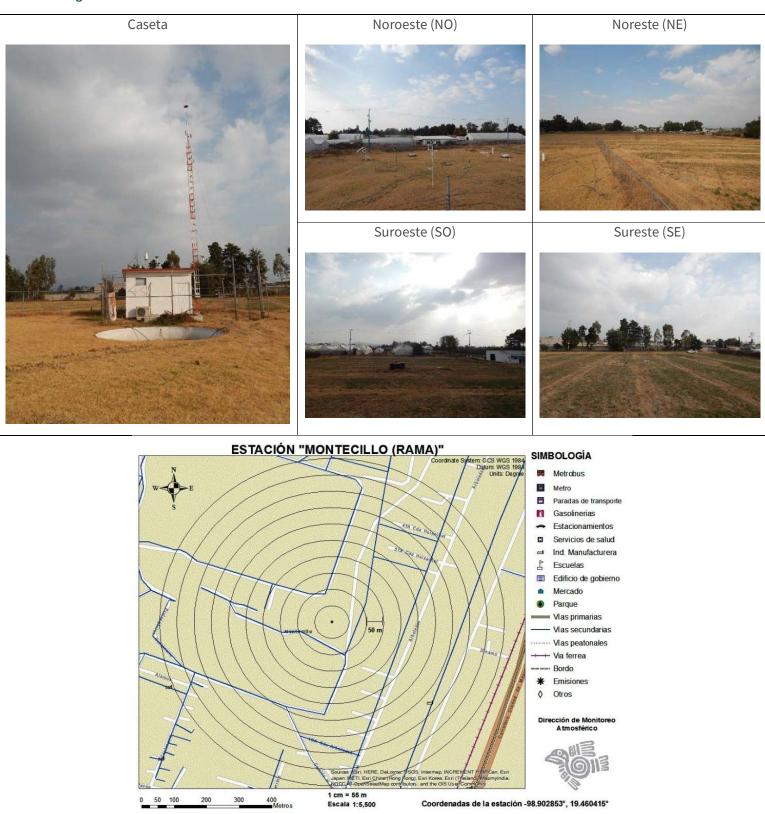
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
1.6	1.6	1.2	0.99	0.85						

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Circuito privado	Terciaria	N	150	4,920	Al N a 150m capacidad 100 cajones	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 5: Zona mixta semi- rural con grandes edificios y campos de cultivo	Sin restricciones	N/A	Pavimento, cobertura vegetal	NO, SE, E	Acceso y seguridad adecuados.



Imágenes de la estación MON





20. Nezahualcóyotl (NEZ)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Nezahualcóyotl	NEZ	Av. Ángel de la Independencia	Nezahualcóyotl	Unidad de	19.392790	-99.028287
		s/n, Col. Metropolitana 2ª	Edo. Mex.	Farmacología		
		Secc. CP 57740		UNAM		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM _{2.5}
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A	N/A
Parámetros REDMA	PM ₁₀	Pb	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Altitud EQUIPOS RAMA				EQUIPOS REDMET							
	(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro	
	2,240	7.7	2.8	1.06	1.92	13.3	3.42	9.88	N/A	N/A	

DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP				
2.02	N/A	1.2	N/A	1.45	N/A				

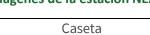
Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Ángel de la Independencia	Terciaria	NO	40	4,824	Al N a 10m capacidad 10	N/A
Alameda Central	Terciaria	N	40	1,608	cajones	IN/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 4: Zona urbana media densidad, casas y comercios	Sin restricciones	Árbol al O (9.5m dist) 14.2m alto Árbol SO (8.3m dist) 13m alto	Pavimento, concreto	NE, E, S	Acceso y seguridad adecuados.





Imágenes de la estación NEZ





Noroeste (NO)



Noreste (NE)

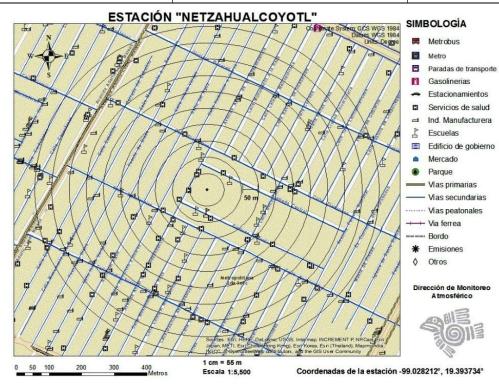


Suroeste (SO)



Sureste (SE)







21. Pedregal (PED)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Pedregal	PED	Cañada No 370, Col. Jardines	Álvaro	Primaria John F.	19.355146	-99.204136
		del Pedregal, CP 01001	Obregón CDMX	Kennedy		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UVA	UVB	N/A	N/A
Parámetros REDMA	PM ₁₀	PM _{2.5}	PST	Pb	N/A	N/A	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)											
Altitud EQUIPOS RAMA EQUIPOS REDMET												
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro			
2,326	26 7.0 2.88 1.0 2.22 11.0 4.0 9.0 1.73 1.67											

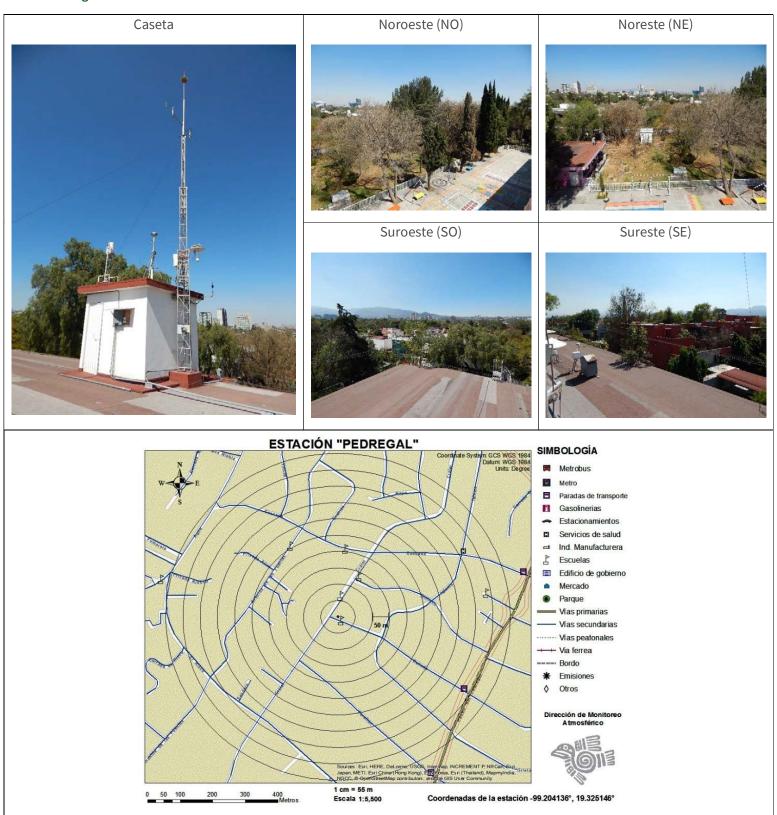
DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)											
Gases a partículas a Pluviómetro Equipos Gases a TMP pluviómetro TMP a TMP REDMA											
1.44											

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Cráter	Terciaria	NO	13	7,064	N1/0	N1 / 0
Cañada	Terciaria	SO	8	965	N/A	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana media densidad	Sin restricciones para RAMA	REDMA, árbol al NO a 3.6m dist y 8m alto REDMA, árbol al O a 8m dist. 8m alto REDMA, árbol al SO a 13.7m dist. 12m alto	Pavimento, concreto	NE, N, SO, O, NO	Acceso y seguridad adecuados.



Imágenes de la estación PED





22. San Agustín (SAG)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
San	SAG	Santa Rita y Sur 92 s/n, Col. San	Ecatepec	Centro Atención	19.532930	-99.030250
Agustín		Agustín 3ª Secc. CP 55130	Edo. Mex.	Primaria en Adicciones		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UVA	UVB	N/A	N/A	N/A
Parámetros REDMA	PM _{2.5}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)											
EQUIPOS RAMA EQUIPOS REDMET								REC	AMC			
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR Veleta v Redissión					Altura PM10	
2,239	2,239 4.6 2.6 1.24 2.1 10.0 3.4 3.5 2.0 1.84									1.9	1.65	

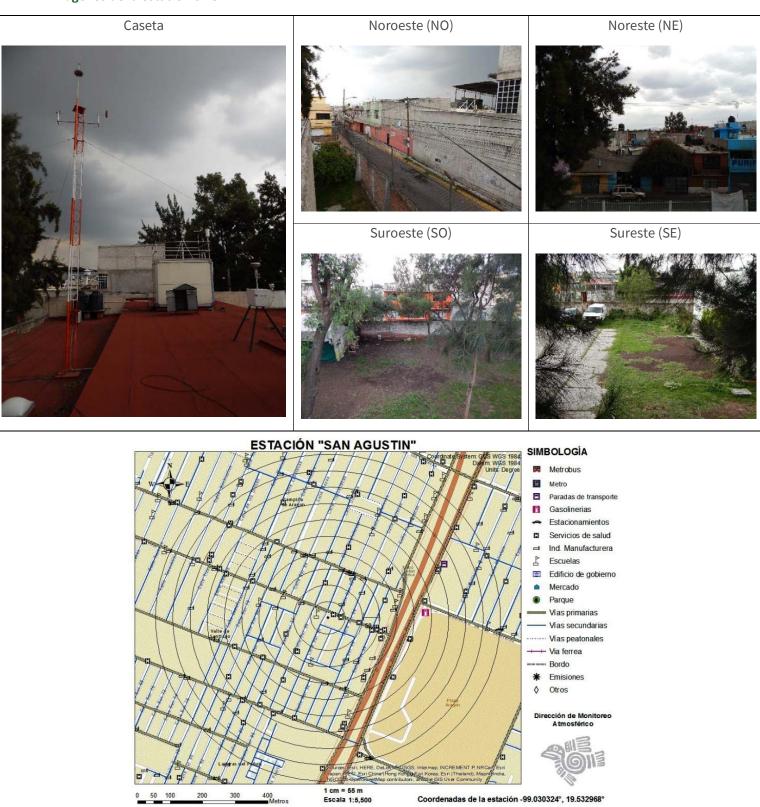
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)										
Gases a Gases a Gases a TMP Partículas a Partículas a Pluviómetro a Equipo partículas pluviómetro TMP TMP REDMA											
1.2	12 022 089 089 08 08/ 12										

Vialidad	Тіро	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión	
Santa Rita	Terciaria	NO	20	9,005			
Sur 90	Terciaria	NE	15	5,467	N/A	N/A	
Cda. Sta. Rita	Terciaria	S	20	1,280			

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana media densidad	Sin restricciones	Árbol al E, 19.5m dist. y 19m alto Árbol al SO 10m dist y 5m alto (poda) Árbol SE 17m dist y 17m alto Árbol NO 14m dist. 5m alto (poda)	Pavimento, concreto	NE, E	Acceso y seguridad adecuados.



Imágenes de la estación SAG





23. Santa Fe (SFE)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía		Latitud N-S	Longitud E-O
Santa Fe	SFE	Av. Carlos Lazo s/n, Col. Prados en la Montaña CP 05610, entre Tamaulipas y	Cuajimalpa CDMX	Relleno Sanitario Santa Fe	19.35742	-99.26306
		Santa Fe				

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UVA	UVB	N/A	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
المنطقة الم		EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y	Veleta y	Radiación	Pluviómetro		
(111511111)		Casela	Gases	Particulas	Torre	TMP	anemómetro	UV	Pluvioilletro		
2,593	N/A	2.42	1.7	1.8	10.8	5.0	9.82	4.5	1.58		

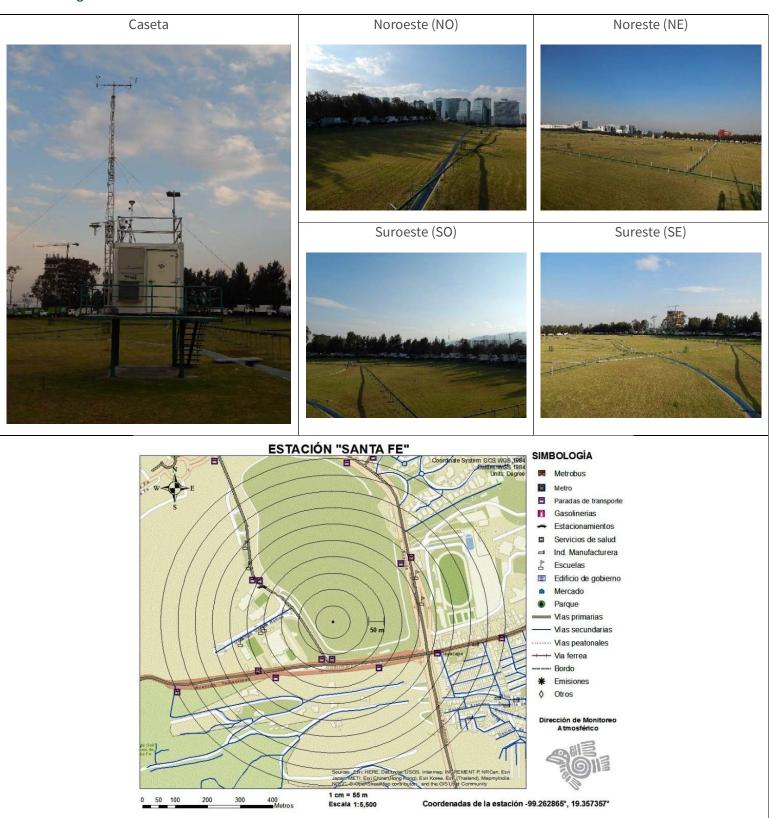
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
1.7	1.2	0.9	1.1	1.085	0.8					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Carlos Lazo	Secundaria	SE	70	14,760	Al SE a 70m capacidad 50 caiones	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 1: Zona urbana alta densidad, servicios y oficinas	Sin restricciones	No presenta	Pavimento, concreto	NE, O, E, N	Acceso y seguridad adecuados. Sistemas de riego presentes



Imágenes de la estación SFE





24. Santiago Acahualtepec (SAC)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Santiago	SAC	Retama s/n Esq. 5 de Febrero,	Iztapalapa	Centro de	19.345509	-99.00945
Acahualtepec		Col. Ampl. Santiago	CDMX	Rehabilitación contra		
		Acuahualtepec CP 09609		las Adicciones		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM _{2.5}
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
مادندا			EQUIPOS RA	MA	EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro		
2,290	8.0	3.2	1.8	1.3	10.8		11	N/A-	N/A		

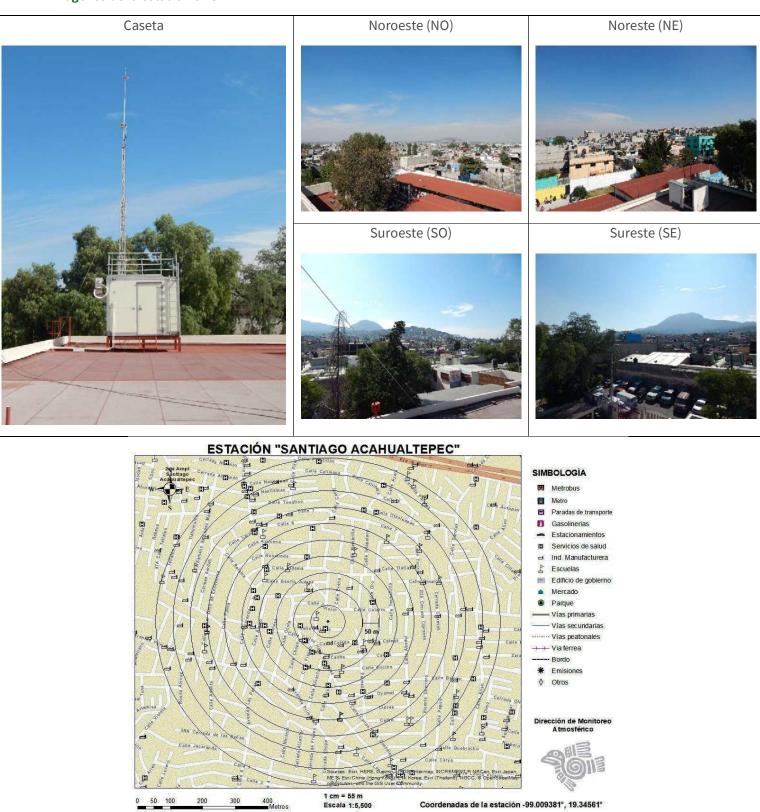
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
1.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Cerrada Retama	Terciaria	0	15	320	Al S a 10 m capacidad 30	N/A
Sauce	Terciaria	S	30	2,573	cajones	IN/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana media densidad, casas y comercios	Sin restricciones	Árbol E 15m dist. 12m alt. Árbol SO 20m dist, 12m alt.	Pavimento, concreto	N, E, SE	Acceso y seguridad adecuados.



Imágenes de la estación SAC





25. Tláhuac (TAH)

Nombre	Clave	Dirección	Dirección Municipio Sitio		Latitud N-S	Longitud E-O
Tláhuac	TAH	Escudo Nacional s/n Col.	Xochimilco	Primaria	19.24645	-99.01054
		Nativitas, CP 16797	CDMX	Acatonalli		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM ₁₀
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)											
Ala:Aud EQUIPOS RAMA						EQUIPOS REDMET						
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro			
2,296	3.2	2.8	1.18	1.8	10.8	4.88	6.2	N/A-	N/A			

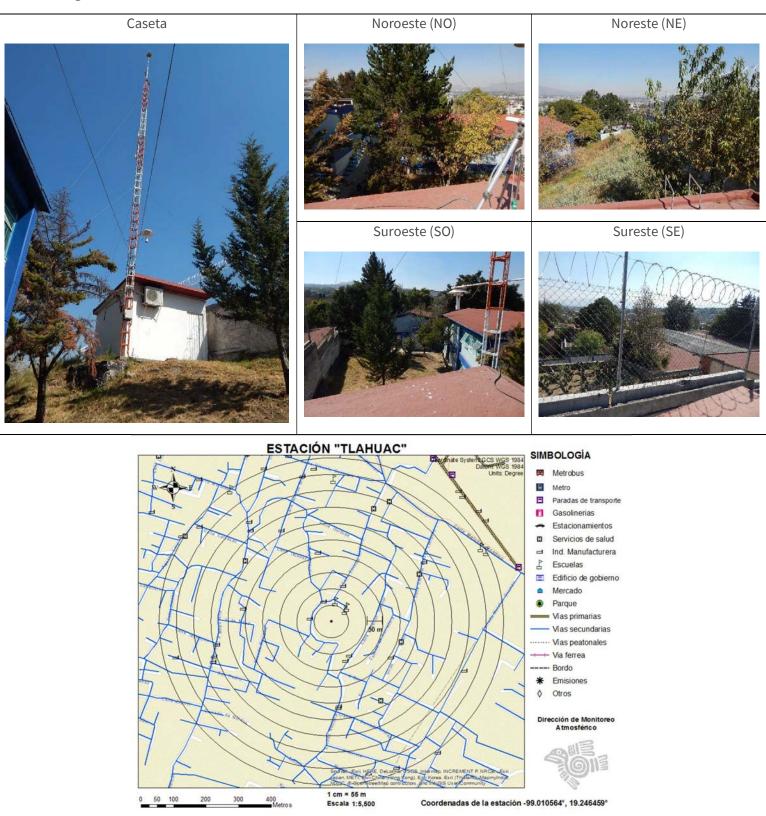
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP							
1.07	N/A	N/A	N/A	N/A	0N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Escudo Nacional	Terciaria	Al N	15	320	N/A	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 5: Zona urbana baja densidad, casas y comercios	Sin restricciones	Árbol NE 2.3m dist. 5m alto Árbol NO 5m dist, 5m alto	Pavimento, concreto	N, NE, S	Acceso y seguridad adecuados. Se recomienda podar los árboles periódicamente



Imágenes de la estación TAH





26. Tlalnepantla (TLA)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Tlalnepantla	TLA	Glorieta Atlacomulco s/n Col.	Tlalnepantla	Planta de Bombeo de	19.529077	-99.204597
		Tlalnemex CP 53150	Edo Mex	Agua Potable		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM ₁₀
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	UVA	UVB	N/A
Parámetros REDMA	PM ₁₀	PM _{2.5}	PST	Pb	N/A	N/A	N/A

ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Altitud			EQUIPOS RA	AMA	EQUIPOS REDMET					
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro	
2,198	9.3	2.6	1.2	1.3	5.0	3.9	5.7	N/A-	1.3	

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)											
EQUIPOS RAMA EQUIPOS REDMET							EQUIPOS REDMET					
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro	Altura PM2.5		
2,283		2.6	0.78	2.3	2.3 13.5 2.5 11.5 2.0 1.78 2.0 1.31							

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)										
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP	Equipos REDMA					
1.3	1.3 0.85 1.2 0.95 1.1 0.8 2.62										

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. Atlacomulco	Secundaria	NE y SO	5 y 20m	9,866	N/A	N/A
Aculco	Terciaria	NyS	7	6,111	IN/A	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana media densidad, casas y comercios	Sin restricciones	No presenta	Pavimento, concreto	N, NO	Acceso y seguridad adecuados.



Imágenes de la estación TLA

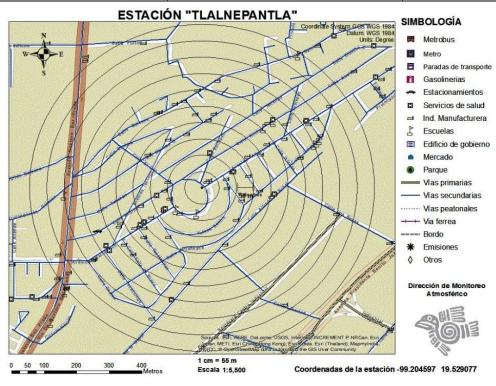














27. Tultitlán (TLI)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Tultitlán	TLI	Lomas de Cartagena s/n Col.	Tultitlán	Jardín de Niños	19.602542	-99.177173
		Lomas de Cartagena CP54901	Edo Mex	Fco. Luna Arroyo		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM ₁₀

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)									
Altitud EQUIPOS RAMA EQUIPOS REDMET								MET		
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro	
2,313	N/A	3.14	1.0	1.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)										
Gases a Gases a pluviómetro Gases a TMP Partículas a Partículas a Pluviómetro a pluviómetro TMP TMP											
1.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						

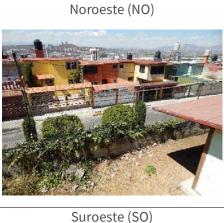
Vialidad	Тіро	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Blv. Lomas de Cartagena	Terciaria	NE	60	2,573	N/A	N/A
Calle cerrada	Terciaria	SO	7	320	IN/A	IN/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana media densidad, casas y comercios	La barda puede afectar flujo	Barda al E 6.2m dist. 7m alto Árbol al N 4.8m dist. 7.5m alto Árbol al E 8m dist. 8.5m alto	Pavimento, concreto	N/A	Acceso y seguridad adecuados La barda puede ser un obstáculo para el flujo de aire, se recomienda podar árboles



Imágenes de la estación TLI

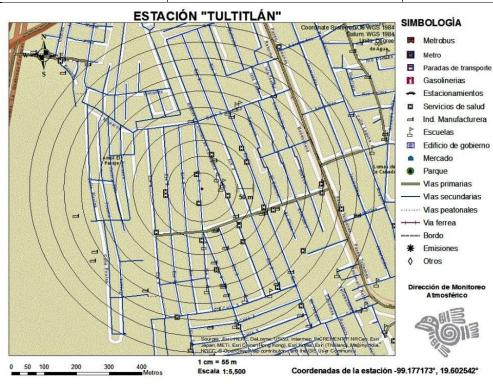














28. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UIZ)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
UAM-	UIZ	San Rafael Atlixco No 180, Col.	Iztapalapa	UAM-Iztapalapa-	19.36082	-99.07383
Iztapalapa		Vicentina CP 09340	CDMX	CBS		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Parámetros REDMA	PM ₁₀	PM _{2.5}	PST	Pb	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

				ALTUR/	A DEL ED	IFICIO Y	EQUIPOS (m)				
Aleieud EQUIPOS RAMA EQUIPOS REDMET									REDMA		
(msnm)	Altitud Edificio		Gases Partícu	Dartículas	Torro	HR y	Veleta y	Radiación	Pluvió-	Altura	Altura
(111511111)		Casela	Gases	Particulas	Torre	TMP	anemómetro	UV	metro	PM2.5	PM10
2,245	15.2	2.64	1.87	1.69							1.5

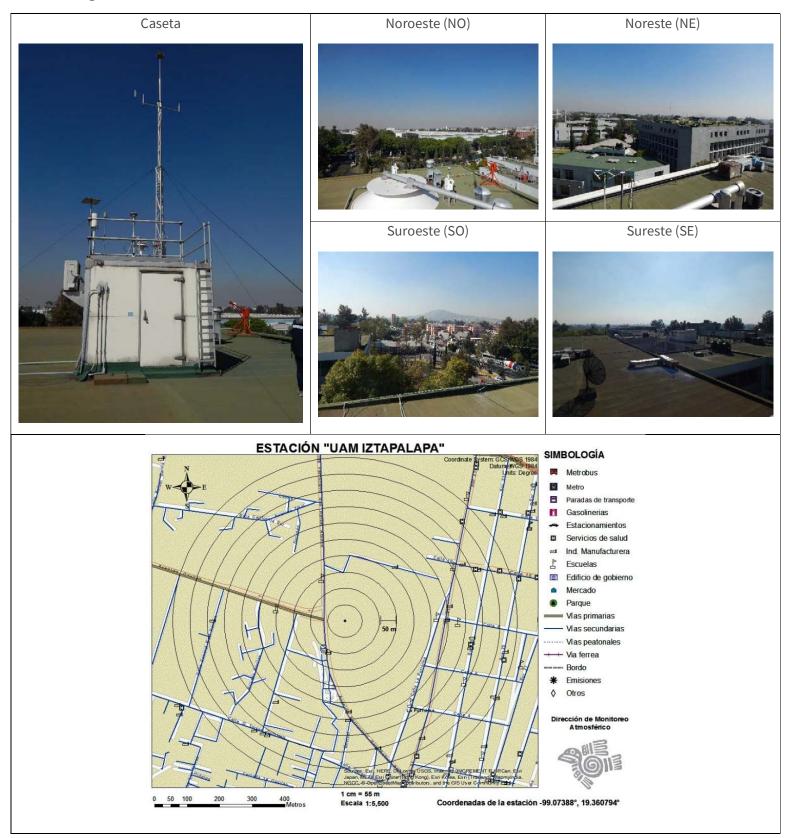
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)										
Gases a Gases a Gases a TMP Partículas a Partículas a Pluviómetro a Equipos partículas pluviómetro TMP TMP REDMA											
1.34	·										

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Av. San Rafael Atlixco	Secundaria	0	80	29,192	Al O a 50m capacidad 50	N/A
La Purísima	Terciaria	Е	250	7,718	cajones	

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 6: Zona mixta con grandes edificios y áreas	Sin restricciones	Árbol 10m dist 15m alto	Pavimento, concreto	NE, N, E, SE	Acceso y seguridad adecuados.
verdes					



Imágenes de la estación UIZ





29. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (UAX)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
UAM-	UAX	Calz. Del Hueso No 1100, Col.	Coyoacán	UAM-Xochimilco	19.304441	-99.103629
Xochimilco		Villa Quietud CP04831	CDMX			

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM _{2.5}
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A-	N/A

			А	LTURA DEL ED	IFICIO Y E	QUIPOS (m)			
Altitud		EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET				
(msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro
2,246	20	2.8	0.98	1.5	11.3	3.82	6.6	N/A-	N/A

	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a pluviómetro partículas		Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
1.7	N/A	1.15	N/A	0.9	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
No se observan	N/A	N/A	N/A	N/A	Al O a 20m capacidad 40 cajones, se	N/A
vialidades cercanas					extiende 35m al S con autobuses	

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 5: Zona mixta con grandes edificios y áreas verdes	Sin restricciones	No presenta	Pavimento, concreto	E, NE, S	Acceso y seguridad adecuados.



Imágenes de la estación UAX





30. Villa de las Flores (VIF)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	- Sitio I		Longitud E-O
Villa de las	VIF	Primavera y Palmcristi s/n Col.	Coacalco	Primaria Benito	19.658223	-99.09659
Flores		Villa de las Flores CP 55710	Edo. Mex.	Juárez		

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	CO	PM ₁₀
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A-	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)									
المناهدية	Edificio	EQUIPOS RAMA			EQUIPOS REDMET					
Altitud (msnm)		Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y TMP	Veleta y anemómetro	Radiación UV	Pluviómetro	
2,250	N/A	3.1	1.0	1.74	10.0	4.3	9.5	N/A	N/A	

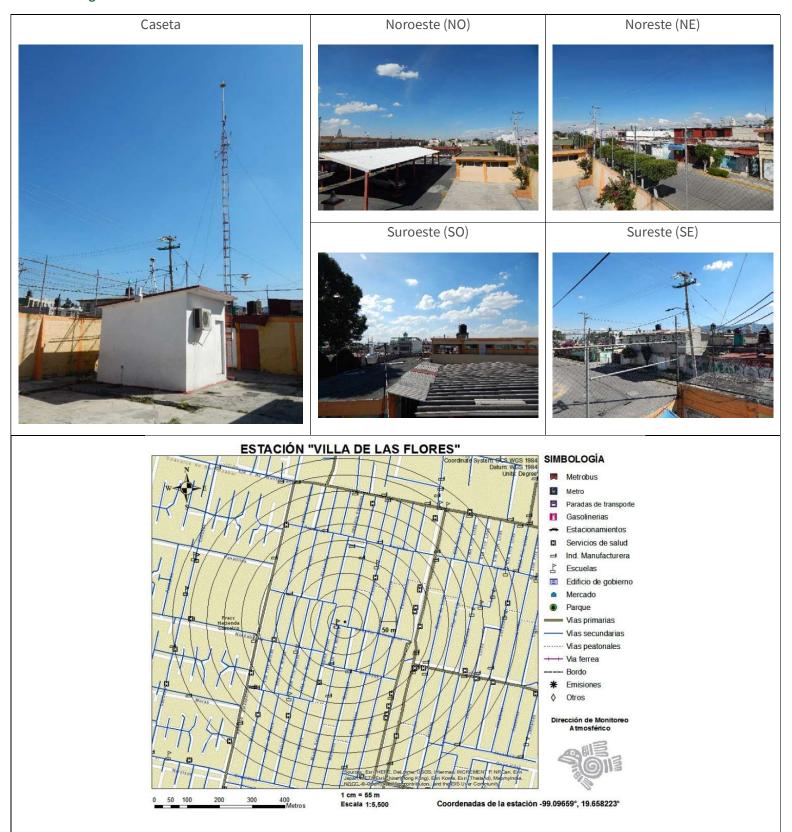
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)									
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP					
1.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A					

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Calle Palmcristi (cerrada)	Terciaria	NE	2.0	320	N/A	N/A

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana media densidad, casas y comercios	Sin restricciones	Árbol 15m dist 12m alto	Pavimento, concreto	N, NO, NE	Acceso y seguridad adecuados.



Imágenes de la estación VIF





31. Xalostoc (XAL)

Nombre	Clave	Dirección	Municipio Alcaldía	Sitio	Latitud N-S	Longitud E-O
Xalostoc	XAL	Vía Morelos Km 12.5, Col. Xalostoc CP 54190	Ecatepec Edo. Mex.	Hospital Gral. de Zona UMF-76-IMSS	19.526520	-99.082240

Parámetros RAMA	O ₃	SO ₂	NO ₂	NOx	NO	СО	PM ₁₀	PM _{2.5}	PMCO
Parámetros REDMET	VV	DV	TMP	HR	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Parámetros REDMA	PM ₁₀	PM _{2.5}	PST	Pb	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

	ALTURA DEL EDIFICIO Y EQUIPOS (m)										
Altitud		E	QUIPOSI	RAMA	MA EQUIPOS REDMET REDMA				MA		
Altitud (msnm)	Edificio	Caseta	Gases	Partículas	Torre	HR y	Veleta y	Radiación	Pluviómetro	Altura	Altura
(111311111)		Caseta	Cuses	raiticutas	10116	TMP	anemómetro	UV	rtavionietio	PM2.5	PM10
2,265	30	2.06	1.21	1.63	7.1	3.4	6.4	1.31	1.45	1.91	1.1

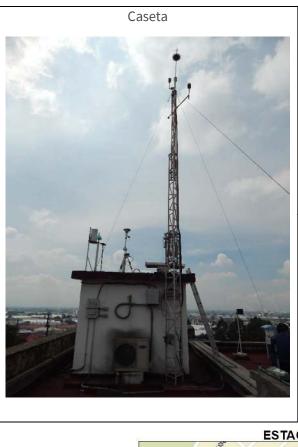
	DISTANCIA ENTRE LOS EQUIPOS (m)							
Gases a partículas	Gases a pluviómetro	Gases a TMP	Partículas a pluviómetro	Partículas a TMP	Pluviómetro a TMP	Equipos REDMA		
1.2	1.0	1.1	0.9	0.9	N/A	1.45		

Vialidad	Tipo	Ubicación	Distancia (m)	Flujo Veh/d	Estacionamiento	Fuentes emisión
Vía Morelos	Primaria	N	20	80.360		Varias
Autop. Mexico Pachuca	Primaria	NO	200	110,208	N/A	fábricas
Benito Juárez	Terciaria	E	50	17,366		cercanas

Entorno	Flujo de aire	Obstáculos	Tipo suelo	Viento dominante	Comentarios
Tipo 3: Zona urbana media densidad, casas, comercios e industrias	Sin restricciones	N/A	Pavimento, concreto	N, NE	Acceso y seguridad adecuados. Vialidades con tránsito pesado e industrias alrededor



Imágenes de la estación XAL















ANEXO II: INTERPOLACIÓN KRIGING Y SEMIVARIOGRAMAS

El método *kriging*, también conocido como regresión en procesos Gaussianos, se eligió para este análisis y para realizar la interpolación. El método está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación, es decir las correlaciones estadísticas entre los puntos medidos. El *kriging* considera que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra, reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. Este proceso, inicialmente realiza un análisis exploratorio de los datos, el modelado de variogramas, la creación de la superficie y, opcionalmente, la exploración de la superficie de varianza.

Si se considera que los datos fueron explorados, el siguiente paso en el proceso es el ajuste de un modelo al semivariograma empírico (Figura 8). El variograma empírico es una herramienta que proporciona información sobre la autocorrelación espacial de la ubicación de nuestros datos. Sin embargo, esta herramienta sólo proporciona información de la ubicación y las distancias de nuestro conjunto de datos; por lo tanto, para realizar las interpolaciones en distintas puntos y distancias, es necesario ajustar un modelo que permita hacer dichos cálculos.

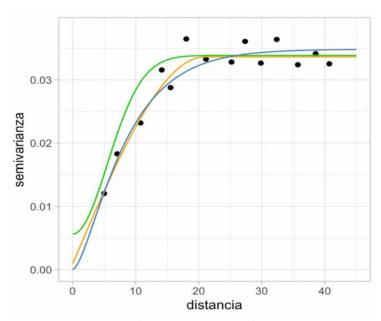


Figura 8. Semivariograma empírico. Fuente: Estadística multivariada (ITAM, 2015)



Existen diversos modelos de semivariogramas, por ejemplo, el circular, esférico, exponencial, etc., que tienen características específicas y que permiten describirlos. El *rango*, *sill* y *nugget* se utilizan generalmente para describir estos modelos (Figura 9).

Uno de los principios de la geografía, establece que existe una relación directa entre la cercanía y la similitud, es decir, entre más cercanos los objetos, son más parecidos, por lo que podemos entender el rango de un modelo de semivariograma como la distancia a la cual, la semivarianza se vuelve constante. Con base en esto, se define *sill* como el valor de semivarianza en la cual el modelo alcanza el rango. Finalmente, el *nugget* se establece como el efecto que puede ser atribuido a los errores de medición o a las fuentes que producen variación espacial en distancias que son menores que el intervalo de muestreo. Teóricamente, el *nugget* debe ser un valor pequeño, debido a que se refiere a la variación a distancias muy reducidas. Sin embargo, como se menciona anteriormente, algunos factores como errores de medición en los equipos pueden provocar que el valor del *nugget* aumente.

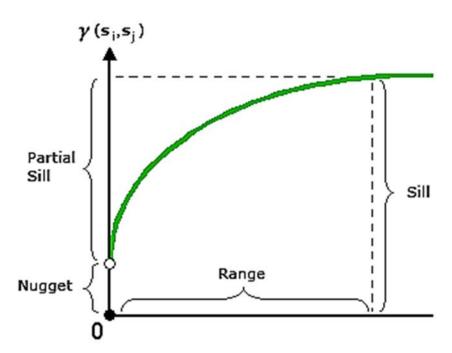


Figura 9. Parámetros de un semivariograma

Para ajustar el modelo de semivariograma a los datos de cada contaminante, se utilizó el software R y la función *autokrige* de la librería *automap*. La función ajusta un modelo de semivariograma, así como los valores de rango, *sill* y <u>nugget</u>; sin embargo, se encontró



que, por la naturaleza de los datos, la función ajustaba un valor de *nugget* elevado. Esto debido a que las estaciones presentan grandes distancias entre sí y al calcular el semivariograma empírico no se contaba con información de la autocorrelación a distancias reducidas.

Debido a este factor, se realizó una validación cruzada, en la que se evaluaron distintos valores de *nugget* más pequeños que el ajustado y se compararon los resultados estimados para ciertas estaciones que, al azar, se excluyeron del análisis. De esta manera se consiguió ajustar un valor menor de nugget, lo que permitió mejorar el modelo de semivariograma empírico y a su vez, la variación a través de la distancia.

A continuación, se presentan los resultados de la interpolación kriging, el error estándar y el modelo de semivariograma por contaminante que fue ajustado para el análisis

Monóxido de carbono (CO) Kriging prediction Kriging standard error 0.08 0.06 Experimental variogram and fitted variogram model 0.015 Semi-variance 0.010 0.005 nge: 43017 15000 20000 25000

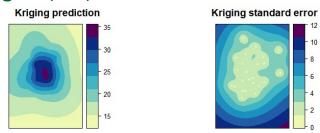
10000

Distance

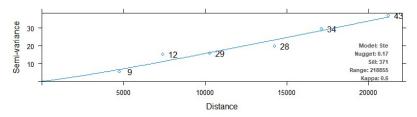
5000



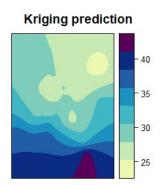
Dióxido de nitrógeno (NO₂)



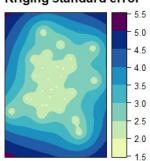
Experimental variogram and fitted variogram model



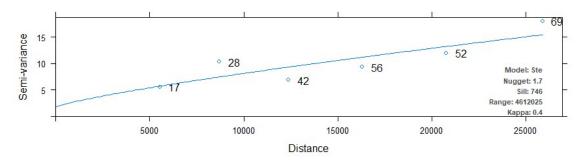
Ozono (O₃)



Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model





Dióxido de azufre (SO₂)

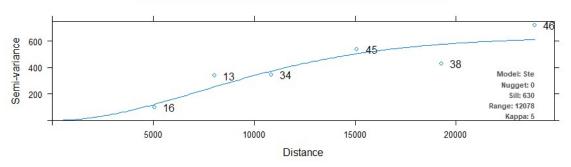
Kriging prediction

- 160
- 140
- 120
- 100
- 80
- 60
- 40
- 20

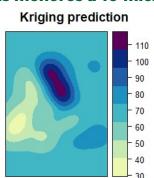
Kriging standard error

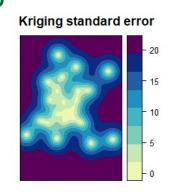
- 25
- 20
- 15
- 10
- 5

Experimental variogram and fitted variogram model

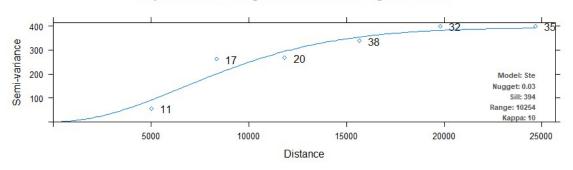


Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)



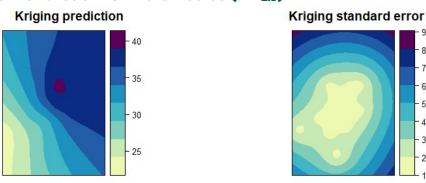


Experimental variogram and fitted variogram model

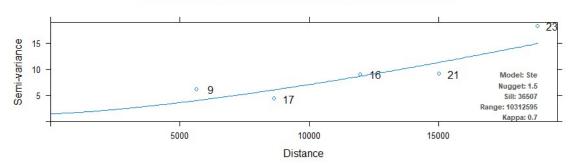




Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})



Experimental variogram and fitted variogram model





ANEXO III. CONCEPTO DE ESCALAS

La complejidad y heterogeneidad de los entornos urbanos permiten obtener observaciones útiles y repetibles.

Para obtener resultados satisfactorios en una estación urbana, lo más importante es valorar el concepto de escala. Hay tres escalas que hay que tener en cuenta (Oke, 1984; Figura 2):

- a) Microescala (menos de 100 m): toda superficie u objeto tiene su propio microclima, que abarca también sus inmediaciones. Las temperaturas de la superficie y del aire pueden variar en varios grados a lo largo de distancias muy cortas, de milímetros incluso, y el flujo de aire puede resultar muy alterado hasta por objetos muy pequeños. Las escalas típicas del microclima urbano están relacionadas con la dimensión de los distintos edificios, árboles, carreteras, calles, patios, jardines, etc. A menos que los objetivos sean muy especializados, las estaciones urbanas deben evitar las influencias microclimáticas.
- b) Escala local (100 m a 3 km): es la escala a la que deben operar las estaciones de calidad del aire. Incluye ciertas características del paisaje, como la topografía, pero excluye los efectos a microescala. En zonas urbanas, ello equivale al clima de diversos entornos con tipos de desarrollo urbano similares (cubierta superficial, tamaño y separación de los edificios, actividad). La señal viene a ser la integración de una combinación característica de efectos microclimáticos causados por el *área fuente*¹ en las inmediaciones del emplazamiento.
- c) Mesoescala (3 km a 100 km): las ciudades influyen en el tiempo y en el clima a la escala del núcleo urbano, que abarca generalmente una extensión de varias decenas de kilómetros. Una estación única no es suficiente para representar esta escala.

Escalas verticales.

Una diferencia esencial entre el clima de las áreas urbanas y el de las ubicaciones rurales es que, en las ciudades los intercambios verticales de cantidad de movimiento, calor y humedad no tienen lugar en una superficie (prácticamente) plana, sino en una capa de espesor no desdeñable, denominada palio urbano (ver Figura 2).



'Área fuente: el área fuente es la parte de la superficie a barlovento que aporta las principales propiedades del flujo o de la concentración meteorológica que se desea determinar (Schmid, 2002)

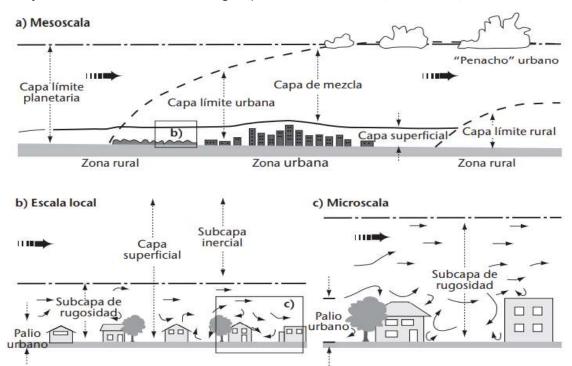


Figura 2. Esquema de las escalas climáticas y las capas verticales observadas en las zonas urbanas: capa límite planetaria, capa límite urbana, palio urbano y capa límite rural (modificado de Oke, 1997).

La altura del palio urbano equivale aproximadamente a la altura media de los principales elementos de rugosidad (edificios y árboles), zH (ver Figura 3 para comprender mejor). Los efectos microclimáticos de las distintas superficies y obstáculos persisten a lo largo de una corta distancia desde la fuente para, seguidamente, mezclarse y desaparecer por la acción de las corrientes turbulentas. La distancia requerida antes de que el efecto desaparezca dependerá de la magnitud del mismo, de la velocidad del viento y de la estabilidad (conceptuada como estable, neutral o inestable).

Esta mezcla tiene lugar tanto en dirección horizontal como vertical. Los efectos horizontales pueden persistir hasta una distancia de unos cuantos centenares de metros. En la vertical, los efectos de las distintas peculiaridades son discernibles en la subcapa de rugosidad, que se extiende desde el nivel del suelo hasta la altura de mezcla z_r, donde finaliza ese fenómeno, ver Figura 3.

Las estimaciones efectuadas y las mediciones sobre el terreno indican que z_r puede alcanzar valores tan bajos como 1,5 z_H en emplazamientos densamente edificados (con



pequeña separación entre edificios) y homogéneos, pero superiores a 4 z_H en áreas de baja densidad (Grimmond y Oke, 1999; Rotach, 1999; Christen, 2003). *Un instrumento situado por debajo de z_r puede registrar anomalías microclimáticas, pero por encima de ese valor percibe una señal difusa, promediada espacialmente, que es representativa de la escala local.*

Se debe tener en cuenta que cada tipo de superficie a escala local genera una capa límite interna en la cual la estructura del flujo y las propiedades termodinámicas están adaptadas al tipo de superficie. La altura de la capa aumenta con el alcance (es decir, con la distancia a barlovento hasta la frontera en que tiene lugar una transición a un tipo de superficie claramente diferente). La rapidez con que aumente la capa límite interna con el alcance dependerá de la rugosidad y de la estabilidad.

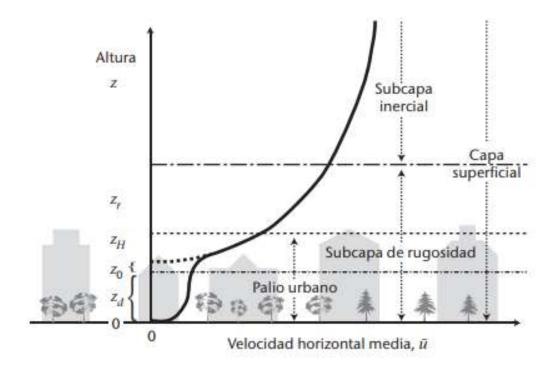


Figura 3: Perfil general de la velocidad media (espacial y temporal) del viento (\bar{u}) en una zona urbana densamente desarrollada, se incluye la localización de las subcapas de la capa superficial. Las mediciones en la escala de la altura son: la altura media de los elementos de rugosidad (zH), la subcapa de rugosidad (zr o altura de mezcla), la longitud de rugosidad (z0) y la longitud de desplazamiento del plano cero (zd). La línea discontinua representa el perfil extrapolado de la subcapa inercial, la línea continua representa el perfil real.



En condiciones rurales, las relaciones altura/ alcance pueden variar desde valores tan pequeños como 1:10 en condiciones inestables hasta proporciones tan elevadas como 1:500 en casos estables, disminuyendo a medida que aumenta la rugosidad (Garratt, 1992; Wieringa, 1993).

Las áreas urbanas tienden a una estabilidad neutra, debido al aumento de turbulencia térmica y mecánica asociado a las islas de calor y a su elevada rugosidad. *Por consiguiente, se considera como valor típico una relación altura/alcance de aproximadamente 1:100*. La altura de la capa límite interna se determina por encima de la altura de desplazamiento zd (ver la Figura 3 y la nota b del Cuadro 1), que es el nivel de referencia del flujo por encima de la altura de mezcla.

Cuadro 1: Clasificación simplificada de distintas formas urbanas organizadas por orden decreciente aproximado de su capacidad para afectar al clima local (Oke, 2004).

2	Zona climática urbana "	lmagen	Clase de rugosidad ⁶	Relación de aspecto ^c	% construido (impermeable)ª
1.	Zona urbana intensamente construida con edificios muy juntos de gran altura con revestimiento, por ejemplo, torres del centro		8	>2	>90
2.	Zona urbana densamente construida con edificios de entre dos y cinco plantas, adosados o muy juntos, a menudo de ladrillo o piedra, por ejemplo, el centro histórico de la ciudad		7	1,0-2,5	> 85
3.	Zona urbana muy construida, densidad media con viviendas, locales y apartamentos en fila o unifamiliares, pero muy juntos, por ejemplo, edificaciones urbanas	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	<u>→</u> 7	0,5-1,5	70 a 85



2	Zona climática urbana º	Imagen	Clase de rugosidad ^e	Relación de aspecto	% construido (impermeable) ^a
4.	Zona urbana muy construida, densidad media o baja de grandes edificios bajos y estacionamientos pavimentados, por ejemplo, centros comerciales, almacenes		5	0,05-0,2	70 a 95
5.	Zona suburbana de construcción media de una o dos plantas, por ejemplo, viviendas suburbanas	1991 119 499 M	h 6	0,2-0,6, hasta > 1 con árboles	35 a 65
6.	Uso mixto con grandes edificios en paisaje abierto, por ejemplo, instituciones como hospitales, universidades, aeropuertos		5	0,1-0,5, depende de los árboles	< 40
7.	Desarrollo semirural, viviendas dispersas en zonas naturales o agrícolas, por ejemplo, granjas, fincas		90093. 4	> 0,05, depende de los árboles	< 10
		■ Edificios - Terreno impermeable	♥ Vegetación Terreno permeable	E)	

Notas: a) Conjunto simplificado de clases que incluye aspectos de los esquemas de Auer (1978) y Ellefsen (1991), además de las medidas físicas relativas al viento y al control térmico y de humedad (columnas de la derecha). La correspondencia aproximada entre las zonas climáticas urbanas y las zonas de terreno urbano definidas por Ellefsen es: 1 (Dc1, Dc8), 2 (A1-A4, Dc2), 3 (A5, Dc3-5, Do2), 4 (Do1, Do4, Do5), 5 (Do3), 6 (Do6), 7 (ninguna).

- b) La rugosidad eficaz del terreno de acuerdo con la clasificación de Davenport (Davenport y otros, 2000); ver Figura 4.
- c) La relación de aspecto zh/W es la altura media de los principales elementos de rugosidad (edificios, árboles) dividida por su espaciado medio; en el centro de la ciudad representa la razón altura/anchura de los "cañones (desfiladeros)" que forman las calles. Se sabe que esta medida está relacionada con los tipos de régimen de flujo (Oke, 1987) y con los controles térmicos (protección solar y apantallamiento de la radiación de onda larga) (Oke, 1981). Los árboles altos aumentan esta medida de forma significativa.
- d) Proporción media del plano del terreno cubierto por características de la construcción (edificios, carreteras y zonas pavimentadas, y otras áreas impermeables); el resto de la superficie está ocupado por una cubierta permeable (espacios verdes, agua y otras superficies naturales). La permeabilidad afecta al estado de la humedad del suelo y, por lo tanto, al potencial de humidificación y de enfriamiento por evaporación.



De los principios y conceptos anteriores se desprende que en emplazamientos urbanos provistos de instrumentos para vigilar las variables meteorológicas a escala local caben dos metodologías:

- a) Situar el emplazamiento en el palio urbano, en un lugar circundado por unas condiciones medias o "típicas" del terreno urbano, y colocar los sensores a alturas similares a las utilizadas en emplazamientos no urbanos. Se supone con ello que la mezcla inducida por el flujo en torno a los obstáculos es suficiente para entremezclar las propiedades hasta conformar un palio urbano medio a escala local.
- b) Instalar los sensores en una torre elevada situada por encima de la subcapa de rugosidad, para obtener valores entremezclados que puedan extrapolarse al palio urbano.



ANEXO I: METADATOS REDMET

Glosario

E Este

m Metros

N Norte

N/A No aplica

NE Noreste

NO Noroeste

O Oeste

REDMET Red de Meteorología

S Sur

SE Sureste

SO Suroeste



1) Acolman (ACO)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
5	-	Valle

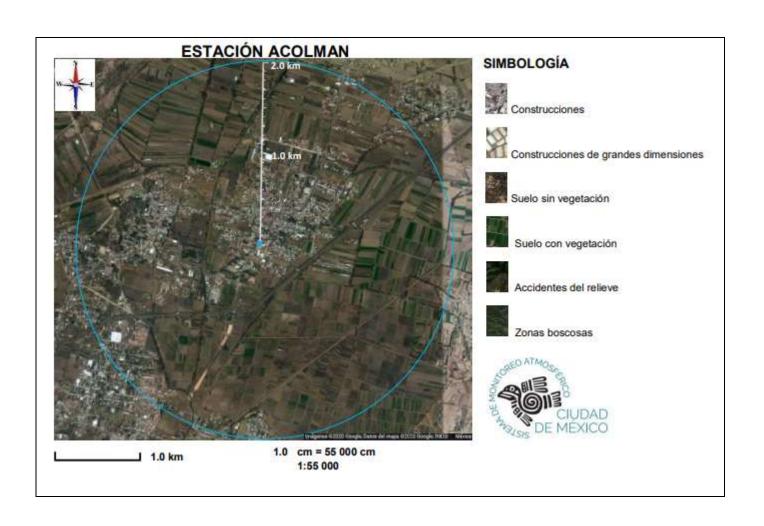
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno					
N	E	S	0		
6	4	4	6		

	Cobertura del suelo	
% Vegetal	% Construido	% Agua
45	55	N/A

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de los edificios (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	6 m	tabique

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	NE: Moderado, NO: Moderado

Cambios recientes en los alrededores u observaciones -





2) Ajusco (AJU)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve	
7	-	montaña	

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
4	4	4	4

Cobertura del suelo			
% Vegetal	% Construido	% Agua	
90	10	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones	
9.25	-	Tabique, madera	

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	no	no	NO: Moderado

Cambios recientes en los alrededores
-





3) Ajusco Medio (AJM)

Zona Climática Urbana Tipo de uso de suelo domina		nte Topografía del relieve	
3	-	Montaña	

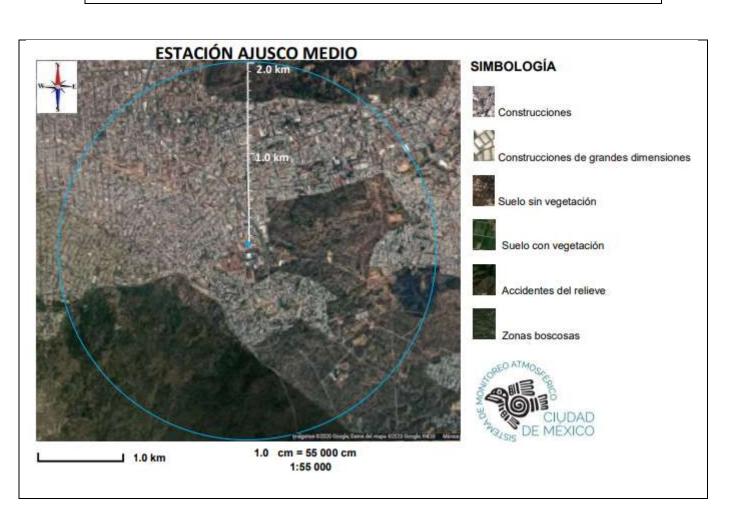
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno				
N	E	S	0	
7	7	7	7	

Cobertura del suelo		
% Vegetal	% Agua	
15	85	N/A

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones	
-	-	Tabique, concreto	

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	no	no	E: Moderado, S: Bajo

Cambios recientes en los alrededores	
_	





4) Benito Juárez (BJU)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Montaña

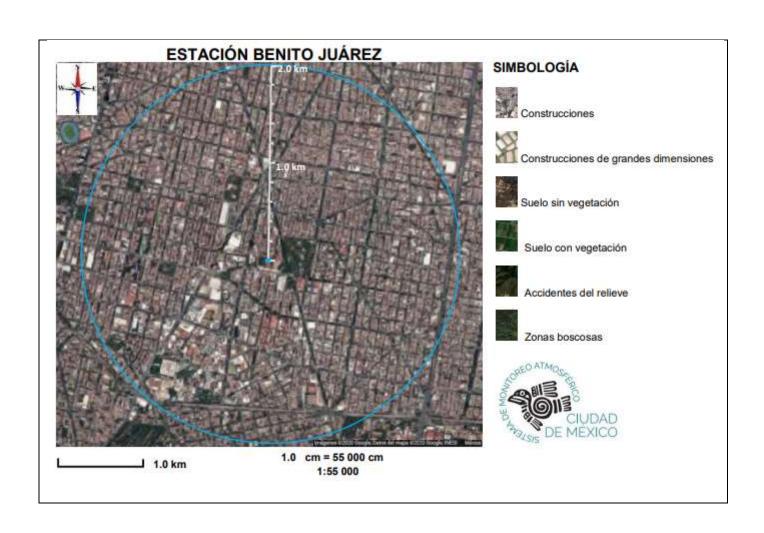
	Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0	
7	7	7	7	

Cobertura del suelo			
% Vegetal % Construido % Agua			
15	85	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Tabique, concreto

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	E: Moderado, S: Moderado

Cambios recientes en los alrededores	
_	





5) Chalco (CHO)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
6	-	Montaña

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
6	4	5	6

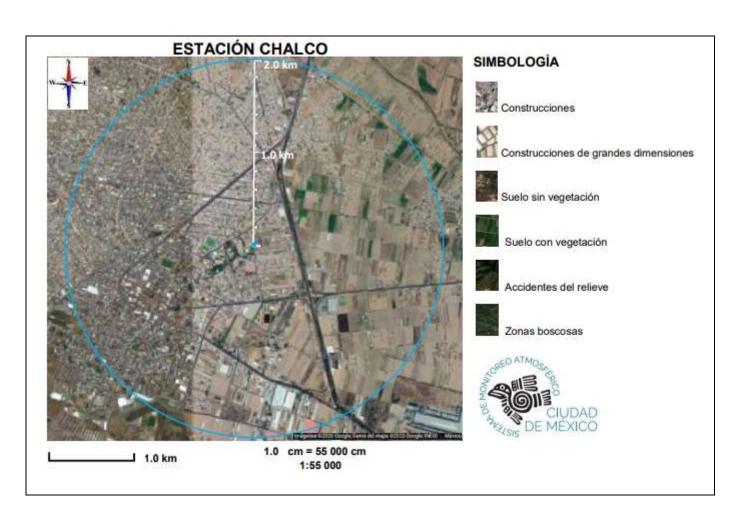
Cobertura del suelo			
% Vegetal % Construido % Agua			
60	40	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Tabique, concreto

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	no	no	E: Moderado, S: Moderado

Cambios recientes en los alrededores

Los árboles presentan obstáculos, en las áreas verdes se observa tierra seca y suelta, al Este hay un terreno grande con las mismas condiciones de tierra seca y suelta. Sobre la estructura de la estación hay mucho polvo.





6) Cuajimalpa (CUA)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Montaña

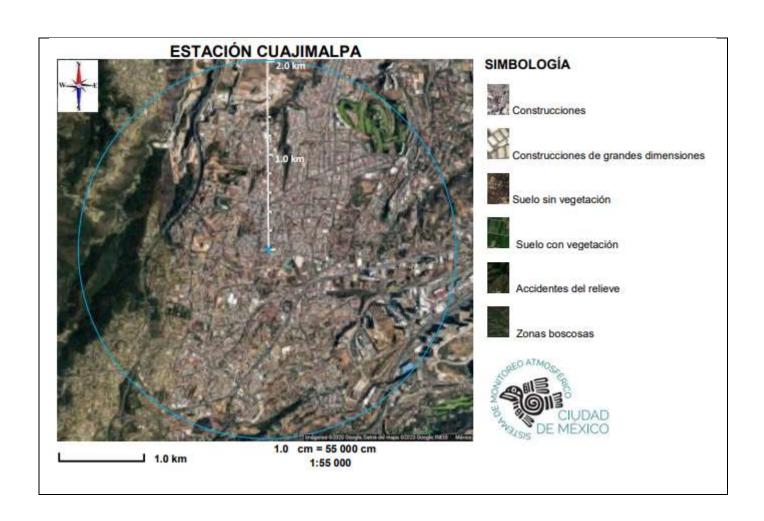
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno					
N E S O					
7	7	7	7		

Cobertura del suelo			
% Vegetal	% Agua		
15	85	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	6	Tabique, concreto

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	S: Baio, O: Alto

Cambios recientes en los alrededores LOS árboles que obstaculizaban el flujo del viento fueron podados en octubre de 2019.





7) Cuautitlán (CUT)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
5	-	Valle

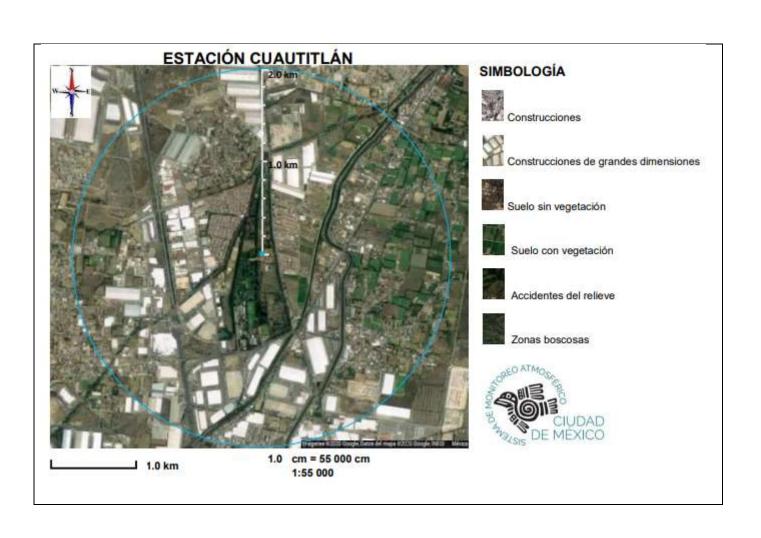
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
6	5	6	6

Cobertura del suelo			
% Vegetal	% Construido	% Agua	
65	35	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	6.5	Tabique, concreto

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	E: Baio

Cambios recientes en los alrededores





8) FES Acatlán (FAC)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Montaña

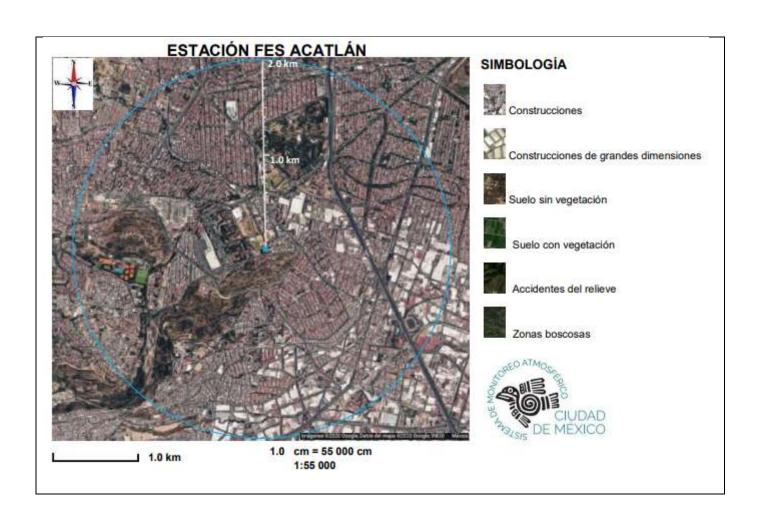
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno					
N E S O					
6	5	6	6		

Cobertura del suelo		
% Vegetal	% Construido	% Agua
25	75	N/A

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Tabique, concreto

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	no	no	N, E, S: Moderado

Cambios recientes en los alrededores Árbol de 11 metros de altura, ubicado a 13 metros de distancia con respecto a la estación.





9) FES Aragón (FAR)

Zona Climática Urbana Tipo de uso de suelo dominante Topografía del reliev		Topografía del relieve
4	-	Valle

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
5	5	5	5

Cobertura del suelo		
% Vegetal	% Construido	% Agua
15	85	N/A

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Tabique, concreto

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	no	no	S: Bajo

Cambios recientes en los alrededores

En las instalaciones de la FES Aragón, no todo tiene pasto, existen muchas áreas sin cubierta; las instalaciones se encuentran alejadas de vialidades primarias.





10) Gustavo A. Madero (GAM)

Zona Climática Urbana	Zona Climática Urbana Tipo de uso de suelo dominante Topografía del relieve	
3	-	Valle

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
7	7	7	7

Cobertura del suelo		
% Vegetal	% Construido	% Agua
10	90	N/A

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Tabique, concreto

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	NO: Alta

Cambios recientes en los alrededores
Se puede solicitar la poda de árboles.





11) Hospital General de México (HGM)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve	
2	-	Valle	

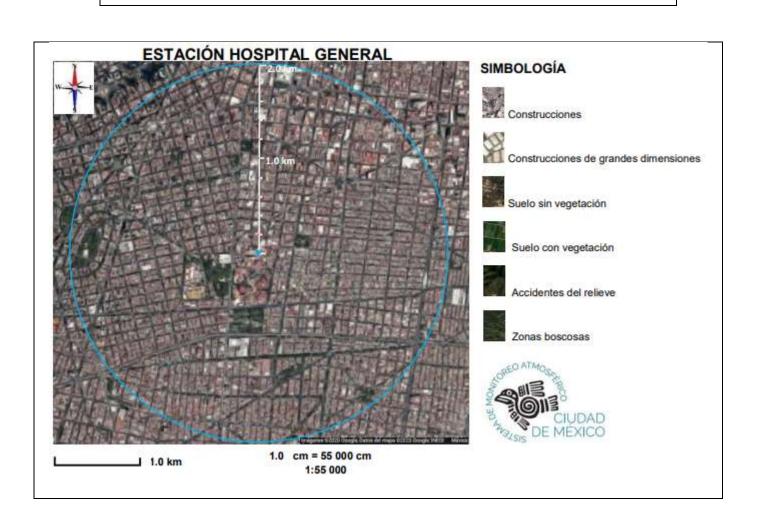
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
7	7	7	7

Cobertura del suelo			
% Vegetal	% Construido	% Agua	
5	95	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones	
-	-	Concreto	

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
-	-	-	-	E: Moderada; S, NO: Baja; O:Alta

Cambios recientes en los alrededores





12) Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (INN)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
6	-	Valle

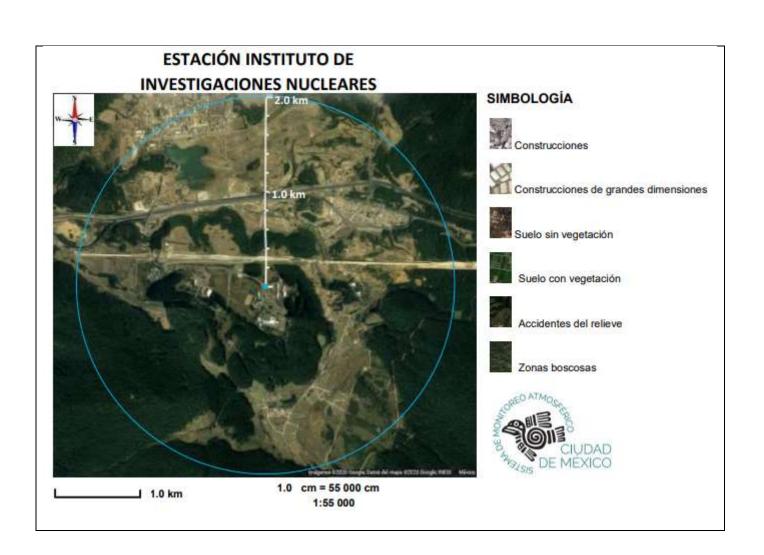
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
5	5	4	5

Cobertura del suelo			
% Vegetal	% Construido	% Agua	
85	15	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de los árboles (m) Altura típica de las construcciones (m o pisos)	
-	-	Tabique rojo, concreto

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	no	no	O: Baja

Cambios recientes en los alrededores





13) Merced (MER)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Valle

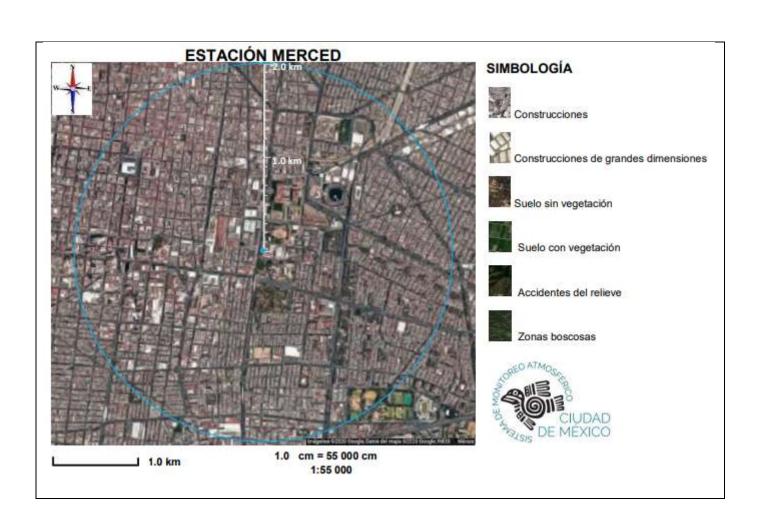
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
7	7	7	7

Cobertura del suelo			
% Vegetal % Construido % Agua			
10	90	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Tabique, concreto

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	N.NO.S: Moderada: O: Alta

Cambios recientes en los alrededores u observaciones





14)Miguel Hidalgo (MGH)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Montaña

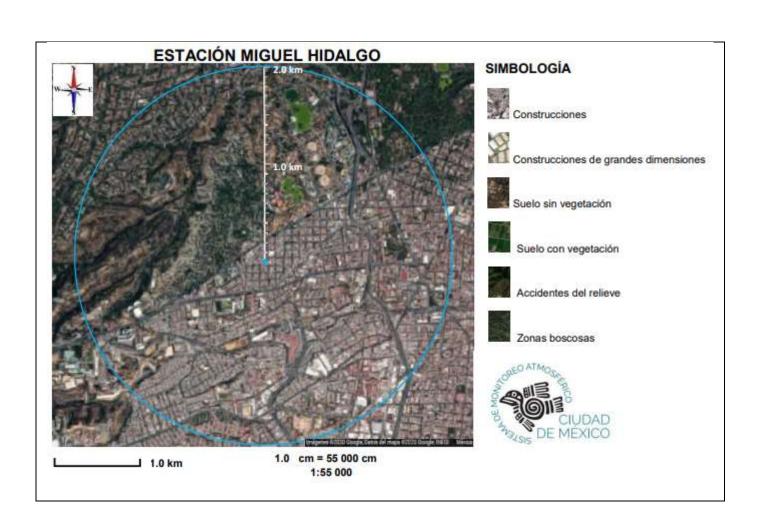
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
7	7	7	7

Cobertura del suelo			
% Vegetal % Construido % Agua			
30	70	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Lámina, tabique, concreto

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	N,SO: Baja; E: Moderada

Cambios recientes en los alrededores u observaciones





15) Milpa Alta (MPA)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
6	-	Montaña

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno				
N	E	S	0	
5	4	5	5	

Cobertura del suelo		
% Vegetal	% Agua	
70	30	N/A

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Tabique, concreto

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no		SE: Baja

Cambios recientes en los alrededores u observaciones

Durante la visita: se realizan obras de construcción en el patio al sur de la estación. Se removió tierra para la preparación de una cancha de fútbol





16)Montecilio (MON)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
6	-	Valle

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
5	5	5	5

Cobertura del suelo			
% Vegetal % Construido % Ag			
70	30	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Concreto, tabique

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
si	no	no	no	N: Moderada

Cambios recientes en los alrededores u observaciones Riego por rodado alrededor de la estación.





17) Nezahualcóyoti (NEZ)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
4	-	Valle

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
5	5	5	5

Cobertura del suelo			
% Vegetal % Construido % Agua			
5	95	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Concreto, tabique

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	sí	no	NO: Moderada

Cambios recientes en los alrededores u observaciones Hay un aire acondicionado a 3.67 metros al S, 4.29 metros al SE y 4.73 metros al SO de la torre meteorológica.





18) Pedregal (PED)

19) Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Valle

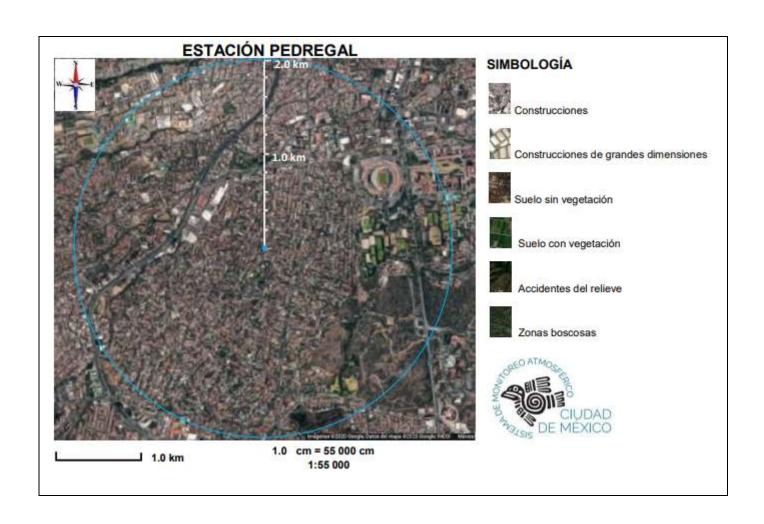
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
7	7	7	7

Cobertura del suelo			
% Vegetal % Construido % Agua			
20	80	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Concreto, tabique

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	no	no	SO: Baja; NO: Moderada

Cambios recientes en los alrededores u observaciones





20) San Agustín (SAG)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Valle

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
7	7	7	7

Cobertura del suelo		
% Vegetal % Construido % Agua		
5	95	N/A

Altura típica de los árboles (m) Altura típica de las construcciones (m o pisos)		Tipo de material de las construcciones
-	-	Concreto, tabique

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	no	no	NE, O, NO: Moderada

Cambios recientes en los alrededores u observaciones

Árboles a 17 y 16 m al N y SE, respectivamente; los cuales representan un obstáculo para la medición del viento. En otras direcciones también se observan árboles que en un futuro también pueden representar un obstáculo si no se podan.





21) Santa Fe (SFE)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
1	-	Montañosa, rodeada de canales

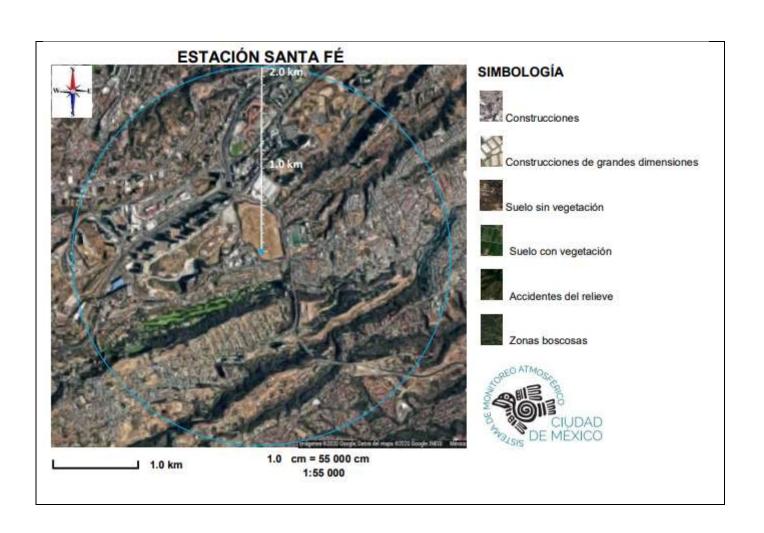
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
8	8	7	7

Cobertura del suelo		
% Vegetal	% Construido	% Agua
15	85	N/A

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Concreto, tabique

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
si	no	no	no	SE: Moderada

Cambios recientes en los alrededores u observaciones Existen sistemas de riego alrededor de la torre meteorológica





22) Santiago Acahualtepec (SAC)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Montañoso

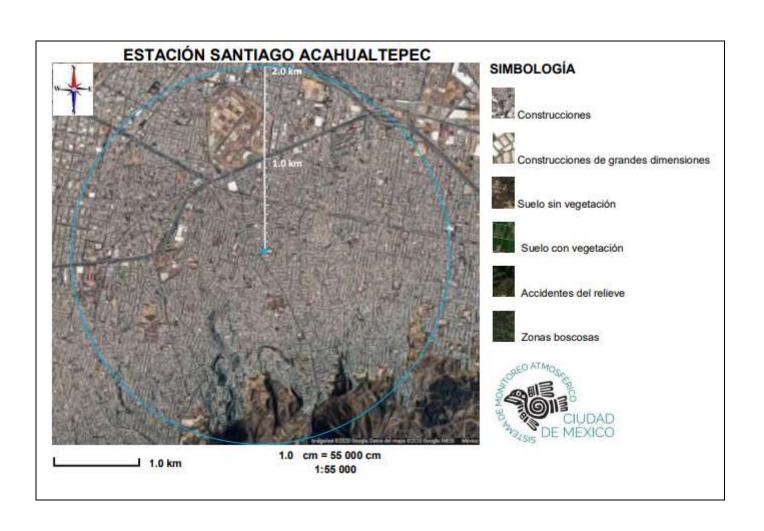
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
7	7	7	7

Cobertura del suelo		
% Vegetal	% Construido	% Agua
15	85	N/A

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones	Tipo de material de las
	(m o pisos)	construcciones
-	-	Concreto, lámina, tabique

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	N, E: Baja; S:Moderada

Cambios recientes en los alrededores u observaciones





23) Tláhuac (TAH)

Zona Climática Urbana	na Climática Urbana Tipo de uso de suelo dominante	
3	-	Valle

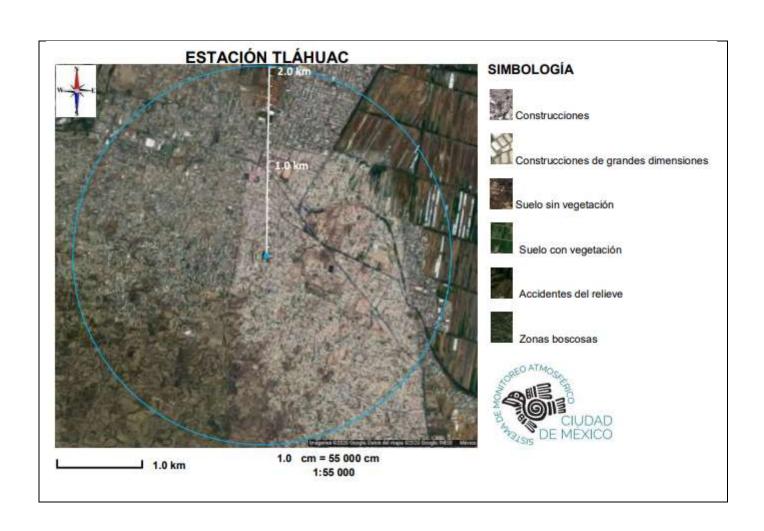
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
7	6	6	7

Cobertura del suelo		
% Vegetal	% Construido	% Agua
25	75	N/A

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Concreto, tabique

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	NO: Baja

Cambios recientes en los alrededores u observaciones Entre la caseta y el muro de la escuela hay una separación provocada por el sismo 19/09/17.





24) Tiainepantia (TLA)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Valle

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
7	7	7	7

Cobertura del suelo				
% Vegetal % Construido % Agua				
15	85	N/A		

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	6 m	Concreto, lámina

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	no	no	N, NE, E, S: Moderada

Cambios recientes en los alrededores u observaciones





25) Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UIZ)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
4	-	Valle

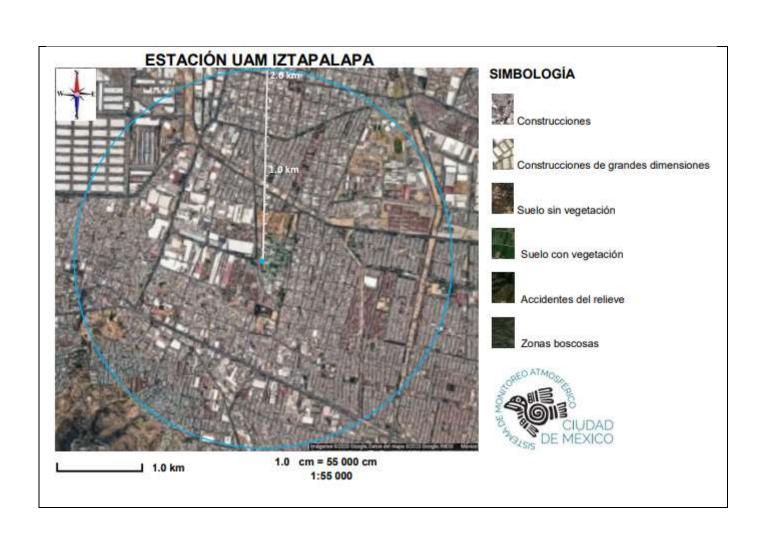
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno					
N E S O					
5	5	5	5		

Cobertura del suelo				
% Vegetal % Construido % Agua				
5 95 N/A				

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Concreto, tabique

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	si	no	E, O: Alta

Cambios recientes en los alrededores u observaciones
Un aire acondicionado se localiza al Este





26) Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (UAX)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
5	-	Valle

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
6	5	6	6

Cobertura del suelo			
% Vegetal % Construido % Agua			
35	65	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones (m o pisos)	Tipo de material de las construcciones
-	-	Concreto

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	si	no	E, O: Alta

Cambios recientes en los alrededores u observaciones Un aire acondicionado se encuentra en dirección E a 50 m





27) Villa de las Flores (VIF)

Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Valle

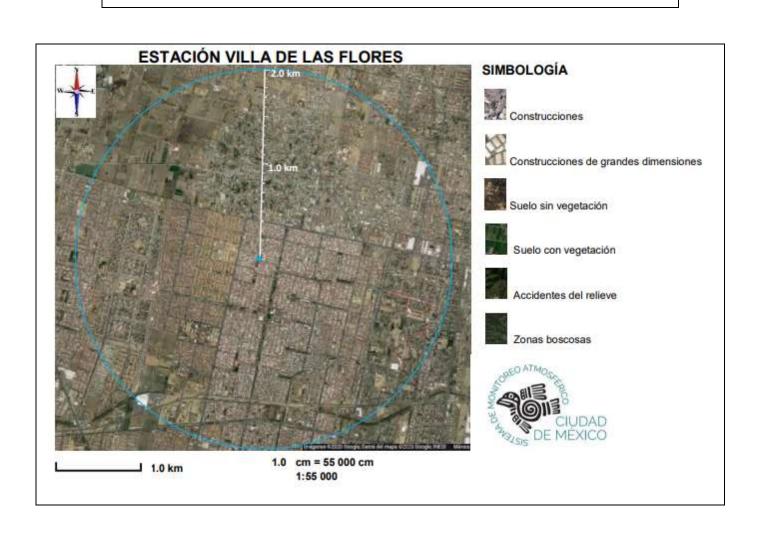
Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno			
N	E	S	0
6	7	7	7

Cobertura del suelo			
% Vegetal % Construido % Agua			
30	70	N/A	

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones	Tipo de material de las
	(m o pisos)	construcciones
-	6m	Concreto, tabique

Sistema de	Sistema de	Sistema	Fuente anormal	Densidad del tráfico vehicular
riego	calefacción	enfriamiento	de calor	
no	no	si	no	NE: Baja

Cambios recientes en los alrededores u observaciones





28) Xalostoc (XAL)

29) Zona Climática Urbana	Tipo de uso de suelo dominante	Topografía del relieve
3	-	Montaña

Clasificación de Davenport de la rugosidad efectiva del terreno					
N	E	S	0		
7	7	7	7		

Cobertura del suelo				
% Vegetal	% Construido	% Agua		
15	85	N/A		

Altura típica de los árboles (m)	Altura típica de las construcciones	Tipo de material de las
	(m o pisos)	construcciones
-	-	Concreto, lámina

Sistema de riego	Sistema de calefacción	Sistema enfriamiento	Fuente anormal de calor	Densidad del tráfico vehicular
no	no	no	no	N, E: Moderada; NO: Alta

Cambios recientes en los alrededores u observaciones

