



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Planeación Urbana y Regional
Licenciatura en Ciencias Ambientales



**“ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE PM_{2.5} EN EL
PERÍODO 2012-2018 UTILIZANDO LOS DATOS DE LAS
ESTACIONES DE LA RAMA-ZMVT”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

MAYRA JANETH MARES CUEVAS

DIRECTORA

DRA. EN A. ANA MARCELA GÓMEZ HINOJOS

Toluca de Lerdo, Estado de México; Octubre de 2019

Índice

Introducción.....	19
Esquema de la investigación.....	22
a) Justificación	22
b) Planteamiento del problema	23
c) Objetivo general.....	23
d) Objetivos particulares.....	24
e) Hipótesis	24
f) Metodología	24
Capítulo 1.- Antecedentes.....	28
1.1 Casos graves de contaminación atmosférica a nivel mundial	28
1.2 Casos de contaminación atmosférica por PM _{2.5} a nivel nacional.....	31
1.3 Acciones realizadas para mitigar el problema de contaminación atmosférica en las Zona Metropolitana del Valle de Toluca.....	34
Capítulo 2.- Marco Conceptual.....	37
2.1 Contaminación Atmosférica	37
2.1.1 Clasificación de contaminantes y fuentes de emisión	38
2.1.1.1 Contaminantes por su origen	39
2.1.1.2 Contaminantes primarios.....	40
2.1.1.3 Contaminantes secundarios	41
2.1.1.4 Contaminantes criterio	42
2.1.1.5 Otra clasificación de contaminantes	44
2.1.2 Principales fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera	45
2.1.2.2 Fuentes naturales y antropogénicas.....	45

2.1.2.3 Otras clasificaciones de fuentes de emisión.....	46
2.1.2.3.1 Fuentes fijas.....	46
2.1.2.3.2 Fuentes de área.....	46
2.1.2.3.3 Fuentes móviles.....	47
2.1.2.3.4 Fuentes puntuales.....	47
2.1.2.3.5 Fuentes no puntuales.....	47
2.1.3 Efectos de la contaminación atmosférica.....	47
2.2 Monitoreo atmosférico por la RAMA-ZMVT.....	49
2.2.1 Aspectos para el diseño de la RAMA-ZMVT e integración.....	50
2.2.2 Estaciones de monitoreo de la RAMA-ZMVT.....	51
2.2.3 Contaminantes que miden las estaciones de la RAMA-ZMVT.....	53
2.3 Calidad de aire.....	54
2.3.1 Índice metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).....	55
2.4 Material particulado (PM) como problema de contaminación atmosférica.....	57
2.4.1 Fuentes de emisión del Material Particulado.....	58
2.4.2 Tipos de partículas.....	60
2.4.2.1 Por su origen.....	60
2.4.2.2 Por su tamaño.....	61
2.4.3.1 Efectos del PM _{2.5} sobre la salud.....	63
2.4.3.2 Efectos de PM _{2.5} en el medio Ambiente.....	64
2.5 Contaminación atmosférica en los municipios de la RAMA-ZMVT por PM _{2.5}	65
2.5.1 Fuentes de emisión de partículas PM _{2.5}	66
2.5.2 Factores que influyen en la dispersión de PM _{2.5}	66
2.5.3 Principales fuentes de emisión que influyen en las concentraciones de partículas PM _{2.5} en la RAMA-ZMVT.....	67

Capítulo 3.- Marco Normativo.....	76
3.1 Marco jurídico sobre contaminación atmosférica por PM _{2.5}	76
3.2 Normas Oficiales Mexicanas y estándares aplicables de PM _{2.5} en México	78
3.2.1 Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014	81
3.2.1.1 Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993.....	81
3.3 Normatividad de otras regiones o países	82
Capítulo 4 Marco contextual.....	85
4.1 Localización	85
4.2 Aspectos del Medio Natural	87
4.2.1 Orografía y Relieve	87
4.2.2 Clima	89
4.2.3 Meteorología	90
4.2.4 Dinámica de los vientos.....	92
4.3 Aspectos Socioeconómicos de los municipios de la RAMA-ZMVT	93
4.3.1 Dinámica poblacional	94
4.3.3 Actividades económicas	95
4.3.4 Vías de comunicación	95
Capítulo 5 Resultados.....	98
5.1 Concentraciones horarias de PM _{2.5} en la RAMA-ZMVT durante 2012-2018	98
5.1.1 PM _{2.5} /hora por estación en el año 2012	99
5.1.1.1 Estación AP 2012.....	99
5.1.1.2 Estación CB.....	100
5.1.1.3 Estación CE 2012.....	101
5.1.1.4 Estación MT 2012	102

5.1.1.5 Estación OX 2012	103
5.1.1.6 Estación SC 2012.....	104
5.1.1.7 Estación SM 2012	105
5.1.2 PM _{2.5} /hora por estación en el año 2013	106
5.1.2.1 Estación AP 2013.....	107
5.1.2.2 Estación CB 2013.....	107
5.1.2.3 Estación CE 2013.....	108
5.1.2.4 Estación MT 2013	109
5.1.2.5 Estación OX 2013	110
5.1.2.6 Estación SC 2013.....	111
5.1.2.7 Estación SM 2013	112
5.1.3 PM _{2.5} /hora por estación en el año 2014	113
5.1.3.1 Estación AP 2014	113
5.1.3.2 Estación CB 2014.....	114
5.1.3.3 Estación CE 2014.....	115
5.1.3.4 Estación MT 2014	116
5.1.3.5 Estación OX 2014	117
5.1.3.6 Estación SC 2014.....	118
5.1.3.7 Estación SM 2014	119
5.1.4 PM _{2.5} /hora por estación en el año 2015	120
5.1.4.1 Estación AP 2015.....	120
5.1.4.2 Estación CB 2015.....	121
5.1.4.3 Estación CE 2015.....	122
5.1.4.4 Estación MT 2015	123
5.1.4.5 Estación OX 2015	124
5.1.4.6 Estación SC 2015.....	125

5.1.4.7 Estación SM 2015	126
5.1.5 PM _{2.5} /hora por estación en el año 2016	127
5.1.5.1 Estación CB 2016.....	127
5.1.5.2 Estación CE 2016.....	128
5.1.5.3 Estación MT 2016	129
5.1.5.4 Estación OX 2016	130
5.1.5.5 Estación SC 2016.....	131
5.1.5.6 Estación SM 2016	132
5.1.6 PM _{2.5} /hora por estación en el año 2017	133
5.1.6.1 Estación CB 2017.....	133
5.1.6.2 Estación CE 2017.....	134
5.1.6.3 Estación MT 2017	135
5.1.6.4 Estación OX 2017	136
5.1.6.5 Estación SC 2017.....	137
5.1.6.6 Estación SM 2017	138
5.1.7 PM _{2.5} /hora por estación en el año 2018	139
5.1.7.1 Estación CB 2018.....	140
5.1.7.2 Estación CE 2018.....	140
5.1.7.3 Estación MT 2018	141
5.1.7.4 Estación OX 2018	142
5.1.7.5 Estación SC 2018.....	143
5.1.7.6 Estación SM 2018	144
5.1.7.8 Resumen de registros promedio de PM _{2.5} /hora del 2012 a 2018	145
5.1.7.8 Comportamiento promedio horario de PM _{2.5} de PM _{2.5} /hora en la RAMA-ZMVT (2012-2018).....	148
5.2 Concentraciones mensuales de PM _{2.5} en la RAMA-ZMVT durante 2012-	

2018	150
5.2.1 PM _{2.5} /mensual por estación en el año 2012	150
5.2.1.1 Estación AP 2012.....	151
5.2.1.2 Estación CB 2012.....	152
5.2.1.3 Estación CE 2012.....	152
5.2.1.4 Estación MT 2012	153
5.2.1.5 Estación OX 2012	154
5.2.1.6 Estación SC 2012.....	155
5.2.1.7 Estación SM 2012	156
5.2.1.8 Registros máximos de PM _{2.5} por mes año 2012.....	157
5.2.2 PM _{2.5} /mensual por estación en el año 2013	158
5.2.2.1 Estación AP 2013.....	159
5.2.2.2 Estación CB 2013.....	159
5.2.2.3 Estación CE 2013.....	160
5.2.2.4 Estación MT	161
5.2.2.5 Estación OX 2013	162
5.2.2.6 Estación SC.....	163
5.2.2.7 Estación SM 2013	164
5.2.2.8 Registros máximos de PM _{2.5} por mes año 2013.....	165
5.2.3 PM _{2.5} /mensual por estación en el año 2014	166
5.2.3.1 Estación AP 2014.....	167
5.2.3.2 Estación CB 2014.....	167
5.2.3.3 Estación CE 2014.....	168
5.2.3.4 Estación MT 2014	169
5.2.3.5 Estación OX 2014	170
5.2.3.6 Estación SC 2014.....	171

5.2.3.7 Estación SM 2014	172
5.2.3.8 Registros máximos de PM _{2.5} por mes año 2014	173
5.2.4 PM _{2.5} /mensual por estación en el año 2015	175
5.2.4.1 Estación AP 2015	175
5.2.4.2 Estación CB 2015	176
5.2.4.3 Estación CE 2015	177
5.2.4.4 Estación MT 2015	177
5.2.4.5 Estación OX 2015	178
5.2.4.6 Estación SC 2015	179
5.2.4.7 Estación SM 2015	180
5.2.4.8 Registros máximos de PM _{2.5} por mes año 2015	181
5.2.5 PM _{2.5} /mensual por estación en el año 2016	182
5.2.5.1 Estación CB 2016	183
5.2.5.2 Estación CE 2016	183
5.2.5.3 Estación MT 2016	184
5.2.5.4 Estación OX 2016	185
5.2.5.5 Estación SC 2016	186
5.2.5.6 Estación SM 2016	187
5.2.5.8 Registros máximos de PM _{2.5} por mes año 2016	188
5.2.6 PM _{2.5} /mensual por estación en el año 2017	189
5.2.6.1 Estación CB 2017	190
5.2.6.2 Estación CE 2017	191
5.2.6.3 Estación MT 2017	192
5.2.6.3 Estación OX 2017	193
5.2.6.5 Estación SC 2017	193
5.2.6.6 Estación SM 2017	194

5.2.6.8 Registros máximos de PM _{2.5} por mes año 2017.....	195
5.2.7 PM _{2.5} /mensual por estación en el año 2018	196
5.2.7.1 Estación CB 2018.....	197
5.2.7.2 Estación CE 2018.....	197
5.2.7.3 Estación MT 2018	198
5.2.7.4 Estación OX 2018	199
5.2.7.5 Estación SC 2018.....	200
5.2.7.6 Estación SM 2018	201
5.2.7.7 Registros máximos de PM _{2.5} por mes año 2018.....	202
5.2.7.8 Resumen de registros promedio de PM _{2.5} mensual 2012-2018	204
4.2.7.9 Comportamiento promedio y registros máximos mensuales de PM _{2.5} en la RAMA-ZMVT (2012-2018).....	208
5.3 Concentraciones anuales de PM _{2.5} en la RAMA-ZMVT durante 2012-2018	211
5.3.1 Concentraciones PM _{2.5} anual en la RAMA-ZMVT año 2012	212
5.3.2 Concentraciones PM _{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2013	213
5.3.3 Concentraciones PM _{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2014	214
5.3.4 Concentraciones PM _{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2015	215
5.3.5 Concentraciones PM _{2.5} anual en la RAMA-ZMVT año 2016.....	216
5.3.6 Concentraciones PM _{2.5} anual en la RAMA-ZMVT año 2017	217
5.3.7 Concentraciones PM _{2.5} anual en la RAMA-ZMVT año 2018	218
5.3.8 Comportamiento promedio anuales de PM _{2.5} en las estaciones de la RAMA-ZMVT (2012-2018)	219
Discusión de resultados	222
Conclusiones.....	225
Recomendaciones.....	227

Índice de gráficas

Gráfica 1 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación AP en el año 2012.....	100
Gráfica 2 Promedio PM _{2.5} por hora estación CB en el año 2012.....	101
Gráfica 3 Concentraciones PM _{2.5} estación CE en el año 2012.....	102
Gráfica 4 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación MT en el año 2012	103
Gráfica 5 Concentraciones de PM _{2.5} en la estación OX en el año 2012.....	104
Gráfica 6 Concentraciones de PM _{2.5} por hora estación SC en el año 2012	105
Gráfica 7 Concentraciones de PM _{2.5} por hora estación SM en el año 2012	106
Gráfica 8 Concentraciones PM _{2.5} estación AP en el año 2013.....	107
Gráfica 9 Concentraciones PM _{2.5} estación CB en el año 2013.....	108
Gráfica 10 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación CE en el año 2013.....	109
Gráfica 11 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación MT en el año 2013	110
Gráfica 12 Concentraciones PM _{2.5} estación OX en el año 2013	111
Gráfica 13 Concentraciones PM _{2.5} estación SC en el año 2013.....	112
Gráfica 14 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación SM en el año 2013	113
Gráfica 15 Concentraciones PM _{2.5} estación AP en el año 2014.....	114
Gráfica 16 concentraciones PM _{2.5} estación CB en el año 2014.....	115
Gráfica 17 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación CE en el año 2014	116
Gráfica 18 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación MT en el año 2014	117
Gráfica 19 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación OX en el año 2014	118
Gráfica 20 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación SC en el año 2014	119
Gráfica 21 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación SM en el año 2014	120
Gráfica 22 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación AP en el año 2015.....	121

Gráfica 23 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación CB en el año 2015	122
Gráfica 24 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación CE en el año 2015	123
Gráfica 25 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación MT en el año 2015	124
Gráfica 26 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación OX en el año 2015	125
Gráfica 27 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación SC en el año 2015	126
Gráfica 28 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación SM en el año 2015	127
Gráfica 29 Concentraciones PM _{2.5} estación CB en el año 2016.....	128
Gráfica30 Concentraciones PM _{2.5} estación CE en el año 2016.....	129
Gráfica 31 Concentraciones PM _{2.5} estación MT en el año 2016.....	130
Gráfica 32 Concentraciones PM _{2.5} estación OX en el año 2016.....	131
Gráfica 33 Concentraciones PM _{2.5} estación SC en el año 2016.....	132
Gráfica 34 Concentraciones PM _{2.5} estación SM en el año 2016	133
Gráfica 35 Concentraciones PM _{2.5} en la estación CE en el año 2017	134
Gráfica 36 Concentraciones PM _{2.5} estación CE en el año 2017.....	135
Gráfica 37 Concentraciones PM _{2.5} estación MT en el año 2017	136
Gráfica 38 Concentraciones PM _{2.5} estación OX en el año 2017	137
Gráfica 39 Concentraciones PM _{2.5} estación SC en el año 2017	138
Gráfica 40 Concentraciones PM _{2.5} estación SM en el año 2017	139
Gráfica 41 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación CB en el año 2018.....	140
Gráfica 42 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación CE en el año 2018.....	141
Gráfica 43 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación MT en el año 2018	142
Gráfica 44 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación OX en el año 2018	143
Gráfica 45 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación SC en el año 2018.....	144
Gráfica 46 Concentraciones PM _{2.5} por hora estación SM en el año 2018	145
Gráfica 47 Registros promedio de PM _{2.5} por hora del año 2012	146
Gráfica 48 Registros promedio de PM _{2.5} por hora del año 2013	146
Gráfica 49 Registros promedios de PM _{2.5} por hora del año 2014.....	146
Gráfica 50 Registros promedios de PM _{2.5} por hora del año 2015.....	147
Gráfica 51 Registros promedio de PM _{2.5} por hora del año 2016	147
Gráfica 52 Registros promedio de PM _{2.5} por hora del año 2017	147
Gráfica 53 Registros promedio de PM _{2.5} por hora del año 2018	148

Gráfica 54 Comportamiento de PM _{2.5} horario en la RAMA-ZMVT 2012-2018.....	149
Gráfica 55 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación AP en el año 2012.....	151
Gráfica 56 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CB en el año 2012.....	152
Gráfica 57 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CE en el año 2012.....	153
Gráfica 58 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación MT en el año 2012.....	154
Gráfica 59 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación OX en el año 2012.....	155
Gráfica 60 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación SC en el año 2012.....	156
Gráfica 61 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación SM en el año 2012.....	157
Gráfica 62 Registros máximos de PM _{2.5} mensuales del año 2012.....	158
Gráfica 63 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación AP en el año 2013.....	159
Gráfica 64 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CB en el año 2013.....	160
Gráfica 65 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CE en el año 2013.....	161
Gráfica 66 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación MT en el año 2013.....	162
Gráfica 67 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación OX en el año 2013.....	163
Gráfica 68 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación SC en el año 2013.....	164
Gráfica 69 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación SM en el año 2013.....	165
Gráfica 70 Registros máximos de PM _{2.5} mensuales del año 2013.....	166
Gráfica 71 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación AP en el año 2014.....	167
Gráfica 72 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CB en el año 2014.....	168
Gráfica 73 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CE en el año 2014.....	169
Gráfica 74 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación MT en el año 2014.....	170
Gráfica 75 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación OX en el año 2014.....	171
Gráfica 76 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación SC en el año 2014.....	172
Gráfica 77 Concentraciones PM _{2.5} por mes en la estación SM en el año 2014.....	173
Gráfica 78 Registros máximos de PM _{2.5} por mes del año 2014.....	174
Gráfica 79 Concentraciones PM _{2.5} mensual en la estación AP del año 2015.....	175
Gráfica 80 Concentraciones PM _{2.5} mensual en la estación CB en el año 2015.....	176
Gráfica 81 Concentraciones PM _{2.5} mensual en la estación CE en el año 2015.....	177
Gráfica 82 Concentraciones PM _{2.5} mensuales estación MT en el año 2015.....	178
Gráfica 83 Concentraciones PM _{2.5} mensual estación OX en el año 2015.....	179
Gráfica 84 Concentraciones PM _{2.5} mensual estación SC en el año 2015.....	180

Gráfica 85 Concentraciones PM _{2.5} mensual estación SM en el año 2015.....	181
Gráfica 86 Registros máximos de PM _{2.5} mensuales del año 2015.....	182
Gráfica 87 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CB en el año 2016.....	183
Gráfica 88 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CE en el año 2016.....	184
Gráfica 89 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación MT en el año 2016	185
Gráfica 90 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación OX en el año 2016.....	186
Gráfica 91 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación SC en el año 2016.....	187
Gráfica 92 Concentraciones PM _{2.5} estación SM en el año 2016	188
Gráfica 93 Registros máximos de PM _{2.5} mensuales del año 2016.....	189
Gráfica 94 Concentraciones PM _{2.5} estación CB en el año 2017	190
Gráfica 95 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CE en el año 2017.....	191
Gráfica 96 Concentraciones PM _{2.5} mensual estación MT en el año 2017	192
Gráfica 97 Concentraciones PM _{2.5} mensuales Estación OX en el año 2017.....	193
Gráfica 98 Concentraciones PM _{2.5} mensual estación SC en el año 2017	194
Gráfica 99 Concentraciones PM _{2.5} mensual estación SM en el año 2017.....	195
Gráfica 100 Registros máximos PM _{2.5} mensuales en el año 2017	196
Gráfica 101 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CB en el año 2018.....	197
Gráfica 102 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación CE en el año 2018.....	198
Gráfica 103 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación MT en el año 2018.....	199
Gráfica 104 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación OX en el año 2018.....	200
Gráfica 105 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación SC en el año 2018.....	201
Gráfica 106 Concentraciones PM _{2.5} por mes estación SM en el año 2018	202
Gráfica 107 Registros máximos de PM _{2.5} por mes del año 2018	203
Gráfica 108 Registros promedio de PM _{2.5} mensuales año 2012	204
Gráfica 109 Registros promedio de PM _{2.5} en el año 2013.....	205
Gráfica 110 Registros promedio de PM _{2.5} mensual año 2014	205
Gráfica 111 Registros promedio de PM _{2.5} mensual año 2015	206
Gráfica 112 Registros promedio de PM _{2.5} mensual año 2016.....	206
Gráfica 113 Registros promedio de PM _{2.5} mensual año 2017	207
Gráfica 114 Registros promedio de PM _{2.5} mensual año 2018	207

Gráfica 115 Comportamiento promedio $PM_{2.5}$ mensual en la RAMA-ZMVT 2012-2018	209
Gráfica 116 Registros máximos mensuales de $PM_{2.5}$ RAMA-ZMVT 2012-2018 .	210
Gráfica 117 Concentraciones $PM_{2.5}$ anual RAMA-ZMVT año 2012.....	212
Gráfica 118 Concentraciones $PM_{2.5}$ anual RAMA-ZMVT año 2013	213
Gráfica 119 Concentraciones $PM_{2.5}$ anual RAMA-ZMVT año 2014.....	214
Gráfica 120 Concentraciones $PM_{2.5}$ anual RAMA-ZMVT año 2015.....	215
Gráfica 121 Concentraciones $PM_{2.5}$ anual RAMA-ZMVT año 2016.....	216
Gráfica 122 Concentraciones $PM_{2.5}$ anual RAMA-ZMVT año 2017.....	217
Gráfica 123 Concentraciones $PM_{2.5}$ anual RAMA-ZMVT año 2018.....	218
Gráfica 124 Comportamiento promedio anual $PM_{2.5}$ en las estaciones de la RAMA-ZMVT (2012-2018)	219

Índice de tablas

Tabla 1 Composición química de la atmósfera.....	39
Tabla 2 Contaminantes primarios.....	40
Tabla 3 Contaminantes secundarios	41
Tabla 4 Clasificación de las fuentes de emisión	46
Tabla 5 Aspectos para el diseño de la RAMA-ZMVT	50
Tabla 6 Aspectos generales de las estaciones de la RAMA-ZMVT.....	52
Tabla 7 Contaminantes y variables que miden las estaciones de la RAMA-ZMVT	54
Tabla 8 Escala IMECA	56
Tabla 9 Calidad el aire.....	56
Tabla 10 Emisiones de $PM_{2.5}$ por tipo de fuentes en la ZMVT, año base 2008	68
Tabla 11 Parque Industriales en los municipios de Lerma y Toluca	69
Tabla 12 Emisiones $PM_{2.5}$ por fuentes fijas y sector en la ZMVT	70
Tabla 13 Principales Vialidades y sus puntos de conflicto vial alrededor de la RAMA-ZMVT	71
Tabla 14 Emisiones por fuentes móviles de $PM_{2.5}$ en la RAMA-ZMVT,2008.....	74
Tabla 15 Marco jurídico en materia de contaminación atmosférica	77

Tabla 16 Normas mexicanas que establecen los niveles máximos de emisión de partículas a la atmósfera para diferentes tipos de fuentes.	79
Tabla 17 LMP de las normas para partículas PM _{2.5} en México y el mundo.....	83
Tabla 18 Municipios considerados para la calidad del aire en la ZMVT	85
Tabla 19 Elevaciones de los municipios de la RAMA-ZMVT	88
Tabla 20 Población de los siete municipios que abarca la RAMA-ZMVT	94

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Diagrama metodológico	26
Ilustración 2 Efectos de los contaminantes criterio en la salud humana.....	44
Ilustración 3 Distribución de las estaciones de monitoreo de la RAMA-ZMVT	52
Ilustración 4 Fuentes de emisión de partículas.....	59
Ilustración 5 Proceso químico de formación de partículas secundarias	61
Ilustración 6 Tamaño de PM por su diámetro aerodinámico.....	62
Ilustración 7 Puntos de conflicto vial y carga vehicular en las principales vialidades alrededor de la RAMA-ZMVT	73
Ilustración 8 Mapa de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca	86
Ilustración 9 Principales elevaciones dentro de los municipios de la RAMA-ZMVT	87
Ilustración 10 Climograma de la RAMA-ZMVT	90
Ilustración 11 Rosa Anual de los viento de la RAMA-ZMVT.....	91
Ilustración 12 Dinámica de los vientos en los municipios que abarca la RAMA-ZMVT.	93
Ilustración 13 Vías de comunicación que abarcan la RAMA-ZMVT	96

Abreviaturas

EPA Environmental Protection Agency

EU Unión Europea (European Union en inglés)

IMECA Índice Metropolitano de la Calidad del Aire

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía

LGEEPA Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

LMP Límite Máximo Permisible

µg/m³ microgramo por metro cúbico

PM Material Particulado

NOM Norma Oficial Mexicana

OMS Organización Mundial de la Salud

PM_{2.5} Material Particulado menor a 2.5 micras

PM₁₀ Material Particulado menor a 10 micras

RAMA Red Automática de Monitoreo Atmosférico

ZMVM Zona Metropolitana del Valle de México

ZMVT Zona Metropolitana del Valle de Toluca

Introducción

A lo largo de su desarrollo en la historia la humanidad ha buscado en su vida el bienestar y comodidad en la Tierra. Sin embargo, el desarrollo que ha experimentado para alcanzarlo, ha ido acompañado de consumos masivos de recursos naturales y energéticos, así como de la generación de residuos y emisiones a la atmósfera que han causado una degradación ambiental. Por ello durante los últimos años y en el futuro la contaminación en general y especialmente del aire seguirá siendo un motivo de preocupación. Por lo cual se han realizado un sin fin de investigaciones en todo el mundo con el objetivo de disminuir la contaminación atmosférica y reducir los efectos adversos ante esta problemática (Quijano, 2005).

La contaminación del aire ha presentado un problema ambiental para la salud de la humanidad, como consecuencia de los procesos naturales como antropogénicos. Para esta última el origen es por la industria o el tráfico de vehículos factores que caracterizan a las grandes ciudades. Lo que implica como consecuencia a estas actividades la emisión de ciertos contaminantes a la atmósfera en grandes cantidades, provocando la disminución significativa de la calidad del aire, entre los cuales destacan Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Monóxido de carbono (CO), Material Particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), Dióxido de Carbono (CO_2) e Hidrocarburos, mismos que al presentarse en altas concentraciones en determinado tiempo presentan un riesgo para la salud de la población (Velasco-García, 2005).

La contaminación del aire por Partículas o Material Particulado (PM) es nocivo para el ser humano, siendo en los últimos años un tema de investigación importante a nivel mundial, ya que afecta a procesos climáticos como a la salud humana (Pío, 2007).

El Material Particulado (PM), es una mezcla compleja de partículas sólidas y gotas líquidas, partículas tanto orgánicas como inorgánicas, naturales y antropogénicas que están suspendidas en el aire (EPA, 2017), éstas varían de tamaño, forma y composición, dependiendo de su origen. Sus características tanto físicas como químicas son determinadas por las fuentes de emisión y por procesos de formación (Martin, 2005).

Las partículas se definen o se clasifican de diferentes maneras dependiendo del criterio, uno de ellos es por tamaño de partículas en donde se utiliza el diámetro aerodinámico como unidad unitaria, que se expresa en micrómetro (μm) (SEMARNAT, 2011). En este criterio se definen dos tipos de partículas, las que tienen un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras¹ se conoce como PM_{10}

¹ 1 micra = milésima parte de un milímetro también encontrarse como micrómetro

y las que tienen un diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 micras se conocen como PM_{2.5} (INECC, 2009). La medición para la concentración de PM_{2.5} se expresa en microgramos por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Las PM_{2.5} son partículas inhalables por lo general ácidas que contienen hollín y derivados de emisiones vehiculares e industriales, siendo fracciones finas y las más pequeñas; estas mismas pueden ingresar al sistema respiratorio depositándose en los alveolos pulmonares y llegar al torrente sanguíneo por lo que tienen un efecto mayor en la salud humana a diferencia de las partículas más gruesas (Quijano, 2005).

Los componentes de las PM_{2.5} se caracterizan principalmente por componentes de partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de reacciones químicas, las cuales incluyen la presencia de sulfatos, nitratos, ácidos, metales y carbono negro. El último contaminante se origina en las diferentes categorías de fuentes de emisión que implican la quema incompleta de combustibles (INECC, 2018). Las PM_{2.5} están compuestas de elementos que son tóxicos para la salud humana y estos son precursores de cáncer.

La contaminación por Material Particulado (PM) reporta la Organización Mundial de la Salud presenta efectos en la salud incluso en las concentraciones más bajas, ya que a pesar de las investigaciones aún no se ha identificado un límite por debajo del cual no se presenten daños a la salud (OMS, 2018).

Los efectos adversos del Material Particulado (PM) en la salud humana han sido estudiados por décadas, en especial donde hay una relación positiva entre el PM_{2.5} y la tasa de mortalidad y morbilidad de la población expuesta (INECC, 2018). Los efectos se presentan en el sistema respiratorio y cardiovascular ante la exposición de altas concentraciones, originando enfermedades respiratorias. Algunas estimaciones indican que la polución con PM es la causa de alrededor de 2.1 millones de muertes al año en el planeta; aproximadamente cuatro veces más que las muertes atribuibles a la contaminación por ozono (CeMCAQ, 2019).

El estudio y regulación ambiental de las PM en México entra en vigor en 1994 y con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1994 que regulo los niveles de PM₁₀ y fue modificada en 2005 (DOF, 2005), en esta última es cuando se incluyeron las PM_{2.5}. Actualmente los límites máximos permisibles de PM_{2.5} para la protección de la salud vigente se establecieron en la NOM-025-SSA1-2014, que establece un Límite Máximo Permissible (LMP) de concentraciones promedio de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 horas) y $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio anual). Otros organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) establecen un LMP de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs) y $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual), mientras que la Environmental Protection Agency (EPA) establece un LMP de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs) y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual). Por otro lado, la Unión Europea (UE) estableció un LMP de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la

concentración promedio anual y de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio anual de tres años como indicador de exposición para la población.

Para la zona de estudio, la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMA-ZMVT) es la encargada de verificar la calidad del aire de la zona con apoyo de siete estaciones de monitoreo nombradas de acuerdo con el lugar que cubren: Aeropuerto (AP), Ceboruco (CB), Toluca Centro (CE), Metepec (MT), Oxtotitlán (OX), San Cristóbal Huichochitlán (SC) y San Mateo Atenco (SM). Cabe destacar que la estación AP fue apagada a finales del año 2015, por lo que solo registro datos hasta el mes de septiembre de ese mismo año. Estas estaciones monitorean las concentraciones de seis contaminantes criterio, nombrados así por los efectos adversos sobre la salud humana (GEM, 2007), los cuales son: Ozono (O_3), Material Particulado menor o igual a 10 micrómetros (PM_{10}), y menor o igual a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y Dióxido de Azufre (SO_2) además de diversos parámetros meteorológicos.

Así mismo uno de los objetivos de este trabajo es el analizar el comportamiento de las concentraciones promedio de Material Particulado menor a 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$) a partir de los datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMA-ZMVT), con el fin de observar el comportamiento en las siete estaciones durante el periodo 2012-2018. Identificando las estaciones que registraron concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ fuera del LMP establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

El presente trabajo consta de cinco capítulos, el primer capítulo refiere los antecedentes respecto a la contaminación atmosférica, los casos más relevantes a nivel mundial sobre este problema y algunos estudios que se llevaron a cabo sobre $\text{PM}_{2.5}$ desarrolladas en México.

En el segundo capítulo se presentan algunos conceptos fundamentales en la investigación, entre ellos, contaminación atmosférica, clasificación de contaminantes y fuentes de emisión, efectos de la contaminación atmosférica en la salud y ambiente. La definición de Material Particulado menor a 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$), sus características, fuentes de emisión y factores que influyen en la dispersión de este en la zona de estudio, así mismo los efectos en la salud y ambiente.

El tercer capítulo muestra el marco jurídico referente a la normatividad ambiental en cuanto a contaminación atmosférica, se mencionan artículos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente (LGEEPA), y el Código para la Biodiversidad del Estado de México, así como algunas Normas Oficiales Mexicanas (NOM's).

En el cuarto capítulo se aborda el contexto en el que se realizó la investigación se muestran las características tanto físicas como sociales de la ZMVT tales como su localización, orografía, relieve, clima, dinámica de los vientos; para los aspectos sociales se considera las actividades económicas, el uso de suelo y las vías de comunicación.

El quinto capítulo se presentan los resultados de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones de la RAMA-ZMVT. Dichos resultados son presentados por hora, mes y año para cada una de las siete estaciones con sus expectativas gráficas durante el periodo 2012-2018.

Finalmente se presentan los apartados correspondientes a la discusión de los resultados, las conclusiones y las recomendaciones, así como las fuentes bibliográficas que sustentan la presente investigación.

Esquema de la investigación

a) Justificación

La contaminación atmosférica es un problema derivado principalmente por actividades antropogénicas seguido de algunos procesos naturales, lo cual constituye un riesgo ambiental y nocivo que afecta a la salud de los seres vivos, por ello se han realizado diversos estudios para dar a conocer la magnitud de concentración de contaminantes y los daños que estos ocasionan (Zuk, 2007).

El problema que actualmente se enfrenta sobre la calidad del aire es a nivel global, es por ello que se han desarrollado y aplicado diversas estrategias con la finalidad de minimizar la emisión de estas PM (Zuk, 2007).

La fracción de $PM_{2.5}$ es producida tanto por la combustión de los vehículos que circulan por la ciudad en especial por aquellos que funcionan con motores de diesel y por la actividad industrial en las grandes ciudades principalmente pero su origen es multifactorial debido a que se tienen diferentes fuentes de emisión de este contaminante (García-Reynoso, 2009).

En el presente trabajo de investigación se analizarán la concentración de partículas $PM_{2.5}$ en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) en el periodo del 2012- al 2018; es en el año 2011 cuando se da inicio con el monitoreo de $PM_{2.5}$; tomando como base a la Norma Oficial Mexicana 025 (NOM-025-SSA1-1994 LMP) referido al $PM_{2.5}$; a partir del día 19 de octubre de 2014, el índice se calcula utilizando los nuevos límites publicados en la NOM-025-SSA1-2014 que establece un límite de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas y $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual.

b) Planteamiento del problema

El aire limpio es uno de los requisitos básicos de la salud y bienestar para el ser humano. Actualmente la contaminación del aire es uno de los principales problemas que representa un riesgo medioambiental para salud que afecta a países desarrollados y en desarrollo por igual, más del 80% de las ciudades del mundo, presentan niveles de contaminación que superan los límites establecidos en las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre inocuidad del aire (OMS, 2018).

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna, tanto que en las ciudades como en las zonas rurales, causa aproximadamente 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad y morbilidad se debe a la exposición a partículas pequeñas de 2,5 micrones o menos de diámetro (PM_{2.5}) (OMS, 2018).

Las PM_{2.5} son partículas que ingresan al organismo depositándose en lo más profundo de las vías respiratorias provocando enfermedades respiratorias que pueden alterar los sistemas cardiovascular y pulmonar, causan enfermedades como bronquitis, asma y cáncer, afectando principalmente a la población infantil y a la población de la tercera edad (Canseco, 2013).

El presente trabajo es desarrollado con el fin de analizar el comportamiento de las concentraciones del PM_{2.5} en las siete estaciones de monitoreo que conforma la RAMA-ZMVT, identificando las estaciones que rebasan el LMP establecido en la NOM y así mismo sugerir acciones que ayuden a disminuir las concentraciones de este contaminante.

Preguntas de investigación

¿Cómo se han comportado los niveles de las PM_{2.5} en el período de estudio 2012 a 2018?

¿En qué estaciones de la RAMA-ZMVT se han concentrado los niveles más altos de PM_{2.5}?

c) Objetivo general

- Analizar el comportamiento de las concentraciones promedio de Material Particulado atmosférico 2.5 µm (PM_{2.5}) con base en los datos registrados por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMA-ZMVT) en el período de 2012 al 2018.

d) Objetivos particulares

- ❖ Construir un marco conceptual, metodológico y contextual sobre la contaminación atmosférica para el PM_{2.5}.
- ❖ Analizar el comportamiento horario de las concentraciones promedio de PM_{2.5} en las siete estaciones de la RAMA-ZMVT durante el período 2012-2018.
- ❖ Analizar el comportamiento mensual de las concentraciones promedio de PM_{2.5} en cada estación en el período de estudio.
- ❖ Analizar el comportamiento anual de las concentraciones promedio de PM_{2.5} en cada estación para el período 2012-2018.
- ❖ Analizar y evaluar el cumplimiento con base en la normatividad vigente aplicable para el Material Particulado referente a los Límites Máximos Permisibles en relación a los niveles reportados por la Red Automática de Monitoreo Ambiental para el PM_{2.5} a partir del 2012 al 2018.

e) Hipótesis

El comportamiento espacial del PM_{2.5} en el período 2012-2018, se encuentra determinado tanto por factores meteorológicos como antropogénicos, la precipitación actúa como agente depurador y la temperatura influye en los niveles de concentración de las partículas. Por lo que se espera que las mayores concentraciones de partículas PM_{2.5} se registrarán en las estaciones de la RAMA-ZMVT correspondientes a San Mateo (SM), Aeropuerto (AP) y San Cristóbal (SC), argumento basado en que dichas estaciones se encuentran en las zonas cercanas tanto a parques industriales como a importantes vías de flujo vehicular.

f) Metodología

En el desarrollo del marco referencial de este trabajo se llevó a cabo la búsqueda, identificación, acopio y análisis bibliográfico referente a la contaminación atmosférica y Material Particulado.

El diseño de la investigación fue de carácter no experimental, ninguna variable fue manipulada o controlada; basándose sólo en los datos reportados en cada una de las estaciones de la RAMA-ZMVT.

La población de estudio sobre la cual se desarrolla la investigación se constituye por los siete municipios que conforma la RAMA-ZMVT para el tema de calidad del aire, ya que estos contribuyen significativamente a la contaminación atmosférica por su dinámica e interacción socioeconómica (GEM, 2012).

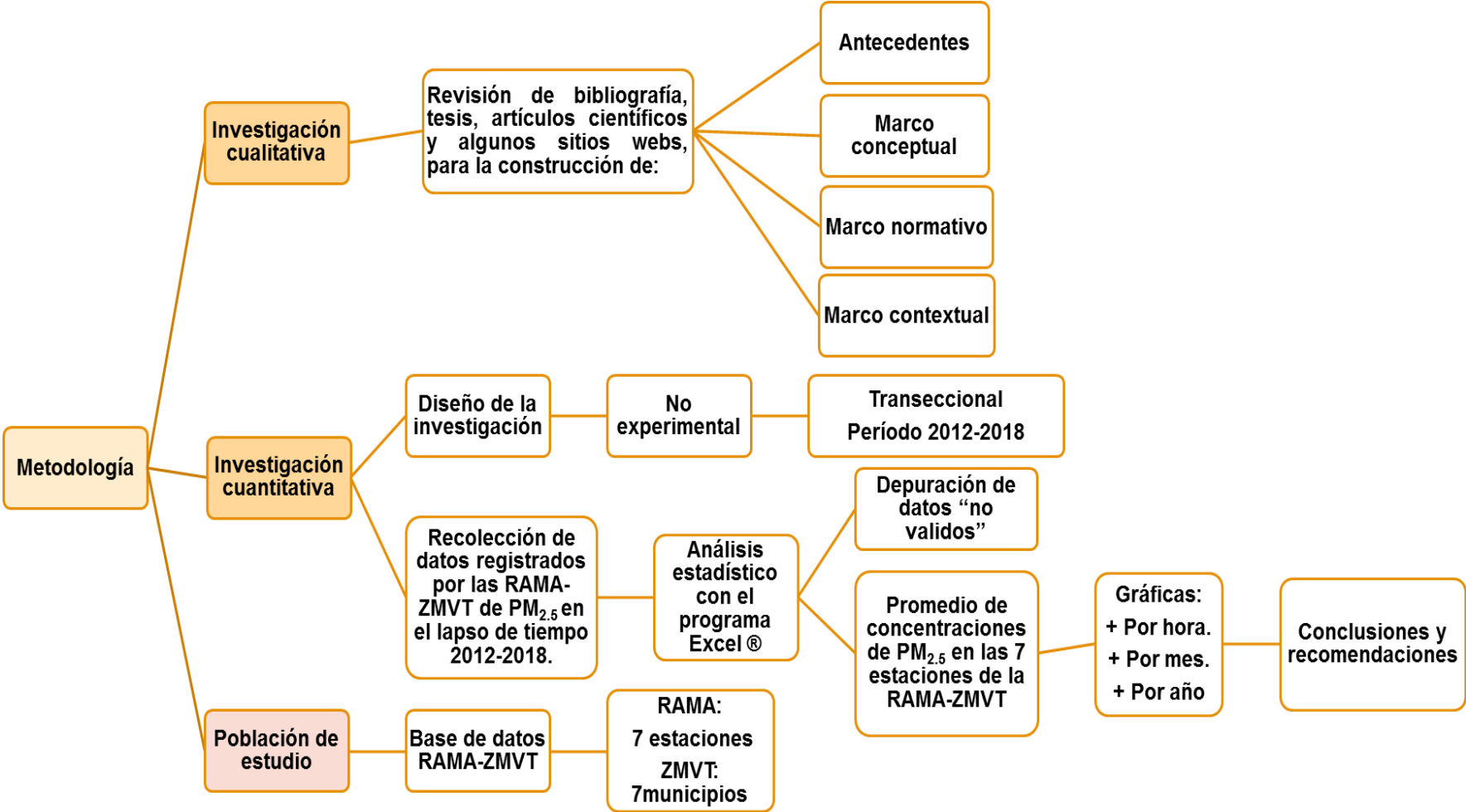
Las concentraciones diarias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en las estaciones de la RAMA-ZMVT se miden mediante atenuación por radiación beta, técnica certificada que consiste en utilizar un elemento que genere radiación y ésta pase por una cinta de fibra de vidrio para ser cuantificada; posteriormente una bomba de vacío succiona una cantidad de aire-polvo combinando la muestra que se recolecta. La atenuación de la señal de la radiación determina la masa de las partículas depositadas en la cinta, en tanto que la concentración volumétrica de partículas se determina considerando la cantidad del flujo, la presión y temperatura (RAMA, 2018)

Los datos de la base de la RAMA-ZMVT, se depuraron y procesaron, para poder calcular los promedios por hora, mes y año de las concentraciones de partículas $PM_{2.5}$, y después elaborar las gráficas con los promedios obtenidos, para establecer una comparación y análisis del comportamiento bajo un enfoque cuantitativo con base en la Norma Oficial Mexicana (NOM-025-SSA1-2014) con base en los límites permisibles de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para cada una de las estaciones a lo largo de los siete años del período 2012-2018, a excepción de la estación Aeropuerto (AP) de la cual solo reportó los datos del año 2011 al año 2015, debido a que ésta fue desconectada a finales del 2015 registrando datos hasta el mes de septiembre de ese año.

En el análisis estadístico de los datos se llevó a cabo con el programa de Microsoft Excel® mediante tablas dinámicas. Como primer paso se realizó una depuración de las bases obtenidas de la RAMA-ZMVT quitando los datos no válidos, para trabajar únicamente con los datos correspondientes a las concentraciones de partículas $PM_{2.5}$. Posteriormente se lleva a cabo el análisis de los datos en tablas dinámicas, calculando los promedios por hora, mes y año reportadas en cada una de las siete estaciones de monitoreo de la RAMA-ZMVT durante el período comprendido de 2012-2018.

Para el análisis del comportamiento de las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ se elaboró una gráfica integrativa de las concentraciones promedio durante 24 horas en las siete estaciones de la RAMA-ZMVT durante el período de estudio (2012-2018). En el caso del análisis del comportamiento de las concentraciones mensuales, se elaboró una gráfica integrativa de las concentraciones promedio de $PM_{2.5}$ de enero a diciembre en las siete estaciones de la RAMA-ZMVT; así mismo para el análisis de las concentraciones anuales, se llevó a cabo mediante una gráfica integrativa de las concentraciones promedio en los siete años del período de estudio (2012-2018).

Ilustración 1 Diagrama metodológico



Capítulo 1

Antecedentes

Capítulo 1.- Antecedentes

En este capítulo se lleva a cabo la revisión de referencias reportadas a nivel mundial en cuanto a contaminación atmosférica por este contaminante. Por otro lado, se mencionan casos de estudios relevantes de problemas de salud que causa en particular el PM_{2.5} en las zonas urbanas.

1.1 Casos graves de contaminación atmosférica a nivel mundial

La contaminación atmosférica es uno de los problemas actuales de mayor complejidad para evaluar, normar y controlar, debido a la variedad y cantidad de fuentes emisoras, dilución y/o transformación de los contaminantes en la atmósfera y los efectos que tienen sobre la salud humana y los ecosistemas. Por ello es de importancia conocer el desarrollo de investigaciones en otras regiones del mundo respecto a la contaminación de aire para ver la problemática a nivel global y enmarcar el desarrollo y cumplimiento de la normatividad relativa a la contaminación atmosférica y calidad de aire en los países.

Como antecedente histórico la contaminación del aire da inicio cuando aparece el hombre y empieza a utilizar el fuego como una fuente de calor, en ese momento la consecuencia era menor (INECC, 2014).

En tanto surgió el auge de la industrialización se favorece el aumento de la población y de asentamientos urbanos, lo cual trajo consigo la perturbación de su entorno debido a que el hombre se convirtió en un considerable consumidor y dilapidador de recursos, como consecuencia del aumento en las necesidades de transporte, alimento, vestido, calzado y demás, por lo consiguiente generó desechos de todo tipo alterando su entorno de manera irreversible (Rico, 2001).

La industrialización, fue una etapa que ambientalmente marca de manera general y visible una mayor perturbación hacia el entorno, contaminando cada recurso natural presente. En cuestión del aire la industria empezó a liberar gases a la atmósfera incrementando la incidencia de enfermedades respiratorias como bronquitis y neumonía, el primer caso con relevancia se mostró en Londres desde el año 1303 ya que la gente se empezó a preocupar y protestar por el mal olor de la atmósfera de la ciudad, el problema era el uso del carbono mineral o hulla que provenía de las embarcaciones que llegaban a la ciudad este se había sustituido como combustible de la leña proveniente de los bosques y este mismo fue el combustible e impulso para la Revolución Industrial (Rico, 2001).

A nivel mundial la llegada del siglo XX se produjo los mayores aportes ante el desarrollo económico capitalista y con ello el desarrollo de avances en la industria y lo tecnológico, lo cual introdujo miles de nuevos productos químicos a la biósfera, gases y otros productos secundarios. Con el tiempo no se hicieron esperar las

consecuencias de todo ello, los casos más relevantes sobre contaminación atmosférica en el siglo XX se refieren a:

- El episodio del Valle del río de Meuse, caracterizado por ser la zona industrial de Bélgica, en diciembre de 1930, se generó una niebla durante 5 días en presencia de una inversión térmica que atrapo y mezcló tanto el humo como las emisiones de Dióxido de Azufre de la combustión de carbono provenientes de las fábricas afectando a miles de personas, que causó la muerte de 63 de ellas en tres días y la enfermedad de otras 6,000. La mayoría de las personas que fallecieron eran de edad avanzada y jóvenes con enfermedades cardíacas y pulmonares preexistentes (Etze R. , 2000).
- En Donora, Pelsivania, Estados Unidos, octubre de 1948 se presenta en un pequeño pueblo un suceso de altos niveles de contaminación en donde había plantas químicas y acererías, que cubrieron por cuatro días con una niebla espesa, reteniendo las emisiones de una fundición de Zinc y de una fábrica de alambre, acero y Ácido Sulfuroso a causa de inversión térmica, afectando a 5,910 personas casi 42% de la población en el área, quienes presentaron irritación de ojos, nariz y garganta, así como tos, nausea y vómito. Lo cual originó la muerte de 20 personas; una década después los investigadores reevaluaron el impacto del episodio sobre la salud de la población encontrando que aquellos residentes que habían estado gravemente enfermos murieron más jóvenes y se enfermaron más a menudo en comparación con quienes no había sido afectados (Etze R. G., 2017).
- En Poza Rica, Veracruz, México, el 24 de noviembre de 1950, se produjo por la descarga de un gas tóxico a la atmósfera desde una sola fuente. Se presentó en una planta que recuperaba azufre a partir de gas natural, uno de sus fines era separar Sulfuro de Hidrógeno, que después se concentraba para quemarlo. El escape inadvertido de H₂S que duró unos 20 minutos, debido a las condiciones meteorológicas y a una pequeña inversión térmica, originando la dispersión del gas, provocando la contaminación del aire y el envenenamiento hacia la población; ocasionando la muerte de 22 personas y la hospitalización de 320 más, por dolor de cabeza, problemas respiratorios, y además murieron especies de canarios, alrededor del 50% de pollos, ganado, cerdos que se encontraban en la zona (Rico, 2001).
- En Walsum en 1952 durante los primeros días de abril, ocurrió una accidente en una fábrica de Cloro ubicada en esta ciudad del Valle de Rhin cercana a Düsseldorf. Como consecuencia del episodio hubo una emision de Cloro que se despazó lentamente por el aire, causando cinco muertos y cerca de 250 intoxicaciones. (Seoáñez, 2002)
- En un episodio en Londres, Inglaterra en diciembre de 1952, se evidenció la mayor contaminación del aire similar a lo que paso en Donora (1948); durante

cinco días la ciudad quedó envuelta en una nube de humo combinada con Dióxido de Sulfuro, la concentración de esta fue cinco veces mayor que las normales, un estimado de 60% de la contaminación total de la nube se originaba en los domicilios por la quema de carbón y el resto surgía de fuentes vehiculares. Días después se supo que el número total de muertes en la región principal de Londres se llevó a un estimado total de 8,000 muertes, las estadísticas indicaron que casi todos los que habían muerto tenían antecedentes clínicos de bronquitis, enfisema o trastornos cardíacos, siendo las personas más vulnerables (Etze R. , 2000).

- Nueva Orleans, 1958, fue un episodio agudo de contaminación atmosférica donde la calidad del aire de la ciudad afectó gravemente a la salud de sus habitantes, se presentó un período de inestabilidad atmosférica y junto con una elevada concentración de contaminantes provocaron un aumento muy apreciable de casos de asma en toda la ciudad (Seoáñez, 2002).
- El episodio de Flixboroug, Reino Unido 1973, ocurrió por una planta química que fabricaba caprolactama (un precursor químico para la fabricación del nylon), el 1 de junio se produjo un vertido de 40 toneladas de clohexano (es un disolvente apolar muy utilizado con solutos del mismo tipo, una de sus aplicaciones más importantes es la producción del nailon), dando lugar a una nube de vapor que al contacto con alguna fuente de ignición explotó y destruyó la planta dando lugar a 28 muertes y 36 heridos (Contreras , 2011)
- En Seveso Italia en julio de 1976, se produjo un episodio en una fábrica de químicos ICEMSA, de tipo farmacéutica, el sábado 10 de julio el reactor donde se producía Triclorofenol (componente intermedio utilizado en la preparación de herbicidas y de una sustancia antibacteriana), se liberó una nube tóxica de Dioxina y otros contaminantes como consecuencia de una reacción exotérmica, debido a la dirección del viento afectó en mayor cantidad a la población de Seveso, ocasionando problemas en la salud de la población y la muerte del 40% de los animales domésticos de la zona. (Centemeri, 2010)
- Yokkaichi, Japón, la ciudad industrial de Yokkaichi, ubicada en la costa de Japón, cerca de Suzuka y a unos 30 km de Nagoya, posee una de las mayores refinerías del país. Esta industrial procesaba desde los años 60 petróleo rico en azufre, lo cual una serie de investigaciones médicas realizadas entre 1963 y 1983, se comprobó un incremento de la tasa de mortalidad debida a bronquitis crónica y asma cuando aumentaban las emisiones del SO₂, y una reducción de estas tasas al bajar la contaminación (Seoáñez, 2002).
- Bhopal, India 1984 este evento se considera por diversos motivos como el peor acontecimiento industrial de la historia, ocurrió el 3 de diciembre un

episodio de emisión hacia la atmósfera de varias toneladas de Isocianato de metilo procedentes de una industria de fabricación de pesticidas; producto enormemente tóxico e inflamable que se evapora rápidamente cuando se expone al aire produciendo un gas más pesado, que origina en la población lesiones pulmonares a casi medio millón de personas y 2.500 de muertos (Seoáñez, 2002).

1.2 Casos de contaminación atmosférica por PM_{2.5} a nivel nacional

En la actualidad México cuenta con instituciones que emiten la legislación y normatividad en relación con la contaminación, no fue hasta finales de la década de los ochenta que se tuvo un mayor interés por generar conocimiento en los temas de contaminación atmosférica; ya que esta problemática se ha desarrollado principalmente en las zonas metropolitanas de México ocasionando daños a la salud (Riojas-Rodríguez, 2013).

Las partículas suspendidas en la atmósfera son causa de ciertos problemas para la salud humana que van desde tos, dolores de cabeza, malestares en la garganta, irritación y lagrimeo de los ojos, hasta disminución de la capacidad respiratoria, aumento de ataques de asma, enfermedades respiratorias crónicas y agudas, el grado de afectación depende tanto de las propiedades físicas y químicas del aire, dosis que se inhala y del tiempo de exposición (INECC, 2009).

Por ello se han realizado a partir de la década los 90's numerosos estudios por diversos autores, en donde han demostrado la existencia de efectos adversos hacia la salud derivado de la exposición puntual o prolongada de niveles elevados de Material Particulado (PM).

A partir de 1990 y estudios más recientes de acuerdo con *United States Environmental Protection Agency* (EPA), apuntan a las partículas de menor diámetro (partículas finas con diámetro < 2.5 µm) como las causantes de la mayoría de las afectaciones hacia la salud del ser humano en cuestiones respiratorias. A consecuencia de ello el PM_{2.5} ha tomado importancia en su monitoreo en las grandes ciudades para tener un control de su concentración y tomar medidas en caso de que éstas rebasen los niveles permitidos y pueda ocasionar daños a la salud de las personas expuestas. Algunos casos son:

- Borja-Aburto y colaboradores en 1998, investigaron la relación estadística de varios contaminantes atmosféricos con los impactos en la salud de la población en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) en el lapso de tiempo de 1993-1995, entre ellos las partículas PM_{2.5}; donde encontraron una relación similar a la que se ha reportado para las PM₁₀, que consiste en que por cada incremento de 10 µg/m³ en la concentración de este tamaño de partícula se observaba un incremento de 1.4 % en la mortalidad

prematura a corto plazo. Otro resultado importante de este trabajo fue la relación entre las $PM_{2.5}$ y el aumento en el número de muertes de personas mayores de 65 años y la presencia de niños enfermos hospitalizados por causas respiratorias y cardiovasculares.

- Osornio-Vargas y colaboradores en el año 2000, realizaron experimentos in vitro para analizar los efectos citotóxicos y proinflamatorios de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ que fueron colectadas en la ciudad de México desde la zona norte y la zona sureste; para ambos tamaños de partículas se observaron efectos adversos en las células expuestas. Para el caso de las $PM_{2.5}$ se encontró un efecto citotóxico más dañino, mientras que las partículas PM_{10} indujeron mayores efectos proinflamatorios.
- Barraza-Villareal y colaboradores llevaron a cabo un estudio a partir de junio de 2003 a junio del 2005, en el que se dió seguimiento a 158 niños asmáticos y 50 niños no asmáticos que vivían en tres municipios de la Ciudad de México Iztapalapa, Iztacalco y Netzahualcóyotl durante 22 semanas; ya que se presentaban en estos sitios altos niveles de emisiones relacionadas con el tráfico vehicular. Durante este período se realizaron pruebas espirométricas y mediciones de los niveles de los exámenes de FeNO (examen del óxido nítrico exhalado aplicado en pacientes con asma alérgica para determinar la cantidad de inflamación pulmonar presente y con cuánta efectividad los esteroides inhalados están controlando esta inflamación), entre otros; encontrando que la exposición a partículas $PM_{2.5}$ resultó en una inflamación severa de las vías respiratorias y en el decremento de las funciones de los pulmones, tanto en los niños asmáticos como en los no asmáticos.
En otro estudio se encontró que la sibilancia fue el síntoma que mostró mayor relación con la exposición a partículas derivadas del tráfico, ya que por cada incremento de $17.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de $PM_{2.5}$, hubo un aumento del 8.8% en este síntoma (Escamilla-Nuñez, 2008).
- En Ciudad Juárez Chihuahua en 2002, se realizó un análisis de los cruceros viales de mayor densidad vehicular, para evaluar los niveles de $PM_{2.5}$ a diferentes distancias a una vía de alto tránsito a partir de un punto de referencia. Se realizaron mediciones diarias en el lapso del 26 al 30 de agosto de 2002, encontrando como resultado una tendencia de incremento significativo en la medida de las $PM_{2.5}$ con forme se aleja el punto de medición en la avenida Tecnológico, por lo cual las $PM_{2.5}$ decrecen de manera significativa a partir de los 100 m de distancia de las vías con alto tráfico (Cortez-Lugo, 2004).
- En el 2011 en la ciudad de Chihuahua se realizó un estudio para determinar la concentración de $PM_{2.5}$ en 3 sitios de la ciudad y ver su asociación con enfermedades respiratorias presentes en la población. Se encuentran

ubicados, uno al norte de la ciudad cerca de un parque industrial con industria metal-mecánica, cerámica y manufacturera y con una zona residencial aledaña; la segunda en la Unidad Medico Familiar, zona comercial y residencial en el centro de la ciudad con un alto tráfico de vehículos ligeros y la tercera al sureste de la ciudad con zona residencial calles sin pavimentar y con presencia de industria cerámica, metal-mecánica y elaboración de productos maderables. Los muestreos tuvieron una duración de 72 horas, semanalmente por un año, dando un total de 139 muestras, mostrando una mayor concentración en los tres sitios durante la temporada de otoño e invierno; pero solo dos de los sitios se encontraron concentraciones que rondan o rebasan los límites establecidos por las normas mexicanas de la salud y éstas se relacionaron con la base de datos en hospitales con las enfermedades respiratorias que se presentaban en la población (Canseco, 2013).

- En el Valle de Toluca se realizó una estimación sobre la exposición de las partículas PM_{10} suspendidas y sus alrededores, contando con la información de 8 años (1998- 2005), proporcionada por la Red Automática Monitoreo de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMAT). Para la estimación de riesgo se tomó en consideración la distribución de Gumbel-1 de Valores Extremos (es utilizado para modelar la distribución del máximo o el mínimo, para calcular valores extremos), asimismo se utilizaron diferentes períodos de retorno y la ocurrencia probabilística en intervalos de tiempo. Se infirió, estadísticamente, mostrando un alto grado de riesgo a la salud, debido a la magnitud de la concentración de estas partículas (Flores-Ruiz , 2010).

•
En cuanto al tema de salud ambiental y contaminación atmosférica, la población vulnerable, es aquella que es más susceptible a presentar enfermedades respiratorias debido a la exposición a contaminantes presentes en el aire y ambiente. Por lo mismo las políticas en salud pública, en términos de estándares o niveles máximos permisibles de concentración de partículas ambientales, se han enfocado en los últimos años en las partículas finas $PM_{2.5}$, debido a la realización de varios estudios en donde sugieren que las partículas $PM_{2.5}$ tienen un efecto mayor en la salud humana debido principalmente a su composición, que puede ser más tóxica y se caracteriza principalmente por que tienden a depositarse especies químicas dañinas para la salud humana (INECC, 2018).

La deposición de partículas que se emiten a la atmósfera provocan efectos adversos en el medio ambiente como la degradación de bosques, lagos y suelos, daños a la vida silvestre y humana, así como la corrosión de los materiales de los edificios o construcciones. De igual manera durante su permanencia en la atmósfera, las

partículas provocan diversos impactos al ambiente; como es la disminución de la visibilidad y efectos en el cambio climático (INECC, 2018).

1.3 Acciones realizadas para mitigar el problema de contaminación atmosférica en las Zona Metropolitana del Valle de Toluca

A pesar de los esfuerzos realizados por los diferentes órdenes de gobierno y la iniciativa privada en cuanto a la medición y cumplimiento del marco jurídico vigente, la contaminación del aire seguirá siendo uno de los problemas de salud pública más importantes que afecta a la población a nivel nacional (NOM-025-SSA1-2014, 2014).

El deterioro de la calidad del aire y la implicación de salud del ser humano en las grandes ciudades es una de las mayores preocupaciones de hoy a nivel mundial, por ello que desde hace varios años se ha ciertas medidas e instrumentado programas de control por parte de los gobiernos para remediar esta problemática. Paralelamente se hizo necesaria la instrumentación de herramientas en México, principalmente en las Zonas Metropolitanas ya que ahí se concentra el mayor número de población que permitiera realizar un diagnóstico de la situación de los contaminantes y evaluar así la eficiencia de estos programas (SEMARNAT, 2013). A continuación, se presenta la cronología de las medidas de mitigación de la contaminación de la contaminación atmosférica que se han aplicado en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

- 1975, las actividades de monitoreo atmosférico en la ciudad de Toluca inician en el año, mediante una red manual para Partículas Suspendidas Totales (PST).
- En 1987 con ayuda de la Facultad de Química de la UAEM, se incorporan las mediciones de Óxidos de nitrógeno y Bióxido de azufre por vía húmeda en 3 de las 5 estaciones que se tenían establecidas. (RAMA, s.f.)
- En 1992, el Gobierno del Estado de México adquiere los componentes para la instalación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), misma que inició operaciones en 1993; que mide, analiza y procesa en forma continua la concentración de contaminantes presentes en la atmósfera de la ZMVT, es operada por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado (RAMA, 2018).
- 1993 el Instituto Nacional de Ecología elaboró el primer inventario de emisiones a nivel nacional, que en la ZMVT solo consideró las fuentes fijas del corredor industrial Toluca-Lerma. Posteriormente, en 1996, la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, realizó un segundo inventario que incluyó fuentes móviles, puntuales, de área y emisión proveniente de la erosión del suelo (INECC, s.f.)

- 1995 se habían otorgado 30 licencias para el control de residuos de los cuales 27 correspondieron a la emisión de gases y se recibieron 255 denuncias, 46 en relación con la atmósfera y solo se contaba con 338 centros de verificación para un total de 1, 797, 900 vehículos verificados (Rico, 2001).
- 1996 la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, realizó un segundo inventario que incluyó fuentes móviles, puntuales, de área y la emisión proveniente de la erosión del suelo. Este documento técnico constituyó la base para la elaboración del Aire Limpio Programa para el Valle de Toluca 1997-2000, el cual consta con objetivos de reducir las emisiones de partículas, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno a través de la interrelación de las políticas ambientales, de transporte y desarrollo urbano. (GEM, 2007)
- 2005, la entonces Secretaría de Ecología publicó un inventario de emisiones que adiciona información reciente sobre fuentes de área, así como las emisiones provenientes de la vegetación (GEM, 2007)
- 2007 se elaboró nuevamente Aire limpio: Programa para el Valle de Toluca 2009-2011, su objetivo general fue revertir la tendencia ascendiente del número de días en que se rebasa la norma de partículas suspendidas menores a diez micrómetros (PM₁₀), controlar los niveles de concentración de ozono y mantener dentro de norma los contaminantes criterio, mediante la aplicación de una serie de medidas de control y reducción de emisiones en fuentes fijas, móviles y naturales, con la finalidad de proteger la salud de los habitantes de la ZMVT (GEM, 2007).
- 2008 se presentó el Plan Operativo y el Sistema de Vigilancia Epidemiológica de los Efectos en Salud por Contaminación Atmosférica en el Valle de Toluca (SEMARNAT, 2010), el cual permite obtener un reporte diario de las enfermedades relacionadas por la contaminación atmosférica.
- 2009-2010 Las estaciones de monitoreo de la RAMA dejan de operar parcialmente, monitoreando únicamente PM₁₀, debido a la remodelación en equipos, y a la reubicación de dos estaciones Toluca-centro y Ceboruco (RAMA, 2017).
- 2011 reapertura de las estaciones de monitoreo de la RAMA, además ahora se incluye el monitoreo de PM_{2.5} (RAMA, 2018).

Sin embargo y a pesar de estas valiosas contribuciones, el Centro de investigación Molina, 2014; mencionan que poco se ha estudiado sobre la influencia de la industria en el Valle de Toluca ante los parámetros del PM_{2.5}. Si éste indica que sea una ciudad con concentraciones altas de contaminación ya que dentro del proceso de urbanización de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) destaca el período de industrialización a raíz del Corredor Industrial Toluca-Lerma, que ha fungido como polo de desarrollo regional en las últimas cuatro décadas del siglo XX y en el transcurso del siglo XXI (Centro Mario Molina, 2014).

Capítulo 2

Marco

Conceptual

Capítulo 2.- Marco Conceptual

En este capítulo se abordarán conceptos de contaminación atmosférica, calidad del aire, Material Particulado, Red de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT (RAMA-ZMVT); Índice Metropolitano de la Calidad Del Aire y algunas medidas o acciones que se implantaron en las Zonas Metropolitanas del Valle de México y Toluca respecto a la contaminación atmosférica.

2.1 Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica es un problema que se ha presentado a lo largo de la historia del hombre, el cual se contribuye tanto a las actividades antropogénicas (emisiones de industria, actividades agrícolas, etc.), como a procesos naturales (erupciones volcánicas, incendios forestales, etc.), incluso la más normal y cotidiana actividad origina contaminación.

Los procesos naturales contribuyen en mayor medida al incremento de la contaminación atmosférica que las actividades producidas por el hombre, debido a que la distribución y dispersión a nivel global de estos contaminantes se derivan de diferentes fuentes aun resultando en concentraciones promedio de bajo valor, las cuales pocas veces alcanzan niveles dañinos; en tanto a la contaminación antropogénica se concentra principalmente en zonas urbanas, las cuales causan más daño (Wark, 2007). Afortunadamente la naturaleza tiene la capacidad de depurar en cierta medida la presencia de contaminantes a través de la lluvia, viento y la vegetación que los puede transformar o inmovilizarlos, sin embargo, la capacidad natural de limpieza tiene límites, por lo que los problemas de contaminación surgen cuando las emisiones de contaminantes son excesivas y sobrepasan dicha capacidad y éstos son nocivos para la salud (SEMARNAT, 2007).

La contaminación atmosférica se refiere a la alteración y la presencia en el entorno de una cantidad de sustancias que alteran la composición química de los componentes presentes en la atmósfera implicando molestias, riesgos y efectos perniciosos para la salud de las personas y reduce la visibilidad. En tanto a la contaminación atmosférica por Material Particulado, se define como la alteración de la composición natural de la atmósfera como consecuencia de la entrada en suspensión de partículas ya sea por causas naturales o por la acción del hombre (Mészáros, 1999). La presencia de las partículas en la atmósfera, así como su posterior deposición, puede generar efectos tanto en el clima, como en los ecosistemas o en los seres vivos.

Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales, por ende, es una problemática que caracteriza a ciudades o países con

un importante nivel de desarrollo urbano, industrial y demográfico (RAMA, 2018), lo que implica la combustión en las industrias, automóviles y calefacciones, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes.

No obstante, los efectos se observan en diferentes escalas:

- **Local:** contaminantes que se concentran en la misma zona en donde son emitidos
- **Regional:** contaminantes que se dispersan a zonas cercanas
- **Global:** contaminantes que alcanzan una mayor dispersión a otras zonas alrededor del mundo (SEMARNAT, 2013).

La acumulación de sustancias que deterioran la calidad del aire causan serios problemas no solo al ser humano sino también a escala global, como el deterioro de la capa de ozono en la estratosfera, el cambio climático, daños en los ecosistemas naturales y en la calidad del aire (SEMARNAT, 2007). Por lo tanto, es importante que los países desarrollen un inventario de emisiones para contar con información sobre las fuentes de emisión, concentraciones, patrones de dispersión y deposición, para proponer medidas que contribuyan en la mitigación de los efectos de contaminación.

2.1.1 Clasificación de contaminantes y fuentes de emisión

Para definir un contaminante atmosférico, primero es necesario mencionar que es la atmósfera y posteriormente especificar la composición del aire atmosférico, con la finalidad de clasificar las sustancias o las cantidades aumentadas de sustancias las mismas en la composición del aire atmosférico, como contaminante.

La atmósfera se define como una capa delgada compuesta de gases que envuelve a la Tierra. Ésta tiene un espesor de 640 kilómetros (SEMARNAT, 2013). Los componentes que concentra la atmósfera están cerca de la superficie, comprimidos por la atracción de la gravedad y conforme aumenta la altura la densidad de la atmósfera tiende a disminuir.

En la siguiente Tabla 1 se muestran los gases que conforman a la atmósfera y su volumen en porcentaje.

Tabla 1 Composición química de la atmósfera

Componente	Volumen (%)
<i>Nitrógeno N₂</i>	78.8
<i>Oxígeno O₂</i>	20.95
<i>Argón Ar</i>	0.934
<i>Bióxido de Carbono CO₂</i>	0.0314
<i>Neón Ne</i>	0.00182
<i>Helio He</i>	0.000524
<i>Metano CH₄</i>	0.00014
<i>Kriptón Kr</i>	0.000114
<i>Hidrógeno H₂</i>	0.00005
<i>Ozono O₃</i>	0.000004
<i>Xenón Xe</i>	0.0000086

Elaboración propia con base en (Carreto Bernal , 2000).

Un contaminante es aquel que llega a interactuar con la atmósfera, agua o suelo, alterando o modificando la composición y condición natural de dichos elementos (GEM, 2007).

Los contaminantes que se emiten a la atmósfera pueden ser transportados de un lugar a otro o depositados en un sitio específico; en este proceso y hasta que se estabilizan sufren transformaciones tanto químicas como físicas (Rico, 2001).

Humos, polvos, polen, microorganismos, vapores, gases y sus mezclas, conforman lo que son contaminantes atmosféricos de manera natural, sin embargo, los contaminantes pueden causar daño al hombre, animales, vegetales o a los materiales y de acuerdo con las condiciones meteorológicas y topográficas éstos se dispersan en el lugar donde está su fuente de emisión, por ello las fuentes se clasifican en:

2.1.1.1 Contaminantes por su origen

Los contaminantes atmosféricos están inversos tanto en elementos naturales como antropogénicos. Estos pueden estar presentes en forma gaseosa (Ozono (O₃), Óxidos de Azufre y Nitrógeno, Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono

(CO₂) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)), aerosoles o Material Particulado (PM).

Un contaminante por su origen se define como:

- a) **Naturales:** son aquellos procesos o fenómenos que se presentan en la tropósfera, como la actividad volcánica.
- b) **Antropogénicos:** son resultado de las actividades del hombre, como las plantas industriales y vehículos con motores de combustión interna que generan Dióxido de Sulfuro, partículas, etc.

2.1.1.2 Contaminantes primarios

De igual manera los contaminantes se clasifican en dos grupos: primarios y secundarios (SEMARNAT, 2013).

- a) **Contaminantes primarios:** son todos aquellos que son emitidos directamente a la atmósfera y se encuentran presentes en ésta de la misma forma como fueron emitidos, por alguna o diversas fuentes de emisión (chimeneas, automóviles, polvo de las calles, entre otros), siendo el resultado de procesos naturales o antropogénicos (SEMARNAT, 2013).

En la siguiente Tabla 2 se presentan los contaminantes atmosféricos que integran este grupo, así como su fuente de emisión y efectos hacia el ambiente.

Tabla 2 Contaminantes primarios

Contaminante	Fuente	Generalidades
<i>Óxidos de azufre (SO_x)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión del azufre presente en el carbón y petróleo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Forman con la humedad ambiente aerosoles, incrementando la corrosión de la atmosfera. • Disminuye la visibilidad. • Genera lluvia ácida.
<i>Monóxido de carbono (CO)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono. • Aproximadamente el 70% del CO proviene de vehículos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El gas presenta una característica de inestabilidad que al oxidarse genera Dióxido de carbono (CO₂).

<i>Óxidos de nitrógeno (NO_x)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión de productos fósiles, vehículos, carbón y quema de madera. • Por producción de fertilizantes y explosivos, tabaco y calderas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Al oxidarse el NO se forma NO₂, siendo este último precursor del esmog fotoquímico.
<i>Partículas PM₁₀ y PM_{2.5}</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades agrícolas • Transporte vehicular 	<ul style="list-style-type: none"> • Material respirable que se presenta en la atmósfera en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, polen, cemento, entre otras).
<i>Hidrocarburos (HC)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Asociado a la mala combustión de derivados del petróleo. • Transporte por carretera. • Disolventes, pinturas, vertederos y la producción de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los compuestos orgánicos volátiles (COV), dioxinas, furanos, bifenilos policlorados (PCB) y los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) son las fuentes de mayor interés.

Elaboración propia con base en SEMARNAT, 2013.

2.1.1.3 Contaminantes secundarios

b) **Contaminantes secundarios:** son todos aquellos que se forman mediante interacciones químicas entre los contaminantes primarios y los componentes presentes en la atmósfera. Por ejemplo, el Ácido Sulfúrico, Óxidos de Nitrógeno y Azufre, entre otros (SEMARNAT, 2013).

En la siguiente Tabla 3 se muestran contaminantes de este grupo, fuentes de emisión y sus efectos sobre el medio ambiente.

Tabla 3 Contaminantes secundarios

Contaminante	Fuente	Generalidades
<i>Ozono (O₃)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Forma partes de la composición de la atmósfera, si este se presenta a baja altura se forma lo que es O₃ troposférico 	<ul style="list-style-type: none"> • El O₃ troposférico es de carácter oxidante, reactivo, corrosivo y toxico. • Reacciona con rapidez generando compuestos secundarios.
<i>Lluvia acida</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de ciertos ácidos en la atmósfera a partir de 	<ul style="list-style-type: none"> • La lluvia acida presenta un pH menor a 5, en comparación con la

	contaminantes que llegan a precipitar a la tierra.	lluvia normal que su pH es de 6.
<i>Dióxido de azufre (SO₂) y Óxidos de Nitrógeno (NO_x)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión de productos petrolíferos y de carbón. • Parque vehicular y procesos industriales. 	<ul style="list-style-type: none"> • En presencia de agua, O₂ y otros compuestos químicos se forman ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido nítrico (HNO₃), precipitando a la tierra en forma líquida en presencia de lluvias o de forma seca en presencia de nevadas o neblinas. • Se disuelven muy fácilmente en agua y pueden ser acarreados por el viento a lugares muy lejanos.
<i>Contaminación fotoquímica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • La constituye la luz solar y sustancias susceptibles de ser oxidadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • El esmog fotoquímico es la mezcla de contaminantes que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los contaminantes primarios.

Elaboración propia con base en SEMARNAT, 2013.

2.1.1.4 Contaminantes criterio

Los contaminantes criterio son aquellos contaminantes normados a los que se les han establecido un límite máximo permisible de concentración en el aire ambiente, ya que son sustancias que se liberan día con día en grandes cantidades a partir de una variedad de fuentes, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población (García R., 2007 y COFEPRIS, 2017). Estos contaminantes criterio son las principales sustancia emitidas por las áreas urbanas como rurales (GEM, 2012).

Los contaminantes criterio son “*ciertos contaminantes conocidos como dañinos para la salud humana presentes en el aire y que constituyen los principales parámetros de la calidad del aire*” (SEMARNAT, 2010).

En este grupo los contaminantes criterio se conforman por el ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el plomo (Pb), las partículas suspendidas totales (PST), y las partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5}). Como se mencionó anteriormente, los contaminantes criterio tienen asignado un límite máximo normado en el aire para determinar los valores límite de su concentración y evitar

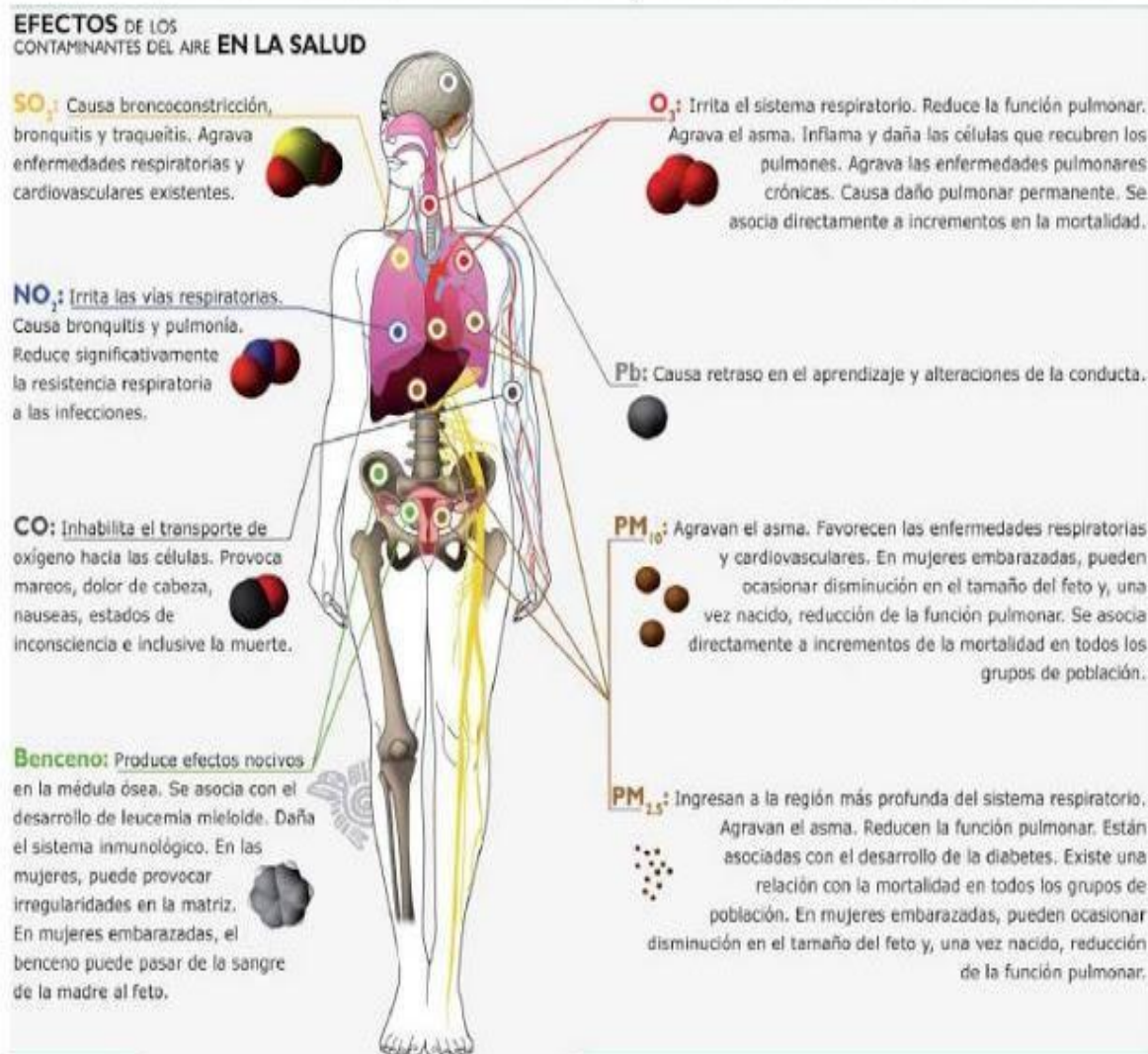
daños al ser respirable sin afectar la salud humana. Al detectar la concentración de contaminantes del aire ambiente estamos determinando su calidad del aire en una zona determinada (INE, s/n).

En la Zona Metropolitana del Valle de Toluca estos contaminantes criterio son medidos y monitoreados por la RAMA-ZMVT, así mismo bajo su plataforma informa a la población sobre las concentraciones a las que está expuesta. Así entonces, los datos reportados por la RAMA-ZMVT sobre las concentraciones de los contaminantes criterio dando una perspectiva de la calidad del aire puede ser definida por indicadores o índices preestablecidos a través del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), que determinan la concentración de contaminantes en el aire ambiente ligada a escalas que califican esa calidad de forma cualitativa, cromáticas o numérica.

En la siguiente **Ilustración 2** se describen los efectos sobre la salud humana de cada uno de los contaminantes criterio.

Ilustración 2 Efectos de los contaminantes criterio en la salud humana

Contaminantes criterio y efectos en la salud



Fuente: COFEPRIS, 2011

2.1.1.5 Otra clasificación de contaminantes

De acuerdo con algunos autores como Rico (2001), los contaminantes del aire se pueden clasificar también por:

a) Su estado físico

- ✓ **Gases:** incluye los vapores que aparecen en diferentes concentraciones; una vez difundidos no tienden a depositarse, sino que permanecen en la atmósfera transformándose en compuestos más simples o complejos. Los contaminantes gaseosos del aire provienen de volcanes, e industrias; el ejemplo más común reconocido es la niebla tóxica (smog) que es una

condición producida por la acción de la luz solar sobre los gases de escape de automotores y fábricas (Rico, 2001).

- ✓ **Partículas:** pueden ser líquidas o sólidas, incluye polvo, humo y cenizas; miden entre 500 y 0.0002 micras. Las de mayor tamaño se depositan con mayor rapidez, mediano tamaño se aleja más y se depositan a cierta distancia de la fuente y las más pequeñas se comportan casi igual a un gas (Rico, 2001).

b) Composición química

- ✓ **Orgánicos:** contienen carbono e hidrogeno, como los hidrocarburos.
- ✓ **Inorgánicos:** no contienen compuestos con carbono, excepto los compuestos simples del carbono.

2.1.2 Principales fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera

La contaminación del aire proviene de una mezcla de miles de fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores hasta el uso de productos de limpieza y pinturas domésticos. Incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en la contaminación del aire. Por lo cual, a continuación se agrupan de acuerdo a los tipos de fuentes de emisión, ya que de igual manera ayudan para el cumplimiento del propósito de un inventario de emisiones (SEMARNAT, 2010).

2.1.2.2 Fuentes naturales y antropogénicas

La existencia de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida animal y/o vegetal pueden jugar un papel importante en el problema de la contaminación del aire. Es primordial comprender la contribución general de este tipo de fuentes, especialmente en las áreas en las que las emisiones de fuentes naturales pueden ser significativas (SEMARNAT, 2010).

En la siguiente tabla (Tabla 4) se describen las fuentes tanto naturales como antropogénicas.

Tabla 4 Clasificación de las fuentes de emisión

<i>Tipo de fuentes</i>	
<i>Naturales</i>	<i>Antropogénicas</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones biogénicas que proviene de la vegetación (pastos, cultivos, arbustos, bosques, etc.) • Erupciones volcánicas • Emisiones de Suelos como parte de los procesos de desnitrificación de estos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad, transporte, industria y hogares.
	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos industriales y uso de disolventes en las industrias químicas y minerales
	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades agrícolas

Elaboración propia con base en (SEMARNAT, 2010, GEM, 2012).

La mayoría de las fuentes anteriormente descritas, son responsables de la emisión de Material Particulado (PM).

2.1.2.3 Otras clasificaciones de fuentes de emisión

Existe otra clasificación para las fuentes de emisión conforme a los propósitos de un inventario de emisiones, basado en el tipo de establecimiento y actividad (GEM, 2012).

2.1.2.3.1 Fuentes fijas

De acuerdo con el artículo 6° del reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la atmósfera, se define como – toda instalación establecida en un solo lugar que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generan o pueden generar emisiones contaminantes a la atmósfera (DOF, 1988).

2.1.2.3.2 Fuentes de área

Estas fuentes son numerosas y dispersas como para poder ser incluidas de manera eficiente en un inventario, incluyen:

- Establecimientos comerciales y de servicios
- Actividades de casa habitación, talleres mecánicos, tintorerías, panaderías, lavanderías, imprentas y combustiones domésticas.

- Actividades relacionadas con emisiones evaporativas de compuestos orgánicos, por el consumo doméstico, aplicación de pintura arquitectónica, señalización vial y pavimentación.
- Emisiones asociadas a incendios forestales y quemas agrícolas intencionales.
- Actividades que emiten amoníaco (NH_3) como la ganadería.
- Actividades con generación de partículas como construcciones y circulación por caminos no pavimentados (GEM, 2012).

2.1.2.3.3 Fuentes móviles

Se definen como todo equipo y/o maquinaria no fijos, con motores de combustión y similares, que con motivo de su operación generan emisiones contaminantes a la atmósfera, las cuales incluyen a los automóviles, camionetas, transporte público en general, entre otros (Rico, 2001). En la mayoría de las áreas urbanas son las principales generadoras de emisiones contaminantes tóxicas del aire.

2.1.2.3.4 Fuentes puntuales

- Son estacionarias o en un punto fijo como las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo y fábricas.
- La totalidad de emisiones contaminantes a la atmósfera son reportadas al nivel de cada sector, de tal manera que es posible monitorear en ellas el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión contaminante (SEMARNAT, 2010).

2.1.2.3.5 Fuentes no puntuales

- Incluyen una o varias actividades distribuidas en un área determinada, cuyas contribuciones particulares no pueden identificarse y evaluarse en forma precisa.
- De forma individual emiten cantidades relativamente bajas de contaminante, pero en conjunto sus emisiones aportan y representan considerablemente contaminantes a la atmósfera.

2.1.3 Efectos de la contaminación atmosférica

Los contaminantes tienen diversos efectos adversos sobre la salud humana y el ambiente, se ha presentado deterioro de la calidad del aire principalmente en ciudades desarrolladas (SEMARNAT, 2013). Estas afectaciones incluyen además de la salud humana la de los animales, recursos naturales como el suelo y agua. Su efecto está sujeto a los diferentes tipos de contaminantes y a las interacciones que conllevan, así como a su concentración y permanencia que tienen en el ambiente (SEMARNAT, 2007).

Con el paso del tiempo han existido casos de contaminación atmosférica pero uno de los que impactó a la humanidad, fue el de la niebla tóxica de Londres en 1952, provocando la muerte a 4 mil víctimas así como la afectación en los bosques europeos por la lluvia ácida durante la década de los 50y 60's (SEMARNAT, 2013).

Los niveles de contaminación del aire siguen siendo peligrosamente altos en muchas partes del mundo según la Organización Mundial de la Salud (OMS), nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminantes, lo que muestran que siete millones de personas mueren cada año por la contaminación del aire ambiente y doméstico (OMS², 2018).

La OMS estima que cerca de siete millones de personas mueren cada año por la exposición a las partículas finas contenidas en el aire contaminado, las cuales penetran profundamente en los pulmones y en el sistema cardiovascular, provocando enfermedades como accidentes cerebrovasculares, cardiopatías, cáncer de pulmón, neumopatía obstructiva crónica e infecciones respiratorias; dependiendo del tiempo al que las personas se encuentren expuestas (OMS, 2018). Los países que presentan ingresos bajos y medianos, el 90% de las personas que fallecen se relacionan con la contaminación del aire, entre los cuales son infantes y adultos de la tercera edad (OMS², 2018).

Los riesgos y efectos en la salud no se presenta equitativamente en la población ya que los grupos más afectados ante el problema de contaminación regularmente son en los niños menores de cinco años y los adultos de entre 50 y 75 años, así como a mujeres embarazadas y personas con problemas respiratorios (OPS, 2019).

Para cada ser vivo en el planeta y en especial para el ser humano la calidad del aire es una necesidad básica de salud y bienestar. Por lo que la OMS reconoce que la contaminación del aire es un factor de riesgo crítico para la salud a nivel mundial provocando las enfermedades no transmisibles (OMS², 2018).

Los daños en el ambiente por la contaminación del aire se reflejan en los ecosistemas naturales, monumentos históricos y edificios. En donde contaminantes como la lluvia ácida al precipitar en la tierra obstruyen y acidifican los poros de las hojas imposibilitando el proceso de fotosíntesis que realizan las plantas, al mismo tiempo que degrada los suelos afectando a las raíces y nutrición de las plantas. En cuanto a los ríos, lagos y otros cuerpos de agua, la lluvia ácida hace que disminuya la población de peces; por otro lado, en las ciudades los daños en los monumentos históricos y edificios se presentan por la corrosión de metales y daños en la pintura y la piedra que provocan las partículas ácidas (SEMARNAT, 2013).

2.2 Monitoreo atmosférico por la RAMA-ZMVT

El monitoreo atmosférico es una herramienta con metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar información de forma continua proporcionando información sobre el estado en el que se encuentra el aire en las diferentes zonas en tiempo real, con respecto a las concentraciones de sustancias o contaminantes que están presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado. Siendo así de gran importancia para la elaboración de planes y programas para la gestión de la calidad del aire con base en la información obtenida y así se llevan a cabo estudios relacionados a los efectos de las concentraciones de contaminantes en relación con daños a la salud, entre otras cosas (Inche, 2004).

Las actividades de monitoreo atmosférico en la ciudad de Toluca iniciaron en el año de 1975, mediante una red manual para Partículas Suspendidas Totales (PST), en 1987 con ayuda de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx), se incorporan las mediciones de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Bióxido de Azufre (SO_2) en 3 de las 5 estaciones que se tenían establecidas.

En 1992, el Gobierno del Estado de México (GEM) adquiere los componentes para la instalación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMA-ZMVT), misma que inició operaciones en 1993 y desde entonces es administrada por la Secretaría de Medio Ambiente del gobierno del estado (RAMA, 2018), con el propósito de medir, registrar, procesar y difundir de manera permanente los principales contaminantes atmosféricos o contaminantes criterio (Ozono, Bióxido de Azufre, Bióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Material Particulado $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}), así como parámetros meteorológicos (velocidad y dirección del viento, humedad relativa, precipitación pluvial, presión atmosférica, temperatura y radiación solar), que influyen sobre los niveles de contaminación del aire y así conocer la calidad del aire (GEM, 2012).

A principios del año 2010 la RAMA-ZMVT fue renovada en su totalidad, se reubicó la estación Toluca-Centro y se instaló una nueva estación: Ceboruco (RAMA, 2018). Actualmente la ZMVT cuenta con equipos y dispositivos tanto para medir y procesar datos sobre la calidad del aire, como algunos parámetros meteorológicos básicos que influyen en la dispersión, transporte, transformación y deposición de contaminantes.

La RAMA-ZMVT surge como un programa de vigilancia atmosférica con base en los siguientes objetivos:

- Evaluar la calidad del aire
- Crear medidas para controlar la contaminación
- Observar la tendencia de los contaminantes a lo largo del tiempo
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire

- Conocer el impacto que ejercen ciertos contaminantes sobre la población
- Desarrollo de estrategias de control para prevenir y/o mitigar problemas por contaminación (RAMA, 2018).

2.2.1 Aspectos para el diseño de la RAMA-ZMVT e integración

Para obtener datos confiables y representativos la red de monitoreo considera los siguientes aspectos descritos en la Tabla 5.

Tabla 5 Aspectos para el diseño de la RAMA-ZMVT

Aspecto	
<i>Zona de estudio</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Considerar la topografía del sitio y las variables climáticas.
<i>Clima</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Presión, temperatura, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento.
<i>Sitio de muestreo</i>	<p>De acuerdo con lo especificado por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (EPA), deben de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ser representativos del área donde se ubican • Proporcionar datos comparables con el resto de los equipos de monitoreo • Tener un tiempo de vida útil largo • Ser accesibles permanentemente • Ser capaces de resistir condiciones extremas
<i>Inventario de emisiones</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Enumera todas las fuentes de emisión que existen en la zona de estudio • Define el tipo de contaminante, número y tamaño de cada una de las fuentes
<i>Manejo y reporte de datos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Los datos deberán ser validados y se debe contar con un número mínimo de ellos por período de tiempo
<i>Métodos de análisis para los contaminantes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Normas Oficiales Mexicanas.

Número mínimo de estaciones

- Número promedio de estaciones que deben considerarse para los programas de vigilancia de la calidad del aire en zonas urbanas e industriales de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud va de 2 a 10, dependiendo del tamaño de la población
- La RAMA-ZMVT cuenta con 7 estaciones.

Elaboración propia con base en RAMA, 2019.

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMA-ZMVT), como se mencionó anteriormente proporciona la información sobre la concentración y medición de contaminantes. Por lo que está integrada por un centro de Control y siete estaciones de monitoreo fijas ubicadas en la parte norte, centro y sur de la ZMVT. Así mismo, está integrada por tres subsistemas operativos (RAMA, 2018):

- a. Red Automática de Monitoreo Atmosférico (**RAMAT**).
- b. Red Manual de Monitoreo Atmosférico (**RECMA**).
- c. Red Meteorológica (**RETMET**).

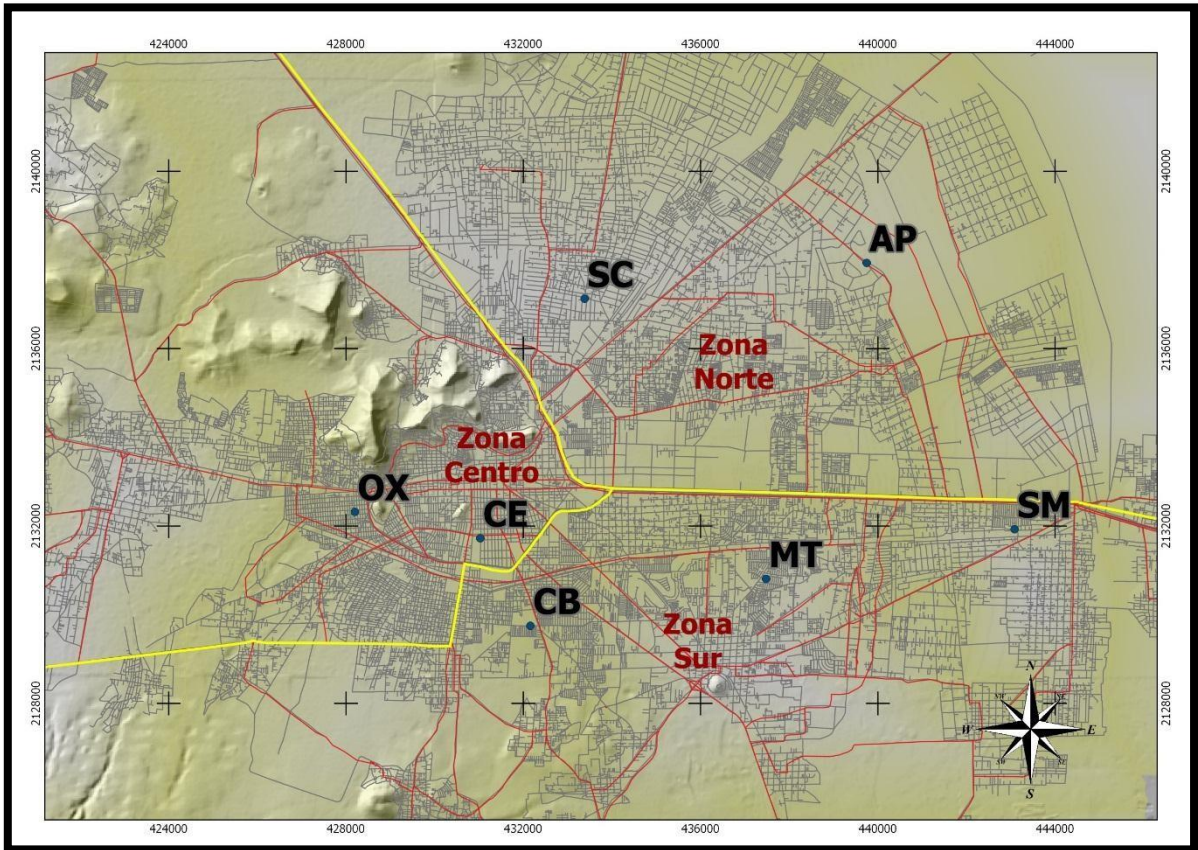
También cuenta con una Unidad Móvil (UM) de monitoreo que opera las 24 horas, generando datos de forma permanente y en tiempo real durante todo el año (RAMA, 2018).

2.2.2 Estaciones de monitoreo de la RAMA-ZMVT

Las Estaciones de Monitoreo Atmosférico son instalaciones que albergan en su interior equipos analizadores automáticos, que se encargan de analizar las concentraciones de los contaminantes criterio. Tienen una torre meteorológica donde están instalados los sensores, cuentan con energía eléctrica regulada, almacena los datos en plataforma PC y una topología de red LAN interna, manteniendo así la comunicación con el Centro de Control (RAMA, 2018).

El Valle de Toluca se encuentra dividido para su estudio en 3 regiones. En cada una de ellas se encuentran distribuidas las estaciones de monitoreo como se muestra en la siguiente **Ilustración 3**.

Ilustración 3 Distribución de las estaciones de monitoreo de la RAMA-ZMVT



Fuente: RAMA,2018.

En la **Tabla 6** se describen los datos generales de cada una de las siete estaciones de monitoreo de la RAMA-ZMVT.

Tabla 6 Aspectos generales de las estaciones de la RAMA-ZMVT

Nombre de la estación	Clave	Zona	Ubicación
Oxtotitlán	OX	Centro	Escuela Primaria "Carmen Serdán", calle Lago Caimanero esq. Laguna de la Asunción, Col. Nueva Oxtotitlán, Toluca, México
Toluca Centro	CE		Gimnasio "Prof. Guillermo Ortega Vargas" de la UAEM, Calle Venustiano Carranza esq. Mariano Matamoros, Toluca, México
Metepec	MT	Sur	Calle Manzana # 20-A, Colonia Izcalli Cuauhtémoc V, Metepec, México, Código Postal

			52176, entre las Calles de Manuel J. Clouthier y Calle Mango.
Ceboruco	CB		Calle Ceboruco S/N, Colonia Azteca, Código Postal 50640, Toluca, México entre las calles de Heriberto Enríquez y José Antonio Albarrán.
San Mateo Atenco	SM		Ave. Hacienda Tres Marías # 260 Colonia Santa Elena, San Mateo Atenco, Código Postal 52100, entre las calles de Hacienda de la Gavia y Niños Héroes.
Aeropuerto	AP	Norte	Calle Enedino Arévalo Alanis S/N, Parque Industrial Exportec II, San Pedro Totoltepec, Toluca México, Código Postal 54080, entre las Calles Boulevard Miguel Alemán y Enedino Arévalo Alanís
San Cristóbal Huichochitlán	SC		Paseo de la Luz esquina Manuel Hinojosa Giles S/N, Poblado de San Cristóbal Huichochitlán, código Postal 50100, entre las Calles de Paseo de la Luz y República del Salvador.

Elaboración propia con base en RAMA, 2018.

2.2.3 Contaminantes que miden las estaciones de la RAMA-ZMVT

La Red opera las 24 horas del día, los 365 días del año, por lo que la generación de datos es constante y en tiempo real. Las estaciones de monitoreo fijas cuentan con analizadores automáticos para el monitoreo de los 6 contaminantes criterio que son:

1. Bióxido de Azufre (SO₂)
2. Bióxido de Nitrógeno (NO₂)
3. Monóxido de Carbono (CO)
4. Ozono (O₃)
5. Partículas Suspendidas Menores a 10 micras (PM₁₀)
6. Partículas Suspendidas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) (RAMA, 2018).

Debido a la relación entre la contaminación atmosférica y las condiciones del clima, se cuenta con una torre meteorológica que miden variables como la temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, radiación solar total y precipitación pluvial (RAMA, 2018).

En la siguiente **Tabla 7** se describen las siete estaciones, con los contaminantes que miden, mientras que las variables meteorológicas son medidas solo en algunas estaciones.

Tabla 7 Contaminantes y variables que miden las estaciones de la RAMA-ZMVT

Contaminante	Estaciones de monitoreo							
	OX	CE	MT	CB	SM	AP	SC	UM
<i>Partículas menores a 2.5 micras (PM_{2.5})</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Partículas menores a 10 micras (PM₁₀)</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Ozono (O₃)</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Bióxido de Azufre (SO₂)</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Monóxido de Carbono (CO)</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Meteorología</i>								
<i>Velocidad de viento</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Dirección de viento</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Humedad relativa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Temperatura</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Presión atmosférica</i>		*	*			*		*
<i>Precipitación pluvial</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Radiación solar total</i>		*	*			*		*

Elaboración propia con base en RAMA, 2018.

2.3 Calidad de aire

La contaminación del aire se define como la presencia en la atmósfera de uno o más elementos, en cantidad suficiente, con ciertas características y una permanencia determinada, que pueda causar efectos indeseables tanto en el ser humano, la vegetación, los animales, las construcciones y los monumentos. Estos

componentes pueden ser polvo, olores, humos o vapor. Hablar de calidad de aire es referirse a normas que tienen por objetivo inmediato evitar enfermedades y fallecimientos de individuos o grupos más susceptibles de la población ante los agentes contaminantes. Generalmente se evalúa por medio de los niveles de inmisión, los cuales se definen como la concentración media de un contaminante presente en el aire durante un período determinado (Rico, 2001).

La calidad del aire se evalúa mediante la medición de diferentes compuestos atmosféricos considerados como contaminantes criterio, entre ellos se encuentra el Monóxido de Carbono (CO), el dióxido de Azufre (SO₂), los Óxidos de Nitrógeno (NO_x), las Partículas Suspendidas Totales (PST), fracciones gruesa (PM₁₀) y fina (PM_{2.5}), el Plomo y el Ozono. En tanto a la concentración de contaminantes secundarios (p.e. el Ozono, el formaldehído y el glioxal) a nivel del suelo dependen de sus precursores como lo son los NO_x, los compuestos orgánicos volátiles (COV), la radiación luminosa, condiciones meteorológicas y la topografía (García J. , 2009).

Derley (2015) menciona que la calidad del aire es importante monitorearla constantemente con el fin de controlar y vigilar los niveles de contaminación en diferentes áreas ya que pueden ser influenciadas por fuentes antropogénicas y/o naturales, que impactan de forma seca y/o húmeda en la superficie de la tierra afectando los recursos naturales y la salud humana, por lo que una forma de hacerlo es a través del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) (Derley Ramón, Ramón, & Valencia, 2015).

2.3.1 Índice metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire es una herramienta analítica desarrollada para informar sobre los niveles de contaminación del aire son satisfactorios o no de manera fácil y oportuna a la población, de tal forma que funcione como un indicador de las medidas precautorias que debe tomar la población ante una contingencia atmosférica (SEMARNAT, 2018).

Los límites se representan con valores en puntos, que corresponden a los valores que establecen las normas de calidad del aire para cada uno de los contaminantes.

Para calcular el Índice éste, se parte de la concentración de los contaminantes, ya sea en partes por millón (ppm) y/o en microgramos por metro cúbico (μm^3) (RAMA, 2018).

Tabla 8 Escala IMECA

Intervalos	CALIDAD DEL AIRE
0-50	Buena
51-100	Regular
101-150	Mala
151-200	Muy mala
201-300	Extremadamente mala

Fuente: RAMA,2018

Los valores que indican la calidad del aire van de satisfactoria a muy mala (RAMA, 2018), en la siguiente **Tabla 9** se describen tantos los efectos y medidas dependiendo de la calidad del aire.

Tabla 9 Calidad el aire

IMECA	Calidad de aire	Efectos sobre la salud	Medidas preventivas
0-100	Satisfactoria	<ul style="list-style-type: none"> No se presentan efectos negativos en la salud. 	<ul style="list-style-type: none"> No es necesaria ninguna medida preventiva.
101-250	No satisfactoria	<ul style="list-style-type: none"> Irritación de la conjuntiva o dolor de cabeza. Se reactivan los síntomas de los enfermos del corazón o de los pulmones. Niños, ancianos y fumadores presentan trastornos del aparato respiratorio y cardiovascular. 	<ul style="list-style-type: none"> Se debe evitar caminar en la calle por tiempos largos. No es recomendable realizar ejercicio físico al aire libre.
251-350	Mala	<ul style="list-style-type: none"> Lactantes, ancianos y fumadores pueden presentar, además de las molestias anteriores, alteraciones inflamatorias en el sistema respiratorio. El resto de la población puede presentar trastornos funcionales en 	<ul style="list-style-type: none"> No realizar ejercicio al aire libre. No fumar. Evitar cambios bruscos de temperatura. Disminuir el contacto con

		<p>el aparato respiratorio y cardiovascular.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar caminar en la calle por tiempos largos. 	<p>enfermos de las vías respiratorias.</p>
<p>Más de 350</p>	<p>Muy mala</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los enfermos crónicos de los pulmones o del corazón reactivan sus padecimientos de base. • La población en general pueden presentar alteraciones inflamatorias en su aparato respiratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingestión de jugos de frutas. • Atención médica oportuna si se detecta alguna alteración. • Mantenerse atento a las recomendaciones que emita el Sistema de Salud.

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT / Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental / Agencia de Cooperación Internacional del Japón, **Segundo Informe Sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas 1997**, 1ªed., México, INE- Cenica- JICA, 1998.

El IMECA se calcula mediante la utilización de fórmulas (algoritmo) para calcular el Índice, a partir de concentración de los contaminantes, ya sea en partes por millón (ppm) y/o en microgramos por metro cúbico (μm^3).

2.4 Material particulado (PM) como problema de contaminación atmosférica

En la atmósfera hay un gran número de contaminantes que tienen distintos impactos en el ambiente y la salud humana. Entre estos contaminantes destacan el Material Particulado (PM) que está dentro de los tres contaminantes con mayor afectación sobre la salud humana, seguido del Dióxido de Nitrógeno y el Ozono (EEA, 2018).

Las partículas suspendidas (PM, del inglés *particulate matter*), suelen ser una mezcla de sustancias naturales, antropogénicas y productos de los procesos atmosféricos de conversión de gas a partícula. Así mismo, pueden ser emitidas como tales a la atmósfera o bien ser generadas por reacciones químicas. Es por eso que son contaminantes que pueden ser considerados problemáticos, al presentarse como partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de diesel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos (Canseco A. e., 2011).

Otra definición se refiere como una mezcla heterogénea de partículas que permanecen en suspensión en el aire caracterizadas por sus propiedades tanto físicas (definen el transporte y depósito de estas en el sistema respiratorio) como

químicas (determina el efecto sobre la salud), según su(s) fuente(es) de emisión, mecanismo de formación, tamaño, forma y composición química (Martin, 2005).

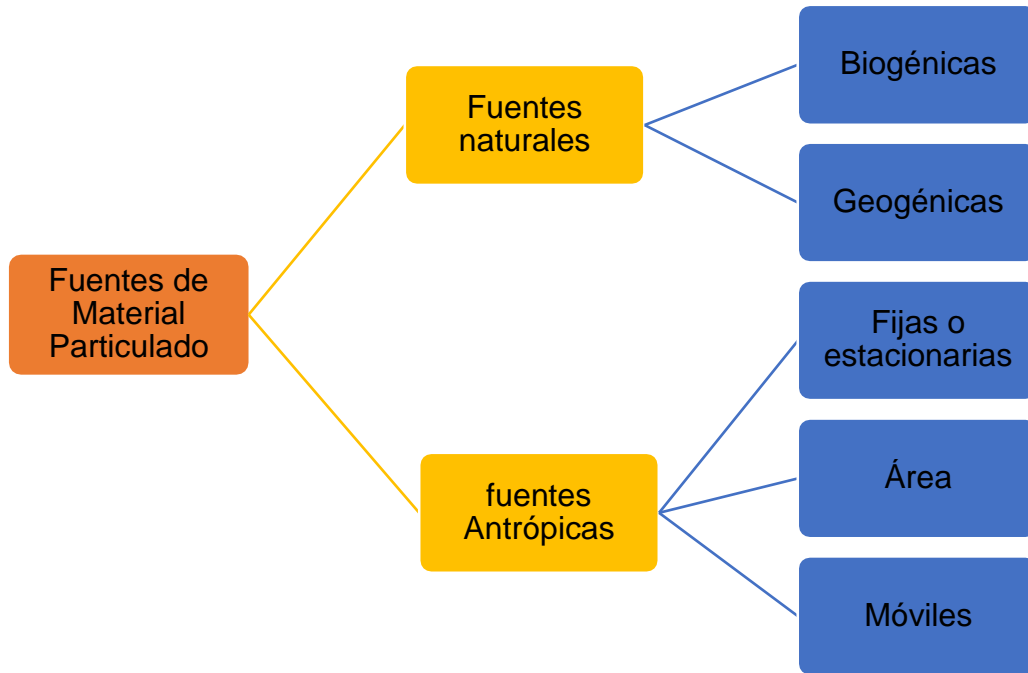
Estas partículas suelen ser de diferente tamaño, pueden ser muy pequeñas y alcanzar fracciones de milímetro e incluso nanómetros, al igual su origen puede ser natural (aerosol marino, mineral, polen o sustancias orgánicas que emite la vegetación) o antropogénico (tráfico, industria, obras, calefacciones domésticas) ; de esta manera en la legislación de calidad del aire contempla dos fracciones de PM por su efecto en la salud y en el medio ambiente; PM₁₀ que es PM cuyo diámetro es menor de 10 µm, PM_{2.5} que es PM con diámetro es menor a 2.5 µm. Las partículas con diámetros mayores a 10 µm se depositan por lo general en la nariz y garganta. Las PM₁₀ suelen depositarse a lo largo del tracto respiratorio; en tanto las PM_{2.5} penetran profundamente en los pulmones llegando a los bronquiólos, es por ello que se les conoce como partículas respirables (Canseco A. e., 2011).

Debido a que son de forma y composición variada, para su identificación se han clasificado en términos de su diámetro aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula. Debido a lo anterior pueden ser clasificadas como finas y gruesas (García J. , 2009).

2.4.1 Fuentes de emisión del Material Particulado

Existen diversas formas de clasificar las fuentes de emisión de un contaminante, entre la más común está en dividir las en fuentes antropogénicas y naturales. Esta clasificación sirve de base para copilar la información y crear los inventarios de emisiones.

Ilustración 4 Fuentes de emisión de partículas



Elaboración propia con base en SEMARNAT, 2011.

A continuación, se describen las características de cada fuente.

- ❖ **Fuentes naturales:** emisiones de contaminantes atmosféricos sin la influencia de actividades humanas.
 - Fuentes geogénicas: son aquellas de origen geológico como los volcanes y con el suelo
 - Fuentes Biogénicas: polen, virus y bacterias (INE, 2007).
- ❖ **Fuentes antrópicas:** emisiones generadas por las actividades humanas
 - Fuentes fijas o estacionarias: toda aquella instalación establecida en un solo lugar.
 - Se desarrollan procesos industriales, comerciales, servicios o actividades que generen emisiones contaminantes a la atmósfera.
- ❖ **Fuentes de área:** son fuentes numerosas y dispersas, que en conjunto son emisoras significativas de contaminantes (ejemplo las gasolineras, tintorerías, actividades de construcción, etc.).
- ❖ **Fuentes móviles:** son fuentes motorizadas con autorización para circular por caminos públicos (motocicletas, camiones, autobuses), así como aquellas que no circulan por carretera (maquinaria de uso agrícola, locomotoras, embarcaciones marinas, etc.).

Las emisiones de estas fuentes son principalmente por producto de la combustión y evaporización de los combustibles utilizados, así como el desgaste de los frenos y llantas (SEMARNAT, 2011).

2.4.2 Tipos de partículas

Las partículas se pueden clasificar de acuerdo con diferentes criterios, el más utilizado es por su origen y tamaño.

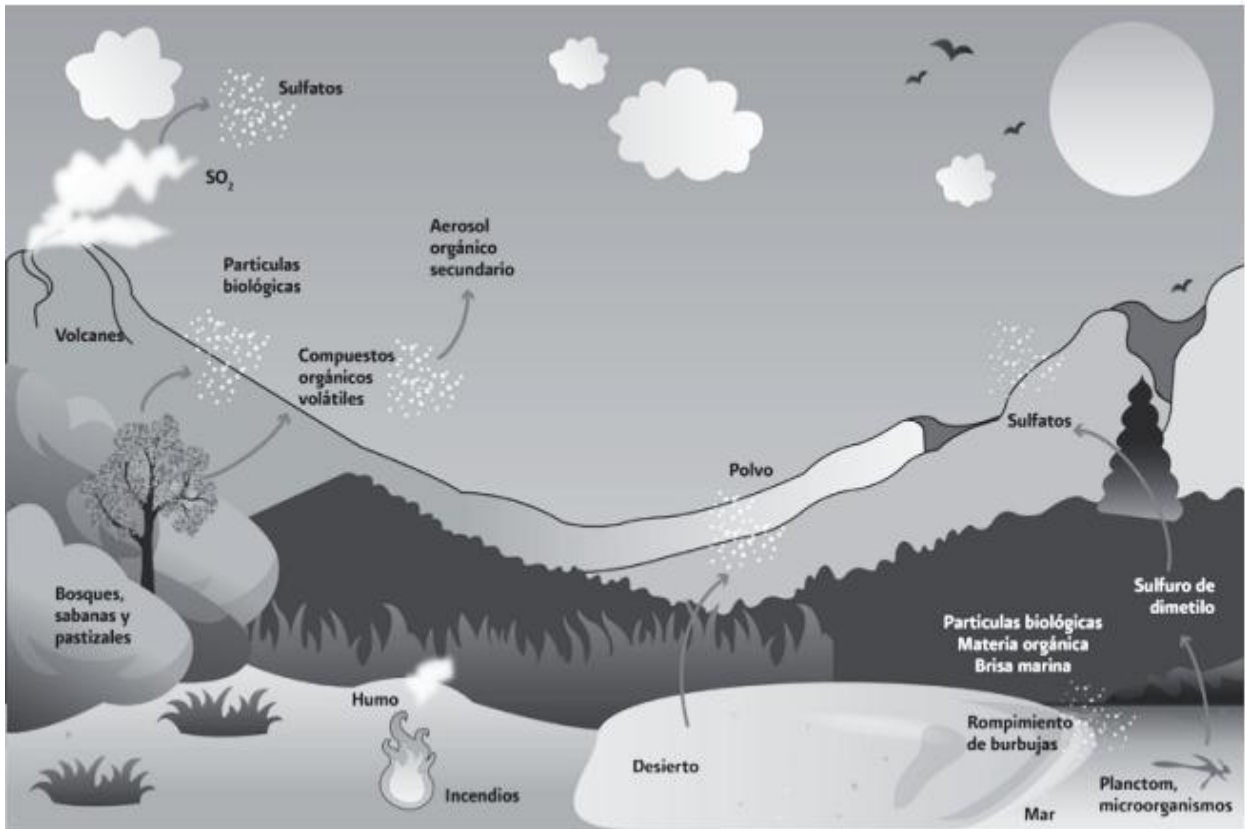
2.4.2.1 Por su origen

Generalmente las PM provienen por la combustión de quema de combustibles fósiles, al igual que su composición depende de la fuente que la origina. Ésta es una de las clasificaciones básicas, entre las cuales se distinguen entre partículas primarias y partículas secundarias.

- a) **Partículas primarias:** son aquellas que se emiten directamente a la atmósfera por diversas fuentes antropogénicas como el humo de los escapes de los automóviles y camiones, polvo de calles, fabricas (SEMARNAT, 2011), así como de fuentes naturales (polen de plantas, incendios (SIMAT, 2009).
- b) **Partículas secundarias:** son aquellas que se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas ante la presencia de materiales gaseosos conocidos como precursores, como se muestra en la **Ilustración 5** (SEMARNAT, 2011).

Entre los gases precursores de partículas se encuentran principalmente el Dióxido de Azufre (SO_2), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y el Amoniaco (NH_3), que forman partículas de sulfatos y nitratos, así como partículas suspendidas secundarias orgánicas por la oxidación fotoquímica de compuestos orgánicos (SEMARNAT, 2011).

Ilustración 5 Proceso químico de formación de partículas secundarias



Fuente: SEMARNAT, 2011.

2.4.2.2 Por su tamaño

Las partículas suspendidas tienen una infinidad de formas y tamaños por lo cual no es posible caracterizarlas con una sola dimensión geométrica real. Es por eso que se utiliza el diámetro aerodinámico como un indicador del tamaño de la partícula, como se muestra en la **Ilustración 6** (SEMARNAT, 2011).

Ilustración 6 Tamaño de PM por su diámetro aerodinámico



Fuente: EPA, 2017.

El tamaño de las partículas es una característica importante, ya que entre más pequeño sea su diámetro aerodinámico mayor será su capacidad de penetrar a áreas más profundas del sistema respiratorio; por lo tanto, en función de esta característica, la clasificación de las partículas se divide en aquellas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras (PM₁₀) y aquellas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) (INECC, 2018).

- **PM₁₀**: son partículas inhalables, llegan a la región torácica del tracto respiratorio debido a que son suficiente pequeñas (INE, 2007). Pueden permanecer suspendidas en el aire por horas e incluso días.

Las PM₁₀ se conocen como partículas gruesas, pueden ser generadas por fuentes móviles como estacionarias, de manera natural o antropogénica (Villalobos, 2008). Son asociadas a la combustión no controlada de vehículos, industrias, pinturas; así como material biológico como polen, virus o bacterias (Tzintzun, 2005).

- **PM_{2.5}**: partículas inhalables finas, poseen una mayor área superficial. Llegan a los conductos más bajos de los pulmones y en los alvéolos.

Las PM_{2.5} se consideran como fracción fina de la PM₁₀; se forman por gases y por material proveniente de la combustión, generalmente son partículas

secundarias. Su permanencia es de períodos largos suspendidas en la atmósfera, viajando distancias más largas (INECC, 2018).

Son aquellas partículas inhalables de mayor penetración en el sistema respiratorio, están constituidas por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2,5 micrómetros, es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano y, por lo tanto, las más dañinas a la salud y las que por su tamaño (situado en el rango de longitudes de onda de la luz) interfieren con la dispersión de la luz contribuyendo a la disminución de la visibilidad (Quadri, 1992).

Su origen está principalmente en fuentes de carácter antropogénico como las emisiones de los vehículos diesel, a comparación de las partículas de mayor tamaño que pueden tener en su composición un importante componente de tipo natural, como partículas de polvo procedente (Linares C. , 2009).

Tanto las partículas finas como gruesas pueden ser primarias, debido a que son emitidas directamente por la fuente; sin embargo, de manera general se considera que las partículas finas son mayoritariamente secundarias, ya que una de sus características es su proceso de formación en la atmósfera a través de aspectos químicos (SEMARNAT, 2011).

Al ser clasificadas las partículas por su diámetro aerodinámico permiten determinar el transporte, procesos de remoción y deposición, así como la trayectoria de las partículas dentro del sistema respiratorio (SEMARNAT, 2011). Por ello el tiempo de permanencia de las partículas suspendidas en el aire depende principalmente de su tamaño (Canales-Rodriguez, 2014).

2.4.3.1 Efectos del PM_{2.5} sobre la salud

Los efectos negativos de las partículas suspendidas en la salud humana parecen haber existido desde tiempos muy remotos e históricamente, ya que se han analizado estudios relacionados con la exacerbación de enfermedades de tipo respiratorio, tales como la bronquitis, y más recientemente también se han analizado y demostrado sus efectos sobre dolencias de tipo cardiovascular. Los últimos trabajos científicos sugieren que este tipo de contaminación, y particularmente las partículas procedentes del tráfico urbano, está asociado con incrementos en la morbilidad de la población expuesta y al creciente desarrollo del asma y alergias entre la población infantil (Barraza-Villareal, 2008).

En el caso de las PM_{2.5}, su tamaño hace que sean 100% respirables ya que viajan profundamente en los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso pueden llegar al torrente sanguíneo. Así mismo están compuestas por elementos que son más tóxicos (como

metales pesados y compuestos orgánicos) que los que componen a las partículas más grandes (Linares C. , 2009).

La exposición al Material Particulado incluso ante cualquier contaminante a niveles por debajo de las normas internacionales y nacionales, pero sobre todo en niveles altos , se asocian con el incremento en la incidencia de enfermedades como asma, severidad en el deterioro de la función pulmonar, así como mayor gravedad en la presencia de enfermedades respiratorias a la población susceptible que la conforman niños, ancianos y mujeres embarazadas (Romero, 2006), entre otros síntomas comunes como la irritación ocular, tos, malestar en garganta y dolor de cabeza (Muñoz, 2005).

Dentro de los problemas hacia la salud por partículas finas o PM_{2.5}, sobresalen:

- La muerte prematura en personas con enfermedad cardíaca o pulmonar.
- Ataques cardíacos no mortales.
- Latido irregular del corazón.
- Agravamiento del asma.
- Disminución de la función pulmonar.
- Aumento de síntomas respiratorios, tales como irritación de las vías respiratorias, tos, sibilancias y disminución de la función pulmonar, incluso en niños y adultos sanos (Región de Murcia, s.f.)

Al estar en suspensión las partículas en el aire que se respira, éstas ingresan al sistema respiratorio del ser humano y como defensa del mismo, en los pulmones se produce mucosidad para atrapar las partículas y existen un tipo de pelitos llamados cilios que se mueven para expulsar la mucosidad que de igual manera contiene partículas al toser o estornudar (SIMAT, 2013).

2.4.3.2 Efectos de PM_{2.5} en el medio Ambiente

Como se ha mencionado anteriormente las PM_{2.5} cuando se emiten a la atmósfera, se transforman y se transportan a través de procesos atmosféricos, en cuanto a efectos al medio ambiente, al ser depositadas en la superficie terrestre provocan una serie de daños debido a todos los compuestos asociados a las partículas (INECC-SEMARNAT, 2015), entre los cuales está la degradación de bosques, lagos y suelos, daños a la vida silvestre, reducción en la fotosíntesis, cambios en la salinidad del suelo, en la salud humana y entre otras cosas, así como la corrosión de los materiales de los edificios o construcciones (SEMARNAT, 2011).

Los contaminantes atmosféricos pueden ser removidos por deposición húmeda y por deposición seca o absorción por superficies (Rubio, 2001). Las partículas PM_{2.5} no se remueven rápidamente, ya que llegan a viajar grandes distancias antes de su

eventual remoción que se lleva a cabo por deposición húmeda, el cual en este proceso se relaciona con las nubes y la lluvia o nieve, implicando una interacción de las gotas de agua con el Material Particulado ($PM_{2.5}$) presentes en la atmósfera, también se produce cuando las partículas son recogidas por las gotas de lluvia o nieve conforme estas caen (INECC, 2018; Rubio, 2001).

Durante su permanencia en la atmósfera, las partículas provocan diversos impactos al ambiente; uno de ellos es la disminución de la visibilidad debido a que se dispersan y absorben la luz o por formación de niebla, de igual manera se deteriora recursos como la vegetación y suelo (bosques y cultivos) por la reducción de la fotosíntesis y cambios en la salinidad del suelo, y en el agua al incrementar su acidez (INECC, 2018).

2.5 Contaminación atmosférica en los municipios de la RAMA-ZMVT por $PM_{2.5}$

Dado a su importancia de este contaminante y el impacto en la salud, la medición del $PM_{2.5}$ se ha incorporado cada vez a un mayor número de ciudades o zonas metropolitanas (INECC, 2013).

Para los municipios que integran la RAMA-ZMVT uno de los principales problemas de calidad de aire es debido al $PM_{2.5}$ y PM_{10} seguido del O_3 (ProAire, 2012). En especial dentro de la zona de estudio el $PM_{2.5}$ tienen registros a partir del 2011 que es cuando se empezó a medir.

Durante los últimos años las políticas en salud pública se han enfocado en la importancia del estudio de las partículas finas ($PM_{2.5}$) sin dejar a un lado las partículas gruesas (PM_{10}) debido a que las $PM_{2.5}$ tienen un efecto mayor en la salud humana a diferencia de las partículas más gruesas, como ya se hizo alusión con anterioridad. Su composición se establece por la presencia de sulfatos, nitratos, ácidos, metales y carbono negro; de igual manera poseen una mayor área superficial, ya que permanece por periodos más largos suspendidas en la atmósfera y viajan distancias más largas (INECC, 2018).

Los grupos con mayor susceptibilidad a las $PM_{2.5}$ son los niños, por su falta de madurez de su sistema respiratorio; y los adultos mayores ya que tienen un sistema respiratorio ya deteriorado (Zapata-Palacio, 2015). De igual manera otro grupo vulnerable son las mujeres embarazadas y personas con problemas respiratorios (Gómez-Comba, 2017). Por ello se deduce que los efectos de la contaminación del aire sobre la salud, están influenciadas por la edad y hábitos de vida o condición de salud de las personas expuestas, sin dejar de lado que los niveles de concentración y tiempo de exposición también influyen (Martín, 2005).

2.5.1 Fuentes de emisión de partículas PM_{2.5}

El PM ingresa a la atmósfera como partículas primarias entre una mezcla heterogénea de sólidos o líquidos suspendidas en el aire; y como partículas secundarias que continuamente varían en tamaño y composición química en el espacio y tiempo (Castro, 2010).

Algunas de las principales fuentes de emisión de partículas PM_{2.5} son:

- Procesos mecánicos de molienda, trituración o abrasión de materiales
- Evaporación de material volátil derivado de materiales sujetos a calentamiento
- Arrastre de partículas finas en flujos gaseosos
- Suspensión de suelos en cultivos y/o minería
- Actividades de construcción y demolición
- Cenizas de combustión de carbón no controlado, petróleo y madera, brisa marina (SEMARNAT, 2011).

2.5.2 Factores que influyen en la dispersión de PM_{2.5}

La concentración de los contaminantes atmosféricos depende de las condiciones de dispersión de la atmósfera, en particular existen factores determinantes en la dispersión de las PM_{2.5}. La dispersión tanto espacial como temporal está influenciada por características físicas y meteorológicas (turbulencias atmosféricas, velocidad y dirección del viento, radiaciones solares, etc.) de cada lugar (Gobierno de Aragón, 2014).

En los municipios que conforma la RAMA-ZMVT se encuentran dentro de un valle que no está cerrado por completo por barreras naturales como sucede en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), lo cual permite la circulación del viento se favorece la mayor parte del año y por consecuente el transporte y dispersión de los contaminantes (GEM, 2012).

Como se ha mencionado las variables meteorológicas influyen en la dispersión y variación de concentración del PM_{2.5} entre las cuales están la precipitación, dirección y velocidad del viento (GEM, 2007).

La precipitación es una de las variables que influye para la disminución de las concentraciones de PM_{2.5}, en lo cual consiste en la retención y arrastre de las partículas por parte de las gotas de lluvia limpiando la atmósfera (INE, 2007). En cuanto a la velocidad del viento mientras éste aumenta facilita la dispersión del PM_{2.5}, por otro lado, si las velocidades del viento son bajas tienden a facilitar la acumulación en la atmósfera (Silva-Vinasco, 2013).

Las partículas son dispersadas y removidas por factores tanto físicos como meteorológicos, sin embargo, el tamaño de éstas es un factor que determina el tiempo de permanencia en la atmósfera (SEMARNAT, 2011). Las PM_{2.5} por su tamaño tienden a ser muy solubles y su permanencia en la atmósfera tiende ser de días a semanas, lo cual les permite recorrer grandes distancias (Zuk, 2007).

Otro factor que afecta el tiempo de residencia de las partículas son sus propiedades termodinámicas, refiriéndose a la distribución de la masa entre la fase gaseosa y de aerosol, que depende de la humedad y temperatura (INECC, 2018).

2.5.3 Principales fuentes de emisión que influyen en las concentraciones de partículas PM_{2.5} en la RAMA-ZMVT

Como se ha mencionado anteriormente el nivel de contaminación en las ciudades se debe principalmente a actividades antropogénicas, como la actividad industrial y el parque vehicular (Camacho-García, 2008). Para el caso específico del municipio de Toluca las principales fuentes emisoras de PM_{2.5} son por fuentes móviles, erosivas, zonas agrícolas, caminos sin pavimentar, actividades de construcción y demolición, y tráfico vehicular (INECC, 2018).

Considerando que el PM_{2.5} se empezó a monitorear a partir del año 2011 en la ZMVT. Según GEM (2012), se emiten 6,968.3 toneladas ² de PM_{2.5} al año (SEMARNAT, 2008), siendo las principales fuentes que emitieron e influyeron en el registro de altas concentraciones de PM_{2.5} en la RAMA-ZMVT la combustión doméstica por el uso de leña, actividades de labranza y combustión agropecuaria con 81% del total de este contaminante para el año base. Las emisiones provenientes de fuentes fijas como la combustión en la industria del vidrio y automotriz representaron el 32% y 28% respectivamente, le siguieron en menor porcentaje vehículos privados, particulares y comerciales con el 9% (GEM, 2012). En la Tabla 10 se presenta las concentraciones de PM_{2.5} con base en los tipos de fuentes y porcentaje de emisión en la ZMVT para el año base 2008.

² Estimación para los 22 municipios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, para el año base 2008.

Tabla 10 Emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuentes en la ZMVT, año base 2008.

Fuente	PM_{2.5} (ton/año)	PM_{2.5} (%)
Fijas	677.9	10%
Moviles³	673.7	9%
Area	5, 616.7	81%
Total	6,968.3	100%

Elaboración propia con base en GEM, 2012 e información preliminar INEM, 2008

Como se observa en la tabla anterior, las fuentes con mayor emisión de partículas PM_{2.5} fueron las fuentes de área (combustión doméstica y labranza) con el 81%, seguido de las fuentes fijas (combustión en la industria vidrio y automotriz) con el 10%. Las fuentes de móviles emitieron una menor concentración de PM_{2.5} con el 9%.

La actividad industrial conforme al Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (2012), no contribuye en mayor medida con las emisiones de PM_{2.5}, no obstante, resulta importante considerar que es una de las actividades económicas predominantes en dos de los siete municipios de la RAMA-ZMVT que es Toluca y Lerma. Particularmente en el municipio de Toluca representa el 10.41% de los 96 parques industriales que se encuentran en el Estado de México (PMDUT, 2013-2015).

En la siguiente tabla se presentan los parques industriales localizados dentro de los municipios de Lerma y Toluca.

³Incluye las Emisiones de fuentes móviles no carreteras

Tabla 11 Parque Industriales en los municipios de Lerma y Toluca

Municipio	Parque industrial
<i>Lerma</i>	Corredor Industrial Lerma
	Microparque Industrial O'donnell Logistic
	Parque Industrial Cerrillo I
	Parque Industrial Cerrillo II
	Parque Industrial FRISA (Doña Rosa)
	Parque Industrial Lerma
<i>Toluca</i>	Parque Industrial El Coecillo
	Parque Industrial Exportec I
	Parque Industrial Exportec II
	Parque Industrial San Antonio Buenavista
	Parque Industrial San Cayetano
	Parque Industrial Toluca
	Parque Industrial Toluca 2000
	Parque Industrial Vesta Park Toluca
	Zona Industrial Toluca
	Prologis Park Toluca
Parque Industrial Inn	
<i>Total</i>	17

Elaboración propia con base en (Secretaría de Economía, 2017)

Con base en los datos reportados en (GEM, 2004) y la distribución de emisiones dentro de estos municipios, Toluca destaca con el mayor número de industrias, seguido por Lerma por lo cual respecto a sus emisiones generadas de las industrias asentadas en estos municipios son las principales generadoras de partículas COV, PM_{2.5}, PM₁₀, CO y NO₂.

Dentro de las actividades de los parques industriales de la ZMVT destacan los siguientes subsectores: productos alimenticios, bebidas y tabaco, textiles prendas de vestir e industrias de cuero, Industria de la madera y productos de la madera, incluyendo muebles, papel, productos de papel, imprentas y editoreales, sustancias químicas y productos de hule y/o plástico, productos minerales no metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión y otras Industrias manufactureras (GEM, 2004).

Respecto a las PM_{2.5} el mayor porcentaje proveniente de las fuentes fijas se deriva de la combustión en la industria del vidrio con el 32% y la industria automotriz con el 28%. En la siguiente Tabla 12 se presentan las emisiones de las fuentes fijas y por sector en la ZMVT de PM_{2.5} (año base 2008), la estimación de concentración se presenta en toneladas por año por lo cual corresponde a los 22 municipios respecto a GEM, 2012, ya que no se cuenta con la información específica de los siete municipios que conforma la RAMA-ZMVT.

Tabla 12 Emisiones PM_{2.5} por fuentes fijas y sector en la ZMVT

<i>Fuente fija y sector</i>	PM_{2.5} (ton/año)
<i>Petróleo y petroquímica</i>	13.1
<i>Química</i>	46.0
<i>Pinturas y tintas</i>	27.1
<i>Metalúrgica</i>	33.2
<i>Automotriz</i>	188.5
<i>Celulosa y papel</i>	49.0
<i>Vidrio</i>	217.6
<i>Generación de energía eléctrica</i>	24.3
<i>Fabricación de productos y artículos de plástico</i>	58.0
<i>Industria alimenticia</i>	4.5
<i>Industria textil</i>	4.8
<i>Asfalto y mezclas para pavimentación</i>	0.0
<i>Curtido y acabado de cuero y/o piel</i>	0.0
<i>Edición, encuadernación y/o impresión</i>	4.8
<i>Fabricación de productos y artículos metálicos</i>	1.8
<i>Total</i>	677.9

Elaboración propia con base en GEM, 2012.

Como se observa en la tabla anterior el sector de las fuentes fijas el que generó mayores emisiones de PM_{2.5} fue la Industria de vidrio con 217.6 toneladas al año, seguido de la Industria automotriz con 188.5 toneladas al año y finalmente la Industria de fabricación de productos y artículos de plásticos con 58.0 toneladas al año. El total de emisiones de PM_{2.5} por fuentes fijas fue de 677.9 toneladas al año.

La actividad industrial es uno de los sectores más productivos dentro del Estado de México, sin embargo las emisiones emitidas a la atmosfera generadas por este sector producen efectos tanto ambientales y de salud que debe adquirir importancia (GEM, 2018-2030).

El auge y consolidación del sector industrial en la ZMVT influyó para la construcción de infraestructura y vías de comunicación, las cuales también juegan un papel importante para el desarrollo económico sin dejar a un lado las emisiones de partículas PM_{2.5} hacia la atmósfera. Por lo cual las vialidades conectan a las zonas de importancia económica, como las zonas industriales y el centro, lo cual ocasiona una mayor carga de tránsito vehicular implicando procesos de combustión por el combustible de los vehículos (PMDUT, 2013-2015).

Por ello cabe destacar y mencionar las principales vialidades alrededor de la RAMA-ZMVT que son: Prolongación Av. Isidro Fabela, Paseo Adolfo López Mateos, Vía Alfredo del Mazo, Vía José López Portillo, Paseo Tollocan, Paseo Colón, Calzada al Pacífico, Av. Salvador Díaz Mirón, Av. Tecnológico, Av. de las Partidas-Zona Industrial-Lerma-El Cerrillo (GEM, 2012).

La mayoría de estas vialidades de la ZMVT son altamente transitadas por el parque vehicular y suelen saturarse, lo cual da lugar a puntos de conflicto vial. Cabe mencionar en la siguiente Tabla 13 los principales puntos de conflicto en las vialidades de la RAMA-ZMVT que frecuentemente se congestionan.

Tabla 13 Principales Vialidades y sus puntos de conflicto vial alrededor de la RAMA-ZMVT

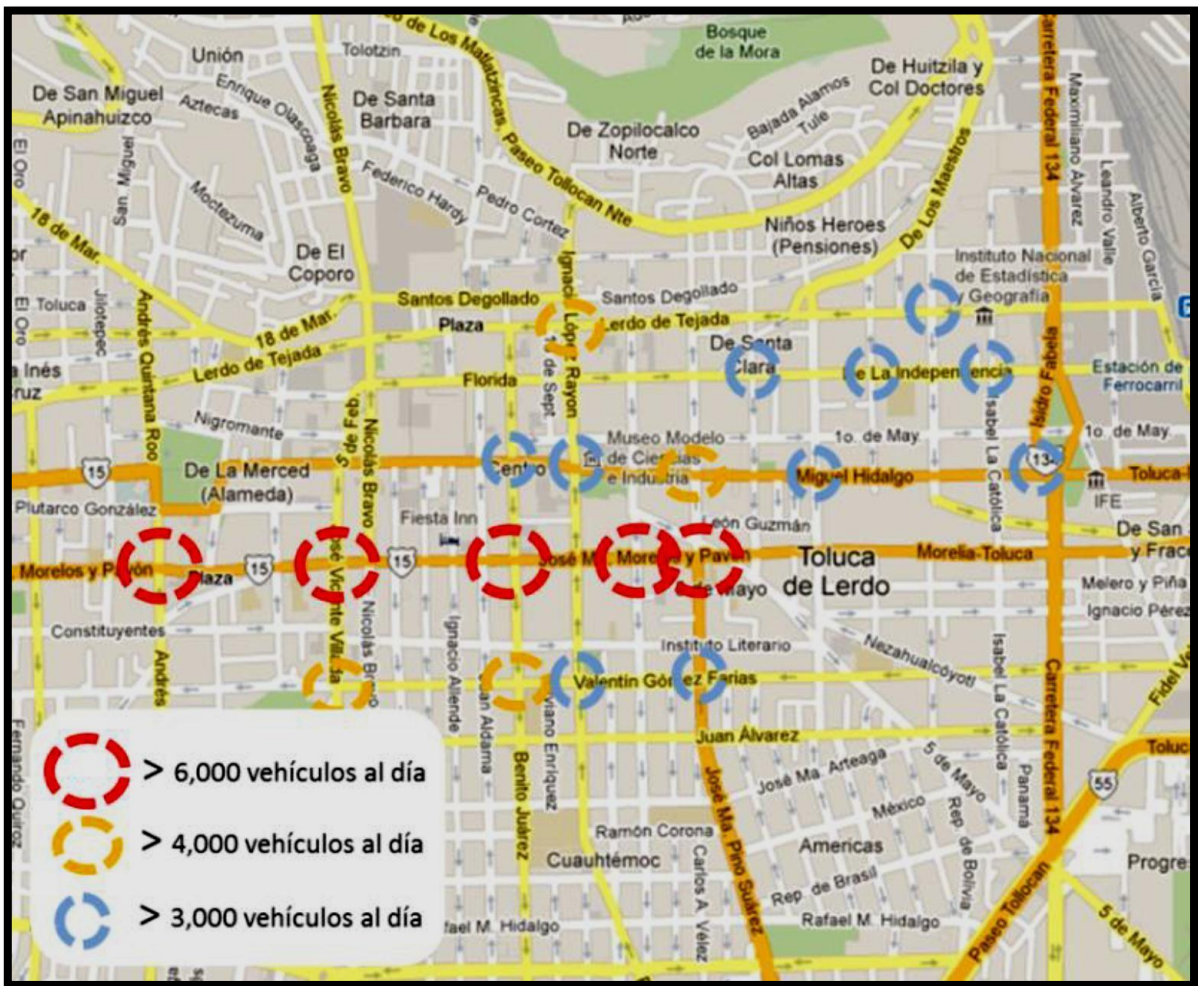
<i>Vialidad</i>	Punto de conflicto vial
<i>Paseo Adolfo López Mateos</i>	Torres chicas
	Paseo Vicente Guerrero
<i>Las Torres</i>	Laguna del Volcán
	Heriberto Enríquez
	José María Pino Suárez
	5 de Mayo

	Salvador Díaz Mirón
	Pase Colón
<i>Paseo Tollocan</i>	José María Pino Suárez
	5 de Mayo
	Salvador Díaz Mirón
	Heriberto Enríquez
	Isidro Fabela
<i>Alfredo del Mazo</i>	José López Portillo
	Paseo Lombrado Toledano
	Paseo Tollocan
<i>José María Morelos</i>	José Vicente Villada
	Ignacio López Rayon
	Benito Juárez
	Isidro Fabela
<i>Miguel Hidalgo</i>	Ignacio López Rayón
	Benito Juárez
	Isidro Fabela
<i>Isidro Fabela</i>	Filiberto Gómez
	Río Papaloapan
	Primero de Mayo
	Indipendencia
<i>Independencia</i>	Sebatían Lerdo de Tejada
	Ignacio López Rayón
<i>Sebastián Lerdo de Tejada</i>	Isidro Fabela
	Benito Juárez
<i>Heriberto Enríquez</i>	Ignacio López Rayón
	Paseo Vicente Guerrero
	Ceboruco

Elaboración propia con base en PMDUT, 2013-2015.

La ZMVT ha conformado un centro urbano de servicios especializados y financieros, por ello incremento el flujo vehicular en todos sus tipos (vehículos particulares, transporte público, de carga e industriales). En la siguiente Ilustración 7 se muestran los puntos de conflicto vial y flujo de vehículos que circulan al día alrededor de la RAMA-ZMVT.

Ilustración 7 Puntos de conflicto vial y carga vehicular en las principales vialidades alrededor de la RAMA-ZMVT



Fuente: PMDUT, 2013-2015.

A pesar de la construcción de pasos vehiculares en las laterales para que el tránsito vehicular sea fluido, se siguen presentando problemas en las avenidas principalmente sobre el circuito Toluca, en el tramo del corredor Industrial Toluca-Lerma (PMDUT, 2013-2015), existiendo la posibilidad que en esta zona se generen emisiones considerables de PM_{2.5} debido al flujo de vehículos e industrias establecidas en la zona.

La Tabla 14 se muestran las emisiones de PM_{2.5} procedentes de fuentes móviles en la RAMA-ZMVT para el año base 2008. La estimación de las concentraciones se presentan en toneladas por año.

Tabla 14 Emisiones por fuentes móviles de PM_{2.5} en la RAMA-ZMVT,2008

<i>Fuente móvil</i>	PM_{2.5} (ton/año)
Autobuses de transporte urbano	50.7
Autos particulares	64.1
Camionetasde transporte público	1.0
Camionetas Pick-up	8.0
Motocicletas	0.2
Taxis	12.5
Tractocamiones	12.4
Vehículos mayor a tres toneladas	2.6
Vehículos menor a tres toneladas	326.5
Microbuses	27.8
Total	673.7

Elaboración propia con base en GEM, 2012.

Como se observa en la Tabla 14, las fuentes que generaron mayores emisiones de PM_{2.5} en el año base 2008 fueron los vehículos menores a tres toneladas, seguido de los autos particulares y por último por autobuses. Siendo las emisiones totales por fuentes móviles de 673.7 toneladas por año.

Capítulo 3

Marco

Normativo

Capítulo 3.- Marco Normativo

En este capítulo se aborda la normatividad ambiental en cuanto a contaminación atmosférica, se remontan artículos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente (LGEEPA), y el Código para la Biodiversidad del Estado de México, así como algunas Normas Oficiales Mexicanas (NOM's).

3.1 Marco jurídico sobre contaminación atmosférica por PM_{2.5}

Desde sus orígenes, la acción humana ha introducido cambios en procesos ecológicos, y lo que empezó como un conjunto de pequeñas alteraciones puntuales terminó por adquirir una dimensión global. Ante esto se ha adquirido una conciencia mundial en torno a la protección del medio ambiente, para garantizar un ambiente favorable para las generaciones actuales y futuras. En relación con lo anterior, en las últimas décadas se ha forjado una normatividad ambiental prácticamente en todos los países (SEMARNAT, 1999).

La contaminación atmosférica no es la misma en todas partes. Los diferentes contaminantes liberados a la atmósfera proceden de fuentes muy diversas. Una vez en la atmósfera, pueden transformarse en nuevos contaminantes y dispersarse por todo el mundo. Diseñar y aplicar políticas para hacer frente a esta complejidad no es tarea fácil. En México se cuenta con instrumentos jurídicos en relación con el ambiente, de manera más específica en materia para la prevención y control de la contaminación del aire; cuenta con leyes y reglamentos existentes tanto a nivel Federal como Estatal. Entre éstos se encuentra la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), el Reglamento de la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica; así como las Normas Oficiales Mexicanas en materia de contaminación atmosférica. Instrumentos fundamentados en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en los artículos 4, 27 y 73 que toman en cuenta el ambiente.

En la siguiente Tabla 15 se describen aspectos con relación a la contaminación atmosférica establecidos en los instrumentos mencionados anteriormente.

Tabla 15 Marco jurídico en materia de contaminación atmosférica

<p><i>Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos</i></p>	<p>Artículo 4. Reconoce el derecho de toda persona a desarrollarse en un ambiente digno y sano, y quien genere algún daño ambiental tendrá responsabilidad sobre el mismo.</p> <p>Artículo 27. Establece los lineamientos para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales</p> <p>Artículo 73. Determina la facultad a los niveles Federal, Estatal y Municipal, para expedir leyes y reglamentos para la protección, preservación y restauración ambiental del equilibrio ecológico (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2018).</p>
<p><i>Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)</i></p>	<p>En cuestión ambiental a nivel Federal como máxima Ley se encuentra la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), publicada el 28 de enero de 1998 en el Diario Oficial de la Federación. Tiene por objetivo promover el desarrollo sustentable a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer las bases para prevenir y controlar la contaminación del aire, agua y suelo; entre otros temas ambientales. • Consta de cinco títulos, el cuarto es sobre “Protección al Ambiente” en donde se establece medidas de protección a medios específicos tales como aire, agua y ecosistemas acuáticos, entre otros. Dentro de este el Capítulo II: Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, aborda temas a fines de la contaminación atmosférica. <p>Este capítulo comprende de los artículos 110 al 116, en ellos se considera criterios para la protección de la atmósfera, tales como calidad del aire y emisiones de contaminantes, se establecen las facultades que tiene la Secretaría para controlar, reducir o evitar la contaminación atmosférica; facultades y obligaciones de los gobiernos de los Estados y Municipios en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica; se deben tomar en cuenta las previsiones de la LGEEPA, disposiciones reglamentarias que de ella emanen, así como las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría en cuanto a las emisiones de contaminantes; promover el uso de energías limpias (LGEEPA, 2012).</p> <p>La LGEEPA tiene cuatro reglamentos para aspectos ambientales diferentes, uno de ellos y de interés para este caso es el reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica que se integra de cuatro capítulos en los cuales se establece las pautas para el cumplimiento del</p>

Código para la Biodiversidad del Estado de México.

capítulo II de la LGEEPA; así como las competencias del nivel, Federal, Estatal y Municipal, en función de fuentes de emisiones, así como las medidas de control, seguridad y sanciones (Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, 2014).

A nivel estatal, cada municipio cuenta con sus propias normas y reglamentos de protección al ambiente, para este caso del Estado de México, el Código para la Biodiversidad es el que rige la normatividad ambiental.

El Código para la Biodiversidad está conformado por ocho Libros, dentro de éstos se destina uno que habla de Contaminación Atmosférica. El Libro Segundo: Del equilibrio ecológico, la protección al ambiente y el fomento al desarrollo sostenible, Título quinto: de la protección al ambiente, Capítulo II: De la prevención y control de la contaminación atmosférica que abarca del artículo 2.140 los artículos 2.140 hasta el 2.150 en donde se estipula la regulación de contaminantes nocivos hacia la salud del ser humano y al medio ambiente, lineamientos que deben emplear y apegarse las fuentes emisoras de contaminantes, así las obligaciones que tienen las personas físicas o jurídicas que operan sistemas de producción industrial; criterios que se toman en cuenta para la prevención y control de la contaminación de la atmósfera; así como las facultades que tiene la Secretaría y los municipios en esta materia (El Código para la Biodiversidad del Estado de México, 2005).

Fuente: Elaboración propia, con base en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Código para la Biodiversidad del Estado de México.

3.2 Normas Oficiales Mexicanas y estándares aplicables de PM_{2.5} en México

Desde la década de los 80 y 90's se han documentado estudios sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana en lugares que han registrado altos niveles de contaminación (OMS, 2018).

Las normas o estándares para los contaminantes se emiten con el objetivo de establecer los límites máximos y mínimos para sus emisiones provenientes de diversas fuentes, o bien, las concentraciones ambientales bajo las cuales se puede considerar que hay una buena calidad del aire. De forma más puntual son regulaciones técnicas, con la finalidad de establecer las características que deben reunir los procesos o servicios cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana; así como aquellas relativas a terminología y las que se refieran a su cumplimiento y aplicación (INECC, 2018).

En México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la dependencia encargada de establecer normas que señalen los límites de emisión de partículas para diferentes fuentes. Sin embargo, en el país no existe una norma específica de emisión para partículas PM_{2.5}. En cambio, existen normas de emisión para partículas totales en procesos específicos, así como para vehículos nuevos de varios pesos y que queman diferentes combustibles, para fuentes fijas y para aquellas fuentes que queman combustibles fósiles; como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16 Normas mexicanas que establecen los niveles máximos de emisión de partículas a la atmósfera para diferentes tipos de fuentes.

Norma	Aplicación
Emisiones de fuentes fijas	
NOM-040-SEMARNAT-2002: Protección Ambiental-Fabricación de Cemento Hidráulico-Niveles Máximos de Emisión a la Atmósfera	Aplicable a las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento hidráulico, y que utilicen combustibles convencionales o sus mezclas con otros materiales o residuos que son combustibles.
NOM-043-SEMARNAT-1993: Niveles Máximos Permisibles de Emisión a la Atmósfera de Partículas Sólidas Provenientes de Fuentes Fijas	Aplicable a las fuentes fijas que emitan partículas sólidas a la atmósfera, con la excepción de las que se rigen por normas oficiales mexicanas específicas.
NOM-085-SEMARNAT-1994: Fuentes Fijas que Utilizan Combustibles Fósiles, Líquidos o Gaseosos o Cualquiera de sus Combinaciones. Niveles Máximos Permisibles de Emisión a la Atmósfera de Humos, Partículas Suspendidas Totales, Bióxido de Azufre y Óxidos de Nitrógeno. Requisitos y Condiciones para la Operación de los Equipos de Calentamiento o Indirecto por Combustión, así como Niveles Máximos Permisibles de Emisión de Bióxido de Azufre en los Equipos de Calentamiento Directo por Combustión	Aplicable para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles, líquidos y gaseosos o cualquiera de sus combinaciones para el uso de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los equipos de generación eléctrica que utilizan la tecnología de ciclo combinado.

<p>NOM-097-SEMARNAT-1995: Límites Máximos Permisibles de Emisión a la Atmósfera de Material Particulado y Óxidos de Nitrógeno en los Procesos de Fabricación de Vidrio en el País</p>	<p>Se aplica a la industria vidriera que cuente con hornos de fundición de vidrio con capacidad superior a 5 t/día.</p>
<p>NOM-105-SEMARNAT-1996: Niveles Máximos Permisibles de Emisiones a la Atmósfera de Partículas Sólidas Totales y Compuestos de Azufre Reducido Total Provenientes de los Procesos de Recuperación de Químicos de las Plantas de Fabricación de Celulosa</p>	<p>Se aplica a los procesos de recuperación de químicos en la fabricación de celulosa.</p>
<p>Emisiones de fuentes móviles</p>	
<p>NOM-O42-SEMARNAT-2003: Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Emisión de Hidrocarburos Totales o No Metano, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno y Partículas provenientes del Escape de los Vehículos Automotores Nuevos Cuyo Peso Bruto Vehicular no Exceda los 3,857 Kilogramos, que Usan Gasolina, Gas Licuado de Petróleo, Gas Natural y Diesel, así como de las Emisiones de Hidrocarburos Evaporativos Provenientes del Sistema de Combustible de Dichos Vehículos</p>	<p>Se aplica tanto a los vehículos nuevos fabricados en México, como a los fabricados en otros países que se importen definitivamente en el territorio nacional.</p>
<p>NOM-044-SEMARNAT-2006: Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Emisión de Hidrocarburos Totales, Hidrocarburos No Metano, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno, Partículas y Opacidad de Humo Provenientes del Escape de Motores Nuevos que Usan Diesel como Combustible y que se Utilizarán para la propulsión de Vehículos Automotores Nuevos con Peso Bruto Vehicular mayor a los 3,857 Kilogramos, así como para Unidades Nuevas con Peso Bruto Vehicular Mayor a 3.857 Kilogramos Equipadas con este Tipo de Motores</p>	<p>Es aplicable para los fabricantes, importadores y ensambladores de los motores nuevos que usan diesel como combustible</p>

Fuente: NOM- Normas Oficiales Mexicanas. Disponibles en el sitio web: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nomsxmateria.aspx>

3.2.1 Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014

La Secretaría de Salud es la dependencia encargada del establecimiento de normas para cuidar la calidad del aire en nuestro país, publicadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF) (RAMA, 2018). Originalmente, esta dependencia emitió en 1994 normas de calidad de aire enfocadas en los contaminantes criterio. La Norma Oficial Mexicana NOM-024-SSA1-1993 fue una de las normas en la que se estableció el valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente. En ese mismo año se publicó la NOM-025-SSA1-1993 para las partículas PM_{10} , y posteriormente se combinaron las dos normas anteriores y se incluyó el límite máximo permisible para $PM_{2.5}$ ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de promedio anual y $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor máximo promedio de 24 de horas) en la NOM-025, que se publicó en el Diario Oficial de la Federación en 2005.

Para el año 2014 estos algoritmos para el ozono y partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ se actualizaron a raíz de la modificación de las Normas NOM-020-SSA1-2014 y NOM-025-SSA1-2014 por acuerdo con la CAME (Comisión Ambiental Mega metropolitana) y entraron en vigor a partir del 18 de octubre de 2014, vigentes hasta que no se publique una actualización a la Norma para el cálculo del índice. En donde los Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire ambiente y criterios para su evaluación, se modifican en el $PM_{2.5}$ quedando como límite de 24 horas es menor o igual que $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y un límite anual de los valores diarios es menor o igual que $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (DOF, 2014).

México para la formulación de las normas, se basó en criterios adoptados en otros países, ya que no contaba con la infraestructura ni con la información suficiente para establecer y fundamentar los estándares adecuados para la protección de la salud. Sin embargo, al paso de los años se ha generado más información sobre los efectos de las $PM_{2.5}$ y otros contaminantes, ajustando las NOM's; pero es necesario trazar medidas más exigentes para el control de las fuentes de emisión y mantener la vigilancia de su cumplimiento, por ello los límites máximos permisibles en México están por encima a los recomendados por organismos internacionales como la OMS (Vega, 2004).

3.2.1.1 Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993

La aplicación de la NOM-025-SSA1-2014 va de la mano con la NOM-035-SEMARNAT-1993; estableciendo los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición (NOM-025-SSA1-2014, 2014).

3.3 Normatividad de otras regiones o países

Desde 1987 la Organización Mundial de la Salud ha publicado directrices sobre la calidad del aire fundamentadas en investigaciones científicas (OMS, 2018). La Organización Mundial de la Salud ha publicado guías de la calidad del aire, en donde brinda orientación e información a las autoridades para el diseño de la normatividad nacional con relación a los contaminantes criterio y la reducción de los efectos sobre la salud en relación con la contaminación del aire (OMS, 2018).

En relación con los valores para partículas $PM_{2.5}$ que están en función de la exposición breve (24 horas); y prolongada (media anual), se establece con relación a la OMS un valor de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como límite para la concentración promedio de 24 horas, y $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como límite para la concentración promedio anual (WHO, 2006).

Otros estándares que se presentan en esta sección son los dados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA), organismo federal de los Estados Unidos que tiene como misión resolver problemas ambientales, el cual establece normas en relación con la calidad de aire para diferentes contaminantes en aquel país (Dickson, 2000), para $PM_{2.5}$ el estándar de 24 horas con un valor de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como límite para la concentración promedio anual (Environmental Protection Agency, 2006).

Por otro lado, la Comunidad Europea (UE) también ha planteado objetivos de calidad de aire a largo plazo para reducir los niveles de contaminación atmosférica específicamente para la protección de la salud y del ambiente (EEA, 2018).

La Unión Europea (UE) tiene diferentes niveles de actuación legislativa para mejorar la calidad del aire:

- Mantiene la cooperación entre los sectores encargados de la contaminación atmosférica y autoridades nacionales y regionales; con organizaciones no gubernamentales y con la comunidad científica.
- Emite la normatividad ambiental pertinente a través de la Comisión Europea (EC, *European Commission*), la cual expide las políticas y la legislación en materia de protección de la calidad del aire, vigilar su cumplimiento por parte de los países de la Unión Europea (EC, 2017).

En el desarrollo de su normatividad para regular la concentración de $PM_{2.5}$ ha establecido el valor máximo permisible de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la concentración promedio anual, y de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio anual de tres años como un indicador de exposición para la población (European Commission Environment, 2008).

Para finalizar en la siguiente Tabla 17 de manera resumida se muestra los límites máximos permisibles (LMP) de $PM_{2.5}$ en la norma mexicana y en las normas de otros países.

Tabla 17 LMP de las normas para partículas $PM_{2.5}$ en México y el mundo.

Contaminante		OMS	EPA	UE	México
$PM_{2.5}$	Promedio 24 horas	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio anual	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Elaboración propia con base en (WHO, 2006; Environmental Protection Agency, 2006; European Commission Environment, 2008).

Cabe destacar que los valores de LMP para $PM_{2.5}$ en la NOM están por encima del LMP en otros países, a pesar de ello los límites como tal no aseguran una protección total a la salud de la población expuesta, debido a que la posibilidad de los efectos adversos en la salud persiste aún cuando se alcanza el valor establecido en las normas (OMS, 2018).

Capítulo 4

Marco

contextual

Capítulo 4 Marco contextual

En el presente capítulo se abordarán algunas características físicas y aspectos socioeconómicos de los municipios que conforma la RAMA-ZMVT para contextualizar el objeto de estudio. En el primer apartado corresponde a la localización de la RAMA-ZMVT, en el segundo apartado abarca las características físicas propias de la RAMA-ZMVT tales como el relieve, clima, meteorología y dinámica de vientos. En el tercer apartado se describen los aspectos socioeconómicos de la RAMA-ZMVT como la dinámica poblacional, distribución de la población sensible, actividades económicas, vías de comunicación y los usos de suelo.

4.1 Localización

La ZMVT comprende 22 municipios, de éstos sólo 7 municipios se toman como referencia para el tema de calidad del aire los cuales comprenden: Xonacatlán, Lerma, Ocoyoacac, San Mateo Atenco, Metepec, Toluca y Zinacantepec. Esto se debe ya que la Rama se localiza en la parte centro del Estado de México, por lo tanto, su cobertura es limitada, además de la constante dinámica e interacción entre la orografía y dirección del viento, que son variables importantes en el tema de contaminación atmosférica (GEM, 2012).

De igual manera, estos siete municipios presentan una mayor dinámica urbana y la concentración de actividades económicas que deterioran la calidad de aire. Juntos abarcan un total de 1,208.55 km² que corresponde al 5.3% del territorio estatal, en tanto que su superficie total urbana comprende 315.80 km² del territorio estatal (GEM, 2007).

Para fines de la presente investigación se trabajará con los siete municipios ya mencionados y considerando las siete estaciones de monitoreo por la RAMA-ZMVT.

En la siguiente Tabla 18 se presenta la cabecera municipal de cada municipio, así como la superficie en km² y el porcentaje que abarca, cada uno de los siete municipios que conforman la RAMA-ZMVT.

Tabla 18 Municipios considerados para la calidad del aire en la ZMVT

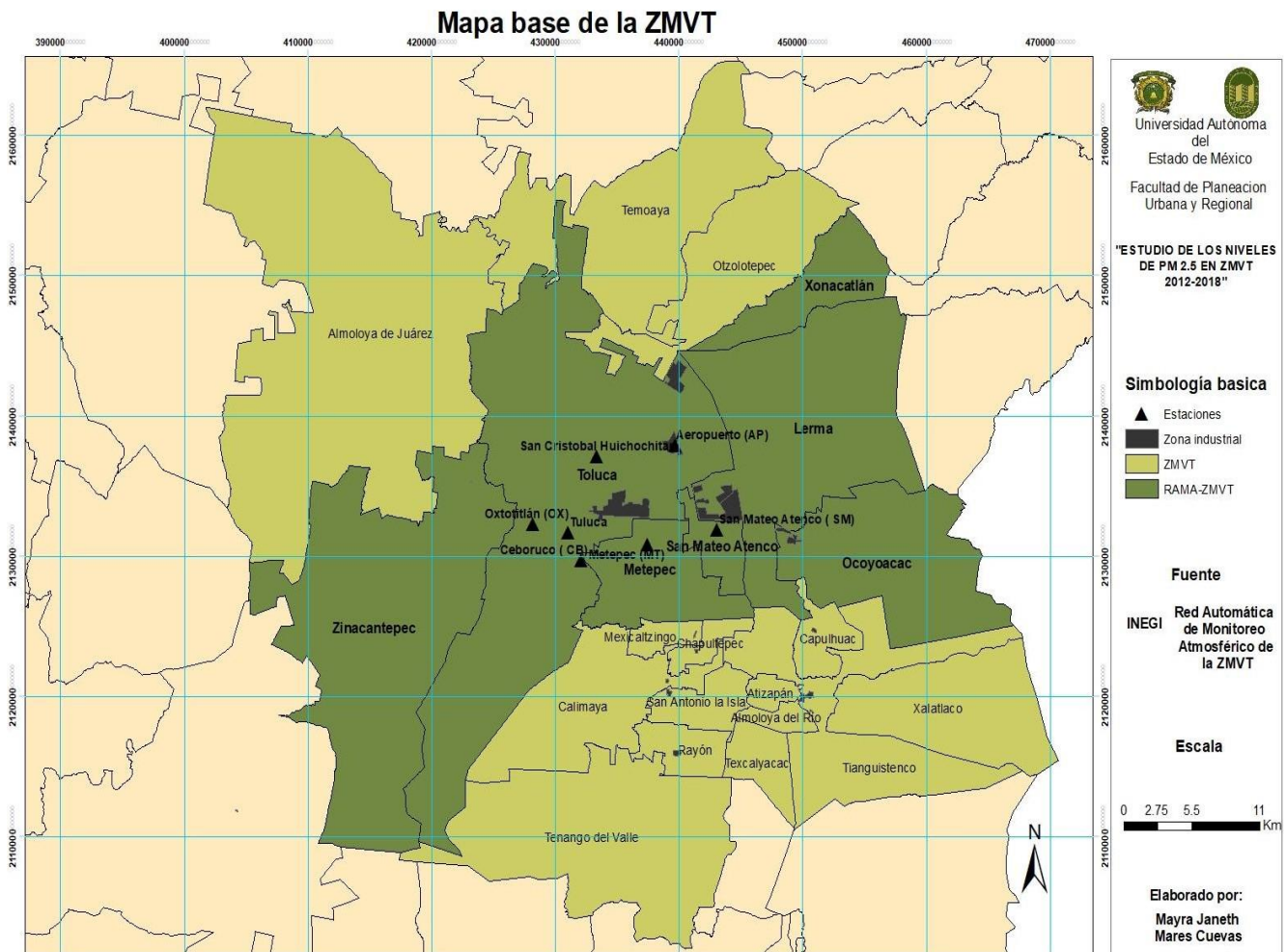
No.	Municipio	Cabecera municipal	Superficie (km ²)	%
1	Lerma	Lerma de Villada	228.64	19.0
2	Metepec	Metepec	70.43	5.9
3	Ocoyoacac	Ocoyoacac	134.71	11.2
4	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	12.58	1.0
5	Toluca	Toluca Lerdo	420.14	35.0

6	Xonacatlán	Xonacatlán de Vicencio	32.87	2.7
7	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	309.18	25.1
<i>Total</i>			1,208.55	100.00

Elaboración propia con base en GEM,2007.

En la Ilustración 8 se presenta la localización de los siete municipios considerados para la calidad del aire y las estaciones de la RAMA-ZMVT.

Ilustración 8 Mapa de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca



Elaboración propia con base en INEGI, 2018.

Como se observa en la ilustración la zona de estudio colinda al norte con los municipios de Almoloya de Juárez, Temoaya y Otzolotepec. Al sur colinda con los municipios de Tenango del Valle, Calimaya, Mexicaltzingo, Capulhuac, entre otros.

4.2 Aspectos del Medio Natural

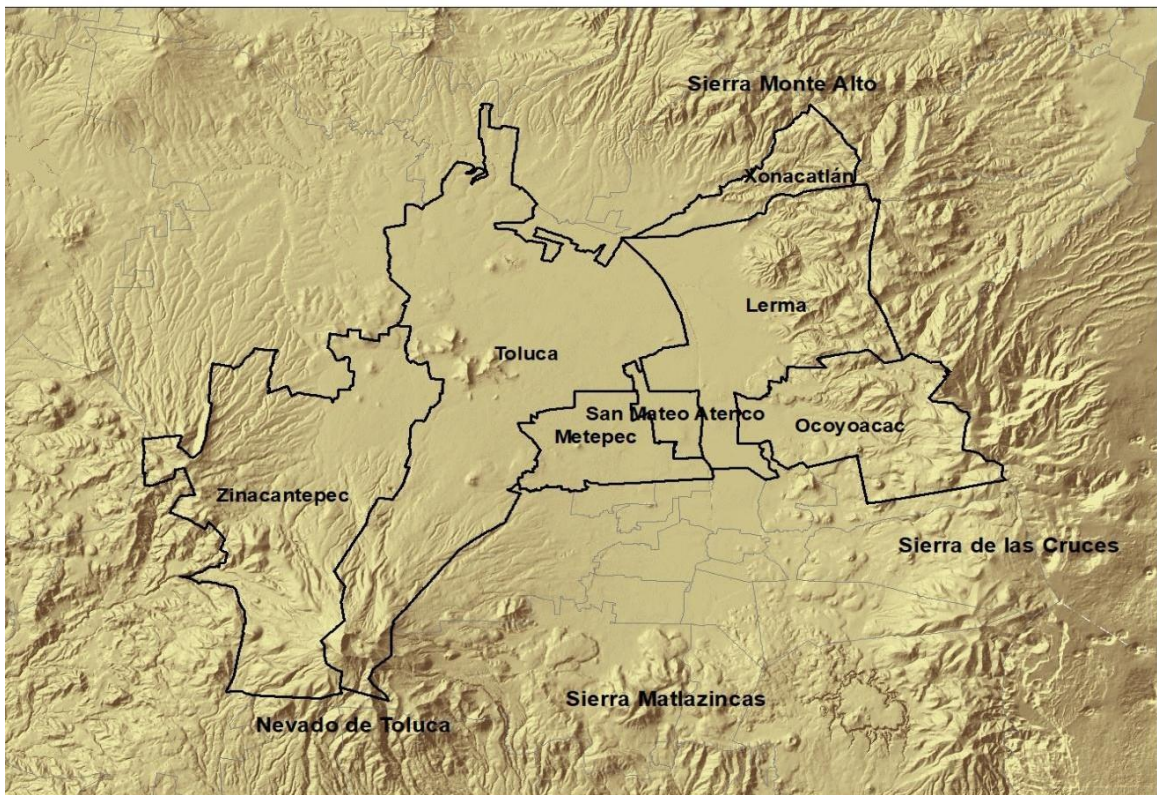
En este apartado las características físicas del medio natural que se abordaran son: orografía y relieve, clima, meteorología y dinámica de vientos, ya que son los aspectos más relevantes para el objeto de estudio. Debido a que la dispersión de contaminantes depende de estos factores.

4.2.1 Orografía y Relieve

Los municipios que abarcan la RAMA-ZMVT está rodeada por grandes sierras y volcanes, las principales e importantes que se encuentran son: al suroeste, la Sierra Nevado de Toluca; al este, la Sierra de las Cruces y Sierra de Ocoyotepec; al noreste, la Sierra de Monte Alto y al sur, la Sierra Matlazinca; además se encuentran en forma aislada algunas elevaciones, entre las que destaca, el volcán Molcajete en la Sierra Morelos (GEM, 2012).

En la Ilustración 9 se observan las principales elevaciones dentro de los siete municipios de la RAMA-ZMVT.

Ilustración 9 Principales elevaciones dentro de los municipios de la RAMA-ZMVT



Elaboración propia con base en INEGI, 2018

El volcán Nevado de Toluca, el cerro la Calera y el volcán Gordo ubicados en el municipio de Zinacantepec, funcionan de manera determinante en la dinámica del viento del valle, a partir de los sistemas de baja y alta presión que se generan sobre esta región (GEM, 2012).

Por otro lado, abarcando los municipios de Xonacatlán y Lerma, se encuentra la parte que corresponde a la Sierra de Monte Alto, entre las principales elevaciones está el cerro Xeshadi, y en la Sierra de las Cruces destacan el cerro El Gavilán, y los volcanes: La Palma y La Campana, los cuales conforman una obstrucción considerable para los vientos alisios a su arribo sobre este valle (GEM, 2012).

En la Tabla 19 e ilustración 8 se presentan las elevaciones que por su altitud influyen en la dinámica de los vientos de los siete municipios considerados para la calidad del aire.

Tabla 19 Elevaciones de los municipios de la RAMA-ZMVT

<i>Municipio</i>	Elevación	Ubicación	Altura (m.s.n.m)
<i>Lerma</i>	La Campana	Sierra Monte Alto	3300
<i>Lerma</i>	Xeshadi	Sierra Monte Alto	3400
<i>Ocoyoacac</i>	El Gavilán	Sierra de las Cruces	3000
<i>Toluca</i>	Molcajete	Sierra Morelos	2900
<i>Toluca</i>	El Olimpo	Nevado de Toluca	4600
<i>Toluca</i>	Pico de Fraile	Nevado de Toluca	4600
<i>Zinacantepec</i>	Volcán Gordo	Nevado de Toluca	3700
<i>Zinacantepec</i>	La Calera	Nevado de Toluca	3740

Fuente: GEM,2012.

La orografía y relieve influyen en la dispersión o acumulación de los contaminantes, debido a que éstas formaciones determinan el flujo y dirección del viento. Los lugares que se encuentran rodeados por sierras u otras elevaciones permiten la concentración de contaminantes, en comparación con lugares libres de elevaciones el aire circula sin problema llevándose consigo tales contaminantes.

4.2.2 Clima

En la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García, están presentes tres tipos de clima: templado húmedo, semifrío subhúmedo y frío.

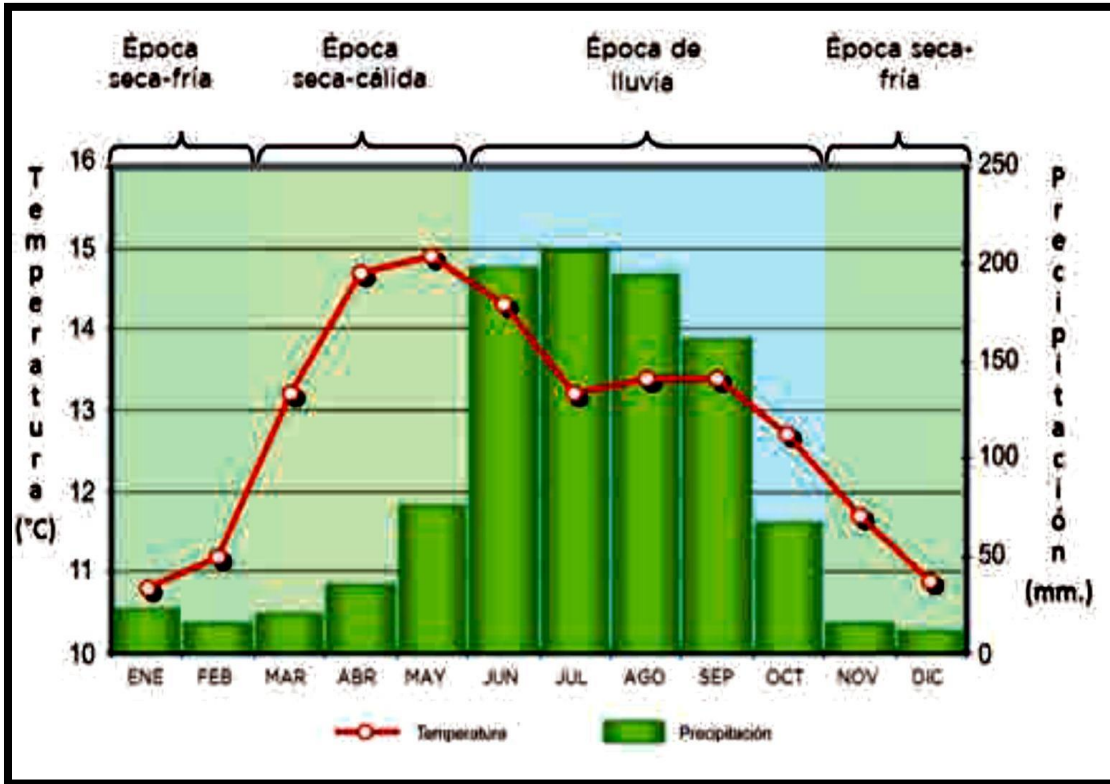
- El **clima templado húmedo** [C(W2)(w)b(i)g] abarca la mayor parte de los municipios que corresponden a la RAMA-ZMVT.
- El **clima semifrío** [C(E)] presenta dos subtipos: El semifrío subhúmedo [C(E)(W2)(w)b(i)g], característico de aquellas zonas con altitud considerable, como el Nevado de Toluca, la Sierra de Monte Alto y la Sierra de las Cruces y el semifrío húmedo [C(E)(m)(w)b(i)g], que se localiza solamente en una porción del municipio de Xalatlaco.
- El **clima frío** [E(T) H], es característico de zonas altas, como en el volcán Nevado de Toluca (GEM, 2012).

Se presentan tres épocas climatológicas:

- a) **Época seca-fría** (noviembre-febrero): temperatura promedio mensual más baja durante el año con un rango entre 9° y 11°C.
- b) **Época seca-cálida** (marzo-mayo): presenta un ascenso en la temperatura llegando a los 15°C, siendo la temperatura máxima a lo largo del año. La precipitación pluvial es inferior a los 40 mm de precipitación.
- c) **Época de lluvia** (junio a octubre): las precipitaciones tienen un rango entre 160 y 210 mm. La temperatura de esta época presenta un decremento para mantenerse entre los 11° y 13°C (GEM, 2012).

La siguiente Ilustración 10 muestra el climograma de las épocas climatológicas que se manifiestan en la zona de estudio.

Ilustración 10 Climograma de la RAMA-ZMVT



Fuente: GEM, 2012.

4.2.3 Meteorología

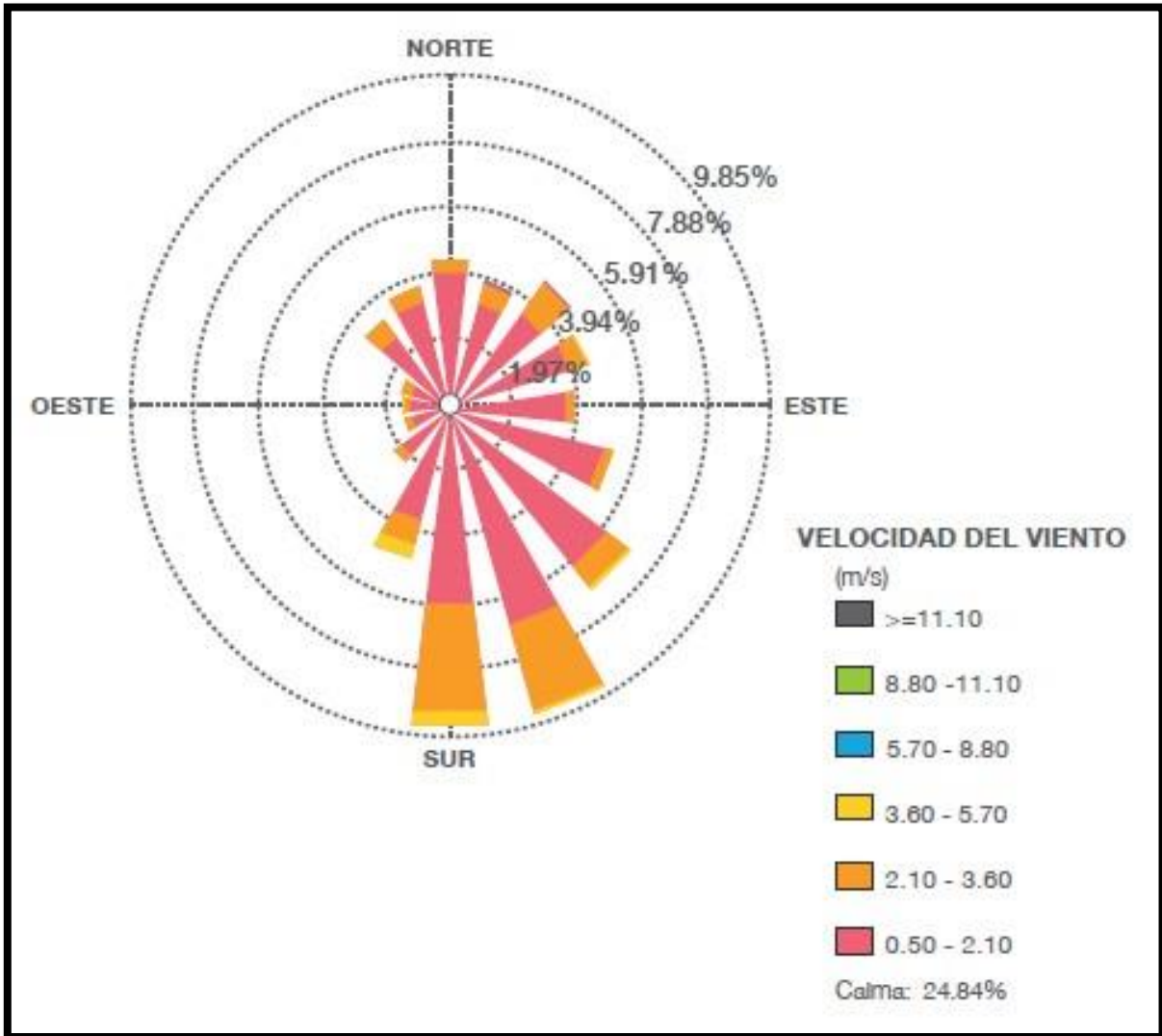
Por su posición geográfica con respecto al territorio nacional los siete municipios que abarca la RAMA-ZMVT, se encuentra bajo la influencia de sistemas meteorológicos tropicales durante la época de lluvia, que comprende los meses de junio-octubre; el constante paso de ondas y ciclones tropicales que se presentan en este lapso de tiempo aportan la humedad más relevante del año; lo que contribuye significativamente a la remoción de los contaminantes presentes en la atmósfera (GEM, 2012).

En la época seca fría que ésta presente en los meses de noviembre a febrero, los sistemas meteorológicos que predominan es el desplazamiento de frentes fríos y masas de aire polar; cuando son intensos estos fenómenos, la Zona Metropolitana del Valle Toluca se ve afectada con sistemas anticiclónicos (tiempo atmosférico estable y seco) que pueden generar inversiones térmicas, originando condiciones desfavorables para la dispersión de los contaminantes (GEM, 2012). Una característica importante que presenta la zona de estudio es que ésta no se encuentra cerrada por completo por barreras naturales como sucede en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), así mismo favorece la circulación del

viento la mayor parte del año y por ende el transporte y dispersión de los contaminantes (GEM, 2012).

En la Ilustración 11 se presenta la rosa anual de los vientos en la que se observa que el comportamiento de los vientos en la zona de estudio tiene una marcada dominancia de los vientos del Sur y Sureste.

Ilustración 11 Rosa Anual de los viento de la RAMA-ZMVT



Fuente: (GEM, 2018-2030).

4.2.4 Dinámica de los vientos

Las barreras naturales presentes en la ZMVT no la encierran por completo, por lo que no impide la circulación del viento, haciendo que su ventilación se vea favorecida la mayor parte del año (GEM, 2007).

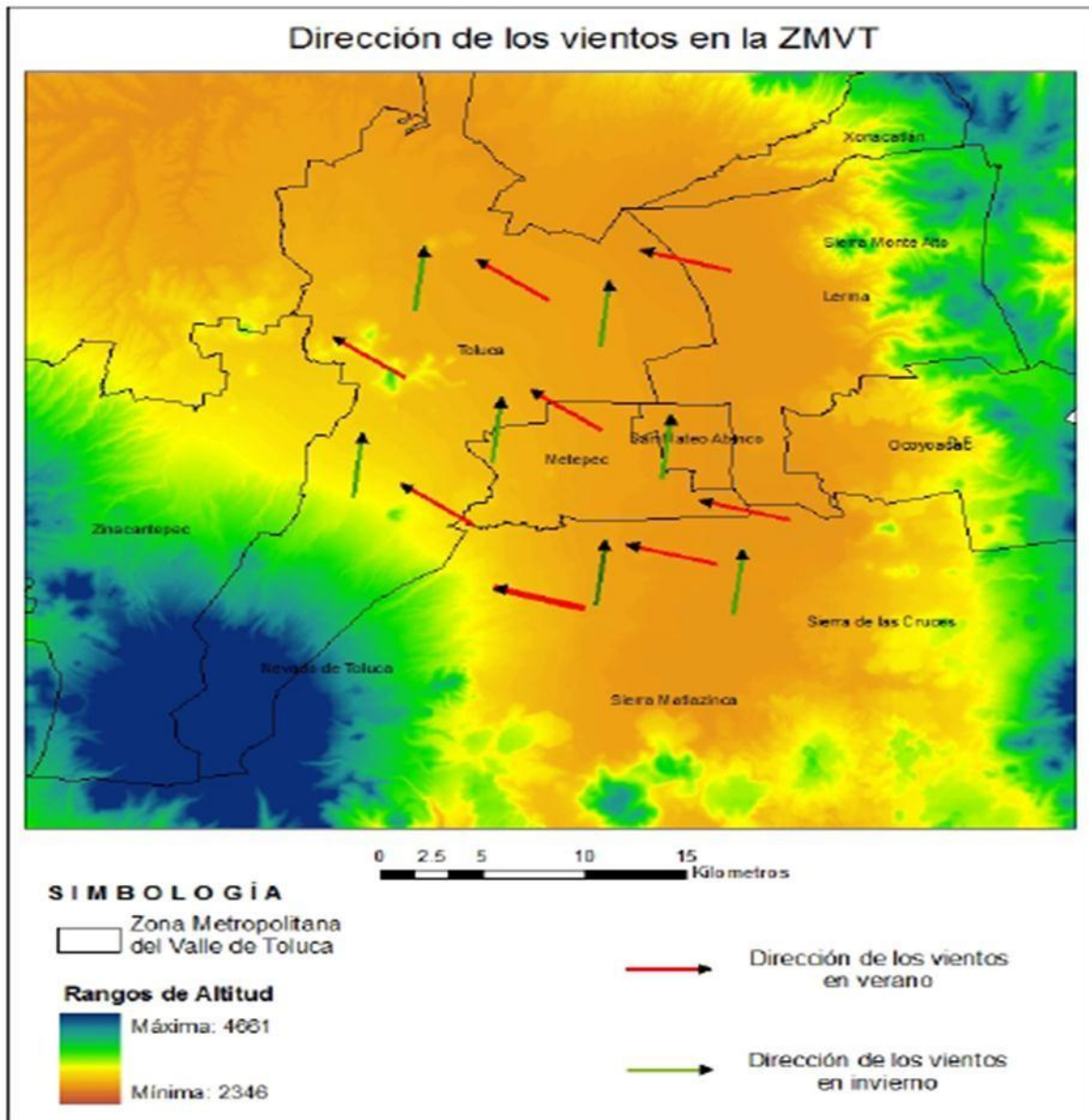
La circulación del viento en esta zona es muy compleja y variada en gran medida en función del relieve. El Valle de Toluca se encuentra en una zona influenciada por los vientos alisios, cuya intensidad se expresa más bien débil e incluso estable en el período que comprende la época fría predominando los vientos provenientes del sur y con dirección norte, con una ligera curvatura desviada a favor de las manecillas del reloj, todo esto en función del relieve, es el caso del volcán Nevado de Toluca que no permite que circulen libres los vientos que llegan por el sur provocando el cambio de su trayectoria y haciendo que se deslicen hacia el valle por su flanco sureste (GEM, 2007).

En el período que comprende la época seca-cálida, los vientos se intensifican más y modifican su curso por la aceleración de los alisios; ya que influye el sistema de relieve que presenta la Sierra de las Cruces orientada de norte a sur, la cual obstruye de manera determinante el paso libre de los vientos alisios hacia el valle, es así como estos vientos del Este se encuentran con los del Sur para girar ligeramente hacia el Noroeste (GEM, 2007).

La máxima expresión de los alisios se presenta durante la época de lluvia, cuya dinámica se expresa del Este y Sureste con dirección Noroeste y Norte (PMDUT, 2013-2015), favoreciendo la transportación de contaminantes generados en lugares como la zona industrial del municipio de Lerma para depositarse y ser afectada la porción extrema noroeste de Toluca (GEM, 2007).

Como se observa en la Ilustración 12, el volcán “Nevado de Toluca” representa una barrera importante que impide la libre circulación de los vientos y ocasiona un cambio de su trayectoria hacia el flanco Sureste (GEM, 2007).

Ilustración 12 Dinámica de los vientos en los municipios que abarca la RAMA-ZMVT.



Fuente: (García-Chávez, 2014)

4.3 Aspectos Socioeconómicos de los municipios de la RAMA-ZMVT

En este apartado se hará referencia a características sociales y económicas de la ZMVT, ya que las ciudades con una notable concentración demográfica desarrollan relaciones entre las actividades económicas, laborales y de servicios, mismas que pueden contribuir a la contaminación del aire (GEM, 2012). Por ello se abordarán

características como la dinámica poblacional, distribución de población sensible, actividades económicas y usos de suelo de la zona de estudio.

4.3.1 Dinámica poblacional

Una zona metropolitana está formada por una ciudad con una fuerte concentración demográfica que gradualmente expande su supremacía socioeconómica y política hacia una o varias unidades administrativas que se encuentran subordinadas, enfatizando la interrelación socioeconómica directa entre centro periferia y viceversa. Hoy en día, la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) es la segunda mayor concentración poblacional de la entidad y a nivel nacional, de acuerdo con el estudio realizado por la Secretaría de Desarrollo Social, se considera como la quinta metrópoli y una de las más importantes del país (SEDESOL, 2004).

De acuerdo al Censo General de Población y Vivienda 2010 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) la población total de los municipios que abarca la RAMA-ZMVT pasó de 1,516,996 habitantes en el año 2010, a 1,630,291 habitantes para el año 2015.

En la siguiente Tabla 20 se muestra la población de los siete municipios que abarca la RAMA-ZMVT.

Tabla 20 Población de los siete municipios que abarca la RAMA-ZMVT

No.	Municipio	Hombres	Mujeres	2010	2015
1	Lerma	66,669	68,130	134,799	146,654
2	Metepéc	103,059	111,103	214,162	227,827
3	Ocoyoacac	30,365	31,440	61,805	66,190
4	San Mateo Atenco	35,597	36,982	72,579	75,511
5	Toluca	394,836	424,725	819,561	873,536
6	Xonacatlán	22,871	23,460	46,331	51,646
7	Zinacantepec	82,109	85,650	167,759	188,927
Total				1,516,996	1,630,291

Fuente: INEGI 2010

Con base en las proyecciones del Consejo Estatal de Población (COESPO) se estima que en el año 2017 la población alcance dos millones 444 mil 743 habitantes, siendo Toluca el municipio más poblado al rebasar los 900 mil habitantes, seguido de Metepec con más con más 200 mil habitantes, Zinacantepec y Lerma con más de 150 mil habitantes (GEM, 2012).

4.3.3 Actividades económicas

Dentro de los siete municipios de la RAMA-ZMVT se ha presentado una transformación paulatina de las actividades económicas, pasando de ser una economía rural a una economía industrial y de servicios. Al interior de la metrópoli destaca el municipio de Lerma en las actividades económicas terciaria y secundaria, San Mateo Atenco en el sector secundario y en el caso de Metepec, este surge como generador predominante de nuevos empleos y servicios en los sectores secundario y terciario (GEM, 2012).

Se ha determinado que la población económicamente activa de la Zona Metropolitana del Valle Toluca es de 49.9%. La población ocupada por sector de actividad corresponde a 3.4% en el sector primario, 35.9% en el sector secundario y 56.8% en el sector terciario. Estas cifras señalan una tendencia a la tercerización del empleo y las actividades primarias continúan siendo desplazadas. (GEM, 2012).

Las actividades industriales, comerciales y de servicios que se presentan en los municipios que conforma la RAMA-ZMVT, tiene un gran impacto en efectos ambientales, debido a las emisiones a la atmósfera de contaminantes, provenientes de la industria, flujo vehicular, combustión en la industria química y alimentaria, entre otras, las cuales contribuyen al deterioro de la calidad del aire por la ausencia de sistemas de control de emisiones la falta de un sistema de administración ambiental (GEM, 2012).

4.3.4 Vías de comunicación

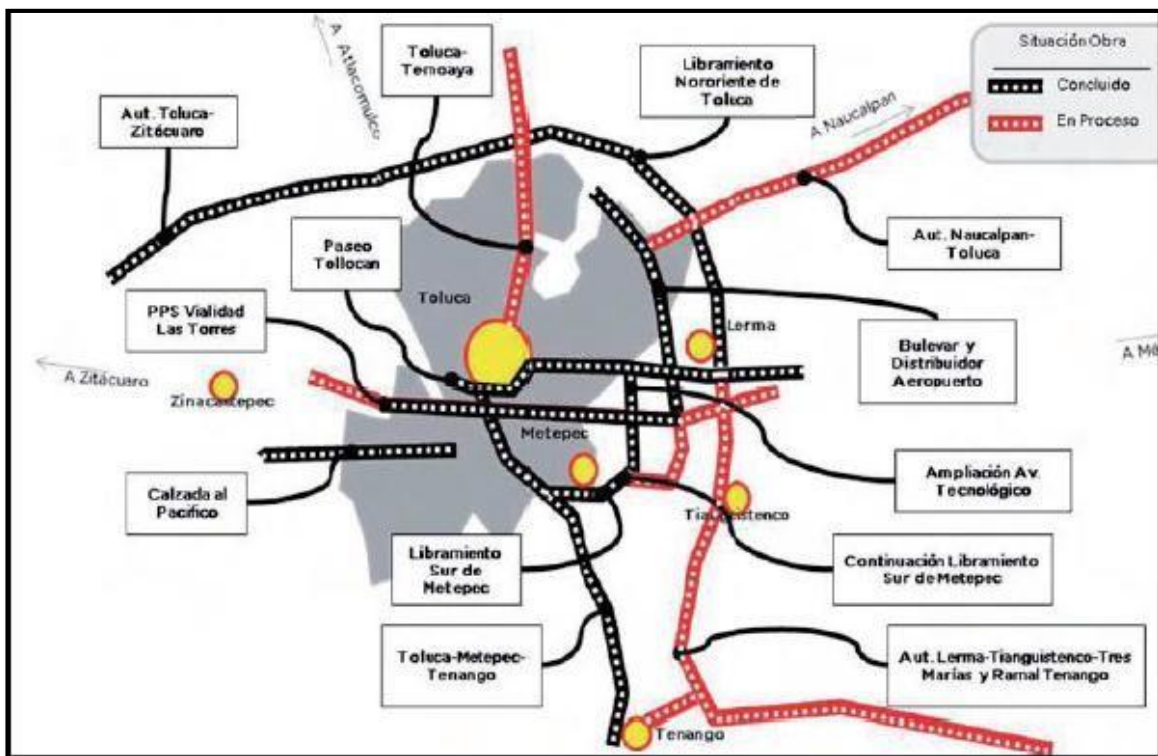
En el municipio de Toluca se encuentra el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Toluca, considerado como la quinta terminal aérea del país en número de pasajeros, el índice de más alto crecimiento en los últimos años. El municipio cuenta con una extensa red de carreteras, en la que se integran modernos libramientos, autopistas y vialidades, la conectividad, los tiempos de traslado y la imagen urbana de las vialidades (GEM, 2012).

Las principales vías de comunicación son el Libramiento Nororiente de Toluca y Sur de Metepec; el Boulevard y Distribuidor Aeropuerto; las Autopistas: Toluca–Zitácuaro; Toluca–Naucalpan y Lerma-Santiago Tianguistenco-Tres Marías y Ramal a Tenango del Valle. Las Vialidades: Prolongación Avenida Isidro Fabela,

Paseo Adolfo López Mateos, Vía Alfredo del Mazo, Vía José López Portillo, Paseo Tollocan, Paseo Colón, Calzada al Pacifico, Avenida Salvador Díaz Mirón, Avenida Tecnológico, Avenida de las Partidas-Zona Industrial-Lerma-El Cerrillo y las Carreteras: Toluca-Metepec-Tenango del Valle, Toluca-Temascaltepec-Valle de Bravo, Toluca-Temoaya, Toluca-Amanalco de Becerra-Valle de Bravo, Toluca-San Felipe Tlalmimilolpan, Santiago Tianguistenco-Chalma, Amomolulco- Xonacatlán, Xonacatlán-Presa José Antonio Álzate, Ocoyoacac-Santiago Tianguistenco, Tenango-Joquicingo, a Marquesa-Santiago Tianguistenco, Mexicaltzingo-Tianguistenco-Xalatlaco, Almoloya de Juárez; San Mateo Atenco-San Pedro Tultepec y Santiago Tianguistenco- Tenango del Valle (GEM, 2012).

La Carretera México-Toluca es la principal vialidad de acceso a Toluca, donde predominan las zonas industriales en sentido Oriente-Poniente, mientras que el comercio y servicios en sentido opuesto; en este último se nota la conformación de un corredor urbano (PMDUT, 2013-2015).

Ilustración 13 Vías de comunicación que abarcan la RAMA-ZMVT



Fuente: (GEM, 2012)

Capítulo 5

Resultados

Capítulo 5 Resultados

En este capítulo se presenta las gráficas y el análisis estadístico de las concentraciones de $PM_{2.5}$ registradas en las siete estaciones que integran la RAMA-ZMVT. El capítulo se compone de apartados. El primer apartado presenta los promedios horarios de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación, durante el período 2012-2018. En el segundo apartado se analiza los promedios mensuales de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación para el mismo período y en tercer apartado se presentan los promedios anuales de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación y por año durante el período 2012-2018.

Cabe mencionar que cada gráfica presenta una breve descripción conforme a lo observado en ellas. De igual manera se muestran las concentraciones totales de $PM_{2.5}$ durante el periodo de estudio 2012-2018, llevando a cabo un análisis de los resultados en conjunto.

Las concentraciones de $PM_{2.5}$ se presentan en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), debido que las mediciones de la calidad de aire son reportadas en concentraciones medias diarias o anuales de partículas $PM_{2.5}$ por metro cúbico (m^3) de aire, a su vez las mediciones técnicas de la calidad del aire describen esas concentraciones expresadas en microgramos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (RAMA, 2018; Mogrovejo-Tenecela, 2015).

5.1 Concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ en la RAMA-ZMVT durante 2012-2018

En este apartado se presentan las gráficas de las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ en las siete estaciones de la RAMA-ZMVT. Para cada gráfica se identifican las horas de concentraciones máximas tomando como referencia el límite máximo permisible (línea roja continua) establecido en la Norma Oficial Mexicana de $PM_{2.5}$ (vigente 2014), de manera ilustrativa se señala en las gráficas el valor límite establecido en la NOM de $PM_{2.5}$ anterior (línea roja punteada).

Límites Máximos Permisibles (LMP) para $PM_{2.5}$:

- $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio 24 horas NOM-025-SSA1-1993 (modificación 2005).
- $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio 24 horas NOM-025-SSA1-2014 (vigente).

Seis de las siete estaciones reportaron datos para el período de estudio 2012-2018, la estación Aeropuerto (AP) dejó de registrar datos para los años 2016 y 2017, ya que fue desconectada a finales del 2015, por lo que registró datos hasta el mes de septiembre del año en mención.

Para cada estación se le asignó un color para su identificación:

- **AP** Gris
- **CB** Ciruela
- **CE** Azul rey
- **MT** Azul cielo
- **OX** Verde
- **SC** Anaranjado
- **SM** Verde azulado



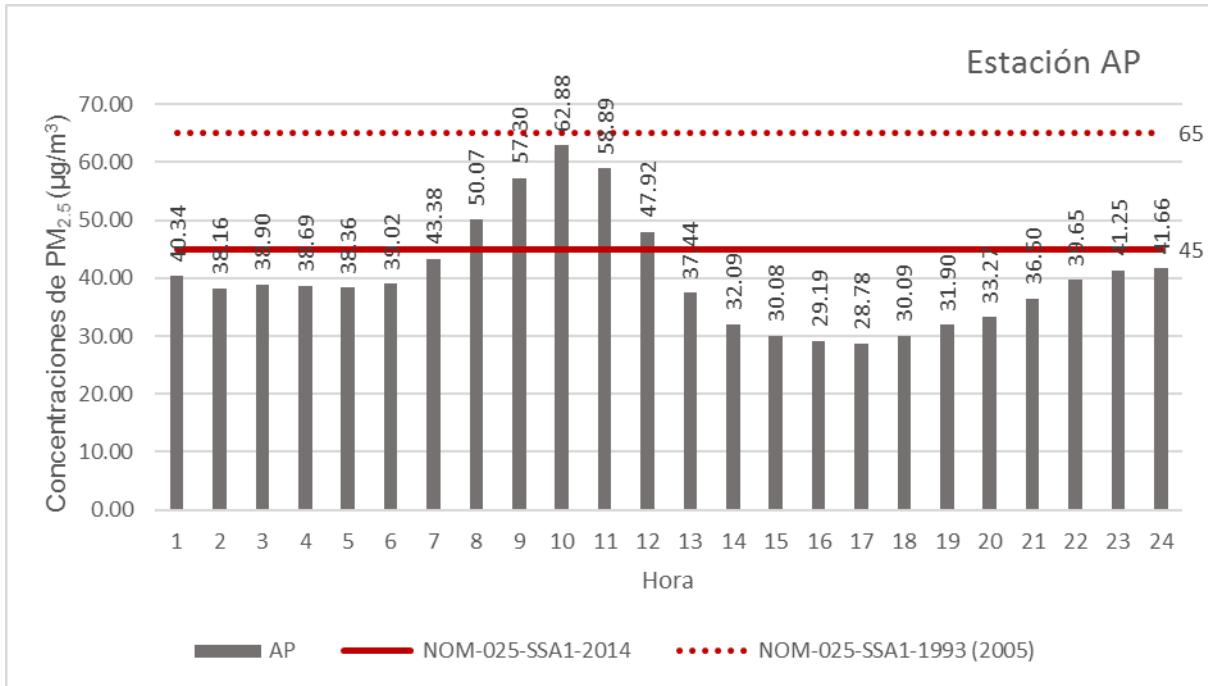
5.1.1 PM_{2.5}/hora por estación en el año 2012

Se presentan las gráficas de cada una de las estaciones de la RAMA-ZMVT, para observar y analizar el comportamiento de las concentraciones por hora de PM_{2.5} durante las 24 horas en el año 2012, identificando las estaciones que registran las concentraciones fuera de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un Límite Máximo Permisible de 45 µg/m³ (promedio 24 horas) para la protección de la salud humana.

5.1.1.1 Estación AP 2012

La gráfica 1 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Aeropuerto (AP) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación AP respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 1 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación AP en el año 2012



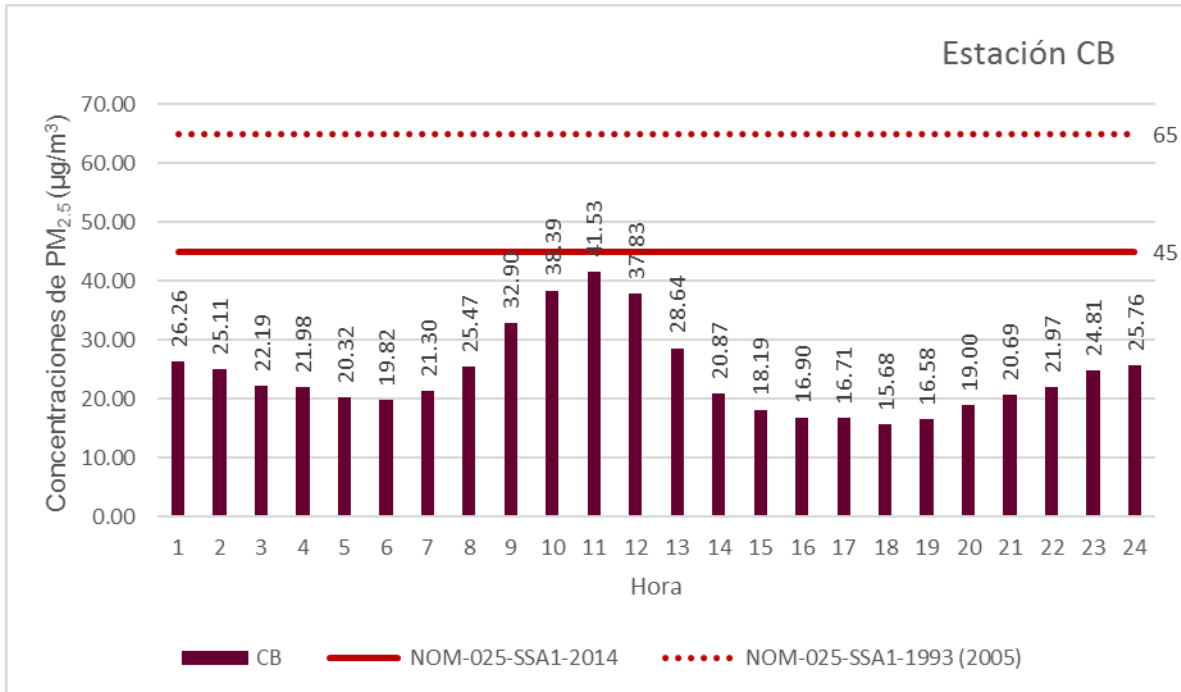
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la Gráfica 1 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido por la NOM con 5 valores/hora, entre las 8:00 y 12:00 horas. La concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 62.88 µg/m³. Mientras que las concentraciones por debajo de la NOM se presentaron en la madrugada de 1:00 a 7:00 horas, y por la tarde-noche, de 13:00 a 24:00 horas. La concentración mínima de PM_{2.5} se presentó a las 17:00 horas con un valor de 28.78 µg/m³.

5.1.1.2 Estación CB

La Gráfica 2 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24, respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 2 Promedio PM_{2.5} por hora estación CB en el año 2012



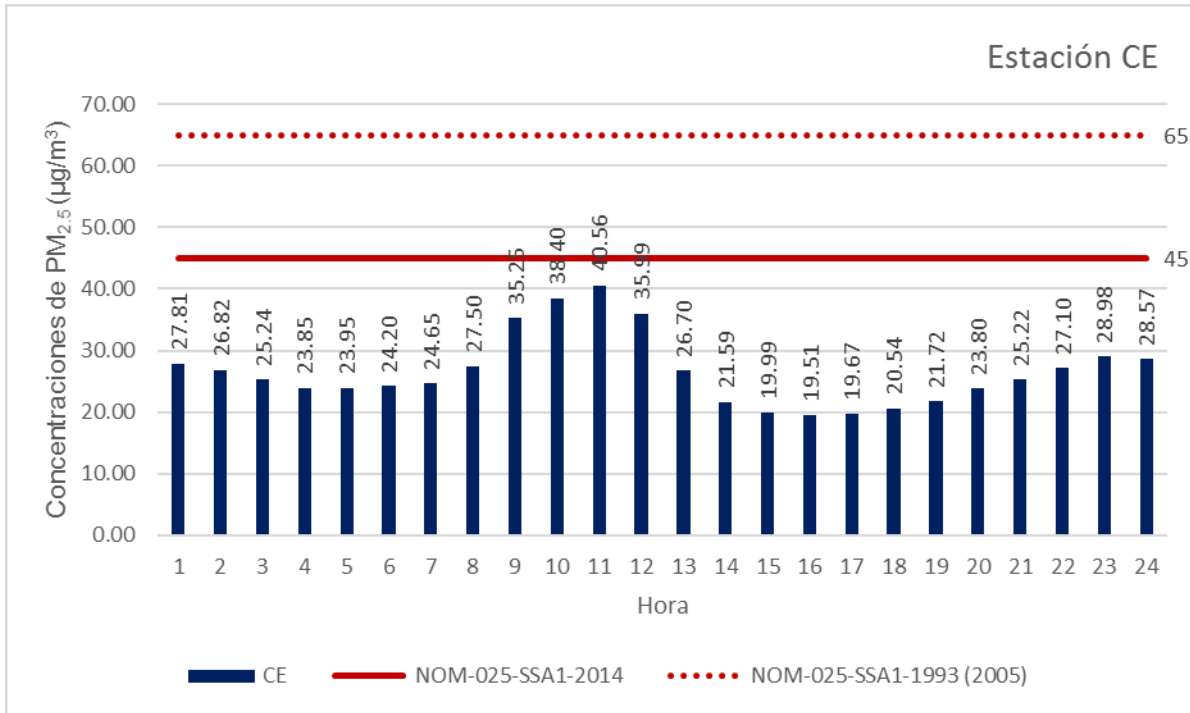
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 2 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantienen por debajo del LMP establecido por la NOM las 24 horas. Las concentraciones más elevadas se registraron entre las 8:00 y 13:00 horas, en donde la concentración máxima se registró a las 11:00 horas con 41.53 µg/m³. La concentración mínima se registró a las 18:00 horas con un valor de 15.68 µg/m³.

5.1.1.3 Estación CE 2012

La Gráfica 3 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Centro (CE) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24, respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 3 Concentraciones PM_{2.5} estación CE en el año 2012



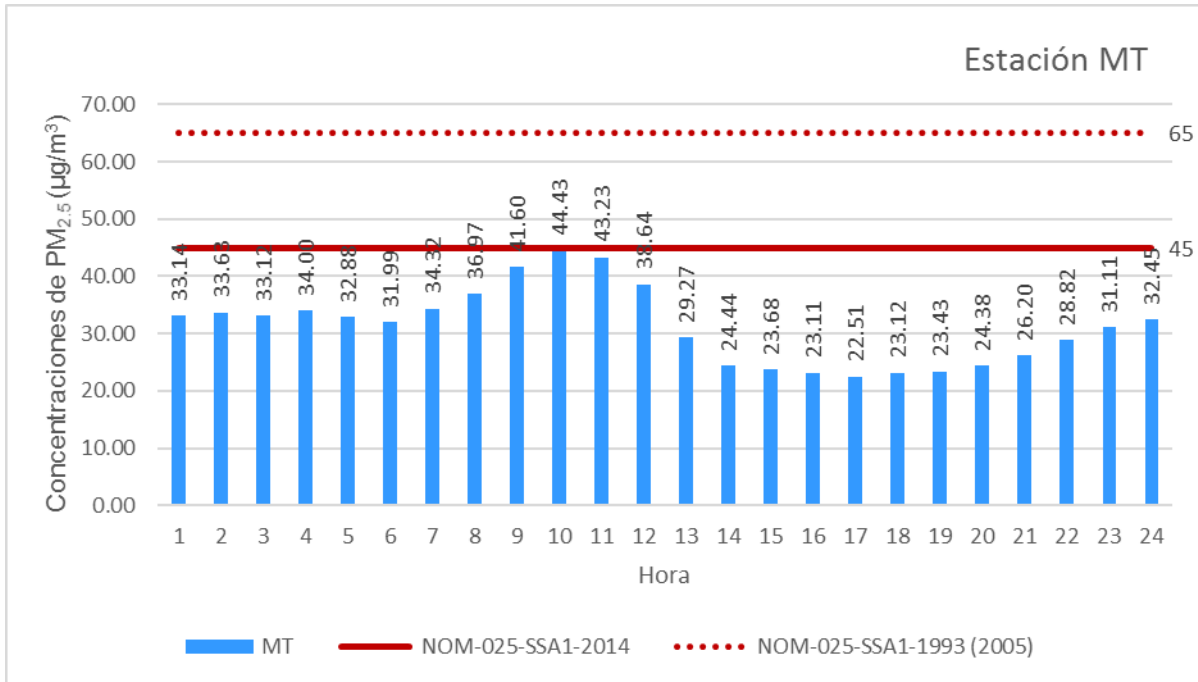
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 3 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM. Las concentraciones más elevadas se registraron entre las 9:00 y 12:00 horas, entre las cuales la máxima concentración de PM_{2.5} se registró a las 11:00 horas con 40.56 µg/m³. La concentración mínima se registró entre las 15:00 a 17:00 horas con 19.99 µg/m³, 19.51 µg/m³ y 19.67 µg/m³ de PM_{2.5} respectivamente.

5.1.1.4 Estación MT 2012

La Gráfica 4 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Metepec (MT) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación MT en el año 2012, respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 4 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación MT en el año 2012



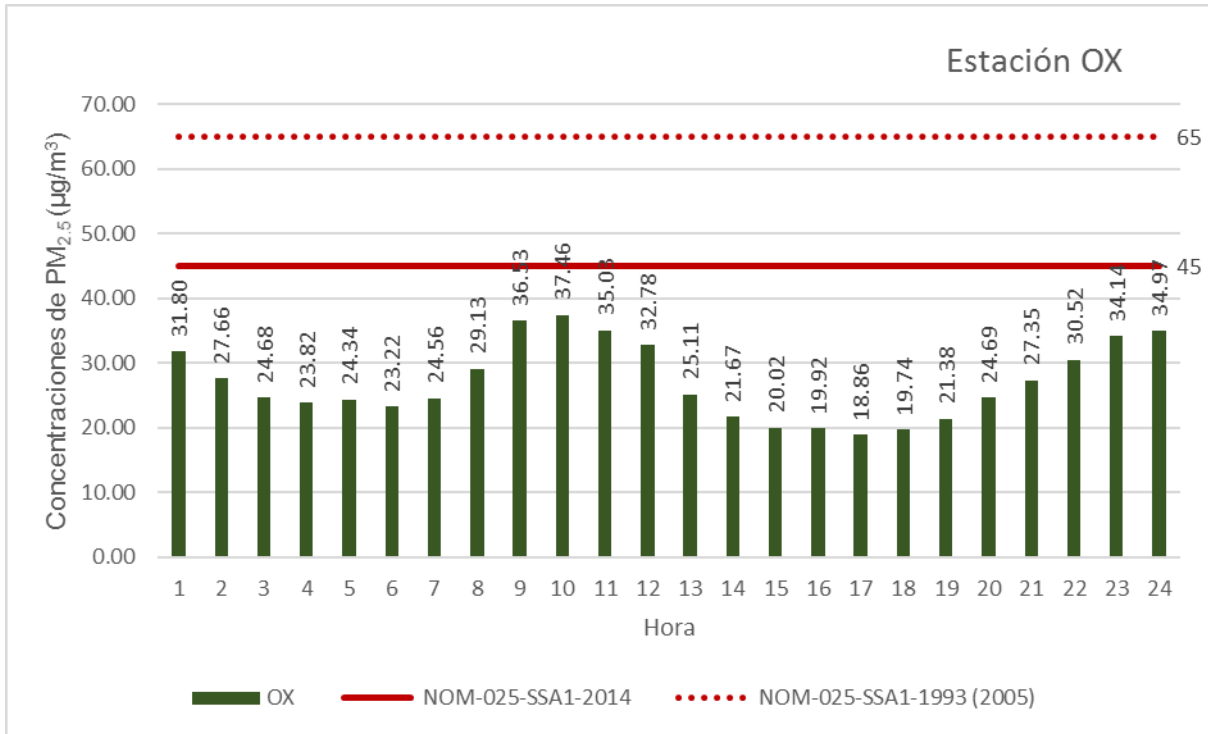
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 4 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} están por debajo del LMP establecido por la NOM, sin embargo 2 valores/hora están cerca del límite lo cual corresponde a las 10:00 y 11:00 horas de la mañana con 44.43 µg/m³ y 43.23 µg/m³ respectivamente. Las concentraciones presentaron un comportamiento de un rango entre 30 µg/m³ y 40 µg/m³ en la mayoría de las horas. La concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 44.43 µg/m³, mientras que la concentración mínima de PM_{2.5} se presentó a las 17:00 horas con un valor de 22.51 µg/m³.

5.1.1.5 Estación OX 2012

La Gráfica 5 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación OX, respecto al límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 5 Concentraciones de PM_{2.5} en la estación OX en el año 2012



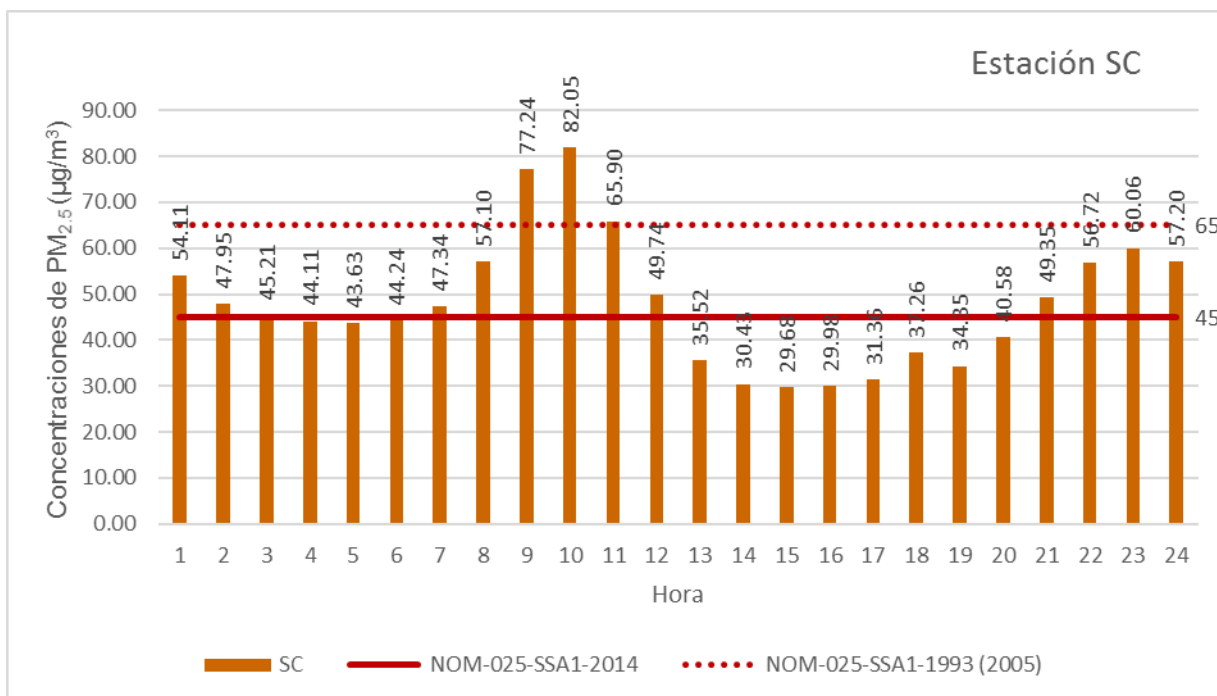
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 5 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM, sin embargo, los comportamientos de las concentraciones se elevan a partir de las 8:00 a 13:00 horas y posteriormente de 19:00 a 24:00 horas de la noche. La concentración máxima de PM_{2.5} se registró a las 10:00 horas con 37.46 µg/m³, mientras que la mínima se registró a 17:00 horas con un valor de 18.86 µg/m³.

5.1.1.6 Estación SC 2012

La Gráfica 6 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registrados desde la hora 1, a la hora 24 del año 2012 de la estación SC, respecto al límite establecido en la NOM-025-SSA1-1993 y en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 6 Concentraciones de PM_{2.5} por hora estación SC en el año 2012



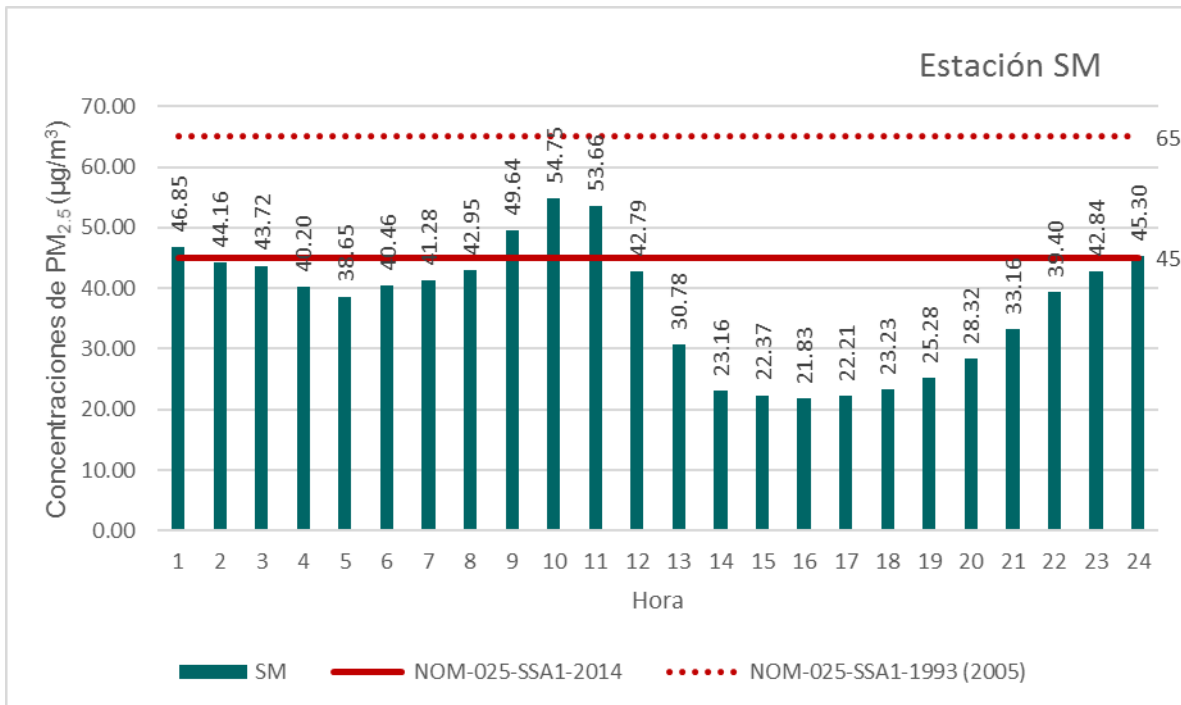
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 6 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en la estación SC, rebasaron el LMP establecido por la NOM con 12 valores/hora. Las concentraciones por encima del LMP establecido por la NOM se presentaron entre las 1:00 y 2:00, , 7:00 a 12:00 horas y de 21:00 a 24:00 horas, donde la concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 82.05 µg/m³. Las concentraciones por debajo de la NOM se presentaron entre las 4:00 a 6:00 y de 13:00 a 20:00 horas, en donde la mínima concentración de PM_{2.5} es de 29.68 µg/m³.

5.1.1.7 Estación SM 2012

La gráfica 7 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Mateo (SM) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SM durante el año 2012, respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 7 Concentraciones de PM_{2.5} por hora estación SM en el año 2012



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 7 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido por la NOM con 5 valores/hora en las siguientes horas 1:00, de 9:00 a 11:00 horas y a las 24:00 horas. La concentración máxima se registró a las 10:00 con un valor de 54.75 µg/m³. Mientras que las concentraciones de PM_{2.5} por debajo de la NOM se registraron de 2:00 a 8:00 horas y posteriormente de 12:00 a 23:00 horas. La concentración mínima de PM_{2.5} se presenta a las 16:00 horas con 21.83 µg/m³.

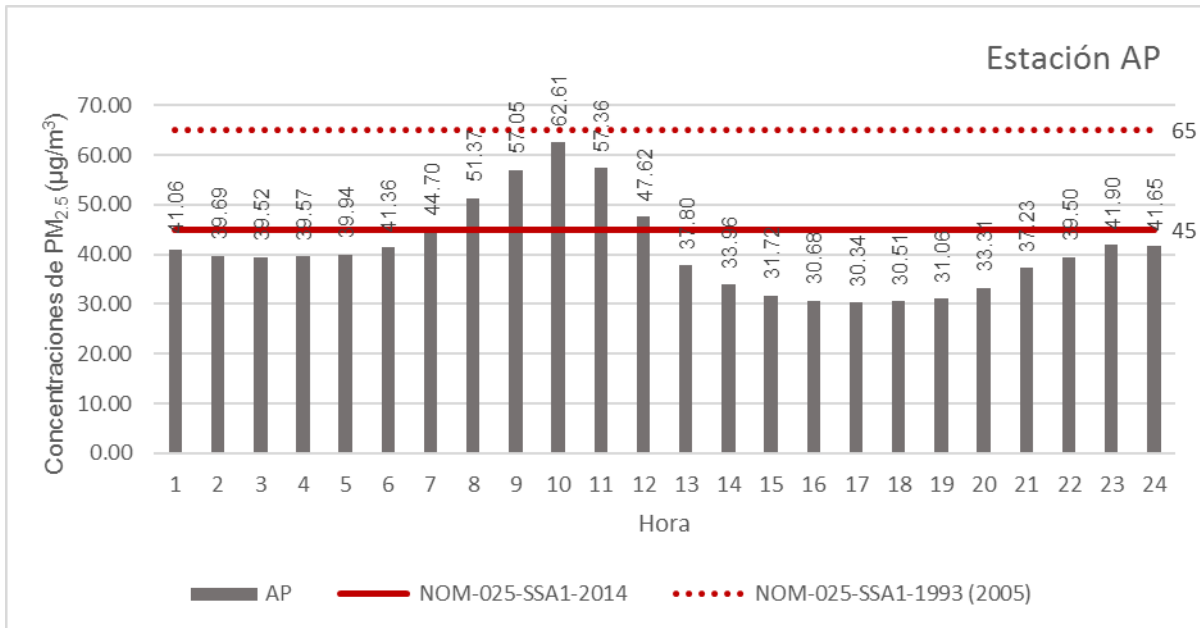
5.1.2 PM_{2.5}/hora por estación en el año 2013

Se presentan las gráficas de cada una de las estaciones de la RAMA-ZMVT respectivamente del año 2013, para observar el comportamiento de las concentraciones por hora de PM_{2.5} durante las 24 horas, identificando las estaciones que registran las concentraciones fuera de la NOM.025-SSA1-2014 que establece un Límite Máximo Permisible de 45 µg/m³ (promedio 24 horas) para la protección de la salud humana.

5.1.2.1 Estación AP 2013

La Gráfica 8 representa el promedio de concentración por hora de $PM_{2.5}$ en la estación Aeropuerto (AP) durante el año 2013, se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación AP durante el año 2013, respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 8 Concentraciones $PM_{2.5}$ estación AP en el año 2013



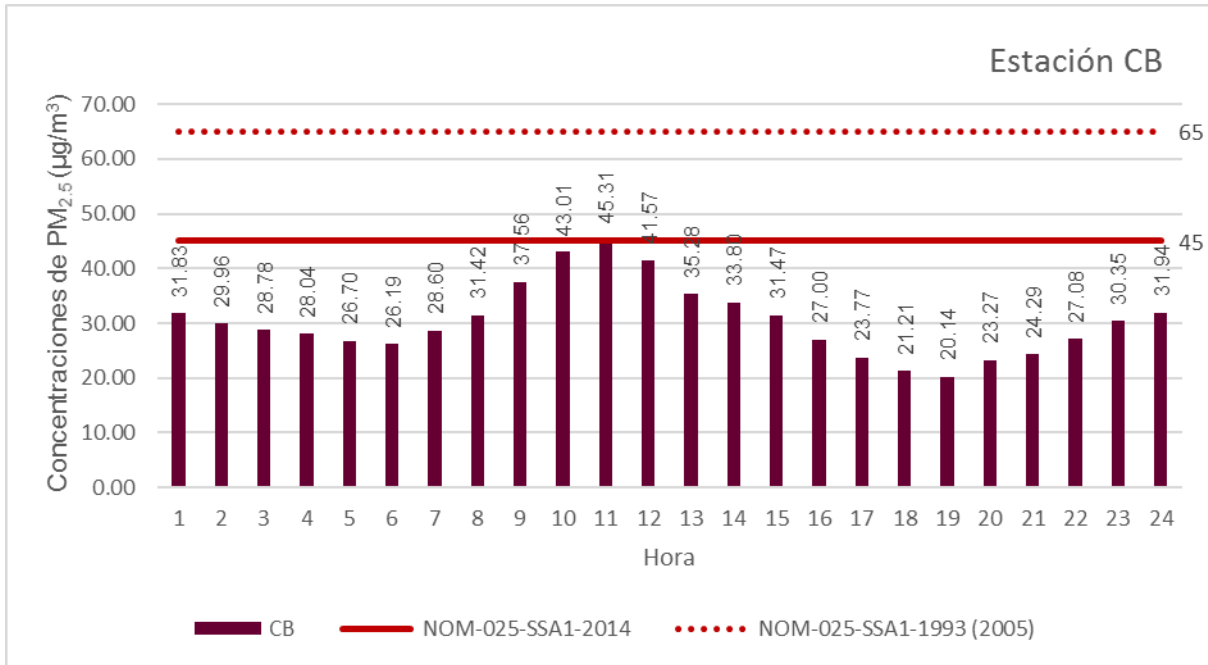
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 8 se observa que las concentraciones rebasaron el LMP de la NOM con valores/hora, de 8:00 a 12:00. La concentración máxima de $PM_{2.5}$ se registró a las 10:00 horas con un valor de $62.61 \mu g/m^3$, mientras que las concentraciones por debajo de la NOM se presentan de 1:00 a 7:00 horas, y de 13:00 a 24:00 horas. La concentración mínima fue registrada entre las 16:00 a 18:00 horas con valores de $30.68 \mu g/m^3$, $30.34 \mu g/m^3$ y $30.51 \mu g/m^3$ respectivamente de $PM_{2.5}$.

5.1.2.2 Estación CB 2013

La gráfica 9 representa el promedio de concentración por hora de $PM_{2.5}$ en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2013, se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CB durante el año 2013, respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 9 Concentraciones PM_{2.5} estación CB en el año 2013



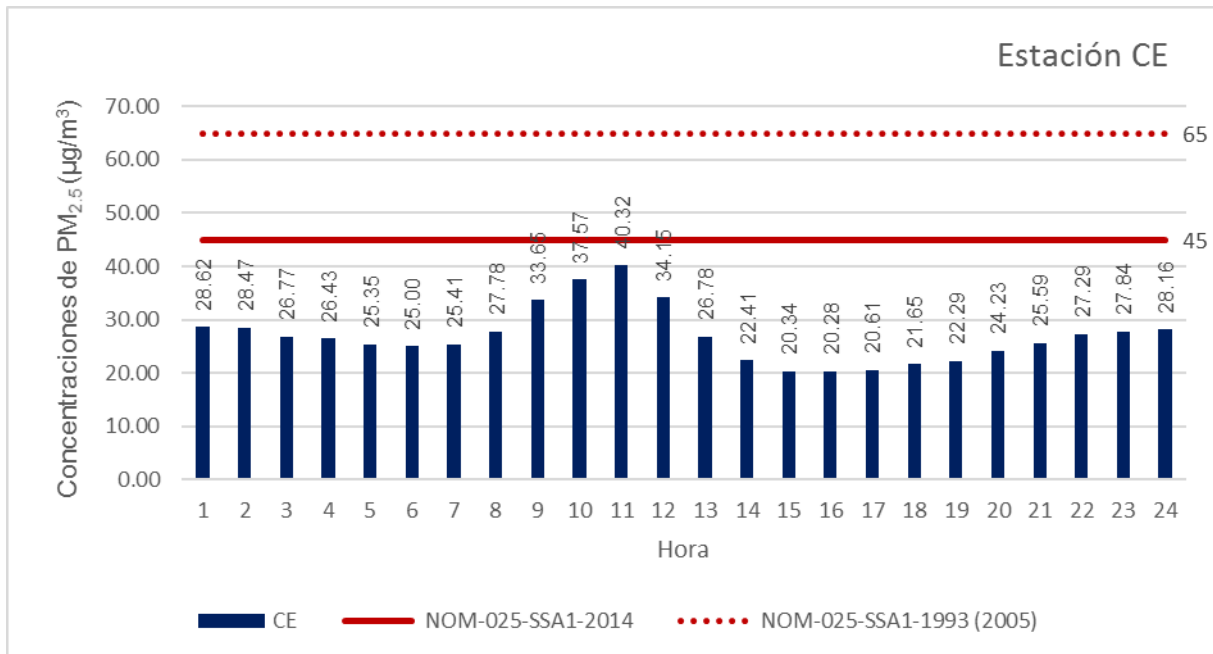
Elaboración propia con base en datos de la RAMA,2013.

En la gráfica 9 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} solo en una ocasión está dentro del LMP establecido por la NOM a las 11:00 horas con un valor de 45.31 µg/m³. Las concentraciones por debajo de la NOM se registraron de 1:00 a 10:00 horas y de 12:00 a 24:00 horas. La mínima concentración se registró a las 19:00 horas con 20.14 µg/m³.

5.1.2.3 Estación CE 2013

La Gráfica 10 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Centro (CE) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CE durante el año 2013, respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 10 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación CE en el año 2013



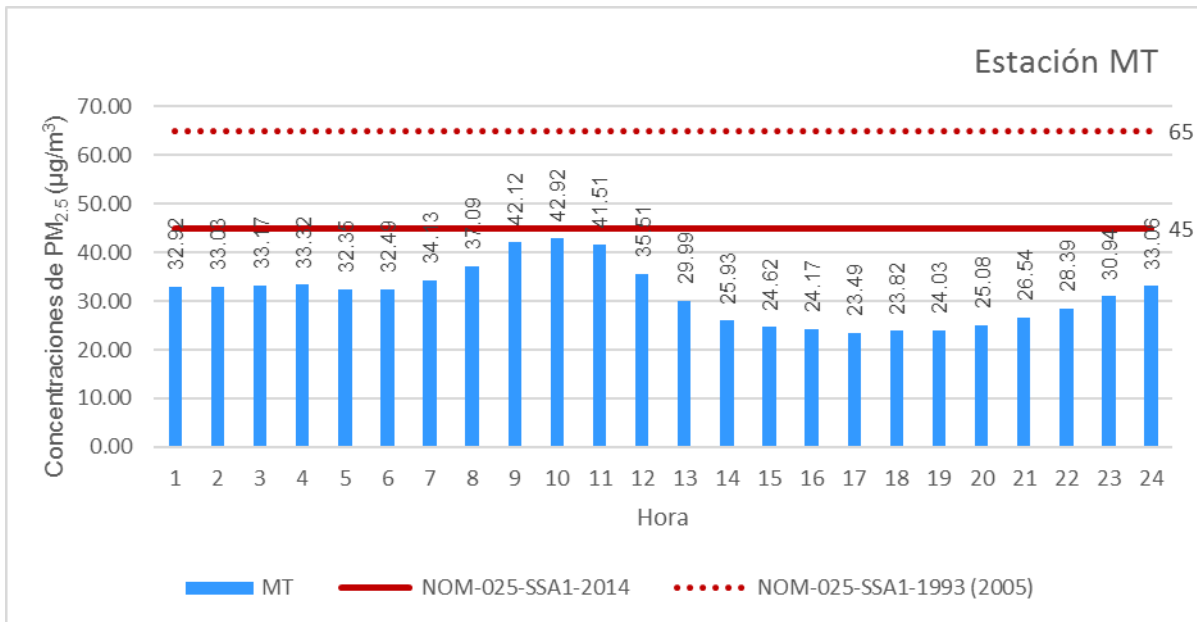
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 10 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantienen por debajo del LMP establecido por la NOM. Las concentraciones más elevadas se registraron de 9:00 a 12:00 horas, donde la concentración máxima se registró a las 11:00 horas con un valor de 40.32 µg/m³. Por otro lado, la concentración mínima de PM_{2.5} en la estación CE está entre las 15:00 a 17:00 horas con valores de 20.34 µg/m³, 20.28 µg/m³ y 20.61 µg/m³ respectivamente.

5.1.2.4 Estación MT 2013

La Gráfica 11 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Metepec (MT) durante el año 2013, se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación AP durante el año 2013, respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 11 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación MT en el año 2013



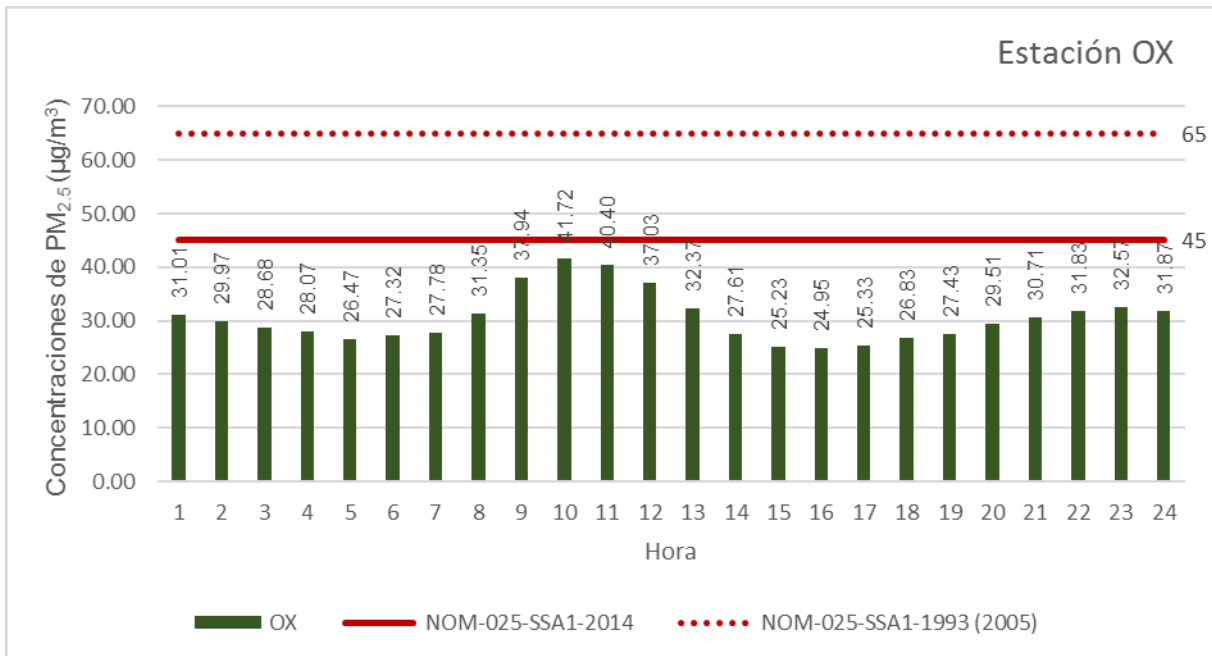
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013

En la gráfica 11 se observa que las concentraciones registradas en la estación MT se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM durante las 24 horas. La concentración máxima de PM_{2.5} se registró a las 10:00 horas con un valor de 42.92 µg/m³, mientras que la concentración mínima se registró a las 17:00 horas con 23.49 µg/m³ de PM_{2.5}.

5.1.2.5 Estación OX 2013

La Gráfica 12 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2013, se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación OX durante el año 2013, respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 12 Concentraciones PM_{2.5} estación OX en el año 2013



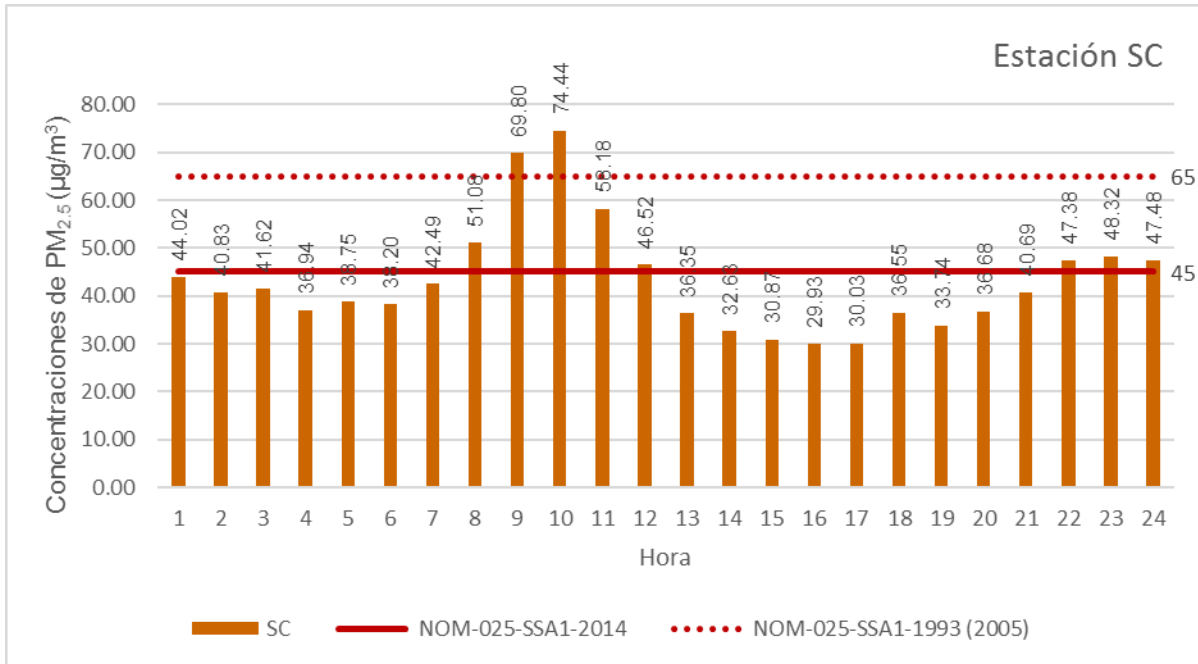
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 12 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en la estación OX registradas las 24 horas se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM. La concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 41.72 µg/m³, mientras que la concentración mínima se registró con un valor de 24.95 µg/m³ a las 16:00 horas.

5.1.2.6 Estación SC 2013

La Gráfica 13 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SC durante el año 2013, respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 13 Concentraciones PM_{2.5} estación SC en el año 2013



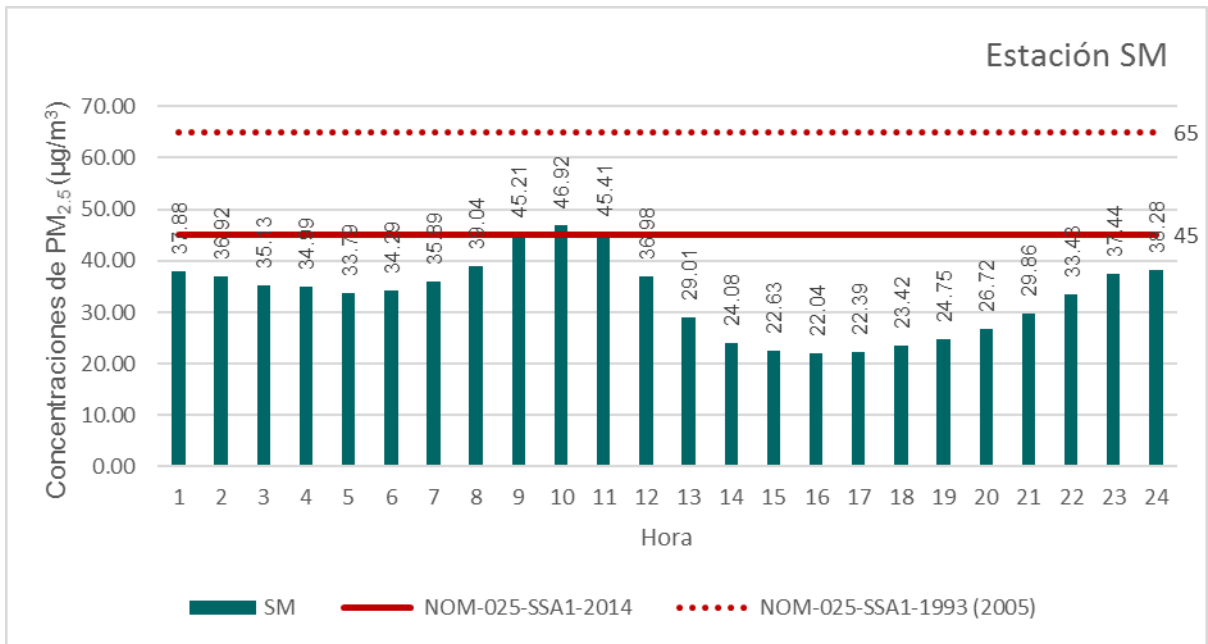
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 13 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP de la NOM con 8 valores/hora, de 8:00 a 12:00 horas; y posteriormente de las 22:00 a 24:00 horas. La concentración máxima de PM_{2.5} en la estación SC se presentó a las 10:00 horas con un valor de 74.44 µg/m³. Las concentraciones por debajo de la NOM se registraron de 1:00 a 7:00 de la mañana, posteriormente en la tarde a partir de las 13:00 a 21:00 horas. La concentración mínima se registró a las 16:00 horas con un valor de 29.93 µg/m³ de PM_{2.5}.

5.1.2.7 Estación SM 2013

La Gráfica 14 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Mateo (SM) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SM durante el año 2013, respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 14 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación SM en el año 2013



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 14 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron y/o está en el LMP establecido por la NOM con 3 valores, de 9:00 a 11:00 horas con 45.21 µg/m³, 46.92 µg/m³ y 45.41 µg/m³ respectivamente. Las concentraciones por debajo de la NOM se registraron durante las primeras horas de la mañana, de 1:00 a 8:00 horas; posteriormente de 12:00 a 24 horas. La concentración mínima se presentó a las 16:00 horas con 22.04 µg/m³ de PM_{2.5}.

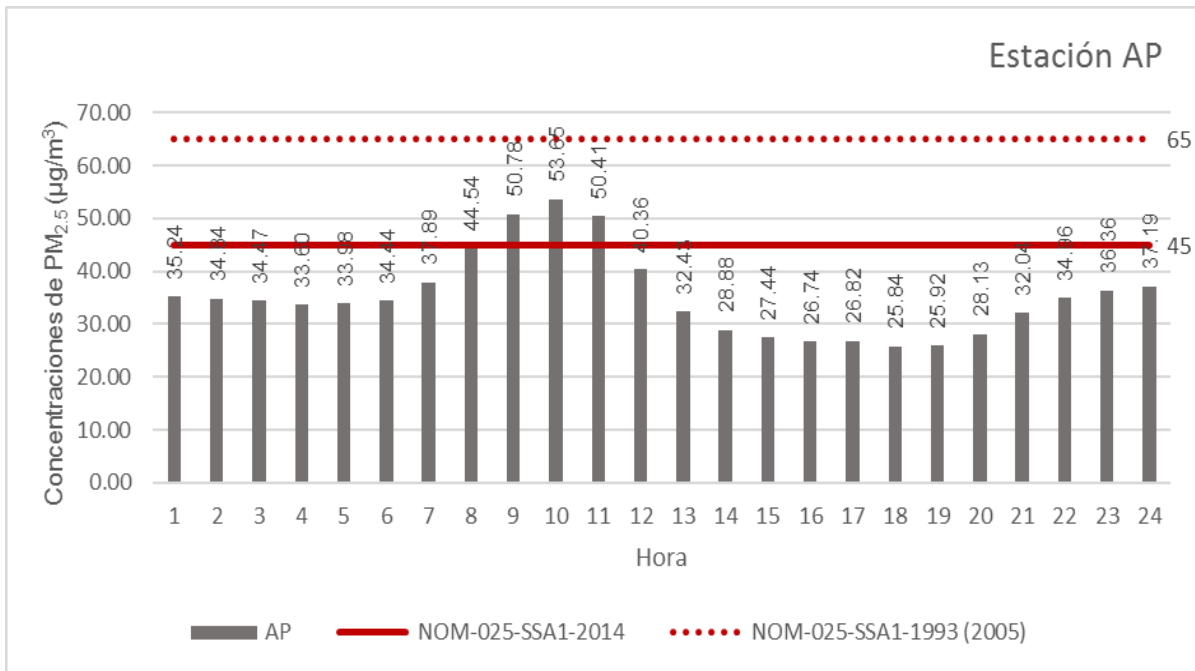
5.1.3 PM_{2.5}/hora por estación en el año 2014

Se presentan las gráficas de cada una de las estaciones de la RAMA-ZMVT, para observar el comportamiento de las concentraciones por hora de PM_{2.5} durante las 24 horas en el año 2014, identificando las estaciones que registran las concentraciones fuera de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un Límite Máximo Permisible de 45 µg/m³ (promedio 24 horas) para la protección de la salud humana.

5.1.3.1 Estación AP 2014

La Gráfica 15 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Aeropuerto (AP) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación AP respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 15 Concentraciones PM_{2.5} estación AP en el año 2014



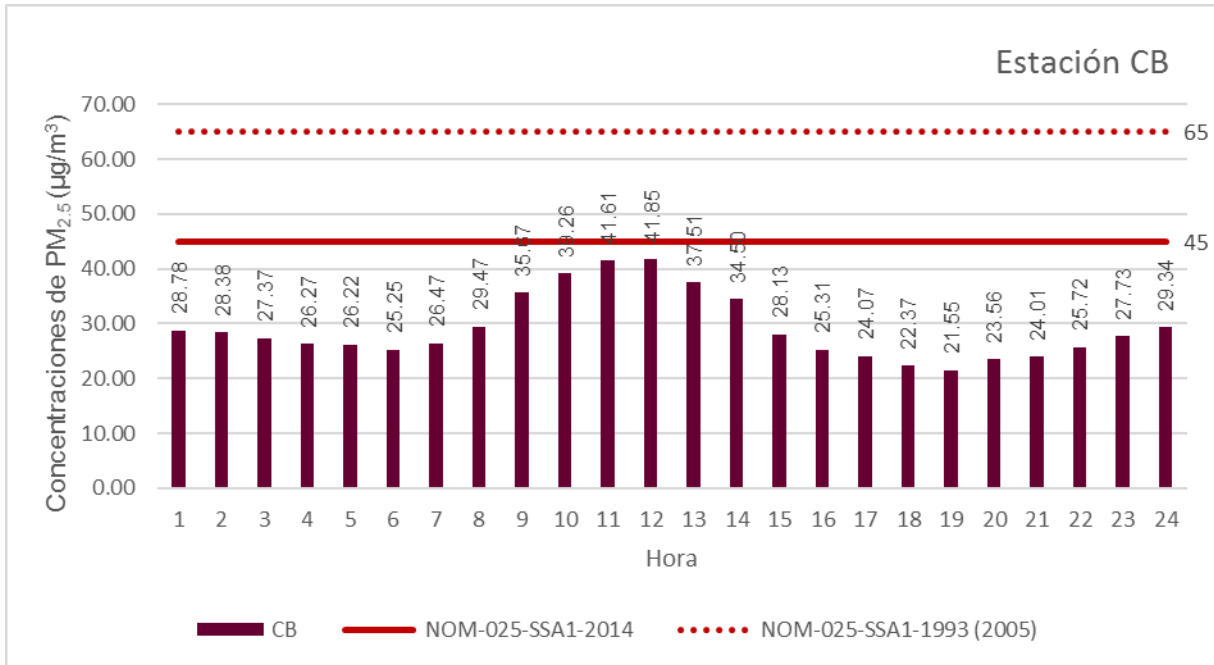
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 15 se observa que las concentraciones rebasaron el LMP establecido por la NOM con 3 valores/hora, de 9:00 a 11:00 horas. La concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 53.65 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones por debajo del límite establecido por la NOM se registraron de 1:00 a 8:00 y de 12:00 a 24 horas. La concentración mínima de PM_{2.5} se registró a las 18:00 horas con un valor de 25.84 µg/m³.

5.1.3.2 Estación CB 2014

La Gráfica 16 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CB respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 16 concentraciones PM_{2.5} estación CB en el año 2014



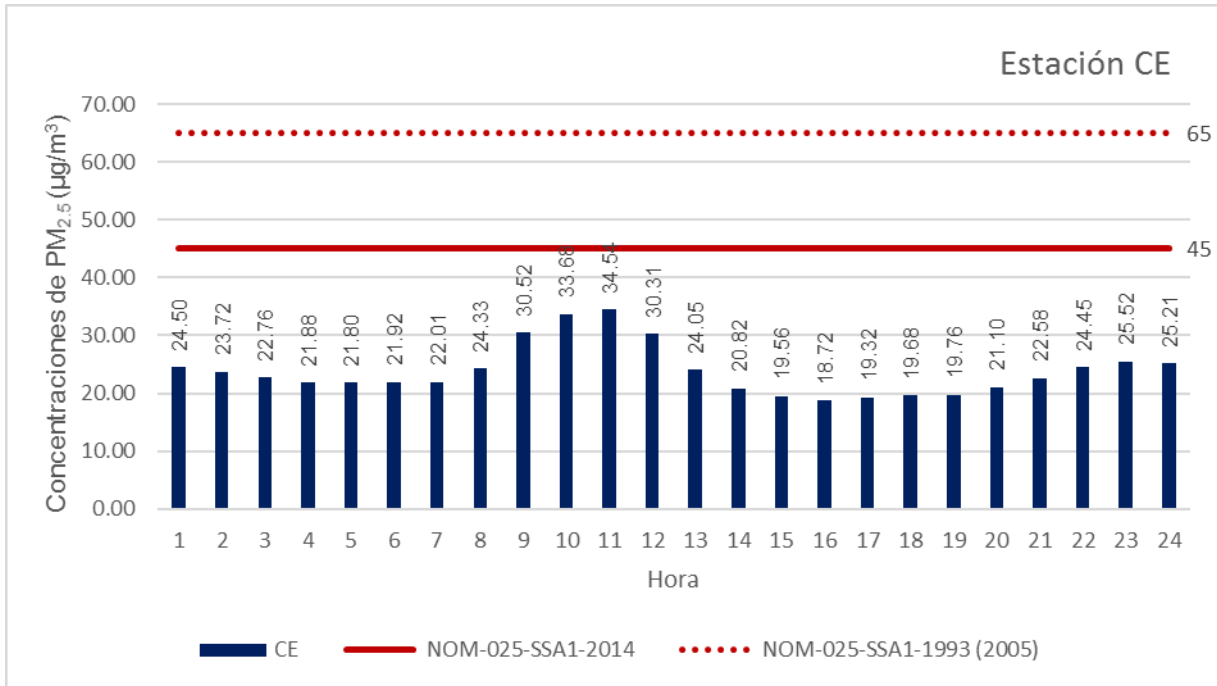
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 16 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM las 24 horas sin embargo presentaron concentraciones altas. Las concentraciones más elevadas se presentaron de 8:00 a 15:00 horas, donde la concentración máxima se registró a las 12:00 horas con 41.85 µg/m³, mientras que la concentración mínima se registró a las 19:00 horas con 21.51 µg/m³ de PM_{2.5}.

5.1.3.3 Estación CE 2014

La Gráfica 17 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Centro (CE) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CE respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 17 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación CE en el año 2014



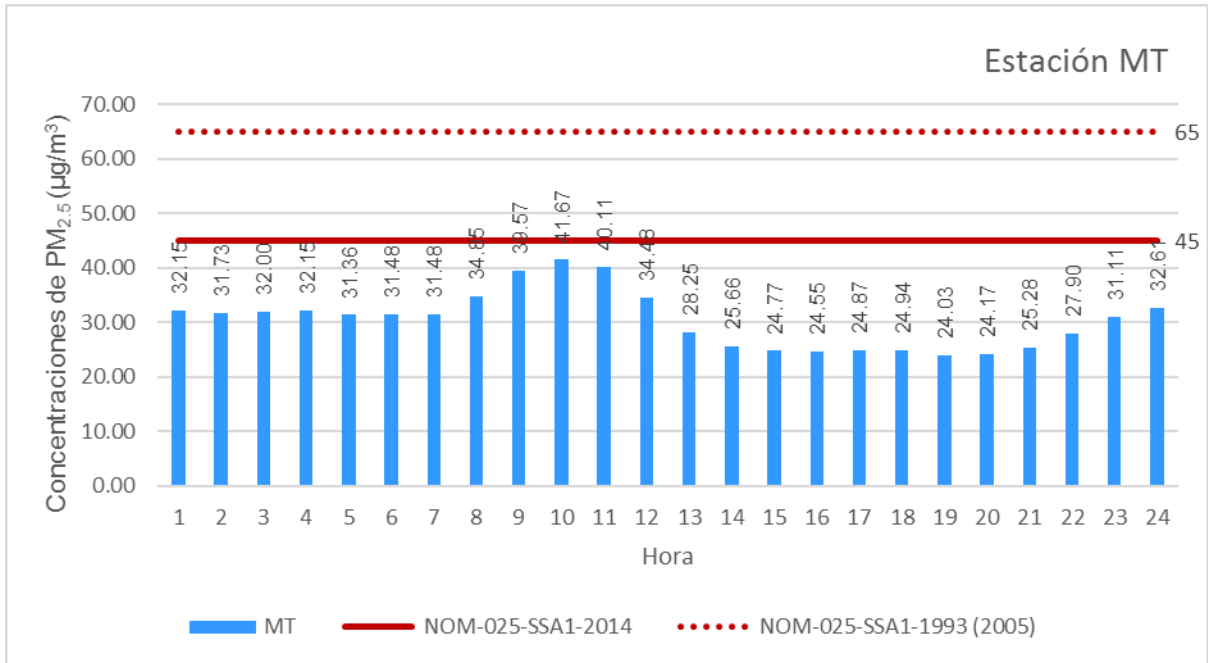
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 17 se observa que la estación CE no registro concentraciones que rebasaran el límite establecido por la NOM, sin embargo, las horas en las cuales se registraron las mayores concentraciones fueron de 9:00 a 12:00 horas, donde la concentración máxima fue de 34.54 µg/m³.

5.1.3.4 Estación MT 2014

La Gráfica 18 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Metepec (MT) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones de PM_{2.5} registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación MT respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 18 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación MT en el año 2014



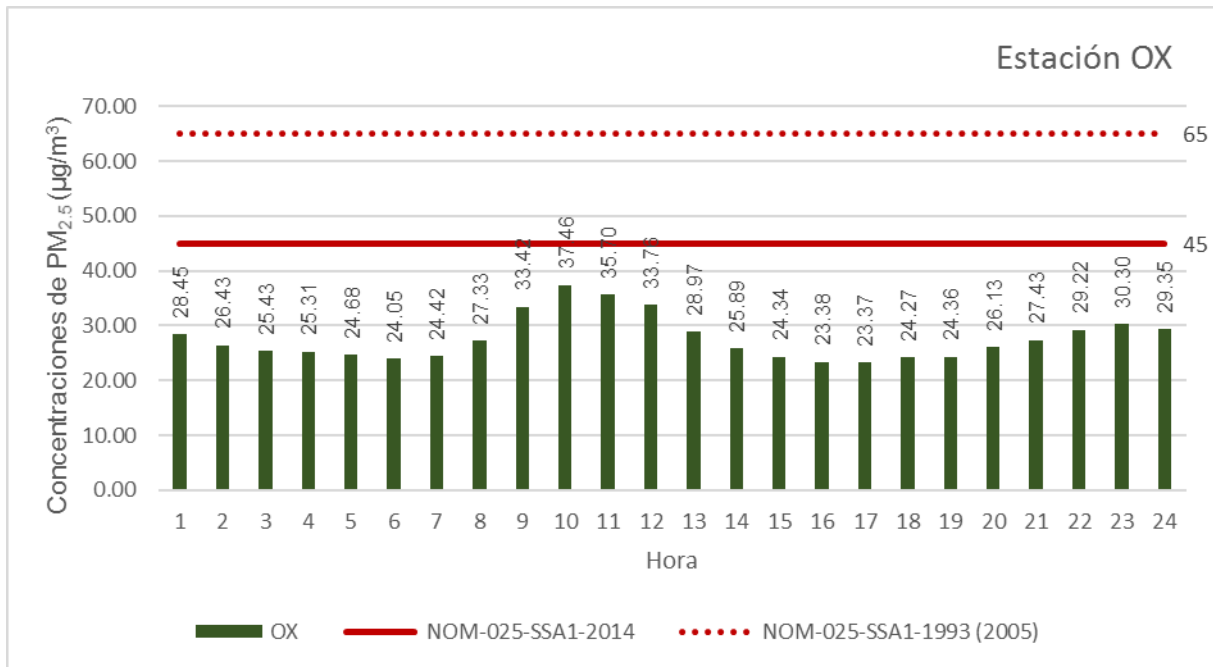
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 18 se observa que la estación MT no registro concentraciones que rebasan el límite establecido por la NOM, sin embargo, las horas en las cuales se registraron concentraciones cercanas al límite de la NOM fueron a las 9:00, 10:00 y 11:00 horas con 39.57 µg/m³, 41.67 µg/m³ y 40.11 µg/m³.

5.1.3.5 Estación OX 2014

La Gráfica 19 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación OX respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 19 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación OX en el año 2014



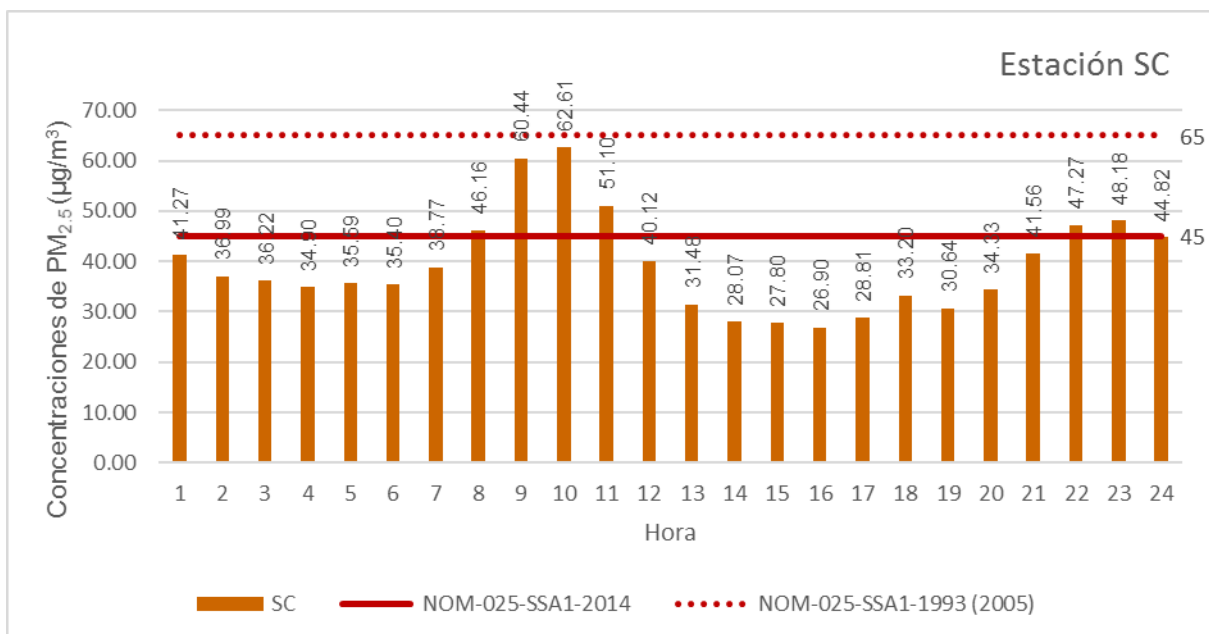
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 19 se observa que las concentraciones registradas de PM_{2.5} en la estación OX están por debajo del LMP establecido por la NOM, sin embargo, la concentración máxima se registró a las 10:00 horas con un valor de 37.46 µg/m³. La concentración mínima se registró entre las 16:00 y 17:00 horas con 23.38 µg/m³ y 23.37 µg/m³ de PM_{2.5} respectivamente.

5.1.3.6 Estación SC 2014

La Gráfica 20 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SC respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 20 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación SC en el año 2014



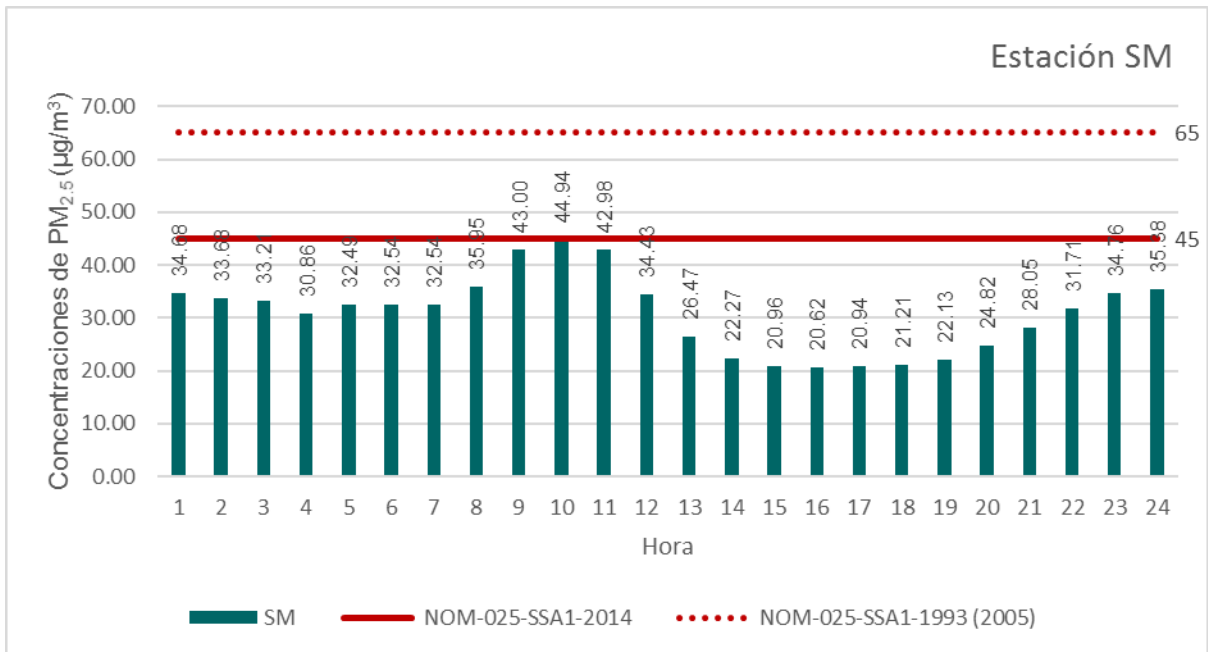
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 20 se observa que la estación SC registro concentraciones por encima del LMP establecido por la NOM con 6 valores/hora, primero de 8:00 a 11:00 horas, posteriormente a las 22:00 y 23:00 horas. La concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 62.61 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones por debajo del límite de la NOM se registraron de 1:00 a 7:00 horas, entre las 12:00 y 21:00 horas y a las 24 horas. La concentración mínima de PM_{2.5} se presentó a las 16:00 horas con un valor de 26.90 µg/m³.

5.1.3.7 Estación SM 2014

La Gráfica 21 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Mateo (SM) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones de PM_{2.5} registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SM respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 21 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación SM en el año 2014



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 21 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM las 24 horas, sin embargo, las concentraciones de PM_{2.5} más cercanas al límite se presentan a las 9:00, 10:00 Y 11:00 horas con 43.00 µg/m³, 44.94 µg/m³ y 42.98 µg/m³ respectivamente.

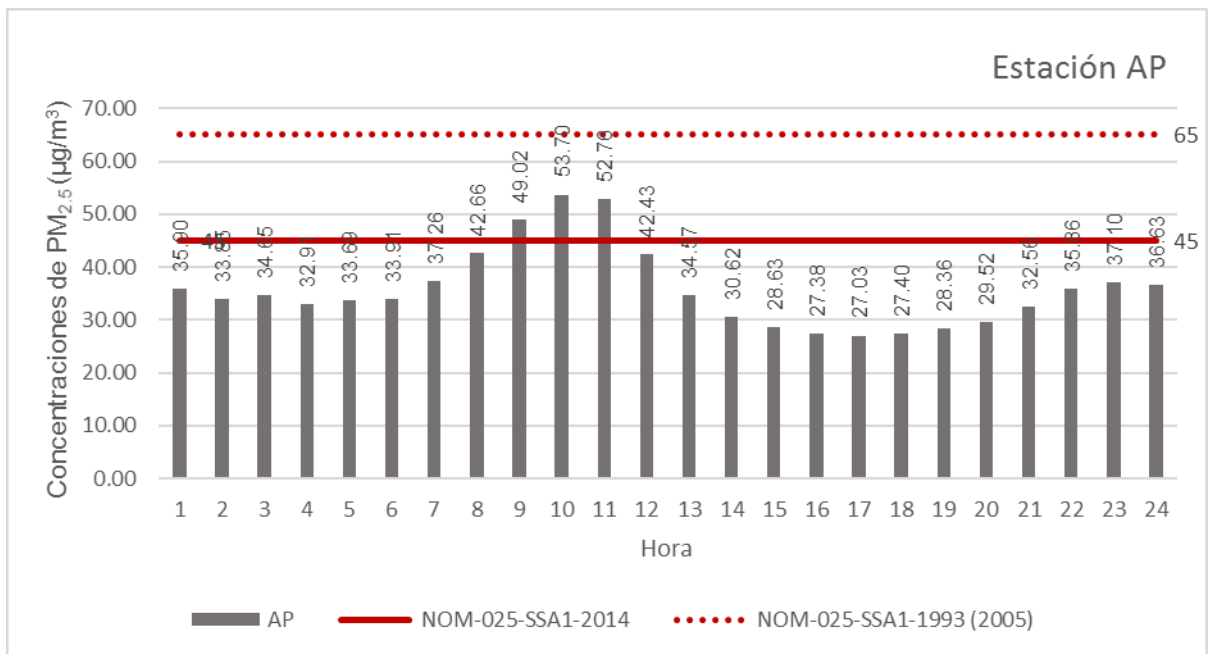
5.1.4 PM_{2.5}/hora por estación en el año 2015

Se presentan las gráficas de cada una de las estaciones de la RAMA-ZMVT, para observar el comportamiento de las concentraciones por hora de PM_{2.5} durante las 24 horas en el año 2015, identificando las estaciones que registran las concentraciones fuera de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un valor de 45 µg/m³ (promedio 24 horas) para la protección de la salud.

5.1.4.1 Estación AP 2015

La Gráfica 22 se observa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Aeropuerto (AP) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación AP respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 22 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación AP en el año 2015



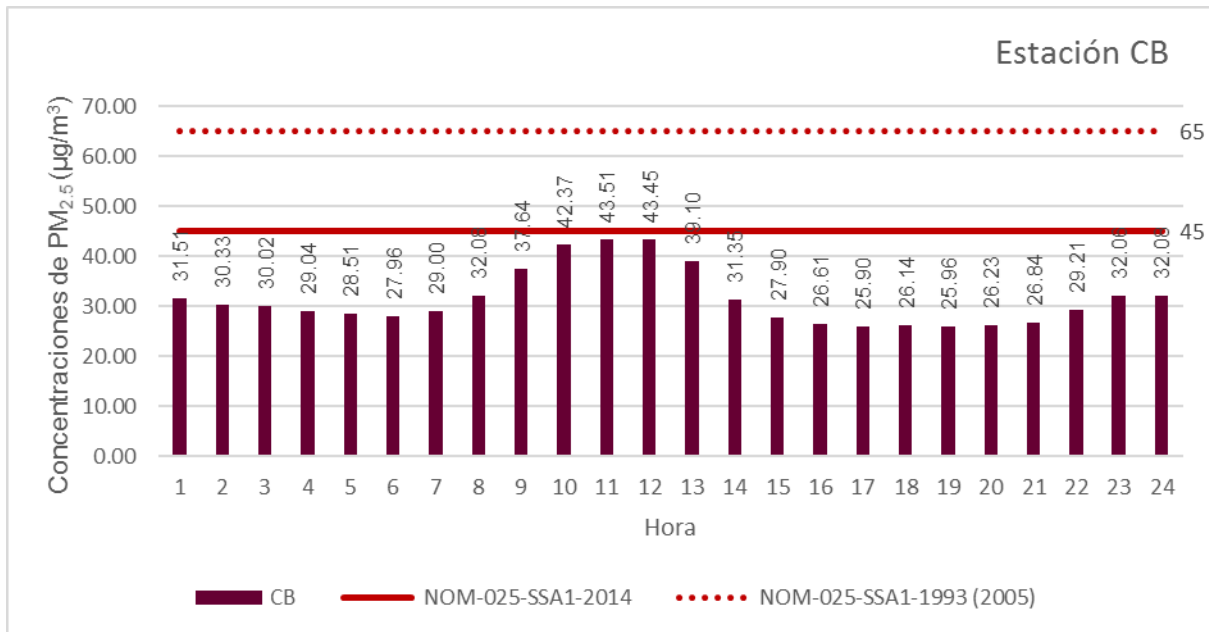
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 22 se observa las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido por la NOM con 3 valores/hora, de 9:00 a 11:00 horas de la mañana, donde la concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 53.70 µg/m³. Respecto a las concentraciones de PM_{2.5} debajo del límite de la NOM, se registraron de 1:00 a 8:00 horas y posteriormente de 12:00 a 24:00 horas. La concentración mínima se registró a las 17:00 horas con un valor de 27.03 µg/m³.

5.1.4.2 Estación CB 2015

La Gráfica 23 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CB respecto a la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 23 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación CB en el año 2015



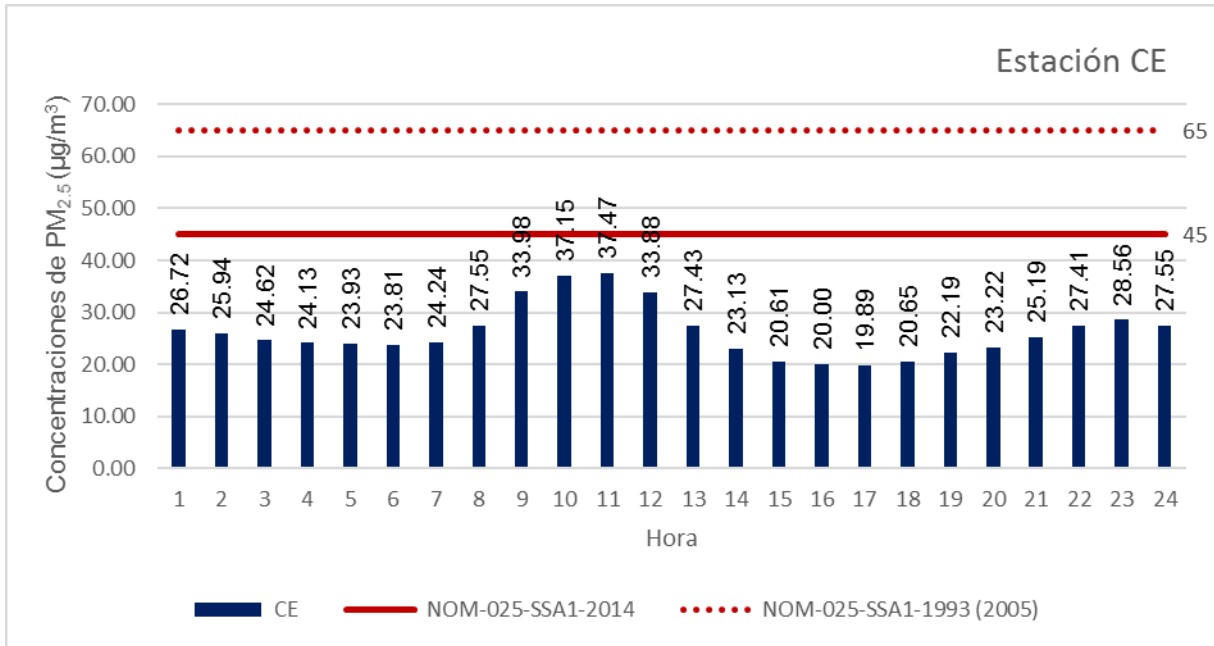
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 23 se observa que las concentraciones se mantienen por debajo del límite establecido por la NOM, sin embargo, entre las 10,11 y 12 las concentraciones están cerca del LMP con valores de 42.37 µg/m³, 43.51 µg/m³ y 43.45 µg/m³ respectivamente. La concentración mínima se registró a las 17:00 horas con 25.90 µg/m³ de PM_{2.5}.

5.1.4.3 Estación CE 2015

La Gráfica 24 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Centro (CE) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CE respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 24 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación CE en el año 2015



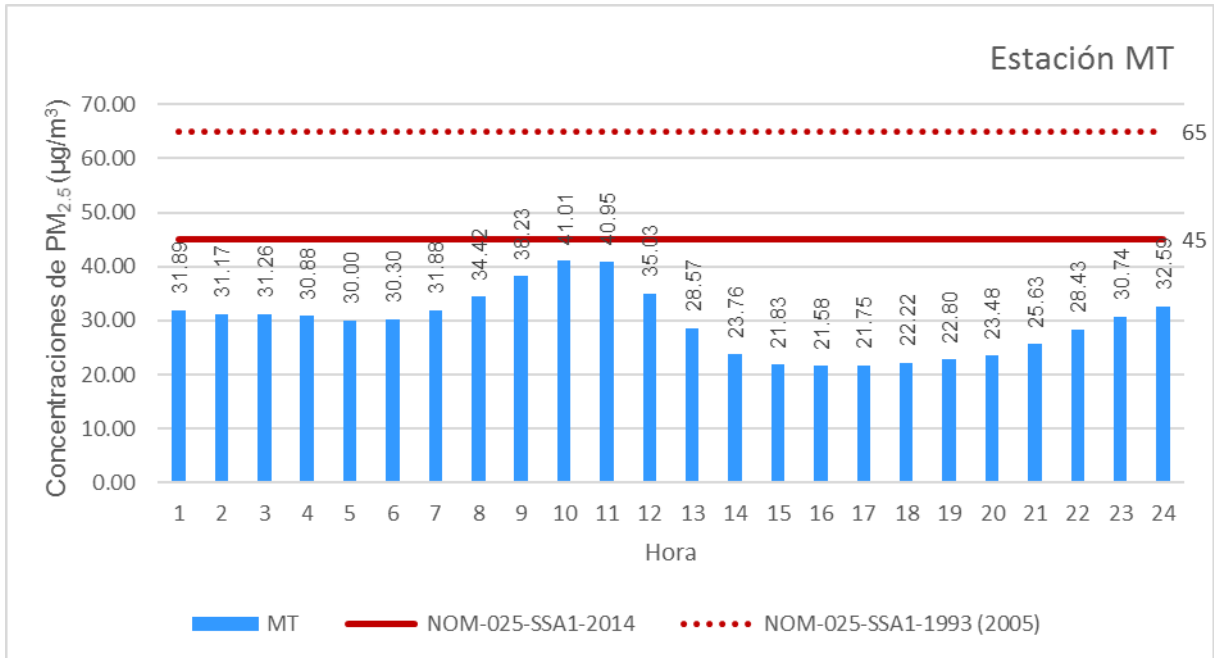
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 24 se observa que no se registraron concentraciones por encima del LMP establecido por la NOM- 025-SSA1-2014, sin embargo, a las 10:00 y 11:00 horas se registraron concentraciones de 37.15 µg/m³ y 37.47 µg/m³ de PM_{2.5} cercanas a la NOM. La mínima concentración se registró a las 17:00 horas con un valor de 19.89 µg/m³.

5.1.4.4 Estación MT 2015

La Gráfica 25 se observa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Metepec (MT) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación MT respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 25 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación MT en el año 2015



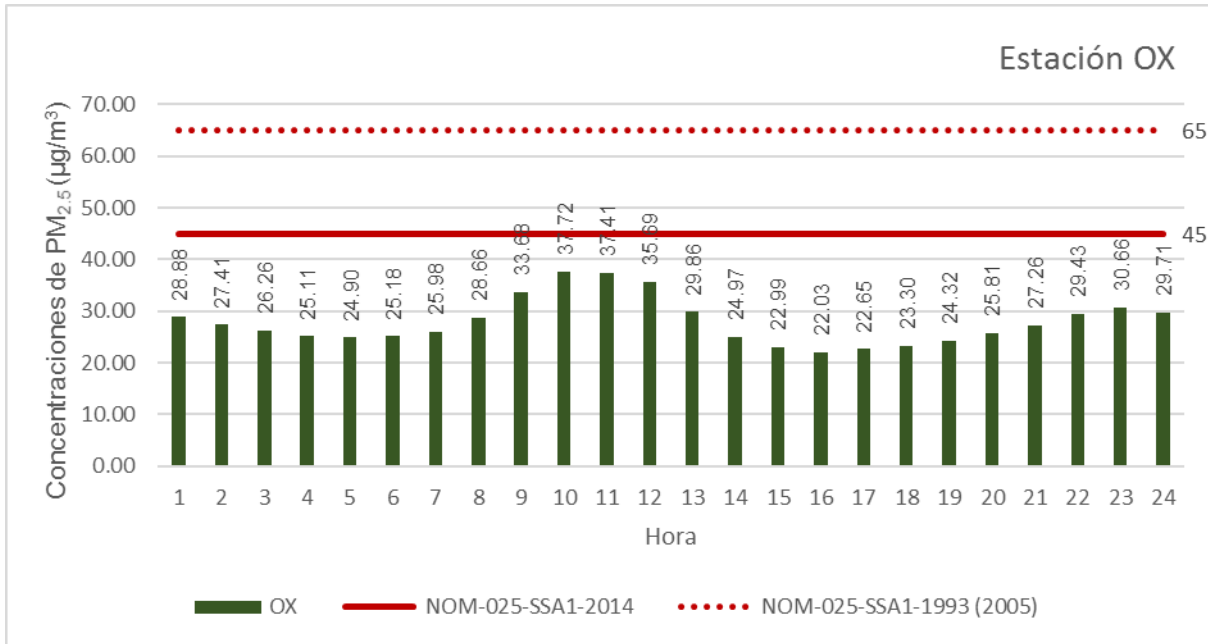
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantienen por debajo de lo establecido por la NOM-025-SSA1-2014 las 24 horas. Sin embargo, se registró a las 10:00 horas con 41.01 µg/m³ la concentración máxima, mientras que la mínima fue de 21.58 µg/m³ a las 16:00 horas.

5.1.4.5 Estación OX 2015

La Gráfica 26 se observa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación OX respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 26 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación OX en el año 2015



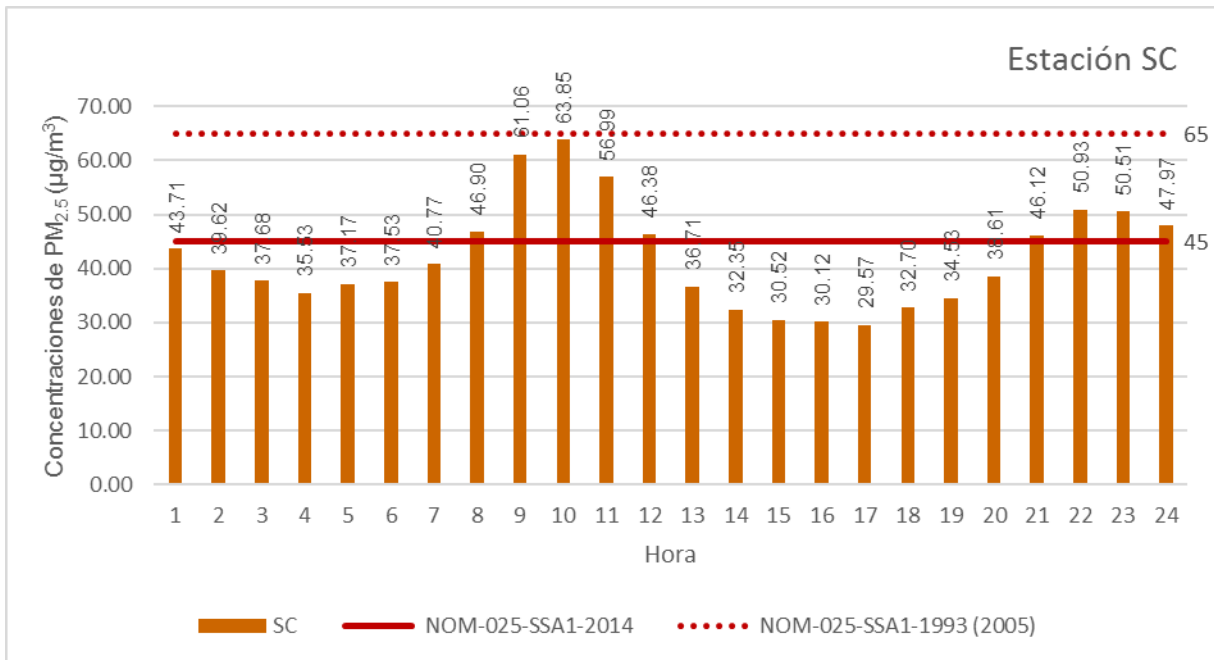
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 26 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} no rebasan la NOM-025-SSA1-2014 respecto al límite establecido por 24 horas. La concentración máxima se registró a las 11:00 horas con 37.72 µg/m³, mientras que la concentración mínima de PM_{2.5} en la estación OX fue de 22.03 µg/m³ a las 16:00 horas.

5.1.4.6 Estación SC 2015

La Gráfica 27 se observa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones promedio de PM_{2.5} registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SC respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 27 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación SC en el año 2015



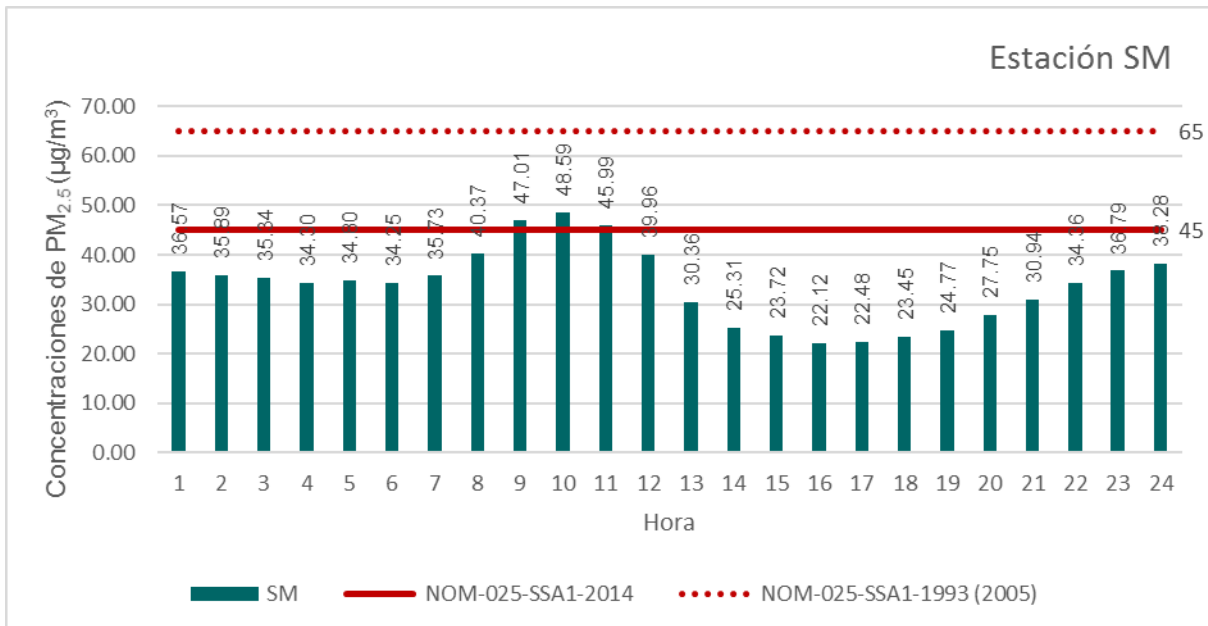
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

La gráfica 27 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido por la NOM con 9 valores/hora, de 8:00 a 12:00 horas y posteriormente de 21:00 a 21:00 horas. La concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 63.85 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones por debajo del límite de la NOM se registraron de 1:00 a 7:00 horas y de 13:00 a 20:00 horas. La concentración mínima de PM_{2.5} se registró a las 17:00 horas con 29.57 µg/m³.

5.1.4.7 Estación SM 2015

La Gráfica 28 se observa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SM respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 28 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación SM en el año 2015



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

La gráfica 28 se observa que la concentración por hora de PM_{2.5} en la estación SM rebasaron el LMP establecido por la NOM con 3 valores/hora, entre las 9:00, 10:00 y 11:00 horas, alcanzando una concentración máxima a las 10:00 horas con 48.59 µg/m³. Mientras que las concentraciones por debajo de la NOM se registraron de 1:00 a 8:00 horas y a partir de las 12:00 hasta las 24:00 horas. La concentración mínima de PM_{2.5} se registró a las 16:00 horas con un valor de 22.12 µg/m³.

5.1.5 PM_{2.5}/hora por estación en el año 2016

Se presentan las gráficas de cada una de las estaciones de la RAMA-ZMVT, para observar el comportamiento de las concentraciones por hora de PM_{2.5} durante las 24 horas en el año 2016, identificando las estaciones que registran las concentraciones fuera de la NOM-025-SSA1-2014 que establecen un Límite Máximo Permisible de 45 µg/m³ (promedio 24 horas) para la protección de la salud humana.

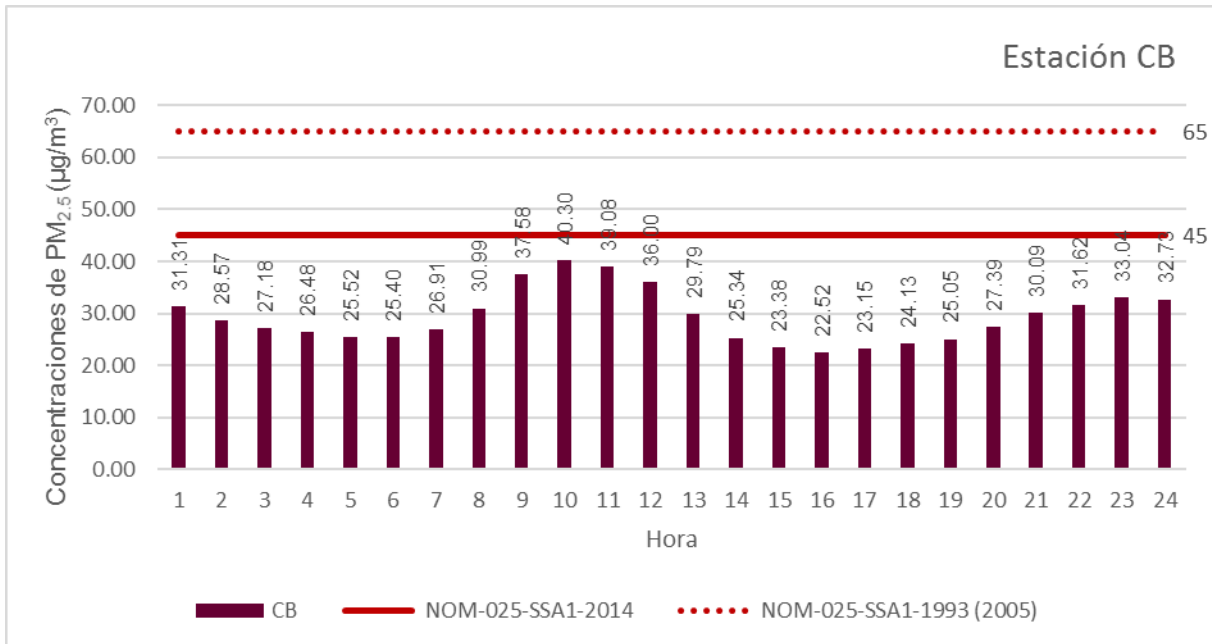
A partir de este año la estación AP ya no registra datos sobre las concentraciones de PM_{2.5} ya que fue apagada a finales del año 2015.

5.1.5.1 Estación CB 2016

La Gráfica 29 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta los datos

registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CB respecto al límite de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 29 Concentraciones PM_{2.5} estación CB en el año 2016



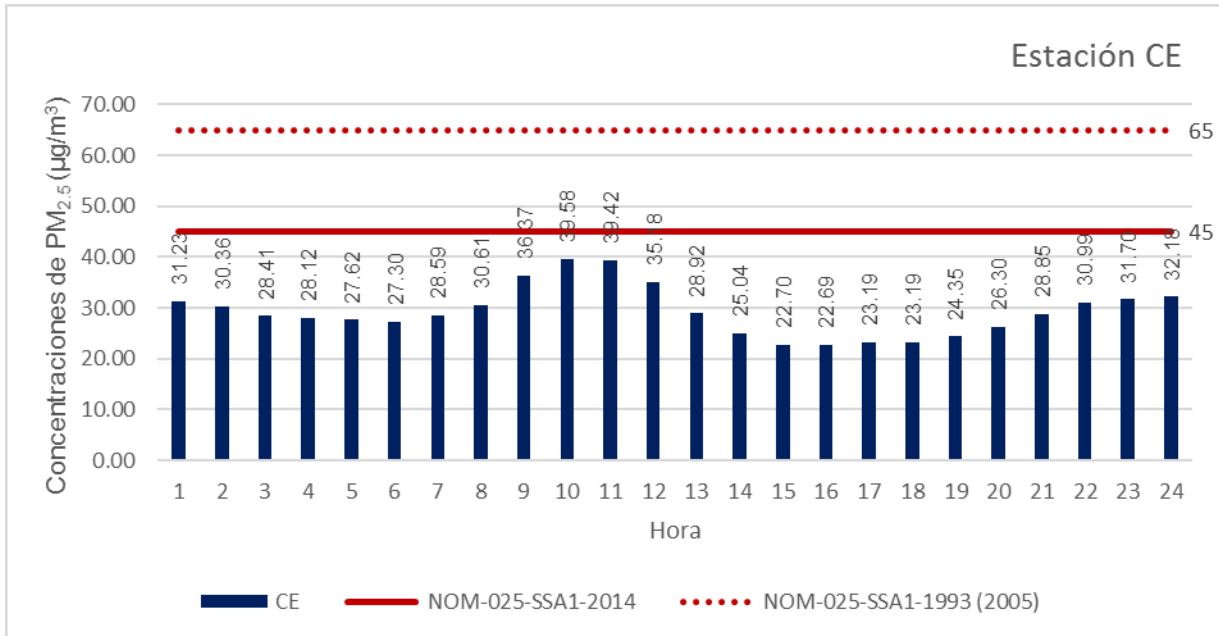
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

En la gráfica 29 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} no rebasan el límite establecido por la NOM-025-SSA1-2014. Sin embargo, se registraron concentraciones altas entre las 8:00 a 13:00 horas, la concentración máxima fue de 40.30 µg/m³ registrada a las 10:00 de la mañana. La concentración mínima se registró a las 16:00 horas con un valor de 22.52 µg/m³.

5.1.5.2 Estación CE 2016

La Gráfica 30 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Centro (CE) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 de PM_{2.5} en la estación CE respecto al límite de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica30 Concentraciones PM_{2.5} estación CE en el año 2016



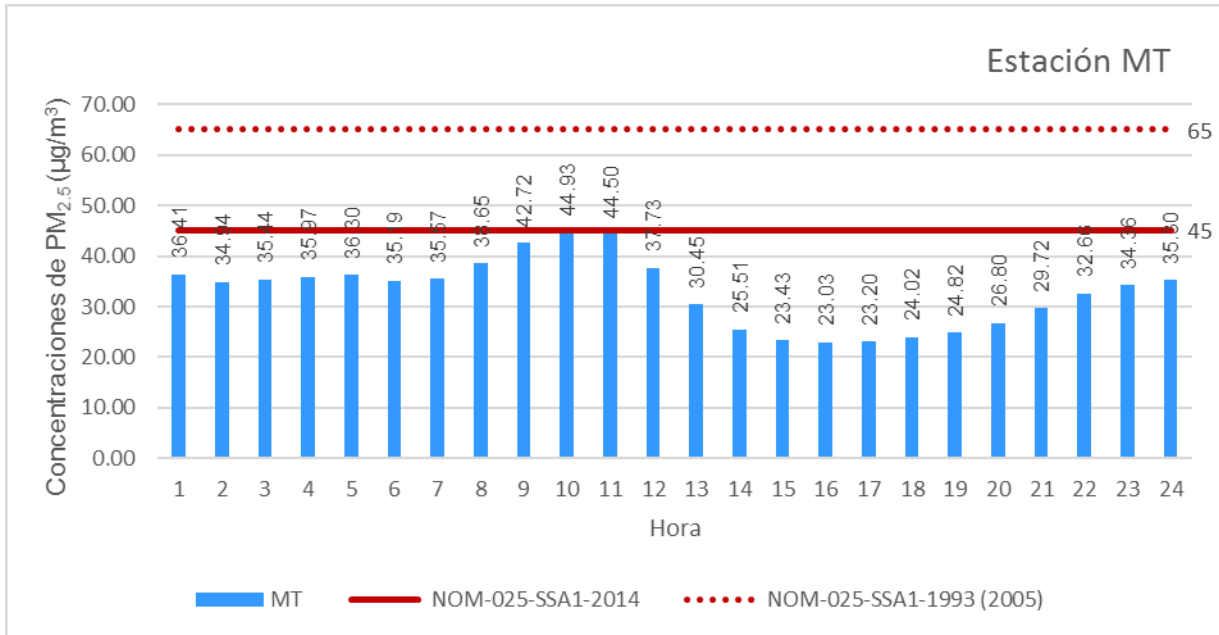
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

En la gráfica 30 se observa que las concentraciones no rebasan el LMP establecido por la NOM-025-SSA1-2014 durante las 24 horas del día, sin embargo, a las 10:00 y 11:00 horas se presentaron concentraciones cercanas a la NOM con 39.58 µg/m³ y 39.42 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones mínimas se registraron de 1:00 a 7:00 horas, así como de las 14:00 a 24 horas. La concentración mínima de PM_{2.5} se registró entre las 15:00 y 16:00 horas con 22.70 µg/m³ y 22.69 µg/m³.

5.1.5.3 Estación MT 2016

La Gráfica 31 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Metepec (MT) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta los datos registrados de PM_{2.5} desde la hora 1, a la hora 24 en la estación MT respecto al límite de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 31 Concentraciones PM_{2.5} estación MT en el año 2016



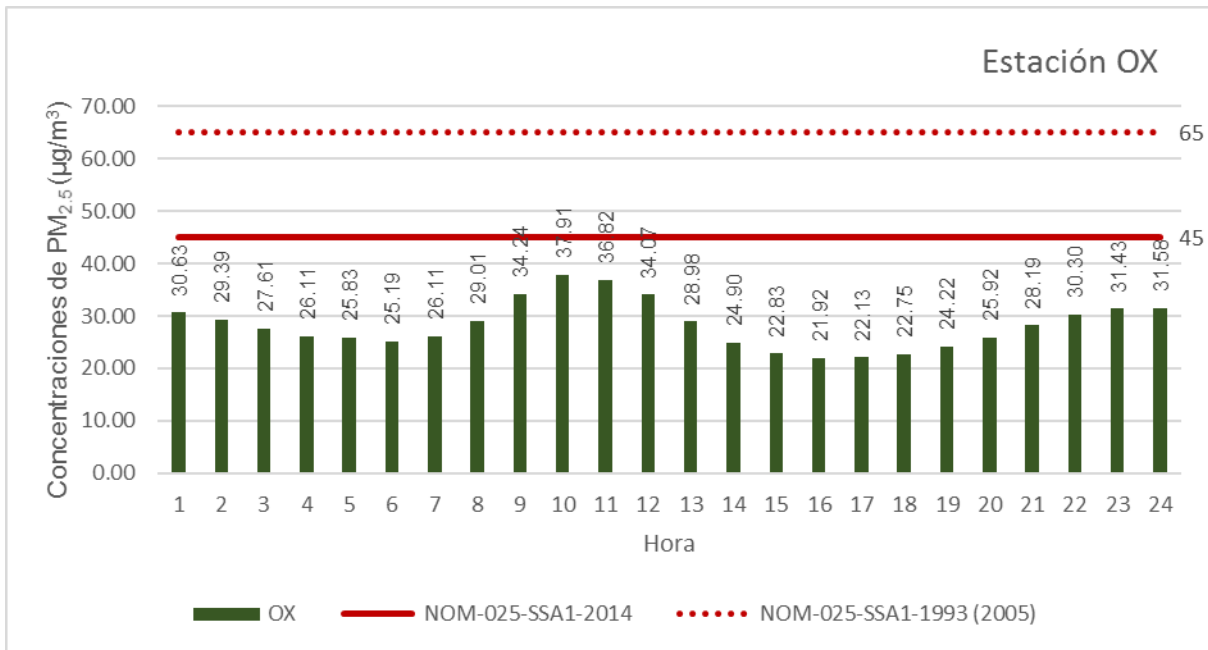
Elaboración propia con base los datos de la RAMA, 2016.

En la gráfica 31 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} están por debajo del LMP establecido en la NOM-025-SSA1-2014 las 24 horas, sin embargo a las 10:00 y 11:00 horas casi se alcanzó el valor de la NOM, ya que se registró una concentración de 44.93 µg/m³ y 44.50 µg/m³. Las concentraciones bajas se registraron entre las 13:00 a 20:00 horas, donde la concentración mínima de PM_{2.5} en la estación MT fue de 23.03 µg/m³ a las 16:00 horas.

5.1.5.4 Estación OX 2016

La Gráfica 32 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación OX respecto a lo establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 32 Concentraciones PM_{2.5} estación OX en el año 2016



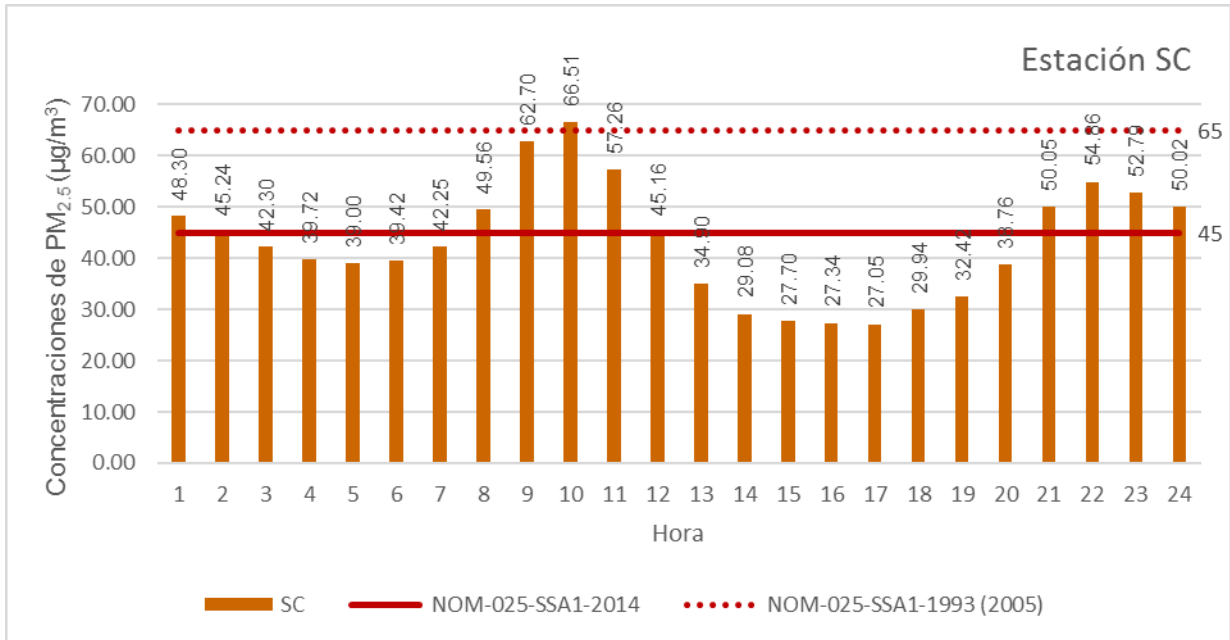
Elaboración propia con base en datos de la RAMA,2016.

En la gráfica 32 se observa que las concentraciones registradas en la estación OX de PM_{2.5} promedio 24 horas se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM-025-SSA1-2014. A pesar de ello la concentración máxima se presentó a las 10:00 de la mañana con un valor de 37.91 µg/m³ y la mínima concentración de PM_{2.5} fue de 21.92 µg/m³ registrada a las 16:00 horas.

5.1.5.5 Estación SC 2016

La Gráfica 33 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SC respecto al límite de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 33 Concentraciones PM_{2.5} estación SC en el año 2016



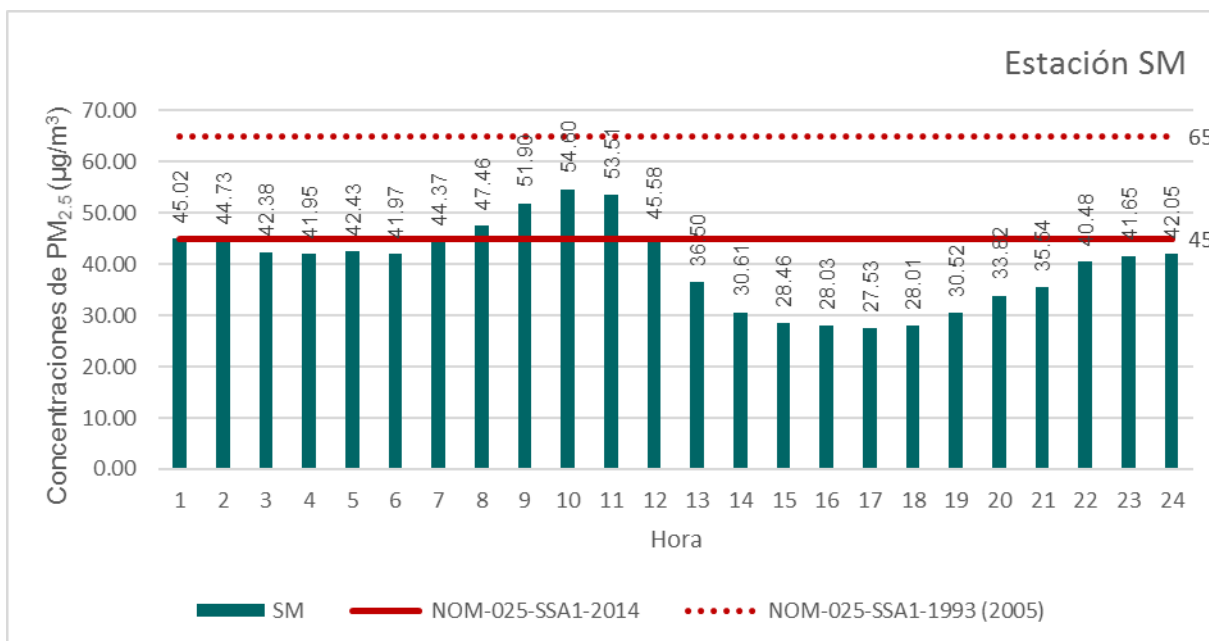
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

En la gráfica 33 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido en la NOM con 11 valores/hora, a la 1:00 de la mañana, de 8:00 a 12:00 horas y posteriormente de 21:00 a 24:00 horas. La concentración máxima se registra a las 10:00 horas con 66.51 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones por debajo del límite de la NOM se registraron de 2:00 a 7:00 de la mañana y de 13:00 a 20:00 de la tarde-noche. La concentración mínima se presentó a 17:00 horas con 27.05 µg/m³ de PM_{2.5}.

5.1.5.6 Estación SM 2016

La Gráfica 34 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SM respecto al límite de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 34 Concentraciones PM_{2.5} estación SM en el año 2016



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

En la gráfica 34 se observa las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido por la NOM con 6 valores/hora, de 8:00 a 11:00 horas las concentraciones superan el límite. Registrándose la concentración máxima a las 10:00 horas con 54.60 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones por debajo del límite de la NOM se registraron de 2:00 a 7:00 de la mañana (muy cercanas al LMP por la NOM) y posteriormente de 13:00 a 24:00 horas. La concentración mínima se registró a las 17:00 horas con 27.53 µg/m³.

5.1.6 PM_{2.5}/hora por estación en el año 2017

Se presentan las gráficas de cada una de las estaciones de la RAMA-ZMVT, para observar el comportamiento de las concentraciones por hora de PM_{2.5} durante las 24 horas en el año 2017, identificando las estaciones que registran las concentraciones fuera de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un Límite Máximo Permisible de 45 µg/m³ (promedio 24 horas) para la protección de la salud.

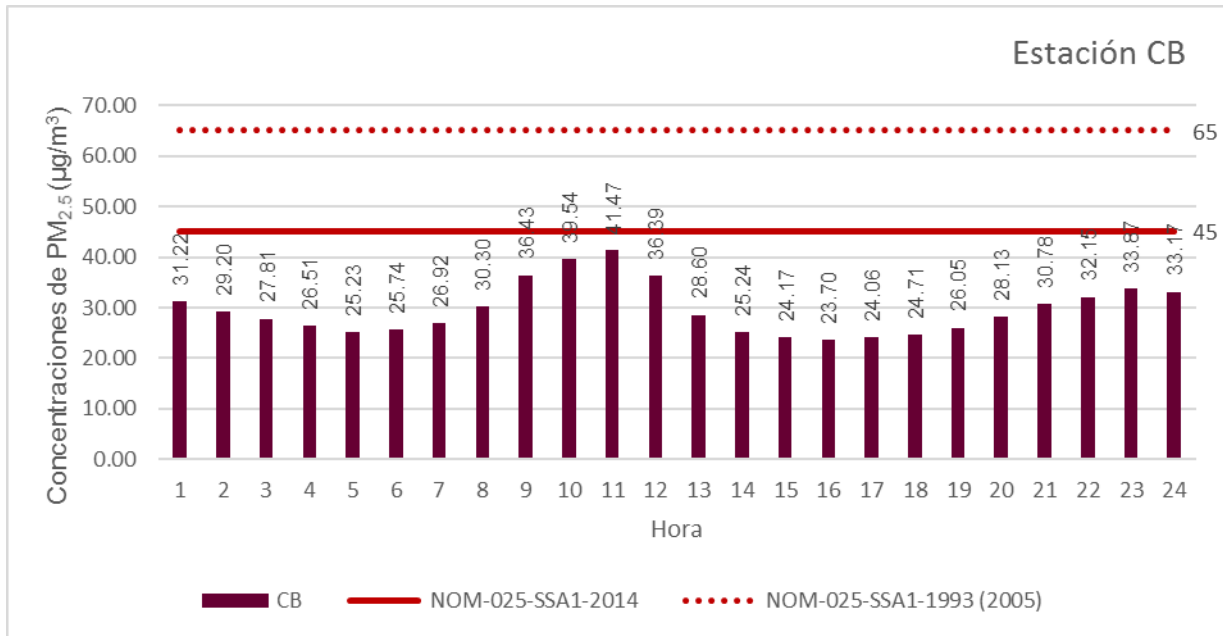
Cabe señalar que, a partir del año 2016, la estación AP ya no registró datos sobre las concentraciones de PM_{2.5}, ya que fue apagada a finales del año 2015.

5.1.6.1 Estación CB 2017

La Gráfica 35 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las

concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CB respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 35 Concentraciones PM_{2.5} en la estación CE en el año 2017



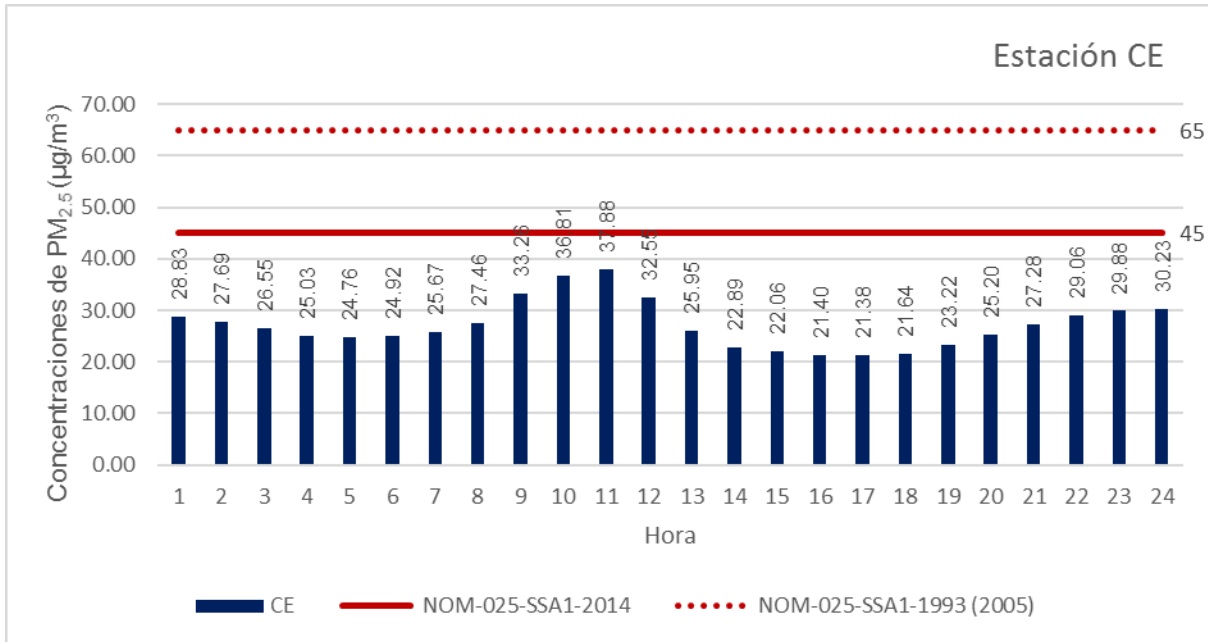
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

En la gráfica 35 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantuvieron por debajo del límite establecido por la NOM, sin embargo, las concentraciones más altas se presentaron de 9:00 a 12:00 horas. La concentración máxima se registró a las 11:00 horas con 41.47 µg/m³. La concentración mínima de PM_{2.5} se presentó a las 16:00 horas con 23.70 µg/m³.

5.1.6.2 Estación CE 2017

La Gráfica 36 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Centro (CE) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CE respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 36 Concentraciones PM_{2.5} estación CE en el año 2017



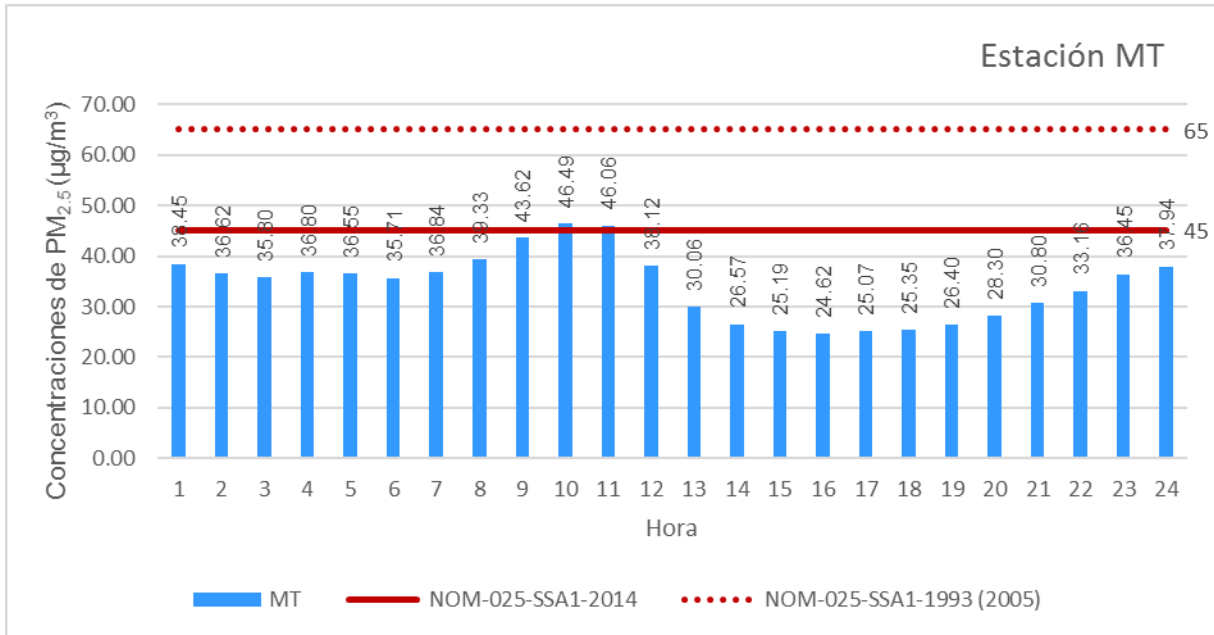
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

En la gráfica 36 se observa que las concentraciones promedio de PM_{2.5} en la estación CE no rebasaron el LMP establecido en la NOM-025-SSA1-2014. Sin embargo, se presentaron concentraciones altas entre las 9:00 a 12:00 horas donde la concentración máxima fue de 37.88 µg/m³ registrada a las 11:00 de la mañana. La concentración mínima de PM_{2.5} fue de 21.38 µg/m³ registrada a las 17:00 horas.

5.1.6.3 Estación MT 2017

La gráfica 37 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Metepec (MT) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación MT respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 37 Concentraciones PM_{2.5} estación MT en el año 2017



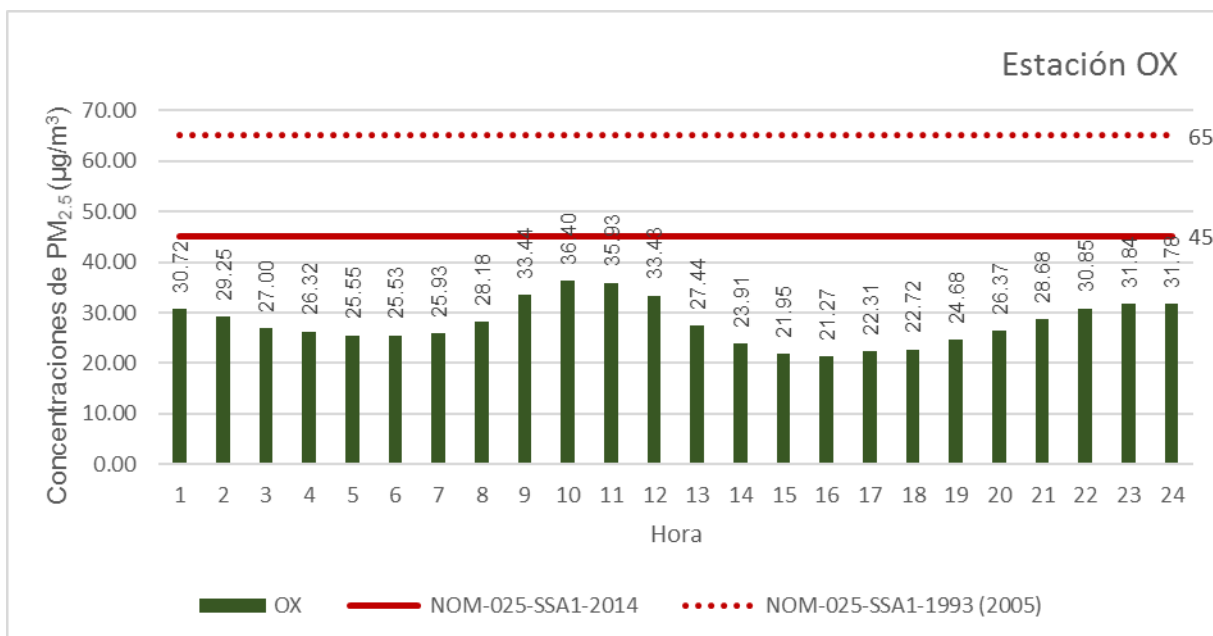
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

La gráfica 37 se observa que las concentraciones rebasaron el LMP establecido por la NOM con 2 valore/hora, entre las 10:00 y 11:00 de la mañana. La máxima concentración se registró a las 10:00 horas con 46.49 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones por debajo del límite de la NOM se registraron de 1:00 a 9:00 horas y más tarde se presentó una disminución de las concentraciones, a partir de las 12:00 hasta las 24:00 horas. La concentración mínima de PM_{2.5} se presentó a las 16:00 horas con un valor de 24.62 µg/m³.

5.1.6.4 Estación OX 2017

La Gráfica 38 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación OX respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 38 Concentraciones PM_{2.5} estación OX en el año 2017



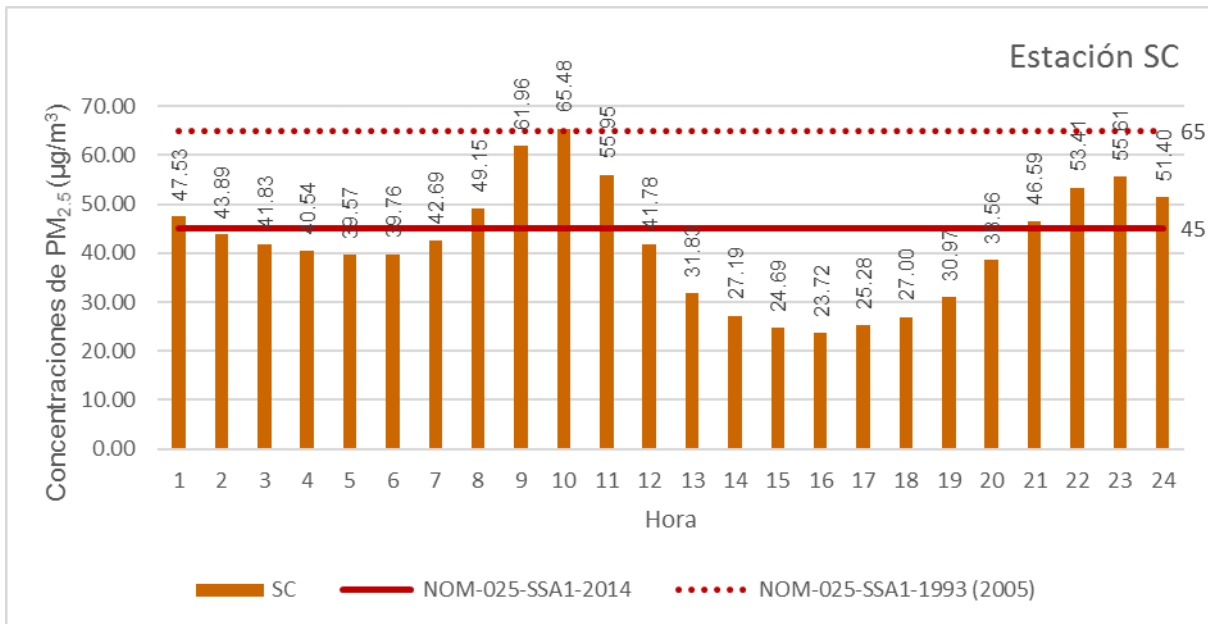
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

En la gráfica 38 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en la estación OX no rebasaron el LMP establecido en la NOM. Las horas con mayores concentraciones de PM_{2.5} se registraron entre las 9:00 a 12:00 horas, donde la concentración máxima fue de 36.40 µg/m³ a las 10:00 de la mañana. Respecto a la concentración mínima de PM_{2.5} fue de 21.27 µg/m³ registrada a las 16:00 de la tarde.

5.1.6.5 Estación SC 2017

La Gráfica 39 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SC respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 39 Concentraciones PM_{2.5} estación SC en el año 2017



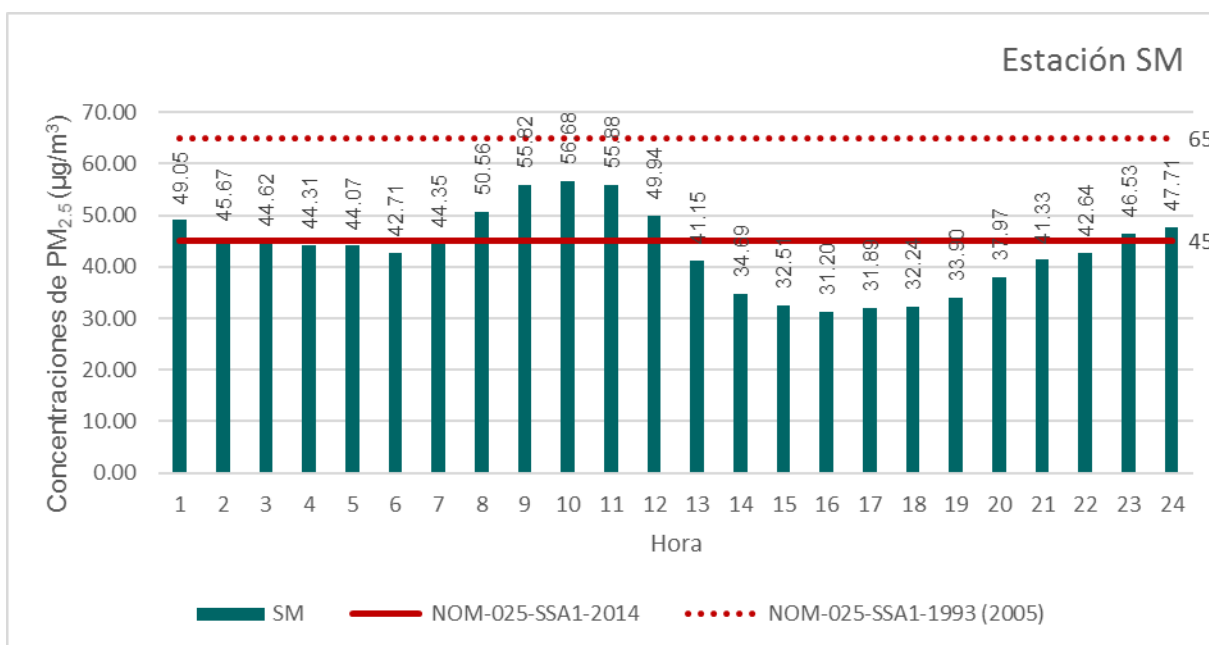
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

En la gráfica 39 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en la estación SC rebasaron el LMP establecido por la NOM con 9 valores/hora, a la 1:00, de 8:00 a 11:00 y a partir de las 21:00 hasta las 24:00 horas. La concentración máxima se registró entre las 10:00 de la mañana con un valor de 65.48 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones registradas por debajo del límite de la NOM fueron de 2:00 a 7:00 de la mañana (cercanas al límite de la NOM), y posteriormente de 12:00 a 20:00 de la tarde (concentraciones más bajas). La concentración mínima de PM_{2.5} se registró a las 16:00 horas con un valor de 23.72 µg/m³.

5.1.6.6 Estación SM 2017

La Gráfica 40 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SM respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 40 Concentraciones PM_{2.5} estación SM en el año 2017



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

En la gráfica 40 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido en la NOM con 9 valores/hora, de 1:00 a 2:00, de 8:00 a 12:00 y más tarde a las 23:00 y 24:00 horas. La concentración máxima se registró a las 10:00 de la mañana con 56.68 µg/m³. Mientras que las concentraciones por debajo del Límite Máximo Permisible establecido por la NOM se registraron de 3:00 a 7:00 horas (concentraciones cercanas al límite y más altas en la estación), y más tarde de 13.00 a 22:00 horas; entre las cuales la concentración mínima se presentó a las 16:00 horas con 31.20 µg/m³.

5.1.7 PM_{2.5}/hora por estación en el año 2018

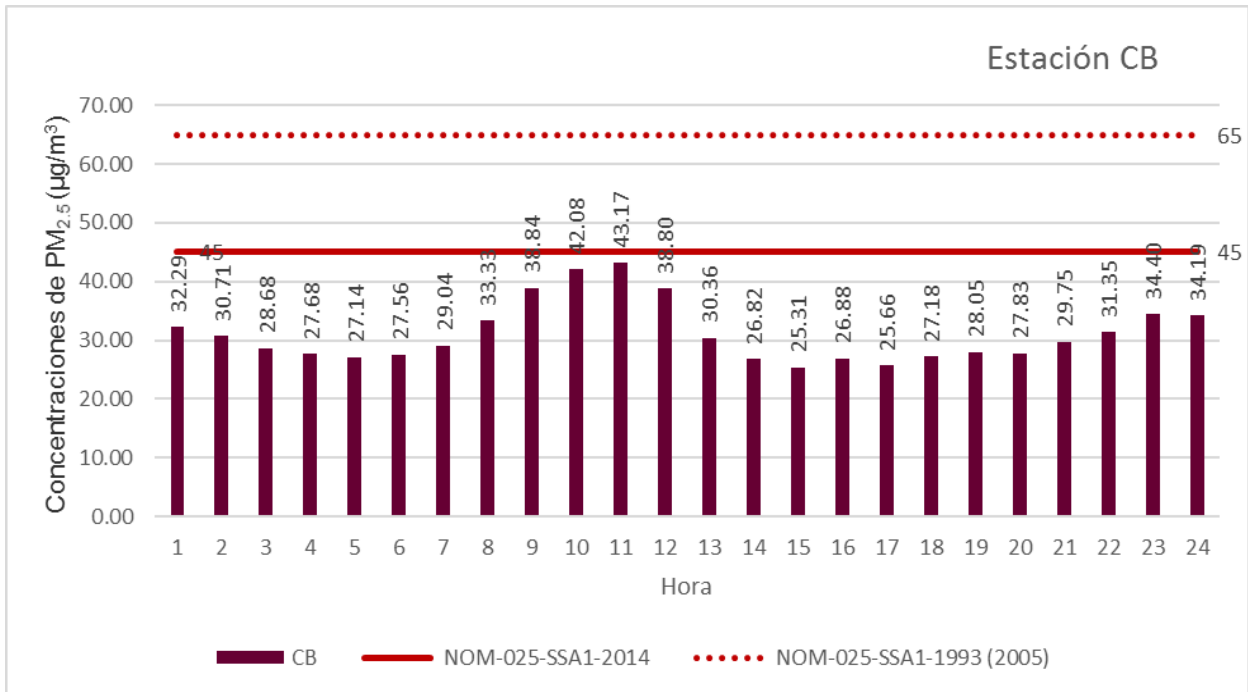
Se presentan las gráficas de cada una de las estaciones de la RAMA-ZMVT, para observar el comportamiento de las concentraciones por hora de PM_{2.5} durante las 24 horas en el año 2018, identificando las estaciones que registran las concentraciones fuera de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un Límite Máximo Permisible de 45 µg/m³ (promedio 24 horas) para la protección de la salud humana.

Cabe señalar que, a partir del año 2016, la estación AP ya no registró datos sobre las concentraciones de PM_{2.5}, ya que fue apagada a finales del año 2015.

5.1.7.1 Estación CB 2018

La Gráfica 41 representa el promedio horario de concentración de $PM_{2.5}$ en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2018, tomando en cuenta los datos registrados desde la hora 1 a la hora 24 en la estación respecto del límite establecido en la NOM-025- SSA1-2014.

Gráfica 41 Concentraciones $PM_{2.5}$ por hora estación CB en el año 2018



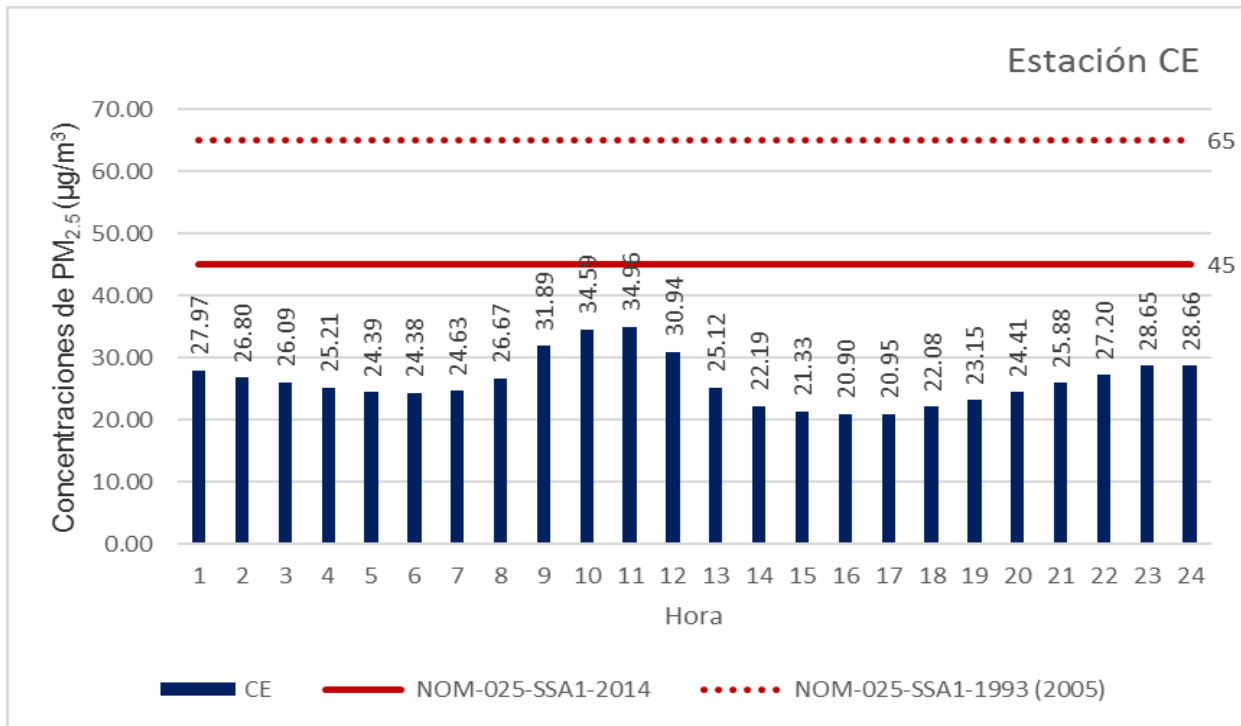
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018

En la gráfica 41 se observa que las concentraciones de $PM_{2.5}$ registradas durante las 24 horas en la estación Ceboruco se mantienen por debajo del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014. Entre las 7:00 a 13:00 horas se presentó un incremento de concentraciones en donde la concentración máxima se registró a las 11:00 horas con $43.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la concentración mínima se registró a las 15:00 horas con $25.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$.

5.1.7.2 Estación CE 2018

La Gráfica 42 representa el promedio de concentración por hora de $PM_{2.5}$ en la estación Toluca Centro (CE) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación CE respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 42 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación CE en el año 2018



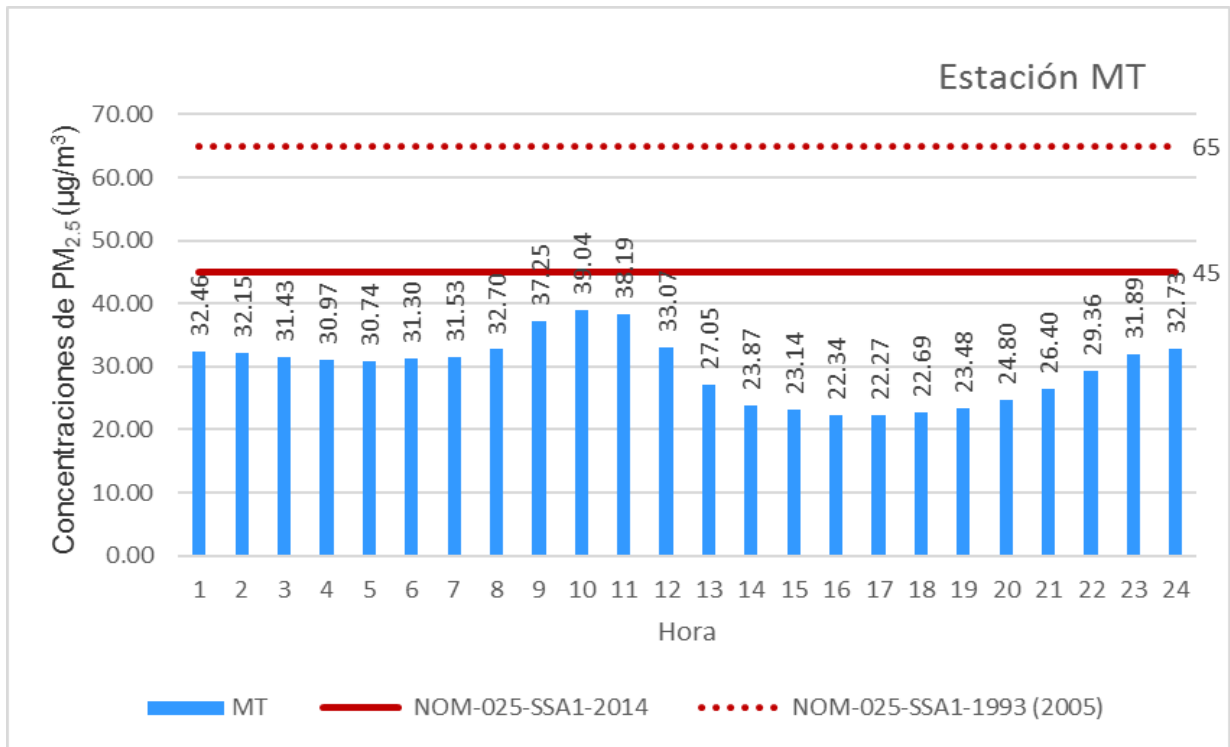
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018.

En la gráfica 42 se observa que las concentraciones se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM las 24 horas, las concentraciones elevadas se registraron a partir de la 8:00 a 13:00 horas. La concentración máxima se registró entre las 10:00 y 11:00 horas con 34.59 µg/m³ y 34.96 µg/m³ respectivamente, las concentraciones mínimas se presentaron a las 16:00 y 17:00 horas con 20.90 µg/m³ y 20.95 µg/m³ de PM_{2.5}.

5.1.7.3 Estación MT 2018

La Gráfica 43 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Metepec (MT) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación MT respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 43 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación MT en el año 2018



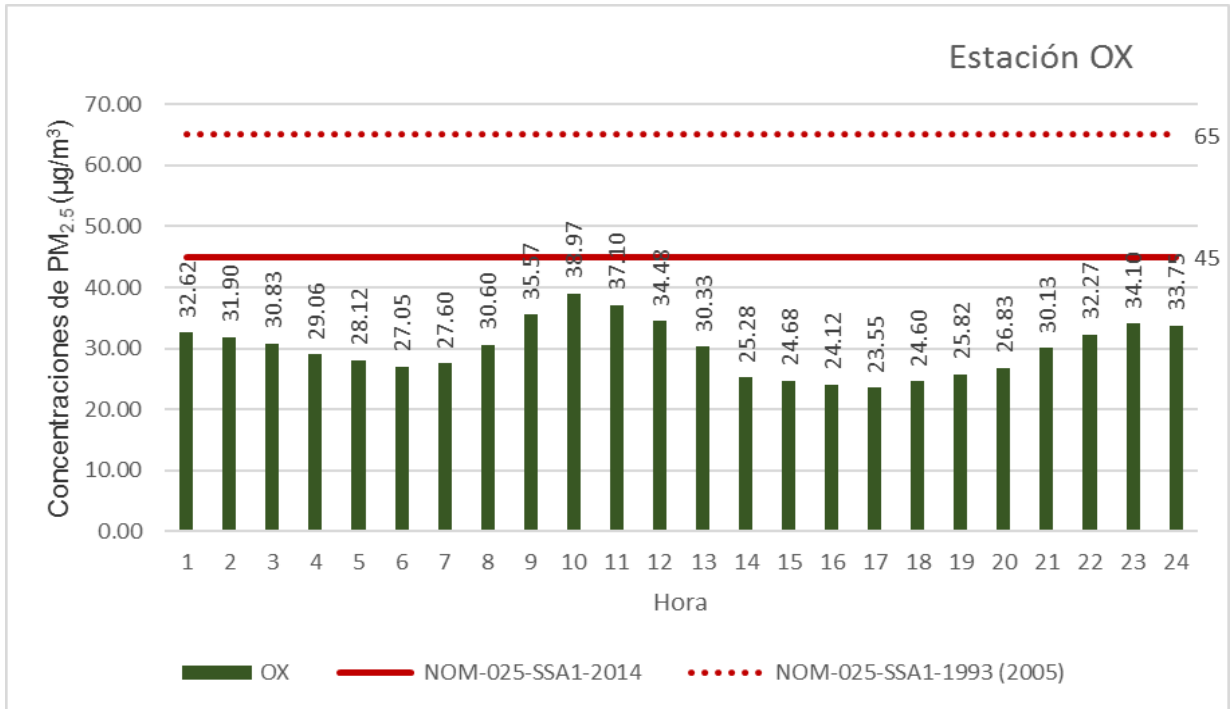
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018.

En la gráfica 43 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM las 24 horas, las concentraciones más altas se registraron a partir de las 1:00 a 12:00 horas. La concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 39.04 µg/m³, la concentración mínima se registró a las 17:00 horas con 22.27 µg/m³ de PM_{2.5}.

5.1.7.4 Estación OX 2018

La Gráfica 44 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación OX respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 44 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación OX en el año 2018



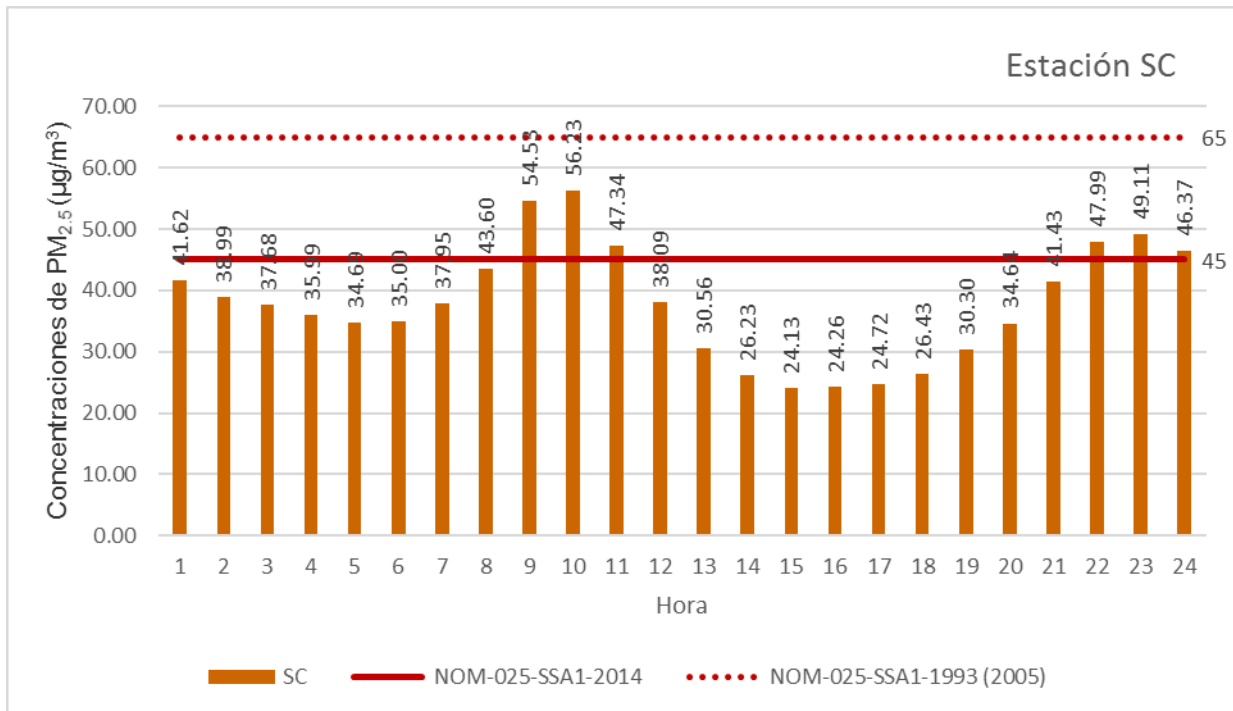
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018

En la gráfica 44 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} se mantuvieron por debajo del LMP establecido por la NOM las 24 horas; se presentó un incremento de concentraciones de PM_{2.5} a partir de las 7:00 a 13:00 horas, donde la concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 38.97 µg/m³. Mientras que las concentraciones más bajas se registraron de 14:00 a 18:00 horas, donde la concentración mínima se registró a las 17:00 horas con 23.55 µg/m³ de PM_{2.5}.

5.1.7.5 Estación SC 2018

La Gráfica 45 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SC respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 45 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación SC en el año 2018



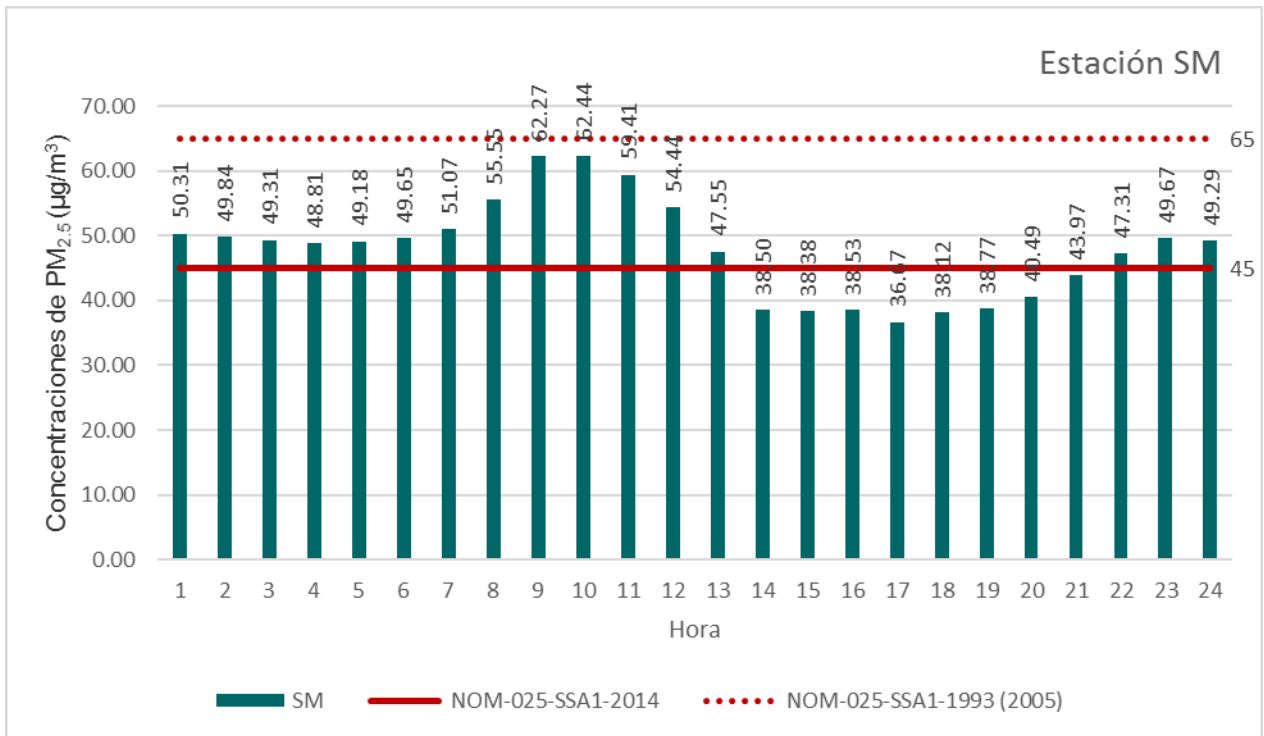
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018.

En la gráfica 45 se observa que las concentraciones registradas las 24 horas en la estación SC en 6 ocasiones rebasaron el LMP establecido por la NOM, las concentraciones más altas se registraron de 8:00 a 11:00 horas y posteriormente de 21:00 a 24:00 horas. La concentración máxima se registró a las 10:00 horas con 56.23 µg/m³. Mientras que las concentraciones mínimas se registraron entre las 13:00 a 18:00 horas, siendo la concentración mínima de 24.13 µg/m³ de PM_{2.5} registrada a las 15:00 horas.

5.1.7.6 Estación SM 2018

La gráfica 46 representa el promedio de concentración por hora de PM_{2.5} en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta los datos registrados desde la hora 1, a la hora 24 en la estación SM respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 46 Concentraciones PM_{2.5} por hora estación SM en el año 2018



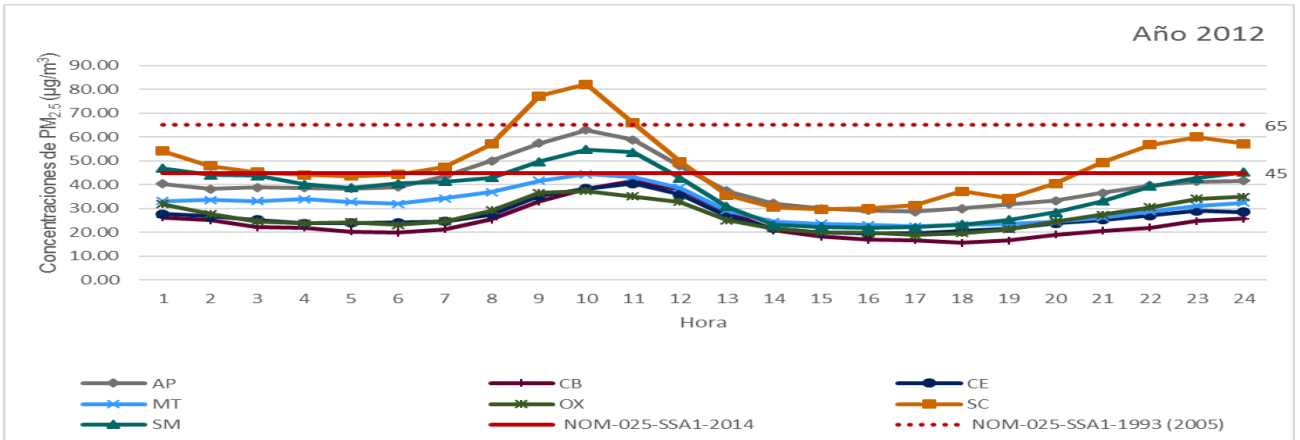
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018.

En la gráfica 46 es notorio que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido por la NOM vigente con 16 valores/hora. Las concentraciones máximas se registraron a las 9:00 y 10:00 horas con 62.27 µg/m³ y 62.44 µg/m³ respectivamente, sin embargo, durante las horas restantes las concentraciones se presentaron aún por encima de la NOM. Las concentraciones que se registraron por debajo de la NOM fue de 14:00 a 21:00 horas, donde la mínima concentración fue de 36.67 µg/m³ de PM_{2.5} a las 17:00 horas.

5.1.7.8 Resumen de registros promedio de PM_{2.5}/hora del 2012 a 2018

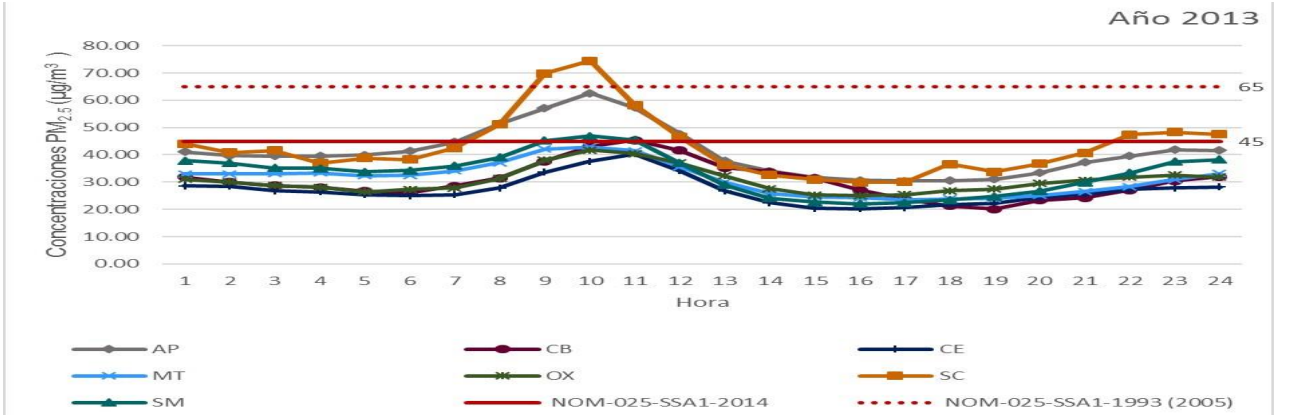
En las gráficas siguientes (47- 53) en resumen, se observará las concentraciones promedio por hora de PM_{2.5} en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el período del 2012 al 2018. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas desde la hora 1, a la hora 24 en las estaciones, respecto de la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 47 Registros promedio de PM_{2.5} por hora del año 2012



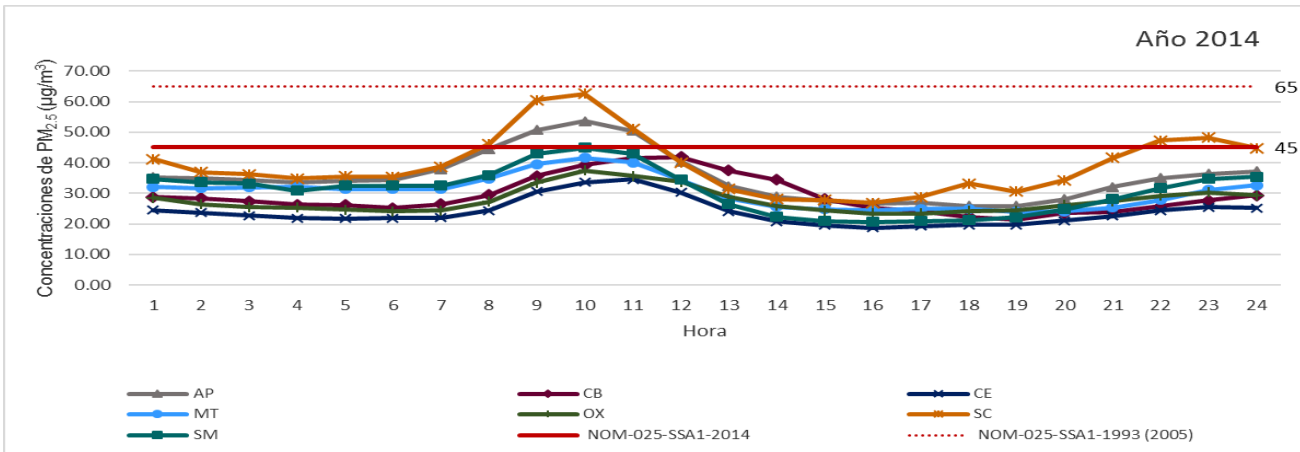
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

Gráfica 48 Registros promedio de PM_{2.5} por hora del año 2013



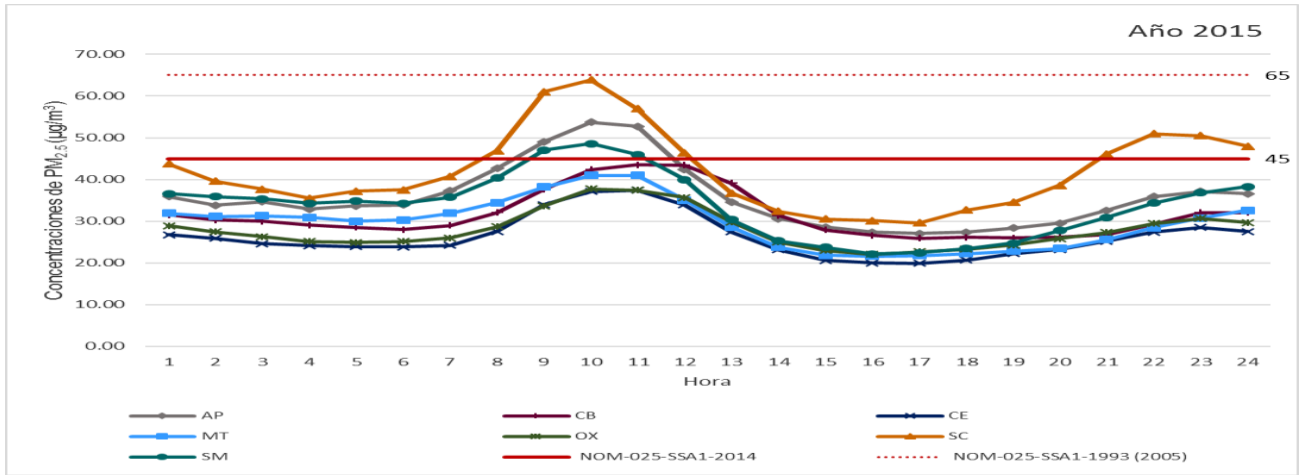
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

Gráfica 49 Registros promedios de PM_{2.5} por hora del año 2014



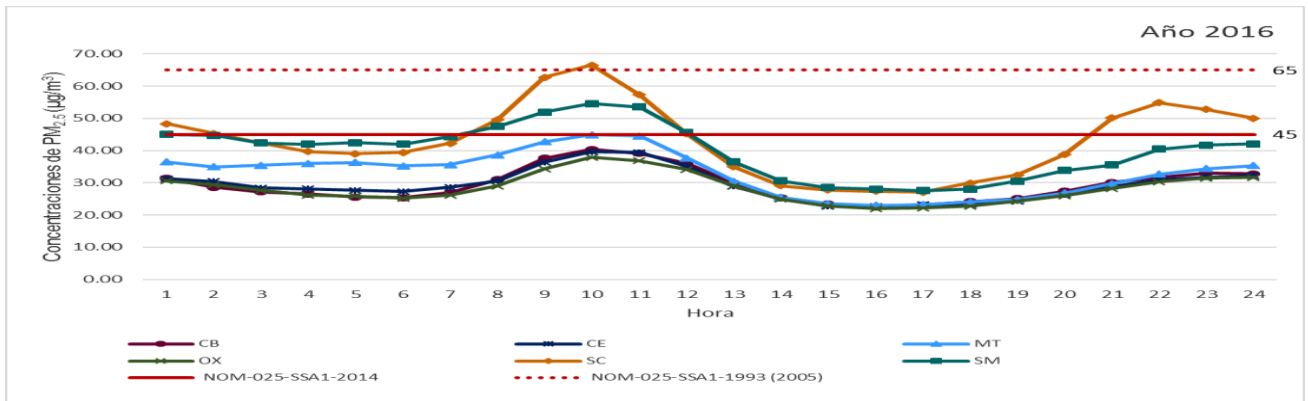
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

Gráfica 50 Registros promedios de PM_{2.5} por hora del año 2015



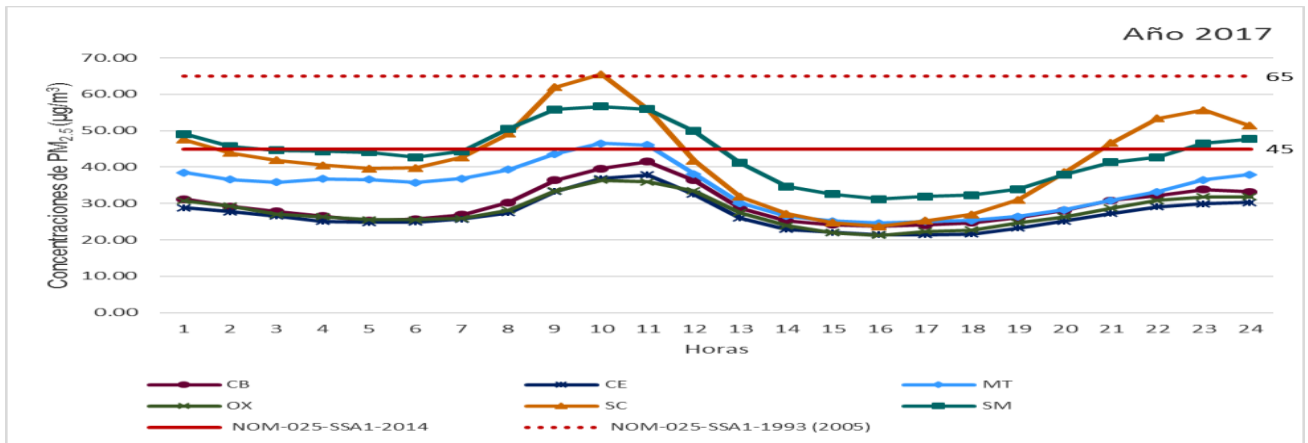
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

Gráfica 51 Registros promedio de PM_{2.5} por hora del año 2016



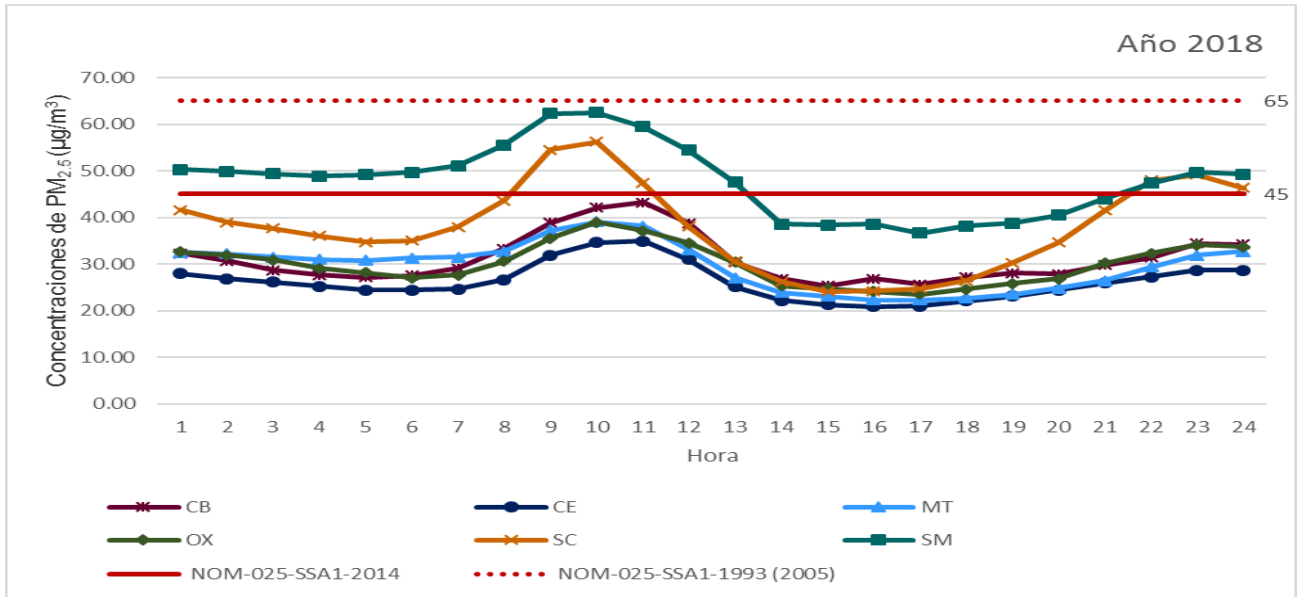
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

Gráfica 52 Registros promedio de PM_{2.5} por hora del año 2017



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

Gráfica 53 Registros promedio de PM_{2.5} por hora del año 2018



Elaboracion propia con base en datos de la RAMA, 2018

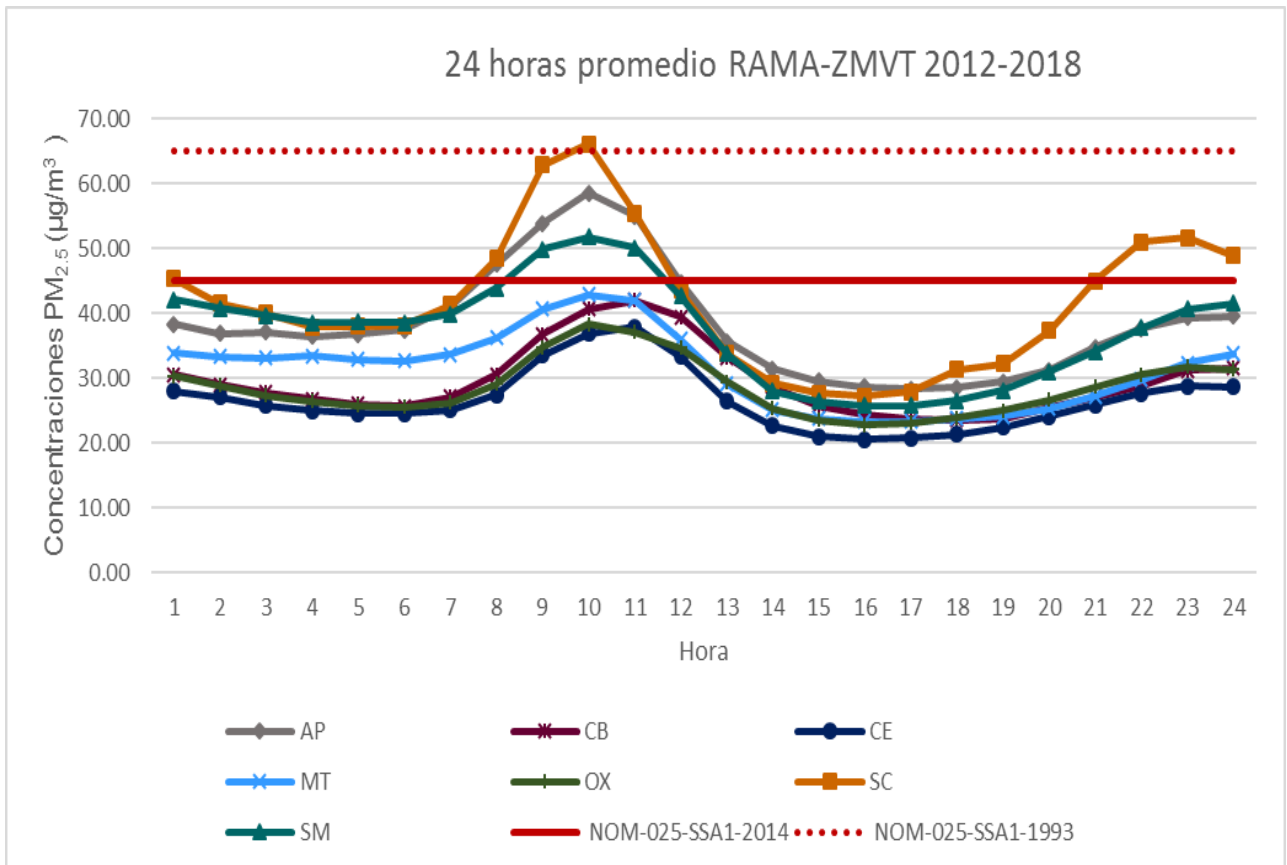
Se puede observar que las gráficas presentan el mismo comportamiento en el periodo de estudio (2012 a 2018), las concentraciones más altas promedio de PM_{2.5} en el día están de 9:00 a 11:00 horas, siendo la concentración pico entre las 10:00 horas, siendo las estaciones de Aeropuerto, San Cristóbal Huichochitlán y San Mateo Atenco las más representativas y las que están por arriba del LMP establecido en la NOM.

A su vez las horas con los promedios más bajos en la mayoría de los casos están entre las horas 13:00 a 24:00. En las siete estaciones se ve este comportamiento entre un rango de 20 µg/m³ a 44 µg/m³,

5.1.7.8 Comportamiento promedio horario de PM_{2.5} de PM_{2.5}/hora en la RAMA-ZMVT (2012-2018)

La gráfica 54 representa el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} en cada una de las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante las 24 horas, respecto del Límite Máximo Permissible de 45 µg/m³ (promedio 24 horas) establecido en la NOM-025-SSA1-2014 durante el período 2012-2018.

Gráfica 54 Comportamiento de PM_{2.5} horario en la RAMA-ZMVT 2012-2018



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012-2018.

En la gráfica 54 se observa que la mayor parte de las horas las concentraciones se mantienen por debajo del Límite Máximo Permissible (LMP) establecido por la NOM, solo tres estaciones registraron de las 8:00 a 12:00 horas un incremento rebasando el LMP en las estaciones SC, AP y SM. La estación SC es la que presentó la concentración máxima con 66.12 µg/m³ a las 10:00 horas en promedio.

Particularmente, la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) presentó concentraciones fuera del Límite Máximo Permissible establecido en la NOM-025-SSA1-2014 durante la mayoría de las horas, alcanzando las concentraciones máximas en la mañana, mientras que las concentraciones mínimas en la misma se registraron entre 13:00 a 17:00 horas.

Las concentraciones más bajas se registraron a partir de las 13:00 a 18:00 horas en las siete estaciones, siendo la concentración de 20.90 µg/m³ en la estación Centro la más baja.

5.2 Concentraciones mensuales de PM_{2.5} en la RAMA-ZMVT durante 2012-2018

En este apartado se presentan las gráficas de las concentraciones mensuales promedio de PM_{2.5} por estación durante el período 2012-2018. Las gráficas de las concentraciones mensuales se describen tomando como referencia el valor anual, de la NOM, ya que las concentraciones por mes no están normadas. Las gráficas se describen tomando como referencia los Límites Máximos Permisibles establecidos por la NOM-025-SSA1-2014 (vigente) (línea continua roja), sin embargo, para fines ilustrativos, en las gráficas se señala la NOM de PM_{2.5} anterior (línea roja punteada).

Límites Máximos Permisibles (LMP):

- ❖ 12 µg/m³ promedio anual NOM-025-SSA1-2014 (vigente).
- ❖ 15 µg/m³ promedio anual NOM-025-SSA1-1993 (modificación 2005).
- ❖

Seis de las estaciones reportaron datos para el período de estudio 2012-2018; la estación Aeropuerto (AP) no registró datos para los años 2016, 2017 y 2018, ya que fue desconectada a finales del 2015, registrando datos hasta el mes de septiembre del año en mención.

Cada estación presentara un color para su identificación:

- **AP** Gris
- **CB** Ciruela
- **CE** Azul rey
- **MT** Azul cielo
- **OX** Verde
- **SC** Anaranjado
- **SM** Verde azulado



5.2.1 PM_{2.5}/mensual por estación en el año 2012

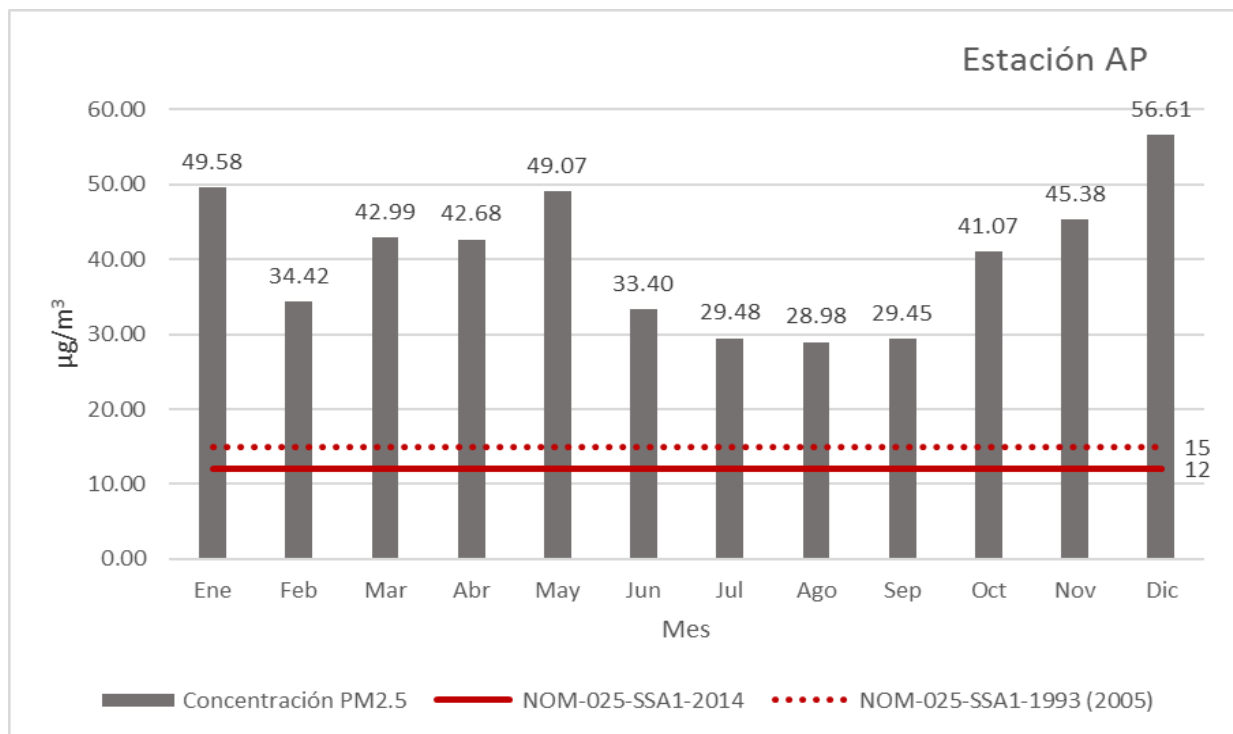
Se presentan las gráficas de cada estación de la RAMA-ZMVT para observar el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} durante cada uno de los 12 meses

del año 2012, identificando las estaciones que registraron las concentraciones fuera del LMP de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un valor de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual) para la protección de la salud.

5.2.1.1 Estación AP 2012

La gráfica 55 representa el promedio de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ por mes en la estación Aeropuerto (AP) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 55 Concentraciones $\text{PM}_{2.5}$ por mes estación AP en el año 2012



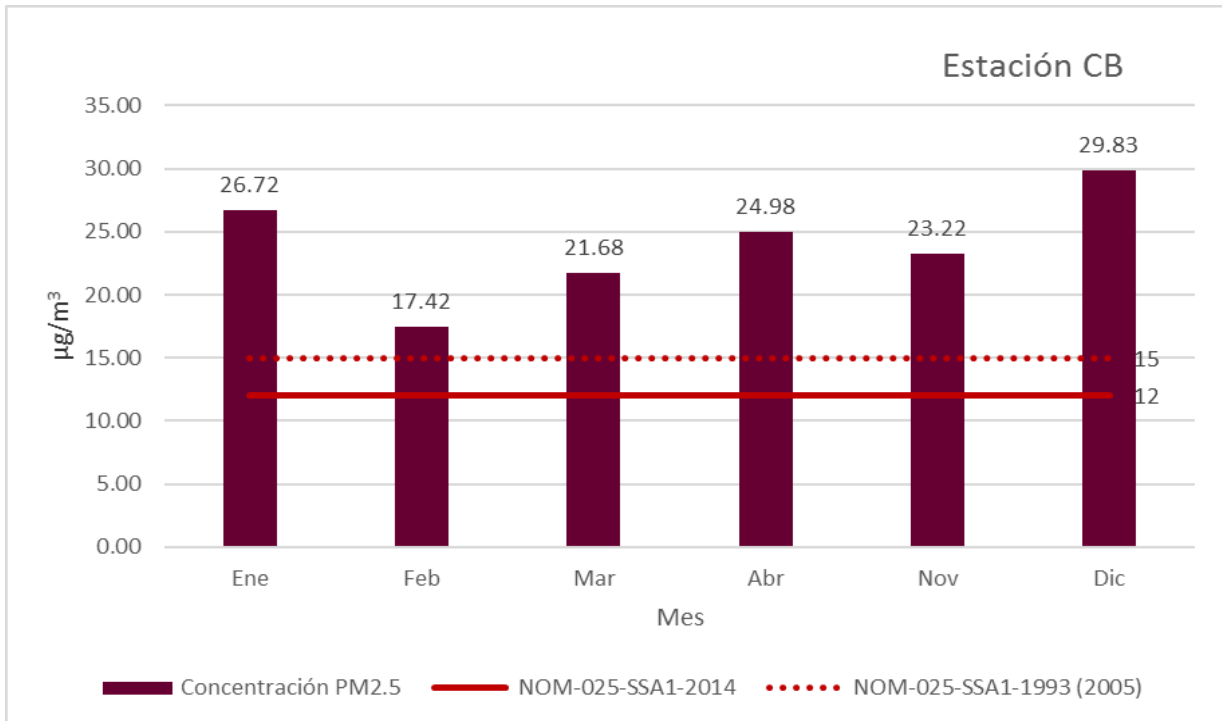
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 55 se observa que las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ rebasaron el LMP establecido por la NOM-025-SSA1-2014 y la NOM-025-SSA1-2013 durante los doce meses del año en la estación AP. Las concentraciones más elevadas se presentaron en enero, mayo y diciembre; siendo la concentración máxima registrada en el mes de diciembre con 56.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, las concentraciones más bajas (rebasando la NOM), se presentaron julio, agosto y septiembre, entre los cuales la concentración mínima se presentó en agosto con 28.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2.1.2 Estación CB 2012

La gráfica 56 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ por mes en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 56 Concentraciones $PM_{2.5}$ por mes estación CB en el año 2012



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

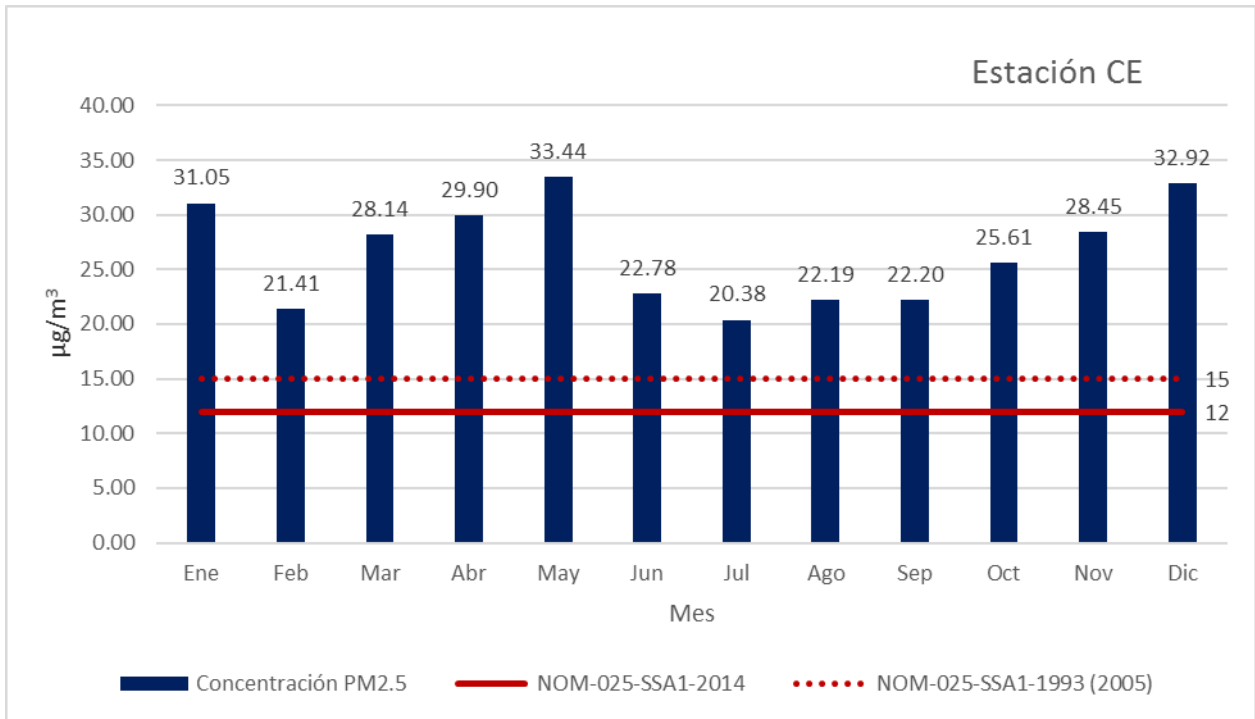
En la gráfica 56 se observa que la estación CB solo reportó datos para seis meses, cuyas concentraciones de $PM_{2.5}$ rebasaron el LMP establecido en la NOM. La concentración máxima se presentó en diciembre con 29.83 $\mu g/m^3$, aunque los meses de enero, marzo, abril y noviembre de igual manera registraron concentraciones altas. La concentración mínima aun rebasando la NOM, se registró en febrero con 17.42 $\mu g/m^3$.

5.2.1.3 Estación CE 2012

La gráfica 57 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ por mes en la estación Toluca Centro (CE) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las

concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 57 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación CE en el año 2012



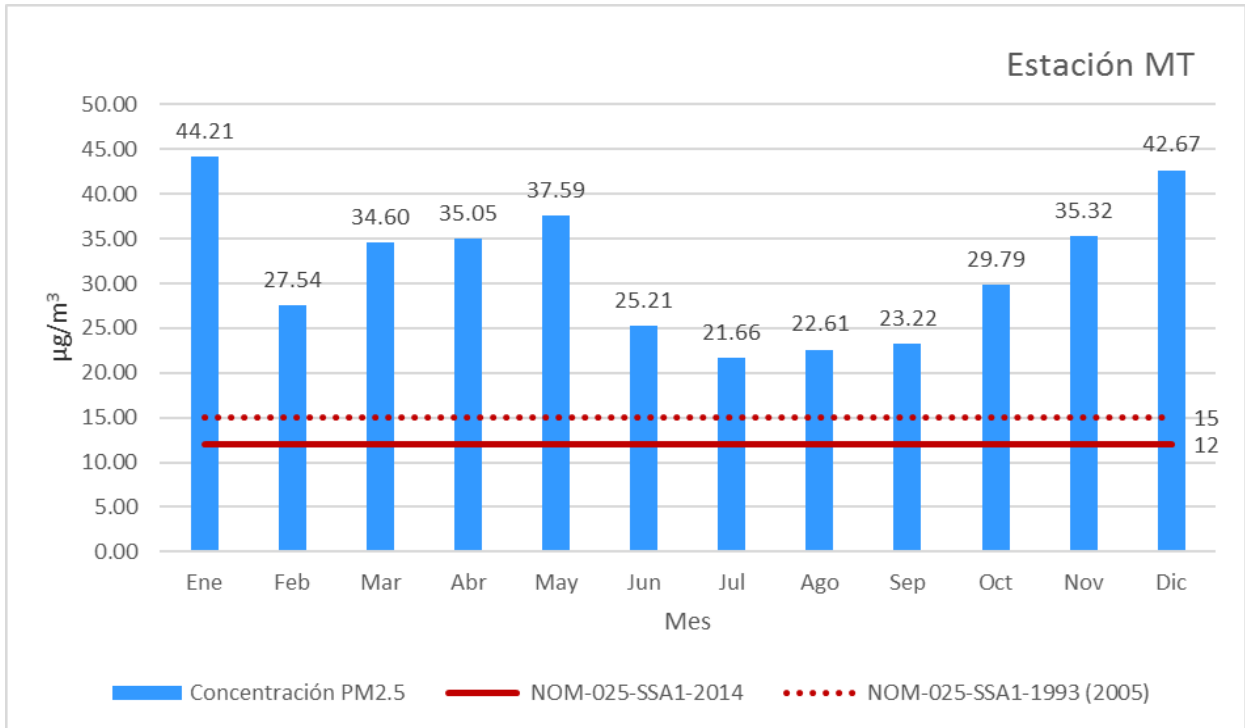
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 57 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido por la NOM durante los doce meses. Las concentraciones más altas se presentaron en los meses de enero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre, donde la concentración máxima fue de 33.44 µg/m³ en el mes de mayo. Las concentraciones bajas aun por encima de la NOM se presentaron en febrero y de junio a octubre; la concentración mínima fue de 20.38 µg/m³ en el mes de julio.

5.2.1.4 Estación MT 2012

La gráfica 58 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Metepec (MT) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 58 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación MT en el año 2012



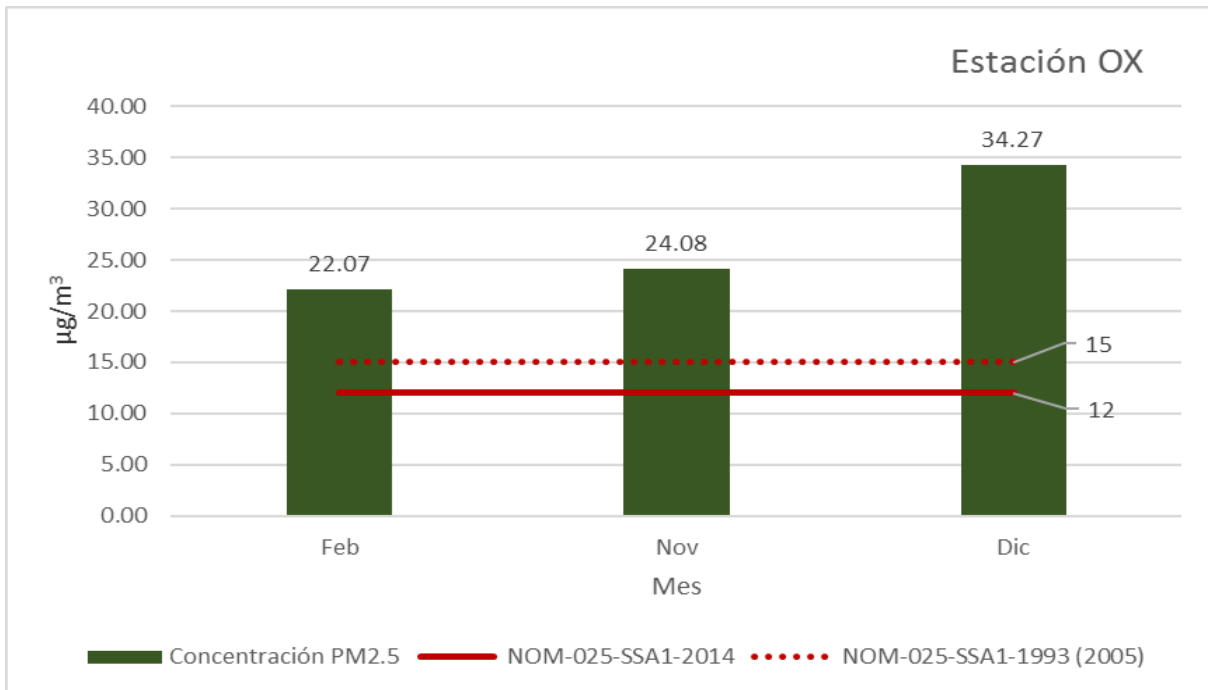
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 58 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido en la NOM durante los doce meses del año en la estación MT. Las concentraciones máximas se registraron en enero con 44.21 µg/m³ y diciembre con 42.67 µg/m³. Las concentraciones bajas se registraron en febrero y posteriormente de junio a septiembre (cabe destacar que estas aún están por encima de la NOM), la concentración mínima se presentó en el mes de julio con 21.66 µg/m³.

5.2.1.5 Estación OX 2012

La gráfica 59 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 59 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación OX en el año 2012



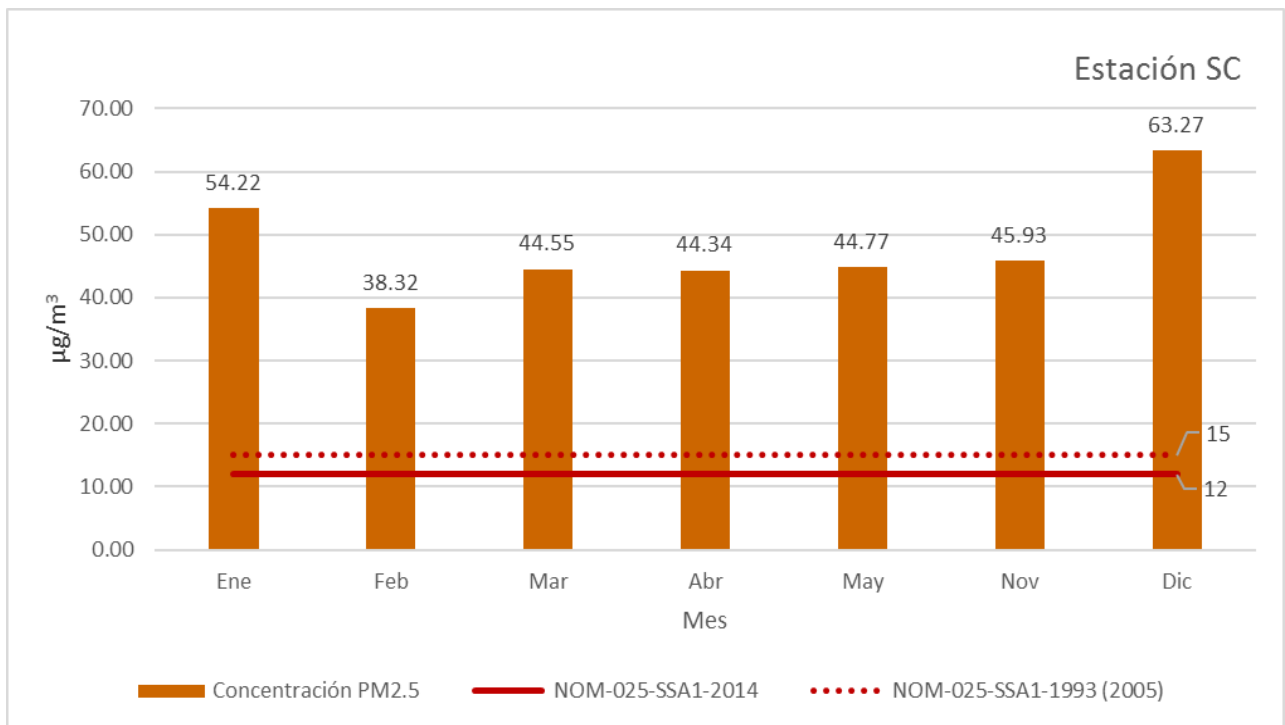
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 59 se observa que la estación OX registró concentraciones de PM_{2.5} solo durante tres meses del año: febrero, noviembre y diciembre, de los cuales todos rebasaron el LMP establecido en la NOM. La concentración máxima se registró en diciembre con 34.27 μg/m³, por otro lado, la concentración mínima (rebasando la NOM) se registró en febrero con 22.07 μg/m³.

5.2.1.6 Estación SC 2012

La gráfica 60 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 60 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación SC en el año 2012



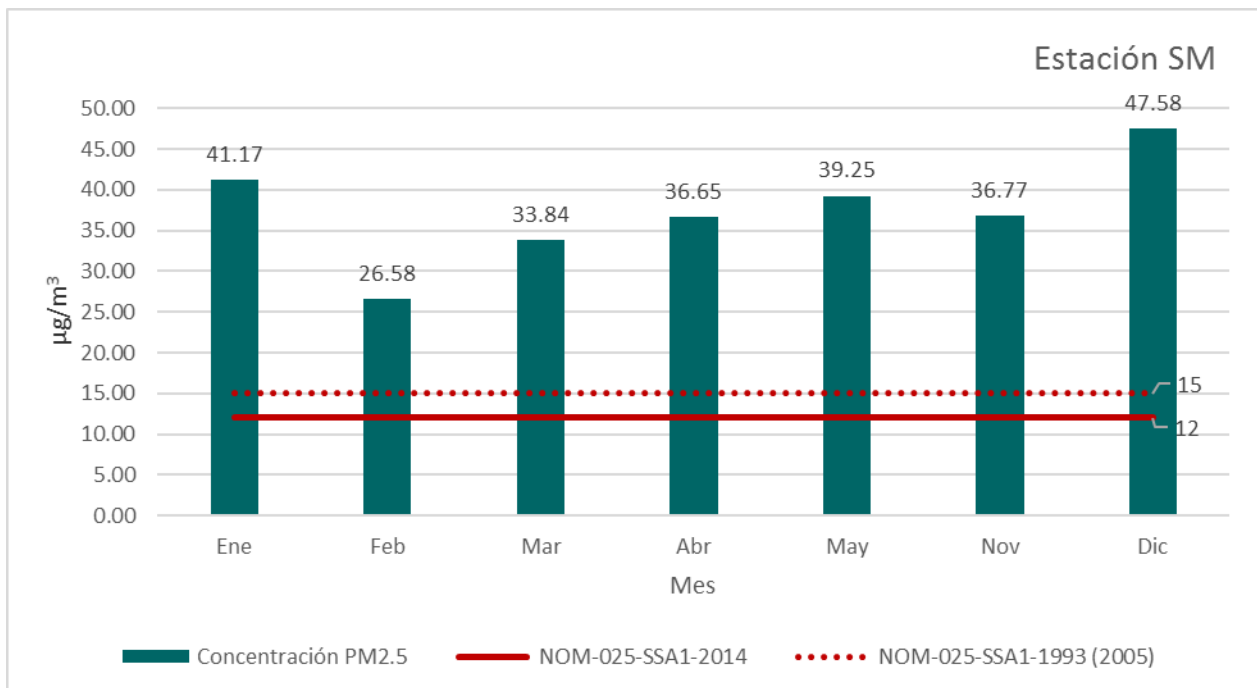
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 60 se observa que la estación SC registro concentraciones de PM_{2.5} únicamente en siete meses del año: enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre, de los cuales en todos se rebaso el LMP establecido en la NOM. La concentración máxima se registró en diciembre con 63.27 µg/m³, mientras que la concentración mínima (aun rebasando la NOM), se registró en febrero con 38.32 µg/m³.

5.2.1.7 Estación SM 2012

La gráfica 61 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 61 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación SM en el año 2012



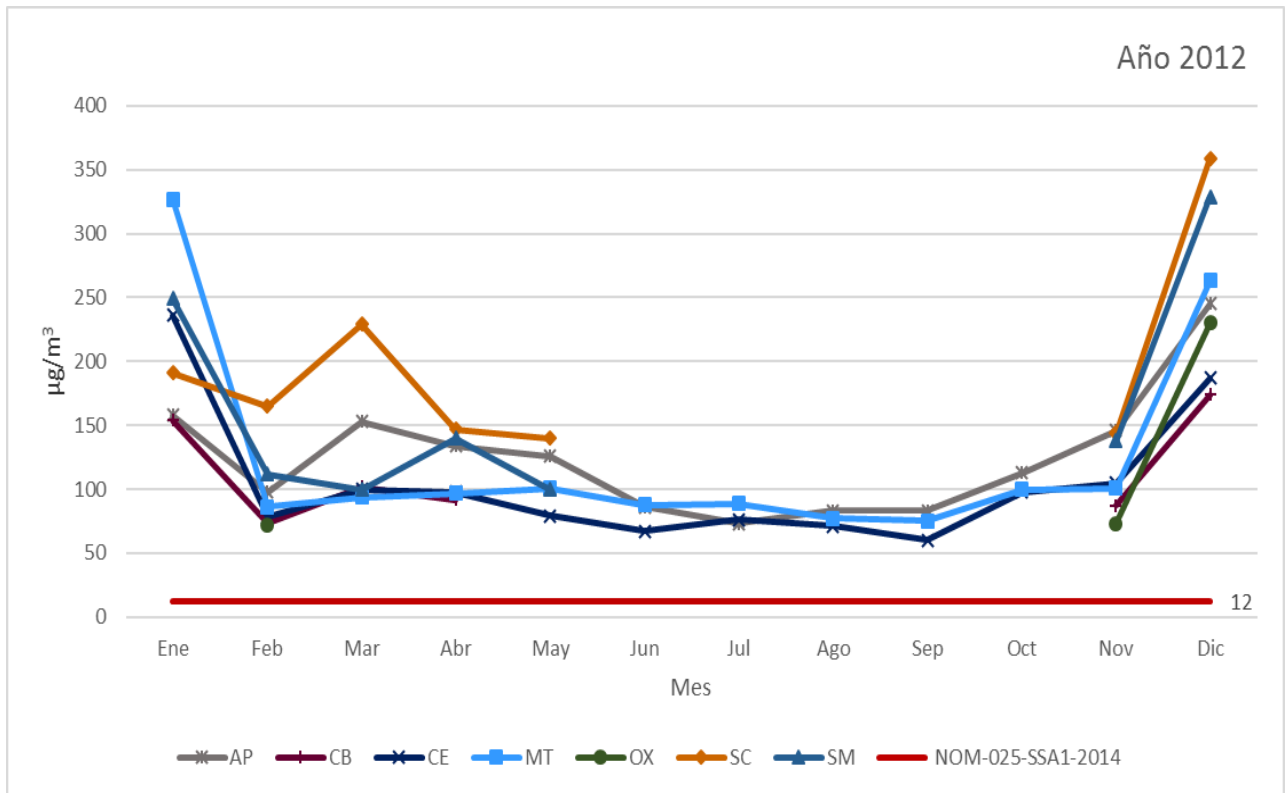
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 61 se observa que la estación SM registró concentraciones de PM_{2.5} únicamente en siete meses del año: enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre, de los cuales todos rebasaron el LMP establecido en la NOM. La concentración máxima se registró en el mes de diciembre con 47.58 µg/m³, mientras que la concentración mínima (aun rebasando la NOM), se registró en febrero con 26.58 µg/m³.

5.2.1.8 Registros máximos de PM_{2.5} por mes año 2012

La gráfica 62 representa el registro máximo de concentración de PM_{2.5} por mes en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el año 2012. De igual manera en este año no se cuenta con algunos datos por intervalos de tiempo, tal es el caso de la estación Ceboruco en los meses de mayo a octubre y las estaciones de Oxtotitlán, San Cristóbal y San Mateo en los meses de junio a octubre. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 62 Registros máximos de PM_{2.5} mensuales del año 2012.



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

En la gráfica 62 se observa que con los meses y estaciones que si cuentan con registros máximos durante los doce meses del año 2012 están por encima del LMP establecido en la NOM. El mes con el máximo más alto llegando al vértice de la gráfica con 327 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se registró en enero en la estación de Metepec, pasando a 329 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación San Cristóbal en el mes de diciembre. En los meses de mayo a octubre los registros máximos mínimos (aun por encima del LMP), se presentaron en las estaciones de Aeropuerto, Centro y Metepec con un rango de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir del mes de noviembre se observa un incremento notable de concentración en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT.

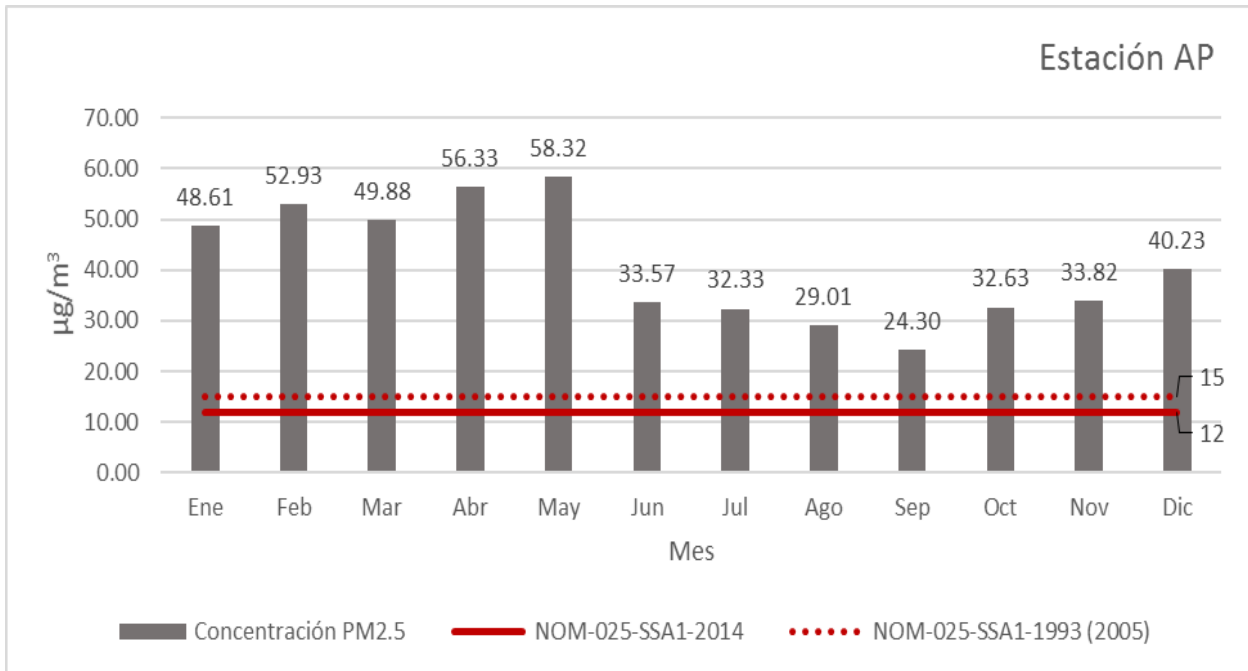
5.2.2 PM_{2.5}/mensual por estación en el año 2013

Se presentan las gráficas de cada estación de la RAMA-ZMVT para observar el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} durante cada uno de los 12 meses del año 2013, e identificarlas estaciones que registraron concentraciones fuera del LMP de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un valor de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual) para la protección de la salud.

5.2.2.1 Estación AP 2013

La gráfica 63 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ por mes en la estación Aeropuerto (AP) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 63 Concentraciones $PM_{2.5}$ por mes estación AP en el año 2013



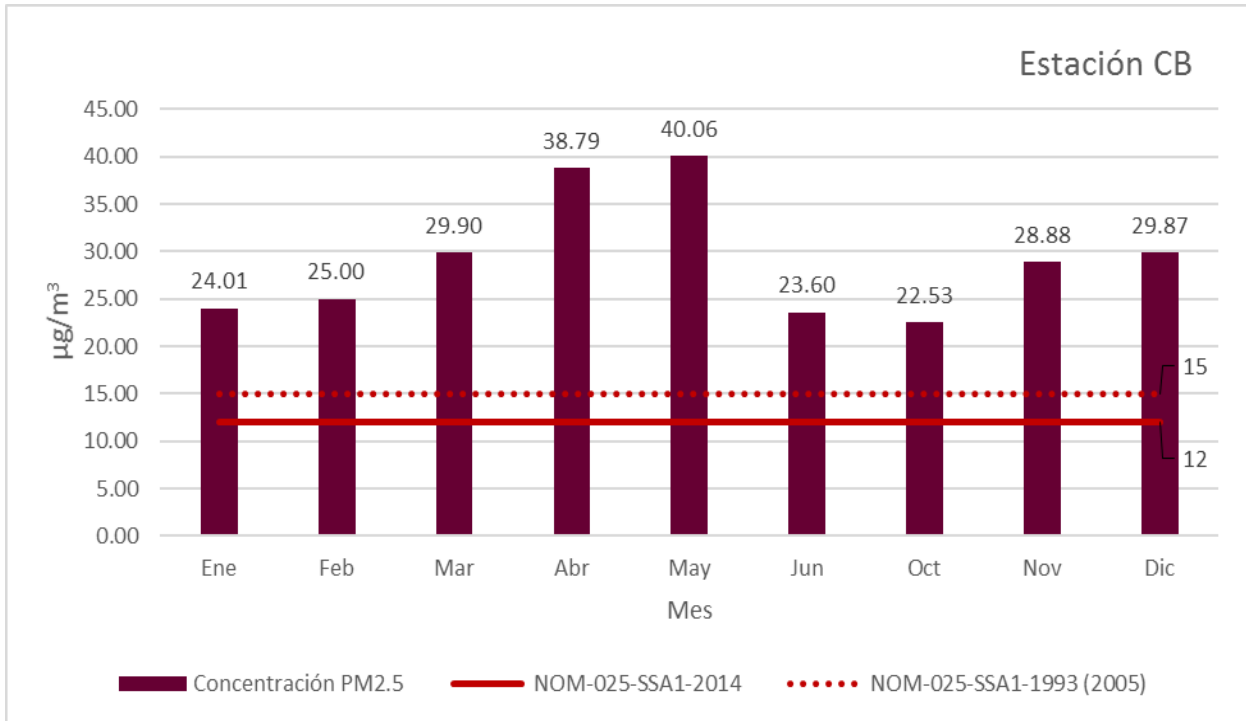
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 63 se observa que las concentraciones de $PM_{2.5}$ en los doce meses del 2013 rebasaron el LMP establecido en la NOM en la estación AP. Las concentraciones más elevadas se presentaron en los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo. La concentración máxima se registró con $58.32 \mu g/m^3$ en el mes de mayo. Las concentraciones más bajas (aun por encima de la NOM), se presentaron de junio a diciembre donde la concentración mínima se registró en el mes de septiembre con $24.30 \mu g/m^3$.

5.2.2.2 Estación CB 2013

La gráfica 64 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ por mes en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 64 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación CB en el año 2013



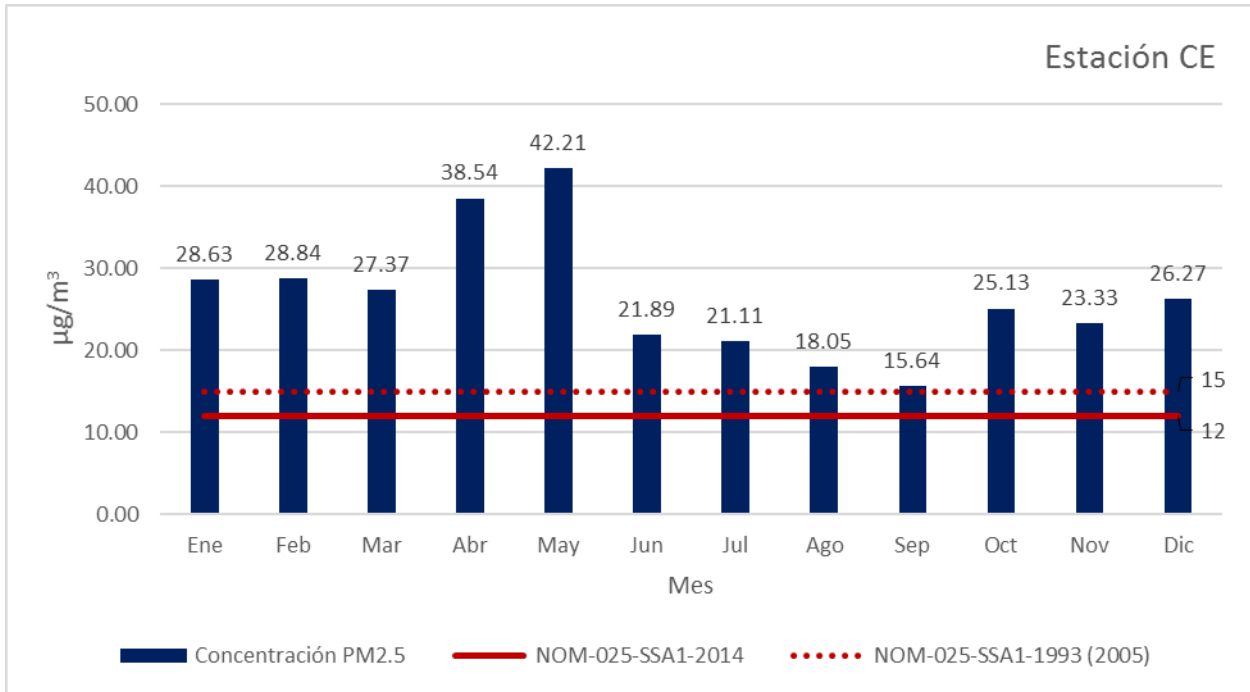
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 64 se observa que la estación CB registró concentraciones de PM_{2.5} durante nueve meses: enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre, rebasando el LMP establecido en la NOM. Las concentraciones máximas se registraron en mayo con 40.06 µg/m³ y en el mes de abril con 38.79 µg/m³. La concentración mínima (aun por encima del LMP), se registró en el mes de octubre con 22.53 µg/m³.

5.2.2.3 Estación CE 2013

La gráfica 65 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Toluca Centro (CE) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 65 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación CE en el año 2013



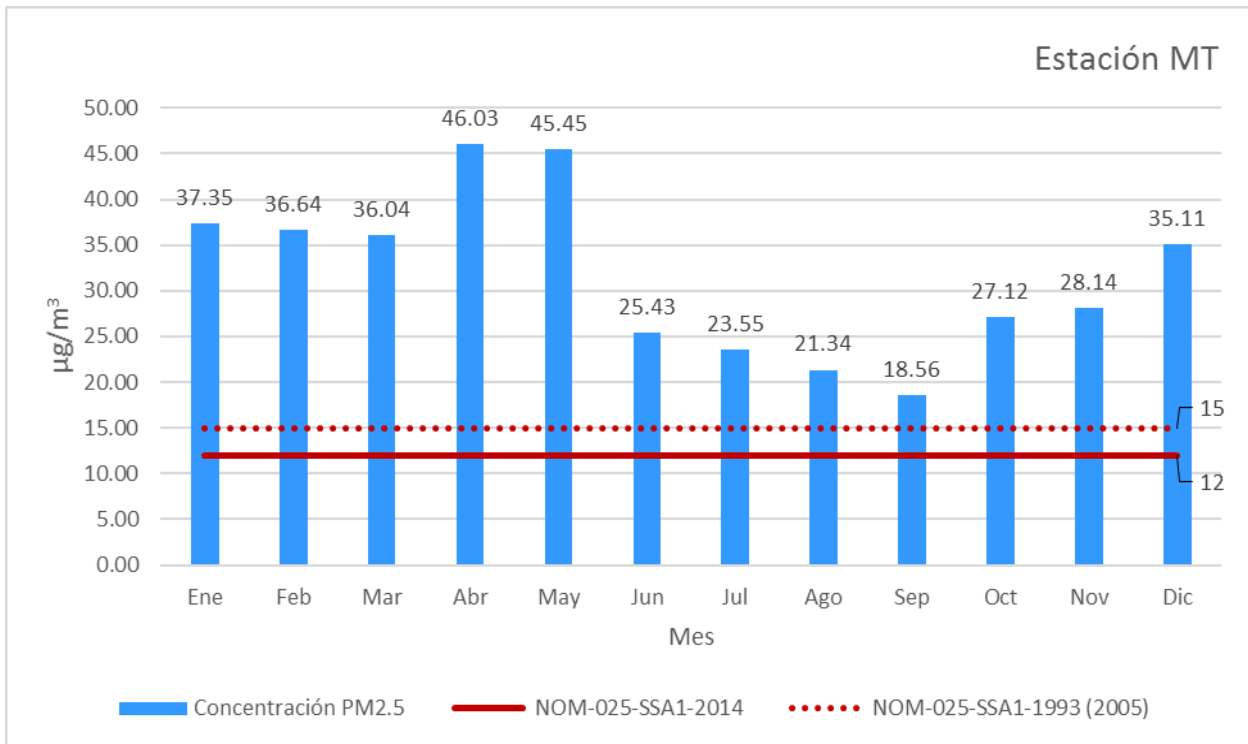
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 65 se observa que las concentraciones PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido en la NOM-025-SSA1-2014 durante los doce meses del año 2013 en la estación CE. Las concentraciones máximas se registraron en el mes de abril con 38.54 μg/m³ y en el mes de mayo con 42.21 μg/m³. Las concentraciones bajas se registraron de enero a marzo y posteriormente de junio a diciembre. La concentración mínima (aun estando por encima del LMP), fue de 15.64 μg/m³ en el mes de septiembre.

5.2.2.4 Estación MT

La gráfica 66 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Metepec (MT) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 66 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación MT en el año 2013



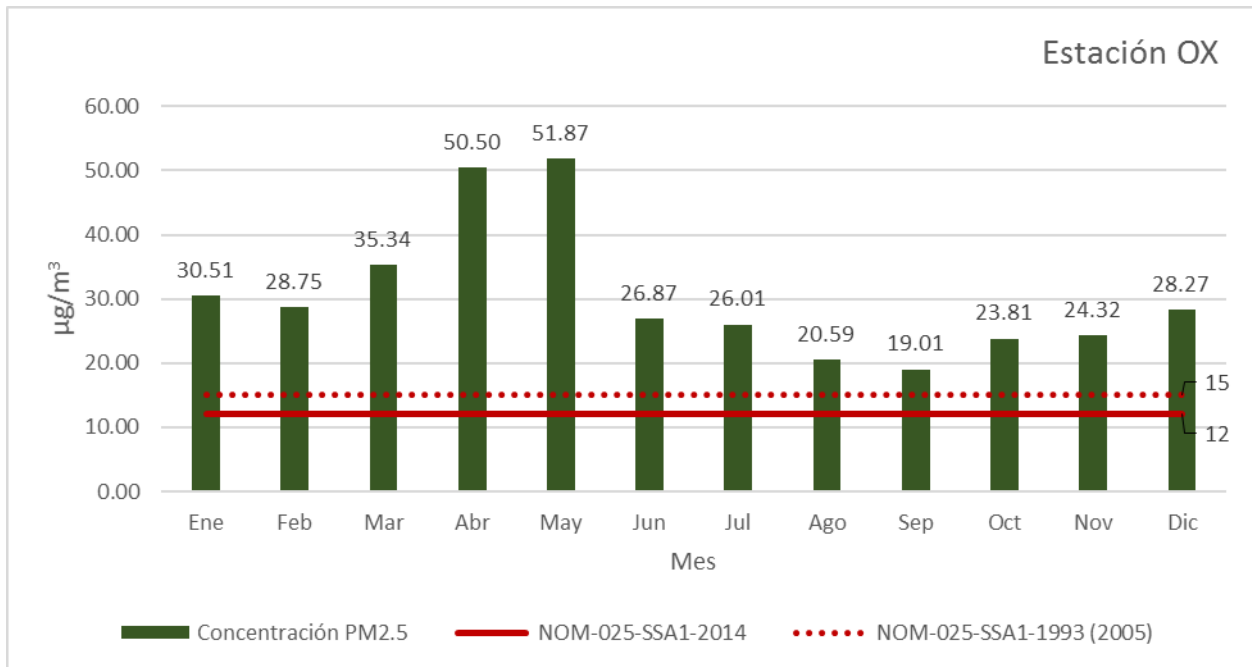
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 66 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en la estación MT rebasaron el LMP establecido en la NOM vigente durante los doce meses del año 2013. Las concentraciones más altas se registraron entre los primeros meses del año (enero a mayo), donde la concentración máxima se presentó en el mes de abril y mayo, con 46.03 µg/m³ y 45.45 µg/m³ respectivamente. La concentración mínima (aun por encima de la NOM) fue de 18.56 µg/m³ en el mes de septiembre.

5.2.2.5 Estación OX 2013

La gráfica 67 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 67 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación OX en el año 2013



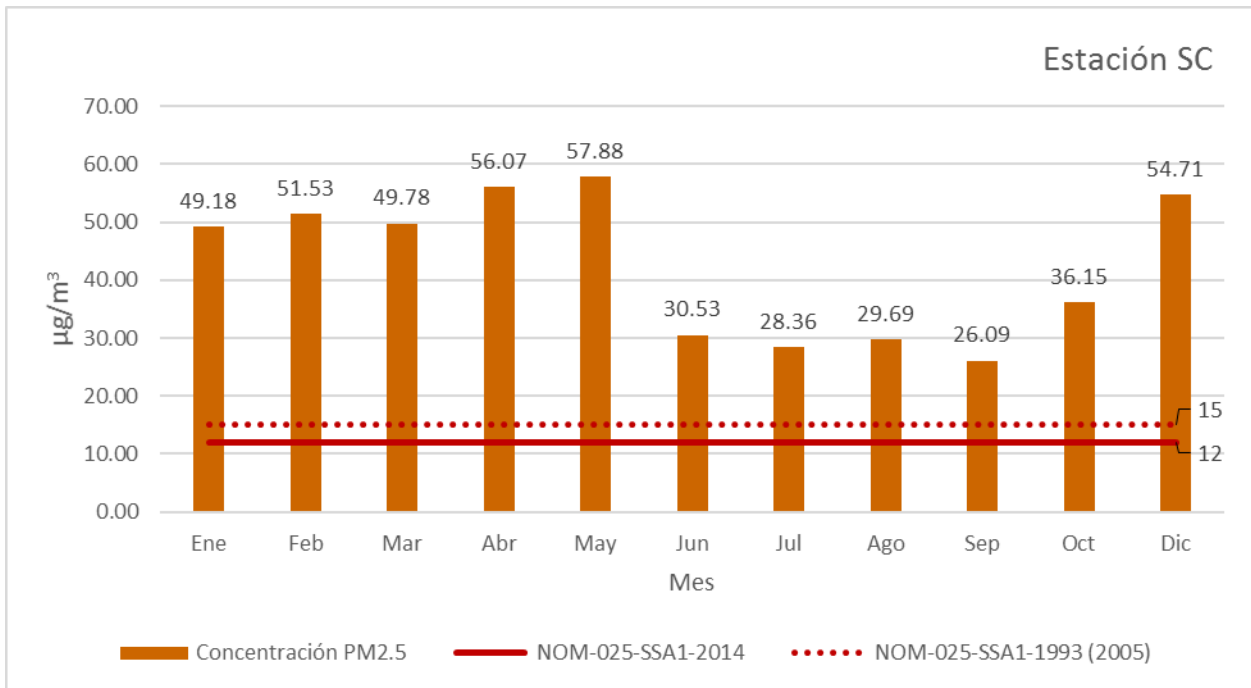
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 67 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en la estación OX durante los doce meses del año 2013 rebasaron el LMP establecido en la NOM. Las concentraciones máximas se registraron en el mes de abril con 50.50 µg/m³ y en mayo con 51.87 µg/m³. La concentración mínima (estando aun por encima del LMP), se registró en el mes de septiembre con 19.01 µg/m³.

5.2.2.6 Estación SC

La gráfica 68 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 68 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación SC en el año 2013



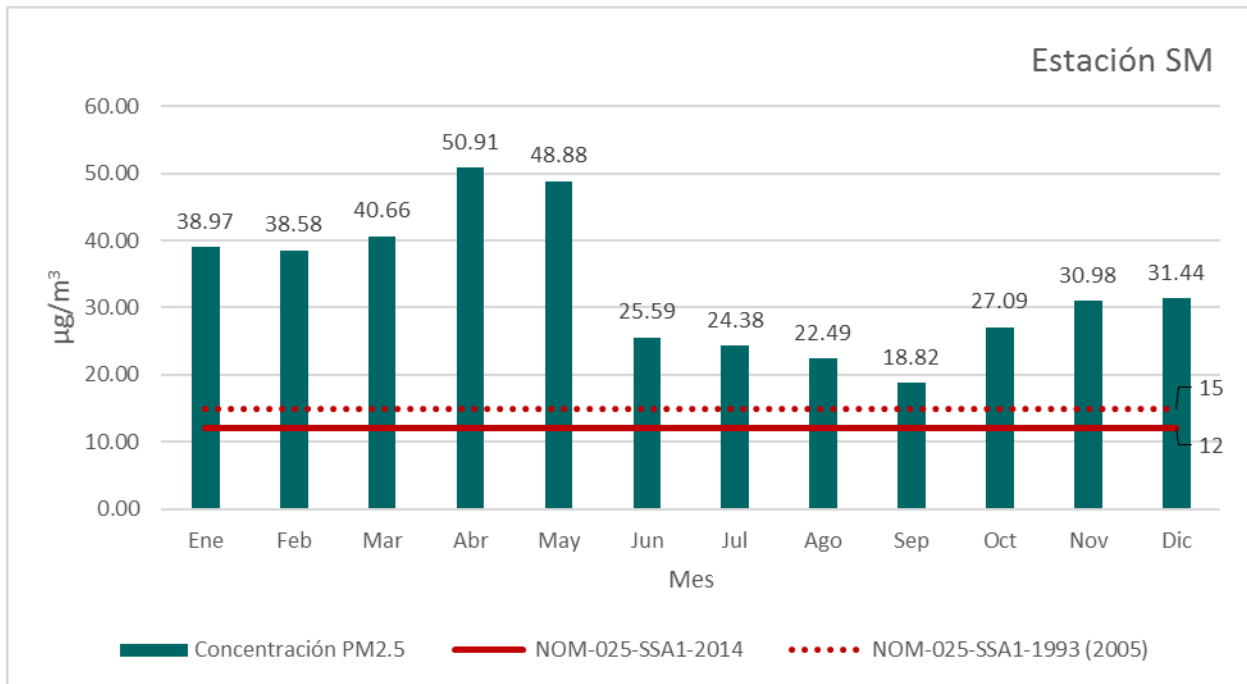
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 68 se observa que la estación SC no registró concentraciones en el mes de noviembre. Las concentraciones más altas se registraron en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre; entre los cuales la concentración máxima fue de 57.88 µg/m³ en el mes de mayo. Las concentraciones más bajas (rebasando la NOM), fueron entre los meses de junio a octubre, la concentración mínima fue de 26.09 µg/m³ en el mes de septiembre.

5.2.2.7 Estación SM 2013

La gráfica 69 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 69 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación SM en el año 2013



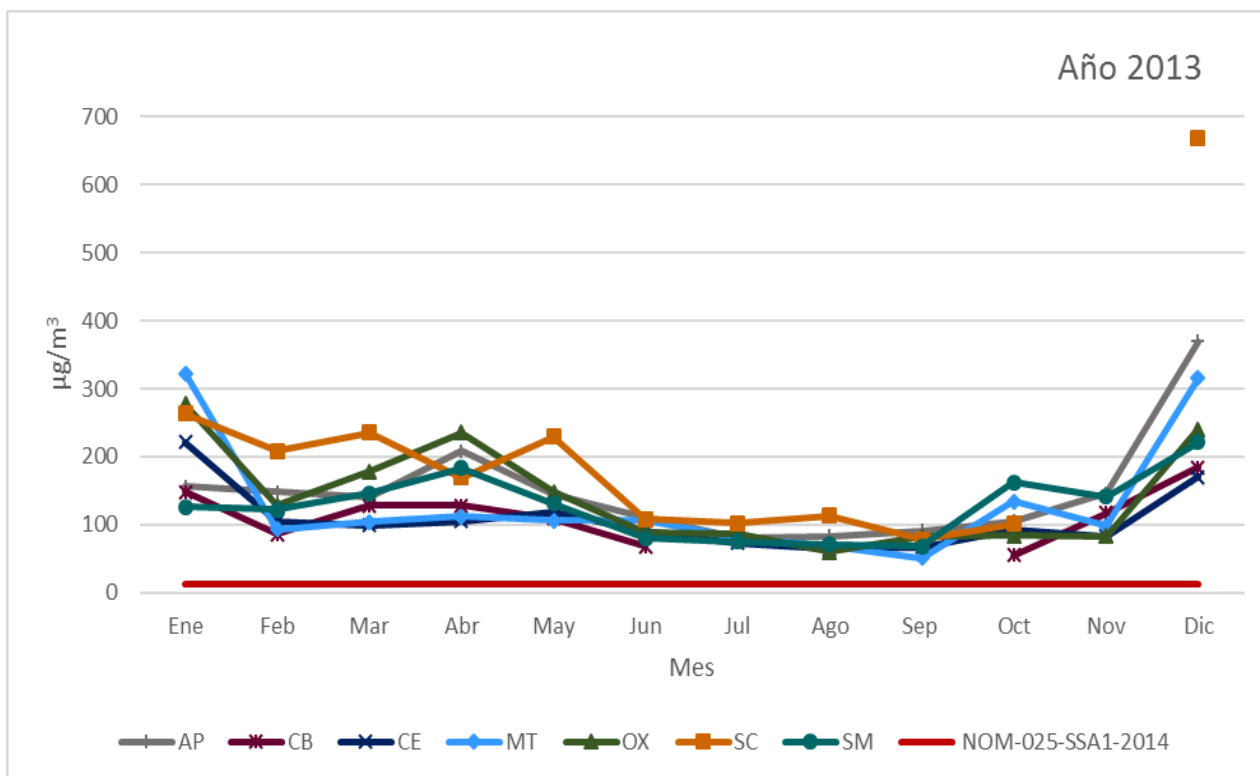
Elaboración propia con base en datos de la RAMA,2013.

En la gráfica 69 se observa que la estación SM durante los doce meses del año rebasó el LMP establecido en la NOM. Las concentraciones más altas se presentaron en los primeros cinco meses (de enero a mayo) del año, siendo la concentración máxima de 50.91 µg/m³ en el mes de abril. Las concentraciones bajas (aun por encima de la NOM), se presentaron de junio a diciembre, siendo el mes de septiembre con 18.82 µg/m³ la concentración mínima

5.2.2.8 Registros máximos de PM_{2.5} por mes año 2013

La gráfica 70 representa el registro máximo de concentración de PM_{2.5} por mes en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el año 2013, de igual manera en este año no se cuenta con algunos datos por intervalos de tiempo, tal es el caso de la estación Ceboruco en los meses de julio, agosto y septiembre; así como la estación San Cristóbal en el mes de noviembre. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 70 Registros máximos de PM_{2.5} mensuales del año 2013



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

En la gráfica 70 se observa que los registros máximos durante los meses del año 2013 están por encima de los 12 µg/m³ correspondiente al LMP del promedio horario de la NOM vigente. En el mes de diciembre se registró el máximo más alto en la estación San Cristóbal con 668 µg/m³, pasando a 370 µg/m³ en la estación Aeropuerto de ahí el mes de enero a mayo registraron concentraciones altas. Por el contrario, los meses con los máximos más bajos (aun por encima del LMP), son de junio a octubre, siendo la estación Ceboruco con 55 µg/m³ en el mes de octubre el registro más bajo.

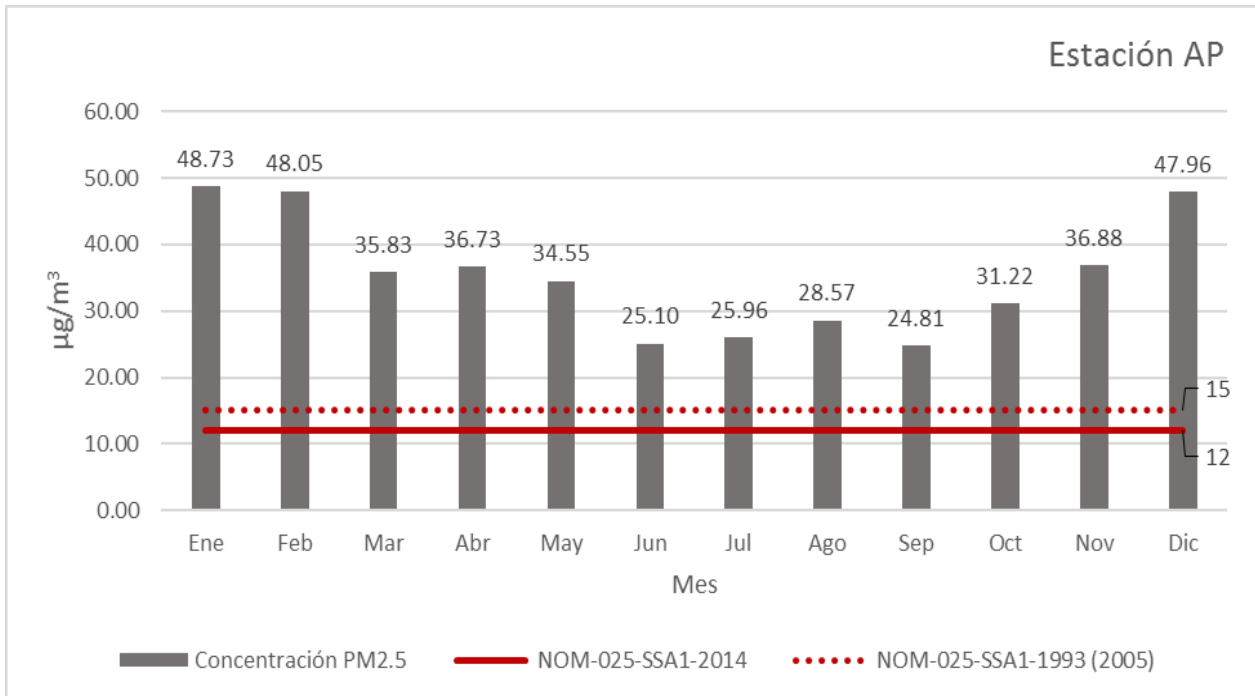
5.2.3 PM_{2.5}/mensual por estación en el año 2014

Se presentan las gráficas de cada estación de la RAMA-ZMVT para observar y analizar el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} durante cada uno de los 12 meses del año 2014, e identificar las estaciones que registran las concentraciones fuera del LMP de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un valor de 12 µg/m³ (anual) para la protección de la salud.

5.2.3.1 Estación AP 2014

La gráfica 71 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Aeropuerto (AP) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 71 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación AP en el año 2014



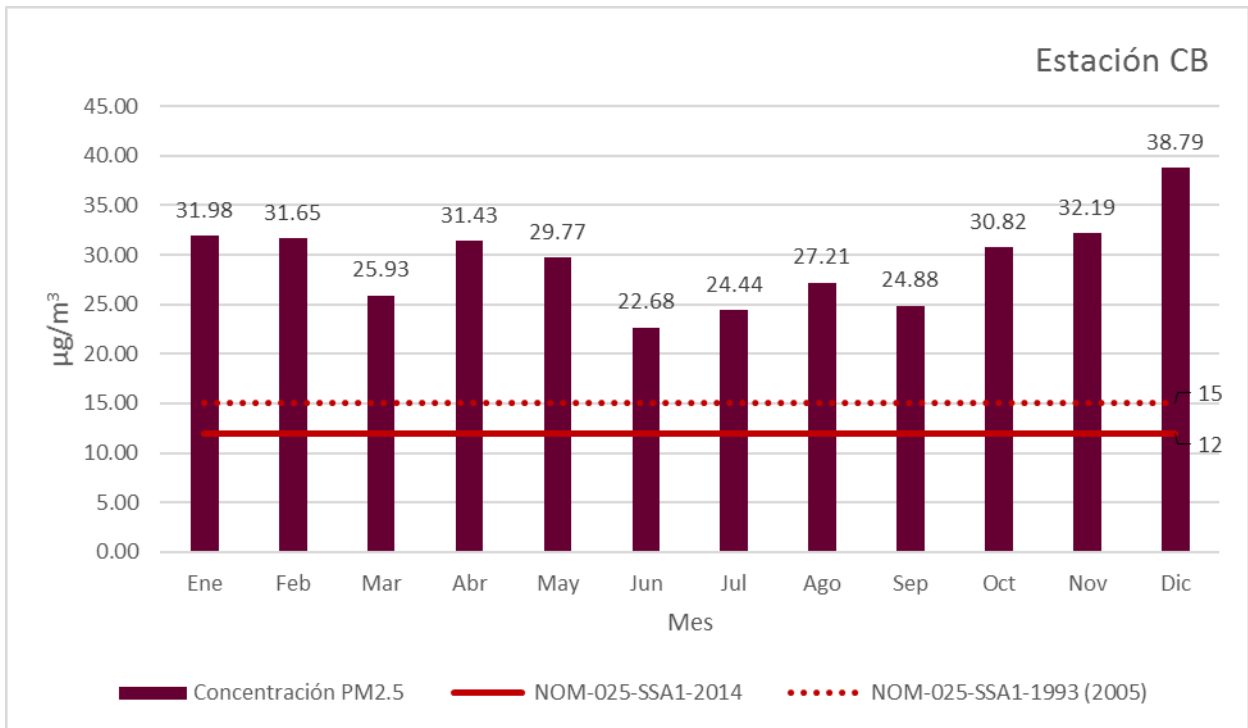
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 71 se observa que durante los doce meses del año 2014 en la estación AP registraron concentraciones por encima del LMP. Los meses de enero, febrero y diciembre presentaron las concentraciones más altas, siendo enero con 48.73 µg/m³ la concentración máxima. Las concentraciones más bajas se presentaron en los meses de marzo a noviembre, donde concentración mínima (rebasando la NOM), se registró en el mes de septiembre con 24.81 µg/m³.

5.2.3.2 Estación CB 2014

La gráfica 72 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 72 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación CB en el año 2014



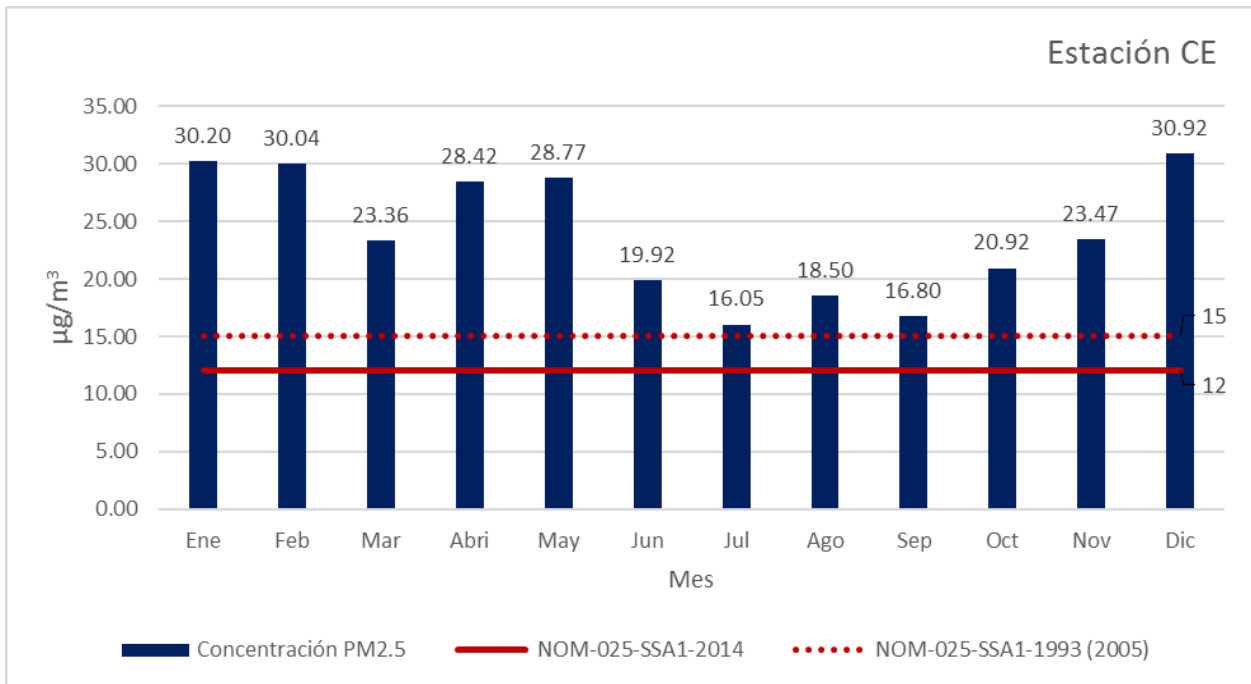
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 72 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} durante el año 2014 en la estación CB rebasaron el LMP establecido en la NOM durante los doce meses. La concentración máxima se registró en el mes de diciembre con 38.79 µg/m³, mientras que la concentración mínima (rebasando la NOM) se registró en el mes de junio con 22.68 µg/m³.

5.2.3.3 Estación CE 2014

La gráfica 73 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Toluca Centro (CE) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 73 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación CE en el año 2014



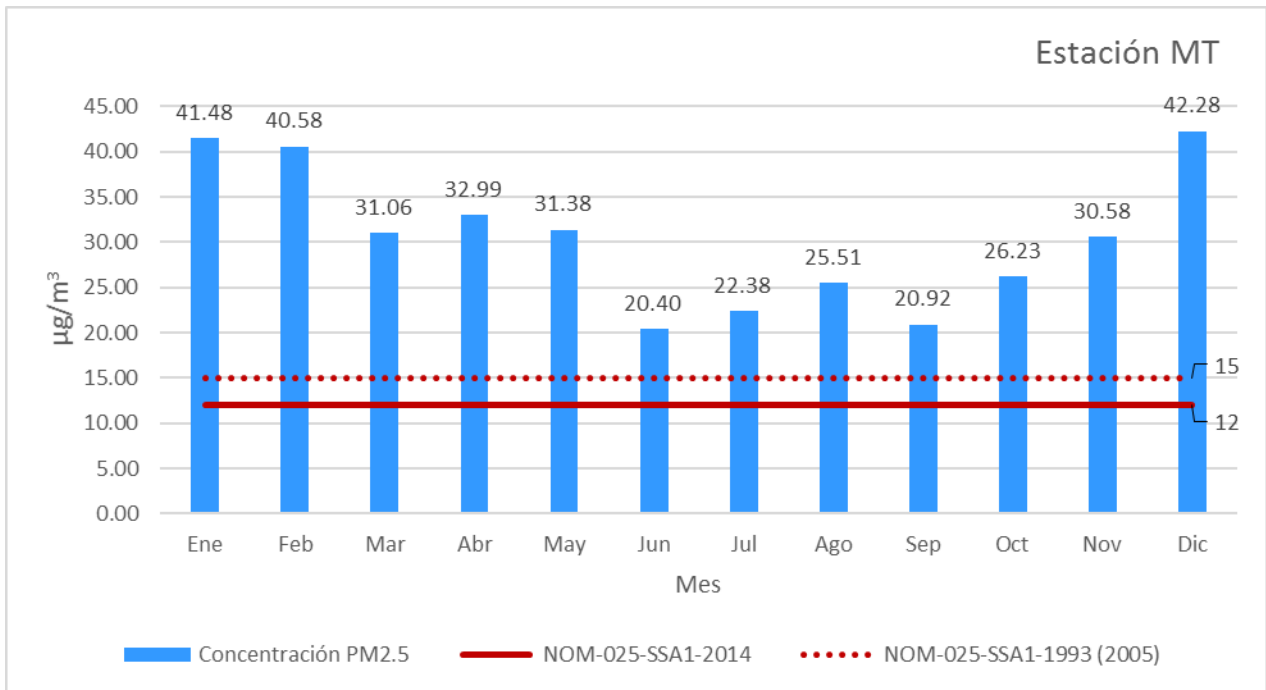
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 73 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en la estación CE rebasaron el LMP establecido en la NOM durante los doce meses del año. Las concentraciones más elevadas se registraron en los meses de enero, febrero, abril, mayo y diciembre; la concentración máxima se registró en el mes de diciembre con 30.92 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones más bajas se presentaron en los meses de marzo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre; siendo julio el mes con la mínima concentración con 16.05 µg/m³.

5.2.3.4 Estación MT 2014

La gráfica 74 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Metepec (MT) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 74 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación MT en el año 2014



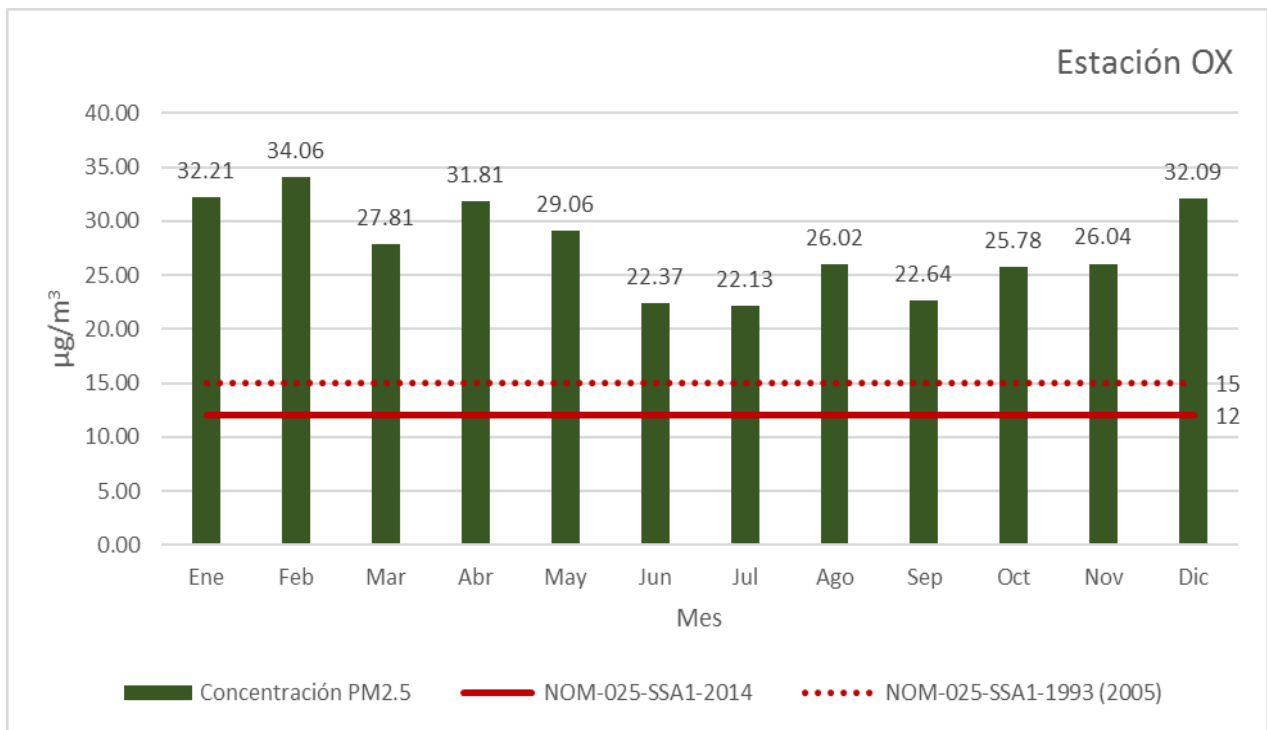
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 74 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} durante los doce meses del año rebasaron el LMP establecido en la NOM. Las concentraciones más elevadas se registraron en los meses de enero, febrero y diciembre, siendo diciembre el mes que registro la concentración máxima con 42.28 µg/m³. La concentración mínima se registró en el mes de junio con 20.40 µg/m³.

5.2.3.5 Estación OX 2014

La gráfica 75 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 75 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación OX en el año 2014



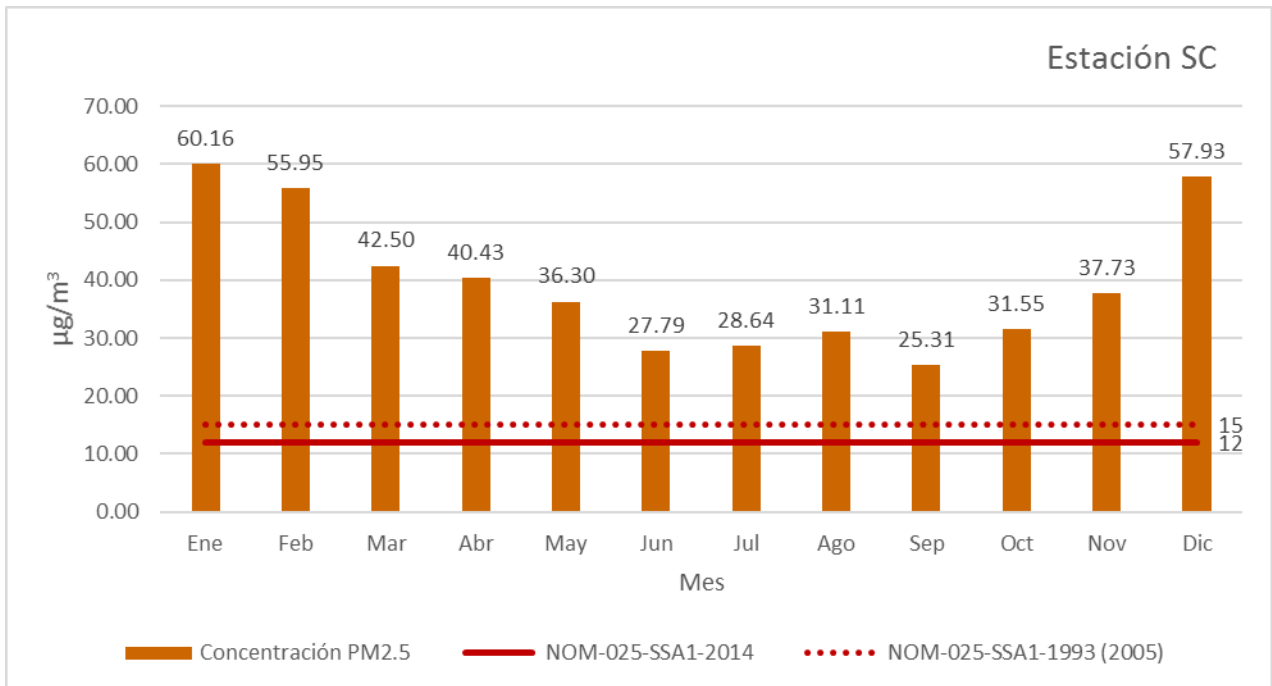
Elaboración propia con base en datos de la RAMA

En la gráfica 75 se observa que las concentraciones rebasaron el LMP establecido en la NOM durante los doce meses del año. La concentración máxima se registró en el mes de febrero con 34.06 µg/m³. Por otro lado, la concentración mínima (estando por encima de la NOM), se registró en el mes de julio con 22.13 µg/m³.

5.2.3.6 Estación SC 2014

La gráfica 76 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 76 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación SC en el año 2014



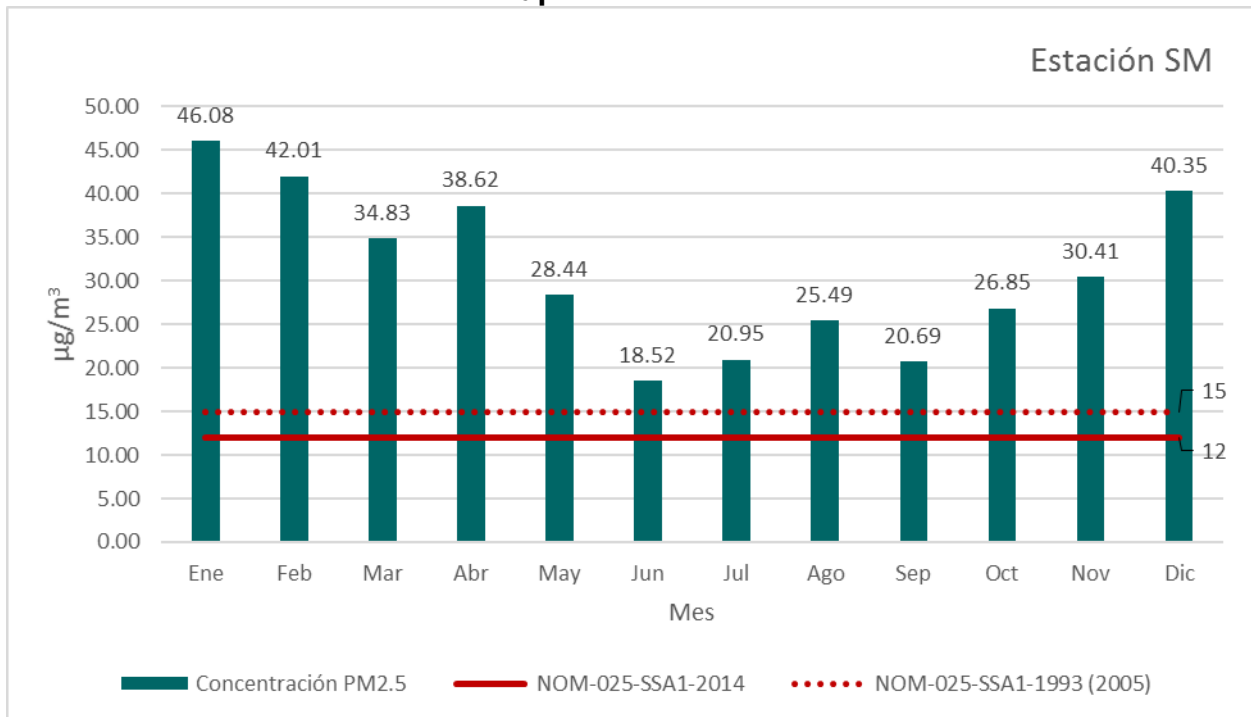
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 76 se observa las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido en la NOM durante los doce meses del año, siendo notorio en los meses de enero, febrero y diciembre. La concentración máxima se registró en el mes de 60.16 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones más bajas de PM_{2.5} (rebasando la NOM) se registraron en los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre. La concentración mínima se presentó septiembre con 25.31 µg/m³.

5.2.3.7 Estación SM 2014

La gráfica 77 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 77 Concentraciones PM_{2.5} por mes en la estación SM en el año 2014



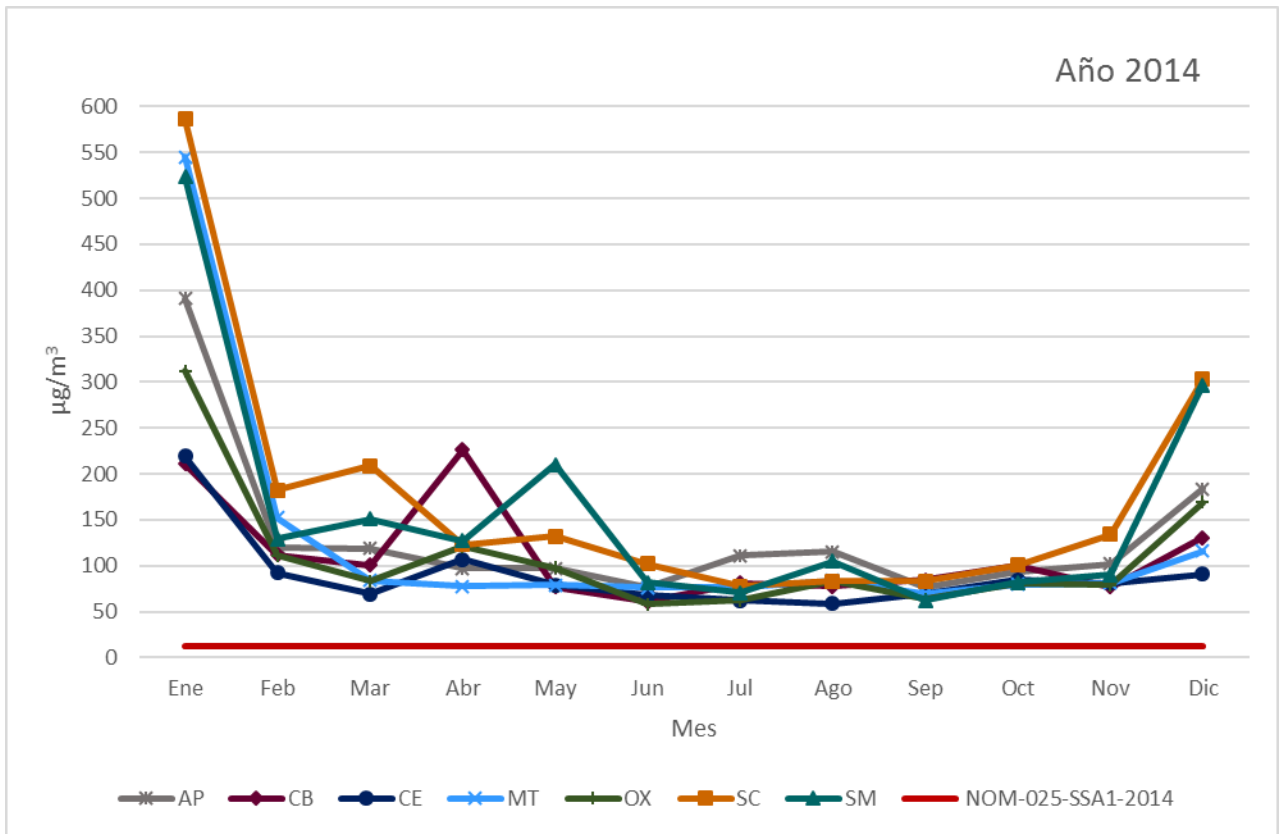
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 77 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en la estación SM durante los doce meses del año rebasaron el LMP establecido en la NOM. Las concentraciones más elevadas se registraron en los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre; siendo el mes de enero con 46.08 µg/m³ la concentración máxima. Por otro lado, las concentraciones más bajas (por encima de la NOM) se presentaron en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, donde la concentración mínima fue de 18.52 µg/m³ en el mes de junio.

5.2.3.8 Registros máximos de PM_{2.5} por mes año 2014

La gráfica 78 representa el registro máximo de concentración de PM_{2.5} por mes en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 78 Registros máximos de PM_{2.5} por mes del año 2014



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 78 se observa que en los 12 meses del año 2014 los registros máximos están por encima de 12 µg/m³ que es el LMP establecido en la NOM. En el mes de enero se registró los máximos más altos en la mayoría de las estaciones, siendo la estación SC la que marca el máximo con 586 µg/m³. Posteriormente la estación MT con 545 µg/m³ y la estación SM con 523 µg/m³, febrero y marzo en la estación SC con 182 µg/m³ y 209 µg/m³ respectivamente, abril en la estación CB con 226 µg/m³, mayo en la estación SM con 210 µg/m³ y diciembre de 303 µg/m³ en la estación SC, así como la estación SM con 297 µg/m³.

Por el contrario, los meses con los máximos más bajos (aun por encima del LMP), son junio en la estación OX con 58 µg/m³, julio en las estaciones CE y OX con 62 µg/m³, agosto en la estación CB con 78 µg/m³ y septiembre en la estación SM con 62 µg/m³.

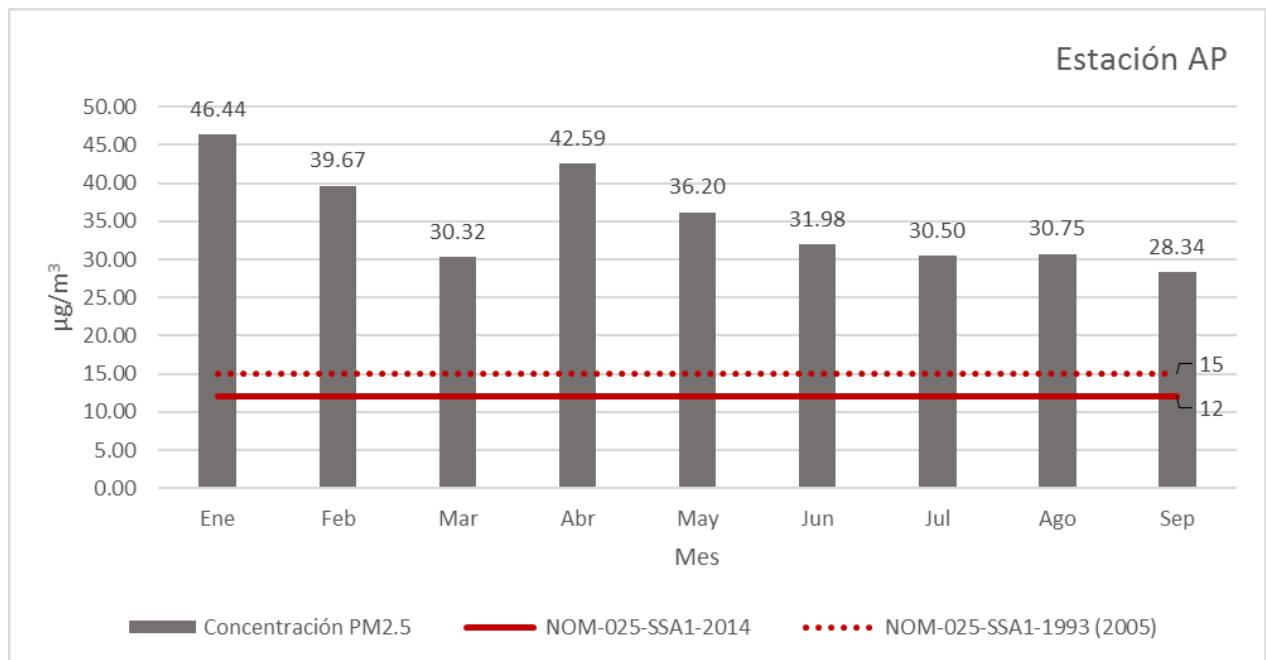
5.2.4 PM_{2.5}/mensual por estación en el año 2015

Se presentan las gráficas de cada estación de la RAMA-ZMVT para observar el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} durante cada uno de los 12 meses del año 2015, e identificar las estaciones que registran las concentraciones fuera del LMP de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un valor de 12 µg/m³ (anual) para la salud.

5.2.4.1 Estación AP 2015

La gráfica 79 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Aeropuerto (AP) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 79 Concentraciones PM_{2.5} mensual en la estación AP del año 2015



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

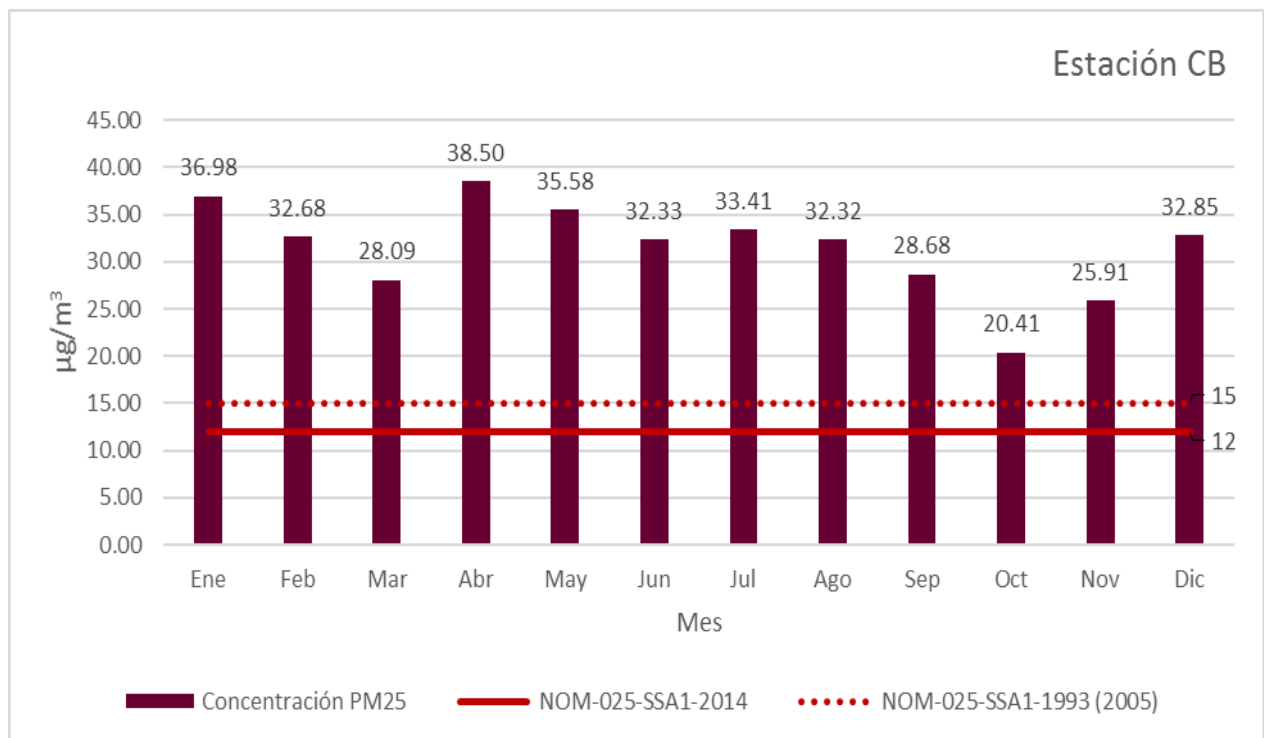
En la gráfica 79 se observa que las concentraciones mensuales de PM_{2.5} en la estación AP solo se registraron en los meses de: enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, de los cuales rebasaron el LMP establecido en la NOM. Las concentraciones máximas se registraron en el mes de enero con 46.44

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en abril con $42.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, la concentración mínima (por encima de la NOM) se registró en el mes de septiembre con $28.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2.4.2 Estación CB 2015

La gráfica 80 representa el promedio de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ por mes en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 80 Concentraciones $\text{PM}_{2.5}$ mensual en la estación CB en el año 2015



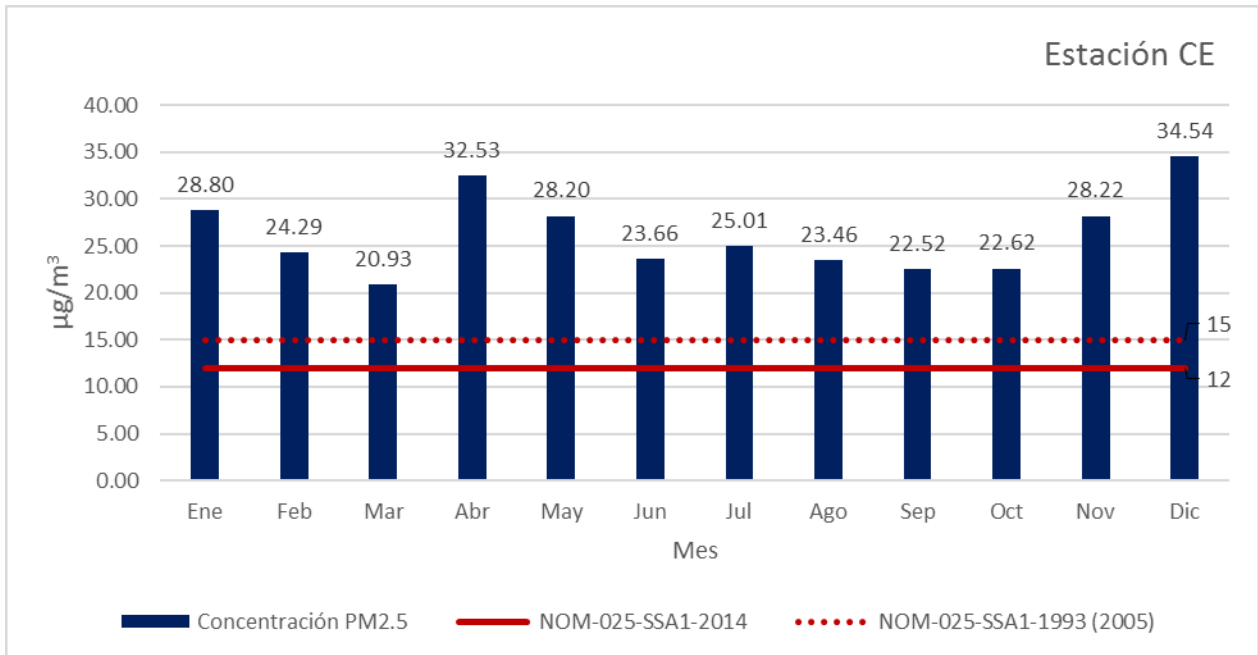
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 80 se observa que las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ en la estación CB durante los doce meses del año rebasaron el LMP establecido en la NOM. La concentración máxima se registró en el mes de abril con $38.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones más bajas (por encima de la NOM) se registraron en los meses de marzo, octubre y noviembre; siendo el mes de octubre con la mínima concentración de $20.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2.4.3 Estación CE 2015

La gráfica 81 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ por mes en la estación Toluca Centro (CE) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 81 Concentraciones $PM_{2.5}$ mensual en la estación CE en el año 2015



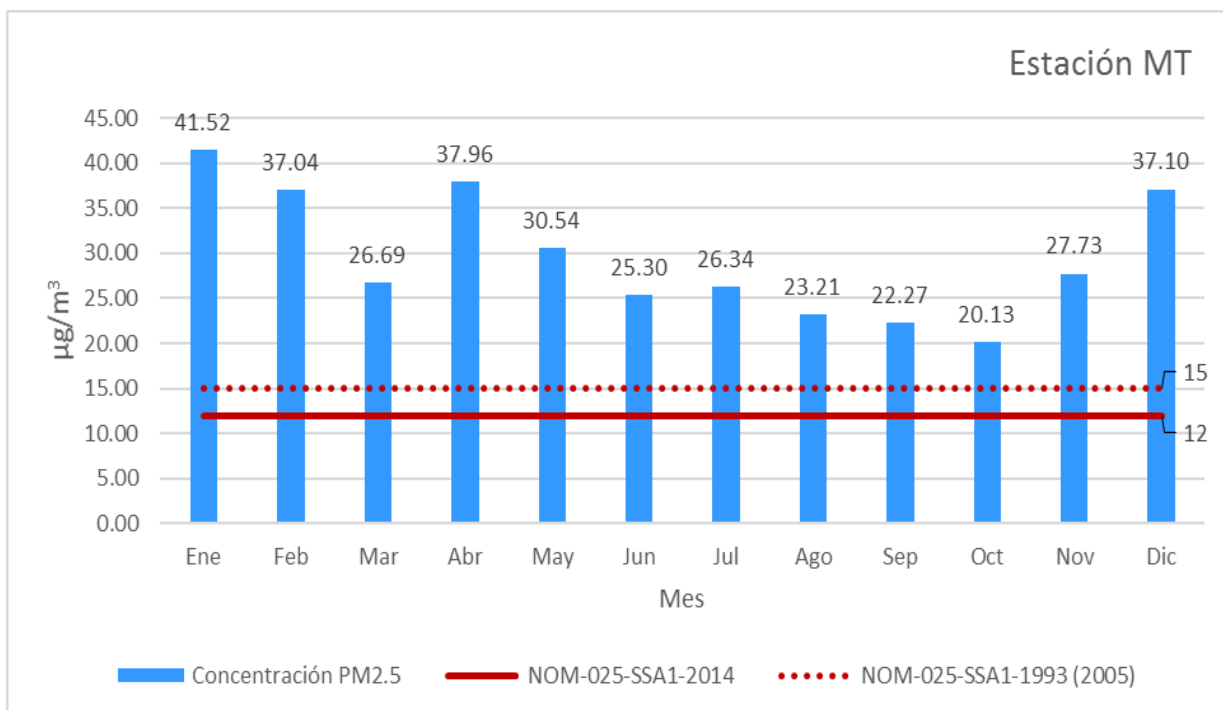
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 81 se observa que las concentraciones de $PM_{2.5}$ mensuales en la estación CE rebasaron el LMP establecido en la NOM. Las concentraciones máximas se registraron en el mes de abril con $32.53 \mu g/m^3$ y en diciembre con $34.54 \mu g/m^3$. Las concentraciones más bajas (por encima del LMP establecido en la NOM), se registraron en los meses de febrero, marzo, junio, agosto, septiembre y octubre, siendo el mes de marzo con $20.93 \mu g/m^3$ el que registro la mínima concentración en la estación.

5.2.4.4 Estación MT 2015

La gráfica 82 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ por mes en la estación Metepec (MT) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 82 Concentraciones PM_{2.5} mensuales estación MT en el año 2015



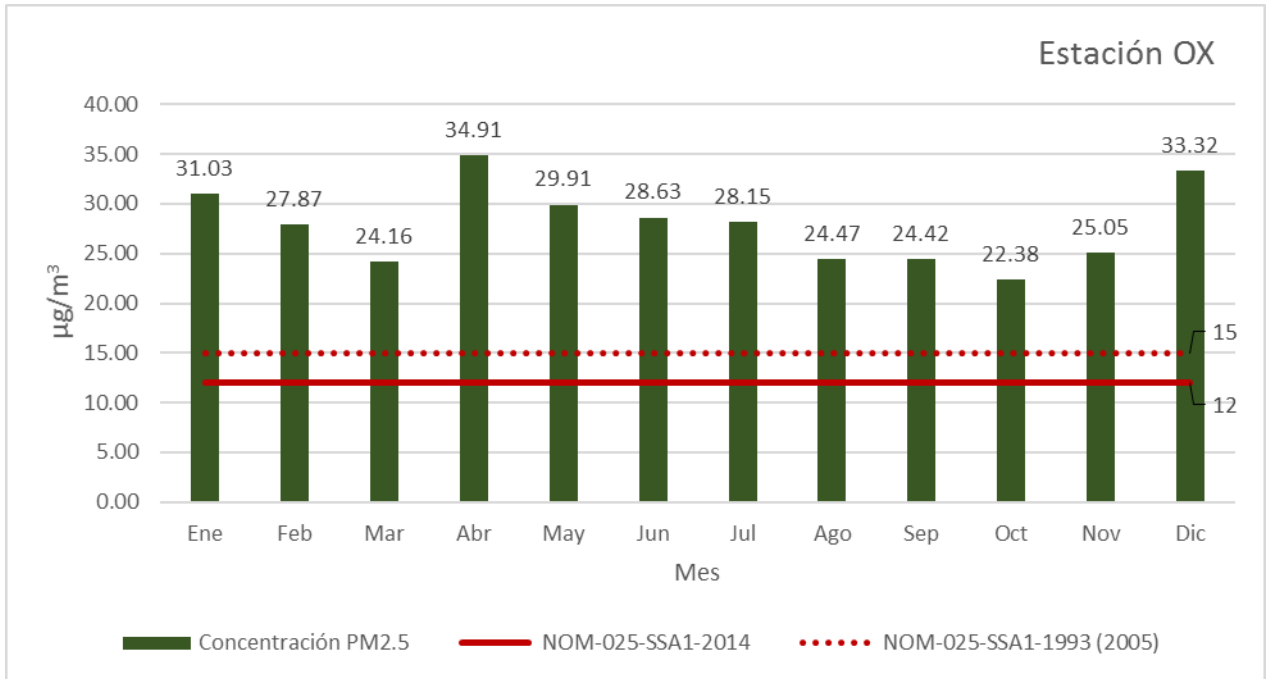
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 82 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en la estación MT durante los doce meses del año rebasaron el LMP establecido en la NOM-025-SSA1-2014. Las concentraciones altas se registraron en los meses de enero, febrero, abril y diciembre, donde la concentración máxima registrada en el mes de enero fue de 41.52 µg/m³. La concentración mínima (aun estando por encima de la NOM), se registró en el mes de octubre con 20.13 µg/m³.

5.2.4.5 Estación OX 2015

La gráfica 83 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 83 Concentraciones PM_{2.5} mensual estación OX en el año 2015



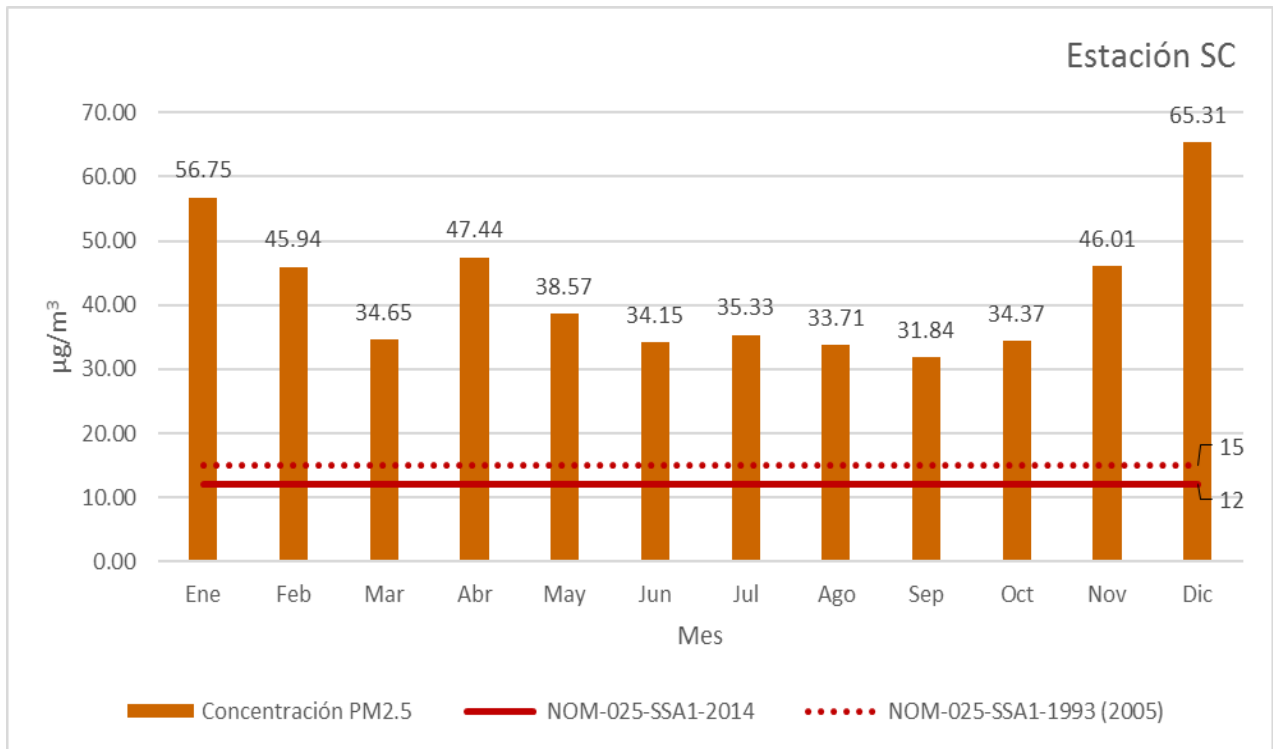
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 83 se observa que las concentraciones mensuales de PM_{2.5} en la estación OX durante el año 2015, estas rebasaron el LMP establecido en la NOM. Las concentraciones más altas se presentaron en los meses de enero, abril y diciembre; donde la concentración máxima se registró en el mes de abril con 34.91 µg/m³. Por otro lado, la concentración mínima fue de 22.38 µg/m³ en el mes de octubre.

5.2.4.6 Estación SC 2015

La gráfica 84 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 84 Concentraciones PM_{2.5} mensual estación SC en el año 2015



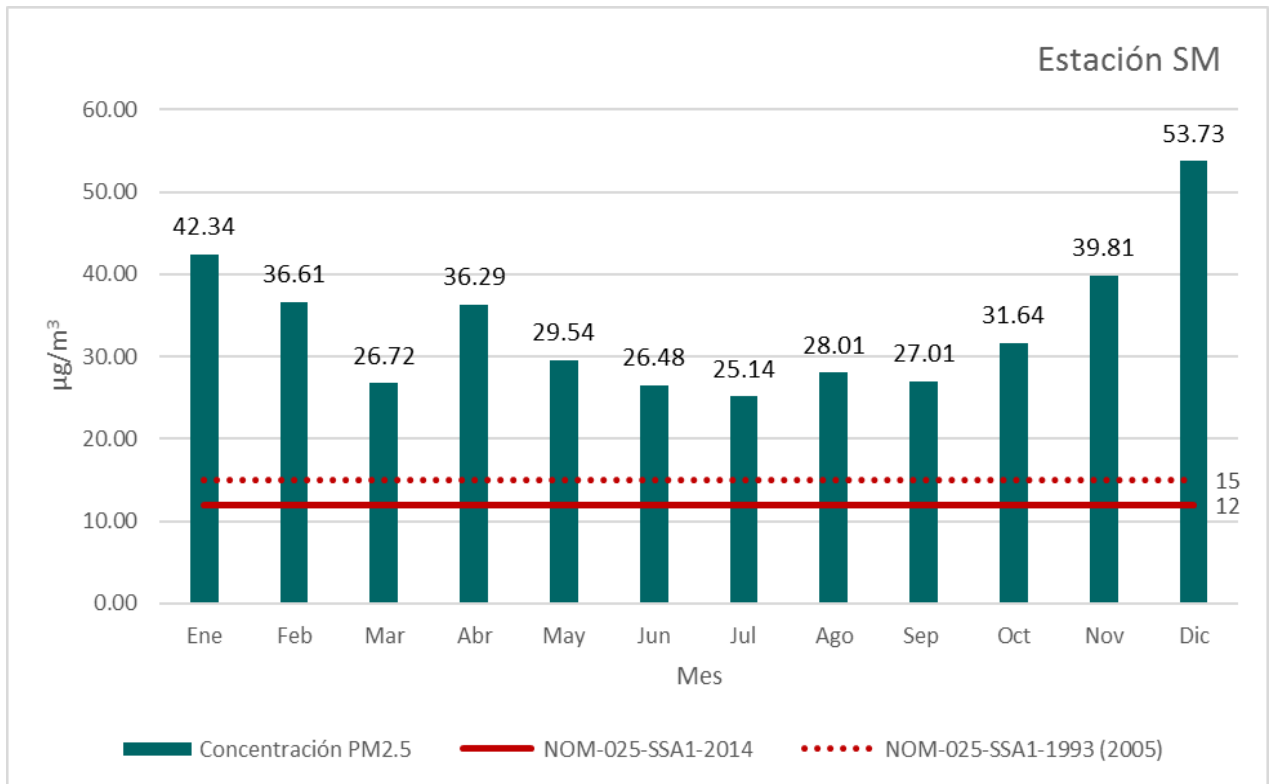
Elaboración propia con base en los datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 84 se observa que en las concentraciones mensuales de PM_{2.5} en la estación SC en el año 2015, estas rebasan el LMP establecido en la NOM-025-SSA1-2014 vigente. La concentración máxima se presentó en el mes de diciembre con 65.31 µg/m³, posteriormente en el mes de enero con 56.75 µg/m³. Por el contrario, la concentración mínima fue de 31.84 µg/m³ en el mes de septiembre.

5.2.4.7 Estación SM 2015

La gráfica 85 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 85 Concentraciones PM_{2.5} mensual estación SM en el año 2015



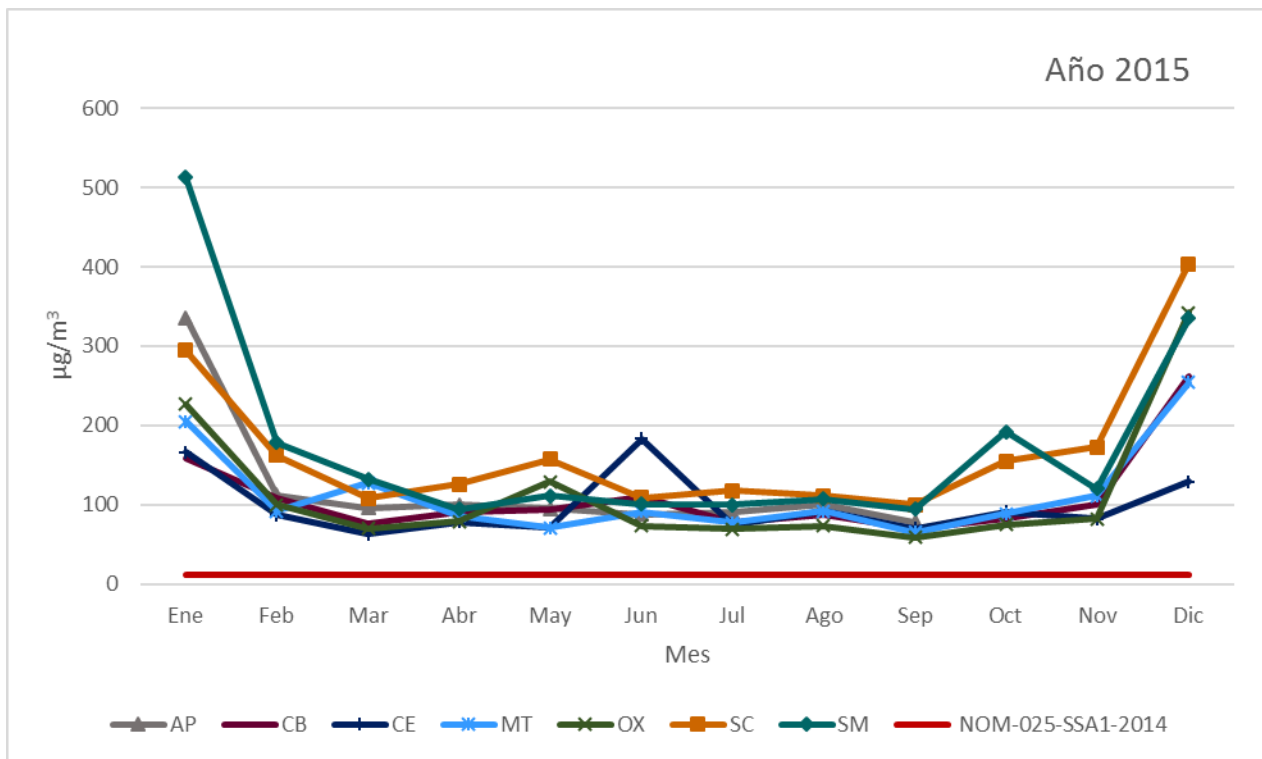
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 85 se observa que las concentraciones mensuales de PM_{2.5} en la estación SM en el año 2015, rebasan el LMP establecido en la NOM vigente durante los doce meses. La concentración máxima se presentó en el mes de diciembre con 53.73 µg/m³ y en el mes de enero con 42.34 µg/m³. Por otro lado, la concentración mínima (aun por encima del LMP), fue de 25.14 µg/m³ en el mes de julio y de 26.72 µg/m³ en el mes de marzo.

5.2.4.8 Registros máximos de PM_{2.5} por mes año 2015

La gráfica 86 representa el registro máximo de concentración de PM_{2.5} por mes en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el año 2015, de igual manera en este año no se cuenta con algunos datos por intervalos de tiempo, tal es el caso de la estación Aeropuerto en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 86 Registros máximos de PM_{2.5} mensuales del año 2015



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

En la gráfica 86 se observa que las concentraciones máximas de PM_{2.5} mensuales durante el año 2015 rebasaron el LMP establecido en la NOM, siendo en el mes de enero el que registro el máximo más alto de 513 µg/m³ en la estación SM pasando a diciembre en la estación SC con 404 µg/m³. Así también se puede observar que en estos meses las demás estaciones presentaron un comportamiento alto de concentraciones.

Por otro lado, los máximos más bajos (aun por encima de la NOM), está en los meses de febrero a septiembre, siendo la estación CE en el mes de marzo la más baja con 63 µg/m³.

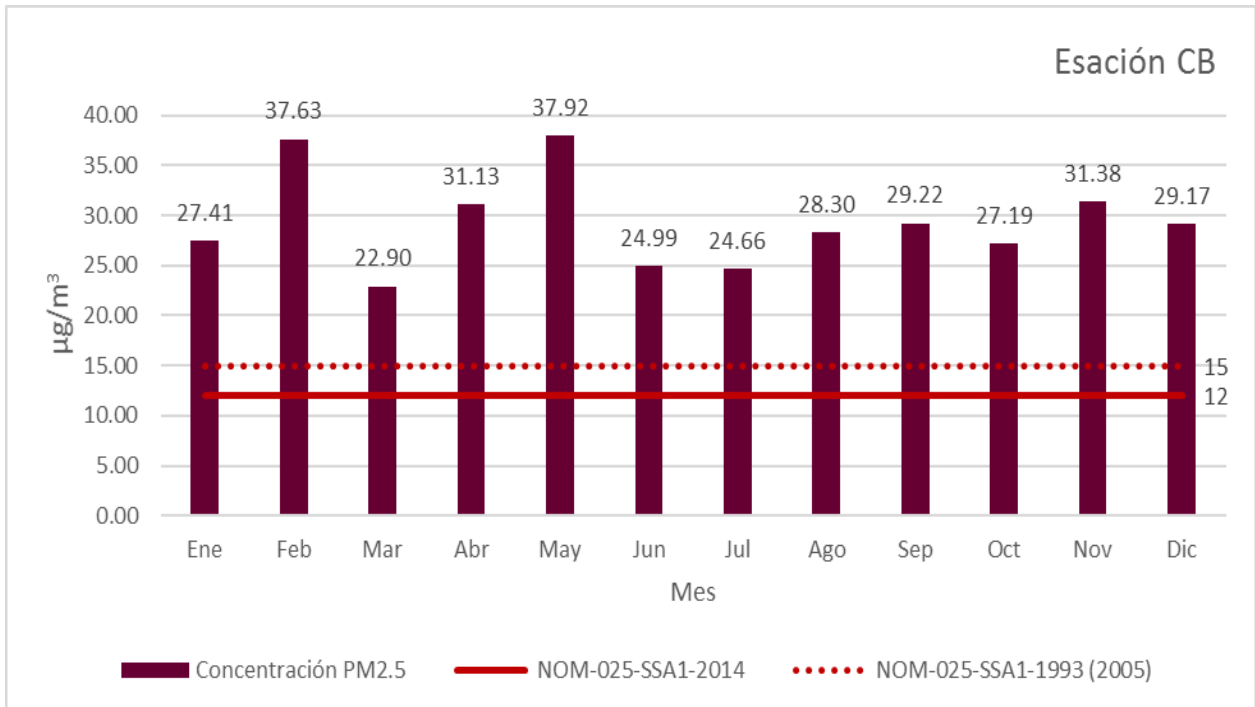
5.2.5 PM_{2.5}/mensual por estación en el año 2016

Se presentan las gráficas de cada estación de la RAMA-ZMVT para observar el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} durante cada uno de los 12 meses del año 2016, e identificar las estaciones que registran las concentraciones fuera del LMP de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un valor de 12 µg/m³ (anual) para la salud. Cabe mencionar que en este año la estación Aeropuerto (AP) dejó de registrar datos.

5.2.5.1 Estación CB 2016

La gráfica 87 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ por mes en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 87 Concentraciones $PM_{2.5}$ por mes estación CB en el año 2016



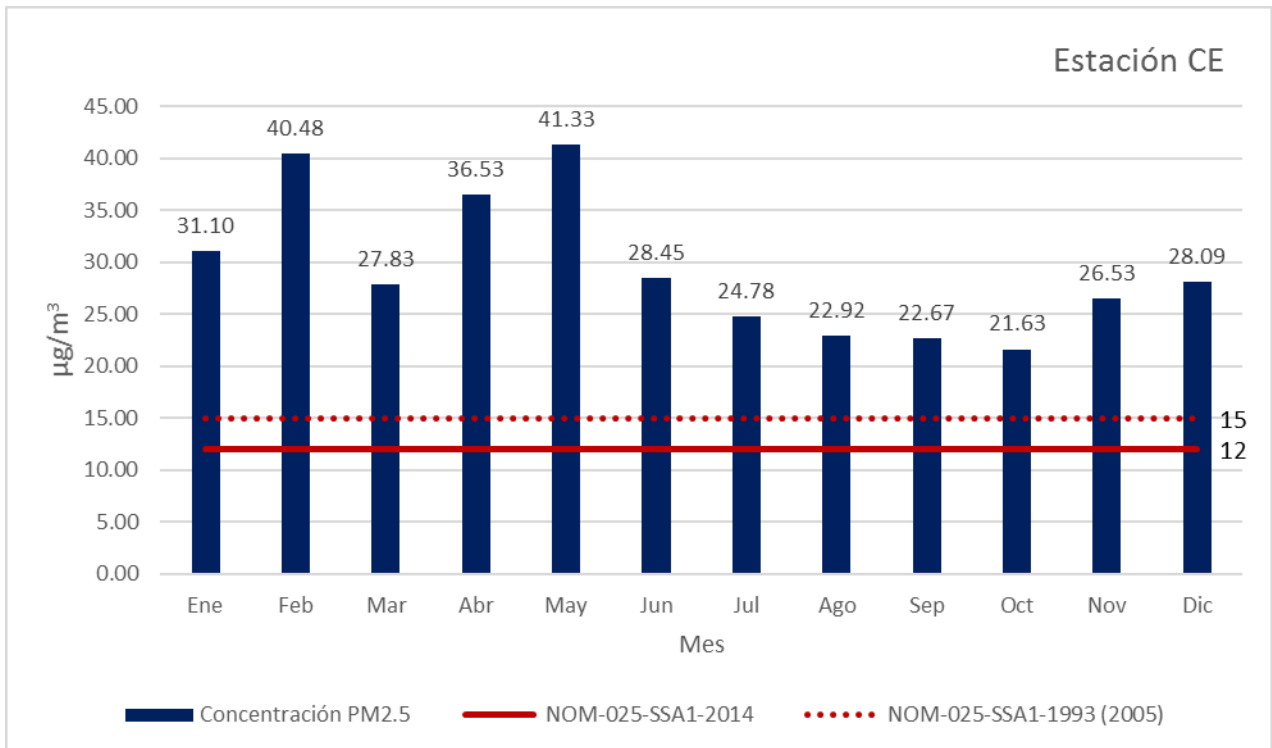
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

En la gráfica 87 se observa que las concentraciones rebasaron el LMP establecido en la NOM durante los doce meses del año. La concentración máxima se presentó en el mes de febrero con $37.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en mayo con $37.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la concentración mínima (aun por encima del LMP), se registró en el mes de marzo con $22.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2.5.2 Estación CE 2016

La gráfica 88 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ por mes en la estación Toluca Centro (CE) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 88 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación CE en el año 2016



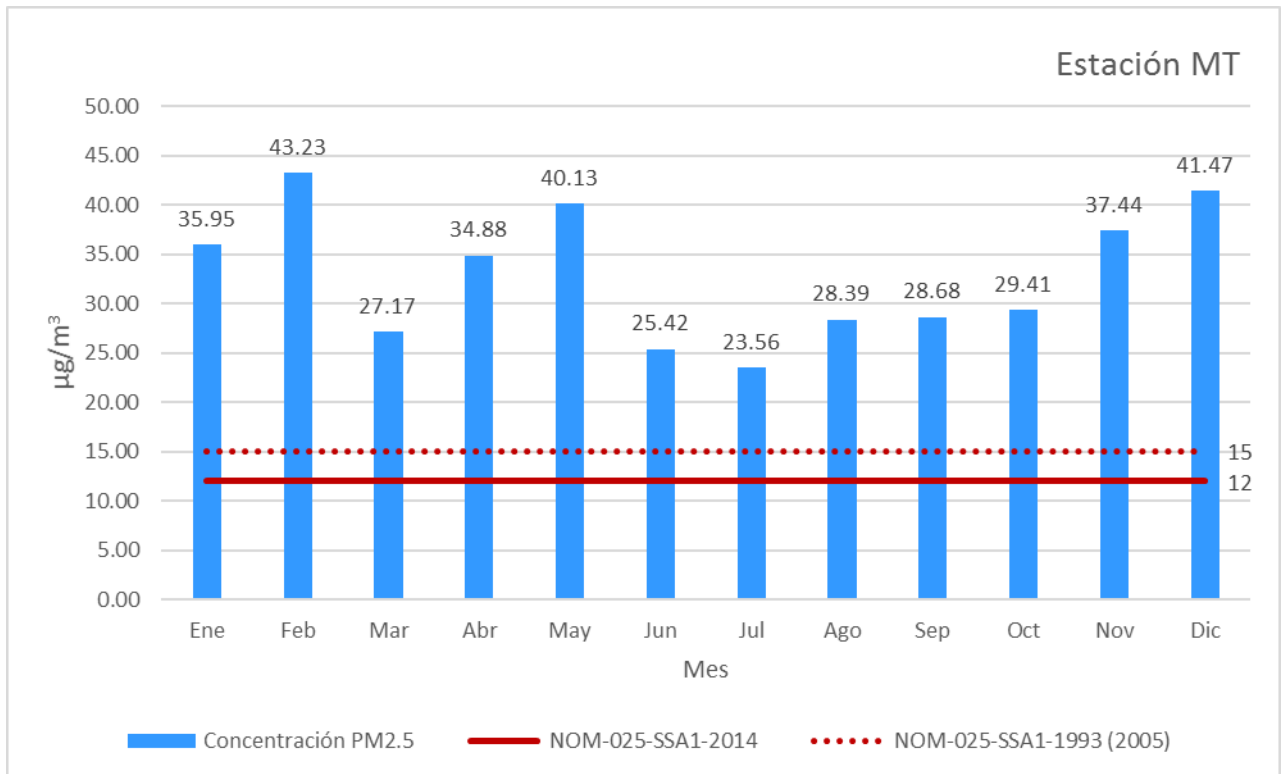
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

En la gráfica 88 se observa que durante los doce meses del año en la estación CE las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido en la NOM vigente. La concentración máxima se registró en el mes de mayo con 41.33 µg/m³ y en febrero con 40.48 µg/m³, mientras que la concentración mínima (aun por encima del LMP), se registró en el mes de octubre con 21.63 µg/m³.

5.2.5.3 Estación MT 2016

La gráfica 89 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Metepec (MT) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 89 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación MT en el año 2016



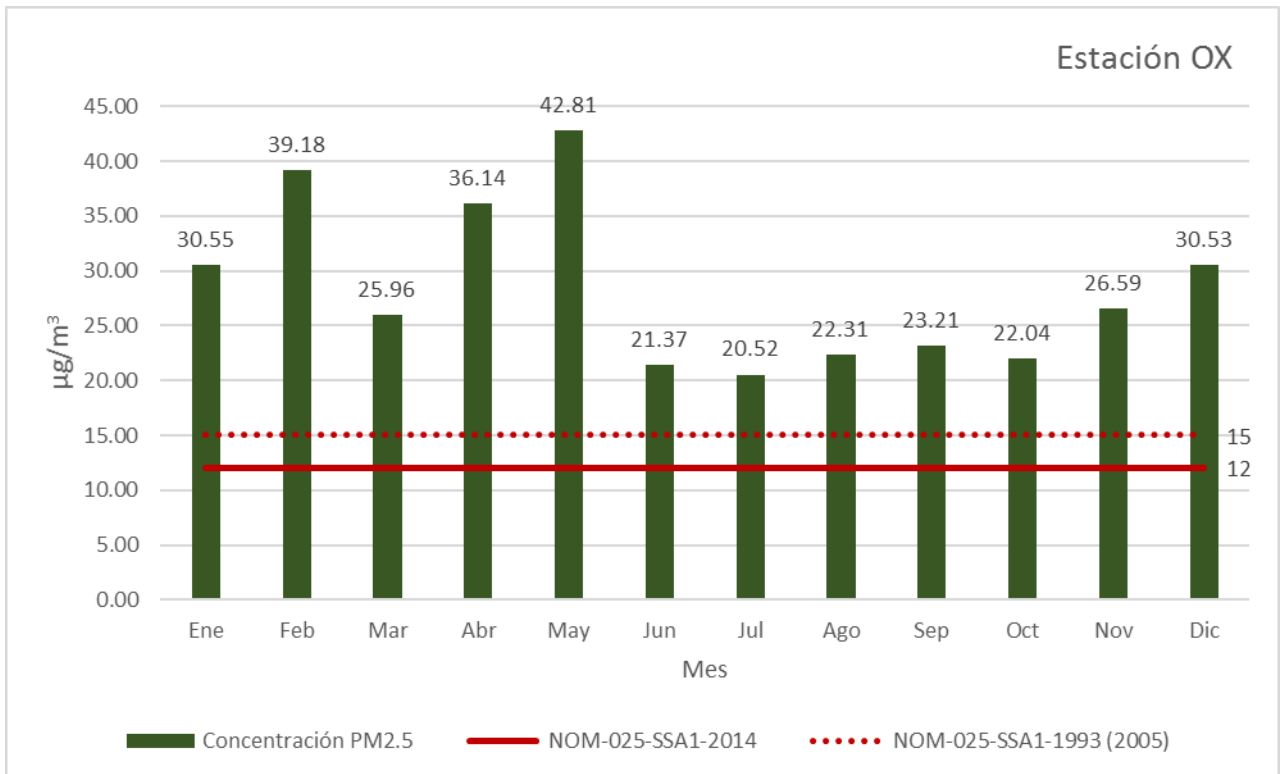
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

En la gráfica 89 se observa que las concentraciones durante los doce meses del año 2016 en la estación MT rebasaron el LMP establecido por la NOM. Las concentraciones altas se presentaron en los meses de mayo con 40.13 µg/m³, diciembre con 41.47 µg/m³ y febrero con 43.23 µg/m³ siendo este último la concentración máxima. Por otro lado, las concentraciones bajas (aun por encima del LMP), se registraron en los meses de marzo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre, siendo el mes de julio con 23.56 µg/m³ la concentración mínima.

5.2.5.4 Estación OX 2016

La gráfica 90 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 90 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación OX en el año 2016



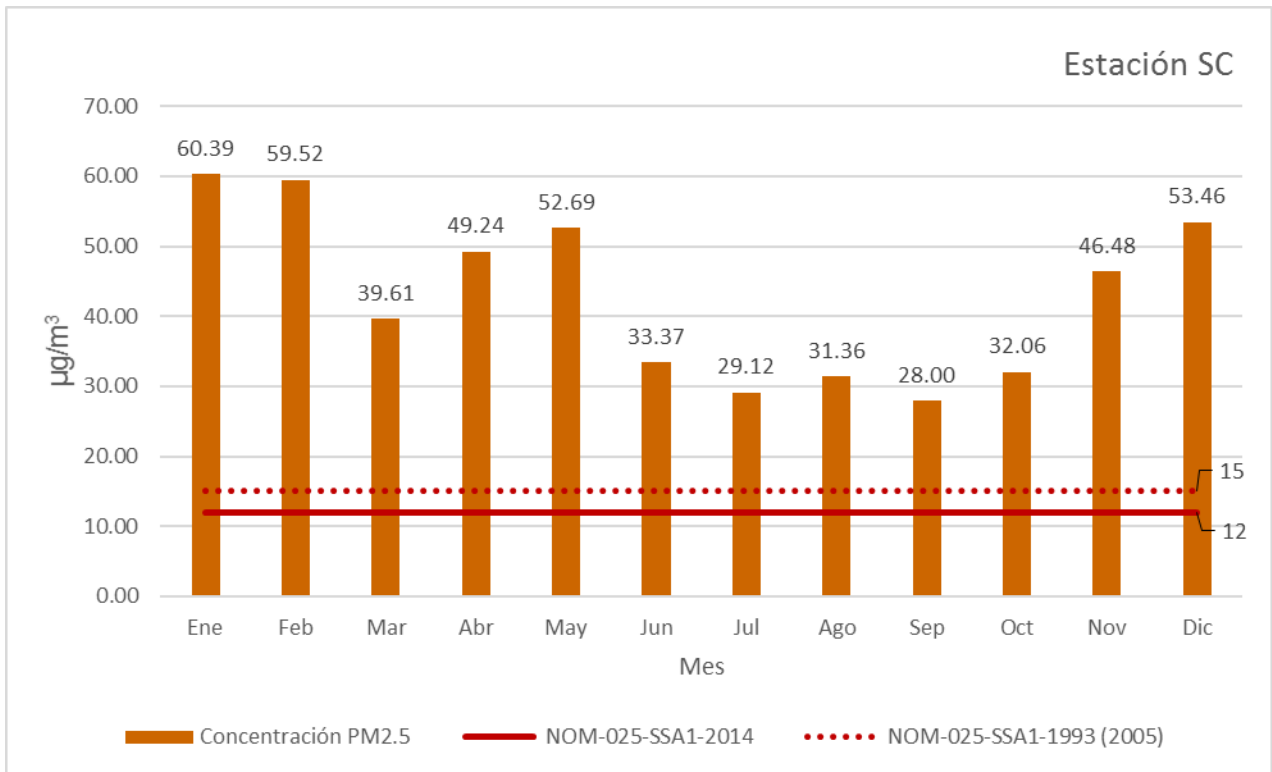
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

Se observa en la gráfica 90 que las concentraciones durante los doce meses del año 2016 en la estación OX rebasaron el LMP de 12 µg/m³ establecido en la NOM, siendo los meses de enero, febrero, abril y mayo los que tienen mayor concentración. La concentración máxima se registró en mayo con 42.82 µg/m³, mientras que las concentraciones más bajas (aun por encima de la NOM), se presentaron en los meses de marzo, junio, julio. Agosto, septiembre, octubre y noviembre, siendo el mes de julio con 20.52 µg/m³ el que registro la mínima concentración.

5.2.5.5 Estación SC 2016

La gráfica 91 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 91 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación SC en el año 2016



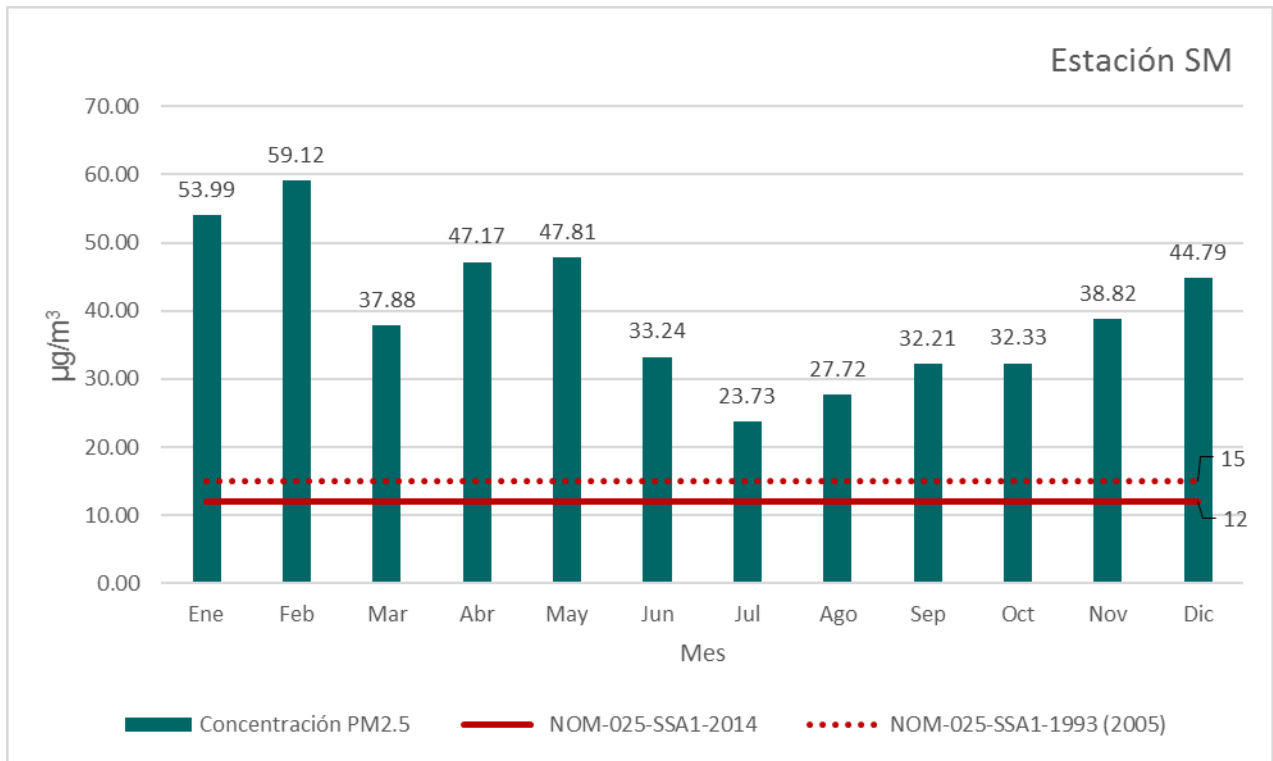
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

Se observa que en la gráfica 91 que las concentraciones durante los doce meses del año 2016 en la estación SC rebasaron el LMP establecido en la NOM. Las concentraciones más altas se registraron en los meses de enero, febrero, abril, mayo, noviembre y diciembre, donde la concentración máxima se registró en el mes de enero con 60.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el mes de febrero con 59.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, la concentración mínima se registró en el mes de septiembre con 28.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, este último rebaso el LMP establecido en la NOM.

5.2.5.6 Estación SM 2016

La gráfica 92 representa el promedio mensual de concentración PM_{2.5} en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2016. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 92 Concentraciones PM_{2.5} estación SM en el año 2016



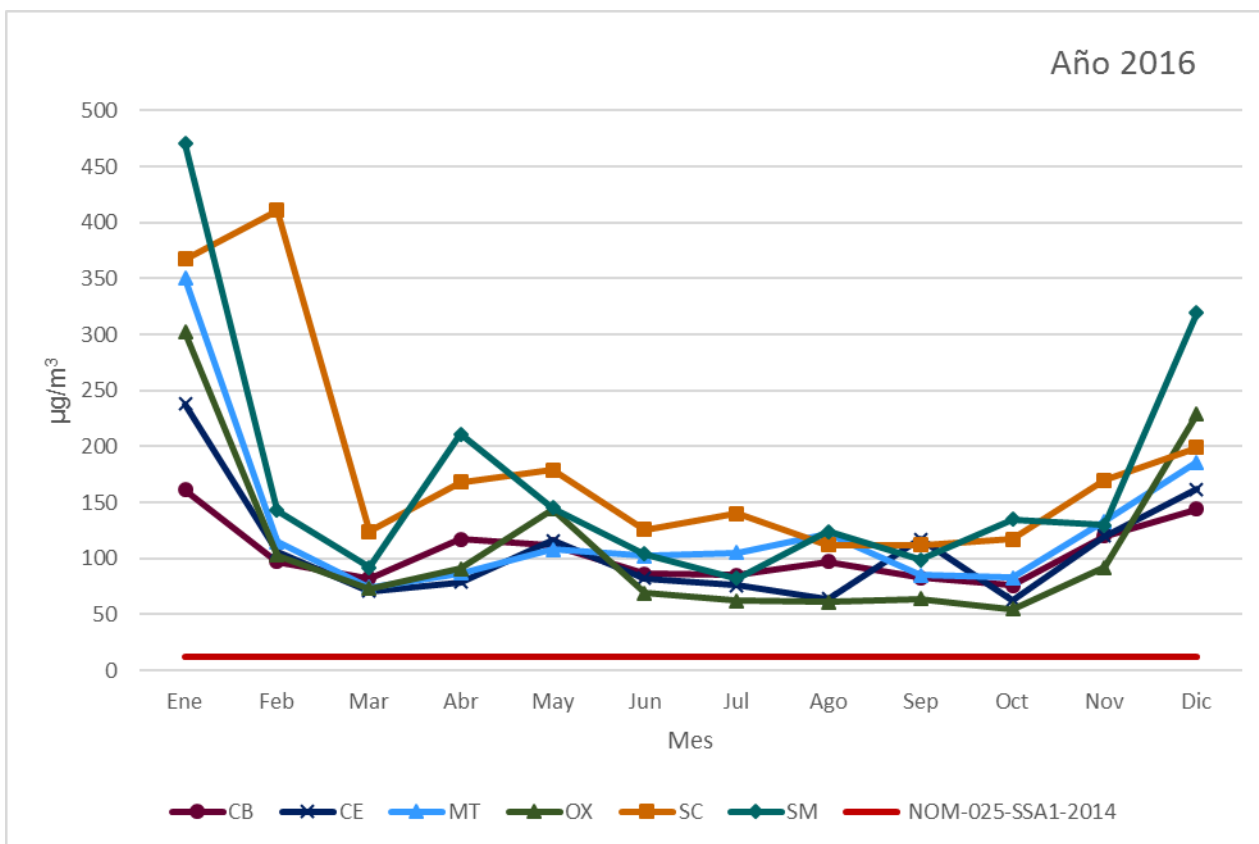
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

Se observa en la gráfica 92 las concentraciones de PM_{2.5} mensuales durante el año 2016 en la estación SM las cuales rebasaron el LMP establecido en la NOM vigente. Las concentraciones altas se registraron en los meses de enero, febrero, abril, mayo y diciembre, siendo el mes de febrero con 59.12 µg/m³ la concentración máxima. Por otro lado, las concentraciones bajas se registraron en los meses de marzo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, siendo el mes de julio con 23.73 µg/m³ la concentración mínima estando por encima de la NOM.

5.2.5.8 Registros máximos de PM_{2.5} por mes año 2016

La gráfica 93 representa el registro máximo de concentración de PM_{2.5} por mes en las seis estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el año 2016 ya que la estación AP no registró datos a partir de este año. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 93 Registros máximos de PM_{2.5} mensuales del año 2016



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

Como se observa en la gráfica 93 los registros máximos mensuales de PM_{2.5} durante el año 2016 en las estaciones que conforma la RAMA-ZMVT rebasaron el LMP establecido en la NOM vigente. Los registros máximos altos se presentaron en los meses de enero, febrero, abril y diciembre; donde enero encuentra su máximo en la estación SM con 470 µg/m³, febrero en la estación SC 411 µg/m³, abril en la estación SM con 211 µg/m³ y diciembre en la estación SM con 319 µg/m³.

Por el contrario, los meses con los máximos más bajos aun estando por encima de la NOM se registraron de junio a octubre presente en la estación SC donde el mínimo fue de 55 µg/m³ en el mes de octubre.

5.2.6 PM_{2.5}/mensual por estación en el año 2017

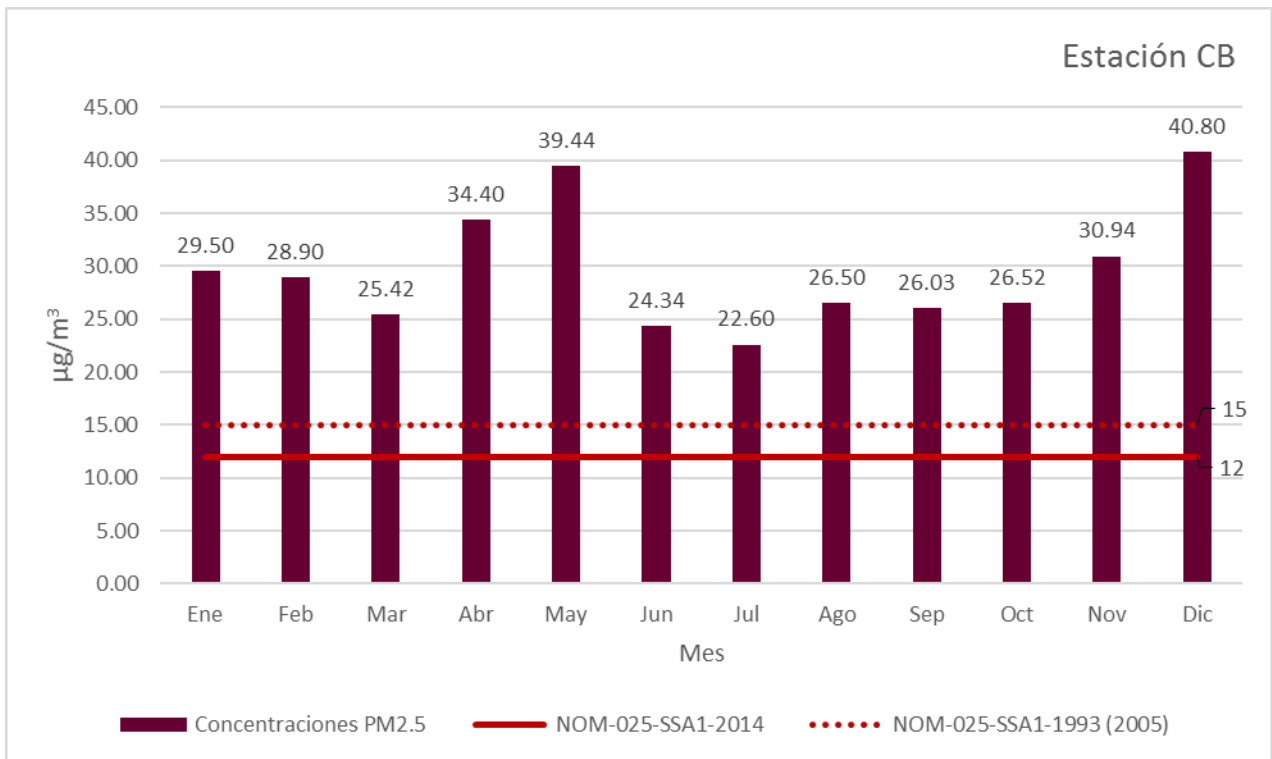
Se presentan las gráficas de cada estación de la RAMA-ZMVT para observar el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} durante cada uno de los 12 meses del año 2017, e identificar las estaciones que registran las concentraciones fuera

del LMP de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un valor de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual) para la salud. Cabe mencionar que en este año la estación Aeropuerto (AP) no registró datos.

5.2.6.1 Estación CB 2017

La gráfica 94 representa el promedio de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ por mes en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 94 Concentraciones $\text{PM}_{2.5}$ estación CB en el año 2017



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

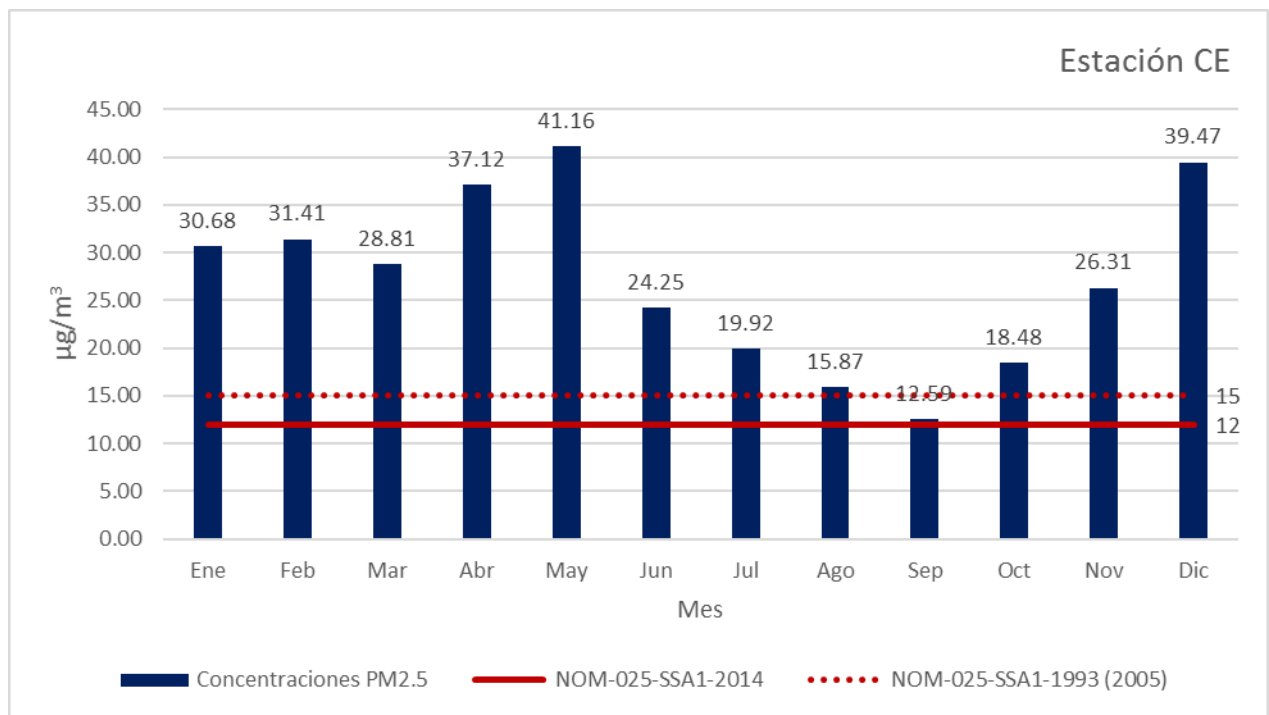
Como se observa en la gráfica 94 las concentraciones mensuales de $\text{PM}_{2.5}$ en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2016 rebasaron el LMP establecido en la NOM vigente durante los doce meses. Las concentraciones más altas se registraron en los meses de abril, mayo y diciembre, donde este último con 40.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fue la concentración máxima en este año. Por otro lado, las concentraciones bajas se

registraron en los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, siendo en el mes de julio con $22.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la concentración mínima registrada, cabe destacar que está aún por encima del LMP.

5.2.6.2 Estación CE 2017

La gráfica 95 representa el promedio de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ mensual en la estación Toluca Centro (CE) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 95 Concentraciones $\text{PM}_{2.5}$ por mes estación CE en el año 2017



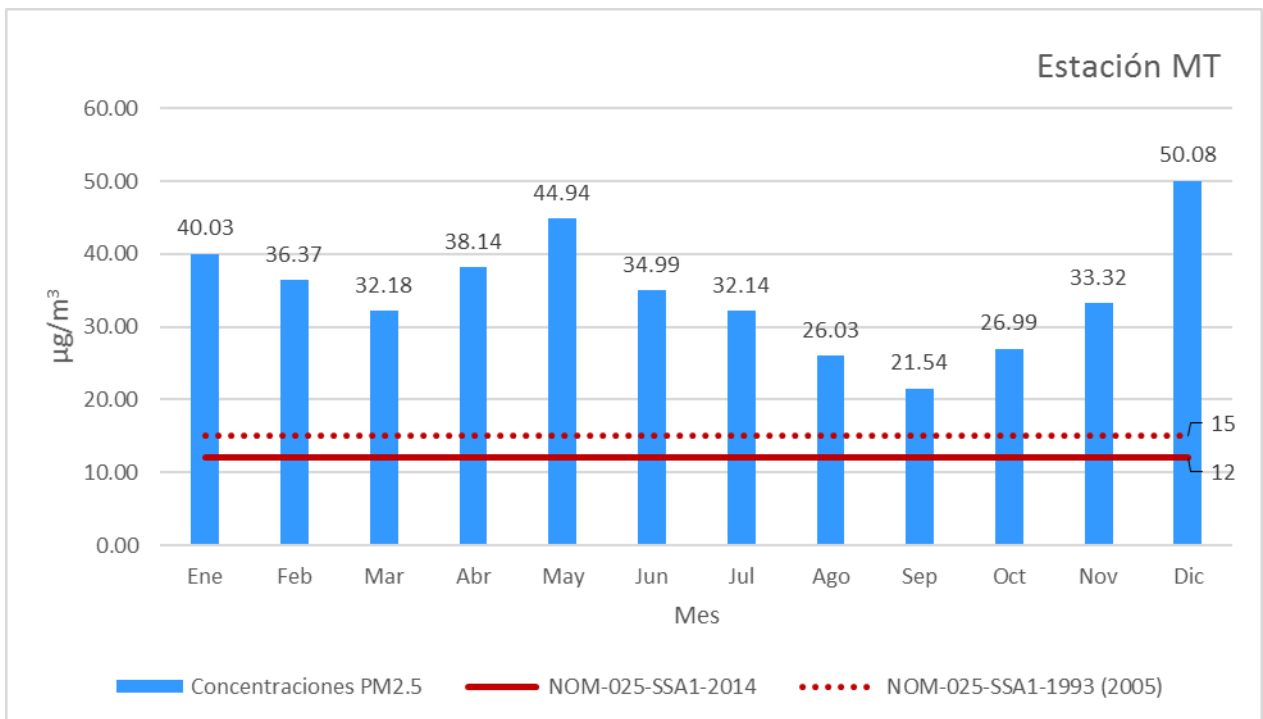
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

Se puede observar en la gráfica 95 las concentraciones mensuales de $\text{PM}_{2.5}$ en la estación CE rebasaron el LMP establecido en la NOM durante los doce meses del año 2017. En los primeros cinco meses esta concentración se mantiene alta descendiendo en el mes de junio, incrementando de nuevo en el mes de noviembre. La concentración máxima se presentó en el mes de mayo con $41.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la mínima en el mes de septiembre con $12.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, claramente está por encima del LMP establecido.

5.2.6.3 Estación MT 2017

La gráfica 96 representa el promedio de concentración mensual de PM_{2.5} en la estación Metepec (MT) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 96 Concentraciones PM_{2.5} mensual estación MT en el año 2017



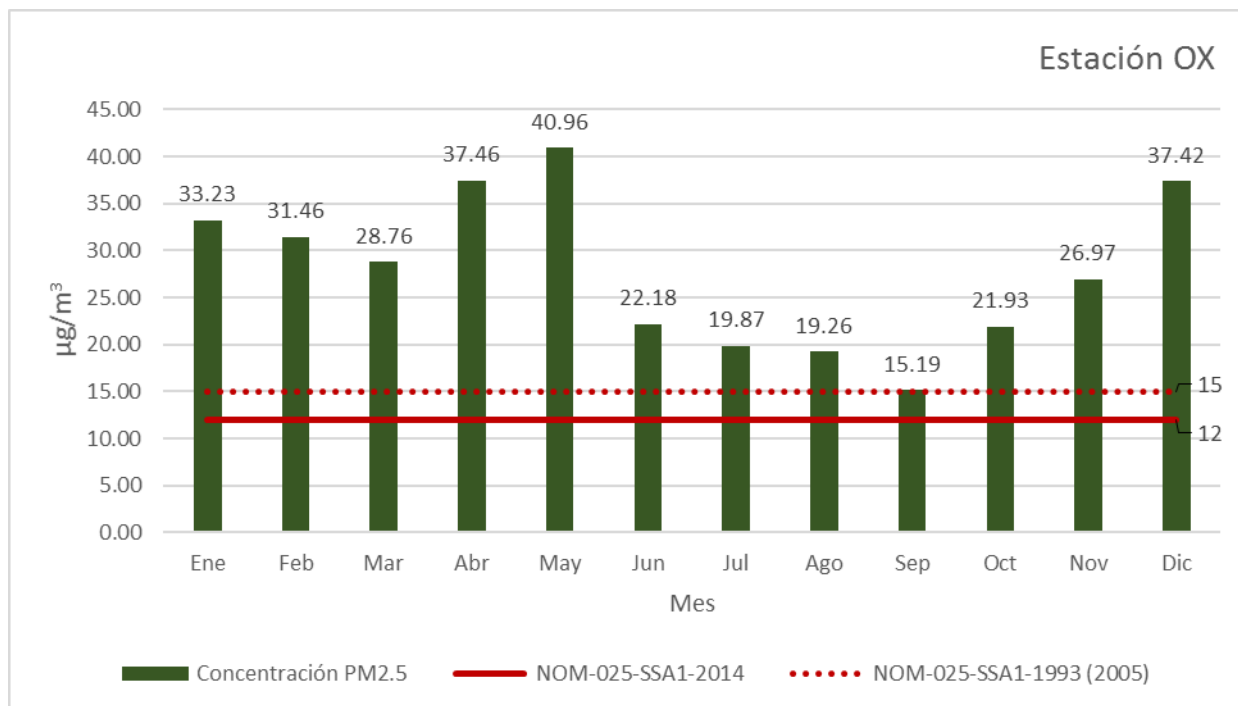
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

En la gráfica 96 se observa que las concentraciones mensuales de PM_{2.5} en la estación Metepec (MT) rebasaron el LMP establecido en la NOM en los doce meses del año, donde los primeros meses el comportamiento es elevado y a partir de junio tiende a descender incrementando de nuevo a partir de octubre. La concentración máxima se registró en el mes de mayo con 44.94 µg/m³, mientras que la concentración mínima fue de 21.54 µg/m³ en el mes de septiembre, cabe destacar que esta rebasa el LMP establecido en la NOM vigente.

5.2.6.3 Estación OX 2017

La gráfica 97 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ por mes en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 97 Concentraciones $PM_{2.5}$ mensuales Estación OX en el año 2017



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

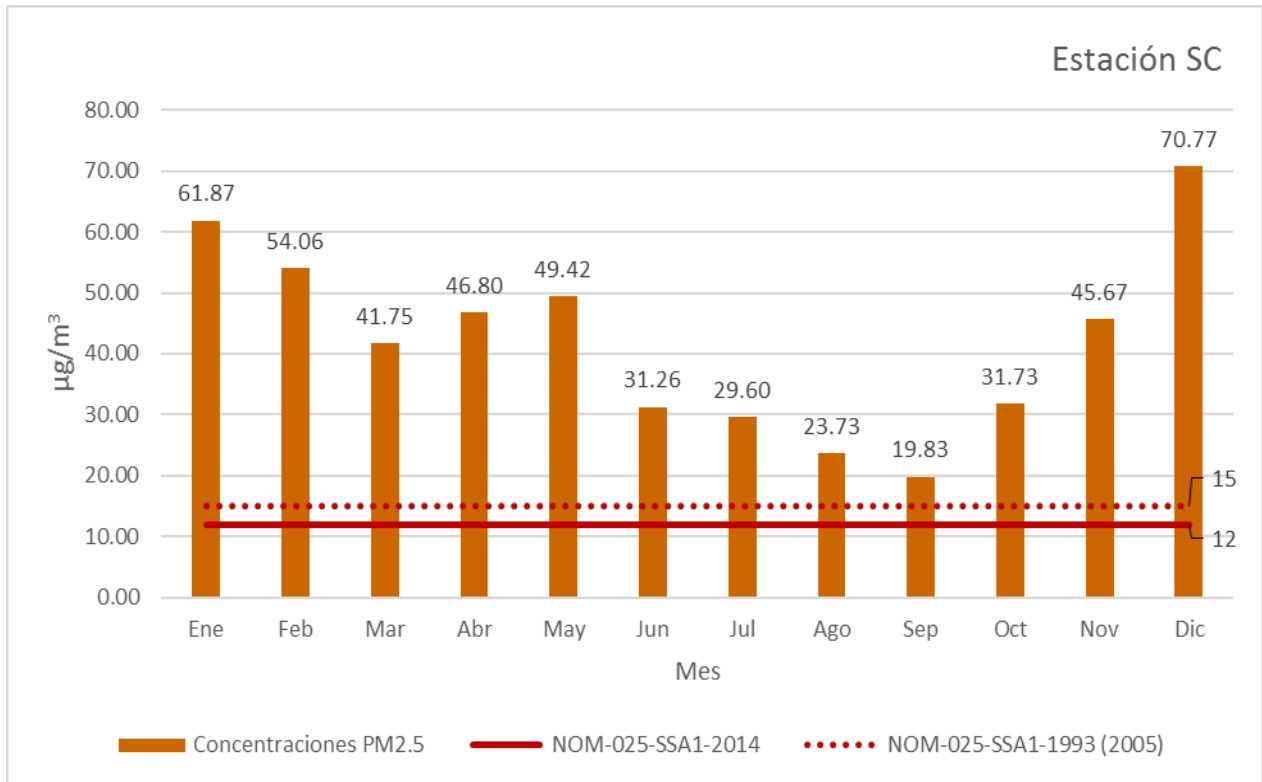
En la gráfica 97 se observa que las concentraciones $PM_{2.5}$ en los doce meses del año 2017 en la estación Oxtotitlán (OX) rebasaron el LMP establecido en la NOM vigente, los comportamientos en los primeros meses se mantienen altos alcanzando un máximo en el mes de mayo con $40.96 \mu g/m^3$, descendiendo hasta llegar a un mínimo en el mes de septiembre de $15.19 \mu g/m^3$ (aun por encima del LMP), a partir de este mes se observa de nuevo un incremento terminando el mes de diciembre con $37.42 \mu g/m^3$.

5.2.6.5 Estación SC 2017

La gráfica 98 representa el promedio de concentración de $PM_{2.5}$ mensual en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2017. Se tomaron en

cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 98 Concentraciones PM_{2.5} mensual estación SC en el año 2017



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

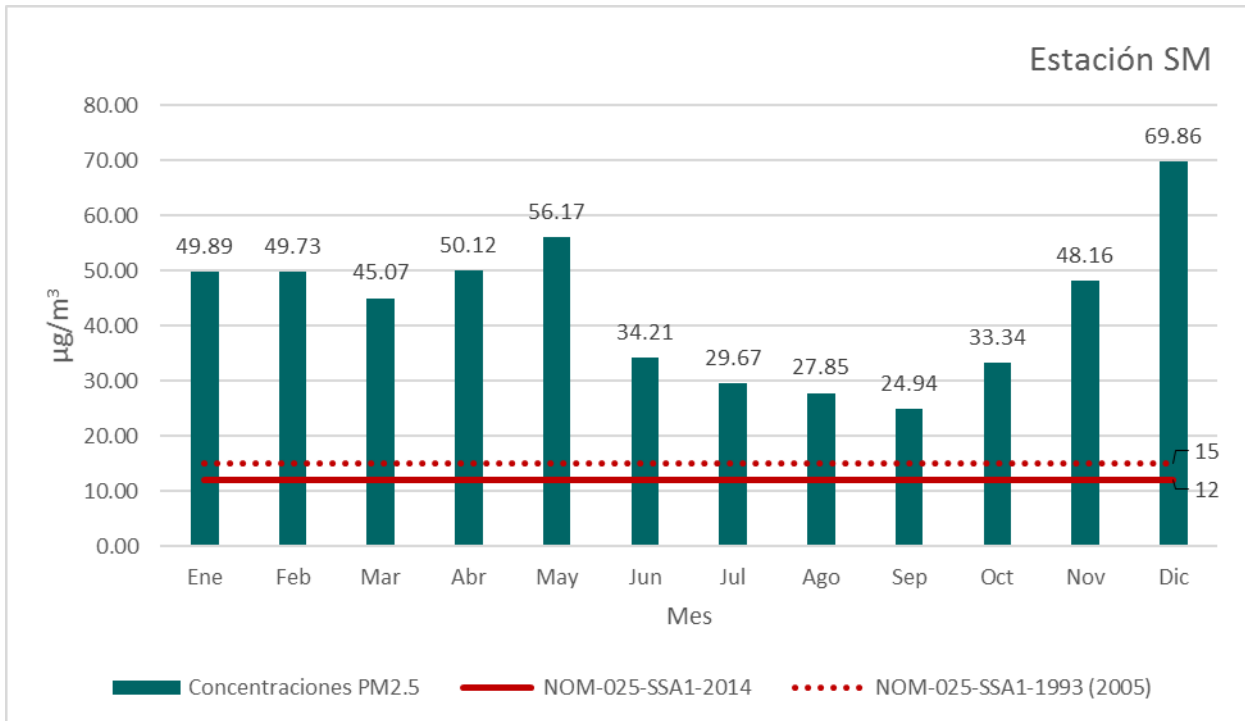
Se observa que en la gráfica 98 las concentraciones mensuales en la estación SC durante el año 2017 están por encima del Límite Máximo Permisible (LMP) establecido en la NOM vigente en los doce meses. Las concentraciones más altas se registraron en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre, siendo este último el que registro la máxima concentración con 70.77 µg/m³. Por otro lado, en los meses de junio a octubre se registraron las concentraciones más bajas. Sin embargo, estas últimas aún rebasan el límite establecido por la NOM. La concentración mínima se registró en el mes de septiembre con 19.83 µg/m³.

5.2.6.6 Estación SM 2017

La gráfica 99 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} mensual en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2017. Se tomaron en cuenta las

concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 99 Concentraciones PM_{2.5} mensual estación SM en el año 2017



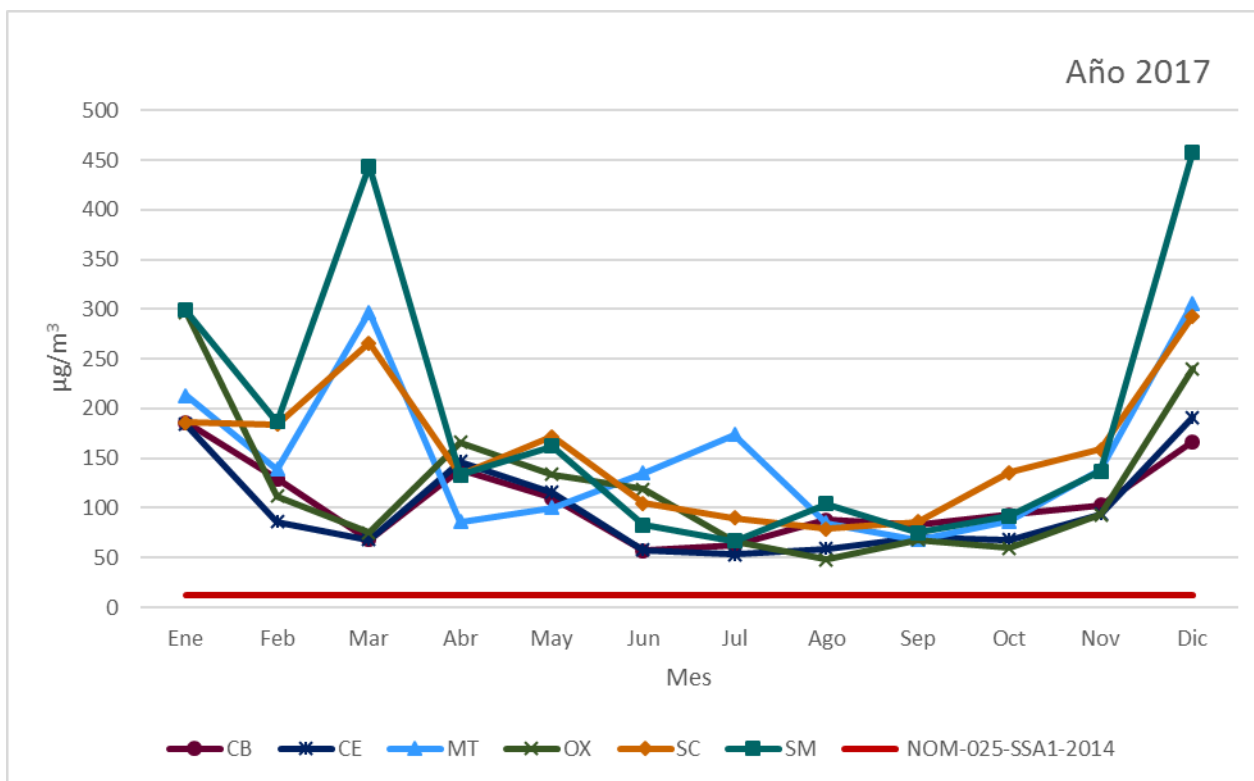
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017

En la gráfica 99 se identifica que las concentraciones rebasaron el LMP establecido en la NOM vigente durante los doce meses del año 2017 en la estación SM, siendo en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre los que presentaron mayor concentración de PM_{2.5}, siendo el mes de diciembre el que registro la concentración máxima con 69.86 µg/m³, mientras que la concentración mínima se registró en el mes de septiembre con 24.94 µg/m³, cabe destacar que este valor está también por encima del LMP.

5.2.6.8 Registros máximos de PM_{2.5} por mes año 2017

La gráfica 100 representa el registro máximo de concentración de PM_{2.5} por mes en las seis estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el año 2017 ya que la estación AP no generó datos en este año. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 100 Registros máximos PM_{2.5} mensuales en el año 2017



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

Se muestra en la gráfica 100 que los registros máximos mensuales rebasan el LMP establecido en la NOM vigente durante los doce meses del año 2017 en las estaciones que conforma la RAMA-ZMVT. El comportamiento de éstos de enero a marzo y en diciembre se mantienen elevadas, mientras que los registros máximos bajos se presentaron en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre. El registro máximo se presentó en el mes de diciembre con 458 µg/m³ y en marzo con 444 µg/m³, mientras que la concentración máxima mínima se registró en el mes de agosto con 48 µg/m³ en la estación Oxtotitlán, estando por encima del LMP establecido.

5.2.7 PM_{2.5}/mensual por estación en el año 2018

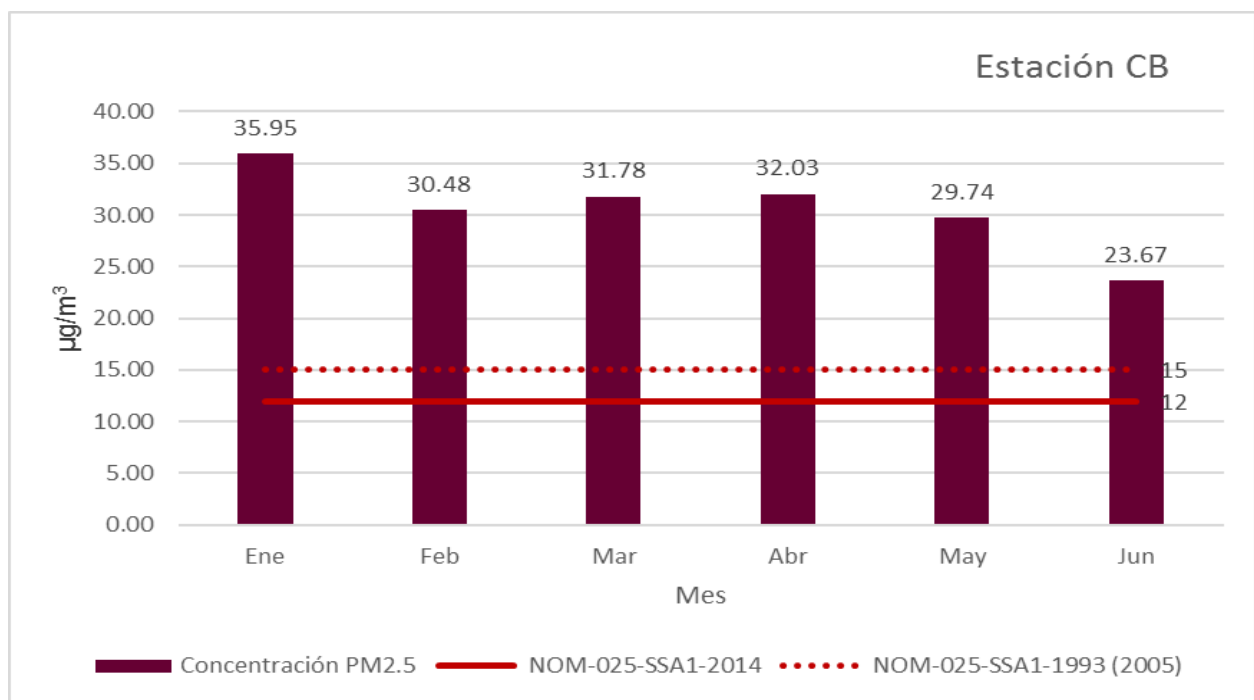
Se presentan las gráficas correspondientes a cada estación de la RAMA-ZMVT para observar el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} durante cada uno de los 12 meses del año 2018, identificando las estaciones que registran las concentraciones fuera del LMP de la NOM-025-SSA1-2014 que establece un valor

de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual) para la protección de la salud. Cabe mencionar que en este año la estación Aeropuerto (AP) no registro datos.

5.2.7.1 Estación CB 2018

La gráfica 101 representa el promedio de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ por mes en la estación Ceboruco (CB) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 101 Concentraciones $\text{PM}_{2.5}$ por mes estación CB en el año 2018



Elaboración propia con base en la RAMA, 2018.

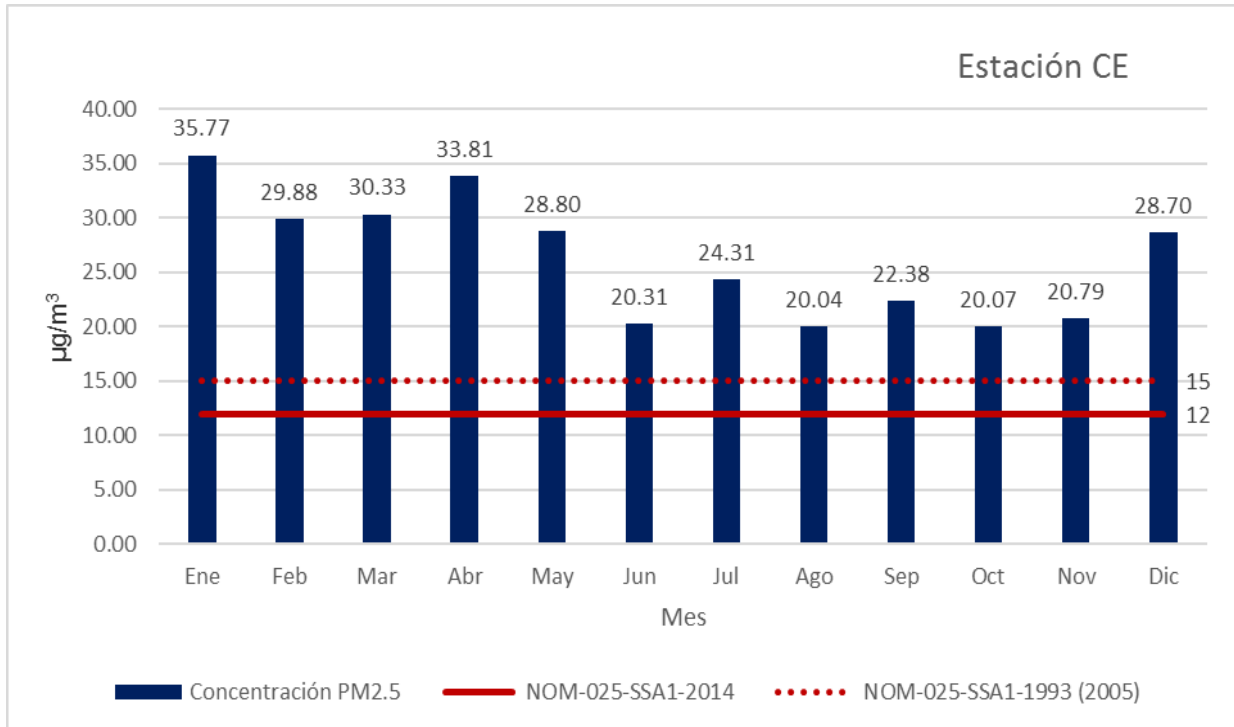
En la gráfica 101 se identifica que en la estación Ceboruco (CB) solo registro datos los primeros seis meses, en donde las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ rebasaron el LMP establecido en la NOM. La concentración máxima se registró en el mes de enero con $35.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el mes de abril con $32.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, el mes de junio registro la concentración mínima con $23.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2.7.2 Estación CE 2018

La gráfica 102 representa el promedio de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ por mes en la estación Toluca Centro (CE) durante el año 2018. Tomando en cuenta las

concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 102 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación CE en el año 2018



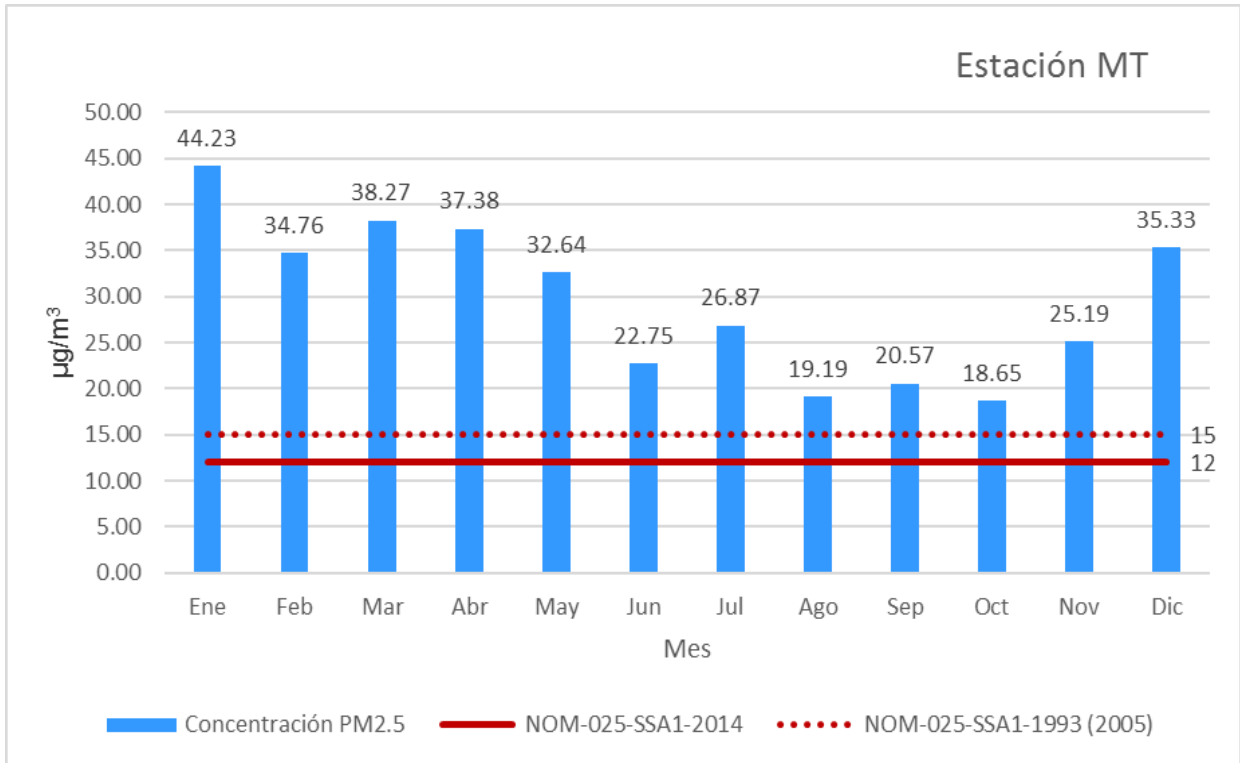
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2011.

En la gráfica 102 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} superaron el LMP establecido en la NOM durante los doce meses del año 2018 en la estación CE. Las concentraciones máximas se registraron en enero y abril con 35.77 µg/m³ y 33.81 µg/m³ respectivamente. Por otro lado, las concentraciones mínimas se presentaron en junio con 20.31 µg/m³, agosto con 20.04 µg/m³, octubre con 20.07 µg/m³ y noviembre con 20.79 µg/m³.

5.2.7.3 Estación MT 2018

La gráfica 103 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Metepec (MT) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 103 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación MT en el año 2018



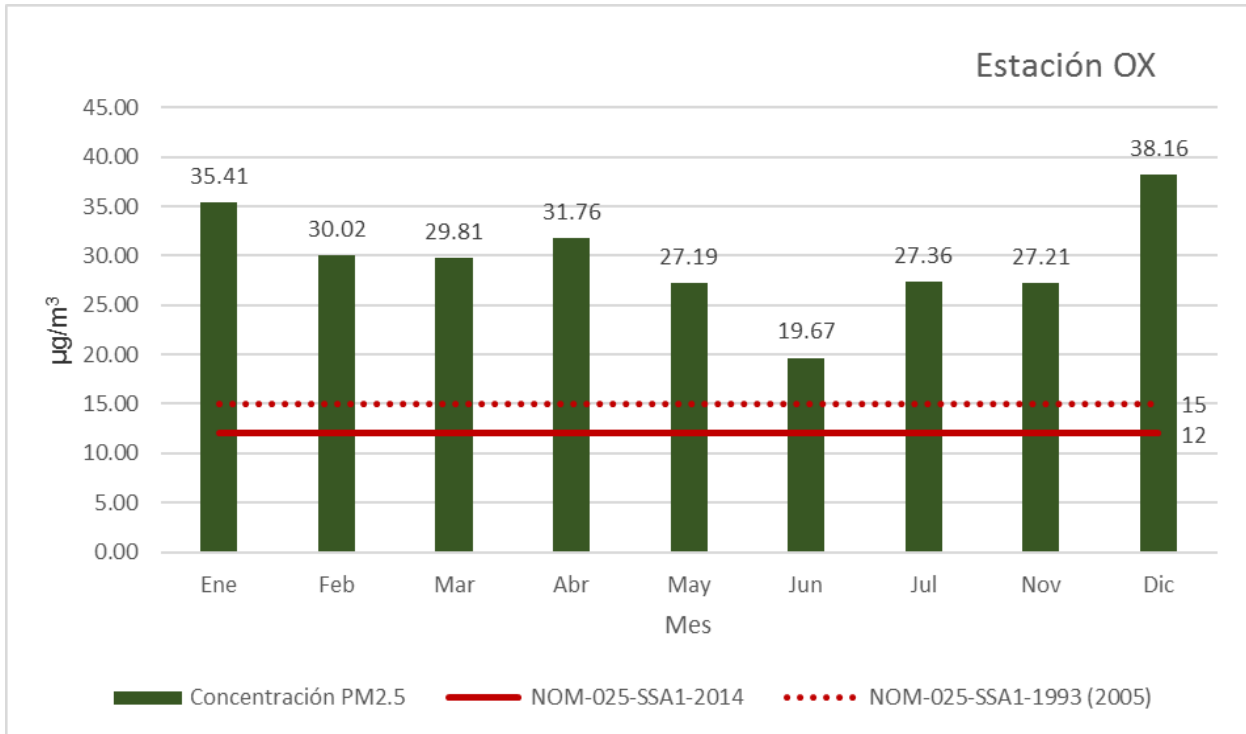
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018.

En la gráfica 103 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido en la NOM durante los doce meses en la estación MT. Las concentraciones máximas se presentaron de enero a mayo y en diciembre, el mes de enero presentó la concentración máxima con 44.23 µg/m³. Por otro lado, las concentraciones mínimas se presentaron en agosto con 19.19 µg/m³ y en octubre con 18.65 µg/m³.

5.2.7.4 Estación OX 2018

La gráfica 104 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación Oxtotitlán (OX) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 104 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación OX en el año 2018



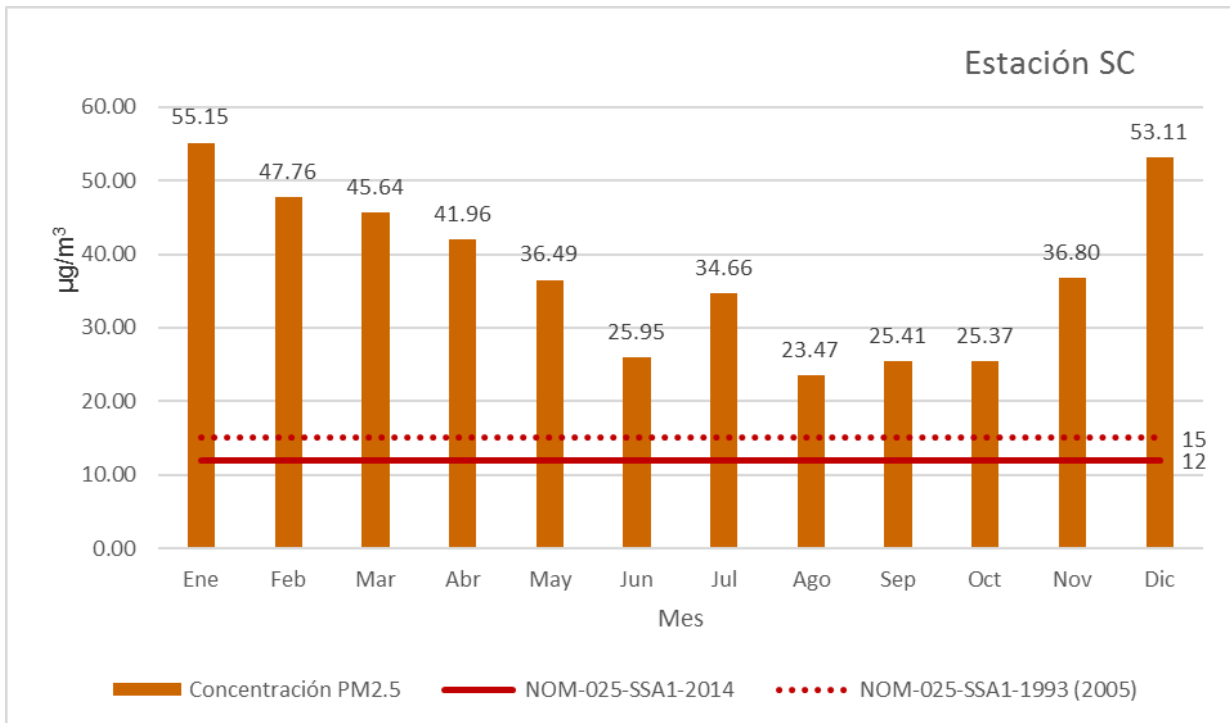
Elaboración propia con base en datos de la RAMA,2018.

En la gráfica 104 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido por la NOM-025-SSA1-2014 durante los 9 meses que se registraron en la estación OX. Mostrando que los meses de enero a mayo y diciembre las concentraciones son elevadas. Las concentraciones máximas se presentaron durante el mes de diciembre con 38.16 µg/m³, la concentración mínima se registró en junio con 19.67 µg/m³. Cabe señalar que en la estación OX no se reportaron datos en los meses de agosto a octubre.

5.2.7.5 Estación SC 2018

La gráfica 105 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 105 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación SC en el año 2018



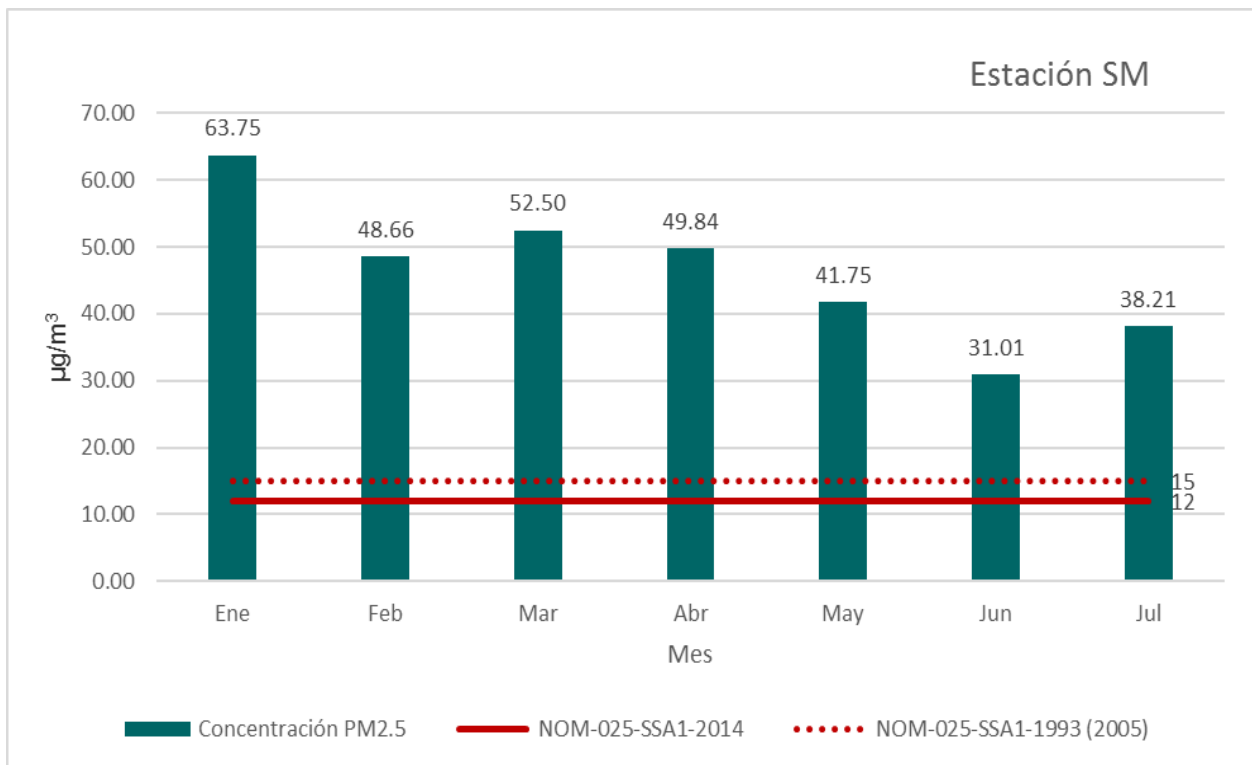
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018.

En la gráfica 105 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el LMP establecido en la NOM vigente durante los doce meses del año 2018. La concentración máxima se registró con 55.15 µg/m³ en el mes de enero siguiendo el mes de diciembre con 53.11 µg/m³. Las concentraciones más bajas (pero aún por encima de la NOM), se registraron en los meses de junio a octubre, donde la concentración mínima fue de 23.47 µg/m³ en el mes de agosto.

5.2.7.6 Estación SM 2018

La gráfica 106 representa el promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en la estación San Mateo Atenco (SM) durante el año 2018. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 106 Concentraciones PM_{2.5} por mes estación SM en el año 2018



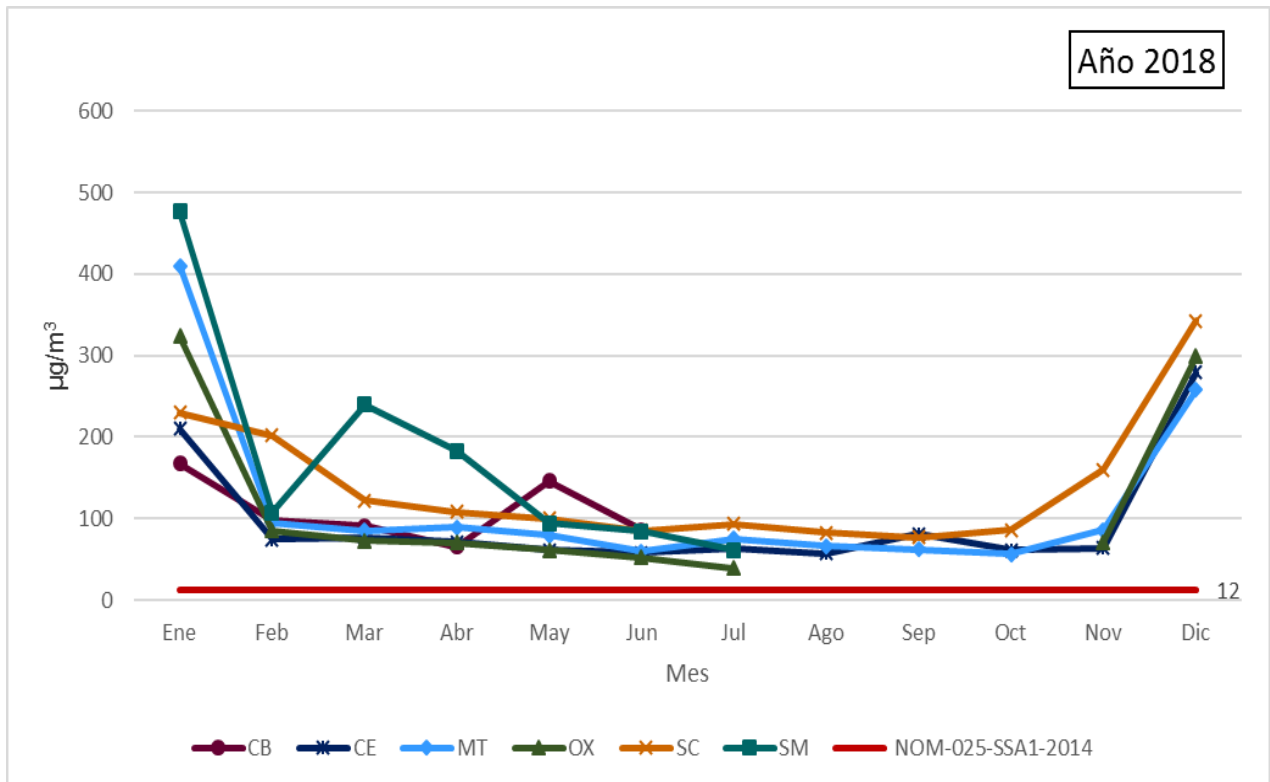
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018.

En la gráfica 106 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} rebasaron el Límite Máximo Permisible establecido en la NOM en la estación SM durante los siete meses que registraron datos en el año 2018. Las concentraciones altas se registraron en los meses de enero a mayo, la concentración máxima se registró con 63.75 μg/m³ en el mes de enero. Las concentraciones bajas aún estando por encima del LMP establecido por la NOM, se registraron entre los meses de junio y julio; la concentración mínima se registró con 31.01 μg/m³ en el mes de junio. Cabe señalar que la estación SM no se reportaron datos en los meses de agosto a diciembre.

5.2.7.7 Registros máximos de PM_{2.5} por mes año 2018

La gráfica 107 representa el registro máximo de concentración de PM_{2.5} por mes en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el año 2018. Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 107 Registros máximos de PM_{2.5} por mes del año 2018



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018.

En la gráfica 107 se muestra que las concentraciones máximas registradas para el año 2018 por mes superan el Límite Máximo Permisible (LMP) establecido por la NOM-025-SSA1-2014 en los 12 meses.

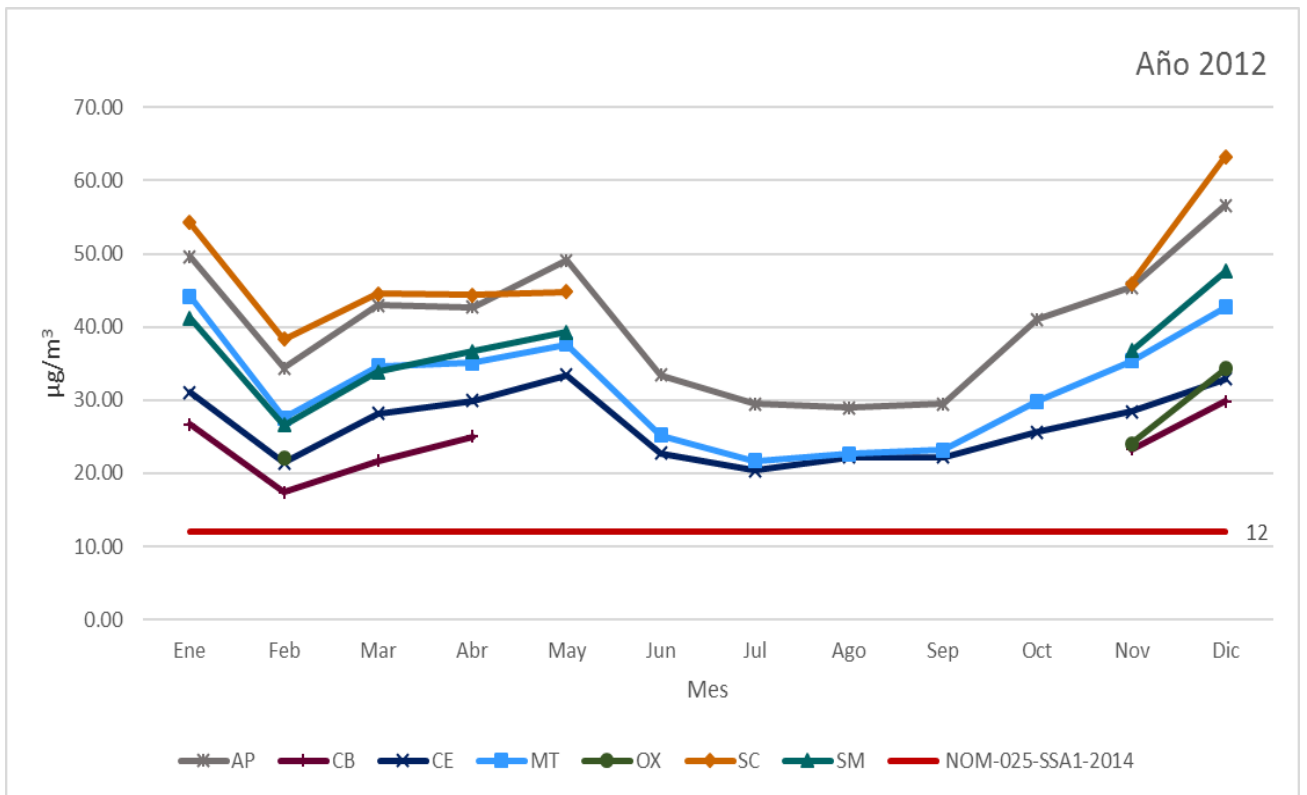
En el mes de enero se obtuvo los máximos más altos en tres estaciones de las cuales la estación San Mateo Atenco (SM) registro el máximo más

alto con 477 µg/m³, en el mes de diciembre la estación San Cristóbal (SC) registró un máximo de 343 µg/m³. Los máximos más bajos (aún por encima de la NOM), se presentaron en los meses de mayo a octubre, que va desde los 52 µg/m³ en la estación Oxtotitlán (OX) hasta 108 µg/m³ en la estación San Cristóbal (SC). Cabe destacar que la estación CB solo reportó datos hasta el mes de junio, así como la estación SM hasta el mes de julio; mientras que la estación OX faltaron los datos de los meses de agosto a octubre.

5.2.7.8 Resumen de registros promedio de PM_{2.5} mensual 2012-2018.

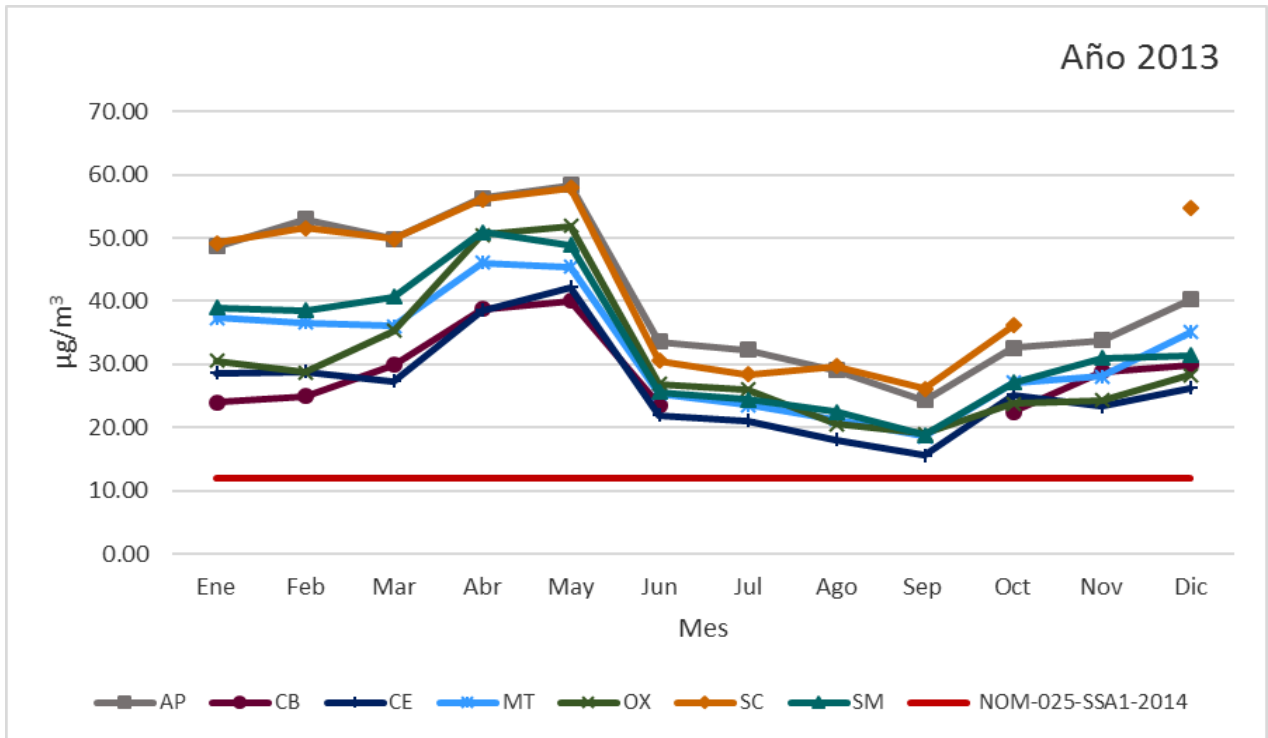
En las gráficas siguientes (108 a 114), representan el registro promedio de concentración de PM_{2.5} por mes en las seis estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el periodo 2012 a 2018 (en algunos años no se cuenta con ciertos datos por intervalos de tiempo). Se tomaron en cuenta las concentraciones registradas de enero a diciembre respecto del límite establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 108 Registros promedio de PM_{2.5} mensuales año 2012



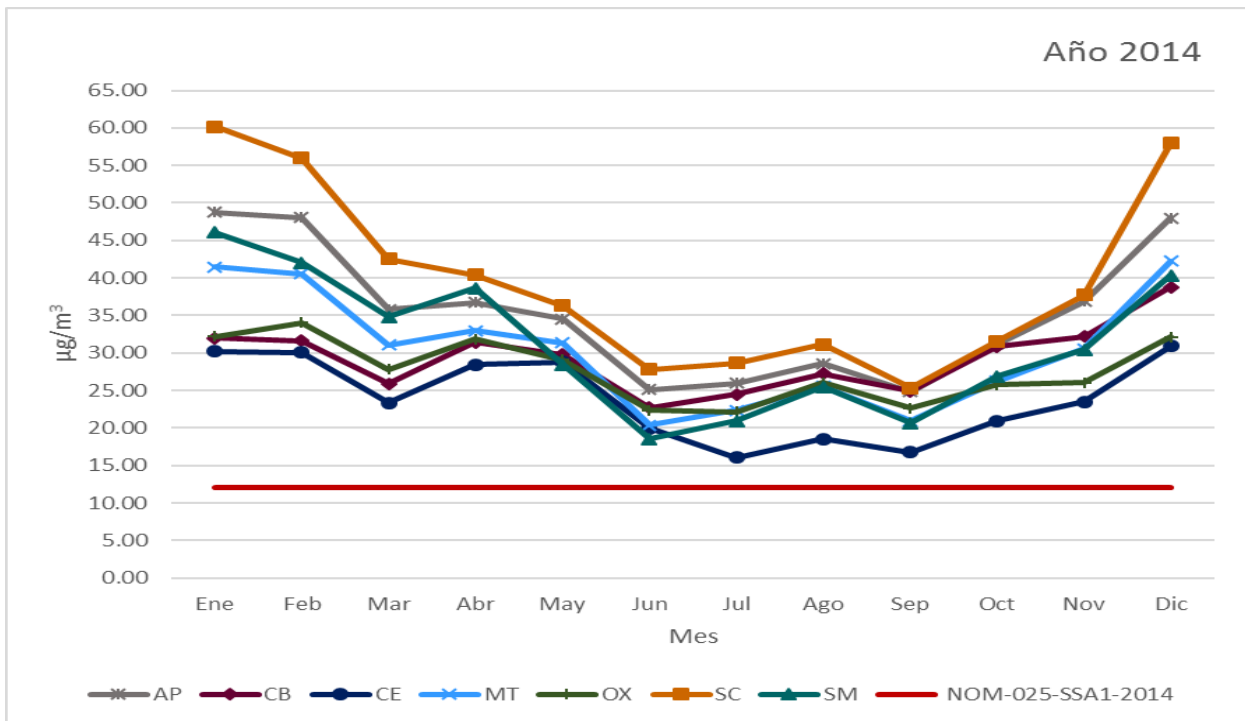
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012.

Gráfica 109 Registros promedio de PM_{2.5} en el año 2013



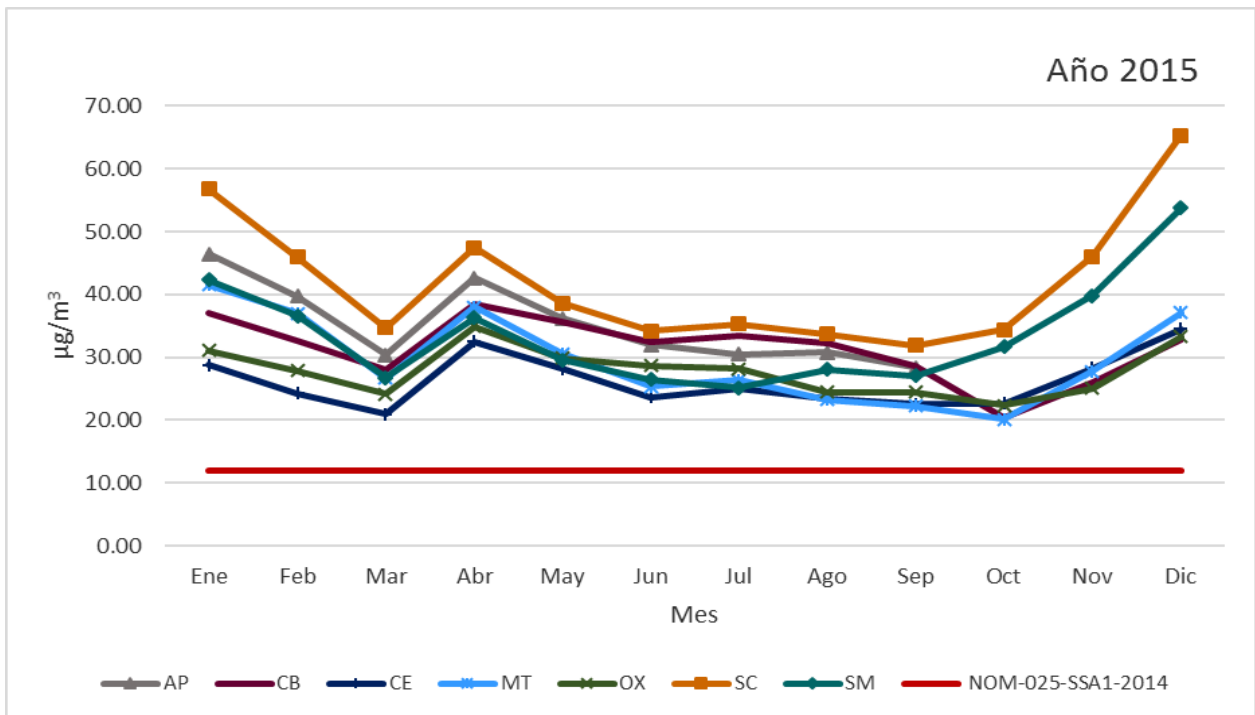
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

Gráfica 110 Registros promedio de PM_{2.5} mensual año 2014



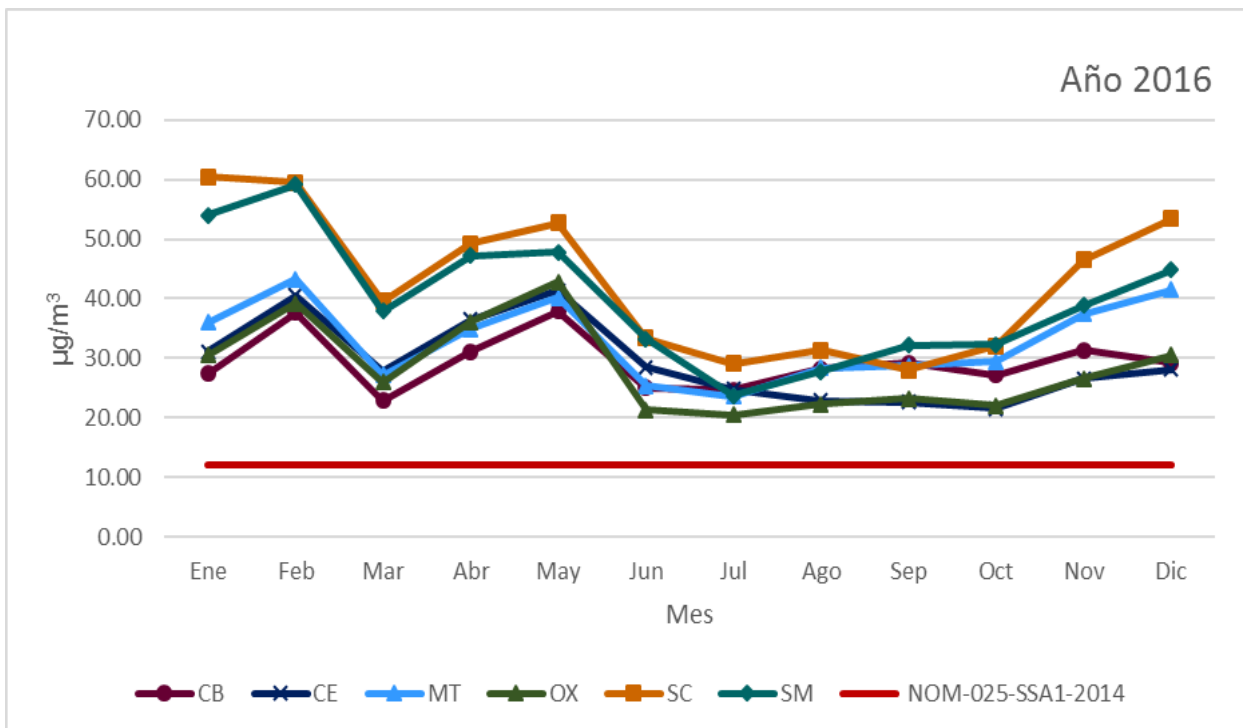
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

Gráfica 111 Registros promedio de PM_{2.5} mensual año 2015



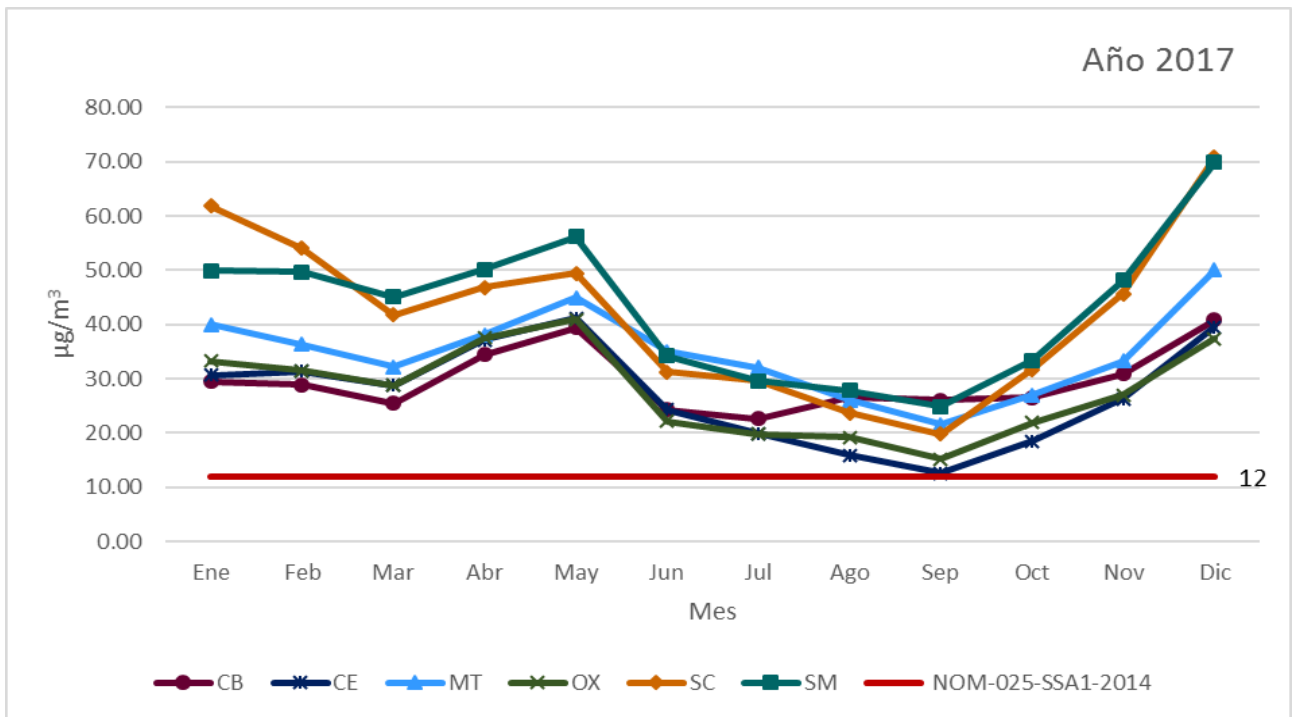
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

Gráfica 112 Registros promedio de PM_{2.5} mensual año 2016



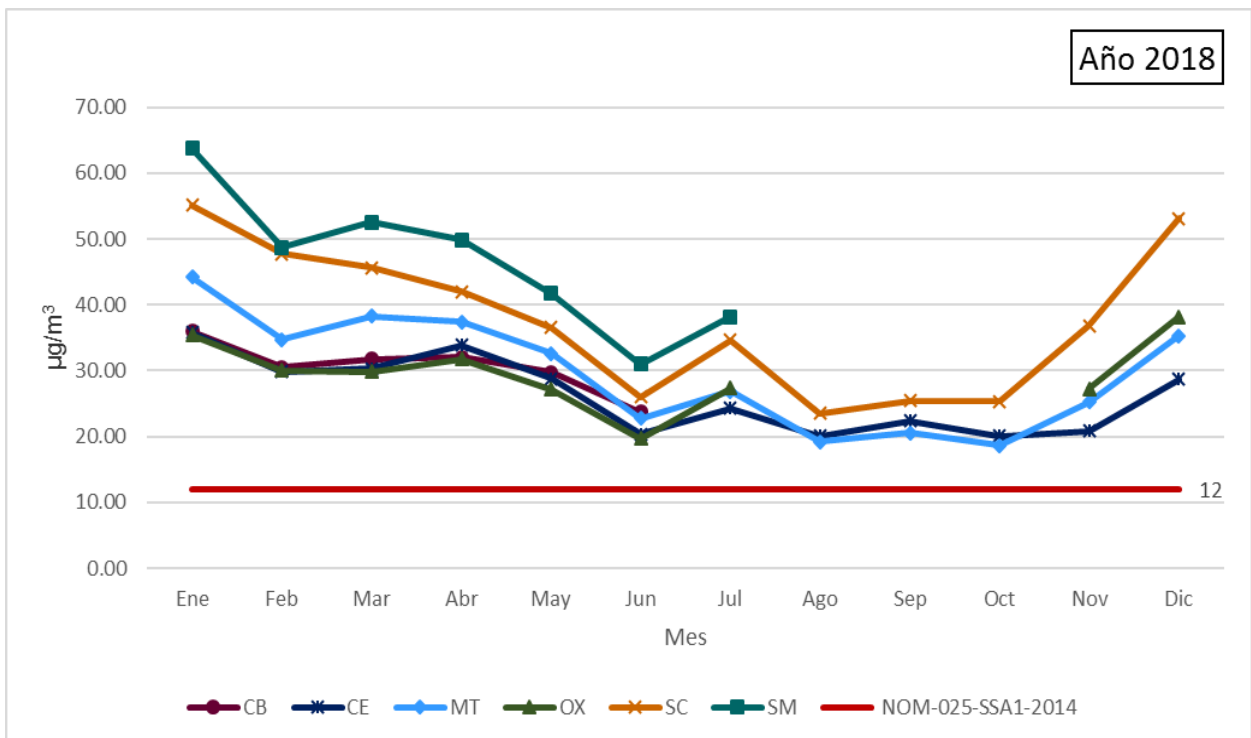
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

Gráfica 113 Registros promedio de PM_{2.5} mensual año 2017



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

Gráfica 114 Registros promedio de PM_{2.5} mensual año 2018



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2018.

En las gráficas anteriores (108-114), se observa que las concentraciones promedio mensuales registradas para el período de estudio (2012-2018) superan el Límite Máximo Permisible (LMP) establecido por la NOM-025-SSA1-2014 en los 12 meses en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT.

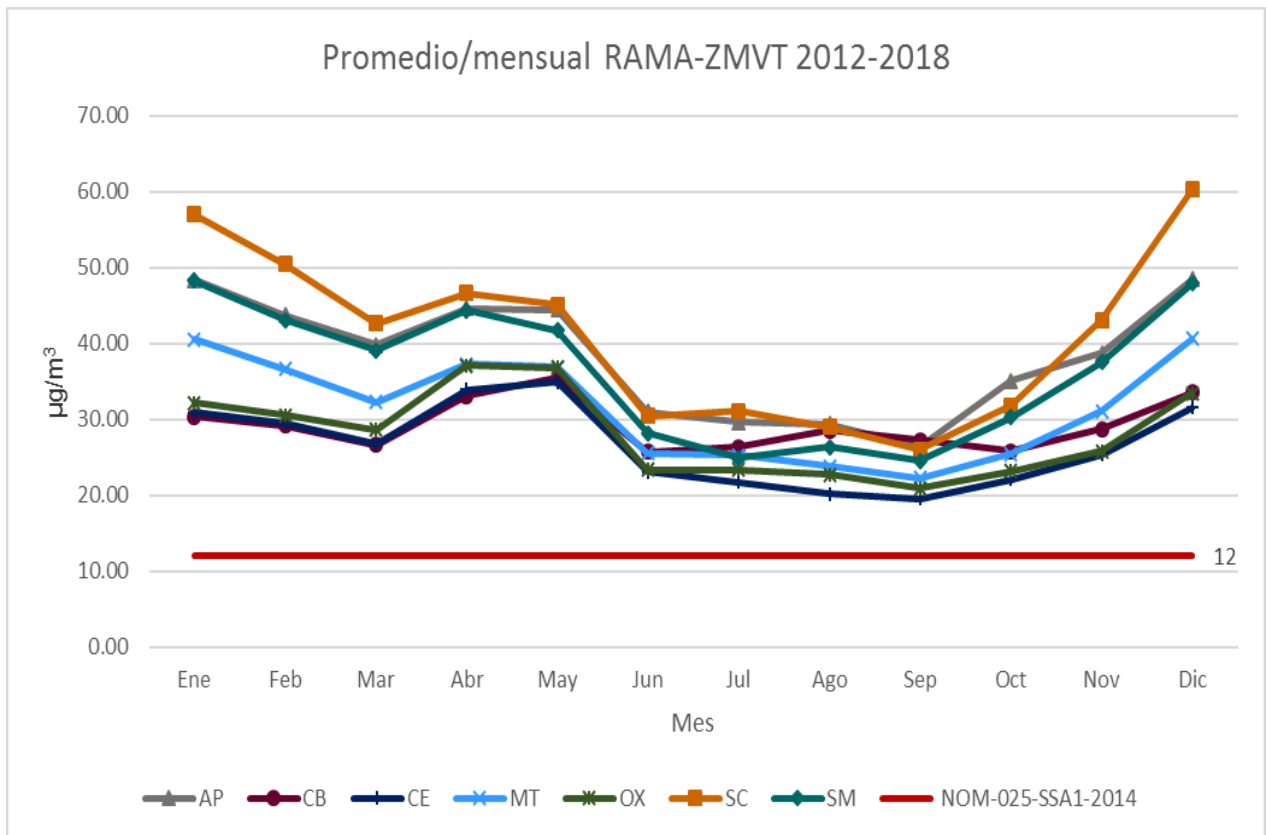
En el mes de diciembre a febrero se obtuvo los promedios más altos en las siete estaciones, de las cuales la estación Aeropuerto, San Mateo Atenco (SM) y San Cristóbal sobresalen a comparación de las otras estaciones.

En los meses de junio a octubre se registraron los promedios más bajos (aún por encima de la NOM), que va desde los 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 41.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la mayoría de los casos. Cabe destacar que en algunos años no se cuenta con ciertos datos por intervalos de tiempo.

4.2.7.9 Comportamiento promedio y registros máximos mensuales de $\text{PM}_{2.5}$ en la RAMA-ZMVT (2012-2018)

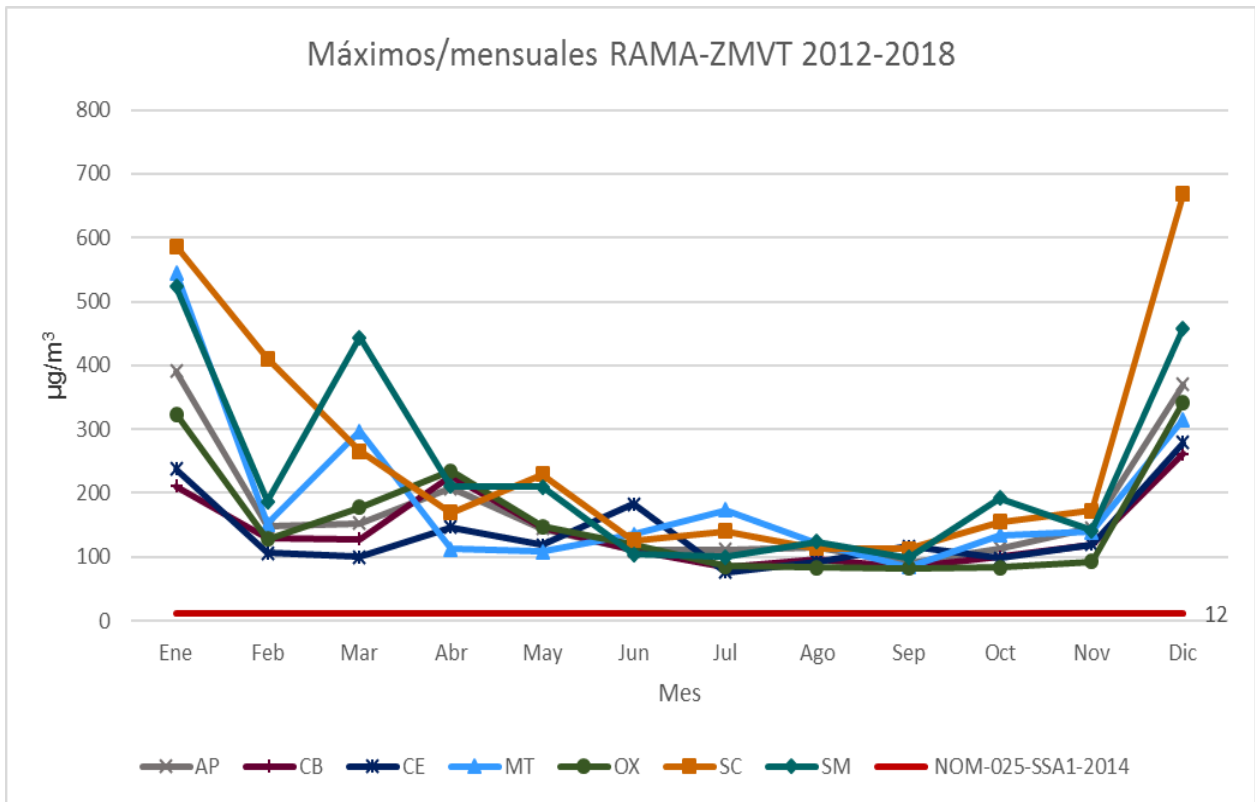
En las siguientes gráficas (115 y 116), se presentan en conjunto el comportamiento de las concentraciones mensuales promedio y registros máximos de $\text{PM}_{2.5}$ en cada estación respecto de la NOM-025-SSA1-2014 (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante el período de estudio 2012-2018.

Gráfica 115 Comportamiento promedio PM_{2.5} mensual en la RAMA-ZMVT 2012-2018



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012-2018

Gráfica 116 Registros máximos mensuales de PM_{2.5} RAMA-ZMVT 2012-2018



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012-2018.

En ambas gráficas se observa que las estaciones que conforma la red de monitoreo registraron concentraciones de PM_{2.5} fuera del Límite Máximo Permisible (LMP) establecido en la NOM-025-SSA1-2014 que es de 12 µg/m³, durante los doce meses (enero a diciembre). Las estaciones que sobresalen en ambas gráficas son San Mateo Atenco (SM) y San Cristóbal Huichochitlán (SC).

Las concentraciones mayores de PM_{2.5} se presentaron durante la época seca-fría entre los meses de noviembre a febrero. Esto sucede por las condiciones meteorológicas que favorecen la estabilidad atmosférica (GEM, 2012). Durante este período la velocidad del viento tiende a disminuir y su estabilidad aumenta permitiendo la permanencia de los contaminantes, tal es el caso del PM_{2.5} por mayor tiempo (PMDUT, 2013-2015).

Entre los meses de marzo, abril y mayo se presentaron las concentraciones intermedias, siendo época seca-cálida, en donde la influencia de aspectos meteorológicos por ser época seca hace que haya una mayor acumulación de

partículas y éstas tienden a ser sometidas a un proceso de suspensión eólica, ya que se presentan vientos de mayor intensidad (GEM, 2007; INE, 2007).

Las concentraciones mínimas registradas en las estaciones, cabe destacar que aún están por encima del Límite Máximo Permisible (LMP) establecido en la NOM, se presentaron en los meses de junio a octubre (época de lluvias), con la intervención de la precipitación, el cual produce un efecto de limpieza de la atmósfera disminuyendo las concentraciones de PM_{2.5} (GEM, 2007).

5.3 Concentraciones anuales de PM_{2.5} en la RAMA-ZMVT durante 2012-2018

En este apartado se presentan las gráficas de las concentraciones anuales del Material Particulado (PM_{2.5}), en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el período 2012-2018. Para cada gráfica se identifican las concentraciones máximas y mínimas tomando como referencia el Límite Máximo Permisible (línea roja continua) establecido en la Norma Oficial Mexicana de PM_{2.5} (vigente 2014), de manera ilustrativa se señala en las gráficas el valor límite establecido en la NOM de PM_{2.5} anterior (línea roja punteada).

Límites Máximos Permisibles (LMP):

- 15 µg/m³ promedio anual NOM-025-SSA1-1993 (modificación 2005).
- 12 µg/m³ promedio anual NOM-025-SSA1-2014 (vigente).

Seis de las siete estaciones reportaron datos para el período de estudio 2012-2018, la estación Aeropuerto (AP) dejó de registrar datos para los años 2016, 2017 y 2018, ya que fue desconectada a finales del 2015, por lo que registro datos hasta el mes de septiembre del año en mención.

Para cada estación se le asignó un color para su identificación:

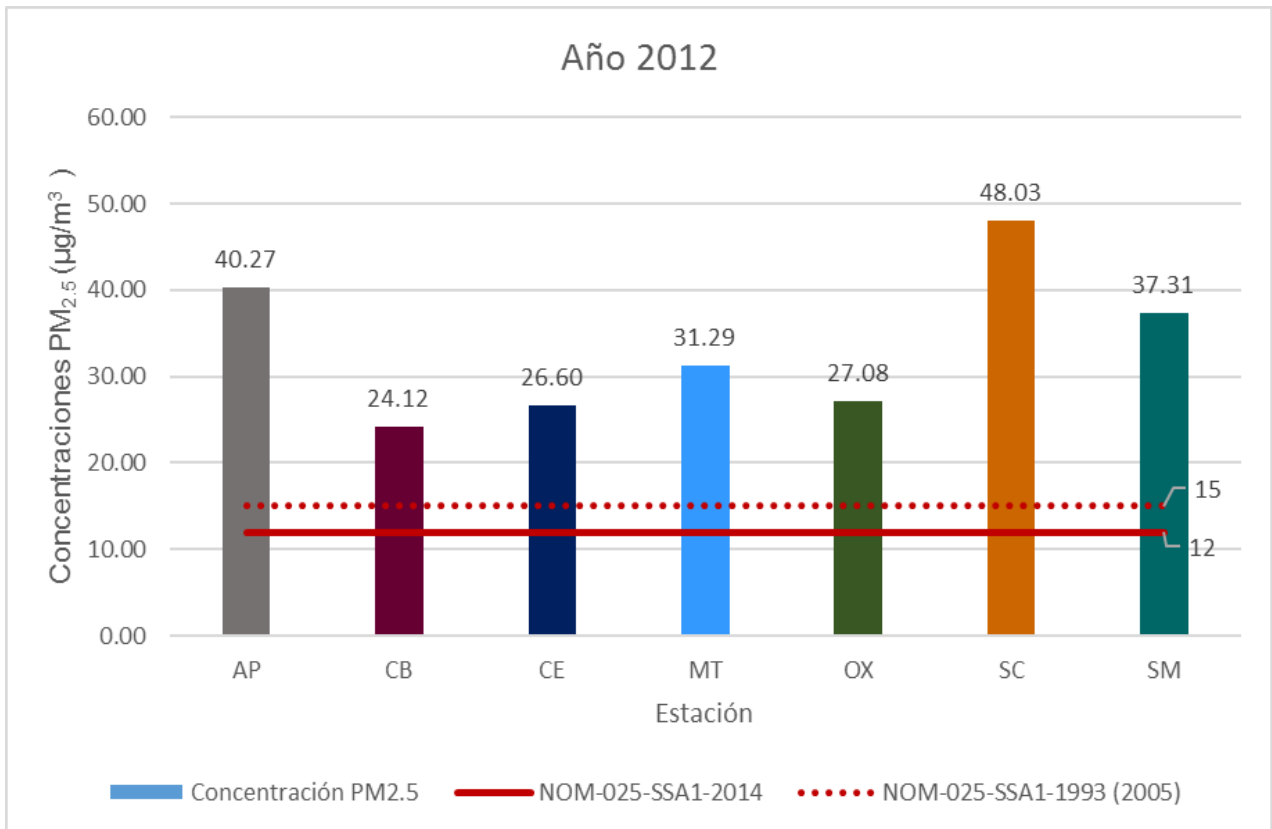
- **AP** Gris
- **CB** Ciruela
- **CE** Azul rey
- **MT** Azul cielo
- **OX** Verde
- **SC** Anaranjado
- **SM** Verde azulado



5.3.1 Concentraciones PM_{2.5} anual en la RAMA-ZMVT año 2012

La gráfica 117 simboliza el promedio anual de concentración de PM_{2.5} en cada estación que conforma la RAMA-ZMVT para el año 2012. Se tomaron en cuenta las concentraciones promedio respecto del límite establecido de 12 µg/m³ (promedio anual) vigente en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 117 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2012

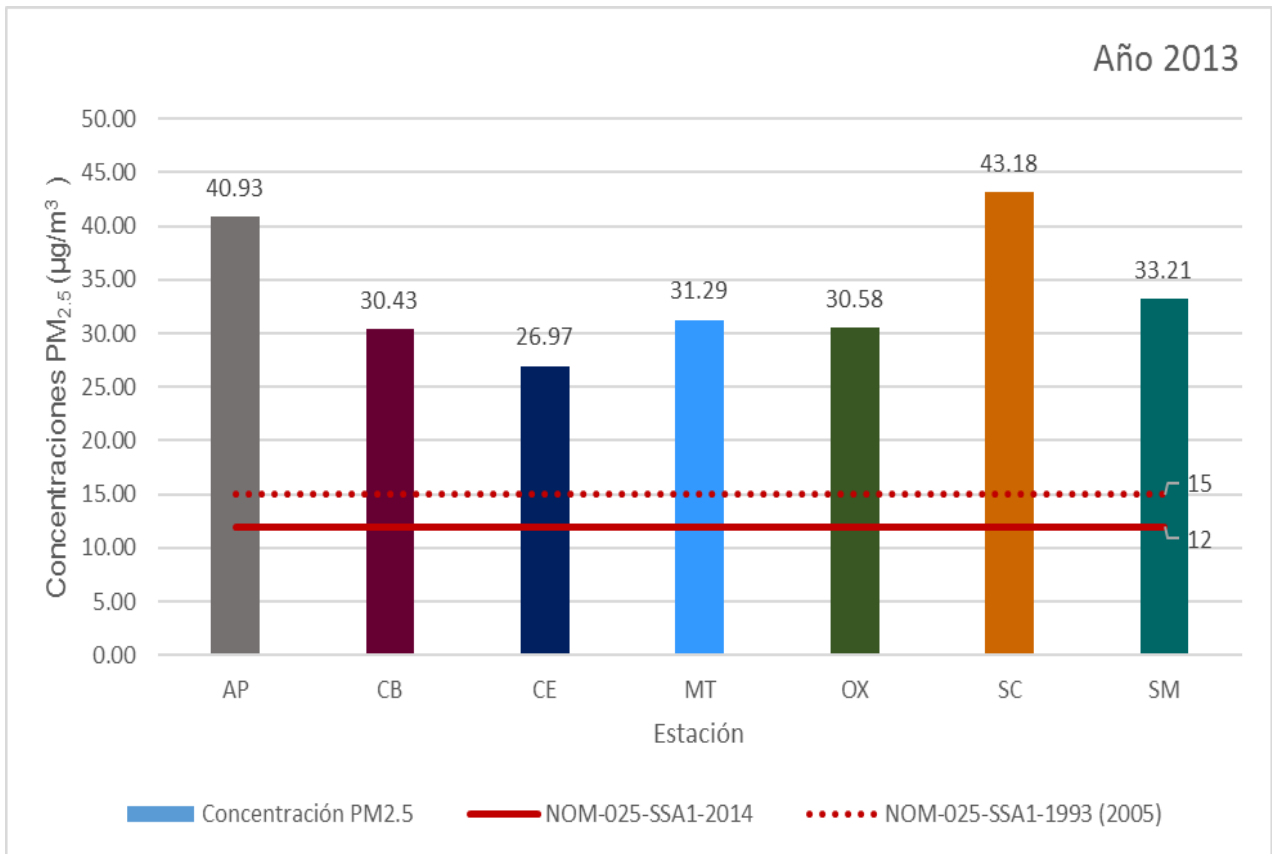


La gráfica 117 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en las siete estaciones que conforma la Red de Monitoreo Atmosférico (RAMA-ZMVT) rebasaron el LMP establecido por la NOM, siendo la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) la que sobresale con las concentraciones más elevadas que fue de 48.03 µg/m³, posteriormente es la estación Aeropuerto (AP) con 40.27 µg/m³ y San Mateo Atenco (SM) con 37.31 µg/m³. Las estaciones que presentaron las concentraciones mínimas aún rebasando la NOM, fueron la estación de Ceboruco (CB) y Toluca Centro (CE) con 24.12 µg/m³ y 26.60 µg/m³ respectivamente.

5.3.2 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2013

La gráfica 118 constituye el promedio anual de concentración de PM_{2.5} en cada estación que conforma la RAMA-ZMVT para el año 2013. Se tomaron en cuenta las concentraciones promedio respecto del límite establecido de 12 µg/m³ (promedio anual) en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 118 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2013



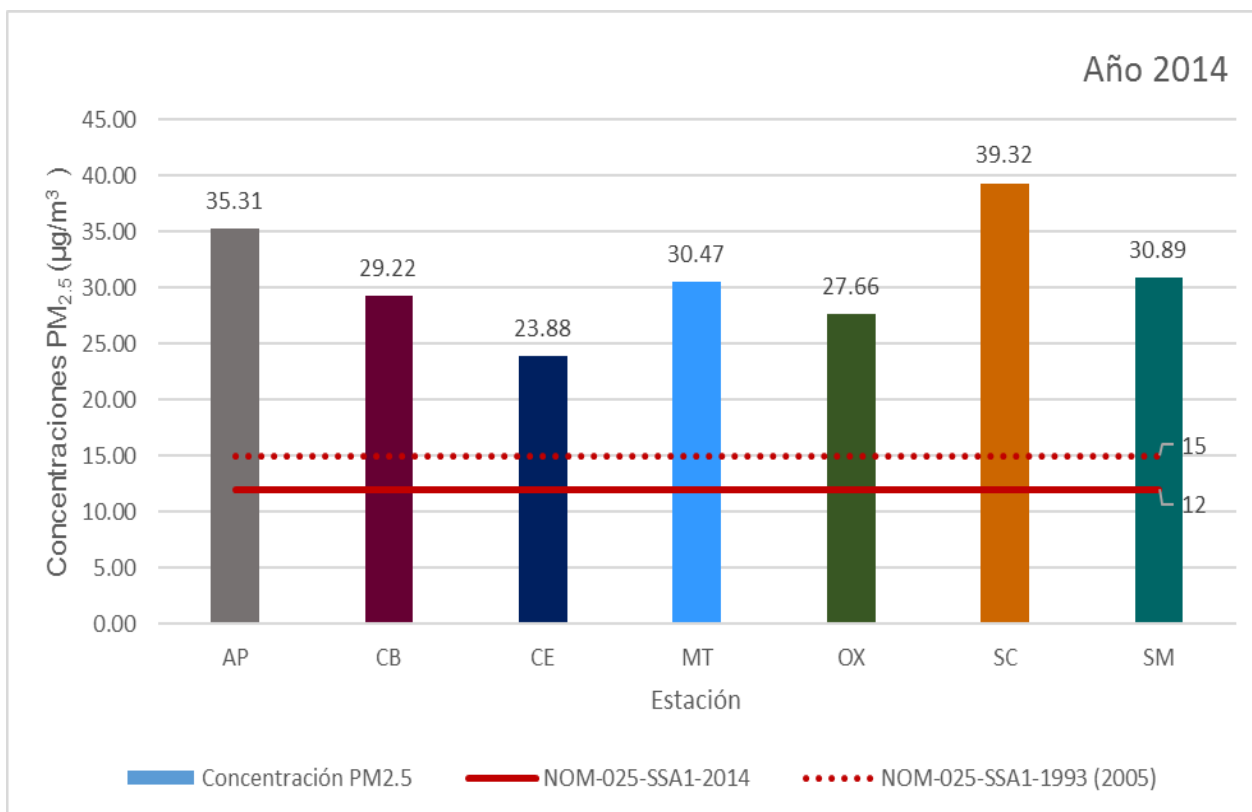
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2013.

Las concentraciones de PM_{2.5} durante el año 2013 en las siete estaciones de la RAMA-ZMVT rebasaron el LMP establecido por la NOM, siendo la estación de San Cristóbal Huichochitlán (SC) y Aeropuerto (AP) con 43.18 µg/m³ y 40.93 µg/m³ las que presentaron concentraciones más notorias. Por otro lado, las estaciones que registraron concentraciones mínimas, rebasando el LMP de 12 µg/m³ establecido en la NOM vigente, son Toluca Centro (CE) con 26.97 µg/m³ y Ceboruco con 30.43 µg/m³.

5.3.3 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2014

La gráfica 119 representa el promedio anual de concentración de PM_{2.5} en cada estación que conforma la RAMA-ZMVT para el año 2014. Se tomaron en cuenta las concentraciones promedio respecto del límite establecido de 12 µg/m³ (promedio anual) en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 119 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2014



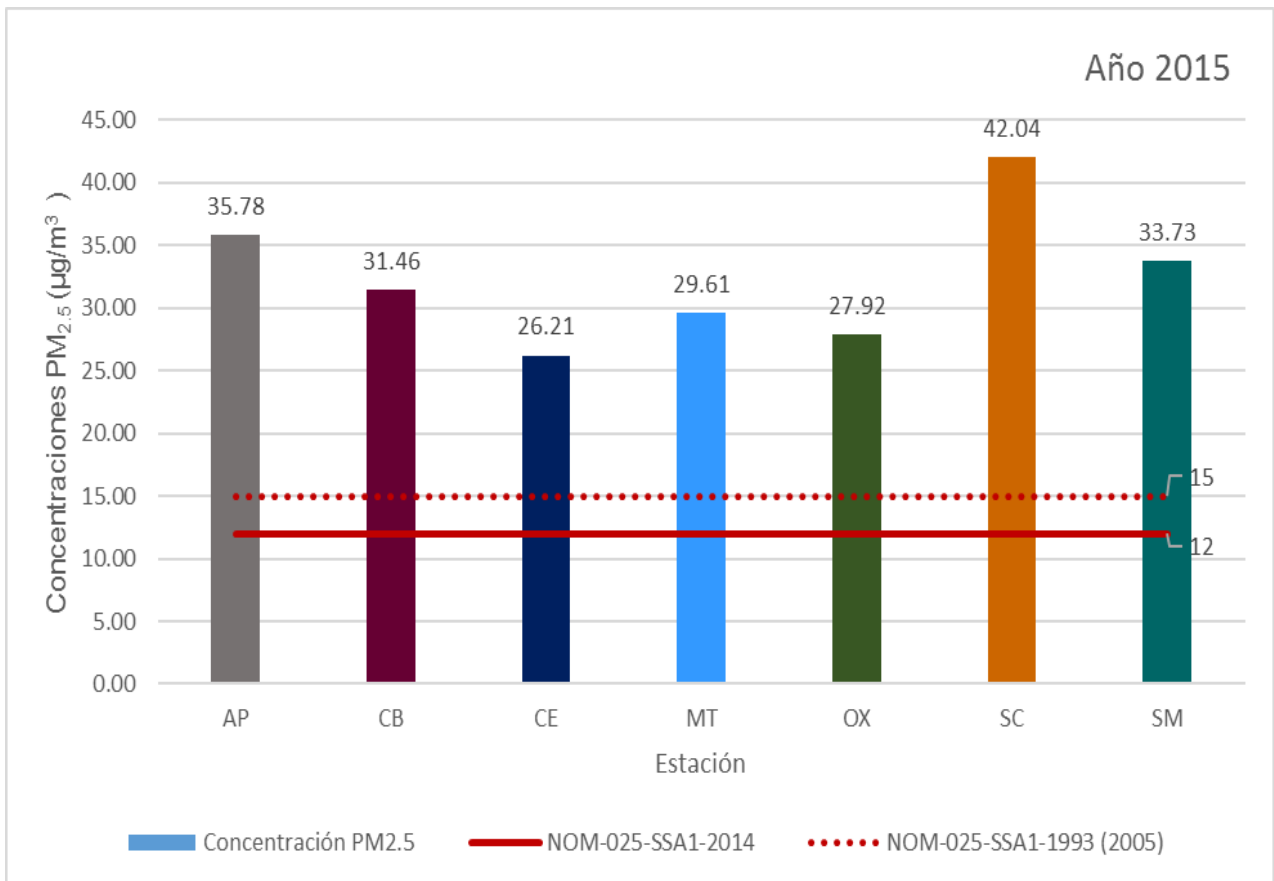
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2014.

En la gráfica 119 se observa que las concentraciones de PM_{2.5} en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el año 2014 rebasaron el LMP establecido en la NOM, siendo la estación de San Cristóbal Huichochitlán (SC) la más notoria con 39.32 µg/m³, siguiendo la estación Aeropuerto (AP) con 35.31 µg/m³, San Mateo Atenco (SM) con 30.89 µg/m³ y Metepec (MT) con 30.47. las estaciones con registros mínimos aún estando por encima de la NOM fue Toluca Centro (CE) y Oxtotitlán (OX) con 23.88 µg/m³ y 27.66 µg/m³ respectivamente.

5.3.4 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2015

La gráfica 120 representa el promedio anual de concentración de PM_{2.5} en cada estación que conforma la RAMA-ZMVT para el año 2015. Se tomaron en cuenta las concentraciones promedio respecto del límite establecido de 12 µg/m³ (promedio anual) en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 120 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2015



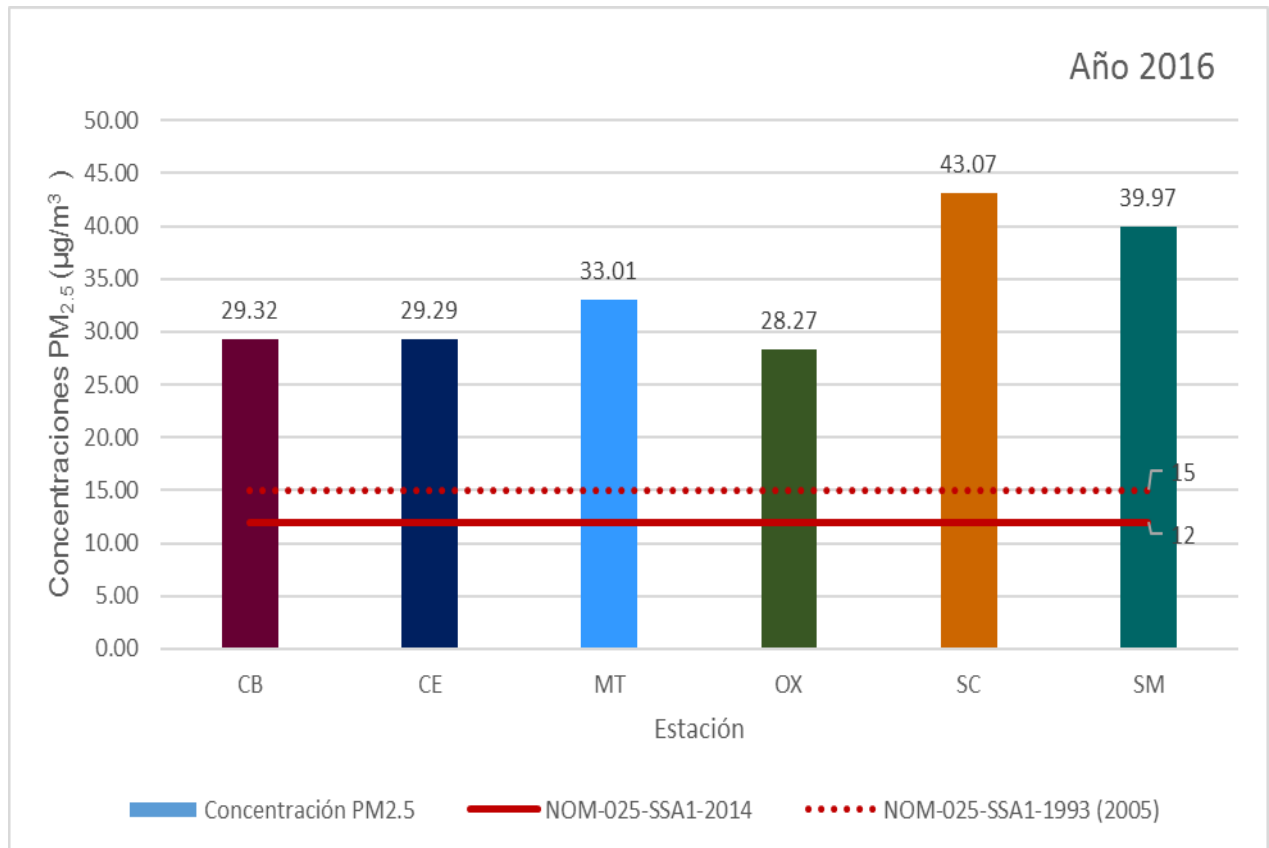
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2015.

Las concentraciones de PM_{2.5} durante el año 2015 que se registraron en las siete estaciones de la RAMA-ZMVT rebasaron el LMP de 12 µg/m³ establecido en la NOM, sin embargo, es notorio que la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) presento concentraciones que superaron mayormente dicho límite con un promedio de 42.04 µg/m³, siguiendo con la estación Aeropuerto (AP) con 35.78 µg/m³ y San Mateo Atenco con 33.73 µg/m³. Por otro lado, las estaciones de Toluca Centro (CE) con 26.21 µg/m³ y Oxtotitlán con 27.92 µg/m³, son las que presentaron las concentraciones mínimas estando aún por encima del LMP.

5.3.5 Concentraciones PM_{2.5} anual en la RAMA-ZMVT año 2016

La gráfica 121 representa el promedio anual de concentración de PM_{2.5} en las seis estaciones que conforma la RAMA-ZMVT para el año 2016 ya que la estación Aeropuerto (AP) dejó de registrar datos a partir de este año. Se tomaron en cuenta las concentraciones promedio respecto del límite establecido de 12 µg/m³ (promedio anual) en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 121 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2016



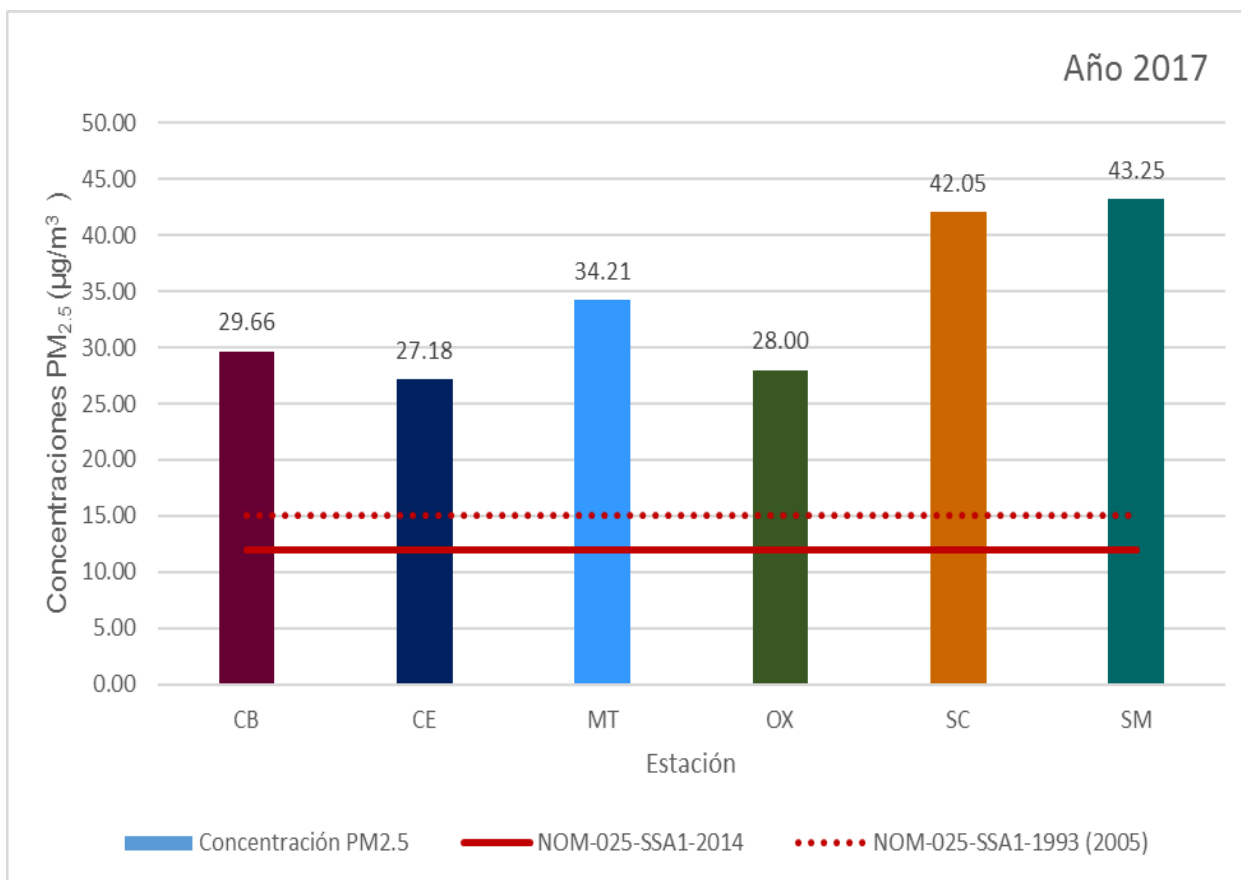
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2016.

Las concentraciones de PM_{2.5} durante el año 2016 que se registraron en las seis estaciones de la RAMA-ZMVT rebasaron el LMP de 12 µg/m³ establecido en la NOM, siendo notorio que la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) presentó concentraciones que superaron mayormente dicho límite con un promedio de 43.07 µg/m³, siguiendo con la estación San Mateo Atenco con 39.97 µg/m³. Por otro lado, las estaciones de Oxtotitlán con 28.27 µg/m³, Toluca Centro (CE) con 29.29 µg/m³ y Ceboruco (CB) con 29.32 µg/m³, son las que presentaron las concentraciones mínimas estando aún por encima del LMP.

5.3.6 Concentraciones PM_{2.5} anual en la RAMA-ZMVT año 2017

La gráfica 122 representa el promedio anual de concentración de PM_{2.5} en cada estación que conforma la RAMA-ZMVT para el año 2017. Se tomaron en cuenta las concentraciones promedio respecto del límite establecido de 12 µg/m³ (promedio anual) en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 122 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2017



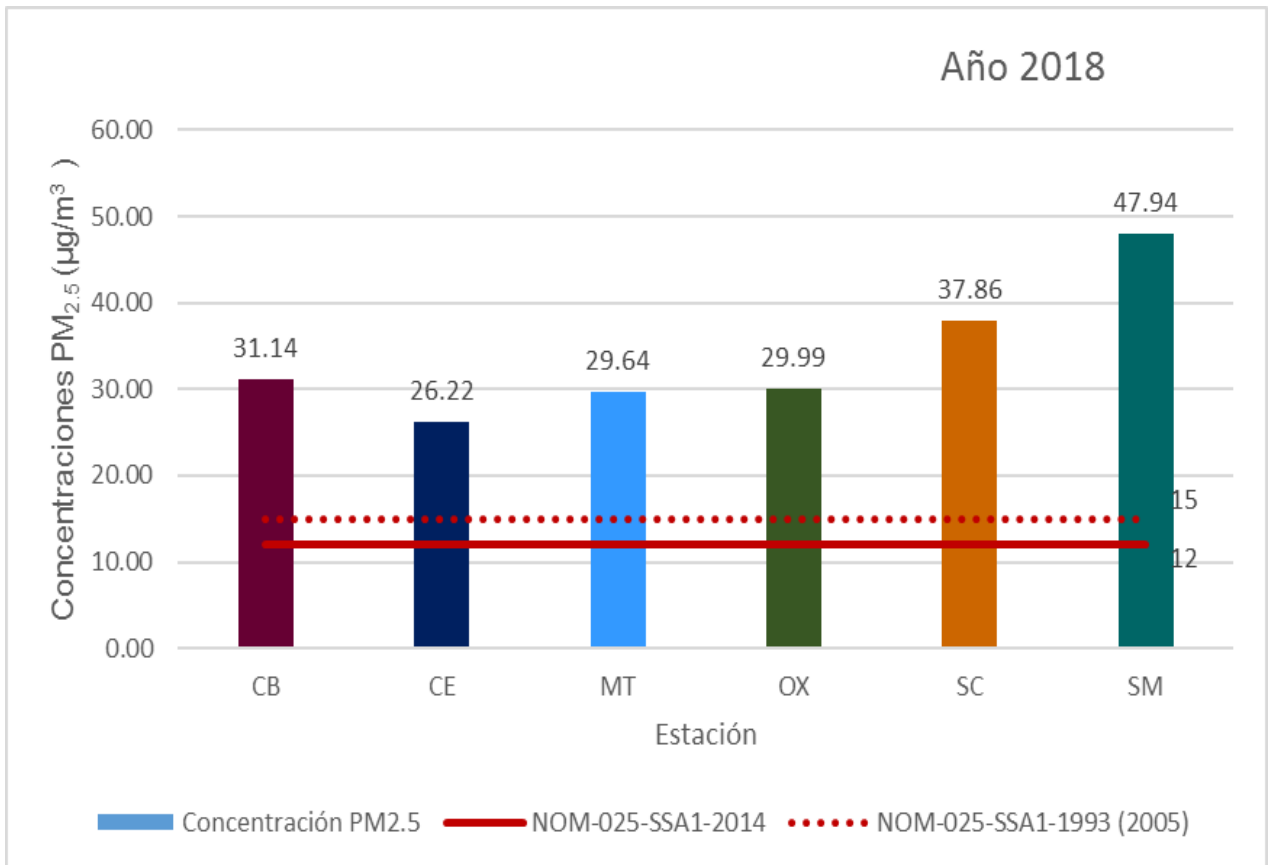
Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2017.

Las concentraciones de PM_{2.5} en la gráfica 122 durante el año 2017 que se registraron en las seis estaciones de la RAMA-ZMVT rebasaron el LMP de 12 µg/m³ establecido en la NOM, sin embargo, es notorio que la estación San Mateo Atenco (SM) mostró concentraciones que superaron mayormente dicho límite con un promedio de 43.25 µg/m³, siguiendo con la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) con 42.05 µg/m³. Por otro lado, las estaciones de Toluca Centro (CE) con 27.18 µg/m³ y Oxtotitlán con 28.00 µg/m³, son las que presentaron las concentraciones mínimas estando aún por encima del LMP.

5.3.7 Concentraciones PM_{2.5} anual en la RAMA-ZMVT año 2018

La gráfica 123 representa el promedio anual de concentración de PM_{2.5} en cada estación que conforma la RAMA-ZMVT para el año 2018. Se tomaron en cuenta las concentraciones promedio respecto del límite establecido de 12 µg/m³ (promedio anual) en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 123 Concentraciones PM_{2.5} anual RAMA-ZMVT año 2018

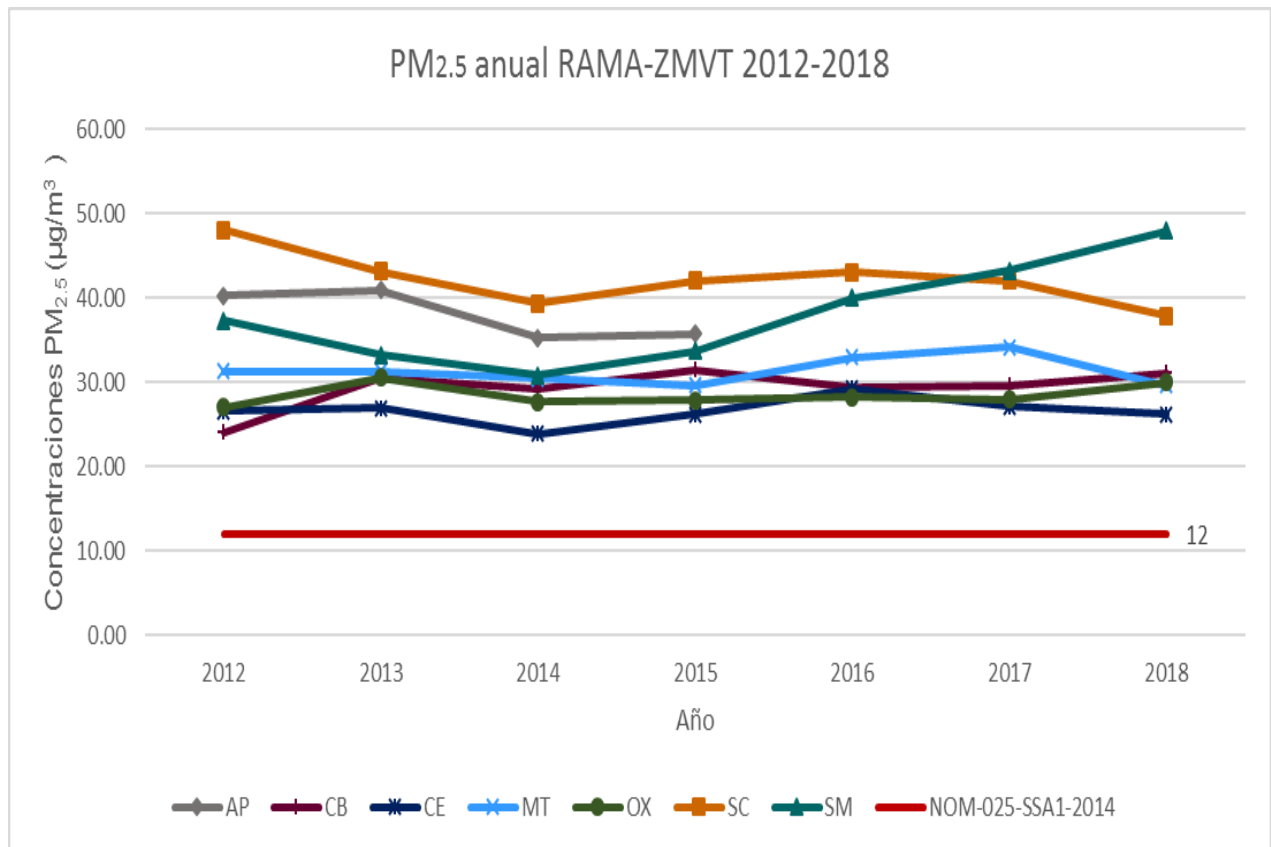


Las concentraciones de PM_{2.5} durante el año 2018 que se registraron en las seis estaciones de la RAMA-ZMVT rebasaron el LMP de 12 µg/m³ establecido en la NOM, sin embargo, es notorio que la estación San Mateo Atenco (SM) presentó concentraciones que superaron mayormente dicho límite con un promedio de 47.94 µg/m³, siguiendo con la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) con 37.86 µg/m³ y Ceboruco con 31.14 µg/m³. Por otro lado, las estaciones de Toluca Centro (CE) con 26.22 µg/m³, Metepec (MT) con 29.64 µg/m³ y Oxtotitlán con 29.99 µg/m³, son las que presentaron las concentraciones mínimas estando aún por encima del LMP.

5.3.8 Comportamiento promedio anual de PM_{2.5} en las estaciones de la RAMA-ZMVT (2012-2018)

En la gráfica 124 representa el comportamiento promedio de concentración de PM_{2.5} anual en las estaciones que conforma la RAMA-ZMVT durante el período de tiempo 2012-2018, cabe señalar que la estación AP no registró datos a partir del año 2016. Se tomaron en cuenta las concentraciones respecto del límite establecido de 12 µg/m³ (promedio anual) en la NOM-025-SSA1-2014.

Gráfica 124 Comportamiento promedio anual PM_{2.5} en las estaciones de la RAMA-ZMVT (2012-2018)



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012-2018.

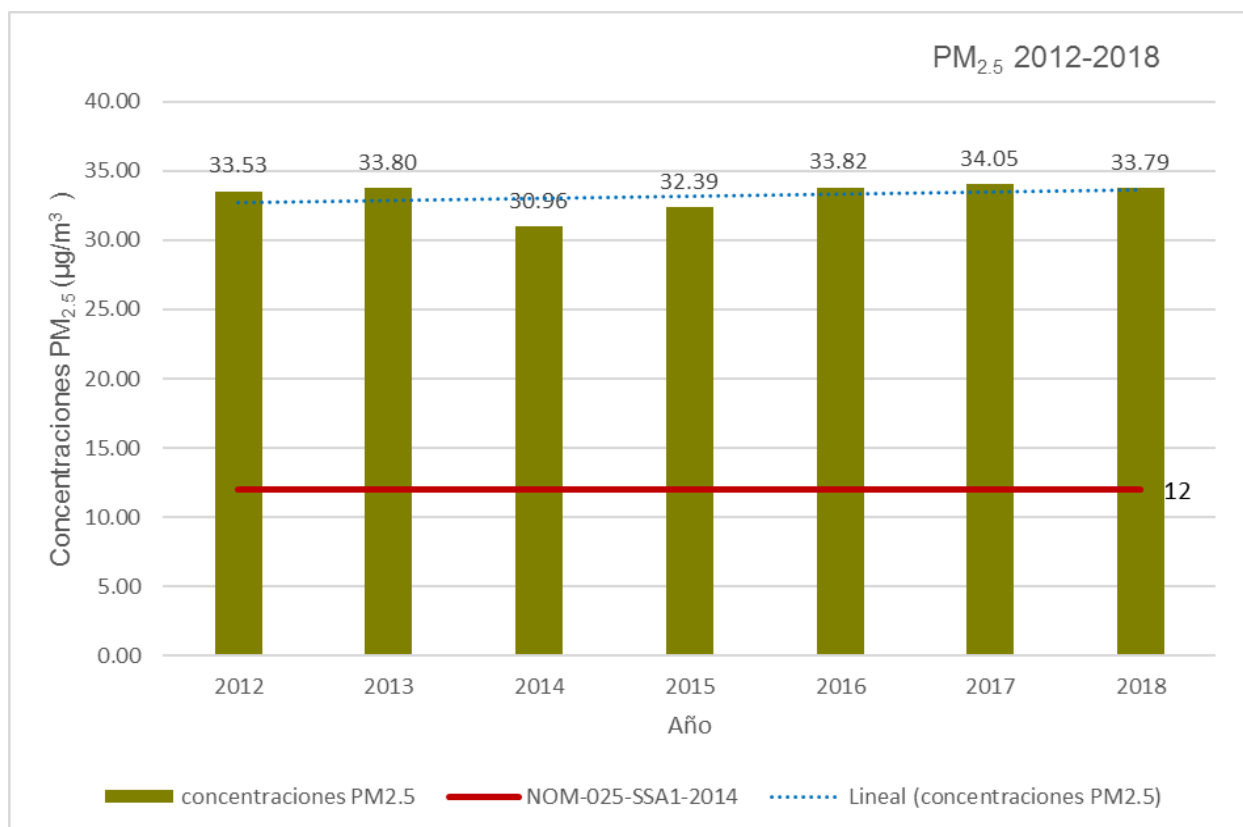
En la gráfica se puede observar que en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT en el período de estudio 2012-2018, presentaron concentraciones de PM_{2.5} fuera del Límite Máximo Permisible establecido en la NOM-025-SSA1.2014 (12 µg/m³ promedio anual) en todos los años de estudio. La estación San Cristóbal

Huichochitlán (SC) fue la que mostró mayores concentraciones fuera de la NOM, seguido de las estaciones Metepec (MT) Y San Mateo Atenco (SM).

Cabe mencionar que la estación Aeropuerto (AP) solo presenta datos hasta el 2015 y en los años consecuentes no se registró datos de las concentraciones de PM_{2.5} debido a que ésta fue apagada en septiembre del año 2015. Las principales estaciones que se mantuvieron con concentraciones elevadas durante el mismo intervalo de tiempo fueron San Cristóbal Huichochitlán (SC) y San Mateo Atenco (SM).

Las estaciones presentaron concentraciones por encima de la NOM desde al inicio de la investigación, mostraron concentraciones superiores a lo establecido disminuyendo está a partir del 2014 e incrementando en algunas estaciones en ciertos años. La tendencia de las concentraciones de PM_{2.5} durante el período de estudio se muestra en la siguiente gráfica. Para su realización se considero el promedio total de cada año siendo resultados generales y con un grado de error, ya que se usó la media de todos los datos registrados, además no se contaban con gran cantidad de datos, lo que dificulto la determinación de la tendencia en forma precisa.

Gráfica 119 Promedio total de concentraciones PM_{2.5} por año



Elaboración propia con base en datos de la RAMA, 2012-2018.

El gráfico anterior muestra que las concentraciones de $PM_{2.5}$ presentaron una tendencia ascendente durante el período de estudio, así como cada año éstas se mantuvieron fuera del Límite Máximo Permisible de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio anual), establecido en la NOM vigente.

La concentración máxima de $PM_{2.5}$ se presentó en el año 2013 y 2017 con una concentración promedio de $33.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $34.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, mientras que la mínima se registró en el año 2014 con $30.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Como se ha mencionado en párrafos anteriores la estación Aeropuerto (AP) fue desconectada a finales del año 2015 para reubicarla y desde entonces no ha sido activada. Evento que probablemente influyo en el descenso de las concentraciones de $PM_{2.5}$ durante el año 2016; mientras que para el año 2017 se presentó un aumento en las concentraciones, posiblemente influido por el incremento de fuentes móviles y fijas, como el parque vehicular y las industrias.

Discusión de resultados

En la investigación de este trabajo se llevó a cabo el análisis de las concentraciones de $PM_{2.5}$ a partir de los datos de la RAMA-ZMVT en el período 2012-2018 para conocer si se encuentran dentro del Límite Máximo Permisible (LMP) establecido por la norma oficial NOM-025-SSA1-2014. De tal manera que no represente un riesgo para la salud de la población. Los análisis de las concentraciones se muestran por hora, mes y año en cada una de las estaciones.

Dentro de los resultados del presente análisis, respecto a las concentraciones por hora de $PM_{2.5}$ durante el período 2012-2018, se encontró que en las siete estaciones que conforman la RAMA-ZMVT registraron concentraciones fuera del límite de la NOM-025-SSA1-2014, siendo notorio en el horario matutino, entre las 8:00 a 12:00 horas alcanzando el máximo de concentraciones a las 10:00 horas en la mayoría de los casos, coincidiendo con la mayor actividad económica e industrial en la zona de estudio. Sin embargo, las concentraciones mínimas se presentaron entre las 13:00 a 17:00 horas en la mayoría de las estaciones.

La estación SC y SM, fueron las más relevantes en cuanto a concentraciones más altas y así mismo están fuera de la Norma Oficial Mexicana (NOM) en la mayoría de las horas.

Las concentraciones tienden a presentar variabilidad en las diferentes estaciones, ya que cambian las variables meteorológicas presentes que dispersan las $PM_{2.5}$ y el entorno de cada estación, como la estación SC que está en una zona rural, por lo cual recibe PM de vías de circulación que aún no están pavimentadas y por la erosión de suelos de cultivo posiblemente, sumando las contribuciones de $PM_{2.5}$ provenientes de la zona industrial, ya que se encuentra a favor del viento de la zona industrial. En comparación de las estaciones AP y SM que se encuentran cerca a zonas industriales y vialidades con alto tráfico vehicular de todo tipo de transporte, y la estación CB presenta vialidades con tráfico vehicular intenso y frecuentes embotellamientos.

En cuanto a las concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ en las siete estaciones que conforma la RAMA-ZMVT registraron la misma tendencia por encima del LMP establecido en la NOM-025-SSA1-2014. Las mayores concentraciones se presentaron en los meses de noviembre a febrero coincidiendo con las condiciones meteorológicas de la época invernal. Dentro de estos meses, la velocidad del viento disminuye y su estabilidad aumenta permitiendo la permanencia de $PM_{2.5}$ por mayor tiempo; al igual por ser época seca existe una mayor deposición de las partículas.

Otro factor que influye durante estos meses es la presencia de desplazamientos de masas de aire frío en la zona de estudio; lo que produce un tiempo atmosférico

estable y seco, dando lugar a inversiones térmicas y dificultando que los contaminantes se dispersen.

En los meses de marzo, abril y mayo (época seca-cálida) de igual manera registraron concentraciones por encima del LMP establecidos en la NOM, a pesar de ello las concentraciones son menores a las que presentan en la época invernal en algunas estaciones, ya que el incremento de la temperatura en esta época influye en los niveles de concentración. Por ser época seca del año, la acumulación de partículas es mayor y posteriormente éstas son sometidas a un proceso de suspensión eólica, por la presencia de vientos con velocidades mayores a las que se presentan en la época invernal.

En los meses de junio a octubre las concentraciones de $PM_{2.5}$ tienden a descender, pero aún siguen estando por arriba del LMP establecido en la NOM. Estos meses corresponden a la temporada de lluvias en la zona de estudio y es un factor meteorológico en donde el $PM_{2.5}$ es eliminado por la retención en las gotas de lluvia produciendo un efecto de limpieza en la atmósfera. Las siete estaciones de la RAMA-ZMVT se encuentran bajo influencia de ciclones durante esta época, los cuales aportan humedad en forma de lluvias abundantes contribuyendo significativamente a la remoción de los contaminantes presentes en la atmósfera.

En tanto a las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ se observa que las concentraciones se mantienen dentro de un rango por arriba del LMP. Los años con mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ son 2012, 2013 y 2016; los demás años presentaron un descenso mínimo, pero por encima del LMP de la NOM. Por lo que la tendencia es ascendente, esto puede ser un factor de influencia por parte del parque vehicular y el incremento de número de industrias, y la combustión doméstica por uso de leña.

Es de relevancia indicar que la estación AP a partir del 2016, dejó de registrar datos por lo cual fue un factor que influyó en el registro de la disminución de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en este año y posteriores.

A lo que se refiere a las estaciones que registraron concentraciones elevadas de $PM_{2.5}$ en el período de estudio que son Aeropuerto (AP) y San Mateo Atenco (SM) cumplieron parcialmente con la hipótesis, ya que éstas se encuentran en la zona norte y éste de la RAMA-ZMVT, por lo cual registraron las mayores concentraciones de $PM_{2.5}$. Sin embargo, la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) es la que encabezó la problemática, sus registros fueron los más elevados durante el período de análisis (2012-2018), alcanzando concentraciones promedio de $42.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre los 2012-2018, seguida de la estación Aeropuerto (AP) con $38.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y San Mateo Atenco (SM) con $38.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estaciones caracterizadas por la cercanía que tienen hacia parques industriales, vialidades que presentan un intenso tráfico vehicular y embotellamientos frecuentes, además de considerar la presencia del

Aeropuerto Internacional de Toluca lo que también es una fuente de emisión importante.

Por otro lado, las estaciones Metepec (MT) con $31.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ceboruco (CB) con $29.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Oxtotitlán (OX) con $28.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Toluca Centro (CE) con $26.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, registraron menores concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ aunque por encima del LMP anual establecido en la NOM.

Como se ha mencionado la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC), si bien muestra valores de concentración elevada, también muestra una tendencia a la baja del 2012 a 2018 (aún por encima de la NOM). Esta estación se encuentra en un área poco urbanizada contando con caminos de terracería y un flujo vehicular principalmente por transporte de carga y público, factores que hacen que la estación reporte altas concentraciones por la suspensión del material de los caminos y la erosión de suelos de cultivos.

Los resultados demuestran que la población de los municipios de la RAMA-ZMVT, sobre todo en la zona norte, se encuentran expuestos a niveles que rebasan el LMP establecido en la NOM en la mayoría del período de estudio, situación que debe ser atendida por los organismos competentes ya que presenta un riesgo para la salud.

Los efectos de la exposición hacia concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ fuera de la NOM-025-SSA1-2014 impactan directamente a la salud, principalmente por la composición química, misma que depende de las fuentes de emisión. Estas se componen de partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de reacciones químicas que entrañan emisiones precursoras como óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco (NH_3).

Dentro del desarrollo y análisis de datos se observa que la ZMVT presenta una problemática de contaminación atmosférica por $\text{PM}_{2.5}$ ya que las concentraciones exceden los LMP de la NOM-025-SSA1-2014. Así mismo de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede deducir que a pesar de que en la zona de estudio se lleva a cabo el monitoreo de las $\text{PM}_{2.5}$ y que se han creado programas para la gestión de la calidad del aire en relación con el cumplimiento de la normatividad oficial, no se ha logrado disminuir la concentración por $\text{PM}_{2.5}$. En este sentido, a pesar de que la zona de estudio cuenta con instrumentos para la gestión de la calidad del aire, es posible cuestionar su funcionalidad derivado de la ausencia de datos y a la evidencia en la disminución de emisiones de $\text{PM}_{2.5}$.

Conclusiones

En el presente trabajo se dio respuesta al objetivo general llevando a cabo el análisis del comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ a partir de los datos RAMA-ZMVT, lo que ayudó a identificar las estaciones que reportaron mayor problema de contaminación por $PM_{2.5}$ durante el intervalo de tiempo 2012-2018.

En el comportamiento horario se notó que la población está expuesta a concentraciones de $PM_{2.5}$ por encima del Límite Máximo Permisible establecido en la NOM-025-SSA1-2014 en un horario matutino, de 8:00 a 12:00 horas, alcanzando las concentraciones máximas a las 10:00 horas en la mayoría de los casos, coincidiendo con la hora de mayor movimiento económico e industrial en la zona de estudio.

Pasando a las concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$, las siete estaciones presentaron la misma tendencia por encima de los Límites Máximos Permisibles en la NOM-025-SSA1-2014 durante la época invernal (noviembre a febrero) derivado de las condiciones meteorológicas que se presentan en la época. Al contrario de la temporada de lluvias (junio a octubre) se presentaron concentraciones bajas aún por encima de la NOM, ya que el factor meteorológico ayudó a la remoción del contaminante en la atmósfera.

En las concentraciones anuales se encontró que en los primeros años del período de estudio (2012-2018) se presentaron concentraciones elevadas y por supuesto por encima del LMP establecido en la NOM. En el año 2014 y 2015 se presentó una disminución de las concentraciones de $PM_{2.5}$, a partir del año 2016 nuevamente incrementaron las concentraciones, uno de los factores o causas que pudo influir en este incremento fue el incremento de las industrias y del parque vehicular.

Las estaciones que registraron las concentraciones de $PM_{2.5}$ por encima del Límite Máximo Permisible establecido en la NOM-025-SSA1-2014 fueron San Cristóbal Huichochitlán (SC), Aeropuerto (AP) y San Mateo Atenco (SM), siendo la estación SC, la que presentó un comportamiento notorio en el análisis horario, mensual y anual registrando frecuentemente concentraciones por encima de la NOM, cabe destacar que ésta pudo ser influenciada por contribuciones de material en suspensión de los caminos sin pavimentar o proveniente de la erosión del suelo, ya que se encuentra en una zona rural, mientras que las estaciones Aeropuerto y San

Mateo Atenco probablemente reciben contribuciones de $PM_{2.5}$ emitidas por automóviles y las industrias.

En relación con la hipótesis planteada en este trabajo, se cumplió parcialmente ya que las estaciones de la RAMA-ZMVT que son Aeropuerto (AP), San Cristóbal Huichochitlán (SC) y San Mateo Atenco (SM) efectivamente estuvieron dentro de las que registraron mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ durante el período de estudio, coincidiendo con su cercanía a la zona industrial y con las avenidas de intenso tráfico vehicular. Sin embargo, la estación San Cristóbal Huichochitlán (SC) que se caracteriza por ser una zona rural, presentó las mayores concentraciones de $PM_{2.5}$, circunstancia no esperada por este factor.

Recomendaciones

Como se ha mencionado dentro de la investigación los efectos de la contaminación atmosférica dependen del tiempo de exposición y concentración a la que se someten las personas; a mayor concentración de $PM_{2.5}$ mayor será el deterioro en la salud por la aparición de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (INECC, 2018). De acuerdo con los resultados obtenidos se considera oportuno enlazarlo con investigaciones sobre las afectaciones en la salud dentro de los municipios que conforma la RAMA-ZMVT.

De igual manera, es importante informar a la población sobre los efectos del $PM_{2.5}$ en la salud y en el medio ambiente, ya que este material está en contacto a través de que lo respiramos de forma constante y la heterogeneidad en su composición química incrementa el riesgo ante la exposición a este contaminante.

Se sugiere el aumento en el número de estaciones y su ubicación en zonas estratégicas y representativas para cubrir un número mayor de municipios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, como podría ser en los municipios de Zinacantepec, Ocoyoacac, Almoloya de Juárez, Santiago Tianguistenco, Calimaya, Lerma y Xonacatlán; para así contar con información más completa y tener un mejor diagnóstico de la calidad del aire. A su vez, se sugiere un mantenimiento constante de los equipos de medición para garantizar su funcionamiento, ya que dentro del desarrollo en el análisis de la base de datos éstas estaban incompletas y se encontraban datos inválidos.

Se sugiere la reubicación a la brevedad de la estación Aeropuerto debido a la relevancia en la medición de los contaminantes en esa zona, ya que fue una de las estaciones que representaron mayores concentraciones antes de ser desconectada.

Es importante que el Gobierno del Estado de México se debe exigir a las industrias el cumplimiento de los requerimientos ambientales para su funcionamiento dentro del territorio de manera general, considerando que esta investigación se enfocó en las fuentes directas generadoras de $PM_{2.5}$.

De igual manera, se recomienda incentivar la movilidad urbana sustentable, que contribuya a disminuir las emisiones de $PM_{2.5}$.

La adopción de prácticas e implementar la Educación Ambiental para minimizar las emisiones procedentes en la población, como evitar quemar plásticos, llantas, etc., disminuir el uso de pirotecnia en fiestas, el uso de bicicleta si son distancias cortas, disminuir el uso de leña como combustible; entre otras más.

Referencias

- Borja-Aburto, V. e. (2000). "Evaluation of Health Effects of Pollution". Recuperado el 18 de octubre de 2018, de OECD Publication: <http://www.oecd.org/environment/cc/2053205.pdf>
- Escamilla-Nuñez, M. e. (2008). Traffic-related air pollution and respiratory symptoms among asthmatic children, resident in Mexico City: the EVA cohort study. *Respiratory Research*, 9:74.
- Anguiano-Miranda, J. Y. (2018). *Análisis de las concentraciones de Material Particulado menor a 10 micras (PM₁₀) a partir de los datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2011-2017*. Toluca de Lerdo, Estado de México: UaeMex.
- Barraza-Villareal, A. e. (2008). Air Pollution, Airway Inflammation, and Lung Function in a Cohort Study of Mexico City Schoolchildren. *Environ Health Perspect*, 832–838.
- Camacho-García, M. O. (2008). Políticas Intergubernamentales para controlar la contaminación del aire en las ciudades mexicanas. Una evaluación. *Gestión y Política Pública*, XVII(2), 261-313.
- Canales-Rodriguez, M. e. (2014). Las Partículas Respirables PM₁₀ y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México. *Información Tecnológica*, 13-22.
- Canseco, A. L. (2013). *Partículas Atmosféricas PM_{2.5} y su asociación con enfermedades respiratorias en la Cd. de Chihuahua, México*. Recuperado el 13 de septiembre de 2017, de Universidad Autónoma de Chihuahua: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/8/1/Tesis%20Ana%20Luisa%20Canseco%20Lajas.pdf>
- Carreto Bernal , F. G. (2000). *Geografía general*. Toluca : UAEMex.
- Castro, P. (2010). Polución por material particulado fino (PM 2.5) incrementa las hospitalizaciones por insuficiencia cardiaca. *Revista chilena de cardiología*, 306-314.

- CeMCAQ. (2019). *Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro*. Recuperado el 14 de mayo de 2019, de Material Particulado: <http://www.cemcaq.mx/contaminacion/particulas-pm>
- Centemeri, L. (2010). *El diccionario*. Recuperado el 27 de octubre de 2017, de Saveo: el desastre y la Directiva: laboreal.up.pt/es/articulos/seveso-o-desastre-e-a-directiva/
- Centro Mario Molina. (2014). *Políticas Públicas para el mejoramiento de calidad del aire. Caso de estudio ZMVT*. Obtenido de centromariomolina.org/wp-content/uploads/.../Resumen-Ejecutivo_ZMVT_2014.pdf
- COFEPRIS. (2011). *Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios*. Obtenido de Respirar no debería ser cosa de héroes | Házla de Tos por Aire Limpio: <http://pueblobicicleteo.org/cofcofcofepris-respirar-no-deberia-ser-cosa-de-heroes-hazla-de-tos-por-aire-limpio/>
- COFEPRIS. (31 de diciembre de 2017). *Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios*. Recuperado el 15 de febrero de 2019, de Clasificación de los contaminantes del aire ambiente: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (2018). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. DOF: Diario Oficial de la Federación.
- Contreras , A. M. (2011). *Ciencia y tecnología del medio ambiente*. Madrid: UNED.
- Cortez-Lugo, M. e. (2004). Niveles ambientales de las PM2.5 y distancia a una vía de alto tránsito en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud pública México*.
- Derley Ramón, J., Ramón, J. A., & Valencia, F. R. (2015). *Estudio de parámetros de calidad del aire en una zona urbana, industrial y rural*. Obtenido de El Hombre y la Máquina: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47843368003>
- Dickson. (2000). *Química Enfoque Ecológico*. México: Limusa,S.A. DE C.V.
- DOF. (28 de Enero de 1988). *Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación .
- DOF. (2005). *NOM-025-SSA1-1994 (modificada 2005)*. México.
- DOF. (2014). *NOM-025-SSA1-2014*.

- EC. (2017). (*European Commission*. Recuperado el 25 de mayo de 2018, de http://ec.europa.eu/environmental/air/quality/standards.htm#_blank
- EEA. (29 de octubre de 2018). *Agencia Europea del Medio Ambiente*. Obtenido de La contaminación atmosférica todavía demasiado elevada en toda Europa: <https://www.eea.europa.eu>
- El Código para la Biodiversidad del Estado de México. (2005). *El Código para la Biodiversidad del Estado de México*. México: Gobierno del Estado de México.
- Environmental Protection Agency. (2006). *40 CFR Part 50, National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule*.
- EPA. (19 de enero de 2017). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Recuperado el 24 de febrero de 2019, de Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés): <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
- Etze, R. (2000). Contaminación del aire. En E. K. Noji, *Impactos de los desastres en la salud pública* (págs. 337-357). Bogotá.D.C. Recuperado el 27 de octubre de 2017, de La Contaminación del Aire: cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc12849/doc12849.pdf
- Etze, R. G. (2017). *CIDBIMENA*. Recuperado el 27 de octubre de 2017, de La Contaminación del Aire: cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc12849/doc12849.pdf
- European Commission Environment. (2008). *Under Directive 2008/50/EU*. Recuperado el 21 de septiembre de 2018, de <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- Flores, R. J. (2010). *Estimación del riesgo a la exposición de partículas suspendidas en el Valle de Toluca*. Obtenido de *Ciencia Ergo Sum*.
- Flores-Ruiz, J. e. (2010). Estimación del riesgo a la exposición de partículas suspendidas en el Valle de Toluca. *Ciencia Ergo Sum*, 17(1), 72-80. Obtenido de *Ciencia Ergo Sum*.
- García, J. (2009). *Influencia de la Meteorología en la calidad del aire en la zona Metropolitana del Valle de México*. Obtenido de *Tip Revista Especializada en*

Ciencias

Químico-Biológicas:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43215406004>

- García, R. (2007). Evaluación del riesgo por contaminantes criterio y formaldehído en la Ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 169-175. Obtenido de Revista Internacional de Contaminación Ambiental: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37023402>
- García-Chávez, M. (2014). *Análisis correlacional entre el incremento de los automóviles particulares y la concentración de partículas menores a diez micrómetros (PM₁₀) en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca durante el período 2006-2011*. Toluca, Estado de México: Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México.
- García-Reynoso, J. A. (2009). Influencia de la meteorología en la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México . *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* , 83-86. Recuperado el 21 de marzo de 2018, de Influencia de la meteorología en la calidad del aire en la Zona Metropolitana: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43215406004>
- GDF. (2002). *Programa para mejorar la calidad del aire ZMVM 2002-2010*. México .
- GDF. (2006). *La calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México*. México .
- GEM. (2004). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*. México: Gobierno del Estado de México.
- GEM. (2007). *Aire Limpio: Programa para el Valle de Toluca 2007-2011*. México: Secretaría del Medio Ambiente.
- GEM. (2007). *Programa para Mejorar la Calidad de Aire del Valle de Toluca*. México.
- GEM. (2012). *Aire limpio: programa del Valle de Toluca 2012-2017*. México.
- GEM. (2018-2030). *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México (ProAire)*. México: Gobierno del Estado de México .
- GEM. (2018-2030). *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México(ProAire)*. Gobierno del Estado de México.

- Gobierno de Aragón. (2014). *Construyendo Europa desde Aragón*. Recuperado el 25 de marzo de 2019, de La calidad del aire en Aragón: http://www.aragonaire.es/moreinfo.php?n_action=pollutants
- Gómez-Comba, C. (2017). *Contaminación del Aire en Medellín por PM10 y PM2.5 y sus efectos en la Salud*. Medellín: Universidad Militar Nueva Granada.
- Inche, J. (2004). Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones. En I. Jorge, *Monitoreo Atmosférico* (págs. 69-82). Lima: Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial-UNMSM.
- INE. (2007). *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*. México, D.F: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- INE. (s/n). *Instituto Nacional de Ecología*. Recuperado el 25 de marzo de 2019, de Manual 1. Principios de Medición de la Calidad de Aire: <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- INECC. (s.f.). Recuperado el 25 de marzo de 2018, de Inventario de emisiones: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/folletos/299/inven.html>
- INECC. (2009). *Estudio de emisiones y actividad vehicular en tres ciudades mexicanas. Fase tres: Guadalajara, Nogales y Toluca*. México.
- INECC. (2013). *Informe Nacional de Calidad del Aire 2013, México*. México.
- INECC. (2014). 17. Aire. Obtenido de http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/16/parte4_17.html
- INECC. (2018). *Importancia de las partículas PM2.5*. Recuperado el 15 de septiembre de 2018, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/695/importancia.pdf>
- INECC-SEMARNAT. (septiembre de 2015). Obtenido de Evaluación de Partículas Suspendidas PM2.5 en el Área Metropolitana de la Ciudad de México: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/370451/4._Evaluaci_n_de_Pert_culas_Suspendidas_PM2.5_Cd_Mex.pdf
- INEGI. (2010). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/>

- LGEEPA. (2012). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. México: DOF: Diario Oficial de la Federación.
- Linares , C. D. (2018). *Las PM_{2,5} y su afección a la salud*. Recuperado el 27 de marzo de 2018, de https://www.um.es/estructura/servicios/sprevencion/c-seguridad/documentos/EE_58_PM25.pdf
- Linares, C. (9 de marzo de 2009). Recuperado el 25 de febrero de 2018, de Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2,5}): <http://scielo.isciii.es/pdf/gsv/v23n3/original4.pdf>
- Martin, P. (2005). *Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad de Buenos Aires*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Martín, P. (2005). *Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad de Buenos Aires*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. New York: Elsevier.
- Mogrovejo-Tenecela, F. (2015). *Evaluación de las tendencias de calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca durante los años 2000-2013*. Cuenca Ecuador: Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca.
- Morantes, e. a. (Abril de 2016). *Interciencia*. Obtenido de Revisión de instrumentos normativos de la calidad del aire y sistemas de monitoreo atmosférico: América Latina y El Caribe : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33944929003>
- Muñoz, R. e. (mayo de 2005). *Serie de análisis del sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México*. Obtenido de Evaluación de la exposición de la población de la Zona Metropolitana del Valle de México a ozono y partículas menores a 10 micrometros : http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/gestiones-ambiental-aire-memoria-documental-2001-2006/descargas/informes_tecnicos/Modelo_exposicion_2005.pdf

- NOM-025-SSA1-2014. (2014). *NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas*. México: DOF: Diario Oficial de la Federación .
- OMS 2. (2 de mayo de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado: <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- OMS. (2018). *Organización Mundial de la salud* . Recuperado el 15 de mayo de 2018, de Calidad del aire y salud : [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- OPS. (2019). *Organización Panamericana de la Salud*. Recuperado el 19 de abril de 2019, de https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es
- Osornio-Vargas, Á. e. (2003). Proinflammatory and Cytotoxic Effects of Mexico City Air Pollution Particulate Matter in Vitro Are Dependent on Particle Size and Composition. *Environmental Health*, 1289-1296.
- Perrone, M. e. (2005). *Particulate matter characterization at a coastal site in south-eastern Italy*. Obtenido de Journal of Environmental Monitoring: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Pío, e. (2007). Climatology of aerosol composition (organic versus inorganic) at nonurban sites on a west-east transect across Europe. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 112.
- PMDUT. (2013-2015). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca*. Toluca: H. Ayuntamiento de Toluca 2013-2015.
- PMDUT. (2013-2015). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca* . Toluca: H. Ayuntamiento de Toluca 2013-2015.
- ProAire. (2012). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de Toluca (2012-2017)*. México.
- Quadri , G. (1992). *La ciudad de México y la contaminación Atmosferica*. México: LIMUSA NORIEGA EDITORES.

- Quijano, P. A. (2005). *Monitoreo de material particulado-fracción respirable(2.5) en Pamplona (Colombia)*. Obtenido de Bistua: Facultad de Ciencias básicas.
- RAMA. (2017). Recuperado el 1 de abril de 2017, de Monitoreo Atmosférico: http://rama.edomex.gob.mx/que_es_red
- RAMA. (2018). Obtenido de Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: <http://rama.edomex.gob.mx>
- RAMA. (2018). *Red Automática de Monitoreo Atmosférico*. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de Tecnicas de medición: http://rama.edomex.gob.mx/tecnicas_medicion
- RAMA. (18 de enero de 2019). *Red Automática de Monitoreo Atmosférico*. Recuperado el 18 de enero de 2019, de ¿ Qué es la Red ? : http://rama.edomex.gob.mx/que_es_red
- RAMACDMEX. (s.f.). Recuperado el 1 de abril de 2018, de Gestión de la calidad de aire en la Ciudad de México : <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/simat-infograma-tendencia-calidad-aire.pdf>
- Región de Murcia. (s.f.). *murcia+salud*. Recuperado el 29 de marzo de 2019, de Materia Particulada (PM10 y PM2.5): <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&idsec=1573#>
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera. (2014). *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Eológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera* . México: DOF: Diario Oficial de la Federación.
- Rico, F. e. (2001). *Daños a la Salud por Contaminación Atmosférica*. Toluca, Estado de México, México: CIGOME.
- Riojas-Rodriguez, H. e. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futura. *Salud pública de méxico*, 638-649.
- Romero, M. e. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 1-14.

- Rubio, M. e. (2001). Remoción de contaminantes por lluvias y rocios en la Región Metropolitana. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*.
- Secretaría de Economía. (2017). *Información Económica y Estatal. Estado de México*. Estado de México.
- SEDESOL. (2004). *Delimitación de Zonas Metropolitanas*. México.
- SEMARNAT. (9 de noviembre de 1999). *La gestión ambiental en México*. Obtenido de INE-SEMARNAT: http://www.paot.mx/centro/ine-semarnat/Gestion_Ambiental_semarnat06.pdf
- SEMARNAT. (2007). *¿ Y el medio ambiente ? Problemas en México y el mundo . México*.
- SEMARNAT. (2008). *SINEA (Sistema Nacional de Emisiones a la Atmósfera)*. Obtenido de 5. Inventario de Emisiones - Entidades Federativas y Municipios 2008: <http://sinea.semarnat.gob.mx/sinae.php?steprep=5&r=NS4gRW50aWRhZGVzIEZIZGVyYXRpdmFzIHkgTXVuaWNpcGlvcyAyMDA4Lg==&process=UkVQT1JURUFET1I=&pag=2>
- SEMARNAT. (2010). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado el 19 de enero de 2019, de Compendio de Estadísticas Ambientales 2010: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet8999.html
- SEMARNAT. (2011). *Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM2.5*. Recuperado el 3 de enero de 2019, de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/225459.pdf>
- SEMARNAT. (2013). *Cuadernos de divulgación ambiental*. Recuperado el 29 de abril de 2019, de Calidad del aire: una práctica de vida: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>
- SEMARNAT. (2018). *Atmósfera*. Recuperado el 1 de octubre de 2018, de http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap5_atmosfera.pdf

- Seoáñez, M. (2002). *Tratado de la contaminación Atmosférica: Problemas, tratamiento y gestión*. México: Ediciones Mundi-Prensa.
- Silva-Vinasco, J. (2013). Variación espacial y temporal de concentraciones de PM10 en el área urbana de Santiago de Cali, Colombia. *Ingenieria y Recursos Naturales y del Ambiente*, 129-141.
- SIMAT. (2009). *Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México*. Obtenido de Partículas. Contaminación del Aire: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/simat-folleto-particulas.pdf>
- SIMAT. (2013). *El invierno y la Calidad del aire*. Obtenido de Guía para proteger tu salud: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/simat-folleto-invierno.pdf>
- SMA. (2011). *Experiencia nacional y referencias internacionales de gestión de la calidad del aire*. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México: http://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/Programas/ProAireZMVM/proaire2011_2020_04_capitulo4.pdf
- Tzintzun, M. e. (2005). Las partículas suspendidas en tres grandes ciudades mexicanas. *Gaceta ecológica*, 15-28.
- Vega, E. (2004). Analysis of PM2.5 and PM10 in the Atmosphere of Mexico City during 2000-2002. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 786-798.
- Velasco-García, M. (2005). *La Calidad del Aire Asociado con Metales Pesados en la Ciudad de Manizales*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Villalobos, R. e. (2008). Materia orgánica extraída de las aeropartículas de la Ciudad de México y sus efectos genotóxicos. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 105-109.
- Wark, K. &. (2007). *Contaminación del aire, origen y control*. México: Limusa.
- WHO. (2006). *"WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide". Global update 2005. Summary of Risk Assessment*.

- Zamarreño, R. A. (2010). *Cuantificación de elementos metálicos presentes en el Material Particulado PM2.5 en la Atmósfera de la Ciudad de la Serena, Chile*. Obtenido de Avances en Ciencias e Ingeniería.
- Zamarreño, R. e. (2015). Cuantificación, caracterización y composición del Material Particulado 2.5, procedente del uso de la combarbalita. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 6(4), 1-10.
- Zapata-Palacio, E. (2015). *Análisis ambiental descriptivo de patologías respiratorias y contaminación del aire por Material Particulado Respirable (PM10) en la Localidad de Fontibón*. Bogotá D. C. : Bogotá.
- Zuk, M. e. (2007). *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas* (Primera ed.). México, D.F.