



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Planeación Urbana y Regional



**ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE MONÓXIDO DE
CARBONO UTILIZANDO LOS DATOS DE LAS ESTACIONES DE
LA RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA
ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA EN EL
PERIODO DE 2011 AL 2017**

TESIS

Que para obtener el Título de:
Licenciada en Ciencias Ambientales

Presenta:
Luna Tejocote Almira Teohua

Directora:
Dra. en A. Ana Marcela Gómez Hinojos

Toluca de Lerdo, Estado de México; noviembre 2018

*A mis padres, gracias a ustedes aprendí que siempre hay que hacer lo mejor
y lo correcto para tener el mundo que queremos. Son mi motivo,
inspiración y los cómplices en la realización de mis sueños.*

Agradecimientos

A mis hermanos, Agata y Luis Eduardo, por comprender y apoyar mis decisiones, y por aligerar los momentos de estrés con su carisma y cariño.

A mis amigos, por hacerme sentir querida a pesar de las distancias; y a Natalia Acuña, gracias por ser buena amiga, un buen ejemplo y mancuerna en tantas aventuras por el mundo y por las grandes experiencias académicas.

A mi directora de tesis, Dra. Ana Marcela Gómez Hinojos, le agradezco la paciencia, el apoyo y la confianza que me brindo a lo largo de la realización del trabajo de investigación.

A mi tutor, Mtro. José Gerardo Moreno Ayala, juntos superamos desafíos que parecían imposibles, gracias por ayudarme a demostrar que en todo momento las cosas deben hacerse bien.

Al personal de la RAMA en el Estado de México, por el apoyo brindado en la guía de las estaciones de monitoreo y por las facilidades prestadas al momento de solicitar información de estas.

Al Dr. en C. Gustavo Álvarez Arteaga y al Dr. en C.A. Jorge Paredes Tavares, por su apoyo en el enriquecimiento y aportes para el trabajo de investigación.

Índice

| | |
|--|----|
| Resumen | 13 |
| Abstract | 14 |
| Introducción | 15 |
| Esquema de la Investigación | 19 |
| I. Metodología | 19 |
| a) Alcance de la Investigación | 19 |
| b) Diseño de la Investigación | 19 |
| c) Población de Estudio | 19 |
| d) Instrumento de Medición | 20 |
| e) Recolección de Datos | 20 |
| f) Esquema Metodológico | 20 |
| Antecedentes | 25 |
| Capítulo 1. Marco Conceptual | 32 |
| 1.1 <i>Contaminación Atmosférica</i> | 32 |
| 1.1.1 Tipos de contaminantes | 33 |
| 1.1.2 Fuentes de emisión | 34 |
| 1.1.3 Eliminación contaminantes | 35 |
| 1.1.4 Efectos de la contaminación del aire | 36 |
| 1.2 <i>Gases de Efecto Invernadero (GEI)</i> | 36 |
| 1.3 <i>Contaminantes Criterio</i> | 38 |
| 1.4 <i>Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)</i> | 39 |
| 1.4.1 Medición de la RAMA | 42 |
| 1.4.1.1 Ozono (O ₃) | 44 |
| 1.4.1.2 Material Particulado (PM ₁₀ y PM _{2.5}) | 44 |
| 1.4.1.3 Monóxido de Carbono (CO) | 45 |
| 1.4.1.4 Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) | 45 |
| 1.4.1.5 Dióxido de Azufre (SO ₂) | 46 |
| 1.4.2 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) | 48 |
| 1.5 <i>Monóxido de Carbono</i> | 50 |
| 1.5.1 Características | 50 |
| 1.5.1.1 Precursor de GEI | 51 |
| 1.5.2 Fuentes | 53 |
| 1.5.3 Efectos del CO en el ambiente | 56 |
| 1.5.4 Efectos del CO en el ser humano | 56 |

| | |
|---|-----|
| Capítulo 2. Caracterización de la zona de estudio | 59 |
| 2.1 Ubicación de la zona de estudio (RAMA-ZMVT) | 61 |
| 2.2 Localización de las estaciones de la RAMA | 63 |
| 2.3 Características de la RAMA-ZMVT | 72 |
| 2.3.1 Ambientales | 72 |
| 2.3.1.2 Relieve..... | 72 |
| 2.3.1.4 Climatología..... | 74 |
| 2.3.1.5 Meteorología..... | 75 |
| 2.3.1.3 Uso de Suelo y Vegetación | 78 |
| 2.3.2 Demográficas | 81 |
| 2.3.3 Económicas | 84 |
| 2.3.3.1 Sector primario | 84 |
| 2.3.3.2 Sector secundario | 85 |
| 2.3.3.3 Sector terciario | 86 |
| Capítulo 3. Marco Jurídico | 89 |
| 3.1 Acuerdos Internacionales..... | 89 |
| 3.1.1 Protocolo de Kioto | 89 |
| 3.2 <i>Ámbito Federal</i> | 91 |
| 3.2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos | 91 |
| 3.2.2 Ley General de Equilibrio y Protección al Ambiente | 92 |
| 3.2.4 Normas Oficiales Mexicanas | 97 |
| 3.2.4.1 NOM-156-SEMARNAT-2012 | 97 |
| 3.2.4.2 NOM-034-ECOL-1993..... | 97 |
| 3.2.4.3 NOM-021-SSA1-1993 | 97 |
| 3.3 <i>Ámbito Estatal</i> | 98 |
| 3.3.1 NTEA-007-SMA-DS-2006 | 98 |
| Capítulo 4. Resultados | 100 |
| 4.1 <i>Análisis de variables por hora/estación</i> | 100 |
| 4.1.1 Análisis del año 2011 | 101 |
| 4.1.2 Análisis del año 2012 | 111 |
| 4.1.3 Análisis del año 2013 | 120 |
| 4.1.4 Análisis del año 2014 | 129 |
| 4.1.5 Análisis del año 2015 | 138 |
| 4.1.6 Análisis del año 2016 | 147 |
| 4.1.7 Análisis del año 2017 | 155 |
| 4.1.8 Análisis del periodo 2011-2017 | 163 |
| 4.1.8.1 Concentraciones promedio de CO | 163 |
| 4.1.8.2 Concentraciones máximas de CO | 166 |
| 4.1.8.3 Temperatura..... | 169 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.8.4 Radiación Solar | 170 |
| 4.1.9 Relaciones del CO | 171 |
| 4.1.9.1 Relación CO y Radiación Solar | 171 |
| 4.1.9.3 Relación CO y temperatura | 172 |
| 4.2 <i>Análisis de variables por mes/estación</i> | 173 |
| 4.2.1 Análisis del año 2011 | 173 |
| 4.2.2 Análisis del año 2012 | 181 |
| 4.2.3 Análisis del año 2013 | 189 |
| 4.2.4 Análisis del año 2014 | 197 |
| 4.2.5 Análisis del año 2015 | 205 |
| 4.2.6 Análisis del año 2016 | 213 |
| 4.2.7 Análisis del año 2017 | 220 |
| 4.2.8 Análisis del periodo 2011-2017 | 227 |
| 4.2.8.1 Concentraciones promedio de CO | 227 |
| 4.2.8.2 Concentraciones máximas de CO | 230 |
| 4.3 <i>Análisis de variables por año</i> | 233 |
| 4.3.1 Análisis del año 2011 | 233 |
| 4.3.2 Análisis del año 2012 | 234 |
| 4.3.3 Análisis del año 2013 | 235 |
| 4.3.4 Análisis del año 2014 | 236 |
| 4.3.5 Análisis del año 2015 | 237 |
| 4.3.6 Análisis del año 2016 | 238 |
| 4.3.7 Análisis del año 2017 | 239 |
| 4.3.8 Análisis del periodo 2011-2017 | 240 |
| Discusión de resultados | 244 |
| Conclusiones | 252 |
| Recomendaciones | 256 |
| Bibliografía | 258 |
| Anexos | 265 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Esquema Metodológico de la investigación | 21 |
| Figura 2. Esquema Metodológico del tratamiento de datos del Análisis de las concentraciones de Monóxido de Carbono en la ZMVT en el periodo de 2011 al 2017 | 22 |
| Figura 3. Localización de Estaciones de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca..... | 40 |
| Figura 4. Área de influencia de la RAMA-ZMVT | 41 |
| Figura 5. Localización la Zona Metropolitana del Valle de Toluca..... | 60 |
| Figura 6. Ubicación de la RAMA-ZMVT | 61 |
| Figura 7. Mapa Topográfico | 62 |
| Figura 8. Localización de Estaciones de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca..... | 64 |
| Figura 9. Mapa de Elevaciones..... | 73 |
| Figura 10. Mapa Climatológico..... | 74 |
| Figura 11. Gráfica de Precipitación y Temperatura promedio, año 2014 | 76 |
| Figura 12. Rosa anual de vientos (2015) | 77 |
| Figura 13. Vientos predominantes en RAMA-ZMVT | 78 |
| Figura 14. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación..... | 79 |
| Figura 15. Pirámide de población por edades, año 2010 | 82 |
| Figura 16. Ubicación de Zonas Industriales..... | 86 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera | 35 |
| Ilustración 2. Estación de Monitoreo Atmosférico, San Cristóbal | 42 |
| Ilustración 3. Equipo de Medición de la RAMA-ZMVT | 43 |
| Ilustración 4. Plataforma PC como recabador de información de la RAMA-ZMVT | 43 |
| Ilustración 5. Emisiones a la atmósfera de automóviles | 55 |

Índice de Tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Clasificación de contaminantes por su origen | 34 |
| Tabla 2. Calidad del Aire según IMECA..... | 48 |
| Tabla 3. Calidad del Aire según ppm | 49 |
| Tabla 4. Normas de la calidad del aire del CO | 51 |
| Tabla 5. Emisiones de CO (ton) por tipo de fuente en la RAMA-ZMVT | 54 |
| Tabla 6. Vehículos de motor registrados 2011-2017 | 56 |
| Tabla 7. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: San Cristóbal Huichochitlán | 65 |
| Tabla 8. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Aeropuerto..... | 66 |
| Tabla 9. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: San Mateo Atenco..... | 67 |
| Tabla 10. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Ceboruco | 68 |
| Tabla 11. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Metepec..... | 69 |
| Tabla 12. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Toluca Centro | 70 |
| Tabla 13. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Oxtotitlán | 71 |
| Tabla 14. Población Total 2010..... | 81 |
| Tabla 15. Densidad de población (2010) | 83 |
| Tabla 16. Tasa de crecimiento poblacional (1990.2010) | 83 |
| Tabla 17. Medidas tendencia de concentraciones promedio de CO por hora/estación, 2011-2017 | 164 |
| Tabla 18. Medidas tendencia de concentraciones máximas de CO por hora/estación, 2011-2017 | 167 |
| Tabla 19. Medidas tendencia de concentraciones promedio de CO por mes/estación, 2011-2017 | 228 |
| Tabla 20. Medidas tendencia de concentraciones máximas de CO por mes/estación, 2011-2017 | 231 |
| Tabla 21. Medidas tendencia de concentraciones de CO por estación, 2011-2017 | 241 |

Índice de Gráficas

| | |
|---|-----|
| Gráfica 1. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2011 | 101 |
| Gráfica 2. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2011 | 102 |
| Gráfica 3. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2011 ... | 103 |
| Gráfica 4. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2011 | 104 |
| Gráfica 5. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2011 | 105 |
| Gráfica 6. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2011 | 106 |
| Gráfica 7. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2011 | 107 |
| Gráfica 8. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2011..... | 108 |
| Gráfica 9. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2011 | 109 |
| Gráfica 10. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2012 | 111 |
| Gráfica 11. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2012 | 112 |
| Gráfica 12. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2012 . | 113 |
| Gráfica 13. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2012 | 114 |
| Gráfica 14. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2012 | 115 |
| Gráfica 15. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2012 | 116 |
| Gráfica 16. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2012..... | 117 |
| Gráfica 17. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2012..... | 118 |
| Gráfica 18. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2012 | 119 |
| Gráfica 19. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2013 | 120 |
| Gráfica 20. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2013 | 121 |
| Gráfica 21. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2013 . | 122 |
| Gráfica 22. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2013 | 123 |
| Gráfica 23. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2013 | 124 |
| Gráfica 24. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2013 | 125 |
| Gráfica 25. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2013..... | 126 |
| Gráfica 26. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2013..... | 127 |
| Gráfica 27. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2013 | 128 |
| Gráfica 28. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2014 | 129 |
| Gráfica 29. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2014 | 130 |
| Gráfica 30. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2014 . | 131 |
| Gráfica 31. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2014 | 132 |
| Gráfica 32. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2014 | 133 |
| Gráfica 33. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2014 | 134 |
| Gráfica 34. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2014..... | 135 |

| | |
|---|-----|
| Gráfica 35. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2014..... | 136 |
| Gráfica 36. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2014 | 137 |
| Gráfica 37. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2015 | 138 |
| Gráfica 38. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2015 | 139 |
| Gráfica 39. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2015 . | 140 |
| Gráfica 40. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2015 | 141 |
| Gráfica 41. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2015 | 142 |
| Gráfica 42. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2015 | 143 |
| Gráfica 43. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2015..... | 144 |
| Gráfica 44. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2015..... | 145 |
| Gráfica 45. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2015 | 146 |
| Gráfica 46. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2016 | 147 |
| Gráfica 47. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2016 . | 148 |
| Gráfica 48. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2016 | 149 |
| Gráfica 49. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2016 | 150 |
| Gráfica 50. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2016 | 151 |
| Gráfica 51. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2016..... | 152 |
| Gráfica 52. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2016..... | 153 |
| Gráfica 53. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2016 | 154 |
| Gráfica 54. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2017 | 155 |
| Gráfica 55. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2017 . | 156 |
| Gráfica 56. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2017 | 157 |
| Gráfica 57. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2017 | 158 |
| Gráfica 58. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2017 | 159 |
| Gráfica 59. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2017..... | 160 |
| Gráfica 60. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2017..... | 161 |
| Gráfica 61. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2017 | 162 |
| Gráfica 62. Concentraciones promedio de CO por hora, 2011-2017 | 163 |
| Gráfica 63. Concentraciones máximas de CO por hora, 2011-2017 | 166 |
| Gráfica 64. Temperatura promedio, máxima y mínima por hora, 2011-2017 | 169 |
| Gráfica 65. Radiación solar promedio y máxima por hora, año 2011-2017 | 170 |
| Gráfica 66. CO y Radiación Solar | 171 |
| Gráfica 67. CO y Temperatura | 172 |
| Gráfica 68. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2011..... | 173 |
| Gráfica 69. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2011..... | 174 |
| Gráfica 70. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2011.. | 175 |

| | |
|--|-----|
| Gráfica 71. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2011 | 176 |
| Gráfica 72. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2011 | 177 |
| Gráfica 73. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2011 | 178 |
| Gráfica 74. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2011 | 179 |
| Gráfica 75. Concentraciones promedio de CO por mes, año 2011 | 180 |
| Gráfica 76. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2012..... | 181 |
| Gráfica 77. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2012..... | 182 |
| Gráfica 78. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2012.. | 183 |
| Gráfica 79. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2012 | 184 |
| Gráfica 80. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2012..... | 185 |
| Gráfica 81. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2012..... | 186 |
| Gráfica 82. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2012 | 187 |
| Gráfica 83. Concentraciones promedio de CO por mes, año 2012 | 188 |
| Gráfica 84. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2013..... | 189 |
| Gráfica 85. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2013..... | 190 |
| Gráfica 86. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2013.. | 191 |
| Gráfica 87. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2013 | 192 |
| Gráfica 88. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2013..... | 193 |
| Gráfica 89. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2013..... | 194 |
| Gráfica 90. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2013 | 195 |
| Gráfica 91. Concentraciones promedio de CO por mes, año 2013 | 196 |
| Gráfica 92. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2014..... | 197 |
| Gráfica 93. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2014..... | 198 |
| Gráfica 94. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2014.. | 199 |
| Gráfica 95. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2014 | 200 |
| Gráfica 96. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2014..... | 201 |
| Gráfica 97. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2014..... | 202 |
| Gráfica 98. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2014 | 203 |
| Gráfica 99. Concentraciones de CO por mes, año 2014 | 204 |
| Gráfica 100. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2015..... | 205 |
| Gráfica 101. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2015 | 206 |
| Gráfica 102. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2015 | 207 |
| Gráfica 103. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2015..... | 208 |
| Gráfica 104. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2015..... | 209 |
| Gráfica 105. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2015..... | 210 |
| Gráfica 106. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2015 | 211 |

| | |
|--|-----|
| Gráfica 107. Concentraciones de CO por mes, año 2015 | 212 |
| Gráfica 108. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2016..... | 213 |
| Gráfica 109. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2016 | 214 |
| Gráfica 110. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2016..... | 215 |
| Gráfica 111. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2016..... | 216 |
| Gráfica 112. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2016..... | 217 |
| Gráfica 113. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2016 | 218 |
| Gráfica 114. Concentraciones de CO por mes, año 2016 | 219 |
| Gráfica 115. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2017..... | 220 |
| Gráfica 116. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2017 | 221 |
| Gráfica 117. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2017..... | 222 |
| Gráfica 118. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2017..... | 223 |
| Gráfica 119. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2017..... | 224 |
| Gráfica 120. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2016 | 225 |
| Gráfica 121. Concentraciones promedio de CO por mes, año 2017 | 226 |
| Gráfica 122. Concentraciones promedio de CO por mes, 2011-2017..... | 227 |
| Gráfica 123. Concentraciones de CO máximas por mes, 2011-2017 | 230 |
| Gráfica 124. Concentraciones promedio de CO, año 2011 | 233 |
| Gráfica 125. Concentraciones promedio de CO, año 2012 | 234 |
| Gráfica 126. Concentraciones promedio de CO, año 2013..... | 235 |
| Gráfica 127. Concentraciones promedio de CO, año 2014 | 236 |
| Gráfica 128. Concentraciones promedio de CO, año 2015 | 237 |
| Gráfica 129. Concentraciones promedio de CO, año 2016 | 238 |
| Gráfica 130. Concentraciones promedio de CO, año 2017 | 239 |
| Gráfica 131. Concentraciones promedio de CO, 2011-2017..... | 240 |
| Gráfica 132. Promedio de CO por año, 2011-2017 | 242 |

Resumen

El Monóxido de Carbono (CO), es un gas producto de una combustión incompleta de hidrocarburos, carbón, aceites e incendios forestales, sus fuentes principales de emisión son el sector automotriz y el industrial. Debido a que el CO implica daños a la salud del ser humano capaz de producir la muerte por su gran capacidad de desplazar el Oxígeno de la hemoglobina de la sangre en concentraciones elevadas, así como daños al medio ambiente, por lo que resulta importante investigar las concentraciones de este gas en el medio.

En la presente investigación se lleva a cabo el análisis de las concentraciones de Monóxido de Carbono correspondiente a los años 2011 al 2017, con base en las mediciones reportadas por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMA-ZMVT), con el propósito de identificar el comportamiento del CO a lo largo del periodo de estudio y conocer si en algún punto las emisiones superan 11 ppm que establece la NOM-021-SAA1-1993 como límite máximo permisible.

Los datos de las concentraciones de CO, se analizaron y se representaron mediante gráficas promedios de concentración de CO por hora, mes y año, respecto a las 7 estaciones de monitoreo atmosférico con las que cuenta la RAMA-ZMVT; de igual manera se llevaron a cabo el análisis de las medidas de tendencia central. También se identificaron las concentraciones máximas de CO por hora y año para el periodo de estudio.

En cuanto a los resultados analizados por hora y por estación, el comportamiento del CO, en el periodo de estudio presenta entre las 8 y 9 horas concentraciones de 1.93 a 3.46 ppm; por su parte en el comportamiento mensual se observan valores mayores en los meses invernales y menores registros entre junio y octubre.

De forma general se observa que las emisiones de CO disminuyeron del 2011 al 2017, aun cuando en estaciones como San Mateo Atenco, Toluca Centro y Oxtotitlán se observa un incremento en su tendencia. Cabe mencionar que con base en la NOM-021-SAA1-1993, las concentraciones de CO no superan las 11 ppm tanto en promedios como en máximos registrados, acorde con estos resultados las concentraciones de CO se encuentran dentro de las normas que establecen la calidad del aire en el periodo de estudio.

Abstract

The carbon monoxide (CO), is a gas product of incomplete combustion of hydrocarbons, coal, oils and wildfires, its main sources of emission are the automotive and industrial sectors. Because the CO implies damage to the human's health capable of producing death because of its great ability to displace oxygen from the hemoglobin of the blood in elevated concentrations, as well as damage to the environment, it is important to investigate the concentrations of this gas in the middle.

In this research, the analysis of the carbon monoxide concentrations corresponding to the years 2011 to 2017 is carried out, based on the measurements reported by the automatic network of atmospheric monitoring of the metropolitan area of the Toluca Valley (RAMA-ZMVT), with the purpose of identifying the behavior of the CO throughout the period of study and to know if at some point the emissions exceed 11 ppm that establishes the NOM-021-SAA1-1993 as maximum permissible limit.

The data of the concentrations of CO, were analyzed and were presented by means of graphs of concentration of CO per hour, month and year, with respect to the 7 stations of atmospheric monitoring with which the RAMA-ZMVT counts; In the same way, the analysis of the central tendency measures was carried out. The maximum concentrations of CO per hour and year for the study period were also identified.

As for the results analyzed per hour and station, the behavior of CO, in the study period presents between 8 and 9 hours concentrations from 1.93 to 3.46 ppm; on the other hand, the monthly behavior shows higher values in the winter months and lower records between June and October.

In general, it is observed that the CO emissions decreased from 2011 to 2017, even though in stations such as San Mateo Atenco, Toluca Centro and Oxtotitlán there is an increase in its trend. It should be mentioned that based on NOM-021-SAA1-1993, CO concentrations does not exceed 11 ppm in both media and at maximum levels, according to these results, the CO concentrations are within the standards that establish the air quality in the study period.

Introducción

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2006), las enfermedades por la contaminación del aire, es de más de dos millones las muertes prematuras, las cuales se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (generalmente producida por la quema de combustibles sólidos).

Además, la WHO (2014), menciona que *“en 2012 la contaminación del aire fue responsable de 3.7 millones de muertes en el planeta (11% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 6% de cáncer de pulmón; 40% por enfermedad isquémica del corazón, 40% por accidente cerebrovascular y alrededor de 3% por infección respiratoria aguda). Registrándose 58 mil muertes en el continente americano”* (WHO, 2014). Siendo más de la mitad de las enfermedades recae en las poblaciones de los países en desarrollo; en este caso, México es considerado como un país en vías de desarrollo.

En el caso de México, en el 2000 la Ciudad de México fue considerada como la segunda ciudad más grande del mundo y como una de las siete megaciudades con la peor contaminación del aire debido a los grandes problemas de Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Ozono y material particulado (Molina & Molina, 2005).

Por ello, surge la necesidad de conocer cómo se han comportado las emisiones de contaminantes en la atmósfera del Valle de Toluca y conocer el comportamiento del de los contaminantes a nivel internacional, nacional y local, y los estudios que se han hecho para el caso que nos ocupa el CO.

Para el caso del Estado de México, la RAMA está presente en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, por lo que dicha zona se empleó como zona de estudio para

este trabajo (RAMA-ZMVT). En éstas se miden 6 contaminantes criterio como el Ozono, PM₁₀, PM_{2.5}, Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre, y diferentes variables climatológicas entre ellas la temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, precipitación, radiación solar, humedad relativa y la presión atmosférica (RAMA, 2014).

El Monóxido de Carbono (CO) es un gas inodoro, incoloro e insípido producto de la combustión incompleta de hidrocarburos, carbón, aceites e incendios forestales (Ministerio de Agricultura y Pesca, 2016; Molina & Molina, 2005).

Aunado a ello, el CO es un contaminante muy dañino para la salud debido a que puede causar la muerte por su alta afinidad con la hemoglobina pues desplaza el Oxígeno en la sangre (Molina & Molina, 2005). Además, es importante mencionar que el CO tiene importancia climatológica, ya que es sumidero de radicales OH[•], afectando indirectamente la formación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) tales como el Metano y el Ozono troposférico y el Dióxido de Carbono (Benavides B. & León A., 2007).

Derivado de lo anterior, se plantea que en la medida que se conozcan y analicen las concentraciones de Monóxido de Carbono reportadas por la RAMA-ZMVT, se podrán obtener indicadores para realizar toma de decisiones con el fin de establecer las alternativas adecuadas que ayuden a mitigar los problemas de salud que afecten a la población.

En esta investigación se plantea como objetivo general: *Analizar las concentraciones de Monóxido de Carbono en el periodo 2011-2017 derivado de los datos obtenidos en las estaciones de la RAMA-ZMVT, con el propósito de observar su comportamiento y determinar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-021-SSA1-1993.*

Los objetivos específicos considerados:

- Observar el comportamiento horario de las concentraciones de CO en el periodo 2011 al 2017 de las estaciones de la RAMA-ZMVT.
- Observar el comportamiento mensual de las concentraciones de CO en la RAMA-ZMVT en el periodo 2011 al 2017.
- Analizar el comportamiento anual de las concentraciones de CO correspondientes a las estaciones de la RAMA-ZMVT durante los años 2011 al 2017.
- Evaluar el cumplimiento de la NOM-021-SSA1-1993, respecto a los límites máximos permisibles de concentraciones de CO en las estaciones pertenecientes a la RAMA-ZMVT en el periodo de estudio.

La hipótesis planteada al inicio de la presente investigación fue: *En el periodo 2011 al 2017 se observará un incremento en las concentraciones del Monóxido de Carbono en la RAMA-ZMVT.*

De forma general el presente trabajo de investigación se encuentra integrado en cuatro capítulos. Además de un apartado que incluye una investigación sobre trabajos internacionales, nacionales y locales que consideran a algún tipo de emisión y su comportamiento; dentro de ellos se presentan artículos que incluyen al CO y el análisis del comportamiento y dispersión de este.

El *capítulo 1*, considera el marco conceptual, en el que se establece en panorama general de la atmósfera y la contaminación atmosférica como un problema que impacta y genera alteraciones en la dinámica del planeta, además de la clasificación de GEI de acuerdo a lo establecido por el Protocolo de Kioto y contaminantes criterio que establecen las normas mexicanas, el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire y la RAMA; presentando el CO, sus características y como éste influye en la formación de GEI, fuentes de emisión, efectos en el ambiente y en la salud del ser humano.

El *capítulo 2* comprende el marco contextual en el que se caracteriza la zona de estudio, la cual incluye la ubicación de las estaciones de la RAMA-ZMVT y los municipios que la conforman (Ocoyoacac, Lerma, Metepec, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec), se describen las características ambientales de, relieve, usos de suelo y vegetación, clima y meteorología de los municipios antes mencionados, las características demográficas que incluyen la población total, la distribución de esta de acuerdo al sexo y edad, así como la tasa de crecimiento media anual y la densidad de población, y las características económicas por sector.

En el *capítulo 3* se mencionan las normas en materia ambiental que incluyen a la calidad del aire dentro de ellas. Estas se dividen en internacionales con el Protocolo de Kioto, nacionales con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la LGEEPA y las Normas Oficiales Mexicanas, y las normas estatales que establecen y justifican la formación de la RAMA-ZMVT.

El *capítulo 4* comprende los resultados obtenidos del tratamiento de las bases de datos con las concentraciones de CO en los años 2011 al 2017. La información se representa en forma de gráficas de concentraciones promedio por hora/estación por año, concentraciones promedio por mes/estación por cada año, concentraciones CO por año y concentraciones máximas de CO por periodo de estudio, además del comportamiento de la temperatura y radiación solar por periodo de estudio.

Se llevo a cabo el análisis de los datos de cada estación de monitoreo atmosférico con el fin de identificar el comportamiento del CO y si éste superaba la NOM-021-SAA1-1993 que establece los límites máximos permisibles de CO para una buena calidad de aire. Finalmente, se presentan las *conclusiones y recomendaciones* obtenidas del análisis de las concentraciones de CO en la RAMA-ZMVT.

Esquema de la Investigación

I. Metodología

a) Alcance de la Investigación

El alcance de la investigación es de carácter exploratorio, debido a que se busca examinar un tema de investigación poco estudiado; y descriptivo, ya que se recolectan datos para especificar las propiedades y características de las concentraciones de CO que mide la RAMA, que permita evaluar su comportamiento del 2011 al 2017 (Hernández, et al., 2010).

b) Diseño de la Investigación

El diseño del presente trabajo es cuantitativo, no experimental, debido a que no se realizaron experimentos controlados; de la misma forma es transeccional al establecerse en un periodo de tiempo específico, abarcando del año 2011 al 2017 (Hernández, et al., 2010).

c) Población de Estudio

La población de estudio abarca los datos obtenidos al respecto de las concentraciones del CO de las estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca del año 2011 al 2017.

d) Instrumento de Medición

Los instrumentos de medición utilizados para los fines de esta investigación son:

- Base de datos otorgadas por la RAMA-ZMVT de los años 2011- 2017.
- Microsoft Excel, es un programa que contiene hojas de cálculo, con la que se trabajarán los promedios de la Base de Datos (BD).
- Información Geográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para la realización de la cartografía.
- ArcGIS, software que se utilizara para el tratamiento, diseño y edición de la información geográfica de la investigación.

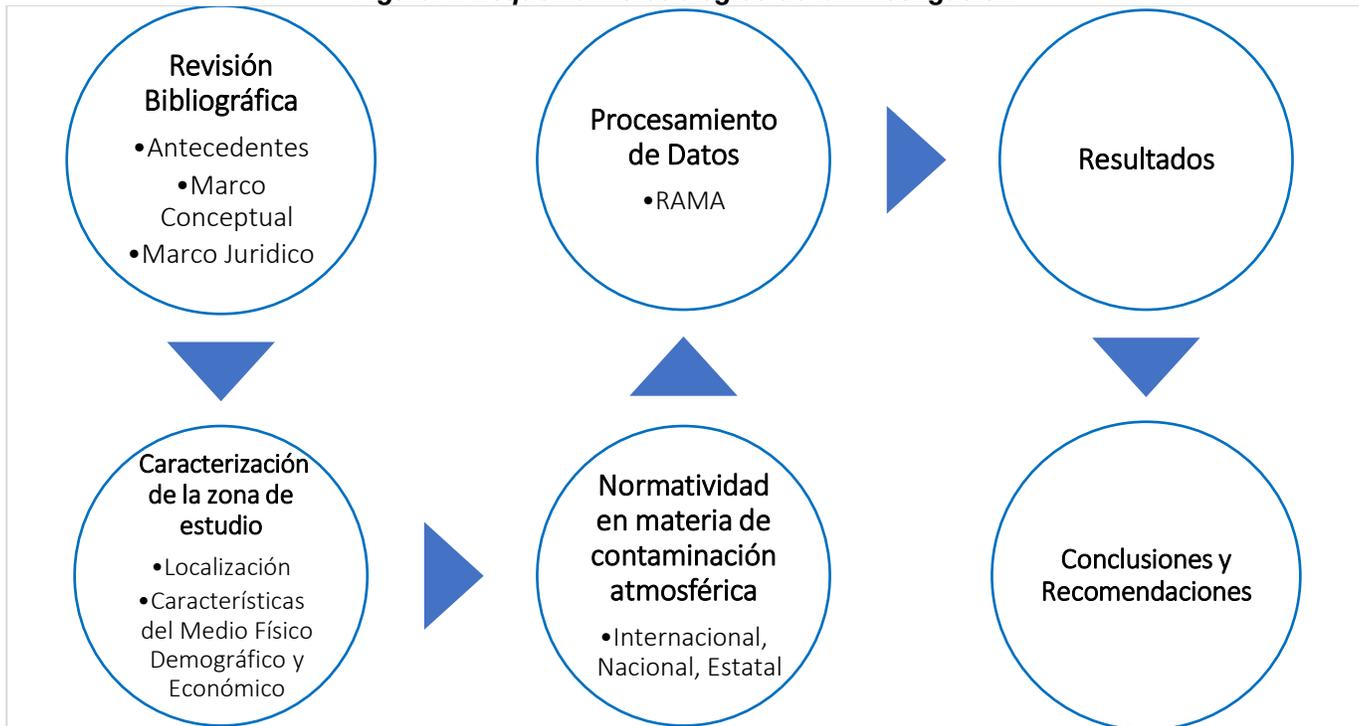
e) Recolección de Datos

Los datos de concentraciones de CO, se obtuvieron de la Base de Datos (BD) de la RAMA-ZMVT en formato Excel por hora y año.

f) Esquema Metodológico

La presente investigación se basa en el siguiente esquema:

Figura 1. Esquema Metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la **Figura 1**, se desglosan las actividades realizadas en la presente investigación. Al inicio de esta, se realizó una revisión previa de tesis, artículos e investigaciones que incluían a diferentes contaminantes y variables meteorológicas a nivel internacional, nacional y local, de tal manera que algunas de las investigaciones incluyen al Monóxido de Carbono y describen su comportamiento a lo largo de un tiempo establecido, así como la dispersión y las causas de este.

De igual manera, se realizó una revisión bibliográfica acerca de los procesos que causan la creación del CO, así como los efectos que el Monóxido de Carbono tiene hacia el ser humano y el ambiente, con la finalidad de obtener una base referencial para los siguientes capítulos detectando los estudios realizados en el pasado por otros investigadores.

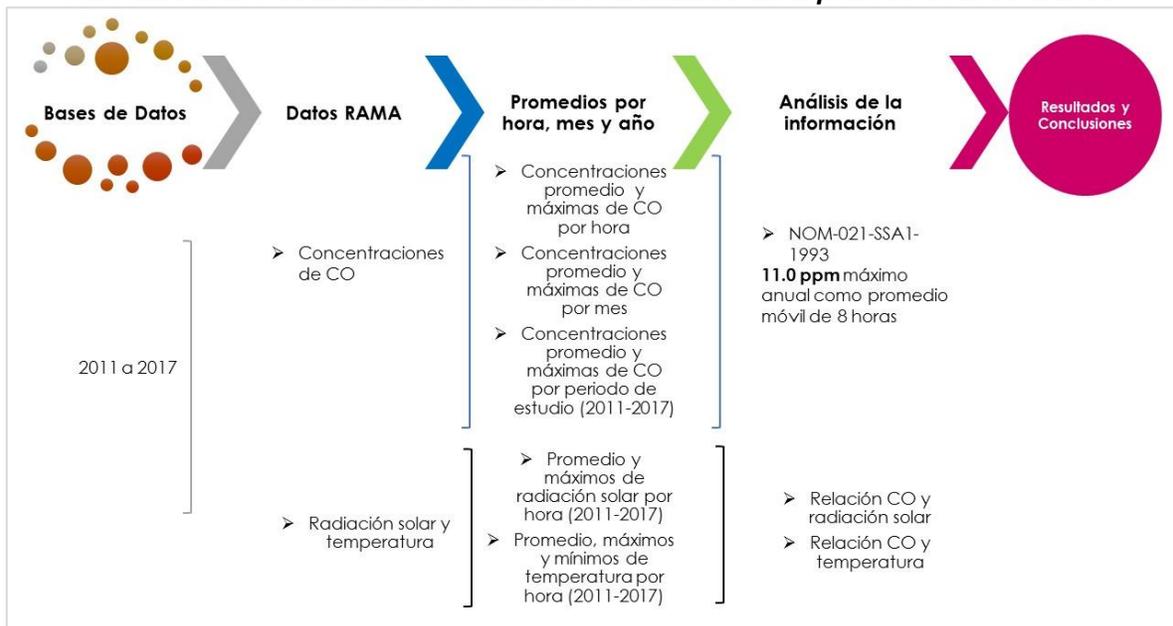
Por otra parte, se caracterizó la zona de estudio respecto a los municipios que abarcan las estaciones de la RAMA-ZMVT, de la cual se obtuvo información referente al medio físico o ambiental considerando el relieve, climas, meteorología

uso de suelo y vegetación; en cuanto a las características del medio demográfico se enfocó en la dinámica poblacional; y el medio económico haciendo referencia a las actividades económicas primarias, secundarias y terciarias que se desarrollan en la presente zona de estudio. Aunado a ello, se obtuvo información cartográfica especializada del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para la realización de representaciones cartográficas de la zona de estudio mediante el software ArcGIS; enfocándose a los municipios que cuentan con estaciones de la RAMA.

En cuanto al Marco Normativo, se abordan acuerdos internaciones respecto al ámbito internacional, normatividad nacional y estatal referentes al monitoreo de la calidad del aire y los límites máximos permisibles de los contaminantes criterio, que están inmersos dentro de la presente investigación.

Posteriormente se obtuvieron Bases de Datos (BD), referentes a concentraciones CO y variables meteorológicas procedentes de las estaciones de la RAMA, **ver Figura 2.**

Figura 2. Esquema Metodológico del tratamiento de datos del Análisis de las concentraciones de Monóxido de Carbono en la ZMVT en el periodo de 2011 al 2017



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvieron las Bases de Datos (BD) de la RAMA-ZMVT en formato “xls”, registrados por fecha, hora, estación y variable, posteriormente se agruparon las concentraciones de Monóxido de Carbono en Microsoft Excel. Se procedió a limpiar la BD respecto a los valores no válidos (-99.99), de manera que estos no afectaran el análisis de los datos.

Mediante el apoyo de tablas dinámicas se calcularon promedios concentraciones de CO por hora respecto a cada estación, concentraciones máximas de CO por hora, concentraciones promedio de CO por mes/estación, concentraciones máximas por mes y concentraciones promedio de CO respecto a cada año; a fin de identificar la época en la que se presentan mayores concentraciones de CO y si estas rebasan las normas que establecen una buena calidad del aire a lo largo del periodo de estudio.

Así mismo, los promedios y máximos de concentraciones de CO obtenidos anteriormente se procesaron mediante el programa estadístico Excel para posteriormente representar la información mediante gráficas (Hernández, et al., 2010).

Finalmente, se presentaron las gráficas y tablas de tendencia como resultado del documento de investigación para realizar el análisis de las concentraciones de CO, para posteriormente establecer conclusiones y recomendaciones. Adicional a ello, se realizaron relaciones entre el CO y la radiación solar, y del CO con la temperatura, para representar la incidencia del CO como precursor de GEI.

Antecedentes

Antecedentes

A lo largo del tiempo se han realizado diferentes investigaciones con el fin de conocer como se ha manejado la información referente al Monóxido de Carbono, y los estudios realizados a él, en cuanto a su influencia con otros. Por ello, a continuación, se mencionan algunos trabajos previos en relación con la calidad del aire como antecedentes a la presente investigación.

Olivo & Soto-Olivo (2010), realizaron un estudio macro sobre cambios climáticos de tipo documental, relacionada con el comportamiento de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y las temperaturas atmosféricas, desde tiempos pasados a la actualidad; concluyendo que las concentraciones globales, no sólo de Dióxido de Carbono, sino también de Metano y Óxido Nitroso en la atmósfera, han aumentado considerablemente como resultado de las actividades humanas. Por lo que concluyen que existe consenso científico sobre la tendencia ascendente de la temperatura promedio superficial durante los últimos años y el incremento en las concentraciones de los GEI, lo cual está provocando un aumento de la temperatura a nivel global.

En la Provincia de Loja, Ecuador 1990-1995, se utilizaron los Softwares ArcGIS e Idrisi Taiga 16.0, para el levantamiento de mapas de distribución de estaciones meteorológicas así como mapas vectoriales, interpolación de la información y análisis de la variabilidad espacio temporal de los factores meteorológicos de estudio; determinación de la variabilidad de la precipitación; con el fin de demostrar que la variabilidad espacial y temporal de la precipitación y temperatura están ligadas al Cambio Climático. Ya que, de acuerdo con los análisis de anomalías extraídas de la serie de tiempo, el comportamiento general de la precipitación en las Cuencas de Loja muestra la existencia de fenómenos lluviosos que superan el 95 % de confiabilidad, estos fenómenos se acentuaron en los años 1993, 1998 y 1999; posiblemente por Fenómeno del Niño que se presentó en estos años. Las lluvias

con menos intensidad representan los periodos secos, que se localizan en los años 1990 y 1995 (Chamba & Chuncho, 2001).

De la Cruz, F., et al., (2011), evaluaron la dispersión local de los contaminantes: Dióxido de Azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y material particulado provenientes de una zona industrial. El estudio se realizó mediante el Sistema de Modelos de Dispersión Gaussiana de contaminantes AERMOD. Para la evaluación de los contaminantes se analizaron dos ambientes de modelación: urbano y rural. Se determinaron las concentraciones de SO₂ (µg/m³) durante 1 h y 24 h y en un período de 1 año, que superaban los límites permisibles (500, 50 y 20 µg/m³). Igualmente, se registró para cada período el número de ocasiones en que las concentraciones de SO₂ superaron las de referencia en cada uno de los ambientes analizados (urbano: 39, 61 y 39; rural: 99, 75 y 25). Obteniendo valores máximos de concentración de SO₂ superiores a los permitidos para todos los períodos de tiempo estudiados (1 h, 24 h, 1 año), lo que ratifico la necesidad de realizar acciones para controlar las emisiones de SO₂.

En 2010, Romero, et al., relacionaron las temperaturas urbanas y concentraciones de material particulado de las Comunas Peñalolén, Santiago Centro y Cerrillos, Chile. Para ello, se tomó en cuenta temperaturas del aire, mediciones de dirección y velocidad de viento, seleccionando aquellos días en que el promedio diario superó la norma de calidad establecida por CONAMA que corresponde a 150 µg/m³. Se localizaron las estaciones de monitoreo mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 9.3, anexándole una tabla de atributos con los datos diarios promedios, máximos y mínimos de temperatura y contaminación; realizando el método de interpolación Kriging; obteniendo el patrón de distribución espacial de la contaminación por material particulado muestra una división de la ciudad en dos zonas bien diferenciadas, Oriente y Poniente, lo que se relaciona con la presencia de dos grandes zonas termales. Siendo la parte poniente la que presenta mayores acumulaciones de calor y la parte Oriente presenta islas frías.

De la misma forma, se han realizado investigaciones considerando estudios transversales de tipo ecológico que asocia dos tipos de variables: ambientales (datos diarios de los contaminantes y variables meteorológicas, calculando el valor promedio diario, el valor máximo diario y mínimo diario) y sanitarias (utilizando los registros diarios de morbilidad hospitalaria por grupos edad, sexo y causa como respiratoria, circulatoria, infecciosa y total. Posterior a ello, se realizó un análisis estadístico con descripción de las distintas variables, ambientales, de morbilidad hospitalaria y de mortalidad, usando las correlaciones bivariadas (r de Pearson) y los modelos de series temporales (ARIMA). Sin observar altos niveles de contaminación. Ya que los niveles de partículas altos se presentan a finales del invierno, volviendo a ascender en menor medida en verano. Mostrando una correlación positiva entre los ingresos hospitalarios especialmente por patología respiratoria y los niveles de Óxidos Nitrógeno (NO_x) y Óxidos de Azufre (SO_x) en el total de ingresos y en el grupo de 65 o más edad (López Gigosos, 2009).

De acuerdo con los estudios realizados por Olaya, et al., (2014), en la modelación del comportamiento típico de la concentración promedio octohoraria del Monóxido de Carbono (CO) y Ozono Troposférico (O_3) a lo largo de un día, mediante la implementación de un modelo de regresión no paramétrica. Los datos utilizados provenientes de las mediciones registradas por el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) de la ciudad de Santiago de Cali, para los años 2003 y 2006. Los resultados obtenidos mostraron que el comportamiento de la contaminación octohoraria por O_3 supera el límite máximo permitido de la Norma Colombiana en las estaciones ubicadas en la zona sur de Cali, mientras que la contaminación octohoraria por CO se aproxima al límite máximo permitido en el centro de la ciudad, coincidente con la presencia de fuentes móviles. Las bandas de variabilidad asociadas a la modelación de la contaminación octohoraria del CO , mostraron indicios de que existían diferencias del comportamiento de este contaminante por tipo de día y zonas de vigilancia en los años de estudio; mientras

que, para el O₃ el comportamiento difiere por tipo de día y zonas de vigilancia solo en el año 2006.

De la misma forma, se obtuvo una variación temporal de la concentración de Monóxido de Carbono usando datos del sensor MOPITT, analizando la variabilidad interanual, mensual y trimestral sobre las ciudades de Chilca (Lima, región costa), Huancayo (Junin, región sierra) y Puerto Maldonado (Madre de Dios, región selva), Perú. Utilizando datos satelitales. Mostrando que las concentraciones de CO poseen valores mínimos durante en los meses de verano aumentando hasta el otoño y el invierno, ya que las concentraciones de OH disminuyen, hasta un máximo en primavera, siendo Puerto Maldonado la ciudad con mayor concentración de CO y Huancayo la ciudad con menor concentración de CO (Ñaña, 2014).

Al analizar el comportamiento de las inversiones térmicas y contaminantes atmosféricos en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), durante el periodo 2005-2007. Se recabó información de concentraciones Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno, Ozono, Dióxido de Azufre y partículas menores a 10 micras de las estaciones de la Red de Monitoreo Atmosférico del Gobierno de Jalisco, y sondeos termodinámicos; considerando tres factores relacionados con las condiciones meteorológicas que afectan a la zona: aumento de la temperatura por cada 100 m de altura, espesor de la capa de inversión de la superficie al techo y la hora de ruptura. Así mismo, la inversión térmica se clasificó en débil, moderada y fuerte, mostrando una relación significativa entre los días con inversión térmica de gran espesor y duración con la acumulación de contaminantes, lo cual provoca que se incrementen los índices de contaminación en la zona. Los meses con presencia importante de inversiones térmicas y contaminación elevada ocurrieron durante las estaciones de invierno y primavera (noviembre-mayo) (García, et al., 2012).

En el norte de Chiapas, México, se realizó un estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en el periodo 2001 al

2005, recopilando valores horarios de SO_2 , NO_2 , H_2S , PM_{10} , velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión barométrica y radiación solar. Así mismo se realizó un análisis de correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas de valores anuales, mensuales y valores diarios. Por último, se estudió la correlación diaria entre las tres estaciones y se ajustaron rectas de regresión lineal simple en los casos donde la correlación fue significativa y alta. Para medir las correlaciones, se empleó el coeficiente de correlación de Spearman (Ramos, et al., 2010).

En una evaluación de concentraciones de Monóxido de Carbono (CO) en ambiente, cuando estos son generados por fuentes móviles en un sector de alta densidad vehicular y poblacional en de la ciudad de Maracaibo, Venezuela; fueron aplicados criterios para determinar los puntos de muestreo para fuentes móviles, se seleccionaron: La Curva de Molina como zona de emisión la zona de dispersión constituida por dos puntos ubicados en una microescala, uno para época de lluvia y otro para sequía. Utilizaron bolsas de muestreo y el análisis de CO para la captación de este, se realizó mediante Cromatografía de Gases. El lapso total de muestreo consideró dos épocas climatológicas: en los meses de septiembre-octubre (Época Lluviosa) y enero - Febrero (Época Seca). Se evidenció una buena correlación entre los sitios de muestreo para el mismo poluyente indicativo de la influencia de una misma fuente de emisión. Concluyendo que los niveles de CO medidos en la época de sequía superan los obtenidos en la época de lluvia (Machado, et al., 2007).

En el estudio de estimación de las curvas típicas diarias de los contaminantes del mes de mayo al mes de agosto de 2003 en la ciudad de Cali, Colombia, utilizaron datos de Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y Dióxido de Azufre (SO_2) recolectados por las estaciones de monitoreo de la ciudad de Cali. La modelación se realizó usando Regresión no Paramétrica, específicamente un suavizador LOESS, que permite predecir el nivel de contaminación a cualquier hora

del día. Además, se construyen y dibujan intervalos de confianza punto a punto. Mostrando que los contaminantes CO, SO₂ y NO₂ presentaran una acumulación máxima matutina alrededor de las 10:00 am, que coincidió con el fenómeno meteorológico del rompimiento de la inversión térmica. Así mismo, había una menor concentración de contaminantes en época de lluvias en comparación de la época seca (Montoya, et al., 2005).

Hernández, et al., en 2004, realizó una comparación el comportamiento de CO y el clima para los años 1995 al 2001, en la ciudad de Toluca de Lerdo, representando y analizando el comportamiento promedio en todas las estaciones de monitoreo durante la temporada de lluvias (verano) y en la estación de secas (invierno) su actuación espacial o de distribución en las mismas estaciones; formando como complemento de la correlación entre factores climáticos y de concentración, se observó su comportamiento promedio a lo largo de 24 horas en las estaciones que tienen los patrones más representativos de concentración. Donde la acción del viento desarrolla un patrón de distribución gradual que va de sureste a noroeste de la zona incluida en los mapas; mostrando que hay mayores concentraciones CO en invierno que en verano, ya que las precipitaciones y los vientos limpiaban la atmósfera durante esta época del año.

Capítulo 1



Capítulo 1. Marco Conceptual

El presente capítulo pretende dar a conocer un panorama general del comportamiento de las concentraciones de Monóxido de Carbono. Para ello, el capítulo integra un marco conceptual, el cual hace referencia a la contaminación atmosférica, como un problema que impacta y genera alteraciones en la dinámica del planeta, la clasificación de GEI y contaminantes criterio, el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire y la RAMA; para culminar con el CO, sus características, fuentes de emisión, efectos y la influencia que tiene como precursor de GEI.

1.1 Contaminación Atmosférica

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve a la tierra, compuesta por Nitrógeno en un 78%, Oxígeno (21%), Dióxido de Carbono (0.035%), además de vapor de agua y otros gases (0.9%) (Camilloni, et al., s/a).

“La atmósfera que envuelve al planeta cumple funciones esenciales para el mantenimiento de la vida , también aloja a la capa de ozono que filtra la radiación ultravioleta (UV) proveniente del sol, participa en la regulación del climática debido al movimiento de las masas de aire sobre los océanos y las masas continentales, así como por su efecto en las corrientes oceánicas y en el transporte del vapor de agua que después se vierte en forma de precipitación en los continentes” Delworth y Greatbatch, 2000; UNEP, 2012b en (SEMARNAT, 2016).

Aunado a ello, a la atmósfera se le liberan sustancias producidas por actividades antropogénicas, las cuales se pueden mantenerse suspendidas por cierto tiempo. Aunque algunas de estas sustancias pueden degradarse en la atmósfera, deponerse en el suelo y los océanos, o integrarse en los ciclos biogeoquímicos; las emisiones que han aumentado son la causa de algunos de los problemas

ambientales (la degradación de la capa de ozono, el cambio climático y el deterioro de la calidad del aire en las zonas urbanas) (SEMARNAT, 2016).

De ahí que se defina a la **contaminación atmosférica** como la presencia en la atmósfera de sustancias que implique en cierta cantidad molestias o riesgo para la salud de los seres vivos y el medio ambiente, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

De acuerdo con Amable y otros (2017), los principales mecanismos de contaminación atmosférica se deben a los procesos industriales que implican combustión, como en automóviles y calefacciones residenciales los cuales generan Dióxido y Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno y Azufre, entre otros. Así mismo, algunas industrias que emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no realizan combustión completa.

1.1.1 Tipos de contaminantes

Romero et al., (2006) hacen referencia que los contaminantes se dividen por su forma física en:

- **Gases**
- **Aerosoles:** líquidos y sólidos

También se clasifican por el origen de los contaminantes:

- **Primarios:** son los que se emiten directamente a la atmósfera como partículas sólidas y líquidas en suspensión, gases y vapores
- **Secundarios:** son los que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies

no contaminantes en la atmósfera como ácido sulfúrico y sulfatos, ozono, otros contaminantes fotoquímicos (Romero, et al., 2006) y (SEMARNATI, s.f.).

Tabla 1. Clasificación de contaminantes por su origen

| Contaminantes Primarios | Contaminantes Secundarios |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Óxidos de Azufre (SO_x)• Monóxido de Carbono (CO)• Óxidos de Nitrógeno (NO_x)• Partículas (PM₁₀, PM_{2.5})• Hidrocarburos (HC) | <ul style="list-style-type: none">• Ozono (O₃)• Dióxido de Carbono• Lluvia ácida• Dióxido de Azufre (SO₂)• Smog fotoquímico |

Fuente: Elaboración propia con base en SEMARNAT (2013).

1.1.2 Fuentes de emisión

Considerando la fuente de emisión de los contaminantes, estos se clasifican en:

- **Fijas:** instalaciones que permanecen estáticas, se dividen en
 - *Puntual:* es una instalación establecida con la finalidad de desarrollar operaciones o procesos industriales, o actividades que emitan contaminantes a la atmósfera.
 - *De área:* aquellas que incluyen actividades en un área determinada, se identifica al sector de comercios y servicios.
- **Móviles:** equipo, maquinaria o instalación no fija que genera emisiones a la atmósfera, incluye al sector transporte por los motores de combustión interna.
- **Naturales:** eventos meteorológicos, geológicos y/o procesos metabólicos

Ilustración 1. Fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera



Fuente: UNAL, (2016).

1.1.3 Eliminación contaminantes

Así mismo y refiriendo a Molina & Molina (2005), existe diferentes procesos por los que los contaminantes o químicos son eliminados en la troposfera de la siguiente manera:

- **Eliminación física:** Cuando un químico de la atmósfera se elimina por la lluvia (deposición húmeda), es decir, el químico se disuelve con las gotas de lluvia y precipita, Sin embargo, al caer al suelo el contaminante con la lluvia este puede ser ahora algo que afecte otra parte del medio ambiente.
- **Eliminación química:** El químico contaminante se destruye por una reacción química para convertirse en otra. En este caso algunos de los contaminantes secundarios (nuevos) son más dañinos que sus precursores (primarios).

1.1.4 Efectos de la contaminación del aire

➤ **Ambiente**

“Los efectos de la contaminación del aire sobre los ecosistemas son resultado de los contaminantes secundarios, como la lluvia ácida. La caída de partículas ácidas obstruye y acidifica los diminutos poros de las hojas, dificultando el proceso de fotosíntesis, la degradación de los suelos, lo cual afecta las raíces y la nutrición de las plantas”. Además de la disminución de peces al acidificar lagos, lagunas, ríos y arroyos (SEMARNAT, 2013).

➤ **Ser humano**

Los efectos en la salud del ser humano debido a las emisiones vehiculares pueden provocar efectos inflamatorios irritativos en el aparato respiratorio; las principales son: nitrógeno, ozono, oxidantes fotoquímicos, bióxido de azufre y las partículas. También pueden ocurrir síntomas en vías respiratorias inferiores y superiores, enfermedades del pecho, efectos en asmáticos, bronquitis crónica y aguda, y cambios en la función pulmonar (SEMARNAT, 2013; Ferrer & Escalante, 2009).

1.2 Gases de Efecto Invernadero (GEI)

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) menciona que las emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) han aumentado entre el año 2000 y 2010 a niveles sin precedentes y han alterado la regulación natural del Efecto Invernadero (EI) a pesar de las crecientes políticas para reducir el cambio climático que esto provoca (IPCC, 2014).

El Efecto Invernadero es un fenómeno natural, el cual permite que exista vida en el planeta Tierra, debido a que establece que la temperatura promedio de esta no sea inferior a -18°C (INECC, 2015).

Caballero et al. (2007), hacen mención que al calentarse la superficie de la Tierra transforma la luz solar de alta a radiación de baja energía (ondas de longitud grande, cargadas hacia el infrarrojo) que refleja nuevamente hacia la atmósfera. Esa energía de onda amplia o infrarroja puede ser absorbida de manera muy eficiente por algunos de los gases atmosféricos, siendo ésta la principal fuente de calor para la atmósfera.

Los gases que permiten la ocurrencia del Efecto Invernadero son los siguientes:

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2015) y Global (2015) consideran al CO_2 ¹, N_2O ², CH_4 ³ y O_3 ⁴ por su capacidad de absorber el calor.

Por otro lado, el Protocolo de Kioto (ONU, 1998), contempla las emisiones de seis GEI: Dióxido de Carbono, Metano, Óxido Nitroso, Hidrofluorocarbono⁵, Hidrocarburo Perforado⁶ y Hexafluoruro de Azufre⁷.

Benavides B. & León A., (2007) clasifica a los GEI en:

GEI Directos: Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera; se consideran el CO_2 , CH_4 , N_2O y los compuestos halogenados.

¹ Dióxido de carbono (CO_2)

² Óxido Nitroso (N_2O)

³ Metano (CH_4)

⁴ Ozono (O_3)

⁵ Hidrofluorocarbono (HFC)

⁶ Hidrocarburo Perforado (PFC)

⁷ Hexafluoruro de Azufre (SF_6)

GEI Indirectos: Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran los NO_x, compuestos orgánicos volátiles diferentes del Metano y el *Monóxido de Carbono*.

Para el caso de la presente investigación, en CO es considerado como un contaminante primario y un Gas de Efecto Invernadero indirecto, ya que es precursor de otros GEI y contaminantes.

1.3 Contaminantes Criterio

De acuerdo con la NOM-156-SEMARNAT-2012 (DOF, 2012), que refiere al establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Se considera como contaminantes criterio a aquellos contaminantes normados a los que se les han establecido un límite máximo de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población.

Los contaminantes considerados por la NOM-156-SEMARNAT-2012 son: Ozono (O₃), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Plomo (Pb), partículas suspendidas totales (PST) , y partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5}) (DOF, 2012).

1.4 Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico o RAMA, es aquella que proporciona información acerca del estado del aire respecto de los contaminantes criterio en la República Mexicana.

La Red de Automática de Monitoreo Atmosférico en el Estado de México opera a partir de 1993, ya que surge como un programa de vigilancia atmosférica que busca evaluar la calidad del aire, crear medidas para controlar la contaminación, evaluar el cumplimiento de estándares de calidad del aire, observar y conocer el impacto de los contaminantes a lo largo del tiempo, para desarrollar estrategias que prevengan problemas por contaminación (RAMA, 2014).

La RAMA se establece en el área de mayor densidad poblacional (asentamientos mayores a 500 mil habitantes y/o zonas metropolitanas) dentro del estado para conocer la calidad del aire de la misma.

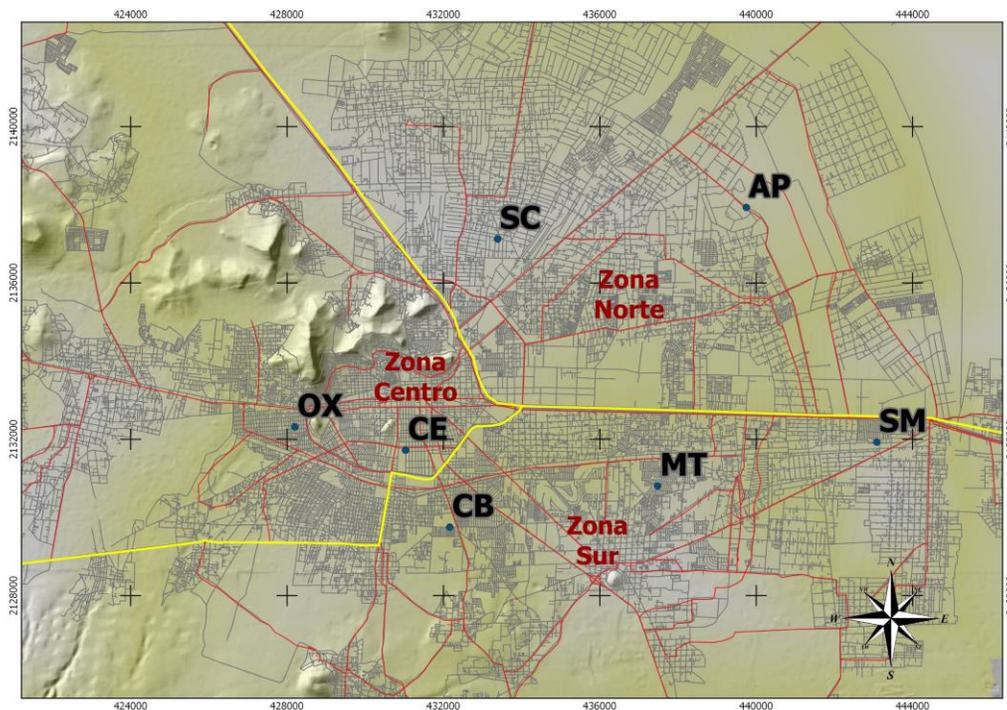
De acuerdo con la RAMA el número promedio de estaciones de monitoreo que deben considerarse para los programas de vigilancia de la calidad del aire en zonas urbanas e industriales de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud va de 2 a 10, dependiendo del tamaño de la población. En el caso del Valle de Toluca, que cuenta con una población de 1,516,996 habitantes, el número mínimo de estaciones es 5 (RAMA, 2014).

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca cuenta con siete estaciones, las cuales se encuentran divididas en tres zonas:

- *Zona Centro:* conformada por la estación Toluca Centro y la estación Oxtotitlán.

- *Zona Norte:* empleada por la estación Aeropuerto y la estación San Cristóbal Huichochitlán.
- *Zona Sur:* conformada por tres estaciones, las cuales son llamadas Metepec, Ceboruco y San Mateo Atenco.

Figura 3. Localización de Estaciones de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca

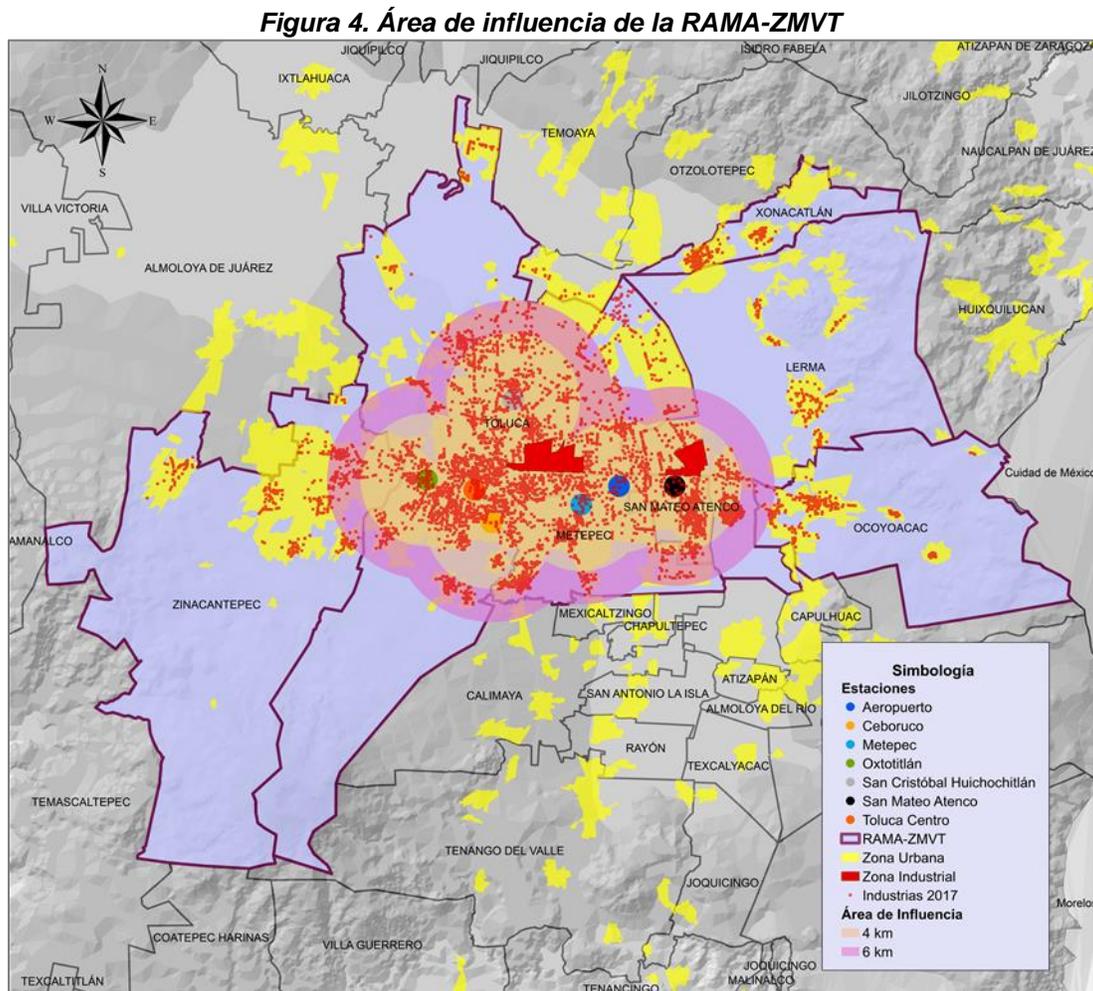


Fuente: <http://rama.edomex.gob.mx/estaciones>.

Tomando en cuenta la NTEA-007-SMA-DS-2006 (GEM, 2007), que establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire menciona que la RAMA-ZMVT tiene una representatividad espacial “vecinal” lo que significa que el área de influencia es de 500 metros a 4 kilómetros.

Mientras que Domínguez Arce (2015) menciona que la representatividad espacial de la RAMA-ZMVT es de 6 kilómetros de acuerdo con una entrevista al personal de

la red. Por lo anterior, se elaboró un mapa con el área de influencia según cada fuente (*ver figura 4*).



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2018) y datos propios.

1.4.1 Medición de la RAMA

Las estaciones de monitoreo atmosférico están conformadas por analizadores automáticos para el monitoreo de los contaminantes criterio que establece la norma y una torre meteorológica donde están instalados los sensores que miden las variables meteorológicas.

También cuentan con energía eléctrica regulada para evitar descargas eléctricas y un sistema de adquisición de datos basado en una plataforma PC y una red LAN interna con un sistema de comunicación con el Centro de Control (RAMA, 2014).

En ella, se monitorean 6 contaminantes atmosféricos criterio como Ozono, PM_{10} , $PM_{2.5}$, Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre, y las variables climatológicas como *la temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, precipitación, radiación solar, humedad relativa y la presión atmosférica.*

Ilustración 2. Estación de Monitoreo Atmosférico, San Cristóbal



Fuente: Imagen propia.

Ilustración 3. Equipo de Medición de la RAMA-ZMVT



Fuente: Imagen propia.

Ilustración 4. Plataforma PC como recabador de información de la RAMA-ZMVT



Fuente: Imagen propia.

Considerando los contaminantes que mide la RAMA, a continuación, se describe brevemente cada uno de ellos.

1.4.1.1 Ozono (O_3)

El Ozono es un gas que está presente en la atmósfera superior de la Tierra como a nivel del suelo, este puede ser bueno (si está presente en la atmósfera superior a una distancia de 10-30 millas sobre la superficie) ya que nos protege de los rayos UV o malo (si se encuentra a nivel de la superficie terrestre), ya que , reacciona en presencia de la luz solar, entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, contaminantes emitidos por los automóviles, plantas de energía, calderas industriales, refinerías, plantas químicas y otras fuentes de emisiones. En concentraciones elevadas afecta al aparato respiratorio e irritando las mucosas, pudiendo llegar a producir afecciones pulmonares (RAMA, 2014).

1.4.1.2 Material Particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

Las partículas suspendidas forman una mezcla de diferentes materiales sólidos y líquidos, los cuales varían en tamaño, forma y composición, dependiendo principalmente de su origen. Su tamaño varía desde 0.005 hasta 100 μm de diámetro aerodinámico (da), esto es, desde unos cuantos átomos hasta el grosor de un cabello humano (RAMA, 2014).

Las partículas de diámetro mayor a 100 μm no pueden mantenerse en suspensión, ya que son partículas sedimentables, por ello solo se consideran como contaminantes del aire aquellas partículas menores a 100 μm .

De acuerdo con la RAMA (2014), se caracterizan por mostrar efectos sobre la visibilidad, debido a que dispersan y absorben la luz. Además, entre más pequeñas sean las partículas pueden penetrar directamente al interior de los pulmones con posibles efectos tóxicos debido a sus inherentes características fisicoquímicas. Tienen un origen antropogénico o natural: de forma natural provienen de erupciones

volcánicas, tormentas de polvo, incendios forestales o rocío marino; y de forma antropogénica, su origen se debe a la quema de combustibles fósiles.

1.4.1.3 Monóxido de Carbono (CO)

El Monóxido de Carbono o CO, es un gas incoloro e inodoro el cual se forma cuando un combustible que contiene carbono no se quema completamente. De manera natural el CO se forma por la quema de biomasa y la oxidación de compuestos orgánicos como CH₄ (gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. Se caracteriza por ser estable y tiene una vida promedio en el aire de 2 meses (RAMA, 2014).

1.4.1.4 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Es un gas que pertenece a los óxidos de nitrógeno (NO_x). El Dióxido de Nitrógeno es un gas de colores rojo, naranja y café con olor característico repugnante, es altamente corrosivo y un gran oxidante. Fisiológicamente es irritante y tóxico (RAMA, 2014). Es producido principalmente en procesos de combustión a altas temperaturas, es capaz de absorber luz visible, lo cual contribuye a la disminución de la visibilidad.

Las concentraciones en la naturaleza del Dióxido de Nitrógeno oscilan entre las 10 y 50 ppb (partes por billón), provenientes por la quema de biomasa, la actividad bacteriana y volcánica, y en menor grado por descargas eléctricas por las tormentas. Se caracteriza por ser precursor del ozono troposférico y responsable de la lluvia ácida, por lo que causa problemas de visibilidad (RAMA, 2014).

1.4.1.5 Dióxido de Azufre (SO₂)

Es un gas incoloro, capaz de ser detectado por su sabor en concentraciones entre 1000 y 3000 µg/m³ (aproximadamente 0.38 y 1.15 ppm), en concentraciones superiores a los 10,000 µg/m³ (casi 3 ppm) tiene un olor caustico irritante. El SO₂ reacciona catalíticamente o de forma fotoquímica en fase gaseosa con otros gases contaminantes para producir trióxido de azufre, ácido sulfúrico, sulfitos y sulfatos que son aún más irritantes para el sistema respiratorio que el mismo SO₂ (RAMA, 2014).

La RAMA (2004) menciona que este gas es generado por medio de fuentes naturales como las erupciones volcánicas y la actividad geotérmica que libera grandes cantidades de SO₂, aunque la mayor fuente natural es la oxidación del material orgánico que contiene Azufre o la reducción del Sulfuro de hidrógeno en condiciones anaerobias. En fuentes antropogénicas el SO₂ proviene de la quema de combustibles que contienen Azufre tales como carbón o aceite; durante el proceso de refinamiento del petróleo para extraer gasolina, en la producción de ácido sulfúrico o cuando los metales son extraídos de las menas de algunos minerales como el aluminio, cobre, zinc, hierro y plomo.

De la misma manera, en la RAMA se encuentran sensores que miden las siguientes variables meteorológicas:

- ***Temperatura ambiente***

Aquella temperatura que es registrada al momento de tomar la lectura en grados Celsius (°C).

- ***Velocidad y dirección del viento***

El viento es el aire en movimiento relativo de la superficie terrestre. La velocidad del mismo es la razón del movimiento del viento en unidad de distancia por unidad de tiempo. Asimismo, la dirección del viento es desde la cual sopla el

viento y puede ser expresada en grados a partir del norte geográfico (SMN, 2010).

- ***Precipitación***

Son las partículas de agua, en estado líquido o sólido que caen desde la atmósfera hasta la superficie terrestre.

- ***Radiación solar***

Es la transferencia de energía por medio de radiaciones electromagnéticas que emite el sol. Esta determina la temperatura de la Tierra.

- ***Humedad relativa***

La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua contenida en un metro cúbico de aire. La saturación cuando una masa contiene la máxima cantidad de vapor de agua que puede estar presente con una cierta temperatura y una cierta presión. Con lo anterior, la humedad relativa es la relación entre la humedad absoluta y la cantidad de saturación (REITEC, 2002).

- ***Presión atmosférica***

De acuerdo con el SMN (2010), es la presión que ejerce la atmósfera en un punto específico como consecuencia de la acción de la fuerza de gravedad sobre la columna de aire.

1.4.2 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)

La Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México presenta reportes de la calidad de aire que son emitidos por la RAMA en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Los reportes son presentados en la escala IMECA. El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire mejor conocido como IMECA, es una herramienta analítica desarrollada para informar sobre los niveles de contaminación 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, s.f.).

Su principal objetivo es estandarizar y traducir en una escala de puntos IMECA, una concentración de un contaminante que se promedia en un día y una hora en particular. De este modo, puede calcularse un IMECA para cada uno de los contaminantes básicos o primarios antes mencionados: O₃, NO₂, SO₂, CO, PM₁₀ (Trejo Vázquez, 2006).

Por ello, existe una proporcionalidad entre la concentración del contaminante y el IMECA, esta es la misma desde una concentración de cero, hasta una concentración “de quiebre”, que corresponde al valor máximo permitido por la normatividad vigente el contaminante. A este punto corresponde un valor del IMECA de 100 puntos (Trejo Vázquez, 2006).

A partir de lo anterior, se establece la siguiente escala:

Tabla 2. Calidad del Aire según IMECA

| Intervalos | 0-50 | 51-100 | 101-150 | 151-200 | 201-300 |
|------------------|-------|---------|---------|----------|---------------------|
| Calidad del aire | Buena | Regular | Mala | Muy Mala | Extremadamente Mala |

Fuente: RAMA, (2014) Disponible en: <http://rama.edomex.gob.mx/contaminacion-atmosferica/imeca>

Tabla 3. Calidad del Aire según ppm

| Intervalos | 0 - 5.5 | 5.6 - 11 | 11.1 - 16.5 | 16.6 - 22 | 22.1 - 33 |
|------------------|---------|----------|-------------|-----------|---------------------|
| Calidad del aire | Buena | Regular | Mala | Muy Mala | Extremadamente Mala |

Fuente: elaboración propia con base en RAMA, (2014).

La RAMA de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (2014), presenta al público reportes de los contaminantes y demás características en el ambiente que esta mide según tres tipos, los cuales se mencionan a continuación.

- *Reporte diario*

Se da conocer la calidad de aire que es registrada durante el día con corte a la 16:00 horas. La información es mostrada en valores IMECA máximo para cada zona y contaminante. De igual manera presenta el pronóstico del clima y de la calidad del aire para las próximas horas.

- *Reporte mensual*

Muestra como varia la calidad del aire día a día a lo largo del mes. Los datos son registrados en IMECA para cada contaminante; el IMECA máximo del día donde específica que contaminante corresponde, en que estación se presentó y a qué zona pertenece esa estación. De la misma forma, hace mención de los valores máximos del mes para cada contaminante.

- *Mosaico*

Es la representación histórica del comportamiento de los contaminantes en unidades IMECA. Solo se muestra para los principales contaminantes de la zona

metropolitana del valle de Toluca: PM₁₀ con datos desde 1998 a la fecha y ozono con datos de 1994 a la fecha.

1.5 Monóxido de Carbono

El Monóxido de Carbono o CO es un gas inodoro, incoloro e insípido, compuesto por una molécula de Carbono y uno de Oxígeno. Este es producto de una combustión incompleta cuando hay una cantidad insuficiente de O₂.

1.5.1 Características

El CO al ser un gas incoloro, inodoro e inflamable que se forma por la combustión incompleta de material orgánico, en deficiente presencia de oxígeno; es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera, y uno de los mayores problemas ambientales de América Latina (Téllez, et al., 2006).

Así mismo, el CO es producto de la combustión de los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel, procesos industriales, incendios forestales y urbanos y la incineración de materia orgánica (Téllez, et al., 2006).

En la troposfera, el Monóxido de Carbono es frecuentemente el principal sumidero de radicales Hidroxilo (OH). Ya que es uno de los muchos componentes que reaccionan mediante la oxidación del Carbón, Nitrógeno y Azufre.

Debido a las características antes mencionadas, ya que afectan la salud del ser humano y al medio ambiente, es necesario regularlo. Por ello, a continuación, se presentan las normas a nivel internacional y nacional que lo regulan respecto a los límites permisibles del CO.

Tabla 4. Normas de la calidad del aire del CO

| | México NOM-021-SSA1-1993 | Organización Mundial de la Salud (OMS) | | United States Environmental Protection Agency (US EPA) | |
|--------------------------------|---------------------------------|---|-------|---|-------|
| | | 8 hrs. | 1 hr. | 8 hrs. | 1 hr. |
| Límite permisible de CO | 11ppm | 26 ppm | 9 ppm | 35 ppm | 9 ppm |

Fuente: elaboración propia con base en Molina & Molina, (2005); Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, (2016).

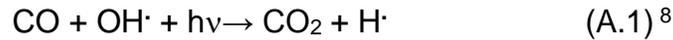
1.5.1.1 Precursor de GEI

Aunque el CO por sí mismo no contribuye directamente al EI, a causa de su influencia sobre los radicales OH[•], éste tiene importancia climatológica ya que su cantidad afecta indirectamente la formación de otros GEI tales como el Metano y el Ozono troposférico (Benavides B. & León A., 2007).

Este es considerado un GEI indirecto, creado cuando el carbón contenido en los combustibles es quemado incompletamente, y posteriormente al entrar en contacto con la atmósfera es oxidado a CO₂ a través de los procesos naturales. El CO es producido también en la estratosfera por la oxidación de Metano (por descomposición anaerobia de la materia orgánica), pero es rápidamente destruido por la reacción (Ortega Martínez, 2009; CRANA, 2016).

De acuerdo con Ortega Martínez, (2009) en la atmósfera mediana (10-100 km) el CO no es activo en la fotoquímica del Ozono. La oxidación de CO en la troposfera es muy simple y sirve como primer paso en la comprensión de la química de compuestos orgánicos.

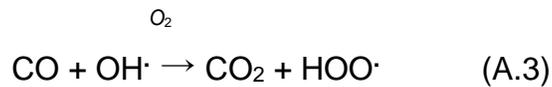
La fotoquímica y transporte de CO en la troposfera es de importancia debido a la producción de GEI como el Ozono y el CO₂. Así mismo el CO reacciona con el radical hidroxilo, de la siguiente forma:



Este proceso predomina cuando existe luz del sol ya que el $\text{OH}\cdot$ es producido por la fotólisis del H_2O y su concentración disminuye en la oscuridad. El átomo de Hidrógeno formado en la reacción **A.1** se combina rápidamente con O_2 para formar el radical hidroperóxilo $\text{HOO}\cdot$ de la siguiente forma:



Donde M es un tercer cuerpo. También se pueden resumir las ecuaciones anteriores como:



La adición de un átomo de H a O_2 debilita el enlace O-O y el radical HO_2 reacciona mucho más rápido que el O_2 .

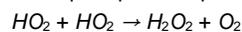
La $\text{HOO}\cdot$ ⁹ reacciona más cuando el NO está presente:



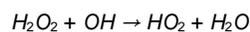
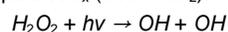
El NO_2 formado en la reacción **A.4** participa en el ciclo fotoquímico de NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$).

⁸ Ortega Martínez, (2009)

⁹ El HO_2 reacciona también consigo mismo para producir peróxido de hidrógeno (H_2O_2):



El H_2O_2 es un reservorio temporal para HO_x ($\text{OH} + \text{HO}_2$):





Finalmente, el término de la cadena ocurre cuando el $OH\cdot$ y NO_2 reaccionan para formar Ácido Nítrico.



Además de intervenir de menor manera en las reacciones fotoquímicas para la creación de O_3 , debido a que en grandes cantidades de CO en el aire se produce la oxidación completa de NO a NO_2 y por lo tanto la formación de O_3 . También *“se ha observado que la presencia de Monóxido de Carbono (CO), en concentraciones de 100 ppm superiores, acelera la oxidación de NO a NO_2 . Sin embargo, debido a que las concentraciones ambientales del CO son frecuentemente del orden de 5 a 30 ppm, es muy probable que la influencia en el smog fotoquímico sea muy pequeña”*, (Gómez, 2000).

1.5.2 Fuentes

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España (2016), la principal fuente de emisión del CO se produce en el sector transporte debido a la combustión incompleta de gas, petróleo, gasolina, carbón y aceites; así como aparatos domésticos que queman combustibles fósiles tales como las estufas, hornillos o calentadores son una fuente de emisión común.

Así mismo se debe en menor escala; algunos *procesos naturales* son capaces de emitirlo, como la descomposición de materia orgánica, los incendios forestales o su emisión de los procesos naturales que se llevan a cabo en los océanos (DOF, 1993a).

“El CO se genera naturalmente en la producción y degradación de la clorofila de las plantas así como en los incendios forestales al producirse combustión incompleta del carbono. También se origina por la oxidación atmosférica del metano procedente de la fermentación anaerobia de la materia orgánica” (Gobierno de la Rioja, 2016).

El GEM y la SEMARNAP en el Programa de Aire Limpio del Valle de Toluca de 1997-2000 se menciona que las fuentes principales de emisiones de CO están constituidas por el transporte impulsado con motores de combustión interna, la disposición inadecuada de residuos sólidos, procesos industriales y la generación de energía; en este caso, los últimos tres no emiten tanto CO como el transporte (*fuentes móviles*) antes mencionado.

En la siguiente tabla puede observarse las emisiones de CO por fuentes móviles, fijas y de área durante los años 2005 y 2008. En ella es de importancia considerar que las emisiones entre ambos años disminuyeron en el municipio de Lerma y Ocoyoacac, mientras que en los demás municipios aumentaron las emisiones.

Tabla 5. Emisiones de CO (ton) por tipo de fuente en la RAMA-ZMVT

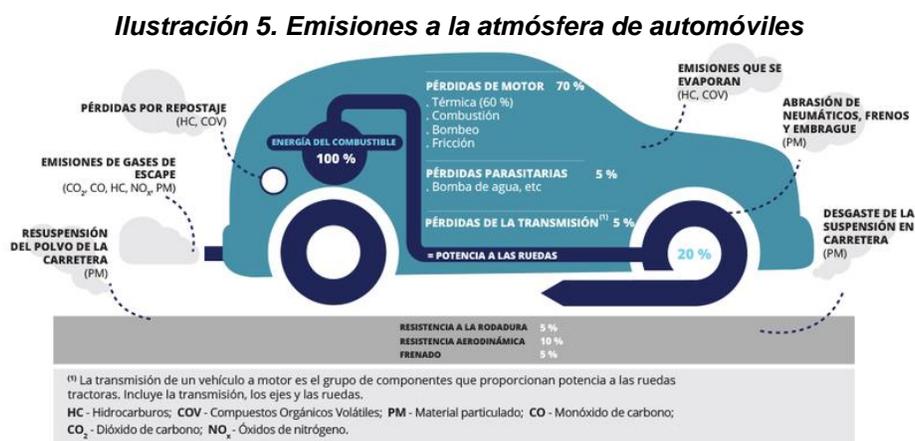
| Fuente | 2005 | | | | 2008 | | | |
|------------------|------------------|---------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| | Área | Fijas | Móviles | Total | Área | Fijas | Móviles | Total |
| Lerma | 2,905.73 | 33.09 | 99,357.62 | 102,296.44 | 1,001.60 | 42.63 | 58,970.11 | 60,014.39 |
| Metepec | 320.6 | 0.61 | 169,844.25 | 170,154.92 | 191.19 | 90.01 | 100,545.75 | 100,826.95 |
| Ocoyoacac | 854.7 | 16.46 | 31,423.68 | 32,294.84 | 392.31 | 14.73 | 19,205.67 | 19,612.71 |
| San Mateo Atenco | 46.8 | 9.7 | 29,656.76 | 29,713.26 | 316.85 | 5.58 | 18,000.40 | 18,322.88 |
| Toluca | 5,444.89 | 519.49 | 972,295.88 | 978,260.26 | 6,920.43 | 181.14 | 895,665.79 | 902,767.36 |
| Xonacatlán | 1,244.20 | | 33,605.29 | 34,849.49 | 852.09 | | 31,159.99 | 32,012.08 |
| Zinacantepec | 2,514.46 | 1.82 | 96,744.02 | 99,260.30 | 2,636.43 | 6.89 | 89,538.79 | 92,182.11 |
| TOTAL | 13,331.30 | 518.17 | 1,432,927.50 | 1,344,533.07 | 12,310.90 | 340.98 | 1,213,086.50 | 1,225,738.48 |

Fuente: elaboración propia con base en SEMARNAT, (2008).

De acuerdo con el DENUE (INEGI, 2017) en la RAMA-ZMVT están registradas 7,828 industrias manufactureras, consideradas en la tabla 5 como **fuentes fijas**.

Los motores de combustión interna se consideran las principales fuentes de emisión de CO debido a que anteriormente no existían convertidores catalíticos sino hasta 1975.

Los convertidores catalíticos forman parte importante en el combate a la contaminación del aire; debido a que los escapes de autos contribuyen a la formación de smog fotoquímico con NO_x, hidrocarburos no quemados y cuando se realiza la combustión incompleta hay CO. Por ello, estos convertidores realizan las funciones de oxidar el CO e hidrocarburos no quemados a CO₂ y agua, y a la reducción de NO_x a gas nitrógeno.



Fuente: https://www.eea.europa.eu/es/pressroom/infografia/emisiones-de-vehiculos-y-eficiencia/@_@images/a3dc1cb4-970b-4514-8a9f-2f6df1cb09a2.png.

De acuerdo con Cuatecontzi, et al., (2004) “se estimó que con la introducción de convertidores catalíticos alcanzo una reducción de 35% de emisiones de CO, 20% de hidrocarburos no metálicos y 8% de NO_x. En cuanto a las emisiones de GEI, se redujeron en un 22% de CH₄”.

La tabla 5 hace alusión al total de vehículos registrados en los años 2011 al 2017 correspondiente a la zona de estudio.

Tabla 6. Vehículos de motor registrados 2011-2017

| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Edo. Méx. | 3,651,210 | 4,188,044 | 4,667,653 | 5,185,808 | 5,917,351 | 6,576,827 | 7,271,930 |
| Lerma | 29,507 | 33,487 | 36,791 | 39,293 | 43,489 | 47,608 | 52,890 |
| Metepec | 87,268 | 97,138 | 105,950 | 113,670 | 124,464 | 134,535 | 145,565 |
| Ocoyoacac | 10,536 | 11,813 | 12,988 | 13,969 | 15,604 | 17,187 | 18,727 |
| San Mateo Atenco | 14,910 | 17,539 | 19,661 | 22,348 | 24,799 | 27,047 | 29,813 |
| Toluca | 285,470 | 315,387 | 340,747 | 361,682 | 390,417 | 416,930 | 448,071 |
| Xonacatlán | 7,731 | 9,007 | 10,090 | 10,892 | 11,849 | 12,868 | 13,739 |
| Zinacantepec | 25,826 | 29,120 | 31,198 | 33,140 | 35,801 | 38,381 | 41,363 |
| TOTAL RAMA-ZMVT | 461,248 | 513,491 | 557,425 | 594,994 | 646,423 | 694,556 | 750,168 |

Fuente: elaboración propia con base en INEGI, (2018a).

1.5.3 Efectos del CO en el ambiente

En cuanto a su impacto en el medio ambiente, al ser una sustancia extremadamente inflamable que reacciona vigorosamente con Oxígeno, Acetileno, Cloro, Flúor y Óxidos Nitrosos, puede provocar humos tóxicos e incendios si existen focos de calentamiento (Ministerio de Agricultura y Pesca, 2016).

Así mismo, el CO como precursor de Ozono troposférico y al estar próximo a la superficie terrestre provoca quemaduras importantes en el ser humano y es dañino para la flora y fauna (Ministerio de Agricultura y Pesca, 2016).

1.5.4 Efectos del CO en el ser humano

Con el paso del tiempo se han realizado diferentes estudios con el fin de demostrar que las altas concentraciones de CO pueden causar cambios fisiológicos y

patológicos, hasta la muerte del ser humano. Ya que, al ser inhalado priva a los tejidos de oxígeno necesario.

El riesgo de la exposición al CO varía desde el efecto de pequeñas cantidades atmosféricas en individuos que padecen deficiencias circulatorias (siendo particularmente susceptibles los enfermos con angina de pecho, así como aquellos con arterioesclerosis), hasta una intoxicación aguda por inhalación de grandes cantidades del contaminante en espacios cerrados y/o en un lapso de tiempo corto. (DOF, 1993a)

El efecto dañino potencial principal de este contaminante lo constituye su afinidad para combinarse con la hemoglobina dando lugar a una elevada formación de carboxihemoglobina y como consecuencia, disminuye la cantidad de oxihemoglobina y por ende la entrega de oxígeno a los tejidos (DOF, 1993a).

De acuerdo con Wark & Warner (2000), la combinación del CO conduce a la formación de carboxihemoglobina COHb, por otro lado, la combinación de Oxígeno y la hemoglobina produce oxihemoglobina (O₂Hb). Con ello, la hemoglobina tiene afinidad por el monóxido de carbono que es aproximadamente 210 veces su afinidad por el oxígeno; esto quiere decir que la presión parcial del CO requerido para saturar totalmente la hemoglobina es de 1/200 a 1/250 de la presión parcial del Oxígeno requerido para la completa saturación del oxígeno.

De ahí que las emisiones de CO en un área cerrada pueden causar la muerte por insuficiencia cardiaca o sofocación, debido a que la absorción de CO se incrementa con las concentraciones en el ambiente, ya que con el del tiempo de exposición y con el incremento de la actividad física. Además de que la exposición con niveles bajos de CO, puede causar daños en la salud en personas bajo medicación, que se encuentran en lugares altos o consumen bebidas alcohólicas; así como incrementar la mortalidad respiratoria a 9% cuando se registra una concentración de 5 ppm en el promedio diario de CO (GEM; SEMARNAP, 1997).

Capítulo 2



Capítulo 2. Caracterización de la zona de estudio

En el presente capítulo se abordará la caracterización de la zona de estudio correspondiente a la RAMA de Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMA-ZMVT), la cual abarca el medio ambiental o físico-geográfico, sociodemográfico y económico, así como la localización de las estaciones de Monitoreo Atmosféricos utilizadas para la elaboración de este estudio.

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) es la segunda conurbación en importancia del Estado de México después de la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco. Asimismo, está considerada como uno de los poblados más importantes de la región centro del país. Esta metrópoli posee importantes parques industriales, y anualmente arriban a ella cientos de personas con el fin de desarrollar un proyecto de vida.

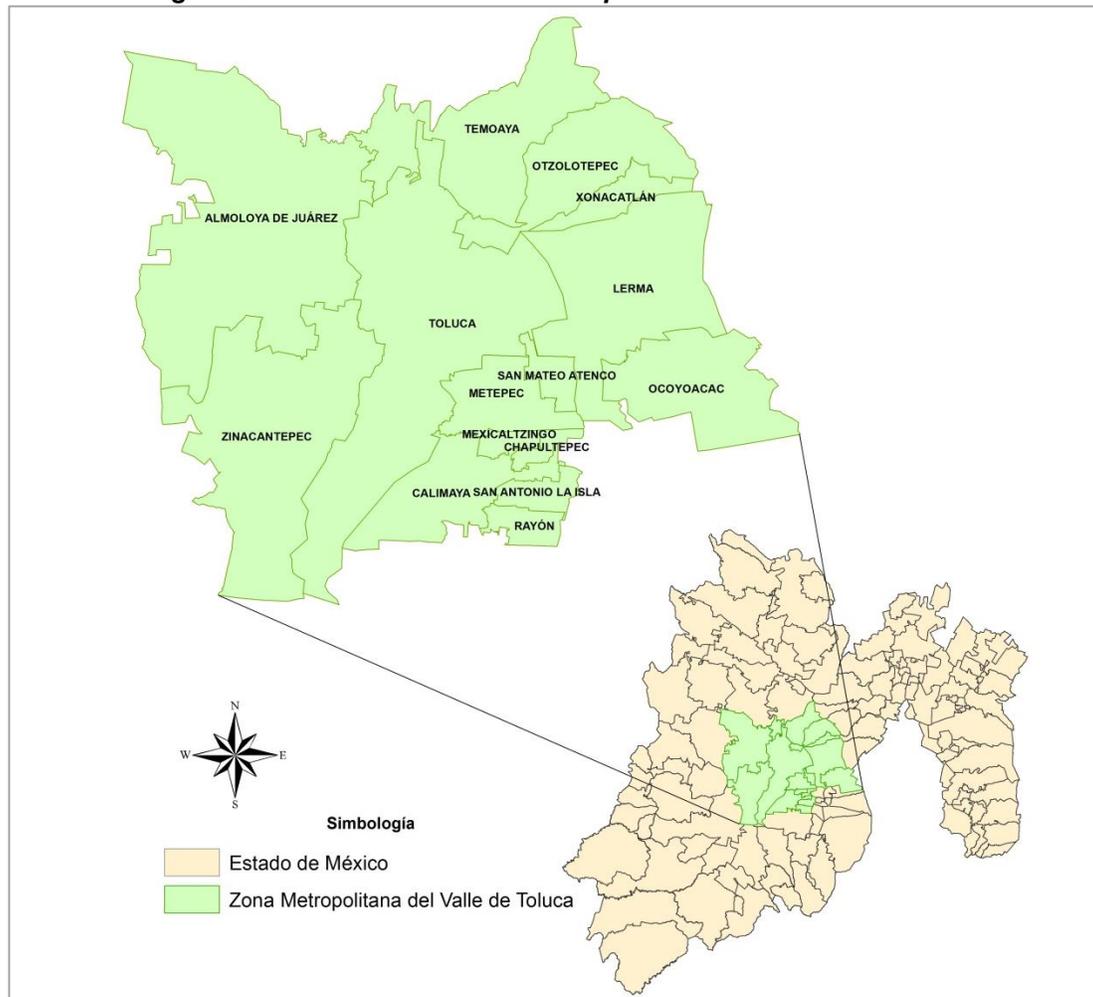
La Secretaria de Desarrollo Social o SEDESOL (2010), define como zona metropolitana al conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica.

También se incluyen a aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y política urbanas de las zonas metropolitanas en cuestión.

De acuerdo con la SEDESOL (2010), la Zona Metropolitana del Valle de Toluca está conformada por los siguientes municipios: Almoloya de Juárez, Calimaya,

Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec.

Figura 5. Localización la Zona Metropolitana del Valle de Toluca



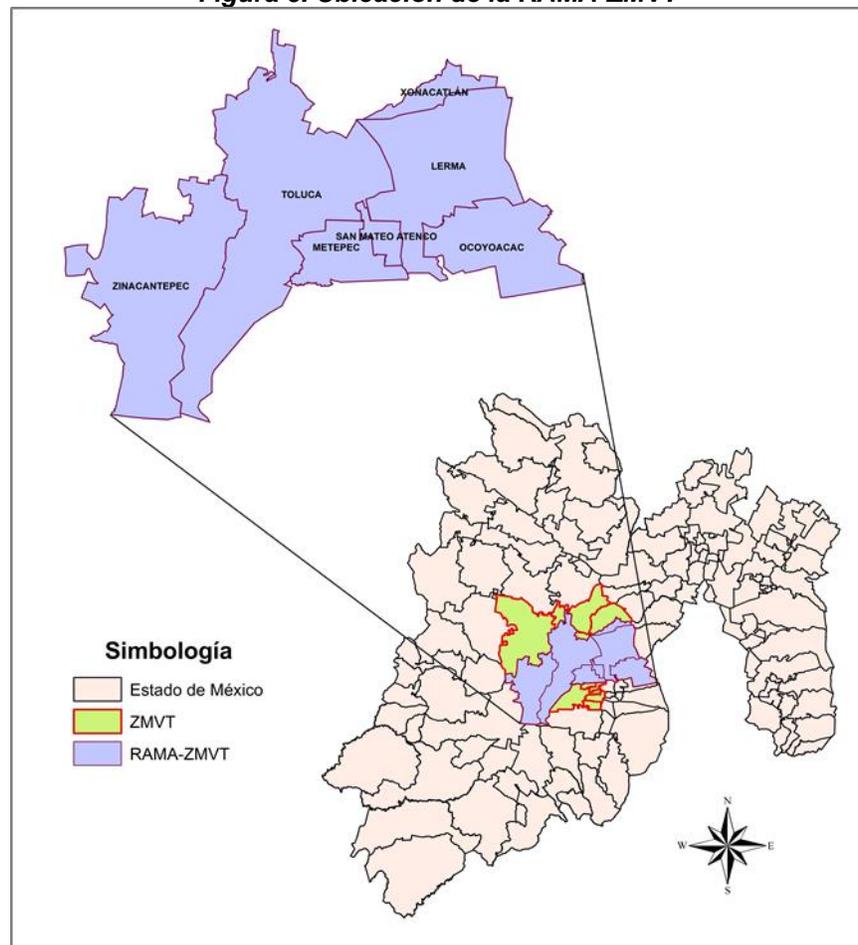
Elaboración propia con base en: INEGI, (2016b); INEGI, (2016a).

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) se localiza en la parte central del Estado de México, entre los paralelos $18^{\circ}59'07''$ y $19^{\circ}34'47''$ de latitud norte y los meridianos $99^{\circ}38'22''$ y $99^{\circ}56'13''$ de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich.

2.1 Ubicación de la zona de estudio (RAMA-ZMVT)

De acuerdo con la NTEA-007-SMA-DS-2006, la RAMA-ZMVT considera los 7 siguientes siete municipios: Toluca, Lerma, Metepec, Ocoyoacac, San Mateo Atenco, Xonacatlán y Zinacantepec como área de influencia (GEM, 2007). De ahí que a pesar de que las estaciones de monitoreo solo están presentes en tres municipios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, deben de considerarse como zona de estudio (RAMA-ZMVT) a los 7 municipios mencionados con anterioridad.

Figura 6. Ubicación de la RAMA-ZMVT

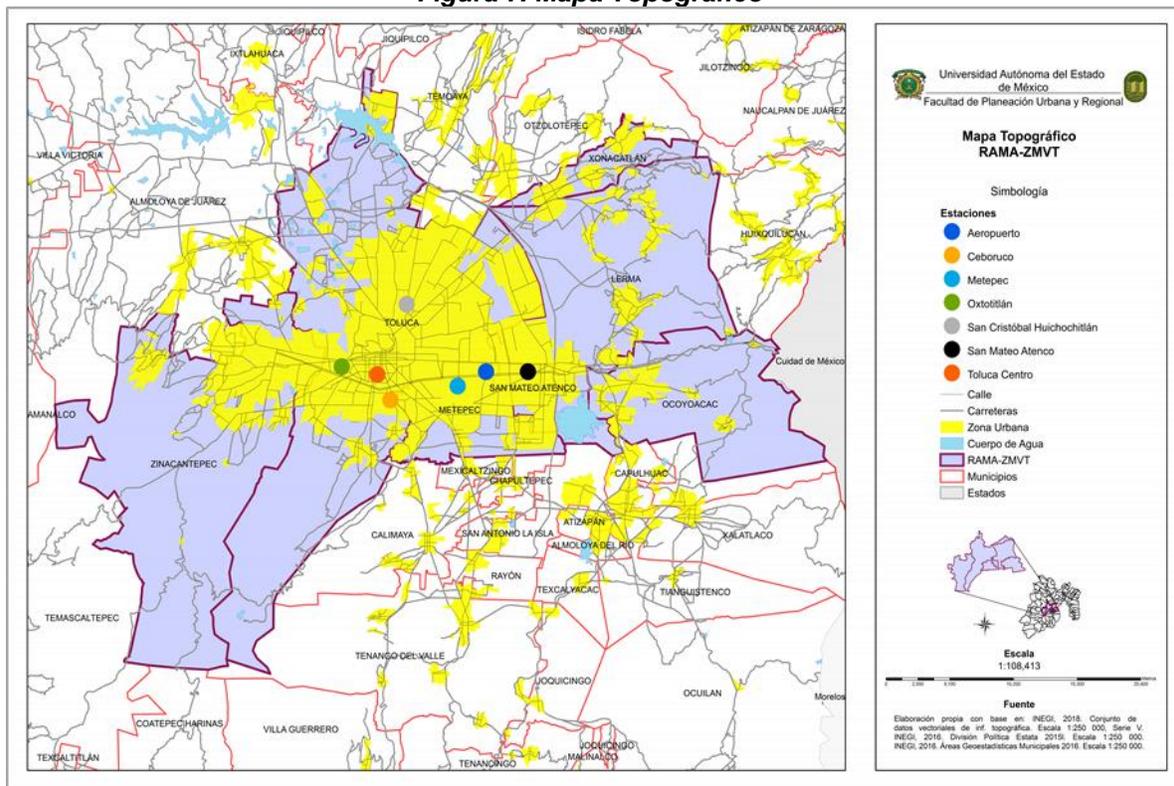


Elaboración propia con base en: INEGI, (2016a); INEGI, (2016b).

La RAMA-ZMVT está localizada en la parte central del Estado de México, comprendiendo los municipios de Ocoyoacac, Lerma, Metepec, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec.

Colinda al norte con los municipios de Temoaya, Oztolotepec; al sur con Coatepec de Harinas, Villa Guerrero, Tenango del Valle, Calimaya, Mexicaltzingo, Chapultepec, San Antonio La Isla y Capulhuac; al este con la Ciudad de México; al noreste con Naucalpan de Juárez; y al oeste con los municipios de Temascaltepec, Amanalco y Almoloya de Juárez.

Figura 7. Mapa Topográfico



Elaboración propia con base en: INEGI, (2018); INEGI, (2016b); INEGI, (2016a) y datos propios.

La figura 8 hace referencia a la zona de estudio, en ella se puede observar que el municipio de Toluca concentra la mayor parte de la zona urbana de la región, esto debido a que es la capital del estado. Además de estar bien comunicada con los demás municipios por carreteras estatales y federas, y calles.

En la parte norte están presentes cuerpos de agua importantes, así como en la parte sur del municipio de Lerma, además del cuerpo de agua dentro del Nevado de Toluca.

2.2 Localización de las estaciones de la RAMA

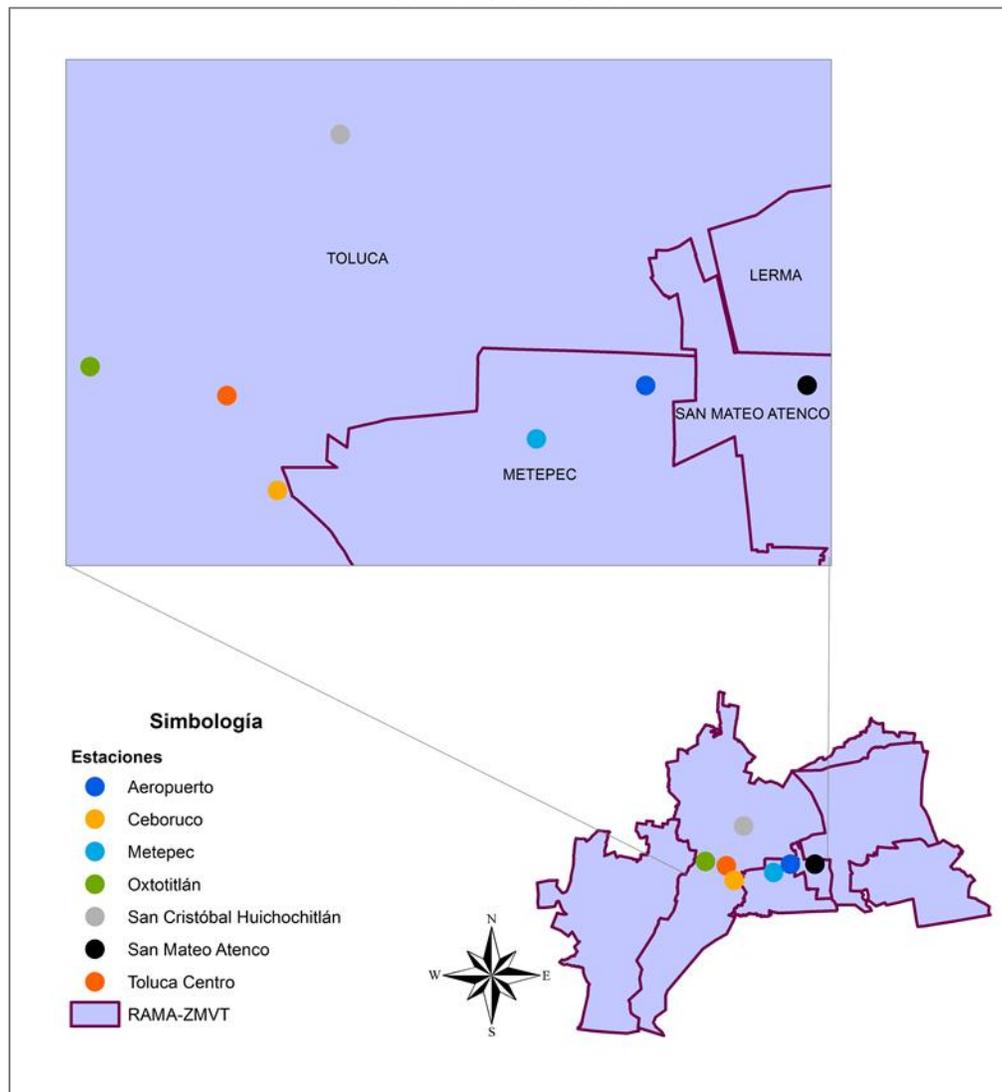
La RAMA-ZMVT esta comprende siete estaciones de monitoreo. Estas se localizan en los municipios de Metepec, San Mateo Atenco, y Toluca **(ver figura 8)**.

Las estaciones que se encuentran establecidas en el municipio de Toluca se localizan al noroeste del mismo, siendo, Ceboruco, Toluca Centro y San Cristóbal Huichotitlán.

Por otro lado, la estación Metepec se localiza en el municipio del mismo nombre al oeste, así como la estación Aeropuerto.

De la misma manera el municipio de San Mateo Atenco cuenta con una estación nombrada “San Mateo Atenco” localizada al noroeste del municipio.

Figura 8. Localización de Estaciones de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca



Fuente: Elaboración propia con base en (INEGI, 2016a) y datos propios.

A continuación, se enumeran el nombre de las estaciones de monitoreo atmosférico, su localización exacta, los contaminantes criterio que miden, así como los parámetros meteorológicos que estas registran.

Tabla 7. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: San Cristóbal Huichochitlán

| Estación San Cristóbal Huichochitlán | |
|---|--|
| Abreviatura | SC |
| Zona | Norte |
| Dirección | 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. |
| Coordenadas Geográficas | Latitud Norte: 19° 19' 38.0" Longitud Oeste: 99° 38' 3.44" |
| Coordenadas UTM | Este: 433,375.83 m Norte: 2'137,154.54 m Región: 14 |
| Contaminantes | <ul style="list-style-type: none"> • Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) • Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) • Bióxido de Azufre (SO₂) • Bióxido de Nitrógeno (NO₂) • Monóxido de Carbono (CO) • Ozono (O₃) |
| Parámetros meteorológicos | <ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura Exterior (°C) ○ Humedad Relativa Exterior (%) ○ Dirección del viento (°A) ○ Velocidad del Viento (m/seg) ○ Precipitación Pluvial (mm) ○ Radiación Solar Total (watt/m²) |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2014) y datos propios

Tabla 8. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Aeropuerto

| Estación Aeropuerto | |
|----------------------------------|---|
| Abreviatura | AP |
| Zona | Norte |
| Dirección | Calle Enedino Arévalo Alanís S/N, Parque Industrial Exportec II, San Pedro Totoltepec, Toluca México, Código Postal 54080, entre las Calles Boulevard Miguel Alemán y Enedino Arévalo Alanís (Dentro de las instalaciones del CENCAD de la Cruz Roja). |
| Coordenadas Geográficas | Latitud Norte: 19° 20' 4.41" Longitud Oeste: 99° 34' 26.3" |
| Coordenadas UTM | Este: 439,725.37 m Norte: 2'131,942.8 m Región: 14 |
| Contaminantes | <ul style="list-style-type: none"> • Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) • Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) • Bióxido de Azufre (SO₂) • Bióxido de Nitrógeno (NO₂) • Monóxido de Carbono (CO) • Ozono (O₃) |
| Parámetros meteorológicos | <ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura Exterior (°C) ○ Humedad Relativa Exterior (%) ○ Dirección del viento (°A) ○ Velocidad del Viento (m/seg) ○ Precipitación Pluvial (mm) ○ Presión Atmosférica (mm Hg) ○ Radiación Solar Total (watts/m²) |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2014) y datos propios.

Tabla 9. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: San Mateo Atenco

| Estación San Mateo Atenco | |
|----------------------------------|--|
| Abreviatura | SM |
| Zona | Sur |
| Dirección | 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 (Dentro de las instalaciones del Tanque Elevado de OPDAPAS del Municipio). |
| Coordenadas Geográficas | Latitud Norte: 19° 16' 49.5" Longitud Oeste: 99° 32' 30.0" |
| Coordenadas UTM | Este: 443,079.34 m Norte: 2'131,944.94 m Región: 14 |
| Contaminantes | <ul style="list-style-type: none"> • Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) • Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) • Bióxido de Azufre (SO₂) • Bióxido de Nitrógeno (NO₂) • Monóxido de Carbono (CO) • Ozono (O₃) |
| Parámetros meteorológicos | <ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura Exterior (°C) ○ Humedad Relativa Exterior (%) ○ Dirección del viento (°A) ○ Velocidad del Viento (m/seg) ○ Precipitación Pluvial (mm) |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2014) y datos propios.

Tabla 10. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Ceboruco

| Estación Ceboruco | |
|----------------------------------|--|
| Abreviatura | CB |
| Zona | Sur |
| Dirección | Calle Ceboruco S/N, Colonia Azteca, Código Postal 50640, Toluca, México entre las calles de Heriberto Enríquez y José Antonio Albarrán (Dentro de las instalaciones de la Preparatoria # 5 Ángel María Garibay Kintana de la UAEM). |
| Coordenadas Geográficas | Latitud Norte: 19° 15' 37.1" Longitud Oeste: 99° 38' 44.6" |
| Coordenadas UTM | Este: 432,079.34 m Norte: 2'129,762.56 m Región: 14 |
| Contaminantes | <ul style="list-style-type: none"> • Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) • Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) • Bióxido de Azufre (SO₂) • Bióxido de Nitrógeno (NO₂) • Monóxido de Carbono (CO) • Ozono (O₃) |
| Parámetros meteorológicos | <ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura Exterior (°C) ○ Humedad Relativa Exterior (%) ○ Dirección del viento (°A) ○ Velocidad del Viento (m/seg) ○ Precipitación Pluvial (mm) |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2014) y datos propios.

Tabla 11. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Metepec

| Estación Metepec | |
|----------------------------------|--|
| Abreviatura | MT |
| Zona | Sur |
| Dirección | Calle Manzana # 20-A, Colonia Izcalli Cuauhtémoc V, Metepec, México, Código Postal 52176, entre las Calles de Manuel J. Clouthier y Calle Mango (en el Parque Ecológico). |
| Coordenadas Geográficas | Latitud Norte: 19° 16' 12.7" Longitud Oeste: 99° 35' 42.7" |
| Coordenadas UTM | Este: 437,455.45 m Norte: 2'130,830.86 m Región: 14 |
| Contaminantes | <ul style="list-style-type: none"> • Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) • Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) • Bióxido de Azufre (SO₂) • Bióxido de Nitrógeno (NO₂) • Monóxido de Carbono (CO) • Ozono (O₃) |
| Parámetros meteorológicos | <ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura Exterior (°C) ○ Humedad Relativa Exterior (%) ○ Dirección del viento (°A) ○ Velocidad del Viento (m/seg) ○ Precipitación Pluvial (mm) ○ Presión Atmosférica (mmHg) ○ Radiación Solar Total (watts/m²) |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2014) y datos propios.

Tabla 12. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Toluca Centro

| Estación Toluca Centro | |
|----------------------------------|--|
| Abreviatura | CE |
| Zona | Centro |
| Dirección | Gimnasio "Prof. Guillermo Ortega Vargas" de la UAEM, Calle Venustiano Carranza esq. Mariano Matamoros, Toluca, Méx. |
| Coordenadas Geográficas | Latitud Norte: 19° 16' 41.1" Longitud Oeste: 99° 39' 23.1" |
| Coordenadas UTM | Este: 431,025.76 m Norte: 2'131,729.98 m Región: 14 |
| Contaminantes | <ul style="list-style-type: none"> • Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) • Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) • Bióxido de Azufre (SO₂) • Bióxido de Nitrógeno (NO₂) • Monóxido de Carbono (CO) • Ozono (O₃) |
| Parámetros meteorológicos | <ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura Exterior (°C) ○ Humedad Relativa Exterior (%) ○ Dirección del viento (°A) ○ Velocidad del Viento (m/seg) ○ Precipitación Pluvial (mm) ○ Presión Atmosférica (mmHg) ○ Radiación Solar Total (watts/m²) |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2014) y datos propios.

Tabla 13. Estación de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: Oxtotitlán

| Estación Oxtotitlán | |
|----------------------------------|--|
| Abreviatura | OX |
| Zona | Centro |
| Dirección | Escuela Primaria "Carmen Serdán", calle Lago Caimanero esq. Laguna de la Asunción, Col. Nueva Oxtotitlán, Toluca, Méx. |
| Coordenadas Geográficas | Latitud Norte: 19° 17' 0.40" Longitud Oeste: 99° 41' 0.56" |
| Coordenadas UTM | Este: 428,184.10 m Norte: 2'132,331.55 m Región: 14 |
| Contaminantes | <ul style="list-style-type: none"> • Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) • Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) • Bióxido de Azufre (SO₂) • Bióxido de Nitrógeno (NO₂) • Monóxido de Carbono (CO) • Ozono (O₃) |
| Parámetros meteorológicos | <ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura Exterior (°C) ○ Humedad Relativa Exterior (%) ○ Dirección del viento (°A) ○ Velocidad del Viento (m/seg) ○ Precipitación Pluvial (mm) |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2014) y datos propios.

2.3 Características de la RAMA-ZMVT

A continuación, se presentan las características ambientales, demográficas y económicas de la zona de estudio.

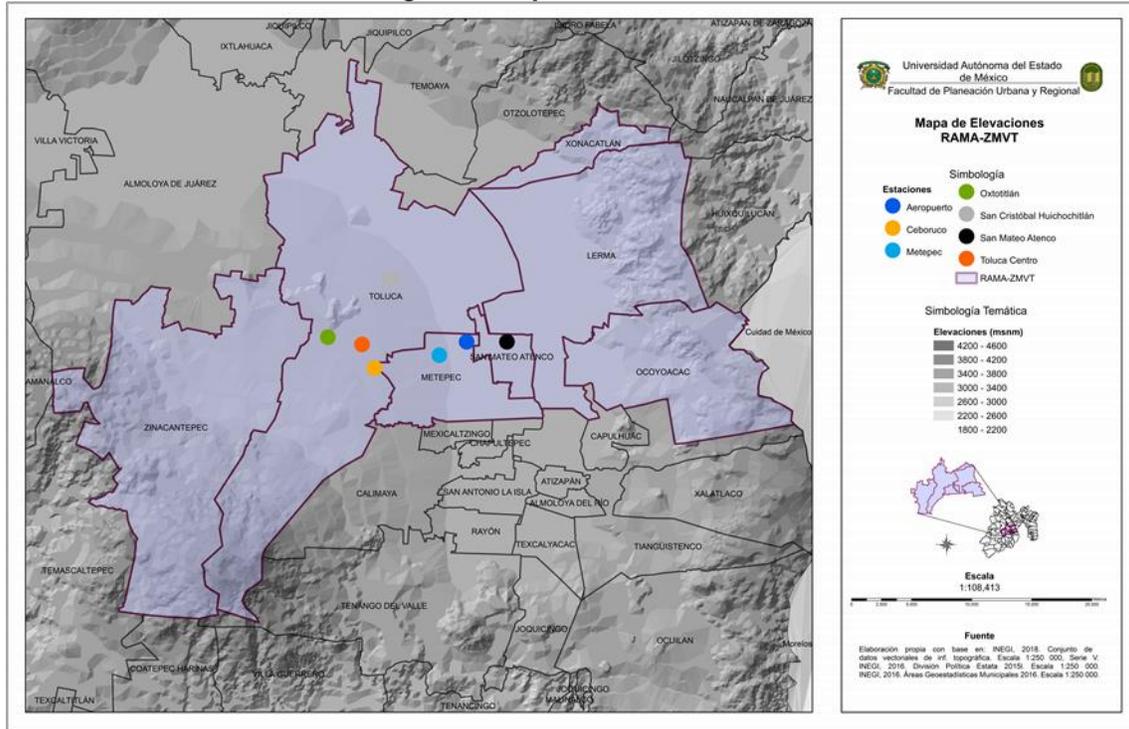
2.3.1 Ambientales

Las características ambientales son aquellas que forman parte del medio físico, este apartado comprende el relieve, clima, meteorología, además de usos de suelo y vegetación

2.3.1.2 Relieve

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca está rodeada por grandes Sierras y aparatos volcánicos individuales, entre ellos se encuentra: 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 del volcán Molcajete en la Sierra Morelos al noreste de Toluca (GEM-SMA, 2007).

Figura 9. Mapa de Elevaciones



Elaboración propia con base en: INEGI, (2016a); INEGI (2016b) y datos propios.

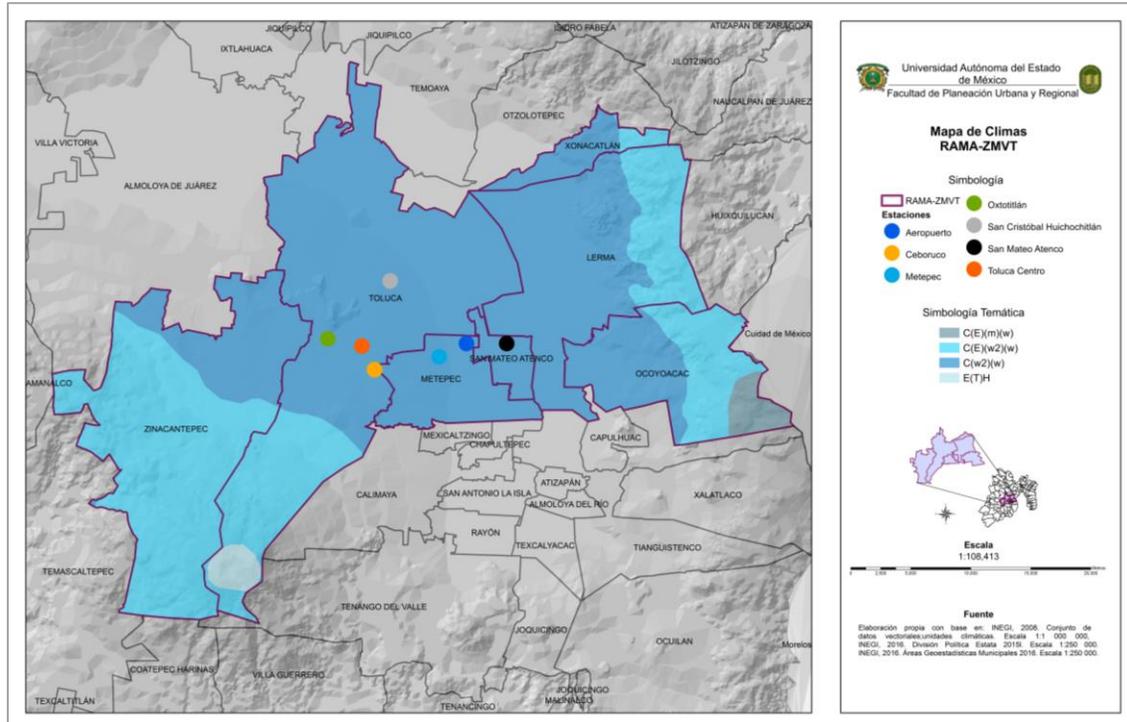
El Nevado de Toluca funciona de manera determinante en la dinámica del viento del valle, a partir de los sistemas de baja y alta presión que se generan sobre esta región a lo largo del año (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México, 2004).

“En el área de su pie de monte, dentro del municipio de Zinacantepec existen elevaciones menores como el cerro la Calera y el volcán Gordo, que son elementos determinantes en la dirección del viento que sopla del sur. En 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 cerros: La Palma y La Campana, los cuales conforman una obstrucción considerable para los vientos alisios a su arribo sobre este valle” (GEM-SMA, 2004).

2.3.1.4 Climatología

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, están presentes tres tipos de clima: templado, semifrío y frío.

Figura 10. Mapa Climatológico



Elaboración propia con base en: INEGI, (2008); INEGI, (2016b); INEGI (2016a) y datos propios.

El clima templado subhúmedo C(w²)(w)b(i)g abarca la mayor parte de los municipios que corresponden a la RAMA-ZMVT; comprende al municipio de Metepec y San mateo Atenco, la parte norte del municipio de Toluca, el noroeste de Zinacantepec y el oeste de los municipios de Lerma, Ocoyoacac y Xonacatlán

El clima semifrío subhúmedo C (E)(w²)(w) está presente en la parte sureste del municipio de Ocoyoacac.

Por último, el clima frío C(E)(m)(w) y E(T)H, el cual es característico de zonas altas como en el volcán Nevado de Toluca, se encuentra localizado al este de los

municipios de Xonacatlán, Lerma y Ocoyoacac, así como la parte sur de Zinacantepec y Toluca.

2.3.1.5 Meteorología

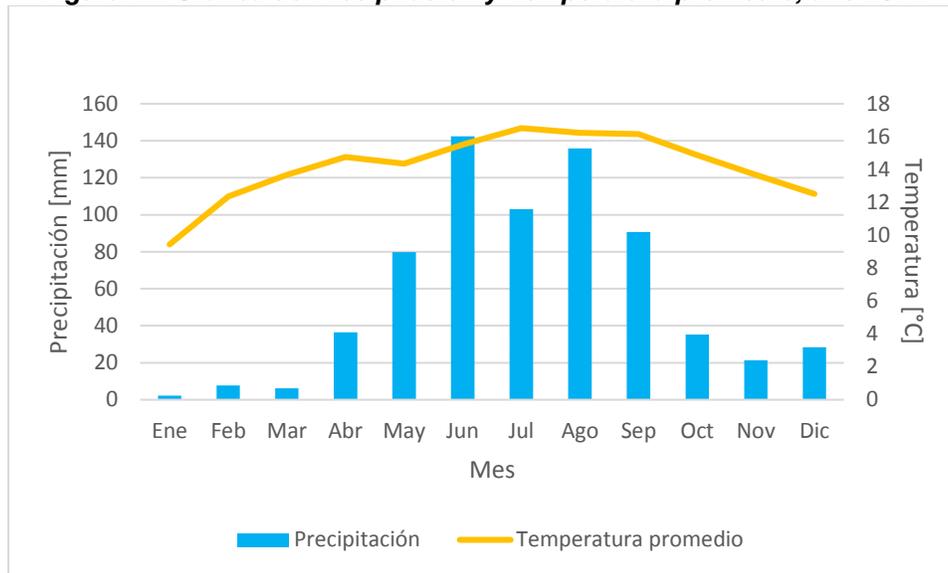
Debido a la posición latitudinal del país este se ve afectado durante todo el año por masas de aire con características que las identifican como de tipo polar en la etapa invernal y de tipo tropical durante el verano.

➤ Temperatura y Precipitación

En el caso de la zona se estudió, la posición geográfica en la que se encuentra la RAMA-ZMVT está bajo la influencia de sistemas meteorológicos tropicales durante la **época de lluvia** (junio a octubre); esto, sirviendo de ayuda en la remisión de contaminantes, debido a que el paso de onda y ciclones tropicales aportan alto contenido de humedad. (GEM-SMA, 2012) y (GEM-SMA, 2012a).

La **época de secas** se identifica por baja humedad relativa debido a que la masa de aire correspondiente normalmente es de tipo polar continental o de tipo polar-modificado continental, con registro mínimos de precipitaciones (40 mm); de manera que cuando el tiempo atmosférico permanece estable y seco se pueden generar inversiones terminas, las cuales afectan la dispersión de los contaminantes (GEM-SMA, 2012a) y (GEM-SMA, 2012).

Figura 11. Gráfica de Precipitación y Temperatura promedio, año 2014



Fuente: elaboración propia con base en Datos de la RAMA-2014 y el SMN, (2014).

Además de que la Secretaria de Medio Ambiente (GEM-SMA, 2004) en el Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca divide a la época de secas en *seca-fría* y *seca-cálida*.

- La época ***seca-fría*** comprende los meses de noviembre a febrero con las temperaturas promedio mensual más bajas del año (entre 9°C y 11°C). también se pueden registrar bajas temperaturas, nevadas y en ocasiones temperaturas bajo cero.
- La época ***seca-cálida*** comprende los meses de marzo a mayo, en la que la temperatura promedio puede alcanzar los 15°C, además de presentar los valores máximos de temperatura en esta época del año.

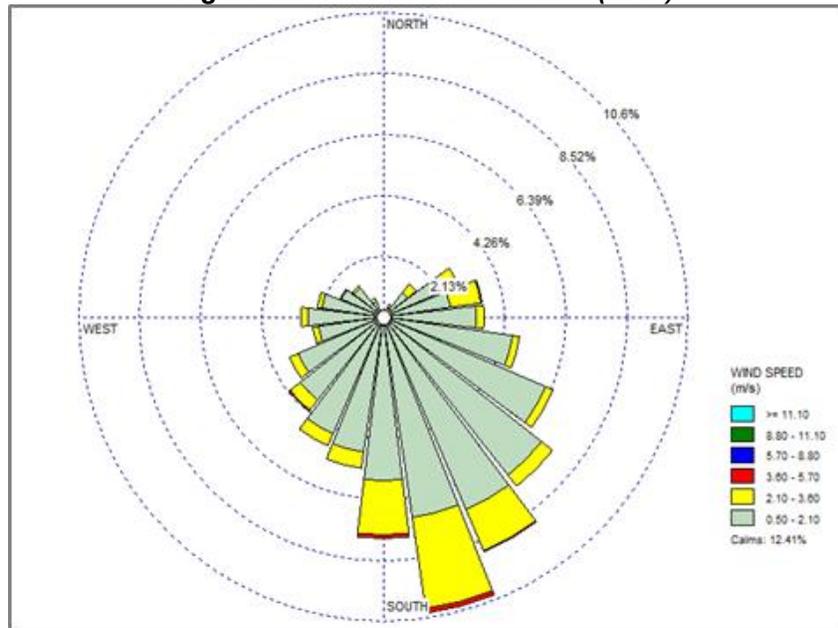
➤ Vientos

De acuerdo con Gobierno del Estado de México y la Secretaría de Media Ambiente (2012) en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire; Valle de Toluca 2012-2017, la dinámica de vientos que se presenta en la RAMA-ZMVT se da porque el valle no

se encuentra completamente encerrado por las barreras naturales del territorio. Lo que favorece la circulación de los vientos y por lo tanto la ventilación de esta se ve favorecida la mayor parte del año.

En la zona de estudio los vientos predominantes son del sur, lo que ayuda en el transporte de los contaminantes hacia el norte, además de provocar que la parte norte se vea afectada por el desplazamiento de los contaminantes que generan otras zonas (GEM; SEMARNAP, 1997).

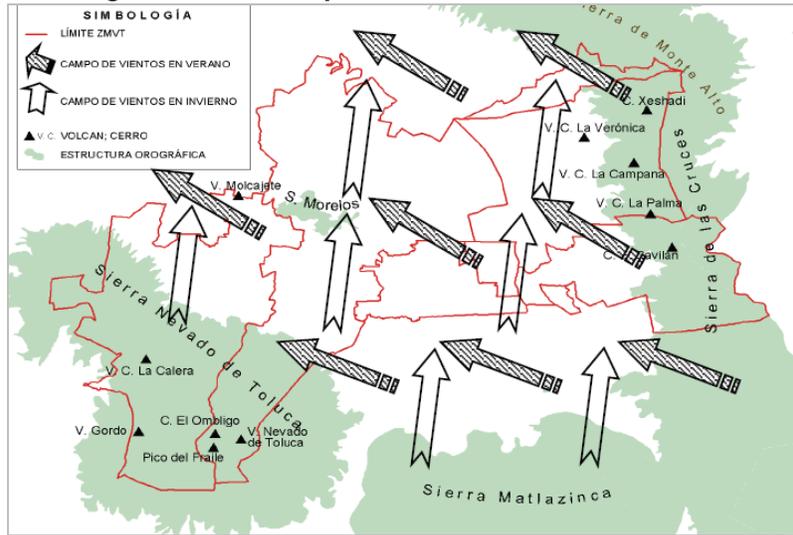
Figura 12. Rosa anual de vientos (2015)



Fuente: Elaboración propia con base en Datos de la RAMA del año 2015.

Además de que el campo de vientos en la RAMA.ZMVT presenta dos comportamientos a lo largo del año (ver figura 13).

Figura 13. Vientos predominantes en RAMA-ZMVT



Fuente: GEM-SMA, (2007).

El primero ocurre en los meses de invierno donde el viento sopla de sur a norte, con una pequeña inclinación hacia el este; pudiendo afectar a las poblaciones del municipio de Lerma debido a las emisiones de la cerna zona industrial. El segundo se presenta en verano, donde los vientos van de sur a noroeste; de ahí que los contaminantes son transportados hacia el noroeste del valle.

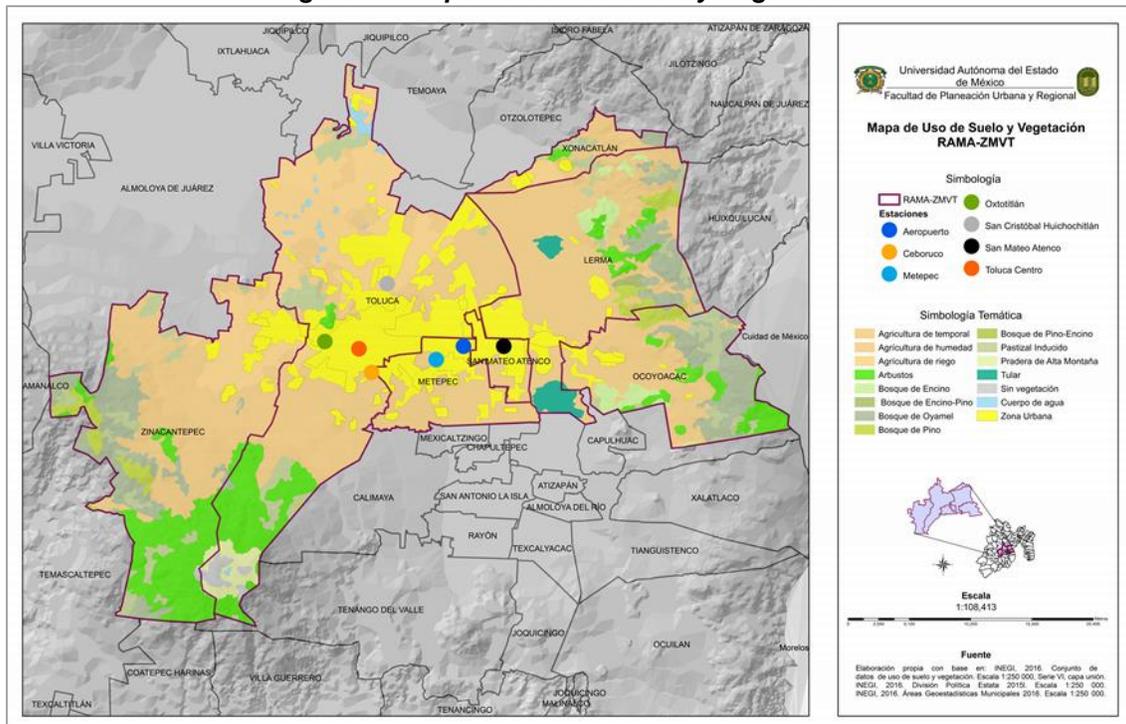
2.3.1.3 Uso de Suelo y Vegetación

Debido a que la mayoría de los municipios que conforman la RAMA-ZMVT, son de carácter rural, el uso del suelo que predomina es el agrícola. Los municipios como Zinacantepec, Ocoyoacac poseen entre 43% y 48% de uso de suelo forestal. Los municipios que tienen mayor proporción de uso de suelo urbano son Toluca, Metepec y San Mateo Atenco, municipios que conforman el área conurbada de la ZMVT (GEM-SMA, 2004).

“El uso del suelo destinado para la agricultura es del 63.56%, le sigue en importancia el uso de suelo forestal con el 19.42%, el uso de suelo urbano con 4.15% y otros usos de suelo 12.85%, en este último se incluyen: áreas sin vegetación aparente, cuerpos de agua y carreteras. Cabe destacar que la superficie de suelo forestal es todavía representativa, pero con una gran presión debido al cambio de uso del suelo de forestal a agrícola-pecuario, y a su vez, de agrícola a urbano”. (GEM-SMA, 2004)

Debido a la variedad de climas, topografía, hidrología y tipos de suelo que hay en los municipios que conforman la RAMA-ZMVT, existe todavía una importante masa forestal compuesta por diferentes comunidades vegetales, entre las cuales destacan los bosques de encino, de pino, de oyamel y sus asociaciones, así como pastizal de alta montaña, bosque cultivado en las zonas perturbadas y vegetación acuática.

Figura 14. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, (2016); INEGI, (2016a); INEGI, (2016b) y datos propios.

Los bosques de encino son la vegetación considerada la más afectada por las actividades humanas, debido a la tala, incendios, plagas y la invasión de asentamientos humanos. Tales actividades pueden devenir en un proceso de erosión del suelo por la reducción de la cubierta vegetal.

Respecto a los bosques de pino y oyamel, los mayores daños y amenazas que sufren estos tipos de vegetación son provocados por el continuo uso del fuego para quemar los pastizales, la tala y el desmonte para la explotación agrícola, el sobrepastoreo y la explotación de recursos no maderables (GEM-SMA, 2004).

De acuerdo con la Secretaria de Medio Ambiente en el Estado de México (GEM-SMA, 2004) *“Los pastizales de alta montaña, llamados también zacatonal alpino o pradera de alta montaña, son aprovechados para la ganadería y se les quema durante la temporada seca del año. El bosque cultivado es producto de las actividades de reforestación en la zona. Para ello se han utilizado especies tales como pino prieto (*Pinus greggi*), pino piñonero (*Pinus cembroides*) cedro (*Cupresus lindleyi*) y eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis* y *E. globulus*)”*.

Dentro de la vegetación acuática considerada por INEGI (2016) como Tular, destacan los humedales, comunidades compactas de plantas de la familia *Typhacea* (tifas), *Ciperácea* (escobilla) y *Juncácea* (tules). Este tipo de vegetación comprende a las Ciénegas de Lerma ubicadas en los municipios de Lerma, San Mateo Atenco y Metepec (Secretaria de Medio Ambiente del Estado de México GEM-SMA, 2004; CONANP, sf).

2.3.2 Demográficas

Según el Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI, la población de la RAMA-ZMVT es de 1,516,996 habitantes, lo que representa el 9.9% del total de la población del Estado de México. De ese universo, el 51.6% son mujeres y el 48.4% son hombres (**ver tabla 14**).

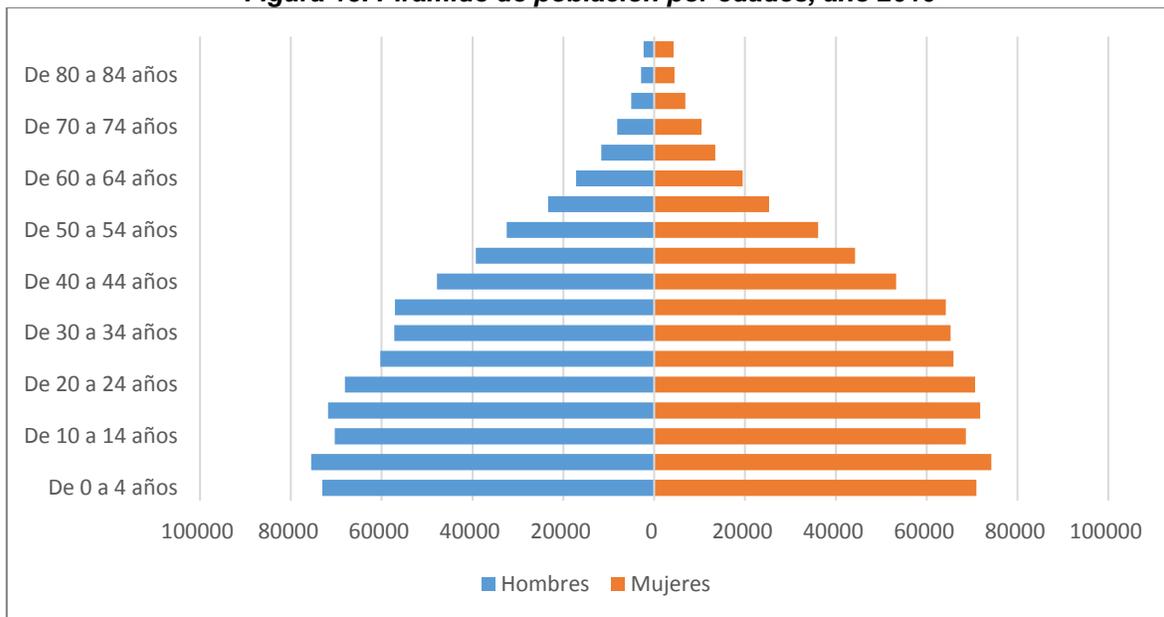
Tabla 14. Población Total 2010

| Municipio | Población | | |
|------------------|------------------|----------------|----------------|
| | Total | Hombres | Mujeres |
| Lerma | 134,799 | 66,669 | 68,130 |
| Metepec | 214,162 | 103,059 | 111,103 |
| Ocoyoacac | 61,805 | 30,365 | 31,440 |
| San Mateo Atenco | 72,579 | 35,597 | 36,982 |
| Toluca | 819,561 | 394,836 | 424,725 |
| Xonacatlán | 46,331 | 22,871 | 23,460 |
| Zinacantepec | 167,759 | 82,109 | 85,650 |
| TOTAL | 1,516,996 | 735,506 | 781,490 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, (2010).

En cuanto a la distribución de la población por edades entre hombres y mujeres indican 74,221 mujeres y 75,489 hombres de 10 a 14 años, considerados como niños; mientras que las personas entre 20 y 24 años van de 70,633 mujeres y 68,058 hombre; y personas de la tercera edad o superan 8,176 en hombres y 10,445 mujeres en la zona de estudio.

Figura 15. Pirámide de población por edades, año 2010



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, (2010).

En este caso, la pirámide de población se comporta de manera que las personas jóvenes son más y el nivel de población disminuye conforme aumenta la edad, tanto para mujeres como hombres.

De acuerdo con el INEGI (2010), la densidad de población permite conocer la relación entre un espacio determinado y el número de personas que lo habitan y se obtiene dividiendo el número de habitantes de un lugar específico entre el número de kilómetros cuadrados que mide dicho territorio.

Debido a que el área total de la RAMA-ZMVT es de 1,049.25kilómetros cuadrados y su población total es de 1,516,996 habitantes, la densidad resultante es de 1446 habitantes por kilómetro cuadrado.

Tabla 15. Densidad de población (2010)

| Municipio | Población 2010 | Extensión Territorial en Km ² | Densidad (Habitante/Km ²) |
|------------------|---------------------|--|---------------------------------------|
| Lerma | 134,799.00 | 230.87 | 584 |
| Metepec | 214,162.00 | 67.45 | 3,175 |
| Ocoyoacac | 61,805.00 | 138.25 | 447 |
| San Mateo Atenco | 72,579.00 | 21.12 | 3,437 |
| Toluca | 819,561.00 | 427.10 | 1,919 |
| Xonacatlán | 46,331.00 | 33.24 | 1,394 |
| Zinacantepec | 167,759.00 | 131.22 | 1,278 |
| TOTAL | 1,516,996.00 | 1,049.25 | 1,446 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, (2010).

En lo que se refiere a la tasa de crecimiento media anual para la RAMA-ZMVT, la población aumente entre los años 1990 y 2000 3.5%, mientras que entre los años 2000 al 2010 la población solo creció un 2% (**ver tabla 16**).

Tabla 16. Tasa de crecimiento poblacional (1990.2010)

| Municipio | Población | | | | Tasa de Crecimiento Media Anual | |
|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------------|------------|
| | 1990 | 2000 | 2005 | 2010 | 1990-2000 | 2000-2010 |
| Lerma | 66,912 | 99,870 | 105,578 | 134,799 | 4.1 | 2.9 |
| Metepec | 140,268 | 194,463 | 206,005 | 214,162 | 3.3 | 0.9 |
| Ocoyoacac | 37,395 | 49,643 | 54,224 | 61,805 | 2.9 | 2.1 |
| San Mateo Atenco | 41,926 | 59,647 | 66,740 | 72,579 | 3.6 | 1.9 |
| Toluca | 487,612 | 666,596 | 747,512 | 819,561 | 3.2 | 2 |
| Xonacatlán | 28,837 | 41,402 | 45,274 | 46,331 | 3.7 | 1.1 |
| Zinacantepec | 83,197 | 121,850 | 136,167 | 167,759 | 3.9 | 3.1 |
| TOTAL | 886,147 | 1,233,471 | 1,361,500 | 1,516,996 | 3.5 | 2.0 |

Fuente: SEDESOL, (2010); INEGI, (2010).

2.3.3 Económicas

La zona de estudio (RAMA-ZMVT) ha presentado una transformación paulatina de las actividades económicas, pasando de ser una economía rural a una economía industrial y de servicios. 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 terciarización del empleo, por lo que las actividades primarias continúan siendo desplazadas.

Al interior de la metrópoli se aprecia el surgimiento de centros generadores de empleo, destacando el municipio de Lerma en las actividades económicas terciaria y secundaria; San Mateo Atenco en el sector secundario y en el caso de Metepec, surge como generador predominante de nuevos empleos y servicios en los sectores secundario y terciario compitiendo abiertamente con Toluca.

2.3.3.1 Sector primario

Las actividades primarias se consideran a aquellas actividades que aprovechan los recursos de la naturaleza que no han sufrido una transformación previa, como la agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza (INEGI, 2011).

Una de las características de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca es que en las laderas de las montañas y en la planicie la actividad agrícola, en su mayoría es de temporal y en menor proporción que la agricultura de riego. Aunado a que el tipo de suelo que predomina es Feozem, el cual es susceptible a la erosión moderada y alta, esta situación hace que se presenten con más facilidad problemas de erosión de suelo acarreado como consecuencia la emisión de partículas de origen natural.

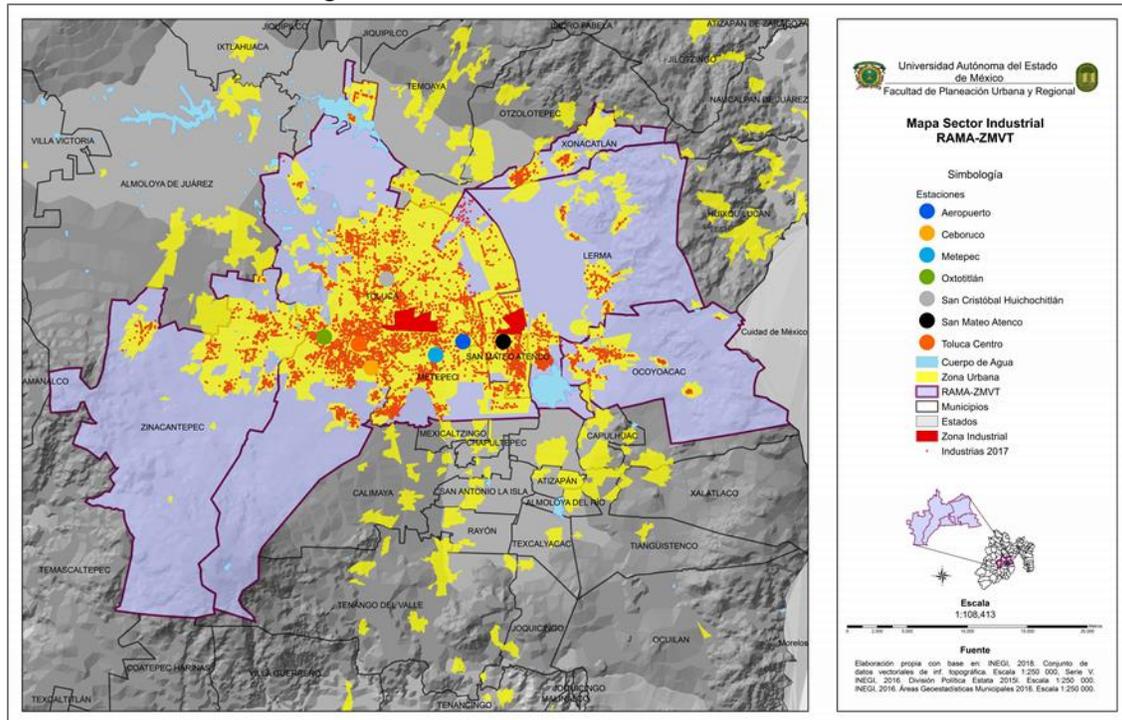
Respecto a la ganadería, existe invasión hacia áreas forestales, en donde se presenta, por un lado, la tala de árboles, y por otro, incendios provocados para la quema de pasto y generación de renuevo, beneficiando así el pastoreo de rebaños. Sin embargo, dicha actividad afecta la calidad del aire por la emisión de partículas durante la combustión y posteriormente por la erosión del suelo a consecuencia de la pérdida de cubierta vegetal.

2.3.3.2 Sector secundario

En el caso del sector secundarios, se consideran ente rubro las actividades que puedan provenir de las actividades primarias, o de este mismo grupo, y sus productos se destinan a todos los sectores, como la minería, generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, agua y suministro de gas por ductos, construcción e industrias manufactureras (INEGI, 2011).

En este caso, la industria manufacturera de la entidad está compuesta por el 93.9% de microindustrias; 3.1% por pequeñas industrias; 2.5% por industrias medianas y el 0.5% por grandes industrias. Destacan las unidades económicas micro, pequeñas y medianas que ocupaban el 76% del personal estatal en este sector.

Figura 16. Ubicación de Zonas Industriales



Elaboración propia con base en: INEGI, (2016a); INEGI, (2016b) y datos propios.

2.3.3.3 Sector terciario

El sector terciario es considerado como las actividades de distribución de los bienes y servicios que se produjeron en los grupos de actividades primarias y secundarias. En particular, el comercio se sitúa inmediatamente después de las manufacturas por la directa e intensa interacción entre ellos (INEGI, 2011)

Este sector se ha incrementado en los últimos años, como resultado de la urbanización y de la expansión del mercado interno. En cuanto al personal ocupado, destacan las actividades de comercio al por menor de alimentos, bebidas y tabaco, servicios de apoyo a los negocios, manejo de desechos, servicios de remediación, servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas.

De acuerdo con la Secretaria de Medio Ambiente del Estado de México (GEM-SMA, 2004), "en las últimas décadas se ha abierto una importante brecha al interior del

comercio al menudeo, pues coexisten, por un lado, el comercio tradicional con rezagos en su operación, equipamiento y técnicas de comercialización y por el otro, el comercio moderno, integrado por tiendas de autoservicio y centros comerciales, el cual ha incrementado su presencia en las zonas urbanas de la entidad”.

Capítulo 3



Capítulo 3. Marco Jurídico

El presente capítulo aborda el Marco normativo correspondiente al tema de estudio; en él se tomará en cuenta acuerdos internacionales, leyes nacionales y estatales con el fin de determinar los límites permisibles en cuanto a emisiones de CO a la atmósfera.

3.1 Acuerdos Internacionales

3.1.1 Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto dio lugar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, aprobada en Nueva York el 9 de mayo de 1992. La cual, tiene como objetivos:

| Protocolo de Kioto | |
|--------------------|---|
| Objetivos | <p>“... promover el desarrollo sostenible, cada una de las Partes incluidas en el anexo I, al cumplir los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3:</p> <p>a) Aplicará y/o seguirá elaborando políticas y medidas de conformidad con sus circunstancias nacionales, por ejemplo, las siguientes:</p> <p>i) fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional;</p> <p>ii) protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, teniendo en cuenta sus compromisos en virtud de los acuerdos internacionales pertinentes sobre el medio ambiente; promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, la forestación y la reforestación;</p> <p>iii) promoción de modalidades agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático;</p> <p>iv) investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales;</p> <p>v) reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, los incentivos fiscales, las exenciones tributarias y arancelarias y las subvenciones que sean contrarios al objetivo de la Convención en todos los</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>sectores emisores de gases de efecto invernadero y aplicación de instrumentos de mercado;</p> <p>vi) fomento de reformas apropiadas en los sectores pertinentes con el fin de promover unas políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal;</p> <p>vii) medidas para limitar y/o reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal en el sector del transporte;</p> <p>viii) limitación y/o reducción de las emisiones de metano mediante su recuperación y utilización en la gestión de los desechos, así como en la producción, el transporte y la distribución de energía;</p> <p>b) Cooperará con otras Partes del anexo I para fomentar la eficacia individual y global de las políticas y medidas que se adopten en virtud del presente artículo, de conformidad con el apartado i) del inciso e) del párrafo 2 del artículo 4 de la Convención. Con este fin, estas Partes procurarán intercambiar experiencia e información sobre tales políticas y medidas, en particular concibiendo las formas de mejorar su comparabilidad, transparencia y eficacia. La Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo, en su primer período de sesiones o tan pronto como sea posible después de éste, examinará los medios de facilitar dicha cooperación, teniendo en cuenta toda la información pertinente.” (Artículo 2, ONU, 1992)</p> |
| <p>Artículo 3</p> | <p>“ ...Las Partes incluidas en el anexo I se asegurarán, individual o conjuntamente, de que sus emisiones antropogénicas agregadas, expresadas en dióxido de carbono equivalente, de los gases de efecto invernadero enumerados en el anexo A no excedan de las cantidades atribuidas a ellas, calculadas en función de los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones consignados para ellas en el anexo B y de conformidad con lo dispuesto en el presente artículo, con miras a reducir el total de sus emisiones de esos gases a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012.” (ONU, 1992)</p> |
| <p>Anexo A</p> | <p>Contiene los Gases de efecto invernadero dispuestos en este protocolo como: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbono (HFC), Perfluorocarbono (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆)</p> |
| <p>Sectores y categorías de fuente de emisión</p> | <p>Energía</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quema de combustible <ul style="list-style-type: none"> Industrias de energía Industria manufacturera y construcción Transporte Otros sectores Otros • Emisiones fugitivas de combustibles <ul style="list-style-type: none"> Combustibles sólidos Petróleo y gas natural Otros • Procesos industriales <ul style="list-style-type: none"> Productos minerales |

| | |
|--|---|
| | <p>Industria química Producción de metales Otra producción Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre Otros</p> <ul style="list-style-type: none">• Utilización de disolventes y otros productos• Agricultura<ul style="list-style-type: none">Fermentación entéricaAprovechamiento del estiércolCultivo del arrozSuelos agrícolasQuema prescrita de sabanasQuema en el campo de residuos agrícolasOtros <p>Desechos</p> <ul style="list-style-type: none">• Eliminación de desechos sólidos en la tierra• Tratamiento de las aguas residuales• Incineración de desechos• Otros |
|--|---|

Elaboración propia con base en ONU, (1998).

3.2 Ámbito Federal

3.2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

“Artículo 4. Toda persona tiene derecho a la protección de la salud. Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley” (Cámara de Diputados, 1917)

Artículo 73 fracción XVI 4a. Constitucional, que refiere la idea de la prevención y control de la contaminación ambiental, con un concepto ambiental dentro del rubro de salubridad general, dentro del ámbito de competencia de la Secretaría de Salud. (Cámara de Diputados, 1917)

3.2.2 Ley General de Equilibrio y Protección al Ambiente

La presente Ley hace referencia a “...*la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción*”. (Cámara de Diputados, 1998)

Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

- I. Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar;
- II. Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación;
- III. La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;
- IV. La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas;
- V. El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas;
- VI. La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;
- VII. Garantizar la participación corresponsable de las personas, en forma individual o colectiva, en la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente;
- VIII. El ejercicio de las atribuciones que en materia ambiental corresponde a la Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX - G de la Constitución;
- IX. El establecimiento de los mecanismos de coordinación, inducción y concertación entre autoridades, entre éstas y los sectores social y privado, así como con personas y grupos sociales, en materia ambiental,
- X. El establecimiento de medidas de control y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y de las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones administrativas y penales que correspondan.

| Ley General de Equilibrio y Protección al Ambiente | |
|---|---|
| Artículo 7o | <p>Corresponden a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:</p> <p>III.- La prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, así como por fuentes móviles, que conforme a lo establecido en esta Ley no sean de competencia Federal</p> |
| Artículo 8º | <p>Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:</p> <p>VI.- La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de la contaminación por ruido, vibraciones, energía térmica, radiaciones electromagnéticas y lumínica y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente, proveniente de fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles o de servicios, así como la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones que, en su caso, resulten aplicables a las fuentes móviles excepto las que conforme a esta Ley sean consideradas de jurisdicción federal.</p> |
| Artículo 11 | <p>La Federación, por conducto de la Secretaría, podrá suscribir convenios o acuerdos de coordinación, con el objeto de que los gobiernos del Distrito Federal o de los Estados, con la participación, en su caso, de sus Municipios, asuman las siguientes facultades, en el ámbito de su jurisdicción territorial:</p> <p>VI. La prevención y control de la contaminación de la atmósfera, proveniente de fuentes fijas y móviles de jurisdicción federal y, en su caso, la expedición de las autorizaciones correspondientes</p> |
| CAPÍTULO II Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera | |
| Artículo 110 | <p>Para la protección a la atmósfera se considerarán los siguientes criterios:</p> <ol style="list-style-type: none"> I. La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país; II. Las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. |
| Artículo 111 | <p>Para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera, la Secretaría tendrá las siguientes facultades:</p> <ol style="list-style-type: none"> I.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan la calidad ambiental de las distintas áreas, zonas o regiones del territorio nacional, con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud; II.- Integrar y mantener actualizado el inventario de las fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera de jurisdicción federal, y |

| | |
|--|---|
| | <p>coordinarse con los gobiernos locales para la integración del inventario nacional y los regionales correspondientes;</p> <p>III.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan por contaminante y por fuente de contaminación, los niveles máximos permisibles de emisión de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera provenientes de fuentes fijas y móviles;</p> <p>IV.- Formular y aplicar programas para la reducción de emisión de contaminantes a la atmósfera, con base en la calidad del aire que se determine para cada área, zona o región del territorio nacional. Dichos programas deberán prever los objetivos que se pretende alcanzar, los plazos correspondientes y los mecanismos para su instrumentación;</p> <p>V.- Promover y apoyar técnicamente a los gobiernos locales en la formulación y aplicación de programas de gestión de calidad del aire, que tengan por objeto el cumplimiento de la normatividad aplicable;</p> <p>VI.- Requerir a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción federal, el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 37 de la presente Ley, su reglamento y en las normas oficiales mexicanas respectivas;</p> <p>VII.- Expedir las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire;</p> <p>VIII.- Expedir las normas oficiales mexicanas para la certificación por la autoridad competente, de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas;</p> <p>IX. Expedir, en coordinación con la Secretaría de Economía, las normas oficiales mexicanas que establezcan los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera, provenientes de vehículos automotores nuevos en planta y de vehículos automotores en circulación, considerando los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud;</p> <p>X.- Definir niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera por fuentes, áreas, zonas o regiones, de tal manera que no se rebasen las capacidades de asimilación de las cuencas atmosféricas y se cumplan las normas oficiales mexicanas de calidad del aire; XI.- Promover en coordinación con las autoridades competentes, de conformidad con las disposiciones que resulten aplicables, sistemas de derechos transferibles de emisión de contaminantes a la atmósfera; XII.- Aprobar los programas de gestión de calidad del aire elaborados por los gobiernos locales para el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas respectivas;</p> <p>XIII.- Promover ante los responsables de la operación de fuentes contaminantes, la aplicación de nuevas tecnologías, con el propósito de reducir sus emisiones a la atmósfera, y</p> <p>XIV.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan las previsiones a que deberá sujetarse la operación de fuentes fijas que</p> |
|--|---|

| | |
|-------------------------|---|
| | emitan contaminantes a la atmósfera, en casos de contingencias y emergencias ambientales. Artículo reformado |
| Artículo 111 BIS | Para la operación y funcionamiento de las fuentes fijas de jurisdicción federal que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, se requerirá autorización de la Secretaría. Para los efectos a que se refiere esta Ley, se consideran fuentes fijas de jurisdicción federal, las industrias químicas, del petróleo y petroquímica, de pinturas y tintas, automotriz, de celulosa y papel, metalúrgica, del vidrio, de generación de energía eléctrica, del asbesto, cementera y calera y de tratamiento de residuos peligrosos. El reglamento que al efecto se expida determinará los subsectores específicos pertenecientes a cada uno de los sectores industriales antes señalados, cuyos establecimientos se sujetarán a las disposiciones de la legislación federal, en lo que se refiere a la emisión de contaminantes a la atmósfera. Artículo adicionado |
| Artículo 112 | <p>En materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, los gobiernos de los Estados, del Distrito Federal y de los Municipios, de conformidad con la distribución de atribuciones establecida en los artículos 7o., 8o. y 9o. de esta Ley, así como con la legislación local en la materia: Párrafo reformado</p> <p>I.- Controlarán la contaminación del aire en los bienes y zonas de jurisdicción local, así como en fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, comerciales y de servicios, siempre que no estén comprendidos en el artículo 111 BIS de esta Ley;</p> <p>II.- Aplicarán los criterios generales para la protección a la atmósfera en los planes de desarrollo urbano de su competencia, definiendo las zonas en que sea permitida la instalación de industrias contaminantes;</p> <p>III.- Requerirán a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción local, el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, de conformidad con lo dispuesto en el reglamento de la presente Ley y en las normas oficiales mexicanas respectivas;</p> <p>IV.- Integrarán y mantendrán actualizado el inventario de fuentes de contaminación;</p> <p>V. Establecerán y operarán sistemas de verificación de emisiones de automotores en circulación;</p> <p>VI.- Establecerán y operarán, con el apoyo técnico, en su caso, de la Secretaría, sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Los gobiernos locales remitirán a la Secretaría los reportes locales de monitoreo atmosférico, a fin de que aquélla los integre al Sistema Nacional de Información Ambiental;</p> <p>VII. Establecerán requisitos y procedimientos para regular las emisiones del transporte público, excepto el federal, y las medidas de tránsito, y en su caso, la suspensión de circulación, en casos graves de contaminación; VIII. Tomarán las medidas preventivas necesarias para evitar contingencias ambientales por contaminación atmosférica;</p> |

| | |
|---------------------|--|
| | <p>IX. Elaborarán los informes sobre el estado del medio ambiente en la entidad o municipio correspondiente, que convengan con la Secretaría a través de los acuerdos de coordinación que se celebren;</p> <p>X.- Impondrán sanciones y medidas por infracciones a las leyes que al efecto expidan las legislaturas locales, o a los bandos y reglamentos de policía y buen gobierno que expidan los ayuntamientos, de acuerdo con esta Ley</p> <p>XI.- Formularán y aplicarán, con base en las normas oficiales mexicanas que expida la Federación para establecer la calidad ambiental en el territorio nacional, programas de gestión de calidad del aire,</p> <p>XII.- Ejercerán las demás facultades que les confieren las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.</p> |
| Artículo 113 | No deberán emitirse contaminantes a la atmósfera que ocasionen o puedan ocasionar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente. En todas las emisiones a la atmósfera, deberán ser observadas las previsiones de esta Ley y de las disposiciones reglamentarias que de ella emanen, así como las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría. |
| Artículo 114 | Las autoridades competentes promoverán, en las zonas que se hubieren determinado como aptas para uso industrial, próximas a áreas habitacionales, la instalación de industrias que utilicen tecnologías y combustibles que generen menor contaminación. |
| Artículo 115 | La Secretaría promoverá que en la determinación de usos del suelo que definan los programas de desarrollo urbano respectivos, se consideren las condiciones topográficas, climatológicas y meteorológicas, para asegurar la adecuada dispersión de contaminantes. |
| Artículo 116 | <p>Para el otorgamiento de estímulos fiscales, las autoridades competentes considerarán a quienes:</p> <p>I. Adquieran, instalen u operen equipo para el control de emisiones contaminantes a la atmósfera;</p> <p>II. Fabriquen, instalen o proporcionen mantenimiento a equipo de filtrado, combustión, control, y en general, de tratamiento de emisiones que contaminen la atmósfera;</p> <p>III. Realicen investigación científica y tecnológica e innovación, cuya aplicación disminuya la generación de emisiones contaminantes,</p> <p>III. Ubiquen o relocalicen sus instalaciones para evitar emisiones contaminantes en zonas urbanas.</p> |

Elaboración propia con base en Cámara de Diputados, (1998).

3.2.4 Normas Oficiales Mexicanas

3.2.4.1 NOM-156-SEMARNAT-2012

Norma Oficial Mexicana para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire (DOF, 2012).

3.2.4.2 NOM-034-ECOL-1993

Norma Oficial Mexicana que establece los métodos de medición para determinar la concentración de CO en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición (DOF, 1993).

Para determinar la concentración de CO en la muestra conforme al método de referencia, *“se ajusta la sensibilidad del fotómetro a la capacidad de absorción de energía del monóxido de carbono, empleando monóxido de carbono patrón, determinando así las longitudes de onda de interés. La absorción registrada en el fotómetro es convertida en una señal eléctrica de salida, la cual tiene una correspondencia con la concentración de monóxido de carbono contenido en la muestra de aire”* (DOF, 1993) .

3.2.4.3 NOM-021-SSA1-1993

Norma Oficial Mexicana de Salud Ambiental que establece los criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al Monóxido de Carbono y los valores permisibles para las concentraciones de CO en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población (DOF, 1993a).

De acuerdo con el DOF (1993), *“La concentración de monóxido de carbono, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el valor permisible de 11.00 ppm o lo que es equivalente a 12,595 µg/m³ en promedio móvil de ocho horas una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible”*.

3.3 Ámbito Estatal

3.3.1 NTEA-007-SMA-DS-2006

Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-007-SMA-DS-2006, que establece los requisitos para elaborar en Índice Metropolitano de la Calidad del Aire. Esta norma busca mejorar y actualizar el índice con las características del IMECA de acuerdo como se vaya dando la transición y/o actualización de las NOM referentes al monitoreo atmosférico.

La NTEA-007-SMA-DS-2006 tiene como objetivo establecer los lineamientos para la obtención, uso y comunicación de riesgos del IMECA en los municipios conurbados a las Zonas Metropolitanas del Valle de México y el Valle de Toluca (GEM, 2007).

En el caso de la ZMVT, se consideran 7 municipios: Toluca, Lerma, Metepec, Ocoyoacac, San Mateo Atenco, Xonacatlán y Zinacantepec.

Capítulo 4



Capítulo 4. Resultados

El presente capítulo comprende los resultados obtenidos; se presentan los resultados derivados del procesamiento de datos referentes al CO y las diferentes variables meteorológicas para el periodo 2011 al 2017.

El capítulo se divide en análisis de las concentraciones por hora de CO, concentraciones mensuales de CO, concentraciones de CO por año, respecto a cada estación de monitoreo de la RAMA, concentraciones máximas de CO por hora en el periodo 2011-2017, concentraciones máximas por mes en el periodo 2011-2017. Así como concentraciones promedio por estación y año, e acuerdo al periodo de estudio antes mencionado.

4.1 Análisis de variables por hora/estación

Las concentraciones promedio por hora respecto a cada estación se presentan en el orden siguiente:

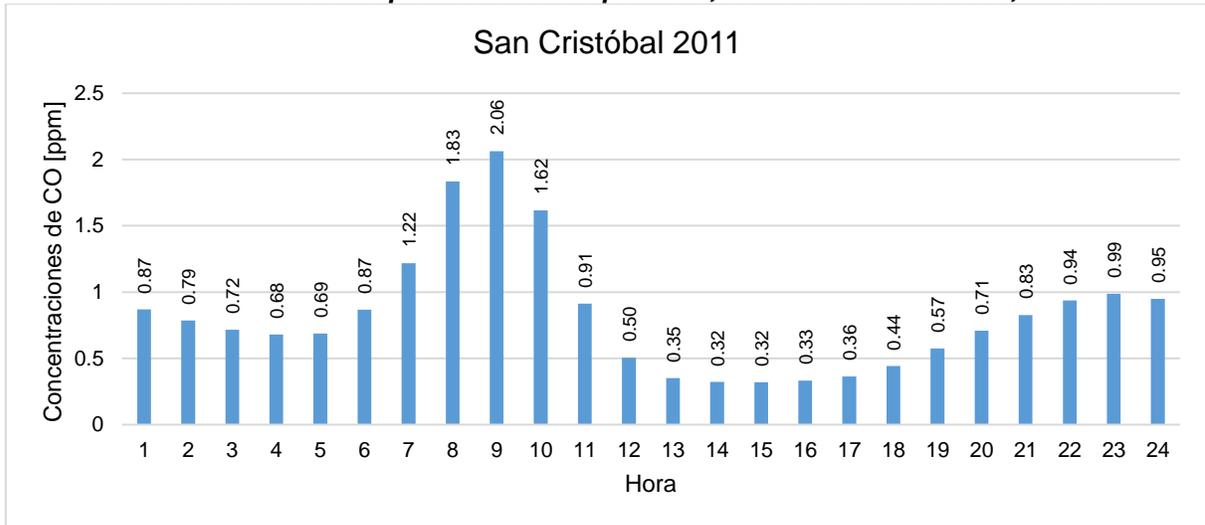
- ❖ San Cristóbal
- ❖ Aeropuerto
- ❖ San Mateo Atenco
- ❖ Ceboruco
- ❖ Metepec
- ❖ Toluca Centro
- ❖ Oxtitlán

4.1.1 Análisis del año 2011

4.1.1.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica 1 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2011.

Gráfica 1. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

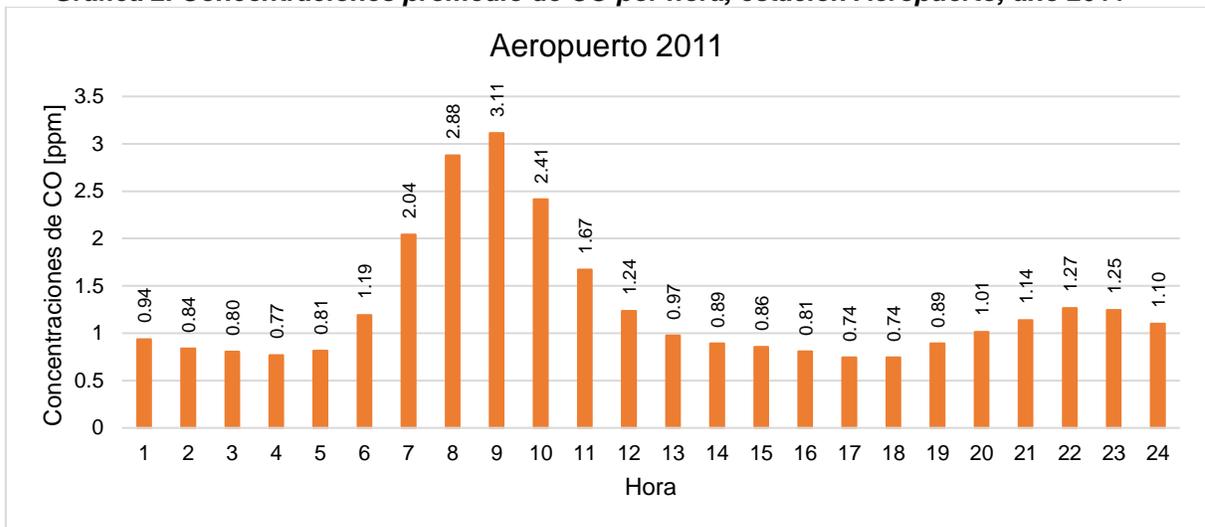
Entre la hora 1 y 4 las concentraciones de CO descienden de 0.87 ppm a 0.68 ppm, posteriormente estas concentraciones aumentan hasta las 9 horas alcanzando 2.05 ppm.

Después de las 10 horas las concentraciones disminuyen a 0.32 ppm en las 15 horas. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 0.99 ppm a las 23 horas.

4.1.1.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica 2 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2011.

Gráfica 2. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

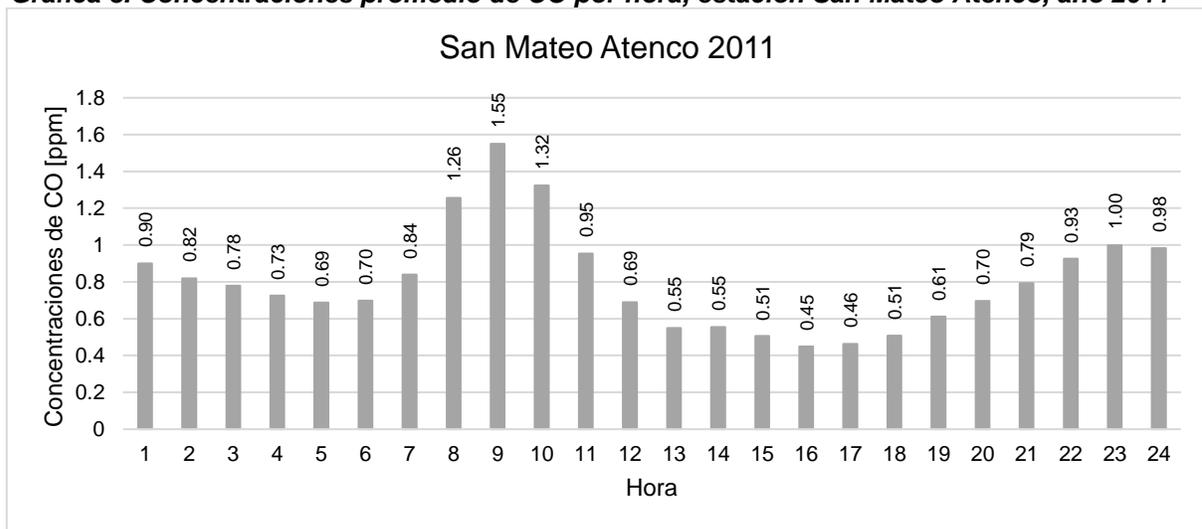
A partir de las 6 horas, las concentraciones de CO superan 1ppm, alcanzando un registro mayor a las 9 horas con 3.11 ppm, y llegando a 0.97 ppm a las 13 horas.

Por la tarde las emisiones de CO superan 1 ppm a partir de las 20 horas, alcanzado un dato mayor a las 22 horas con 1.27 ppm.

4.1.1.3 Estación San Mateo Atenco

La gráfica 3 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2011.

Gráfica 3. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2011



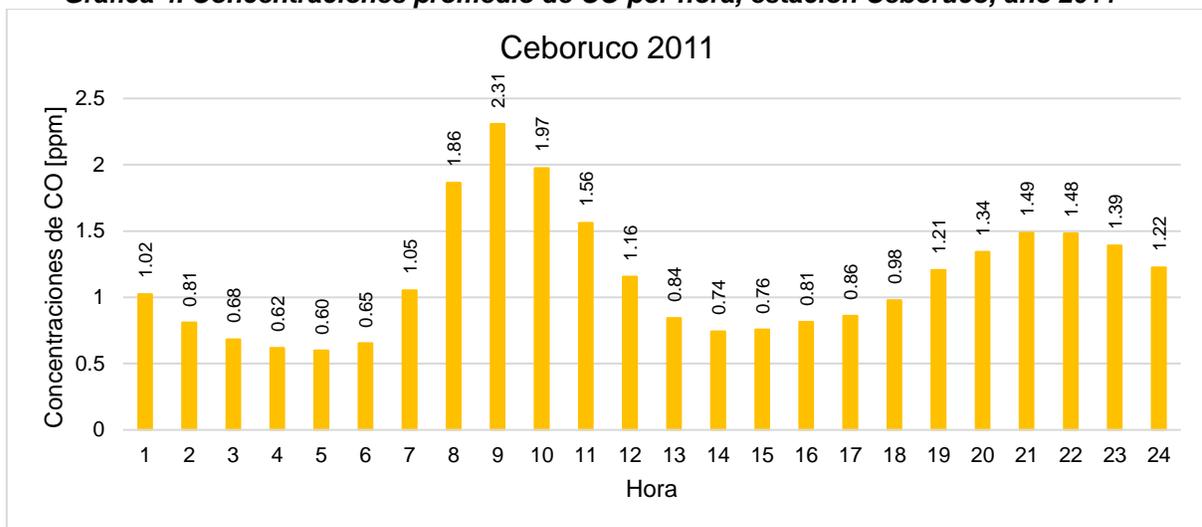
Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Entre las 8 y 10 horas se registran mayores concentraciones de CO, siendo, a las 8 horas 1.26 ppm, 9 horas 1.55 ppm y las 10 horas 1.32 ppm. Los menores registros de CO suceden a las 16 horas con 0.45 ppm.

4.1.1.4 Estación Ceboruco

La gráfica 4 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2011.

Gráfica 4. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

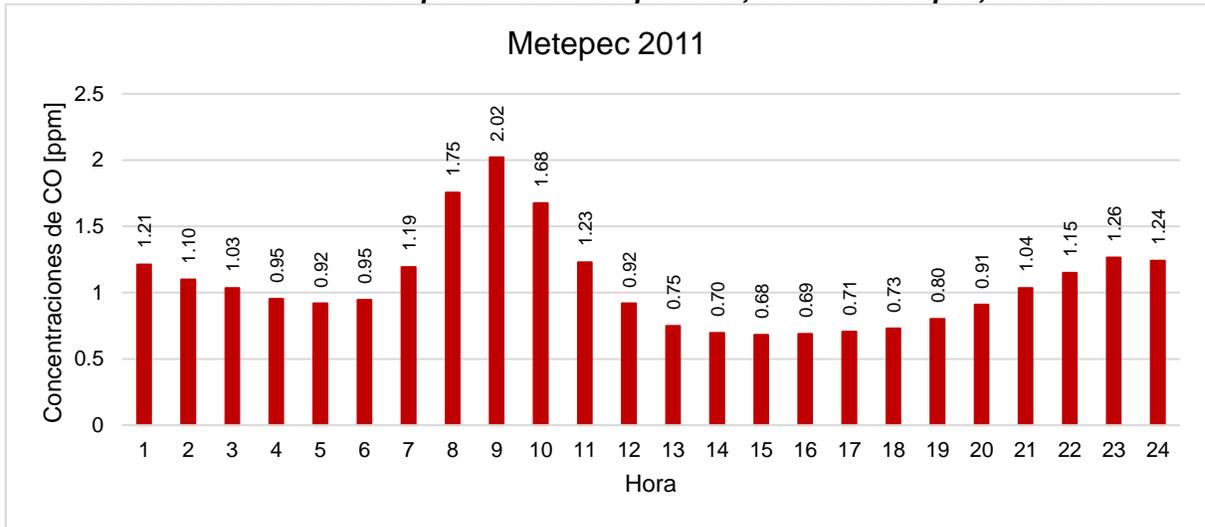
En la gráfica se puede observar que en las primeras horas del día se presenta un registro mayor en la hora 1 de 1.02 ppm, posteriormente los registros disminuyen hasta las 6 horas cuando vuelven a aumentar hasta las 9 horas alcanzando 2.31 ppm.

Además, y después de la hora antes mencionada, las concentraciones de CO disminuyen hasta las 14 horas. Por la tarde las emisiones de CO aumentan a partir de las 18 horas, alcanzando un registro mayor a las 21 horas.

4.1.1.5 Estación Metepec

La gráfica 5 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Metepec, durante el año 2011.

Gráfica 5. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

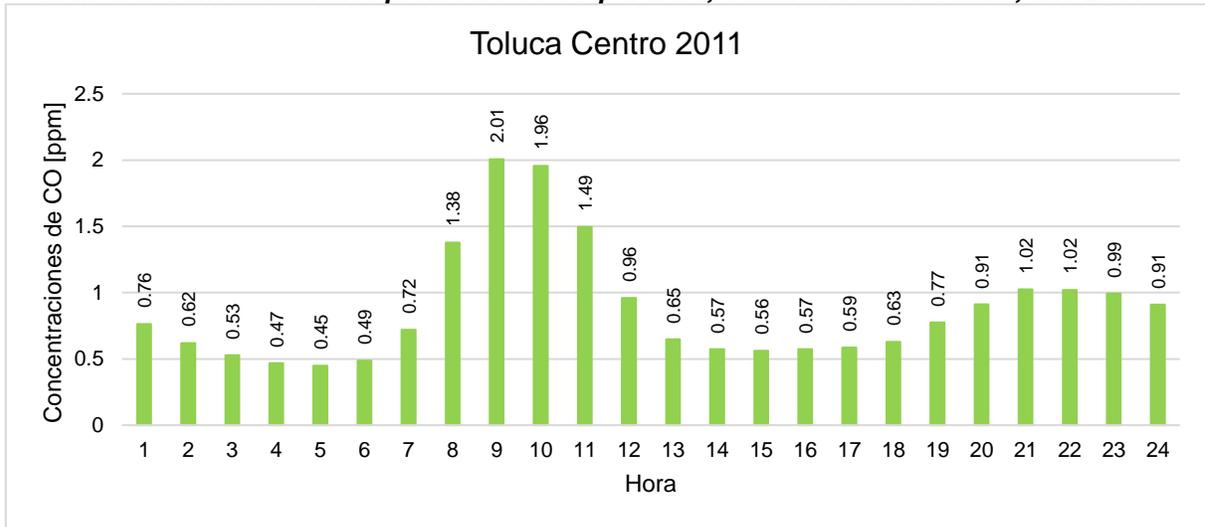
La estación Metepec tiene un registro mayor de CO a las 9 horas con 2.02 ppm, entre las 7 y 11 horas se superan 1.0 ppm. A partir de las 13 a 18 horas las concentraciones de CO se mantienen entre 0.68 y 0.75 ppm.

A partir de las 20 horas, las concentraciones de CO comienzan a aumentar de 0.91 hasta las 23 horas con 1.26 ppm.

4.1.1.6 Estación Toluca Centro

La gráfica 6 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2011.

Gráfica 6. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

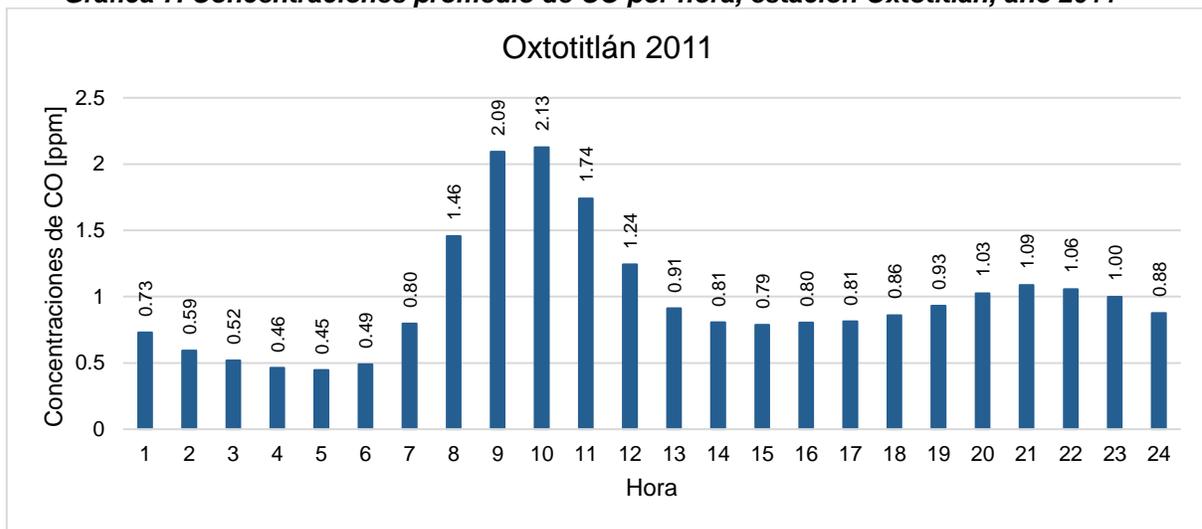
La estación Toluca Centro registra mayores concentraciones de CO entre las 9 y 10 horas con 2.01 y 1.96 ppm; y por la tarde 1.02 ppm entre las 21 y 22 horas. El menor registro de CO sucede a las 5 horas con 0.45 ppm.

Considerando la NOM-021-SAA1-1993, no se superan los límites máximos permisibles de 11ppm.

4.1.1.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica 7 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2011.

Gráfica 7. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2011



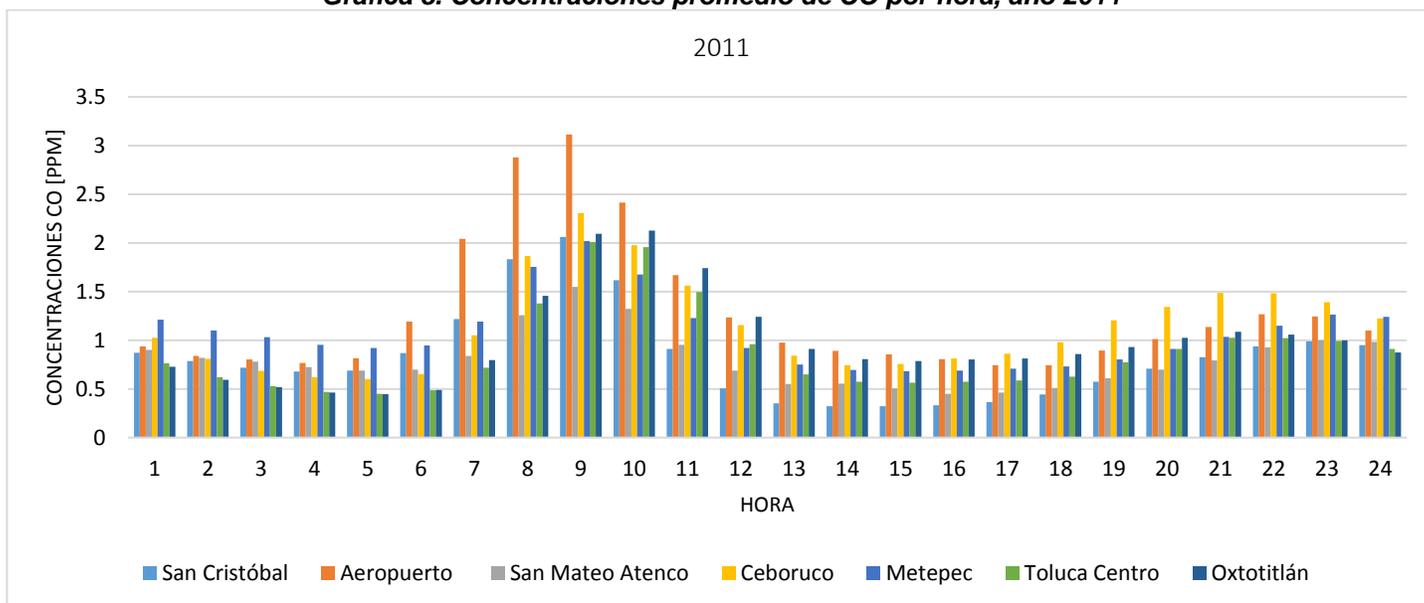
Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre las 9 y 10 horas con 2.09 ppm y 2.13 ppm respectivamente. Entre las 11 y 15 horas las concentraciones de CO disminuyen de 1.74 ppm a 0.79 ppm; posteriormente aumentan los registros de CO hasta las 23 horas alcanzando 1.09 ppm, para nuevamente disminuir.

4.1.1.8 Concentraciones de CO promedio por hora, año 2011

En la gráfica 8 puede observarse las concentraciones promedio de CO por hora para cada una de las estaciones durante el año 2011, siendo la estación Aeropuerto la que registra mayores concentraciones desde 2.8 ppm a las 8 am a 3.1 ppm a las 9 am.

Gráfica 8. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Sin embargo, las demás estaciones en el periodo 7-11 horas se registran concentraciones desde 0.7 a 1.6 ppm, considerándose este intervalo de tiempo como el que presenta un pico en las concentraciones.

Así mismo, se da otro aumento en las concentraciones de CO por la tarde entre las 19 y 23 horas con 0.93 a 1.4 ppm, siendo la estación Ceboruco que entre las 21 y 22 horas presentan concentraciones de 1.4 ppm.

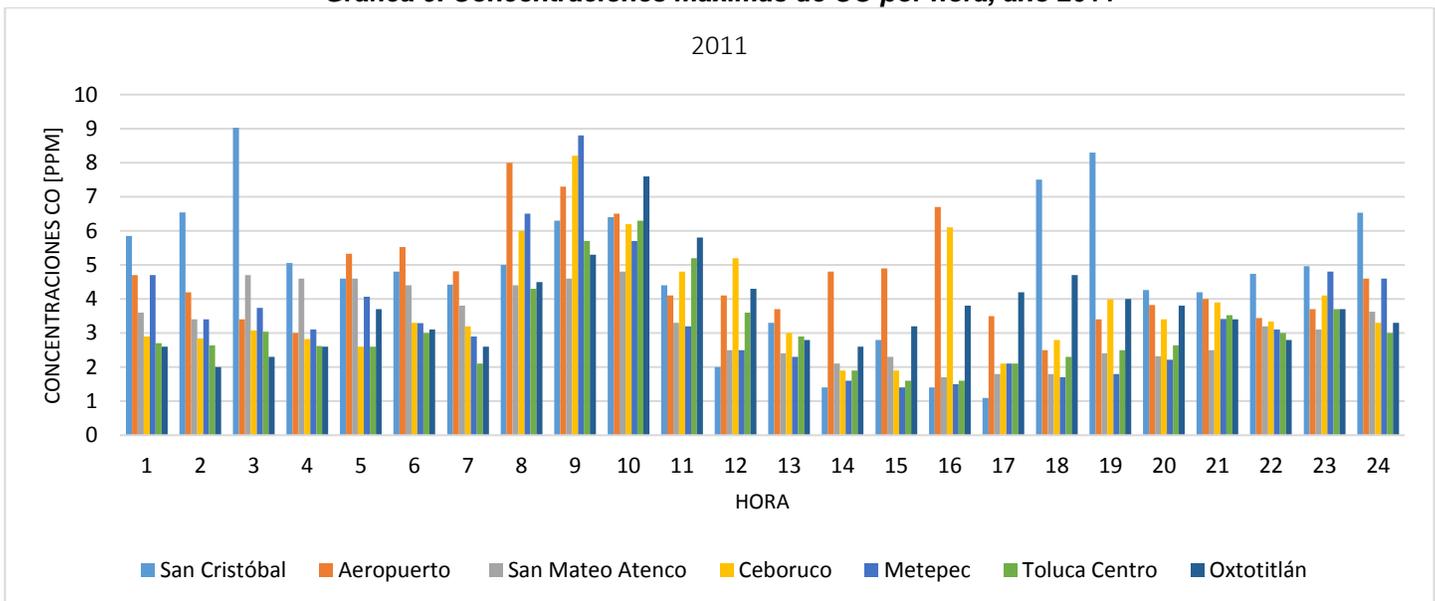
Tomando en cuenta lo anterior, es importante señalar que de acuerdo con la NOM-021-SSA1-1993 que establece los valores permisibles para las concentraciones de CO en el aire con 11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire, en este

periodo no se supera. De la misma manera, se puede afirmar que la calidad del aire para el año 2011 en promedios por hora se presenta como “buena” considerando que no se superan las 5.5 ppm según lo establecido por la RAMA.

4.1.1.9 Concentraciones máximas de CO por hora

En la gráfica 9 siguiente se presentan las concentraciones máximas de CO por hora durante el año 2011, siendo la estación San Cristóbal la que registra mayores concentraciones de hasta 9.03 ppm a las 3 horas y la estación Metepec con 8.8ppm a las 9 horas. Así mismo, puede observarse concentraciones de 1.1 ppm a 1.9 ppm como el mínimo entre las 15 y 17 horas.

Gráfica 9. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Respecto a lo anterior las concentraciones que se presentan en la madrugada de la estación San Cristóbal (1 a 3 horas) son las mayores concentraciones, pudiendo inferir la existencia de liberación de CO en es aparte de la ciudad.

Así mismo, entre las 8 y 10 horas de la mayoría de las estaciones, se presentaron máximos de concentraciones de CO entre 6 y 8.2 ppm, considerándose como calidad de aire regular y el resto del día con calidad buena respecto a los parámetros de referencia de la RAMA.

Aunque, de acuerdo con la NOM-021-SSA1-1993 no se superan las 11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire.

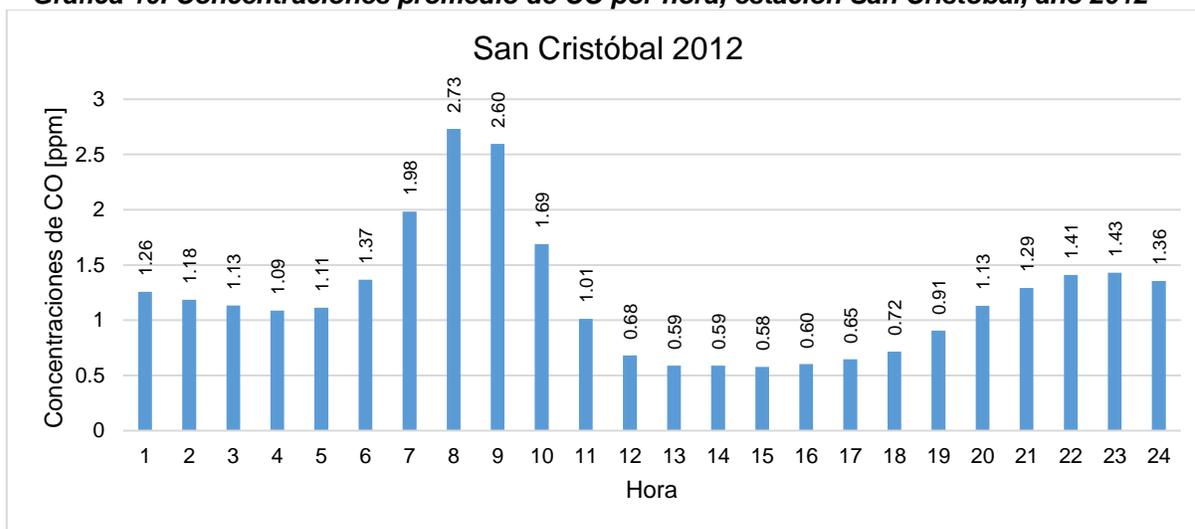
De ahí que sea de importancia mencionar que las concentraciones máximas de CO se presenten entre las 7-9 horas y las concentraciones menores sean entre las 15-16 horas.

4.1.2 Análisis del año 2012

4.1.2.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica **10** se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2012.

Gráfica 10. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

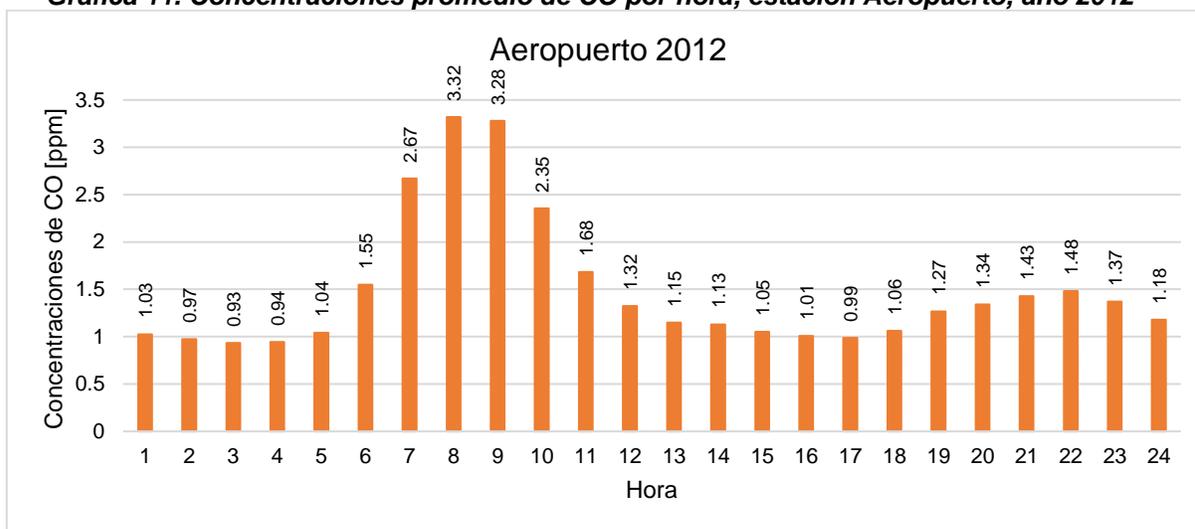
Entre la hora 1 y 4 las concentraciones de CO descienden de 1.26 ppm a 1.09 ppm, posteriormente estas concentraciones aumentan hasta las 8 horas alcanzando 2.73 ppm.

Después de las 10 horas las concentraciones disminuyen a 0.58 ppm en las 15 horas. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.43 ppm a las 23 horas.

4.1.2.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica 11 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2012.

Gráfica 11. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

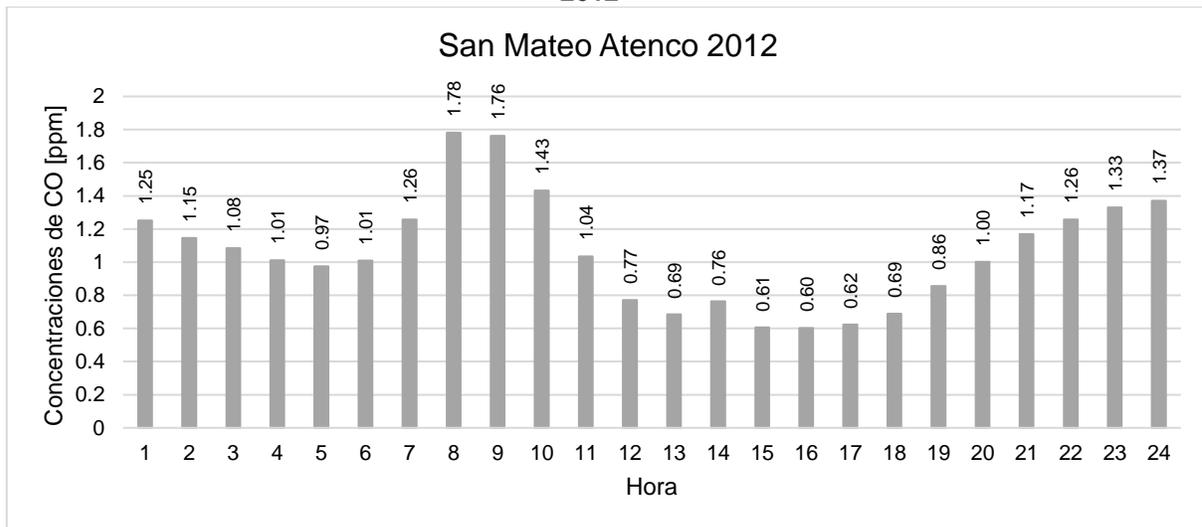
En la hora 1 y a partir de las 5 horas, las concentraciones de CO superan 1.0 ppm, alcanzando un registro mayor a las 8 horas con 3.32 ppm, y llegando a 0.99 ppm a las 17 horas.

Por la tarde las emisiones de CO ascienden a partir de las 18 horas, alcanzado un dato mayor a las 22 horas con 1.48 ppm.

4.1.2.3 Estación San Mateo Atenco

La gráfica 12 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2012.

Gráfica 12. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

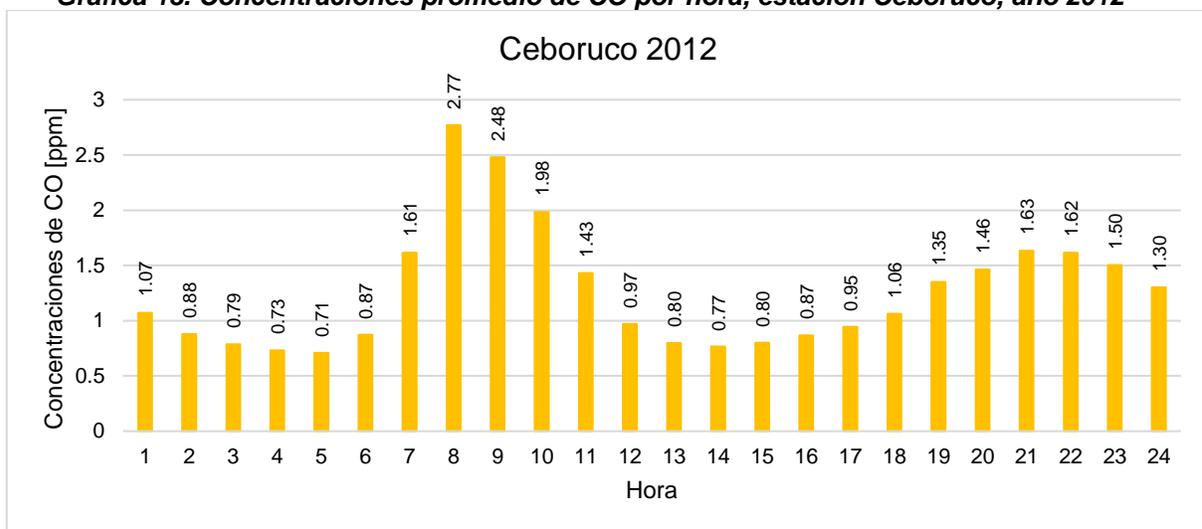
Entre la hora 1 y 5 las concentraciones de CO descienden de 1.25 ppm a 0.97 ppm, posteriormente se registran mayores concentraciones de CO, siendo, a las 8 horas 1.26 ppm, 9 horas 1.55 ppm y las 10 horas 1.32 ppm.

Los menores registros de CO suceden a las 16 horas con 0.45 ppm. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 0.99 ppm a las 23 horas.

4.1.2.4 Estación Ceboruco

La gráfica 13 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2012.

Gráfica 13. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

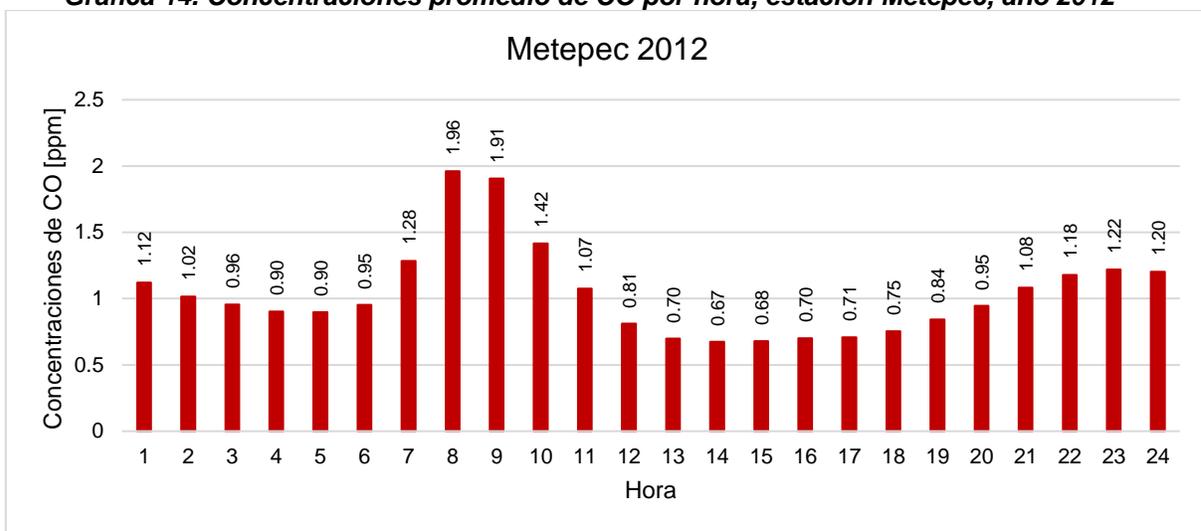
En la gráfica se puede observar que en las primeras horas del día se presenta un registro mayor en la hora 1, posteriormente los registros disminuyen hasta las 5 horas cuando vuelven a aumentar hasta las 8 horas alcanzando 2.77 ppm.

Además, y después de la hora antes mencionada, las concentraciones de CO disminuyen hasta las 14 horas con 0.77 ppm. Por la tarde las emisiones de CO aumentan a partir de las 18 horas, alcanzando un registro mayor a las 21 horas de 1.63 ppm.

4.1.2.5 Estación Metepec

La gráfica 14 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Metepec, durante el año 2012.

Gráfica 14. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

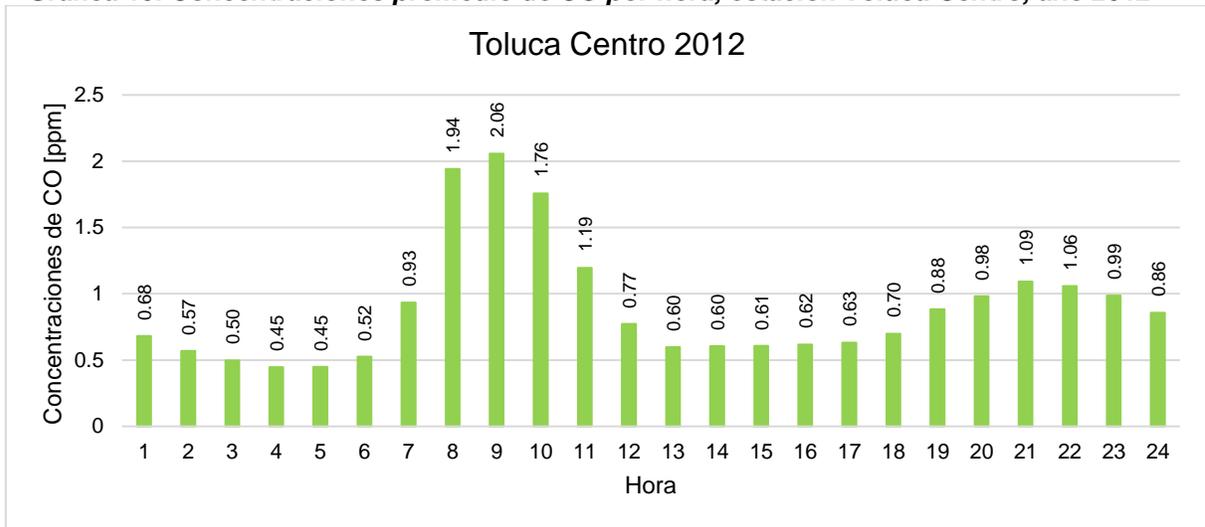
La estación Metepec tiene un registro mayor de CO a las 8 horas con 1.96 ppm, entre las 7 y 11 horas se superan 1.0 ppm. A partir de las 13 a 18 horas las concentraciones de CO se mantienen entre 0.70 y 0.75 ppm.

A partir de las 20 horas, las concentraciones de CO comienzan a aumentar de 0.95 hasta las 23 horas con 1.22 ppm.

4.1.2.6 Estación Toluca Centro

La gráfica 15 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2012.

Gráfica 15. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

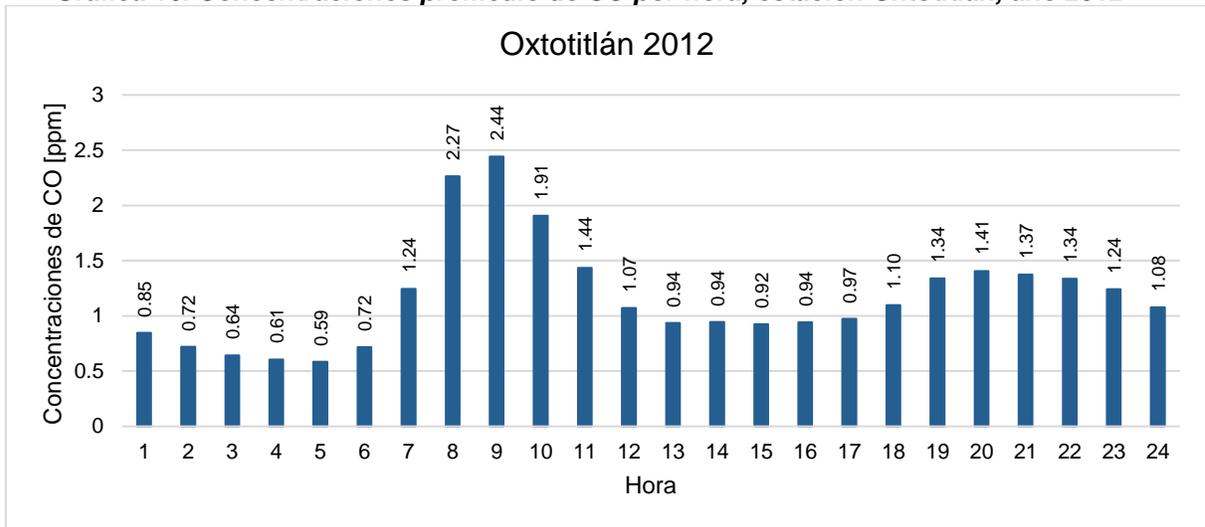
La estación Toluca Centro registra mayores concentraciones de CO entre las 8 y 10 horas con 1.94 ppm, 2.06 ppm y 1.76 ppm respectivamente.

Por la tarde se registran mayores concentraciones de CO con 1.09 ppm a las 21 horas. El menor registro de CO sucede a las 4 y 5 horas con 0.45 ppm.

4.1.2.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica 16 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2012.

Gráfica 16. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

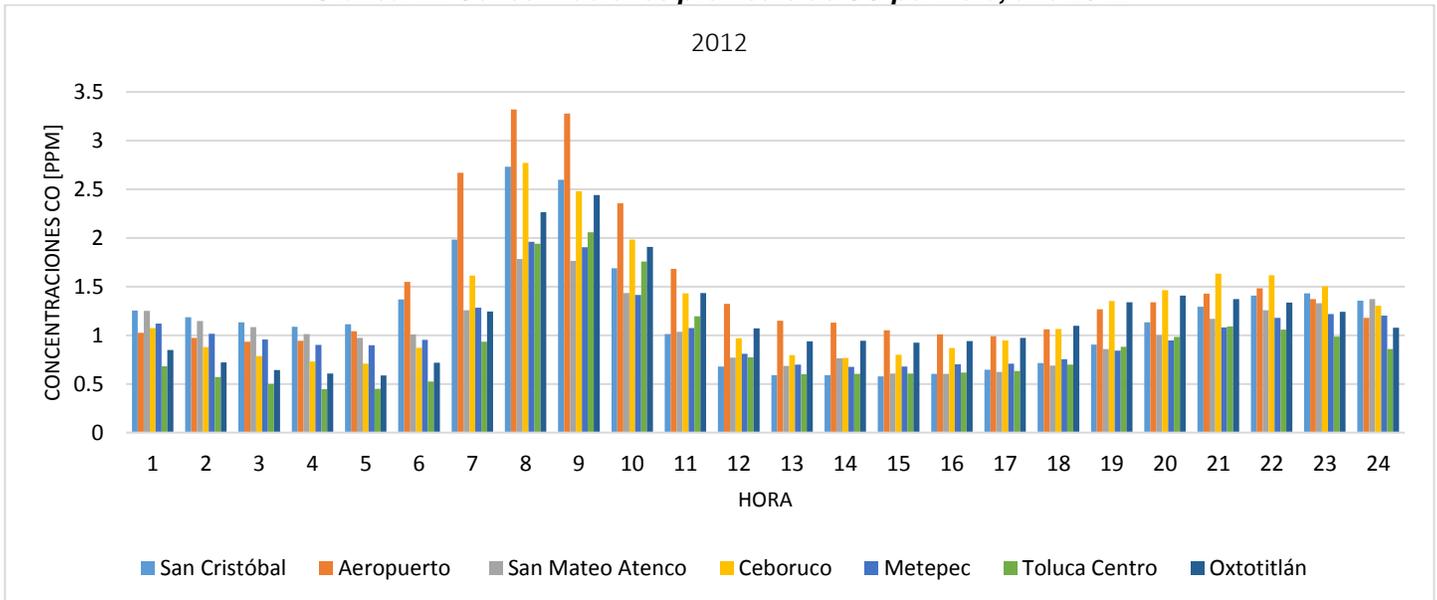
La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre las 8 y 9 horas con 2.27 ppm y 2.44 ppm respectivamente.

Entre las 11 y 15 horas las concentraciones de CO disminuyen de 1.44 ppm a 0.92 ppm; posteriormente aumentan los registros de CO hasta las 20 horas alcanzando 1.41 ppm, para nuevamente disminuir.

4.1.2.8 Concentraciones de CO promedio por hora, año 2012

La gráfica 17 muestra las concentraciones de Monóxido de Carbono promedio por hora para cada estación en el año 2012, donde se identifica un aumento de las concentraciones entre las 7 a las 11 horas; siendo la estación Aeropuerto la que presenta concentraciones de 3.31 y 3.32 entre las 8 y 9 horas.

Gráfica 17. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Aunque también se puede observar que las estaciones San Cristóbal, Ceboruco y Oxtotitlán presentan entre 2.4 y 2.7 ppm en las 8 y 9 horas. Además, existe un aumento nuevamente en las concentraciones de CO por la tarde en el periodo de las 19 a 23 horas, identificando las mayores concentraciones en la estación Ceboruco con 1.6 ppm a las 21 horas.

Entre las 12 y 17 horas se puede observar un descenso de las concentraciones de CO alcanzando 0.6 y 0.7 ppm.

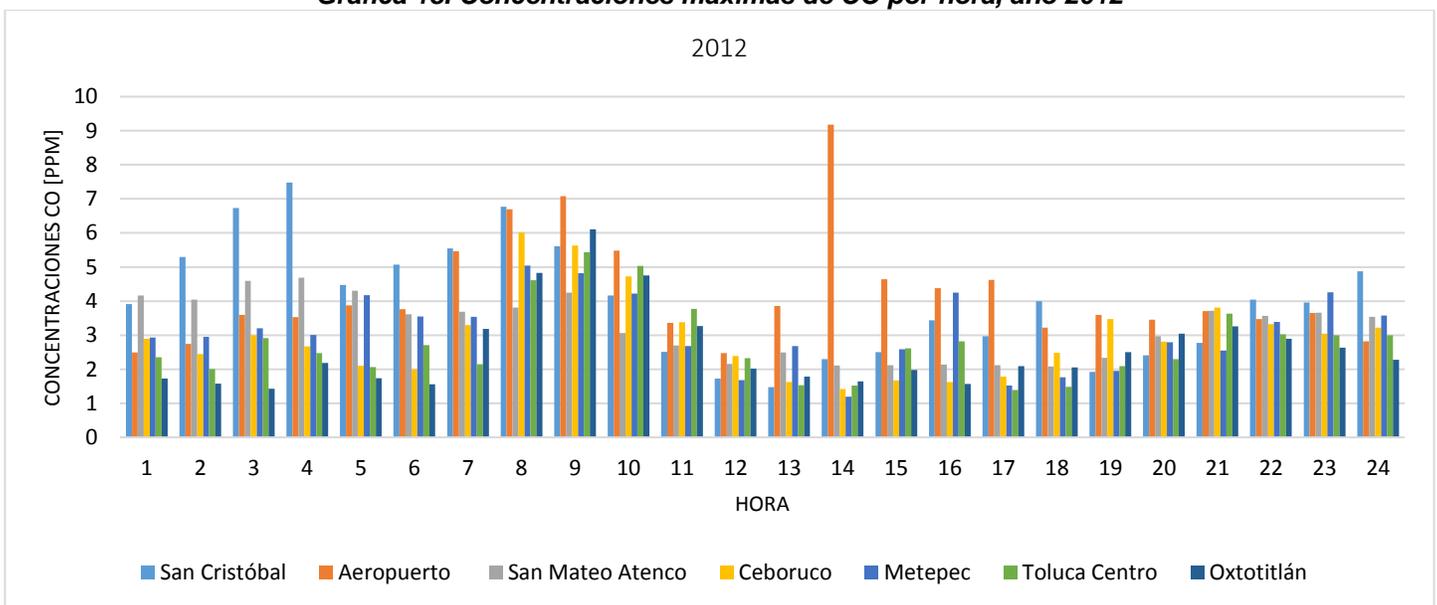
Respecto a la NOM-021-SSA1-1993 que establece los valores permisibles para las concentraciones de CO en el aire con 11.00 ppm como el límite para una buena

calidad del aire, en este periodo no se supera debido a que el punto máximo es de 3.3 ppm; además de considerarse como calidad buena de acuerdo con lo establecido por la RAMA.

4.1.2.9 Concentraciones máximas de CO por hora

En la gráfica 18 se presentan las concentraciones máximas de CO por hora respecto a cada estación durante el año 2012, siendo la estación Aeropuerto la que registra mayores concentraciones de hasta 9.18 ppm a las 14. Así mismo, puede observarse concentraciones de 1.19 ppm a 1.62 ppm como el mínimo entre las 12 y 13 horas.

Gráfica 18. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

En general las concentraciones máximas de CO se presentan entre las 8 y 9 horas superando los límites que indican una buena calidad del aire según la RAMA en las estaciones San Cristóbal, Aeropuerto, Ceboruco y Oxtotitlán, considerándose como calidad del aire regular. Sin embargo, el resto del día de todas las estaciones no

supera las 11 ppm para que rebase la buena calidad del aire que establece la NOM-021-SSA1-1993.

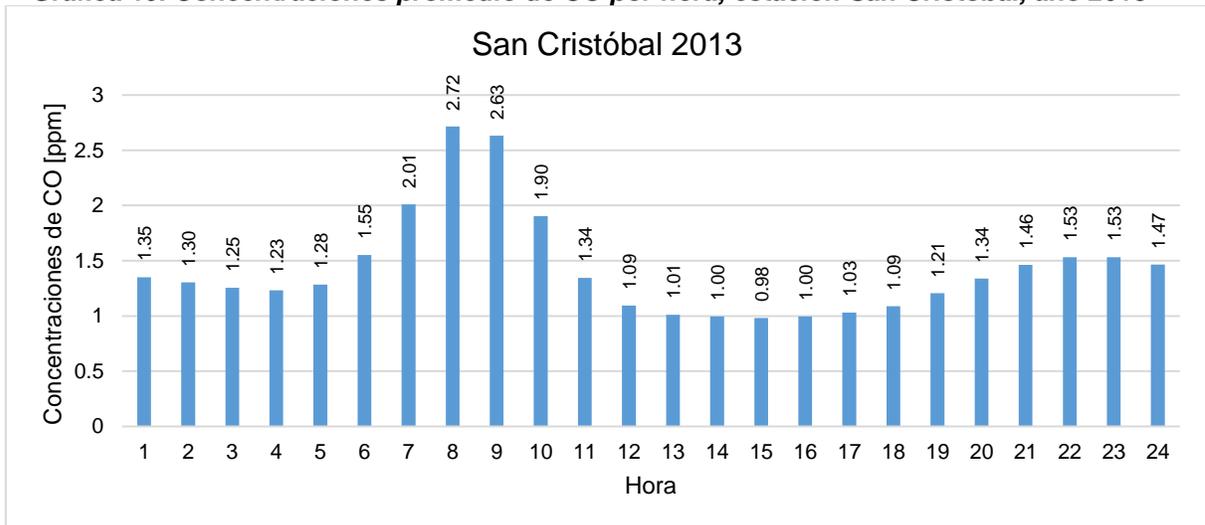
Además de presentarse concentraciones máximas superiores a las 5ppm entre las 2 y 9 horas de la estación San Cristóbal.

4.1.3 Análisis del año 2013

4.1.3.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica 19 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2013.

Gráfica 19. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

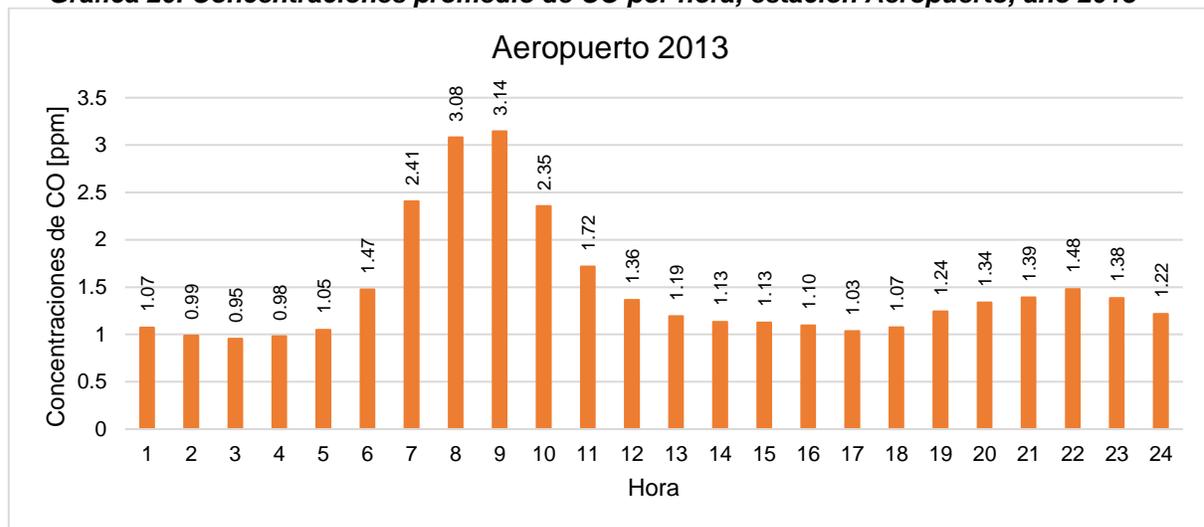
Entre la hora 1 y 4 las concentraciones de CO descienden de 1.35 ppm a 1.23 ppm, posteriormente estas concentraciones aumentan hasta las 8 horas alcanzando 2.72 ppm.

Después de las 9 horas las concentraciones disminuyen a 1.0 ppm en las 14 horas. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.53 ppm a las 22 y 23 horas.

4.1.3.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica 20 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2013.

Gráfica 20. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

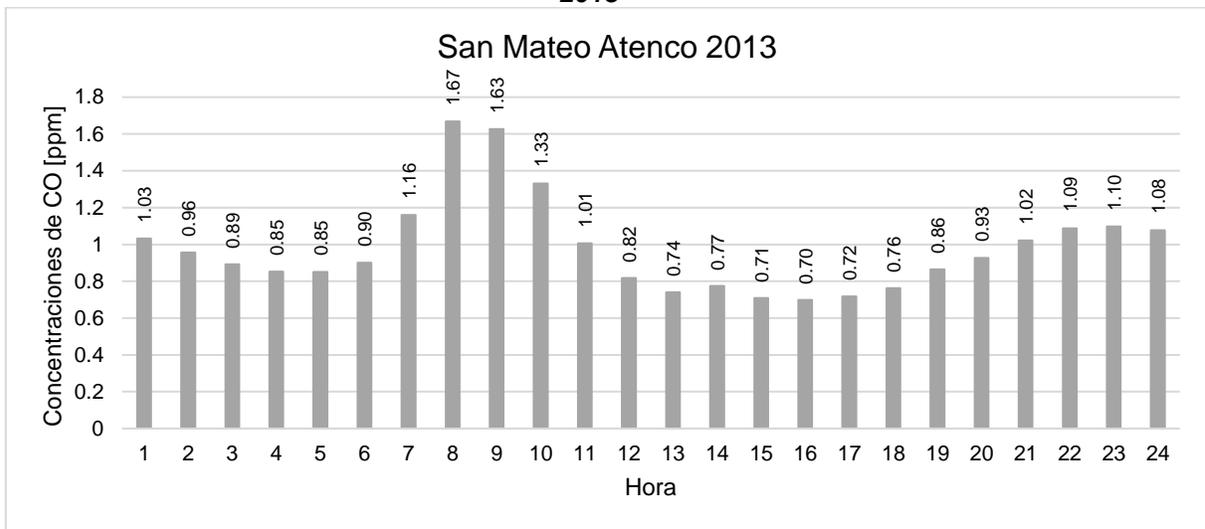
En la hora 1 y a partir de las 5 horas, las concentraciones de CO superan 1.0 ppm, alcanzando un registro mayor a las 8 horas con 3.08 ppm, y llegando a 1.03 ppm a las 17 horas.

Por la tarde las emisiones de CO ascienden a partir de las 18 horas, alcanzado un dato mayor a las 22 horas con 1.48 ppm.

4.1.3.3 Estación San Mateo Atenco

La gráfica 21 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2013.

Gráfica 21. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

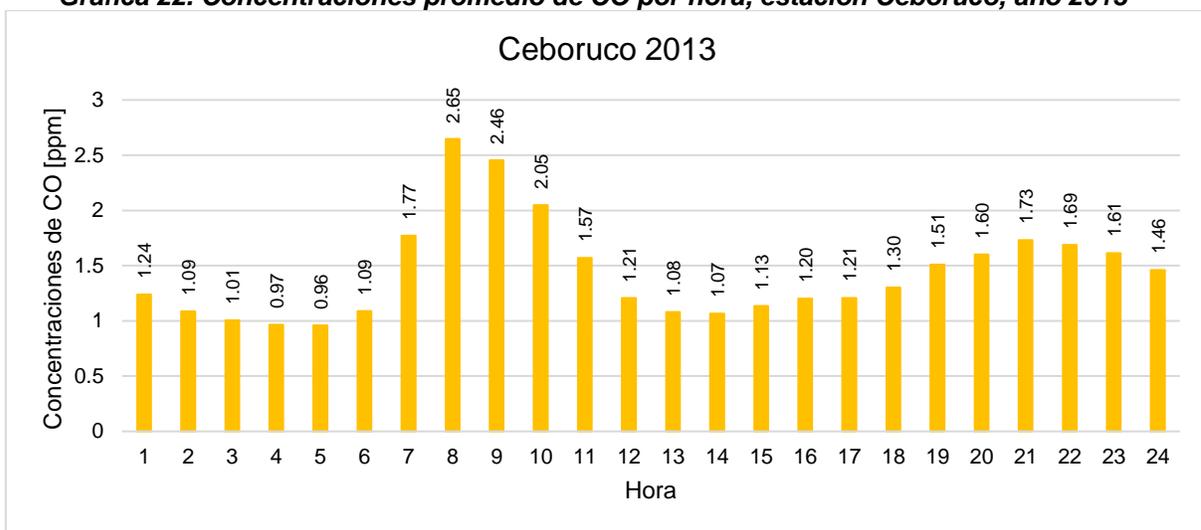
Entre la hora 1 y 5 las concentraciones de CO descienden de 1.03 ppm a 0.85 ppm, posteriormente se registran mayores concentraciones de CO, siendo, a las 7 horas 1.16 ppm, 8 horas 1.67 ppm y las 9 horas 1.63 ppm

Los menores registros de CO suceden a las 16 horas con 0.70 ppm. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.10 ppm a las 23 horas.

4.1.3.4 Estación Ceboruco

La gráfica 22 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2013.

Gráfica 22. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

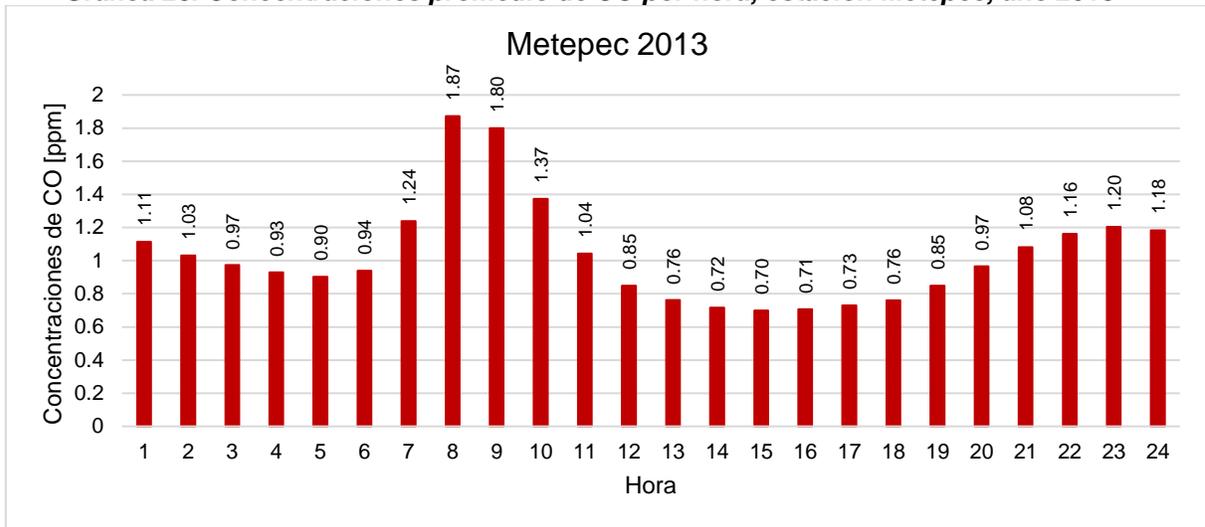
En la gráfica se puede observar que en las primeras horas del día se presenta un registro mayor en la hora 1 de 1.24 ppm, posteriormente los registros disminuyen hasta las 5 horas cuando vuelven a aumentar hasta las 8 horas alcanzando 2.65 ppm.

Además, y después de la hora antes mencionada, las concentraciones de CO disminuyen hasta las 14 horas con 1.07 ppm. Por la tarde las emisiones de CO aumentan a partir de las 17 horas, alcanzando un registro mayor a las 21 horas de 1.73 ppm.

4.1.3.5 Estación Metepec

La gráfica 23 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Metepec, durante el año 2013.

Gráfica 23. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

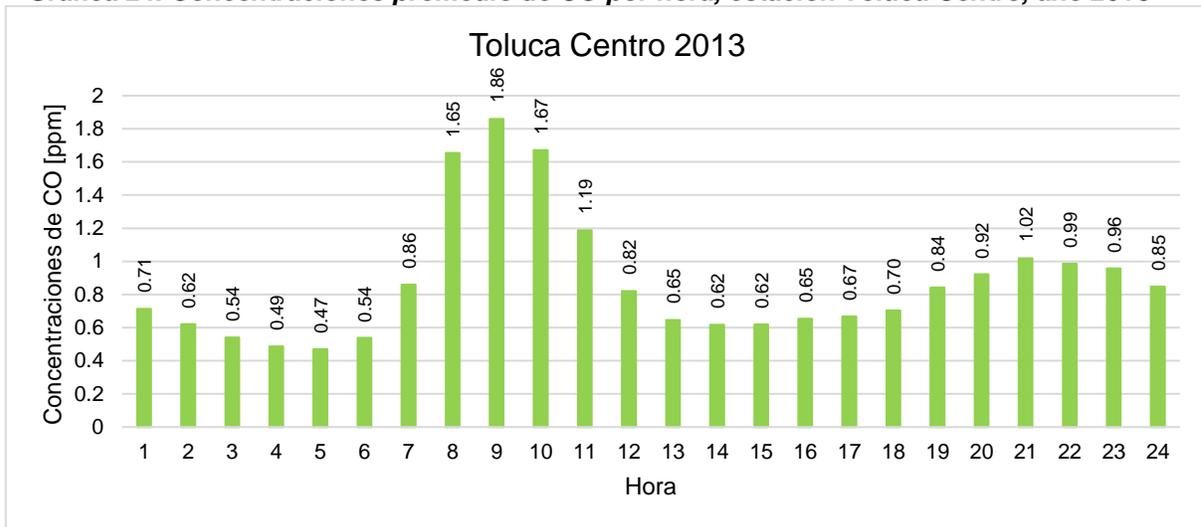
La estación Metepec tiene un registro mayor de CO a las 8 horas con 1.87 ppm, entre las 7 y 11 horas se superan 1.0 ppm. A partir de las 14 a 18 horas las concentraciones de CO se mantienen entre 0.72 y 0.76 ppm.

A partir de las 20 horas, las concentraciones de CO comienzan a aumentar de 0.97 hasta las 23 horas con 1.20 ppm

4.1.3.6 Estación Toluca Centro

La gráfica 24 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2013.

Gráfica 24. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

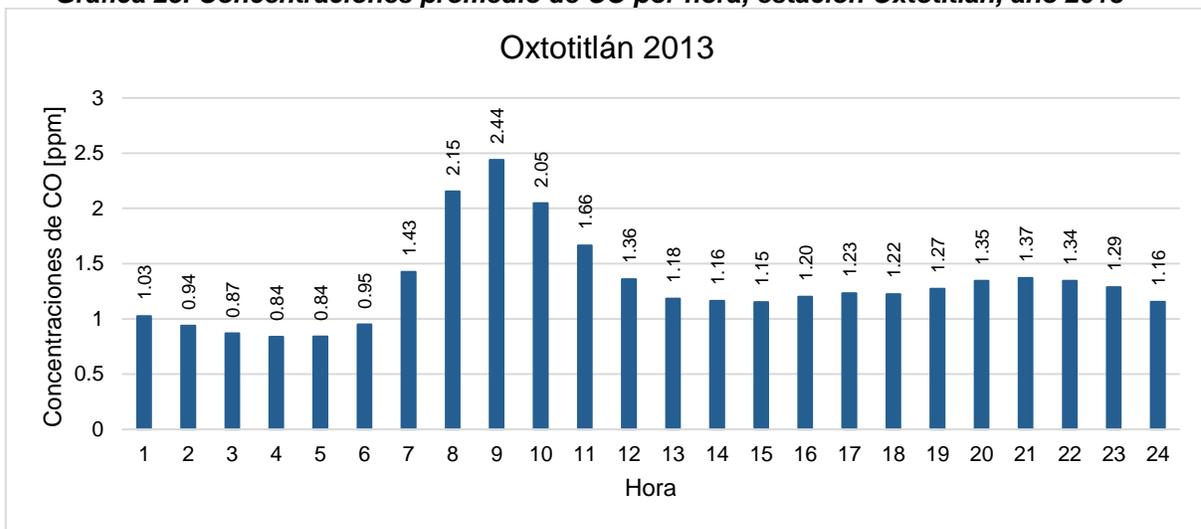
La estación Toluca Centro registra mayores concentraciones de CO entre las 8 y 10 horas con 1.65 ppm, 1.86 ppm y 1.67 ppm respectivamente.

Por la tarde se registran mayores concentraciones de CO con 1.02 ppm a las 21 horas. El menor registro de CO sucede a las 5 horas con 0.47 ppm.

4.1.3.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica 25 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2013.

Gráfica 25. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

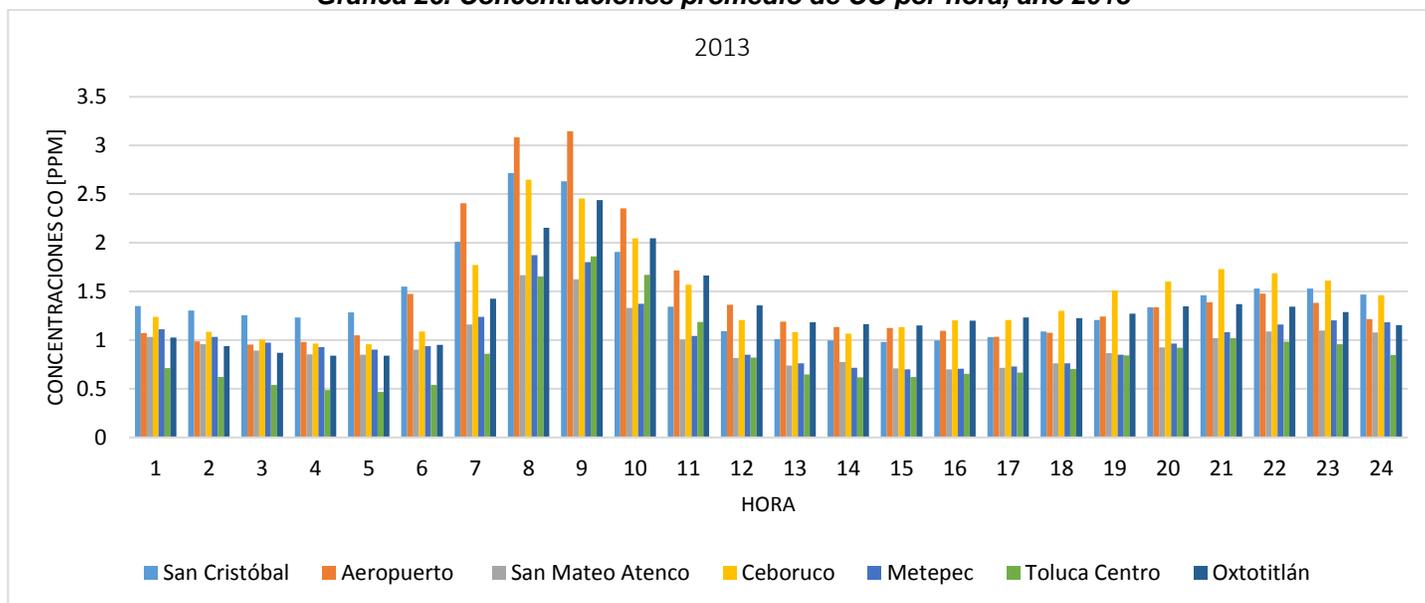
La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre las 8 y 9 horas con 2.15 ppm y 2.44 ppm respectivamente.

Entre las 10 y 15 horas las concentraciones de CO disminuyen de 2.05 ppm a 1.15 ppm; posteriormente aumentan los registros de CO hasta las 21 horas alcanzando 1.37 ppm, para nuevamente disminuir.

4.1.3.8 Concentraciones de CO promedio por hora, año 2013

Los promedios por hora de las concentraciones de CO en el año 2013 se muestran en la gráfica 26; identificando nuevamente un aumento de dichas concentraciones entre las 7 y 11 horas, siendo las estaciones San Cristóbal, Aeropuerto, Ceboruco y Oxtotitlán las que presentan mayores concentraciones. Siendo la hora 8, el momento en que se registra el pico de concentraciones que superan 3 ppm.

Gráfica 26. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

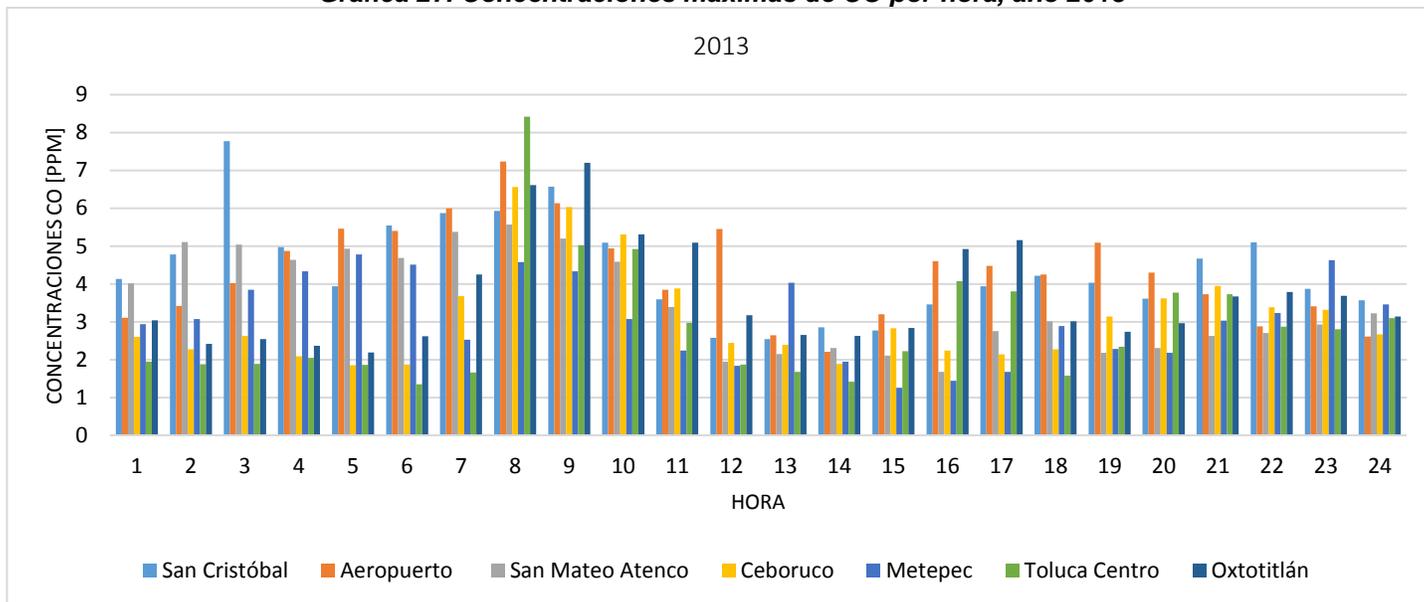
La estación Aeropuerto es la única que presenta concentraciones de CO arriba de las 3.08 y 3.1 ppm entre las 8 y 9 horas del día. En general la gráfica muestra el punto más alto de concentraciones entre las 8 y 9 horas para todas las estaciones, siendo de las 2 a 6 horas y 13 a 16 horas como el periodo en el que las concentraciones disminuyen hasta 0.6 ppm.

Respecto a la NOM-021-SSA1-1993 y la RAMA las concentraciones de CO no superan el límite establecido, considerándose el año con calidad del aire buena respecto a CO.

4.1.3.9 Concentraciones máximas de CO por hora

En la gráfica 27 representan las concentraciones máximas de CO por hora durante el año 2013, siendo la estación Toluca Centro la que registra mayores concentraciones de 8.42 ppm a las 8 horas, la estación Aeropuerto con 7.23 ppm, Ceboruco con 6.6 ppm, San Cristóbal con 7.23 ppm y Oxtotitlán con 6.6 ppm. Así mismo, puede observarse concentraciones de 5.45 ppm durante el mediodía en la estación Aeropuerto.

Gráfica 27. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

En este caso, la estación San Cristóbal presenta un pico con respecto a las otras estaciones durante las 3 horas de 7.77 ppm.

Para este año las concentraciones máximas de CO se presentan a las 8 horas, siendo nuevamente la hora en la que inicia la jornada laboral y por lo tanto existe un mayor tránsito vehicular.

Además, si se considera que entre las 2 y 10 horas en la estación San Mateo Atenco, y entre las 5 y 10 horas para las demás estaciones las concentraciones de

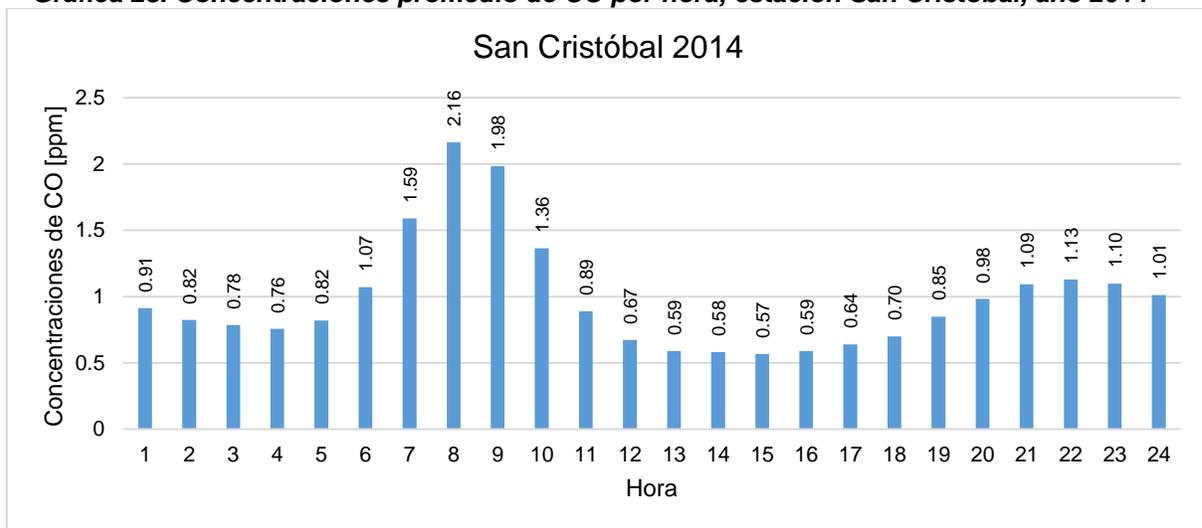
CO superan las 5.5 ppm; por lo que se considera como calidad de aire regular de acuerdo con la RAMA y se considera buena calidad de aire en el año según lo establecido por la NOM-021-SAA1-1993.

4.1.4 Análisis del año 2014

4.1.4.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica 28 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2011.

Gráfica 28. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

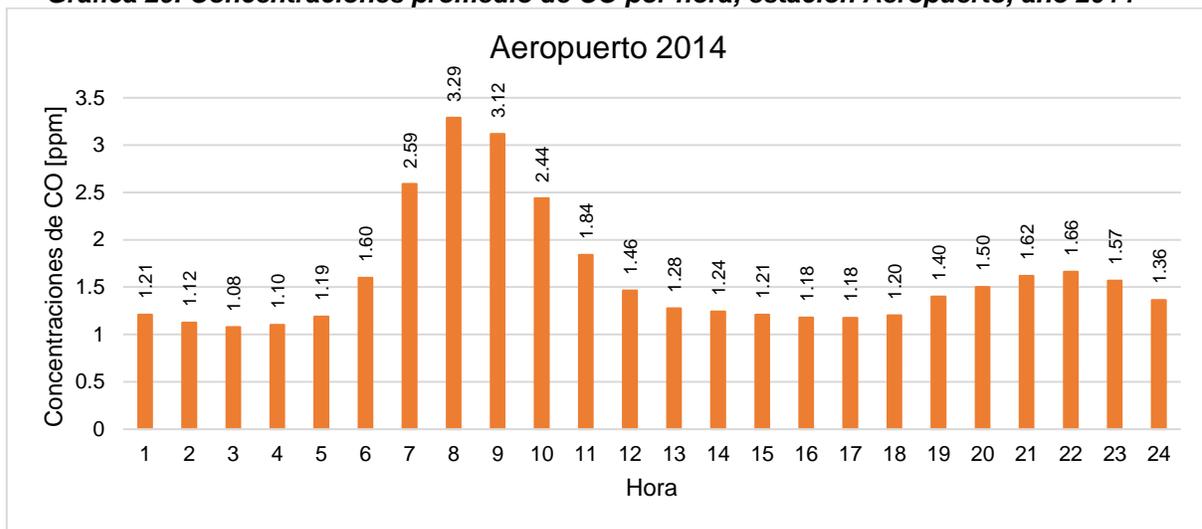
Entre la hora 1 y 4 las concentraciones de CO descienden de 0.91 ppm a 0.76 ppm, posteriormente estas concentraciones aumentan hasta las 8 horas alcanzando 2.16 ppm.

Después de las 9 horas las concentraciones disminuyen de 1.98 ppm a 0.57 ppm en las 15 horas. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.13 ppm a las 22 horas.

4.1.4.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica 29 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2014.

Gráfica 29. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

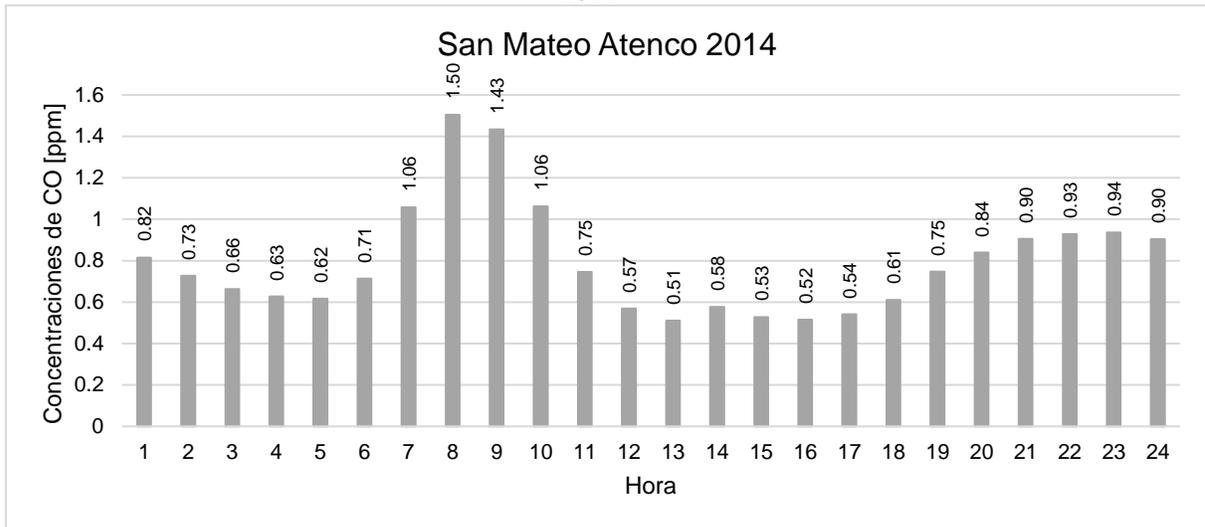
Durante todo el año las concentraciones promedio de CO superan 1.0 ppm, alcanzando un registro mayor a las 8 horas con 3.29 ppm, y llegando a 1.18 ppm a las 16 y 17 horas.

Por la tarde las emisiones de CO ascienden a partir de las 18 horas, alcanzado un dato mayor a las 22 horas con 1.66 ppm.

4.1.4.3 Estación San Mateo Atenco

La gráfica 30 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2014.

Gráfica 30. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

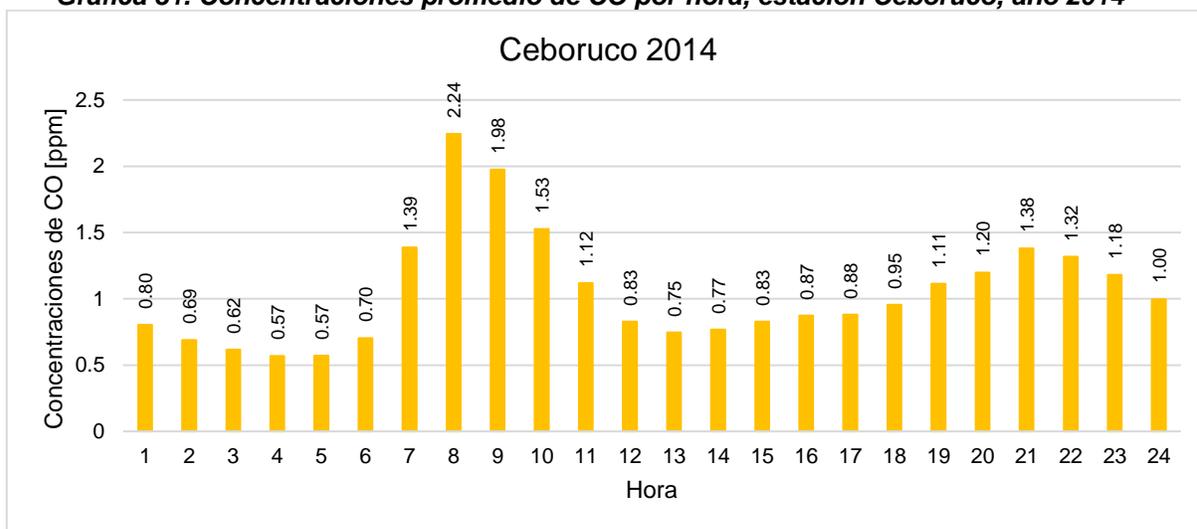
Entre la hora 1 y 5 las concentraciones de CO descienden de 1.03 ppm a 0.85 ppm, posteriormente se registran mayores concentraciones de CO, siendo, a las 7 horas 1.16 ppm, 8 horas 1.67 ppm y las 9 horas 1.63 ppm.

Los menores registros de CO suceden a las 16 horas con 0.52 ppm. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 0.94 ppm a las 23 horas.

4.1.4.4 Estación Ceboruco

La gráfica 31 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2014.

Gráfica 31. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

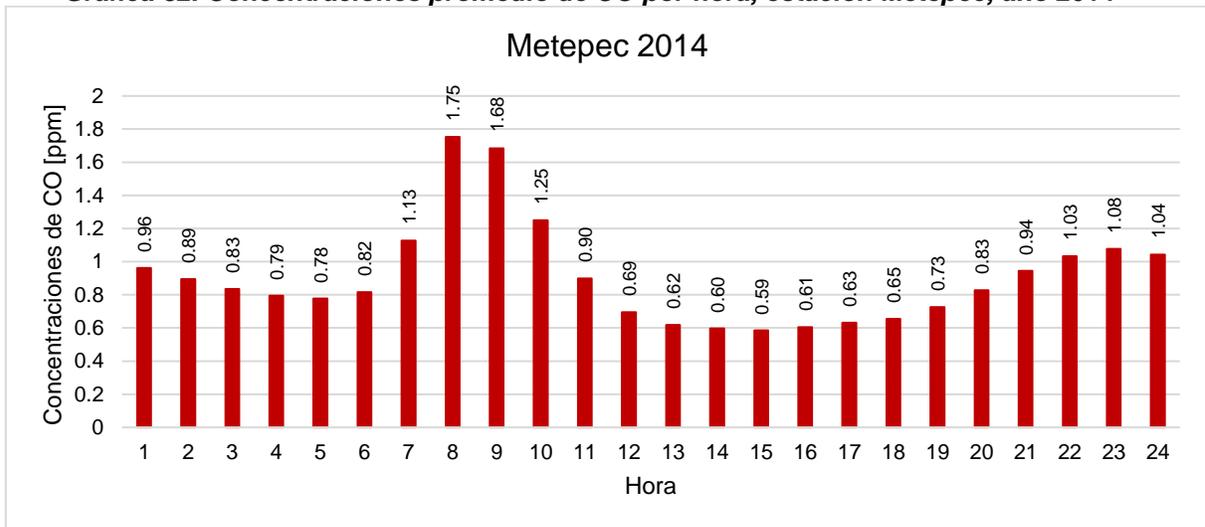
En la gráfica se puede observar que en las primeras horas del día se presenta un registro mayor en la hora 1 de 0.80 ppm, posteriormente los registros disminuyen hasta las 5 horas cuando vuelven a aumentar hasta las 8 horas alcanzando 2.24 ppm.

Además, y después de la hora antes mencionada, las concentraciones de CO disminuyen hasta las 13 horas con 0.75 ppm. Por la tarde las emisiones de CO aumentan a partir de las 17 horas, alcanzando un registro mayor a las 21 horas de 1.38 ppm.

4.1.4.5 Estación Metepec

La gráfica 32 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Metepec, durante el año 2014.

Gráfica 32. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

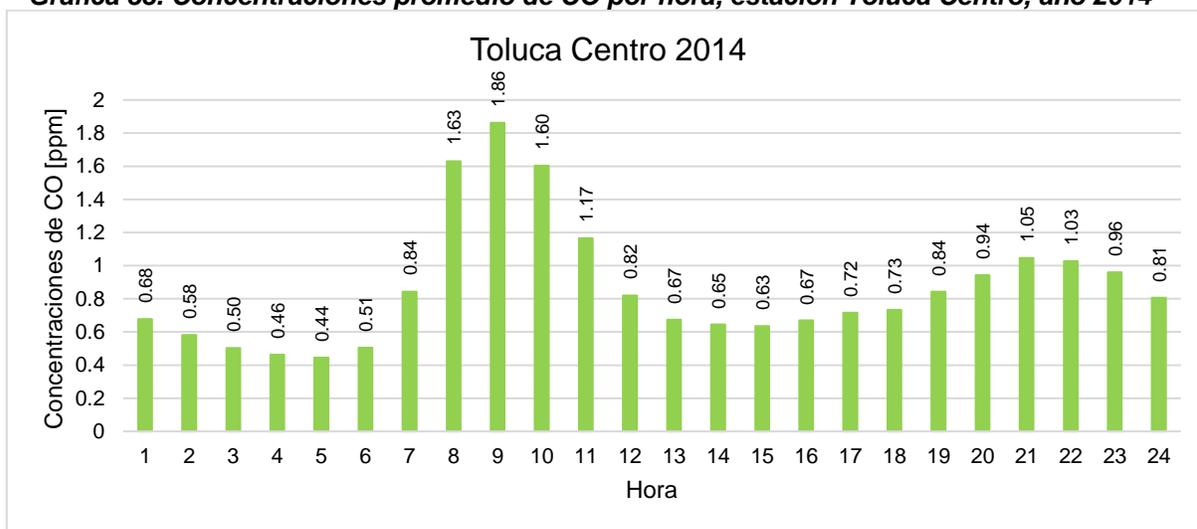
La estación Metepec tiene un registro mayor de CO a las 8 horas con 1.75 ppm, entre las 7 y 10 horas se superan 1.0 ppm. A partir de las 13 a 18 horas las concentraciones de CO se mantienen entre 0.62 y 0.65 ppm.

A partir de las 20 horas, las concentraciones de CO comienzan a aumentar de 0.83 hasta las 23 horas con 1.08 ppm.

4.1.4.6 Estación Toluca Centro

La gráfica 33 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2014.

Gráfica 33. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

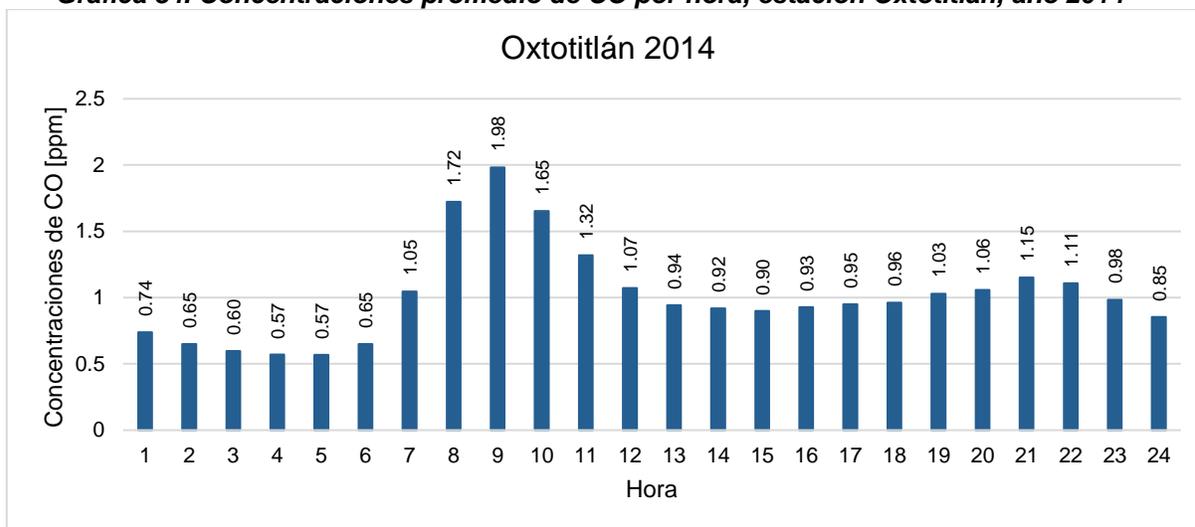
La estación Toluca Centro registra mayores concentraciones de CO entre las 8 y 10 horas con 1.63 ppm, 1.86 ppm y 1.60 ppm respectivamente.

Por la tarde se registran mayores concentraciones de CO con 1.05 ppm a las 21 horas. El menor registro de CO sucede a las 5 horas con 0.44 ppm.

4.1.4.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica 34 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2014.

Gráfica 34. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre las 8 y 9 horas con 1.72 ppm y 1.98 ppm respectivamente.

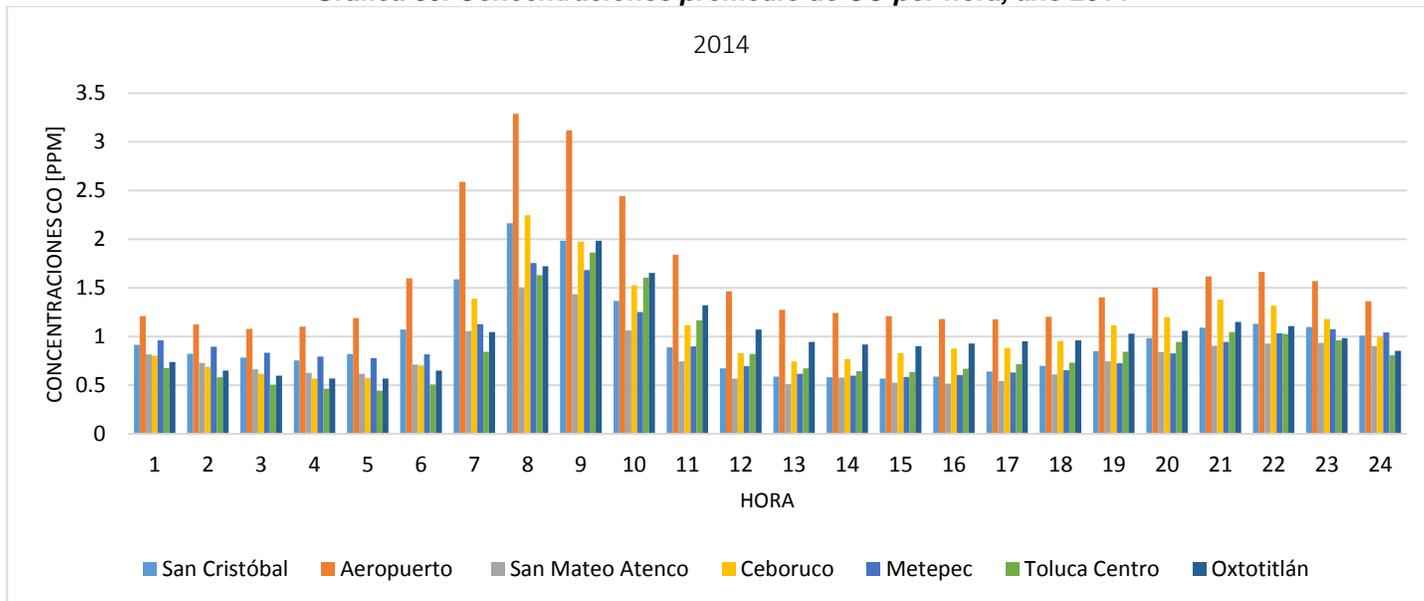
Entre las 10 y 15 horas las concentraciones de CO disminuyen de 1.65 ppm a 0.90 ppm; posteriormente aumentan los registros de CO hasta las 21 horas alcanzando 1.15 ppm, para nuevamente disminuir.

4.1.4.8 Concentraciones de CO promedio por hora, año 2014

En la siguiente gráfica 35 puede observarse las concentraciones promedio de CO por hora durante el año 2014, siendo la estación Aeropuerto la que registra mayores concentraciones con 3.2 ppm a las 8 horas. Siendo esta hora la que registra en pico de concentraciones de CO.

Así mismo puede observarse que durante todas las horas del año, la estación Aeropuerto es la que siempre supera casi el doble las concentraciones de las demás estaciones.

Gráfica 35. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

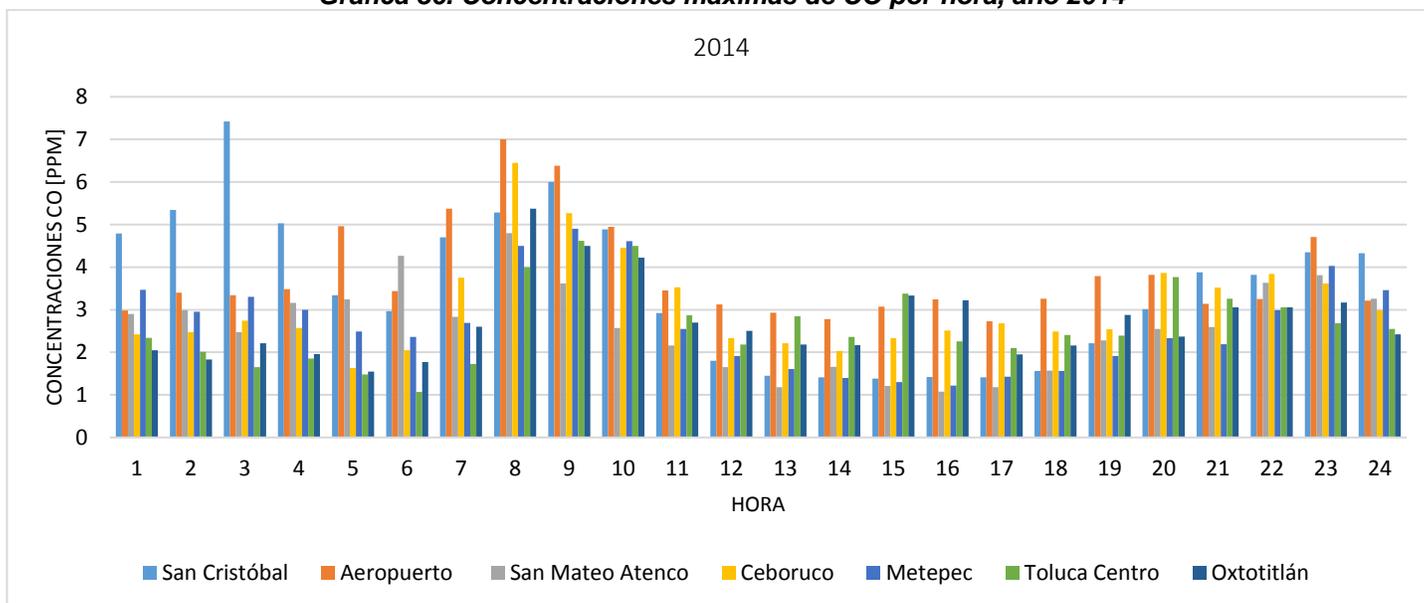
Aunado a ello, la estación Metepec es la que sigue a las concentraciones de CO que presenta la estación Aeropuerto. De ahí que puede considerarse que la estación Aeropuerto al estar cerca de una gran vía de acceso en la ciudad influye en algo su representatividad.

Respecto a la NOM-021-SSA1-1993 y la RAMA las concentraciones de CO no superan el límite establecido, considerándose el año con calidad del aire buena respecto a CO

4.1.4.9 Concentraciones máximas de CO por hora

En la gráfica 36 se presentan las concentraciones máximas de CO por hora durante el año 2014. En esta ocasión la estación San Cristóbal es la que registra mayores concentraciones de CO de hasta 7.42 ppm a las 3 horas y las demás estaciones con un aumento de dichas concentraciones entre las 8 y 9 horas alcanzando las 7 ppm.

Gráfica 36. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

También se puede observar que entre las 12 y 17 horas existe una disminución de las concentraciones máximas de CO, sin embargo, nuevamente vuelven a aumentar las concentraciones de CO a partir de las 20 horas para todas las estaciones. Entre las 12 y 18 horas se puede observar que la estación Ceboruco supera las 2 ppm y la estación Aeropuerto alcanza las 3 ppm. En el caso de las estaciones Oxtotitlán y Metepec a las 15 horas las concentraciones de CO alcanzan 3.3 ppm.

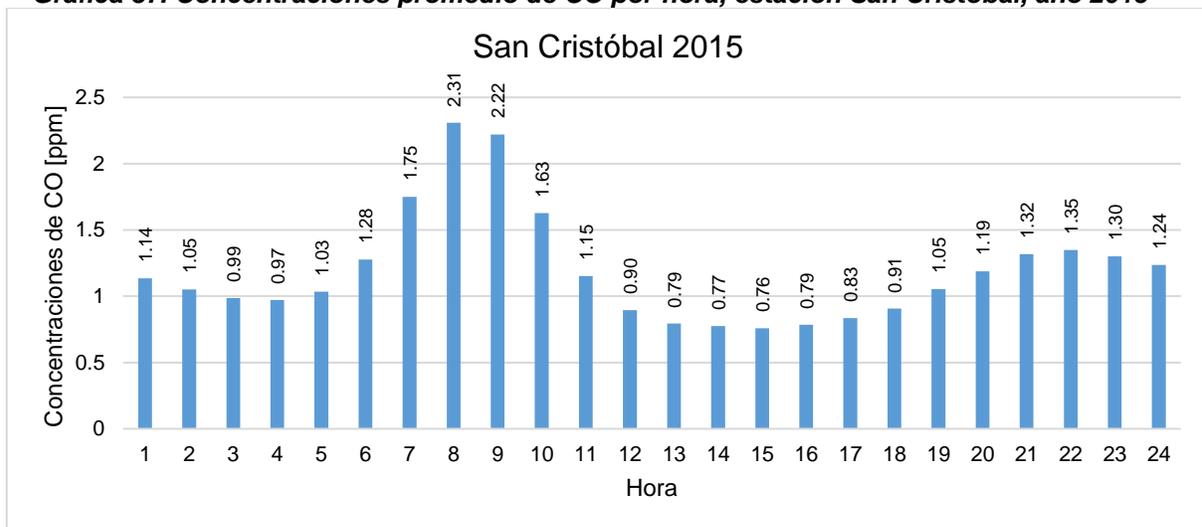
Considerando la NOM-021-SAA1-1993 no se superan las 11 ppm, mientras que a las 9 horas las estaciones San Cristóbal y Aeropuerto, y la estación Aeropuerto a las 8 horas superan las 5.5 ppm considerando la calidad de aire como regular.

4.1.5 Análisis del año 2015

4.1.5.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica 37 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2015.

Gráfica 37. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

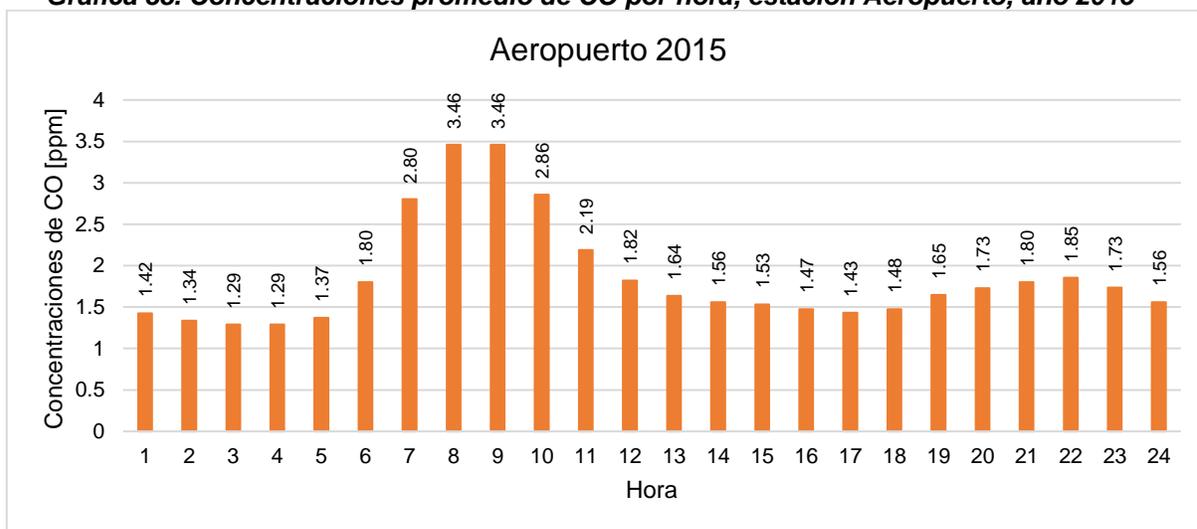
Entre la hora 1 y 4 las concentraciones de CO descienden de 1.14 ppm a 0.97 ppm, posteriormente estas concentraciones aumentan hasta las 8 horas alcanzando 2.31 ppm.

Después de las 9 horas las concentraciones disminuyen a 0.76 ppm en las 15 horas. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.35 ppm a las 22 horas.

4.1.5.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica 38 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2015.

Gráfica 38. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Aeropuerto, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

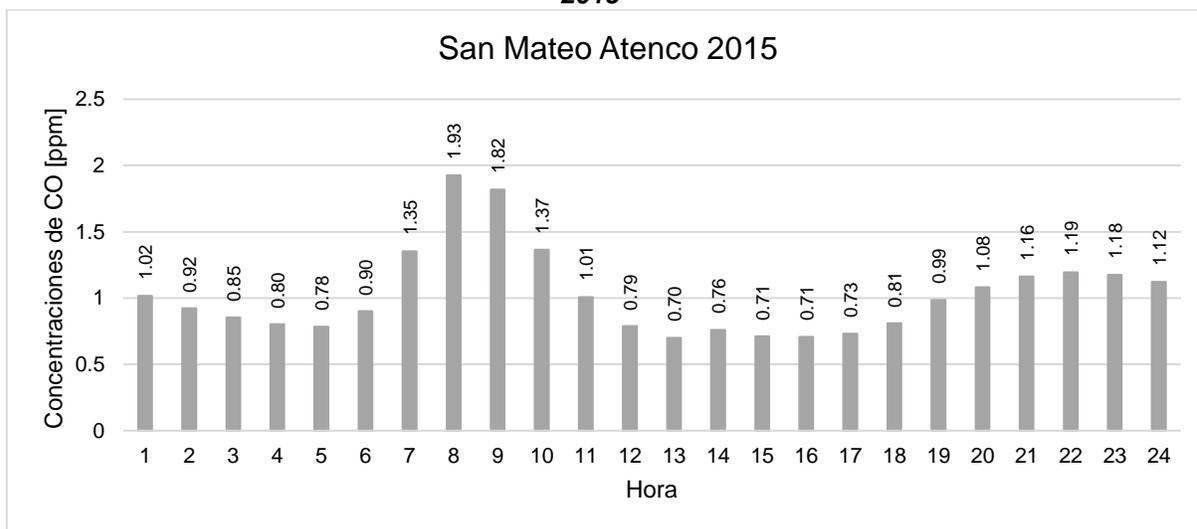
Durante todo el año las concentraciones promedio de CO superan 1.0 ppm, alcanzando un registro mayor a las 8 y 9 horas con 3.46 ppm, y llegando a 1.43 ppm a las 17 horas.

Por la tarde las emisiones de CO ascienden a partir de las 18 horas, alcanzado un dato mayor a las 22 horas con 1.85 ppm.

4.1.5.3 Estación San Mateo Atenco

La gráfica 39 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2015.

Gráfica 39. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

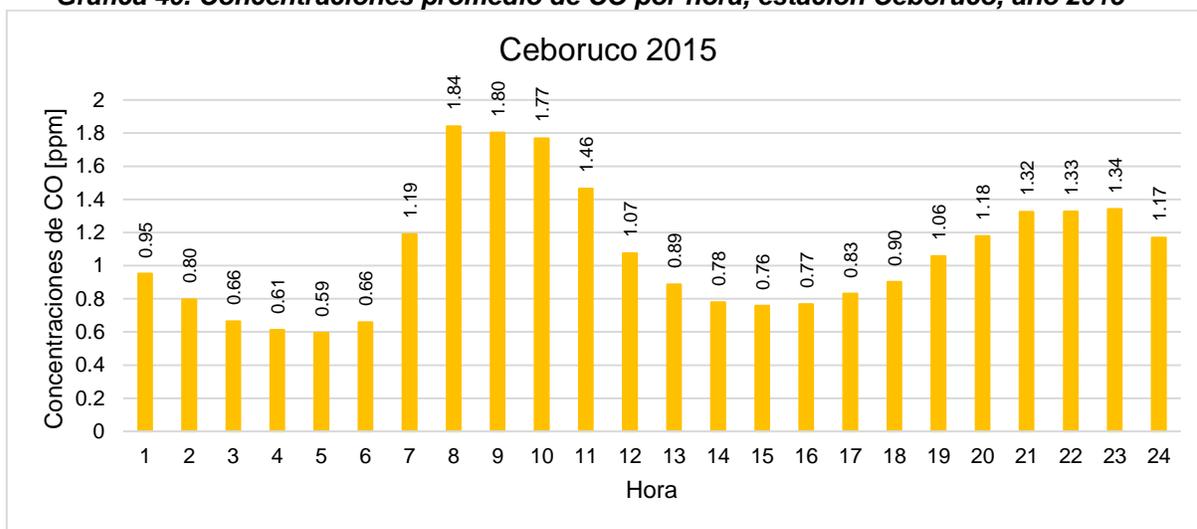
Entre la hora 1 y 5 las concentraciones de CO descienden de 1.02 ppm a 0.78 ppm, posteriormente se registran mayores concentraciones de CO, siendo, a las 7 horas 1.35 ppm, 8 horas 1.93 ppm y las 9 horas 1.82 ppm.

Los menores registros de CO suceden a las 15 y 16 horas con 0.71 ppm. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.19 ppm a las 22 horas.

4.1.5.4 Estación Ceboruco

La gráfica 40 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2015.

Gráfica 40. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

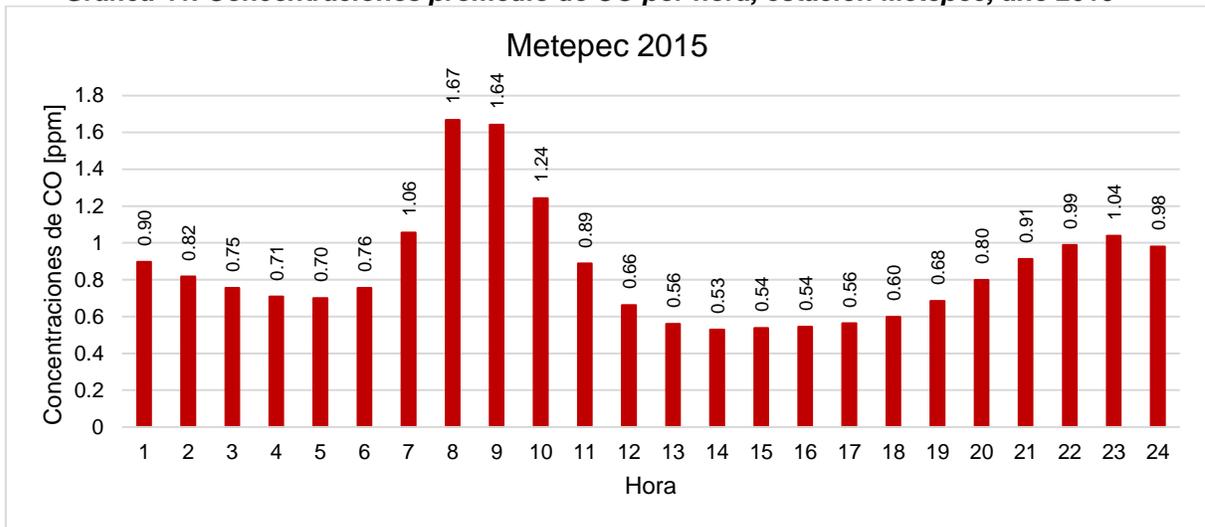
En la gráfica se puede observar que en las primeras horas del día se presenta un registro mayor en la hora 1 de 0.95 ppm, posteriormente los registros disminuyen hasta las 5 horas cuando vuelven a aumentar hasta las 8 horas alcanzando 1.84 ppm.

Además, y después de la hora antes mencionada, las concentraciones de CO disminuyen hasta las 15 horas con 0.76 ppm. Por la tarde las emisiones de CO aumentan a partir de las 17 horas, alcanzando un registro mayor a las 23 horas de 1.34 ppm.

4.1.5.5 Estación Metepec

La gráfica 41 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Metepec, durante el año 2015.

Gráfica 41. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

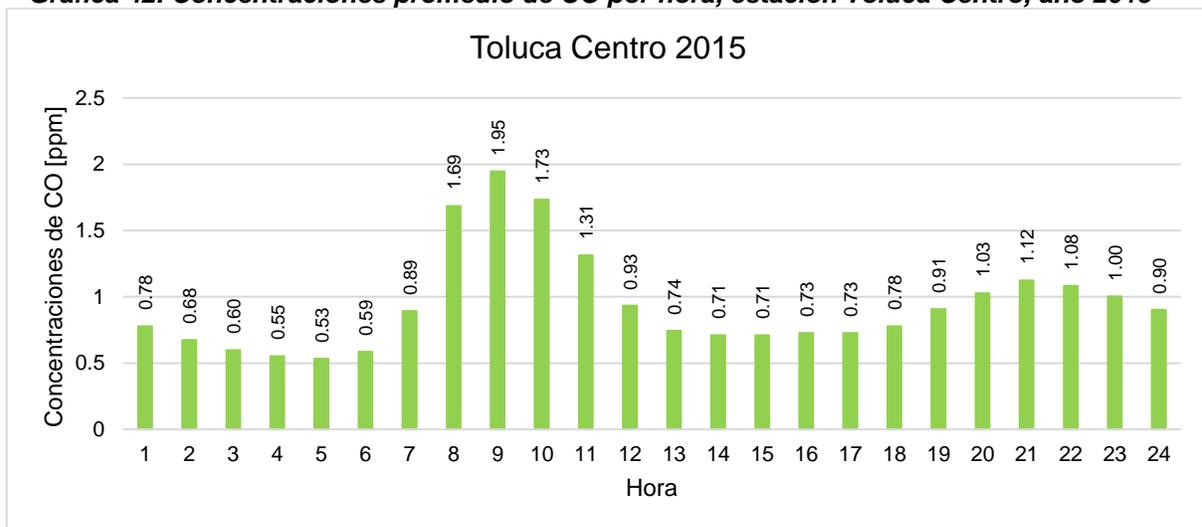
La estación Metepec tiene un registro mayor de CO a las 8 horas con 1.67 ppm, entre las 7 y 10 horas se superan 1.0 ppm. A partir de las 13 a 18 horas las concentraciones de CO se mantienen entre 0.56 y 0.60 ppm.

A partir de las 20 horas, las concentraciones de CO comienzan a aumentar de 0.80 hasta las 23 horas con 1.04 ppm.

4.1.5.6 Estación Toluca Centro

La gráfica 42 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2015.

Gráfica 42. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

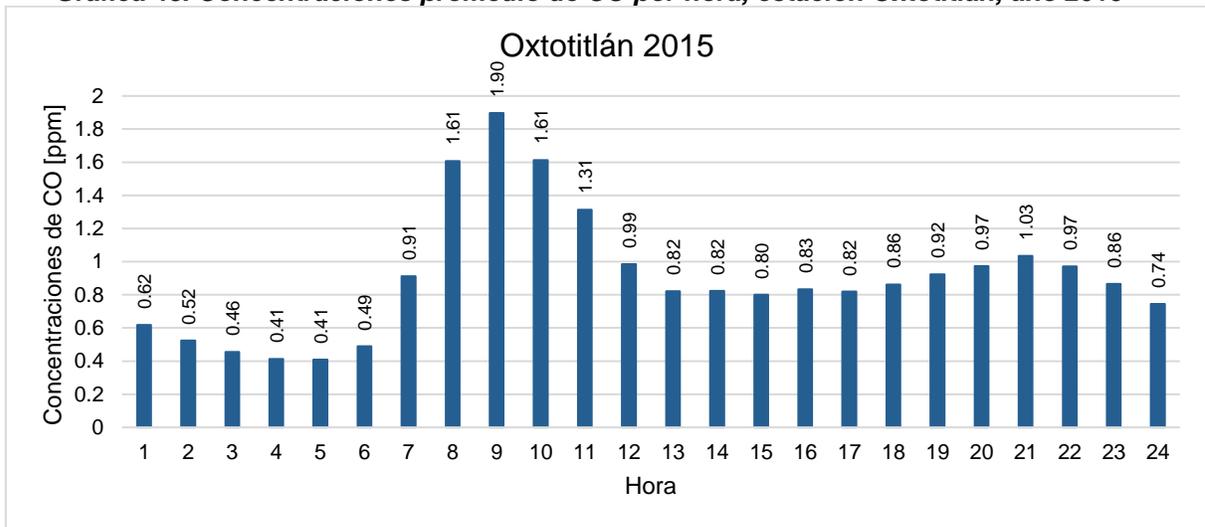
La estación Toluca Centro registra mayores concentraciones de CO entre las 8 y 10 horas con 1.69 ppm, 1.95 ppm y 1.73 ppm respectivamente.

Por la tarde se registran mayores concentraciones de CO con 1.12 ppm a las 21 horas. El menor registro de CO sucede a las 5 horas con 0.53 ppm.

4.1.5.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica 43 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2015.

Gráfica 43. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

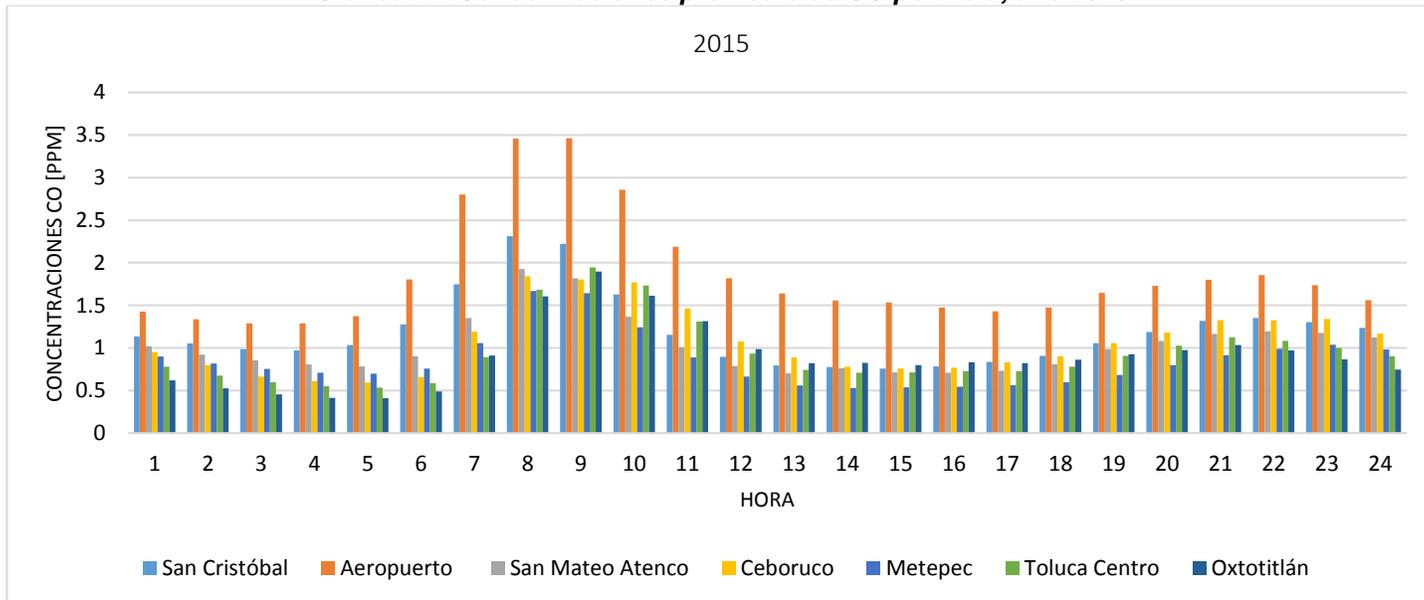
La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre las 8 y 9 horas con 1.61 ppm y 1.90 ppm respectivamente.

Entre las 10 y 15 horas las concentraciones de CO disminuyen de 1.61 ppm a 0.80 ppm; posteriormente aumentan los registros de CO hasta las 21 horas alcanzando 1.03 ppm, para nuevamente disminuir.

4.1.5.8 Concentraciones de CO promedio por hora, año 2015

En la gráfica 44 se puede observar las concentraciones promedio de CO por hora durante el año 2015, siendo la estación Aeropuerto la que registra mayores concentraciones desde 3.46 ppm a las 9 horas y teniendo como mínimo 0.40 ppm la estación Oxtotitlán a las 5 horas.

Gráfica 44. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

En este año puede observarse que la estación Aeropuerto es la estación que siempre presenta concentraciones casi dobles de CO respecto a las demás estaciones. Se presentan dos picos, el primero entre las 7 y 11 horas y el segundo entre 19 y 24 horas. La distribución de la gráfica se comporta de manera que entre las 8 y 11 horas hay un pico de concentraciones de CO y a partir de las 20 a 24 horas se presenta un pico menor de estas.

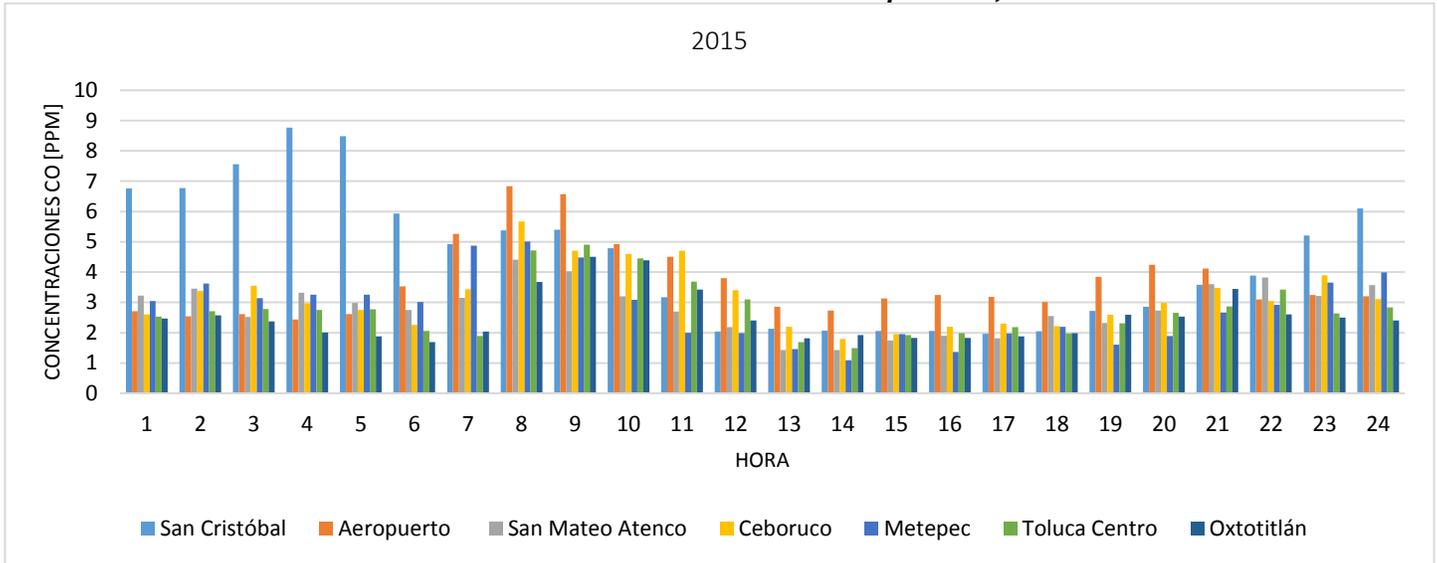
Respecto a la NOM-021-SSA1-1993 y la RAMA las concentraciones de CO no superan el límite establecido, considerándose el año con calidad del aire buena.

4.1.5.9 Concentraciones máximas de CO por hora

En la gráfica 45 siguiente se presentan las concentraciones máximas de CO por hora durante el año 2015, siendo la estación San Cristóbal la que registra mayores concentraciones de hasta 8.7 ppm a las 4 horas y la estación Aeropuerto con 6.8

ppm a las 8 horas. Así mismo, puede observarse concentraciones de 1.09 ppm a 1.4 ppm como el mínimo entre las 13 y 14 horas.

Gráfica 45. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Entre las 10 y 12 horas las estaciones Ceboruco y Aeropuerto presentan mayores concentraciones respecto a las otras estaciones. Respecto a las concentraciones CO que superan los 5.5 ppm lo cual indica una calidad de aire regular según la RAMA entre la 1 a 6 horas para la estación San Cristóbal y 8 a 9 horas en la estación Aeropuerto la calidad del aire es regular.

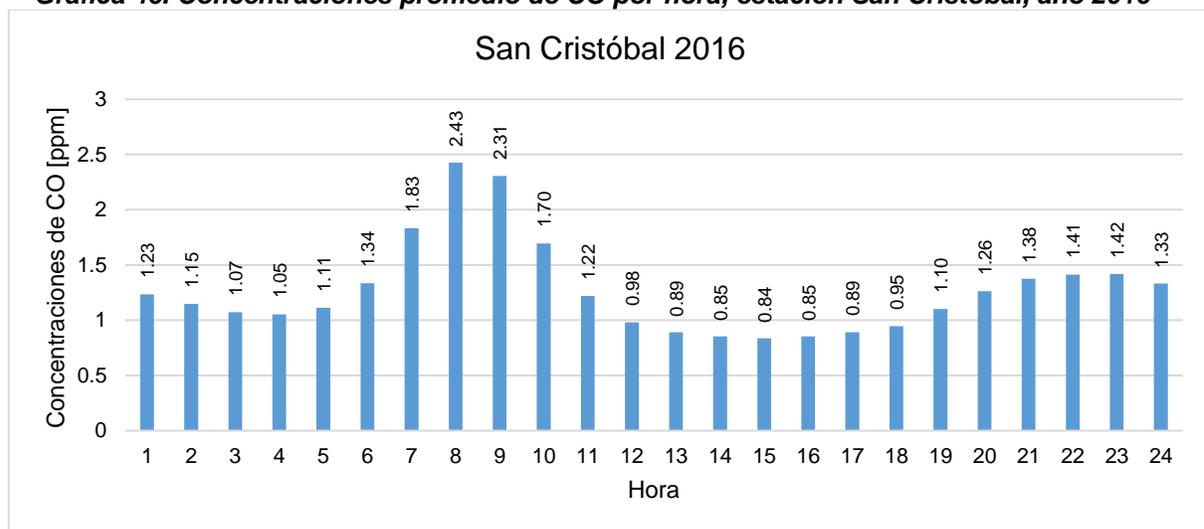
Tomando en cuenta a la NOM-021-SSA1-1993 y la RAMA las concentraciones de CO de las demás horas y estaciones no superan el límite establecido, considerándose el año con calidad del aire buena.

4.1.6 Análisis del año 2016

4.1.6.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica 46 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2016.

Gráfica 46. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

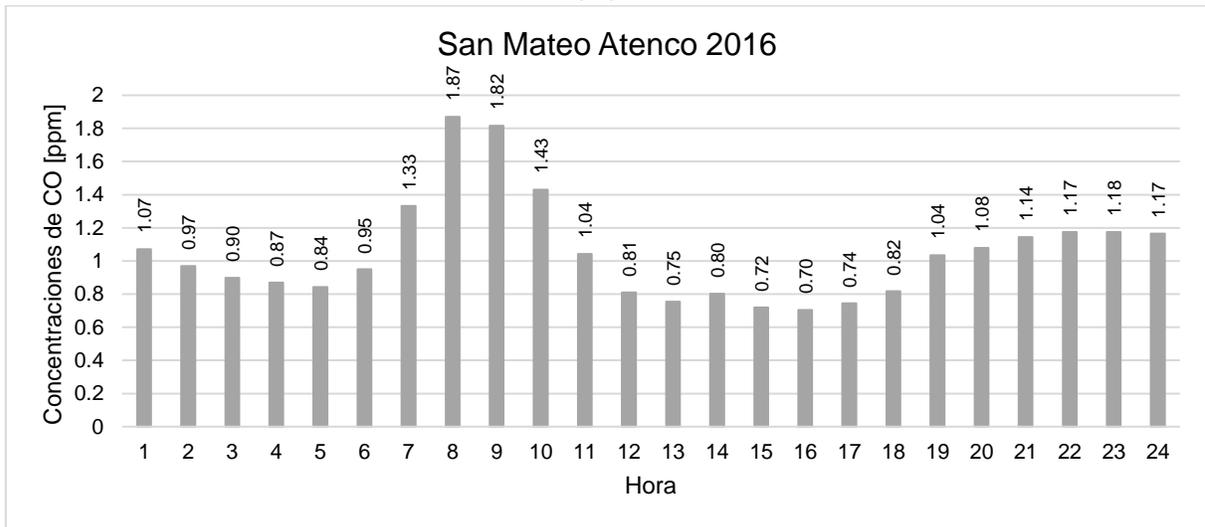
Entre la hora 1 y 4 las concentraciones de CO descienden de 1.23 ppm a 1.05 ppm, posteriormente estas concentraciones aumentan hasta las 8 horas alcanzando 2.43 ppm.

Después de las 9 horas las concentraciones disminuyen de 2.31 ppm a 0.84 ppm en las 15 horas. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.42 ppm a las 23 horas.

4.1.6.2 Estación San Mateo Atenco

La gráfica 47 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2016.

Gráfica 47. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

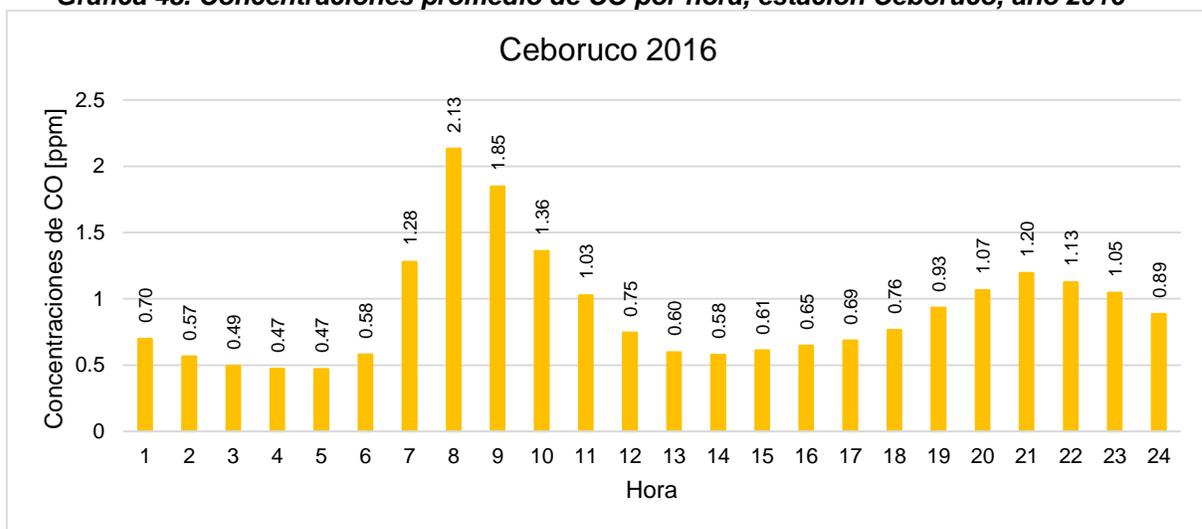
Entre la hora 1 y 5 las concentraciones de CO descienden de 1.073 ppm a 0.84 ppm, posteriormente se registran mayores concentraciones de CO, siendo, a las 7 horas 1.33 ppm, 8 horas 1.87 ppm y las 9 horas 1.82 ppm.

Los menores registros de CO suceden a las 16 horas con 0.70 ppm. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.18 ppm a las 23 horas.

4.1.6.3 Estación Ceboruco

La gráfica 48 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2016.

Gráfica 48. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

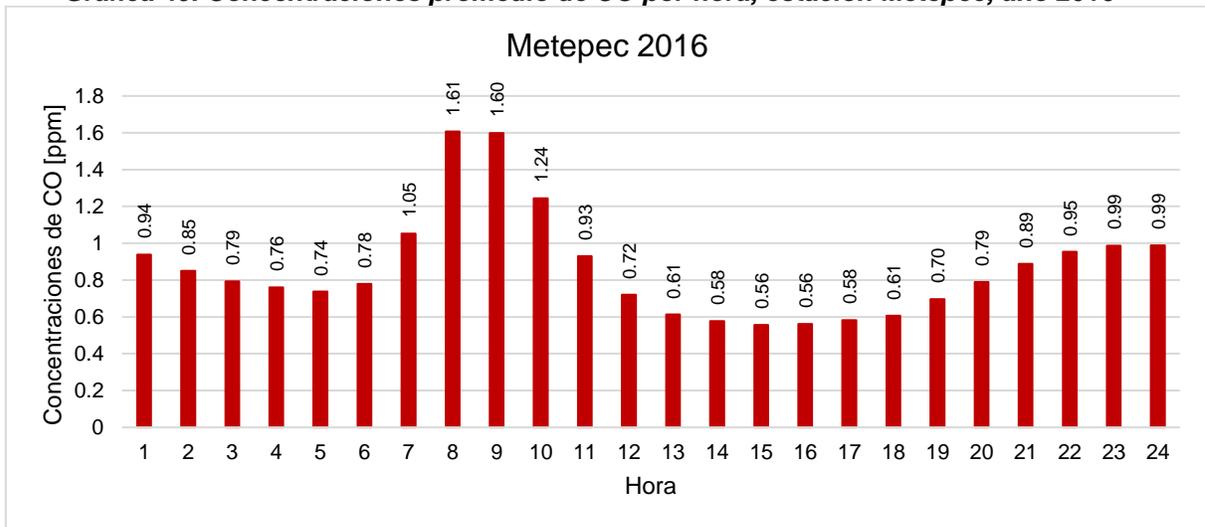
En la gráfica se puede observar que en las primeras horas del día se presenta un registro mayor en la hora 1 de 0.70 ppm, posteriormente los registros disminuyen hasta las 4 y 5 horas cuando vuelven a aumentar hasta las 8 horas alcanzando 2.13 ppm.

Además, y después de la hora antes mencionada, las concentraciones de CO disminuyen hasta las 14 horas con 0.58 ppm. Por la tarde las emisiones de CO aumentan a partir de las 18 horas, alcanzando un registro mayor a las 21 horas de 1.20 ppm.

4.1.6.4 Estación Metepec

La gráfica 49 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Metepec, durante el año 2016.

Gráfica 49. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

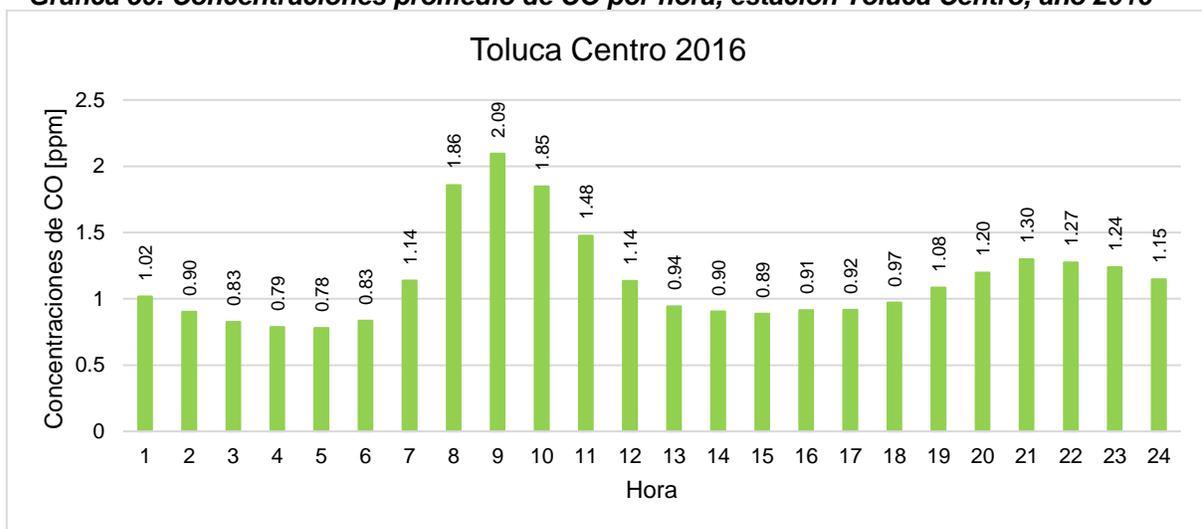
La estación Metepec tiene un registro mayor de CO a las 8 horas con 1.61 ppm, entre las 7 y 10 horas se superan 1.0 ppm. A partir de las 13 a 18 horas las concentraciones de CO se mantienen entre 0.61 ppm.

A partir de las 20 horas, las concentraciones de CO comienzan a aumentar de 0.79 hasta las 23 y 24 horas con 0.99 ppm.

4.1.6.5 Estación Toluca Centro

La gráfica 50 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2016.

Gráfica 50. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

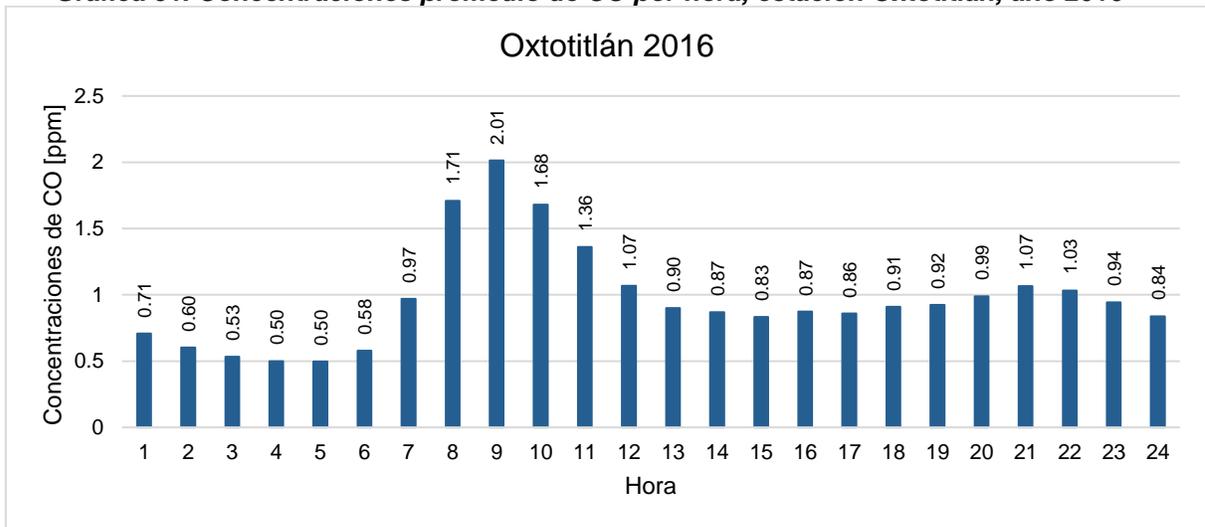
La estación Toluca Centro registra mayores concentraciones de CO entre las 8 y 10 horas con 1.86 ppm, 2.09 ppm y 1.85 ppm respectivamente.

Por la tarde se registran mayores concentraciones de CO con 1.30 ppm a las 21 horas. El menor registro de CO sucede a las 5 horas con 0.78 ppm.

4.1.6.6 Estación Oxtotitlán

La gráfica 51 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2016.

Gráfica 51. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre las 8 y 9 horas con 1.71 ppm y 2.01 ppm respectivamente.

Entre las 10 y 15 horas las concentraciones de CO disminuyen de 1.68 ppm a 0.83 ppm; posteriormente aumentan los registros de CO hasta las 21 horas alcanzando 1.07 ppm, para nuevamente disminuir.

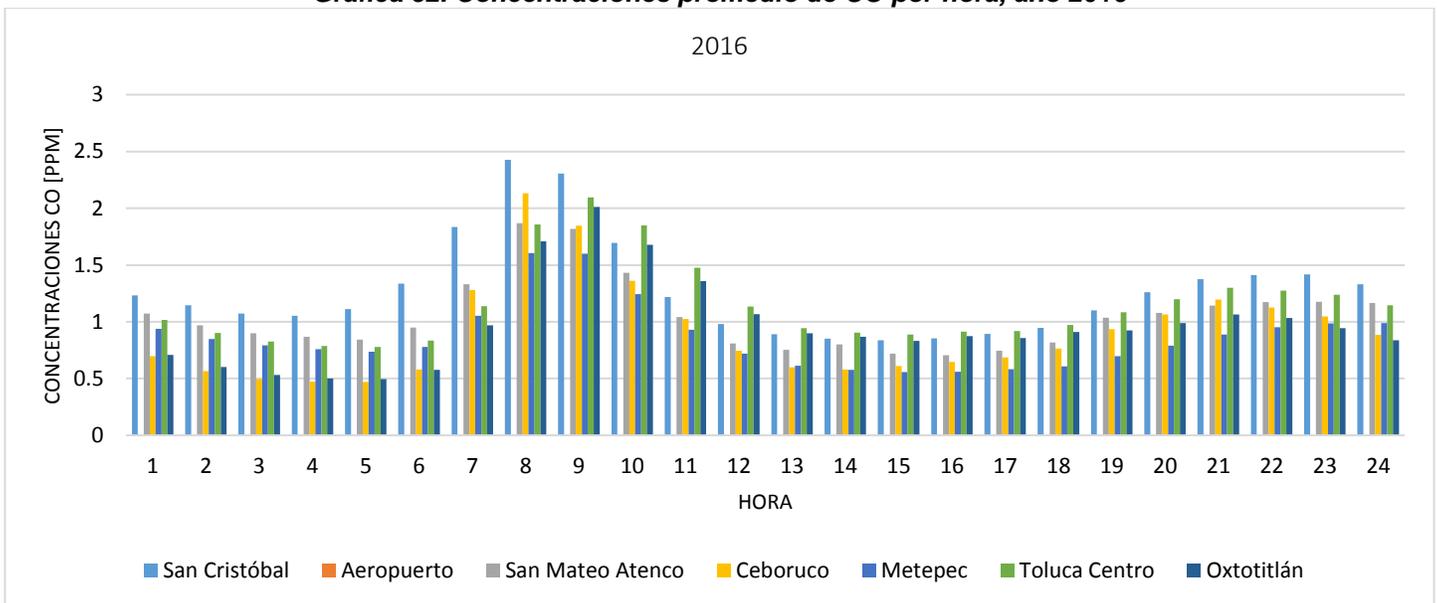
4.1.6.7 Concentraciones de CO promedio por hora, año 2016

En la gráfica 52 se observarse las concentraciones promedio de CO por hora durante el año 2016, siendo la estación San Cristóbal la que registra mayores concentraciones desde 2.42 ppm a las 8 horas.

Aunado a ello, las 8 horas es el momento en el que se presenta un pico de concentraciones de CO yendo de 1.6 ppm a 2.4 ppm.

También se presentan concentraciones menores en la madrugada y entre las 14 a 17 horas, para después volver a aumentar las concentraciones un poco entre las 19 y 22 horas.

Gráfica 52. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

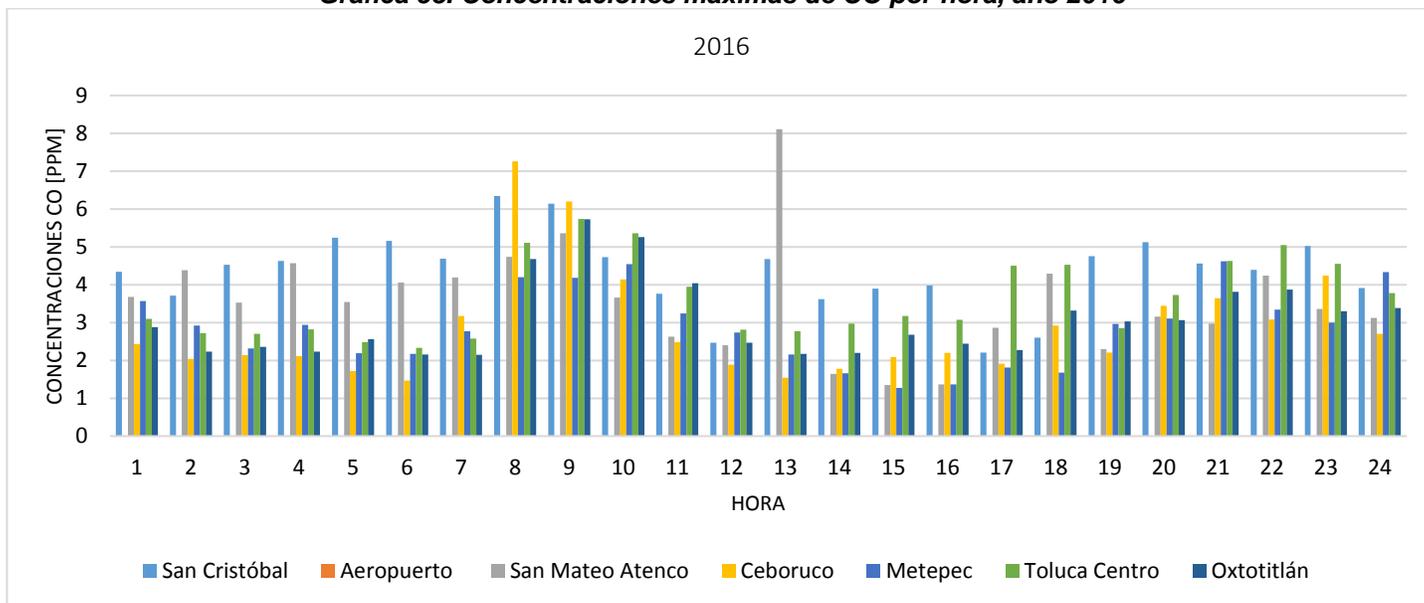
Además, se puede observar que las estaciones San Cristóbal, San Mateo Atenco, Toluca Centro presentan concentraciones superiores a las otras estaciones.

Respecto a la NOM-021-SSA1-1993 y la RAMA las concentraciones de CO no superan el límite establecido, considerándose el año con calidad del aire buena.

4.1.6.8 Concentraciones máximas de CO por hora

En la gráfica 53 se representan las concentraciones máximas de CO por hora durante el año 2016, siendo la estación San Mateo Atenco la que registra mayores concentraciones de hasta 8.11 ppm a las 13 horas. A sí mismo, puede observarse concentraciones de 1.27 ppm a 2.77 ppm como el mínimo de estas entre las 6 y 17 horas respectivamente. El comportamiento de la gráfica indica que, entre las 1 y 6 horas a un descenso en las concentraciones, a partir de las 7 horas y hasta las 8 horas alcanza un pico superior a 7 ppm, para descender y nuevamente ascender por la tarde a partir de las 20 a 23 horas.

Gráfica 53. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Respecto a la NOM-021-SSA1-1993 y la RAMA las concentraciones de CO no superan el límite establecido, considerándose el año 2016 con calidad del aire buena.

Sin embargo, de acuerdo con lo que dice la RAMA la estación San Cristóbal entre las 8 y 9 horas, la estación San Mateo a las 13 horas, la estación Ceboruco a las 8

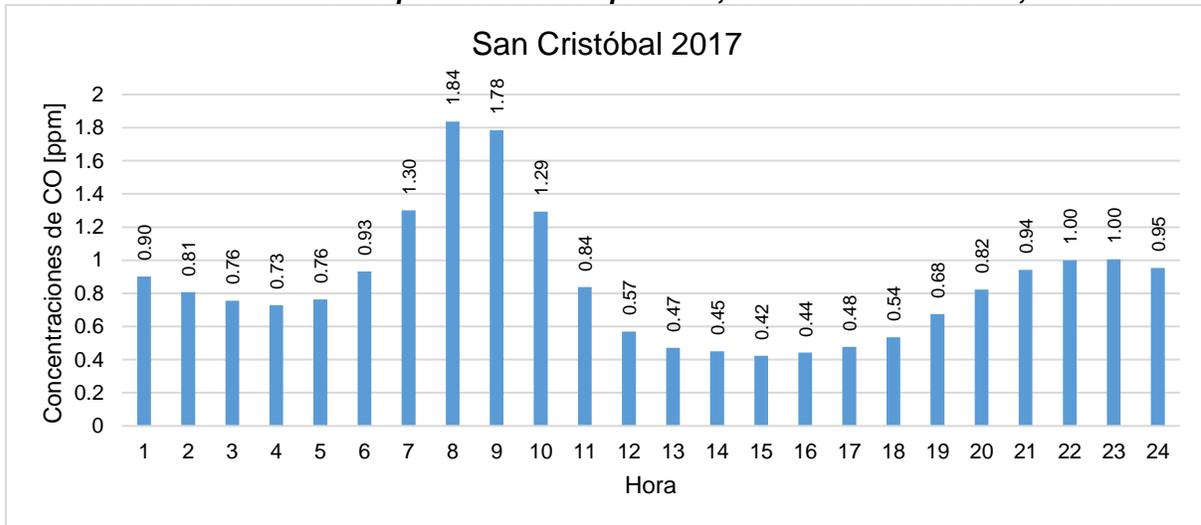
horas y las estaciones a Toluca Centro y Oxtotitlán a las 9 horas superan las 5.5ppm que indican una calidad de aire regular.

4.1.7 Análisis del año 2017

4.1.7.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica 54 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2017.

Gráfica 54. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Cristóbal, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

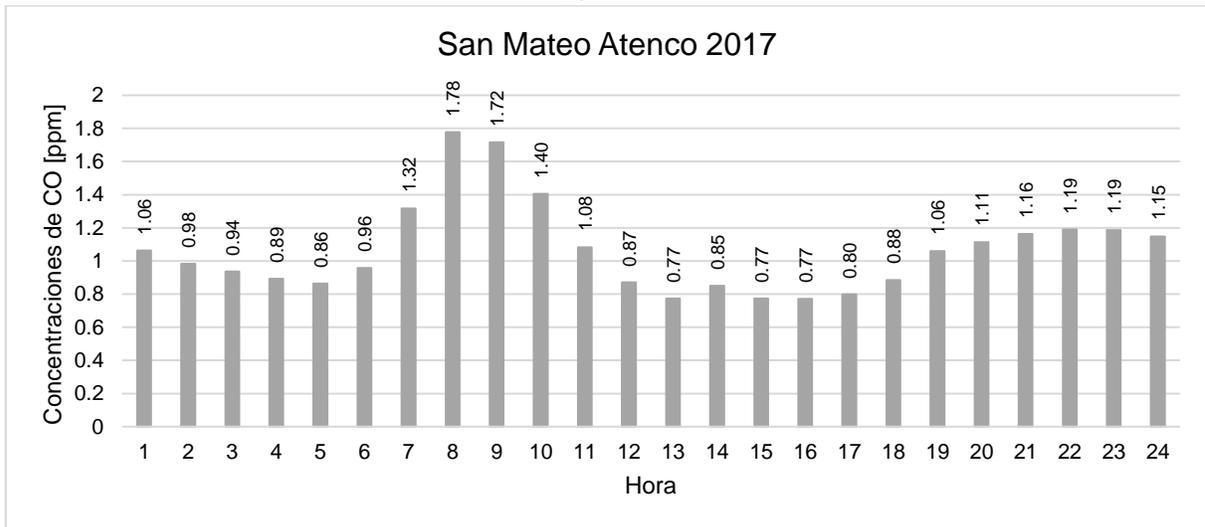
Entre la hora 1 y 4 las concentraciones de CO descienden de 0.90 ppm a 0.73 ppm, posteriormente estas concentraciones aumentan hasta las 8 horas alcanzando 1,84 ppm.

Después de las 9 horas las concentraciones disminuyen de 1.78 ppm a 0.42 ppm en las 15 horas. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.0 ppm a las 22 y 23 horas.

4.1.7.2 Estación San Mateo Atenco

La gráfica 55 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2017.

Gráfica 55. Concentraciones promedio de CO por hora, estación San Mateo Atenco, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

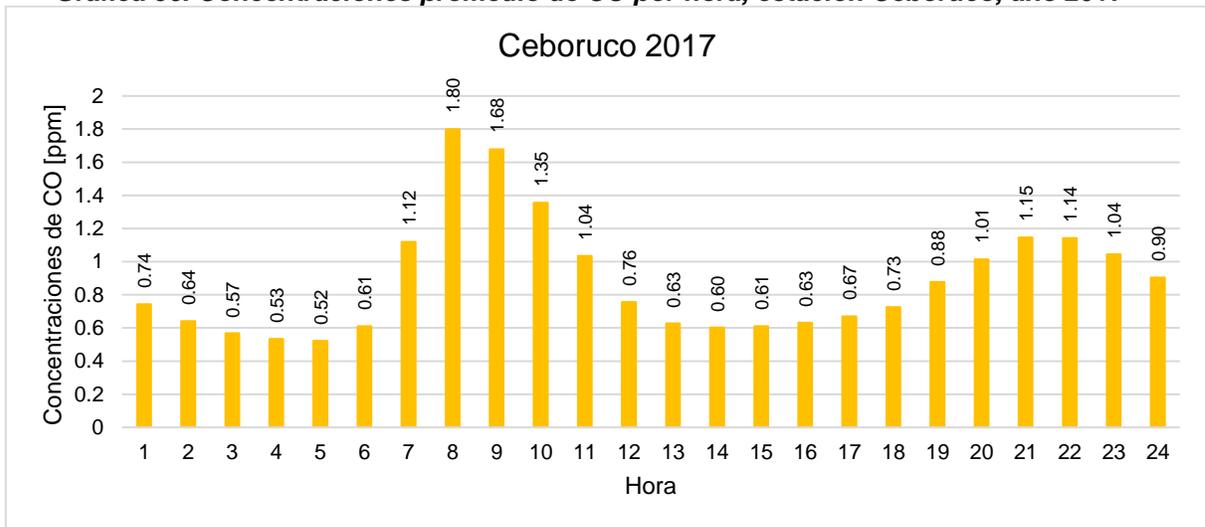
Entre la hora 1 y 5 las concentraciones de CO descienden de 1.06 ppm a 0.86 ppm, posteriormente se registran mayores concentraciones de CO, siendo, a las 7 horas 1.32 ppm, 8 horas 1.78 ppm y las 9 horas 1.72 ppm.

Los menores registros de CO suceden a las 13, 15 y 16 horas con 0.77 ppm. Por la tarde las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.19 ppm a las 22 y 23 horas.

4.1.7.3 Estación Ceboruco

La gráfica 56 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2017.

Gráfica 56. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Ceboruco, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

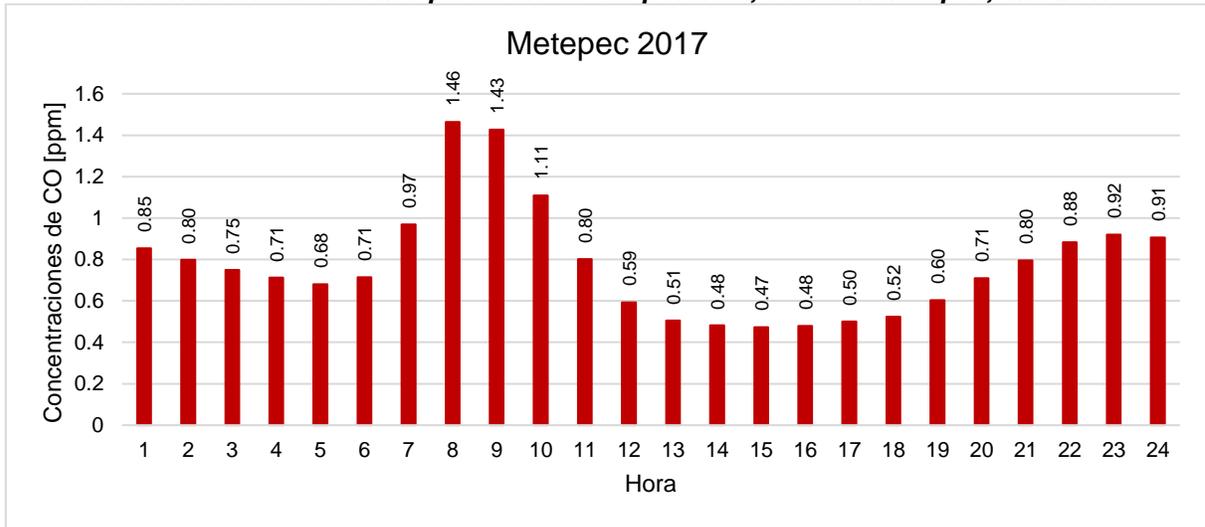
En la gráfica se puede observar que en las primeras horas del día se presenta un registro mayor en la hora 1 de 0.74 ppm, posteriormente los registros disminuyen hasta las 5 horas cuando vuelven a aumentar hasta las 8 horas alcanzando 1.80 ppm.

Además, y después de la hora antes mencionada, las concentraciones de CO disminuyen hasta las 14 horas con 0.60 ppm. Por la tarde las emisiones de CO aumentan a partir de las 18 horas, alcanzando un registro mayor a las 21 horas de 1.15 ppm.

4.1.7.4 Estación Metepec

La gráfica 57 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Metepec, durante el año 2017.

Gráfica 57. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Metepec, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

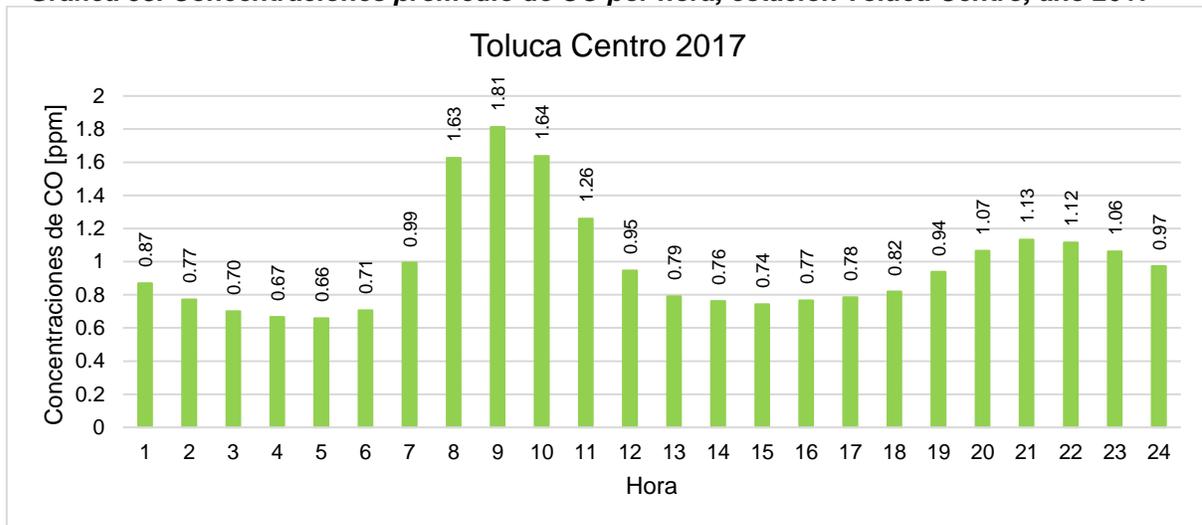
La estación Metepec tiene un registro mayor de CO a las 8 horas con 1.46 ppm, entre las 8 y 10 horas se superan 1.0 ppm. A partir de las 13 a 18 horas las concentraciones de CO se mantienen entre 0.51 y 0.52 ppm.

A partir de las 20 horas, las concentraciones de CO comienzan a aumentar de 0.71 hasta las 23 horas con 0.92 ppm.

4.1.7.5 Estación Toluca Centro

La gráfica 58 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2017.

Gráfica 58. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Toluca Centro, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

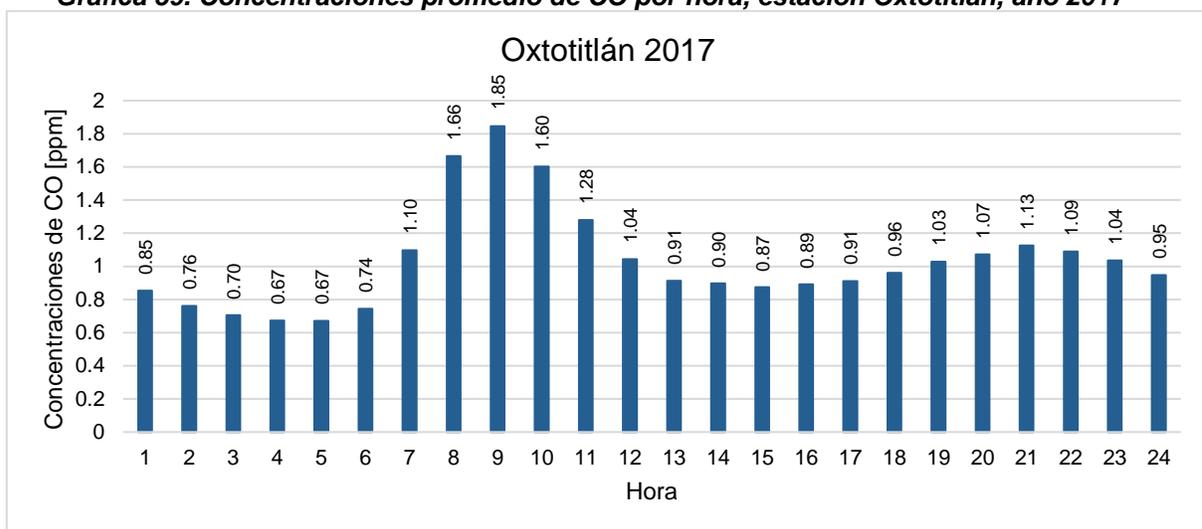
La estación Toluca Centro registra mayores concentraciones de CO entre las 8 y 10 horas con 1.63 ppm, 1.81 ppm y 1.64 ppm respectivamente.

Por la tarde se registran mayores concentraciones de CO con 1.13 ppm a las 21 horas. El menor registro de CO sucede a las 5 horas con 0.66 ppm.

4.1.7.6 Estación Oxtotitlán

La gráfica 59 se presentan las concentraciones promedio por hora de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2017.

Gráfica 59. Concentraciones promedio de CO por hora, estación Oxtotitlán, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre las 8 y 9 horas con 1.66 ppm y 1.85 ppm respectivamente.

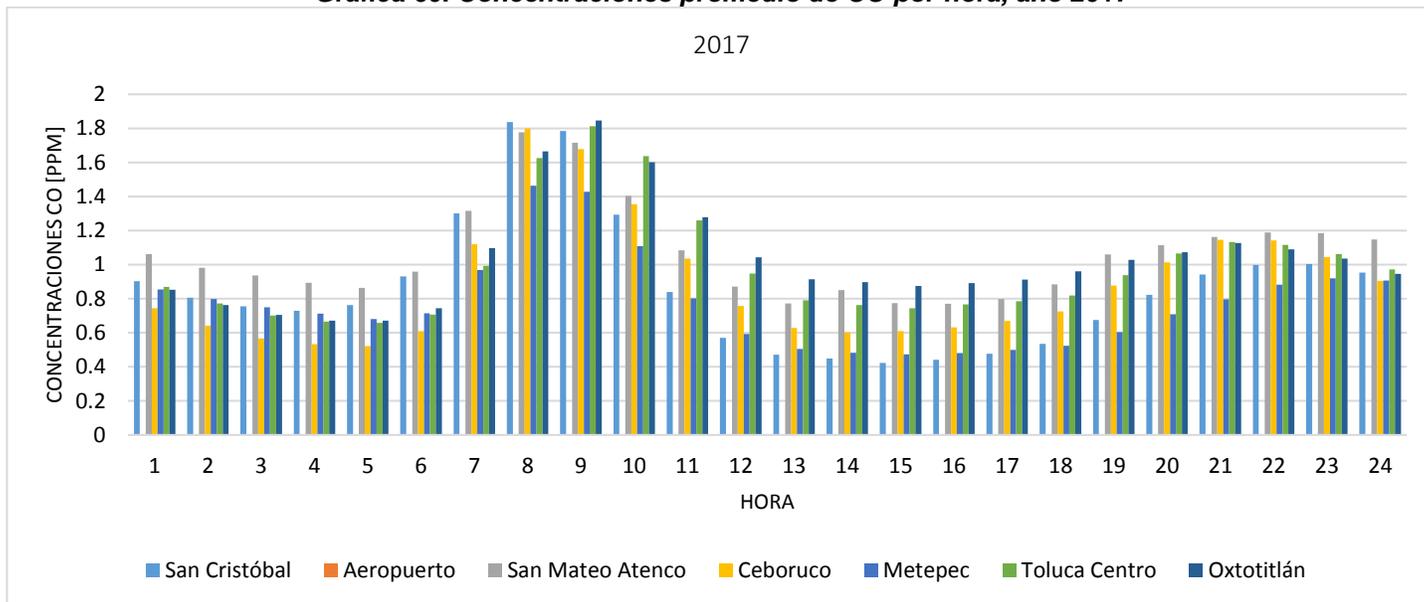
Entre las 10 y 15 horas las concentraciones de CO disminuyen de 1.60 ppm a 0.87 ppm; posteriormente aumentan los registros de CO hasta las 21 horas alcanzando 1.13 ppm, para nuevamente disminuir.

4.1.7.7 Concentraciones de CO promedio por hora, año 2017

La gráfica 60 presenta las concentraciones promedio de CO por hora para el año 2017. En ella puede observarse que entre las 7 a 11 horas del día ocurre un pico de

las concentraciones de CO, posterior a ello las concentraciones disminuyen y vuelve a ocurrir pequeño pico entre las 19 a 23 horas.

Gráfica 60. Concentraciones promedio de CO por hora, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

De la misma forma puede observarse que en las primeras horas del día las estaciones San Cristóbal, Ceboruco y San Mateo Atenco superan 1.7 ppm a las 7 horas. Las estaciones San Cristóbal a las 8 horas presenta su pico con 1.83 ppm, mientras que la estación Oxtotitlán alcanza un pico a las 9 horas con 1.84 ppm y Toluca Centro con 1.81 ppm. También es evidente que la estación San mateo Atenco es mayor en un promedio de 0.2 ppm las concentraciones de CO respecto a las demás estaciones.

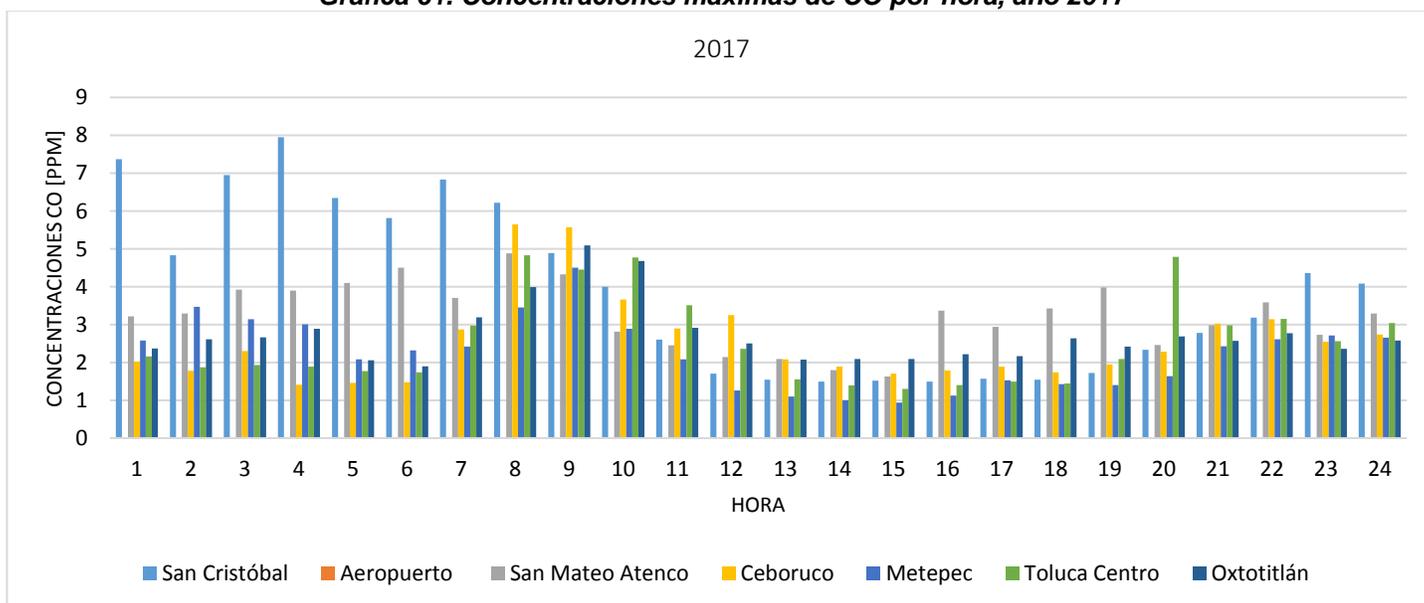
Considerando a la NOM-021-SSA1-1993 y la RAMA las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose el año 2017 con calidad del aire buena.

4.1.7.8 Concentraciones máximas de CO por hora

La gráfica 61 hace referencia a las concentraciones máximas de CO en el año 2017. En esta se observan concentraciones máximas de la estación San Cristóbal entre las 1 a 8 horas, siendo la hora 4 el mayor dato presentado durante el año con 7.94 ppm.

Además, la estación San Mateo entre las 1 y 6 horas superan en 1 ppm a las otras estaciones, con excepción de San Cristóbal. El comportamiento de la gráfica presenta un pico a las 9 horas, considerando que a partir de las 7 horas las concentraciones de CO aumentan hasta las 9 horas y descienden; posteriormente, por la tarde se presenta un pico menor entre las 20 y 23 horas.

Gráfica 61. Concentraciones máximas de CO por hora, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Aunado a lo anterior, también se presentan picos en las concentraciones de CO de las 7 a las 10 horas alcanzando 6.22 ppm en la estación San Cristóbal. Entre las 20 y 23 horas ocurre un pico menor, aunque la estación Toluca Centro presenta 4.79 ppm el cual se supera a las demás concentraciones.

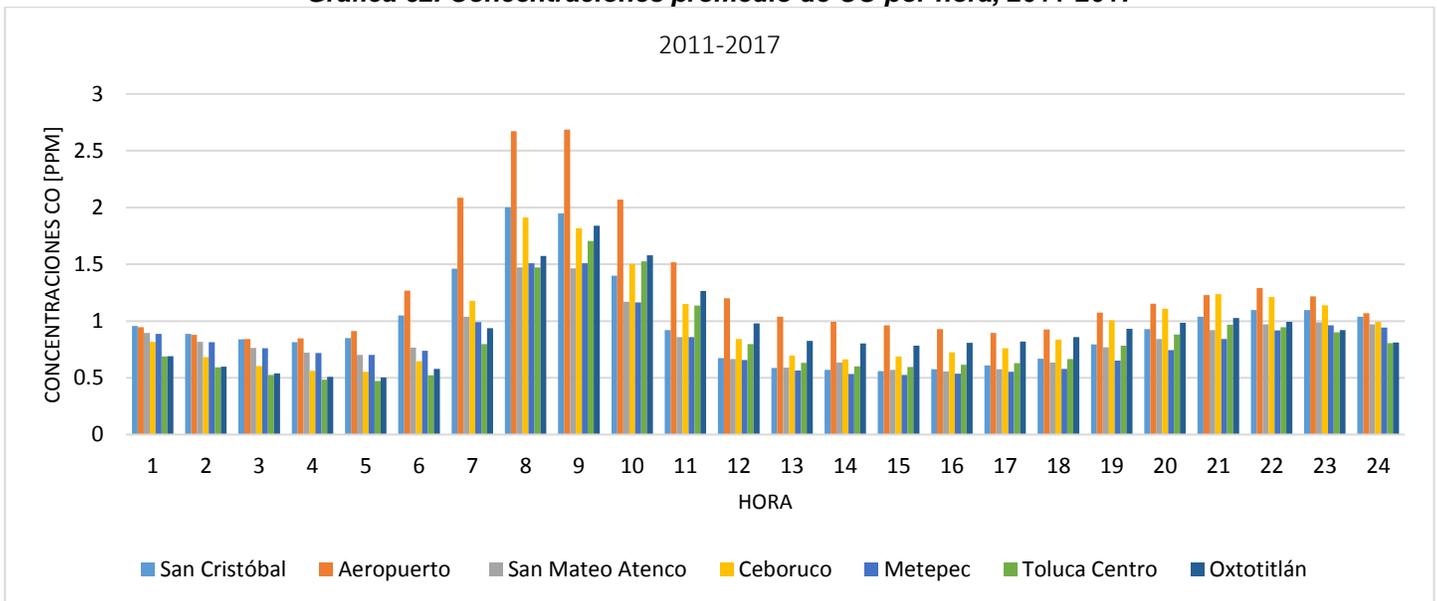
Respecto a la NOM-021-SSA1-1993 las concentraciones de CO no superan el límite establecido, considerándose como buena; sin embargo, de acuerdo con lo que dice la RAMA la estación San Cristóbal entre las 1 y 9 horas y la estación Ceboruco entre las 8 y 9 horas superan las 5.5ppm que indican una calidad de aire regular.

4.1.8 Análisis del periodo 2011-2017

4.1.8.1 Concentraciones promedio de CO

La gráfica **62** hace referencia las concentraciones promedio de CO por hora durante el periodo 2011 al 2017. En esta puede observarse un aumento en las concentraciones de CO a partir de las 7 horas hasta alcanzar un pico a las 9 horas con 1.9 ppm y descender a las 11 horas a 1.1 ppm. Por la tarde las concentraciones de CO comienzan a aumentar a partir de las 20 a 23 horas.

Gráfica 62. Concentraciones promedio de CO por hora, 2011-2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Además, la estación Aeropuerto presenta concentraciones mayores al comportamiento de la gráfica, siendo las 8 y 9 horas el pico de esta con 2.6 ppm. La estación Ceboruco a partir de las 11 horas disparan un poco los valores de concentraciones respecto a las otras estaciones.

Considerando la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones promedio de CO no superan el límite establecido, considerándose con calidad del aire buena.

Tabla 17. Medidas tendencia de concentraciones promedio de CO por hora/estación, 2011-2017

| Estación | Media | Desviación estándar | Varianza | Coefficiente de variación | Mínimo | Máximo |
|------------------|-------|---------------------|----------|---------------------------|--------|--------|
| San Cristóbal | 1.11 | 0.49 | 0.24 | 44.31 | 0.32 | 2.73 |
| Aeropuerto | 1.53 | 0.67 | 0.45 | 43.81 | 0.74 | 3.46 |
| San Mateo Atenco | 0.97 | 0.31 | 0.10 | 31.96 | 0.45 | 1.93 |
| Ceboruco | 1.11 | 0.47 | 0.22 | 42.08 | 0.47 | 2.77 |
| Metepec | 0.94 | 0.32 | 0.11 | 34.62 | 0.47 | 2.02 |
| Toluca Centro | 0.94 | 0.39 | 0.15 | 41.62 | 0.44 | 2.09 |
| Oxtotitlán | 1.05 | 0.41 | 0.17 | 39.20 | 0.41 | 2.44 |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

En el periodo 2011-2017 de concentraciones promedio por hora de CO, la estación Aeropuerto registra la mayor desviación estándar de 0.67ppm con respecto a su media 1.53 ppm. La estación San Mateo Atenco presenta una desviación de 0.31 ppm con respecto a la media de 0.97 ppm.

En cuanto al coeficiente de variación, las estaciones con mayor variación son San Cristóbal 44.31%, Aeropuerto 43.81%, Ceboruco y Toluca. Mientras que la estación San Mateo Atenco registra una variación de 31.96% como la menor. En este caso, los datos se comportan de manera heterogénea concentraciones promedio de CO en todas las estaciones.

Esta heterogeneidad influye en la dispersión de los datos de concentraciones de CO, lo cual podría indicar que existen otros factores que influyen, como las variables meteorológicas o las fuentes de emisión del CO en las diferentes estaciones de la RAMA-ZMVT.

Al considerar la varianza, se dispersan de mayor manera en la estación San Cristóbal y Ceboruco con 1.54 y 0.92 respectivamente; mientras que la estación Metepec se dispersa en menor proporción con 0.37.

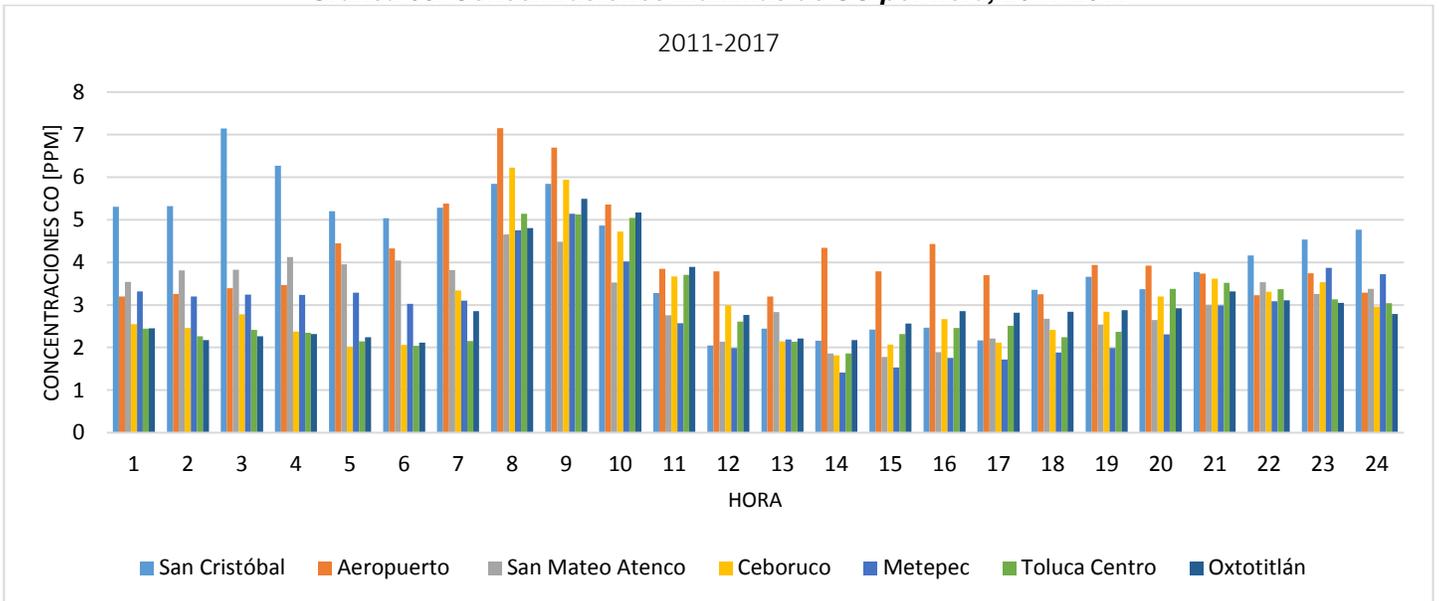
También es importante considerar que la estación Aeropuerto registra los máximos promedios de CO con 6.87 ppm, seguido de la estación San Cristóbal con 6.74 ppm y Ceboruco con 5.84 ppm.; y como registro máximo menor la estación San Mateo Atenco con 4.74 ppm y Metepec con 7.64 ppm.

Finalmente, y al tomar en cuenta a la NOM-021-SSA1-1993 las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones promedio de CO por hora de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el periodo 2011-2017.

4.1.8.2 Concentraciones máximas de CO

En la gráfica **63** se presentan las concentraciones máximas de CO por hora durante el periodo de estudio. En esta gráfica se observa que la estación San Cristóbal presenta mayores concentraciones entre las 1 y 9 horas superando las 5ppm.

Gráfica 63. Concentraciones máximas de CO por hora, 2011-2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

También puede observarse que entre las 7 y 10 horas las concentraciones presentan un pico, siendo la estación Aeropuerto con 7.1 ppm como dato mayor. Posteriormente las concentraciones disminuyen y vuelven a aumentar a partir de las 20 horas hasta las 23 horas.

Considerando a la NOM-021-SSA1-1993 las concentraciones de CO no superan el límite establecido.

Tabla 18. Medidas tendencia de concentraciones máximas de CO por hora/estación, 2011-2017

| Estación | Media | Desviación estándar | Varianza | Coefficiente de variación | Mínimo | Máximo |
|-------------------------|-------|---------------------|----------|---------------------------|--------|--------|
| San Cristóbal | 4.20 | 1.47 | 2.15 | 34.96 | 2.05 | 7.14 |
| Aeropuerto | 4.12 | 1.06 | 1.12 | 25.66 | 3.20 | 7.15 |
| San Mateo Atenco | 3.18 | 0.85 | 0.71 | 26.57 | 1.78 | 4.66 |
| Ceboruco | 3.08 | 1.15 | 1.32 | 37.33 | 1.82 | 6.23 |
| Metepec | 2.89 | 0.99 | 0.98 | 34.26 | 1.41 | 5.14 |
| Toluca Centro | 2.91 | 0.98 | 0.97 | 33.86 | 1.86 | 5.14 |
| Oxtotitlán | 3.00 | 0.94 | 0.88 | 31.16 | 2.11 | 5.49 |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

En el periodo 2011-2017 de concentraciones máximas por hora de CO, la estación San Cristóbal registra la mayor desviación estándar de 1.47ppm con respecto a su media 4.20 ppm., seguida por la estación Ceboruco con 1.15 ppm y la estación Aeropuerto con 1.06 ppm respecto a su media de 4.12 ppm. La estación San Mateo Atenco presenta la desviación menor de 0.85 ppm con respecto a la media de 3.18 ppm.

En cuanto al coeficiente de variación, las estaciones con mayor variación son Ceboruco 37.33%, San Cristóbal 34.96%, Metepec 34.26%, Toluca Centro 33.86% y Oxtotitlán 31.16%. Mientras que la estación San Mateo Atenco registra una variación de 26.57% y Aeropuerto 25.66% como la menor.

En este caso, los datos se comportan de manera heterogénea concentraciones máximas de CO en todas las estaciones. Esta heterogeneidad influye en la dispersión de los datos de concentraciones de CO, lo cual podría indicar que existen otros factores que influyen en las emisiones del CO en las diferentes estaciones de la RAMA-ZMVT.

Al considerar la varianza, esta se dispersa de mayor manera en la estación San Cristóbal y Ceboruco con 12.15 y 1.32 respectivamente; mientras que la estación San Mateo Atenco se dispersa en menor proporción con 0.71.

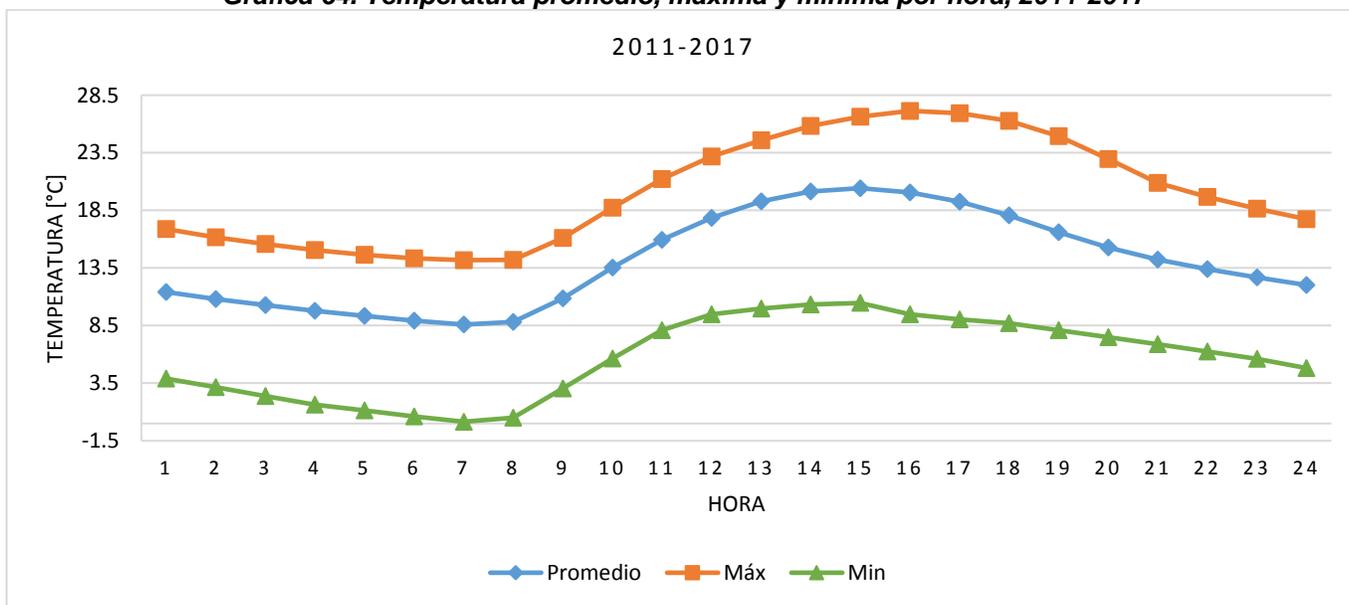
Así mismo es importante tomar en cuenta que la estación Aeropuerto registra los máximos registros de CO con 7.15 ppm, seguido de la estación San Cristóbal con 7.14 ppm y Ceboruco con 6.23 ppm.; y como registro máximo menor la estación Metepec y Toluca Centro con 5.14 ppm y San Mateo Atenco con 4.66 ppm.

Finalmente, y al considerar a la NOM-021-SSA1-1993 las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones máximas de CO por hora de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el periodo 2011-2017.

4.1.8.3 Temperatura

La gráfica 64 representa la temperatura promedio, máxima y mínima por hora en el periodo 2011 al 2017 de la zona de estudio. En ella se puede observar que la temperatura promedio oscila entre 8.5°C y 20.4°C, mientras que la temperatura máxima se presenta entre 14.1°C y 27.1°C, y la temperatura mínima va desde 0.1°C a los 10.4°C.

Gráfica 64. Temperatura promedio, máxima y mínima por hora, 2011-2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

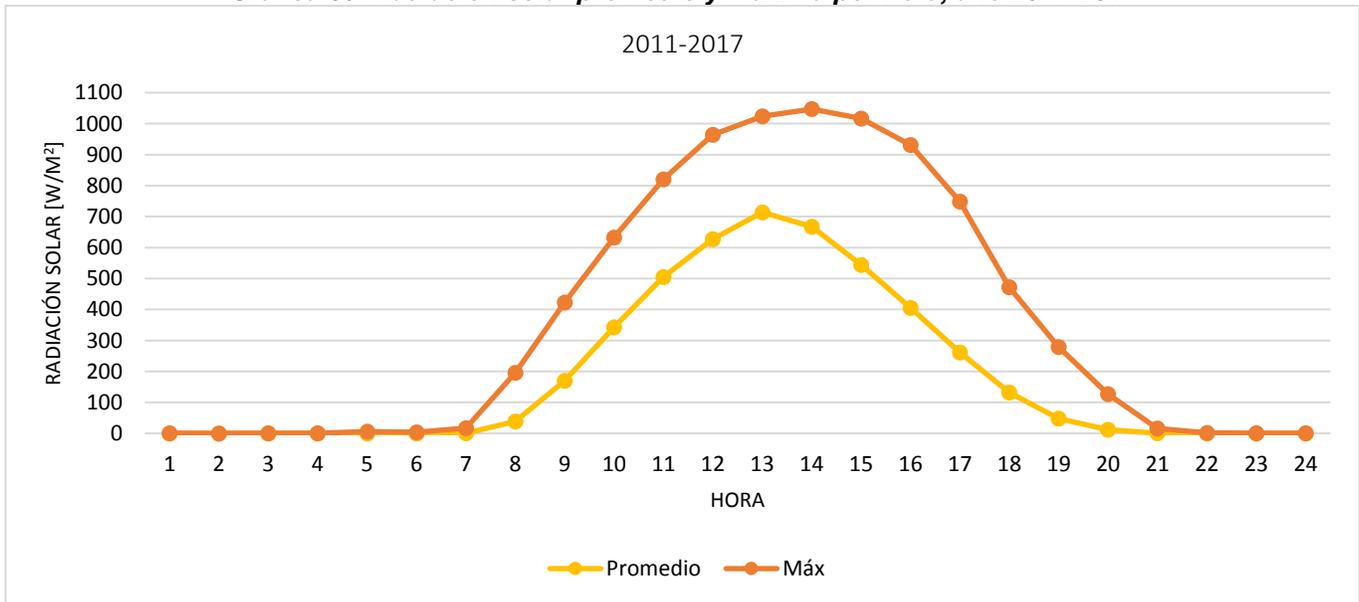
La temperatura promedio registra un dato menor a las 7 horas con 10.2°C, siendo este el punto de partida para ascender y llegar a las 15 horas con un pico de 20.4°C y nuevamente descender hasta los 12°C a las 24 horas.

La temperatura mínima tiene registros menores a las 7 horas con 0.15°C, de ahí asciende y se mantiene constante entre las 15 y 16 horas con 10°C para, posterior a ello la temperatura mínima descende hasta 4.8°C. Por otro lado, la temperatura máxima registra 14.1°C como mínimo a las 8 horas hasta llegar a las 16 horas con un pico de 28.5°C, y descender hasta las 24 horas donde se registran 19°C.

4.1.8.4 Radiación Solar

La gráfica **65** representa la radiación solar promedio y máxima por hora durante el periodo 2011 al 2017. En esta gráfica se puede observar que las primeras horas del día hasta las 7 horas, la radiación está en 0 W/m² para después comenzar a ascender hasta las 13 horas como punto máximo con 713.7 W/m² de la radiación solar promedio para descender posteriormente hasta las 20 a 24 horas donde nuevamente llega a 0 W/m².

Gráfica 65. Radiación solar promedio y máxima por hora, año 2011-2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Por otro lado, la radiación solar máxima comienza a registrar valores a partir de las 7 horas hasta las 14 horas donde alcanza un pico de 1047.1 W/m², para nuevamente descender hasta las 21 horas con 0 W/m².

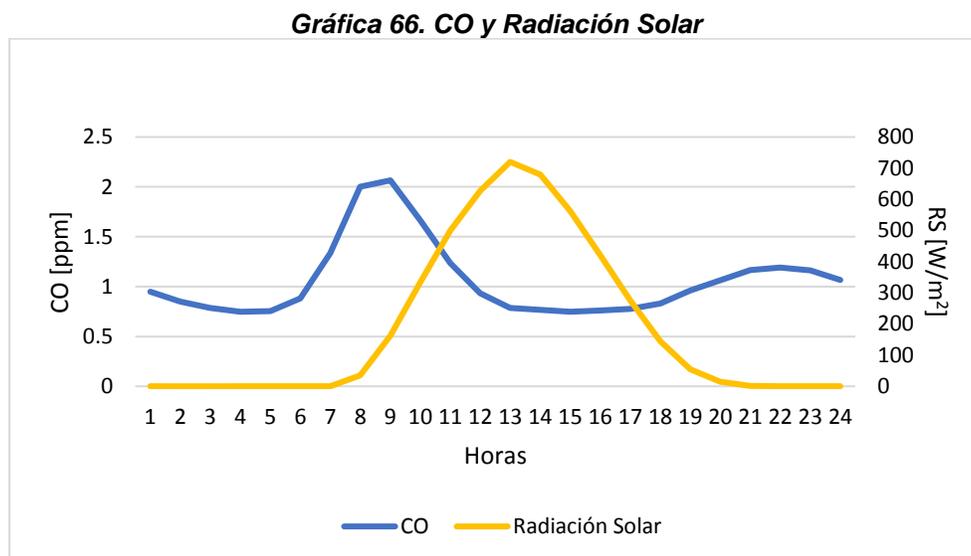
4.1.9 Relaciones del CO

Considerando que el CO al ser precursor indirecto de GEI, este puede verse afectado por la radiación solar para la formación de NO₂ y este a su vez en la formación de O₃.

4.1.9.1 Relación CO y Radiación Solar

En la gráfica 66 se presentan la relación entre el Monóxido de Carbono y la Radiación Solar.

Respecto a los datos utilizados para la elaboración de las relaciones con los promedios horarios de CO y radiación solar del periodo 2011-2017 de todas las estaciones (Anexo 1).



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

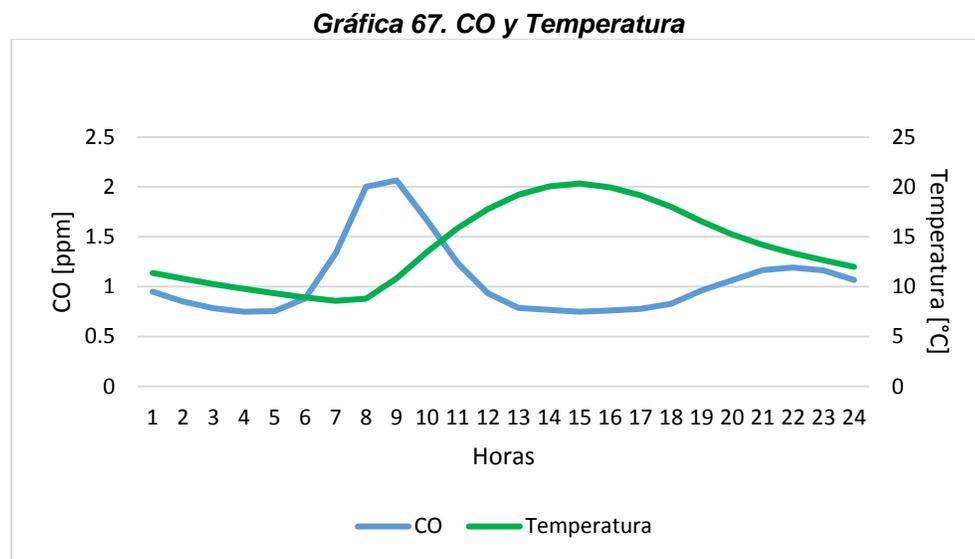
En la gráfica 66 se observa que mientras la radiación es 0 W/m² o cercana a 0 (1 a 8 horas y 20 a 24 horas) las concentraciones de CO aumentan un poco hasta alcanzar un máximo entre las 8 y 9 horas. Posteriormente la radiación solar aumenta y las concentraciones de CO disminuyen hasta las 20 horas, cuando la radiación es

0 W/m². Favoreciendo las reacciones fotoquímicas en cadena en la atmósfera a partir del CO.

4.1.9.3 Relación CO y temperatura

En la gráfica 67 se presentan la relación entre el Monóxido de Carbono y la temperatura.

En la gráfica se puede observar que cuando la temperatura presenta menores registros, las emisiones de CO registran su máximo del día (entre las 7 y 10 horas); mientras que cuando la temperatura es mayor, las concentraciones de CO disminuyen.



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La gráfica presenta la relación entre las concentraciones de CO y la temperatura respecto a cada hora del día, lo que favorece el incremento de la energía cinética en las moléculas.

4.2 Análisis de variables por mes/estación

Las concentraciones promedio por hora respecto a cada estación se presentan en el orden siguiente:

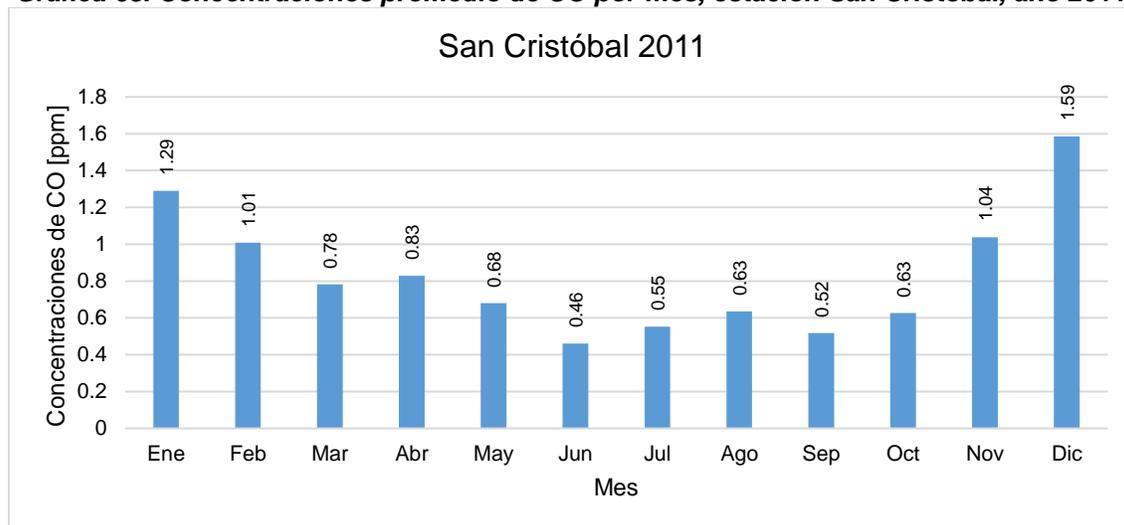
- ❖ San Cristóbal
- ❖ Aeropuerto
- ❖ San Mateo Atenco
- ❖ Ceboruco
- ❖ Metepec
- ❖ Toluca Centro
- ❖ Oxtitlán

4.2.1 Análisis del año 2011

4.2.1.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica 68 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2011.

Gráfica 68. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

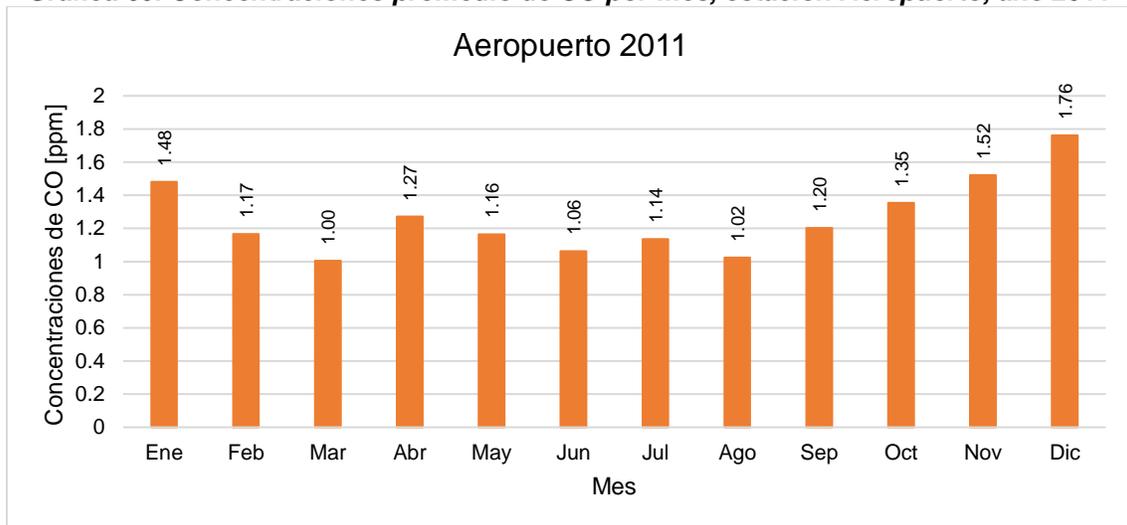
En la gráfica se puede observar que el mes de diciembre y enero presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO a lo largo del año con 1.29 ppm y 1.59 ppm respectivamente.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de junio que registra 0.48 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan.

4.2.1.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica 69 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2011.

Gráfica 69. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

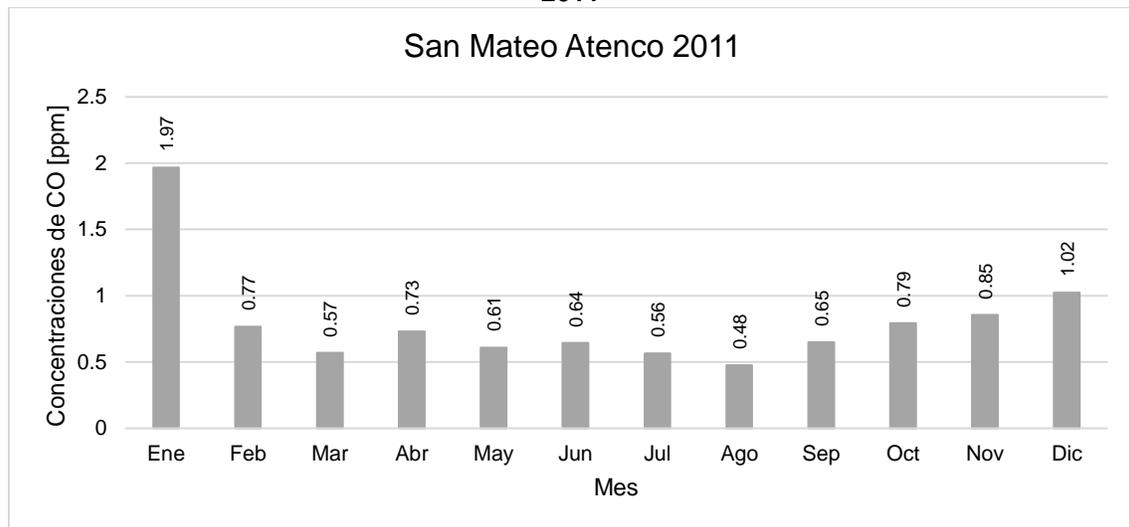
Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de diciembre y enero con 1.76 ppm y 1.48 ppm respectivamente. Todos los meses del año 2011 superan 1.0 ppm.

Los meses con menores registros promedios de CO son marzo con 1.0 ppm, junio con 1.06 ppm y agosto con 1.02 ppm. A partir de septiembre las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 1.52 ppm en noviembre.

4.2.1.3 Estación San Mateo Atenco

En la gráfica 70 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2011.

Gráfica 70. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

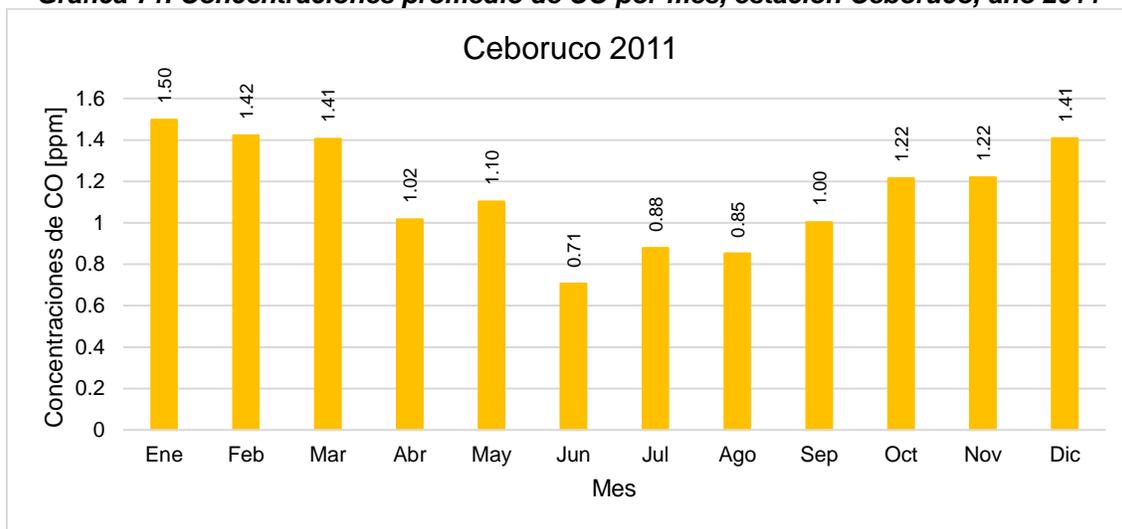
En el mes de enero las concentraciones de CO se registran mayores datos con 1.97 ppm, posteriormente se registran menores concentraciones de CO.

Los menores registros de CO suceden en marzo con 0.57 ppm y agosto con 0.48 ppm. Posteriormente concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.02 ppm en diciembre.

4.2.1.4 Estación Ceboruco

La gráfica 71 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2011.

Gráfica 71. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

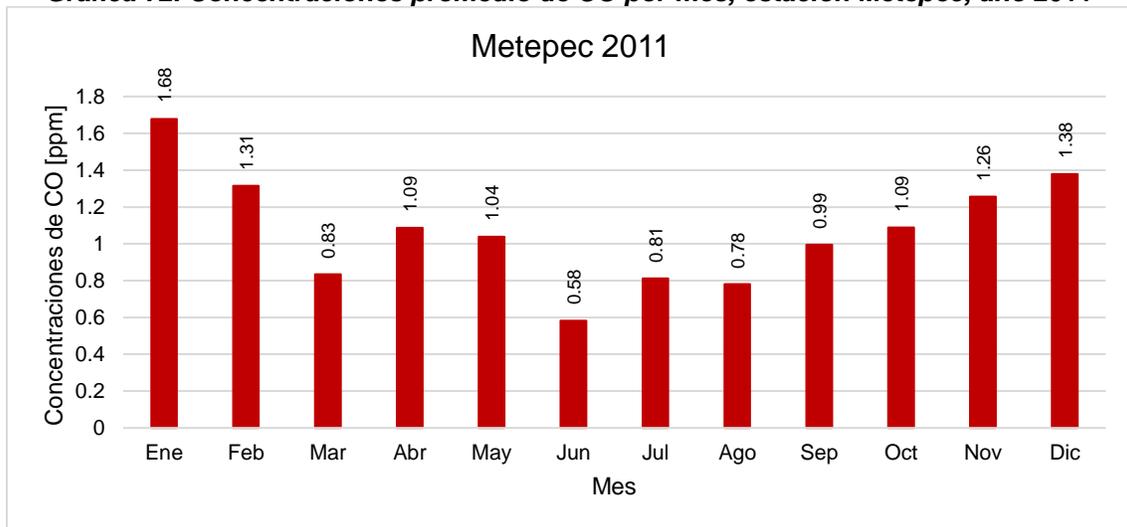
En la gráfica se observa que los meses de enero a marzo presentan un registro mayor de 1.50 ppm, 1.42 ppm y 1.41 ppm, posteriormente los registros disminuyen hasta abril cuando vuelven a aumentar hasta 1.10 ppm en mayo.

Además, y después del antes mencionado, las concentraciones de CO disminuyen en junio con 0.71 ppm. Después las emisiones de CO aumentan a partir de agosto, alcanzando un registro mayor en diciembre de 1.41 ppm.

4.2.1.5 Estación Metepec

La gráfica 72 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Metepec, durante el año 2011.

Gráfica 72. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

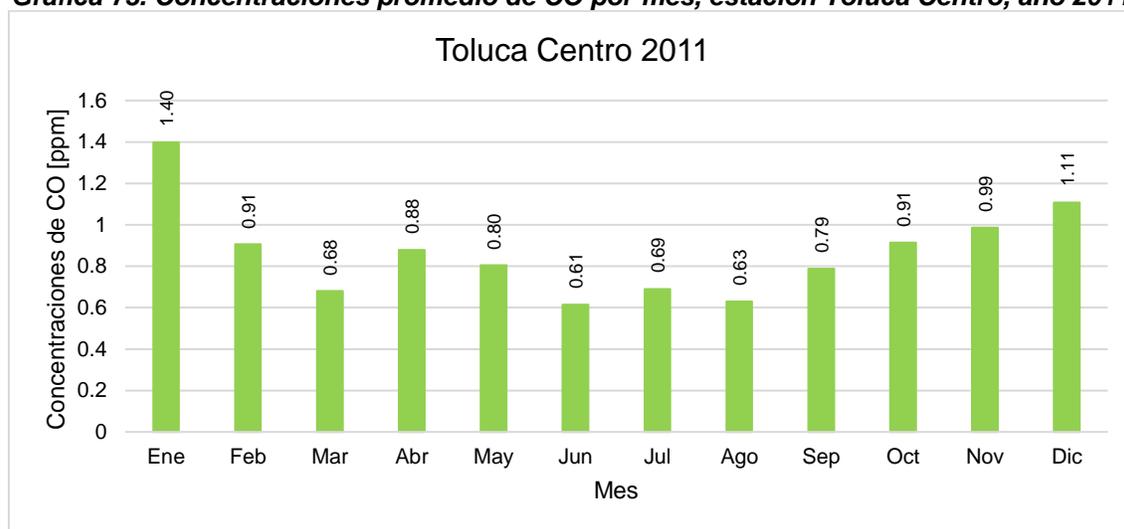
En la gráfica se puede observar que el mes de diciembre y enero presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.38 ppm y 1.68 ppm respectivamente.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de junio que registra 0.58 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan.

4.2.1.6 Estación Toluca Centro

La gráfica 73 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2011.

Gráfica 73. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

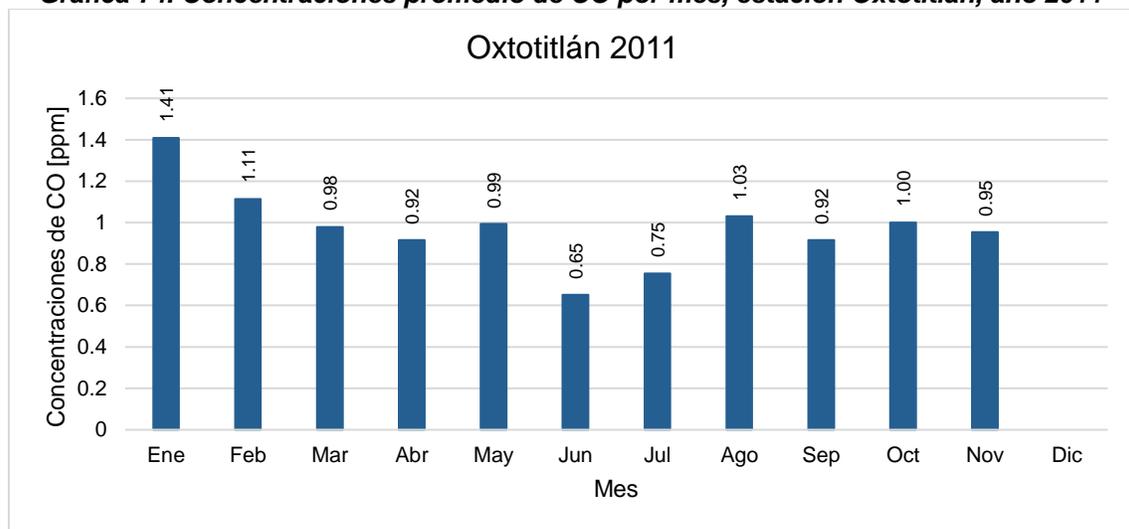
Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de diciembre y enero con 1.11 ppm y 1.40 ppm respectivamente. Con excepción de los meses antes mencionados, en el año no se superan 1.0 ppm.

Los meses con menores registros promedios de CO son junio con 0.61 ppm y agosto con 0.63 ppm. A partir de septiembre las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 0.99 ppm en noviembre.

4.2.1.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica 74 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2011.

Gráfica 74. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

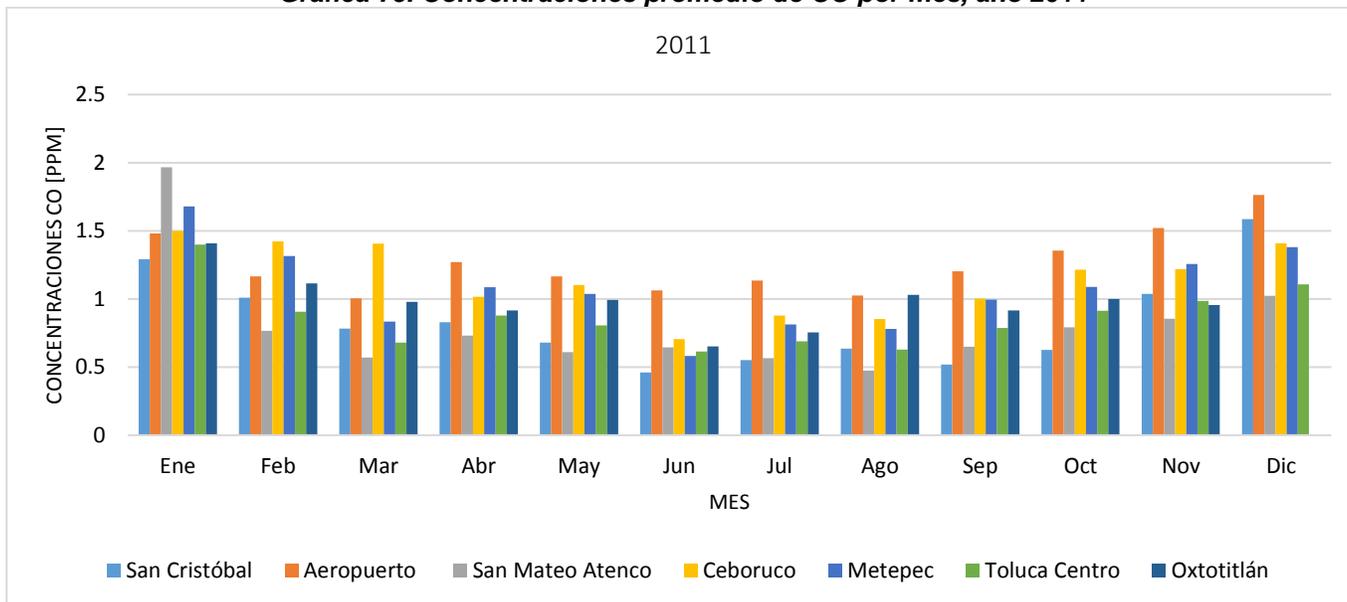
La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre los meses de enero y febrero con 1.41 ppm y 1.11 ppm respectivamente. Los meses que superan 1.0 ppm son agosto y octubre, además de los otros que ya se mencionaron anteriormente.

Los meses con menores registros promedios de CO son junio con 0.65 ppm y julio con 0.75 ppm.

4.2.1.8 Concentraciones de CO promedio por mes, año 2011

En la gráfica 75 puede observarse las concentraciones promedio de CO por mes durante el año 2011, siendo la estación San Mateo Atenco la que registra mayores concentraciones de 1.96 ppm durante el mes de enero. Sin embargo, la estación Aeropuerto es la que se mantiene con concentraciones de CO superiores a las demás estaciones a partir del mes de abril, teniendo un pico durante el mes de diciembre con 1.76 ppm.

Gráfica 75. Concentraciones promedio de CO por mes, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Aunado a lo dicho antes, la estación San Cristóbal presenta registros máximos en el mes de diciembre con 1.58 ppm. Las demás estaciones presentan registros altos en el mes de enero, siendo Ceboruco 1.49 ppm, Metepec 1.67 ppm, Toluca centro 1.39 ppm y Oxtotitlán 1.4 ppm.

Por otro lado, los registros mínimos se localizan en el mes de marzo 1.004 ppm para Aeropuerto, agosto con 0.47 ppm en la estación San mateo Atenco, y el mes de junio para las demás estaciones entre 0.4 y 0.7 ppm.

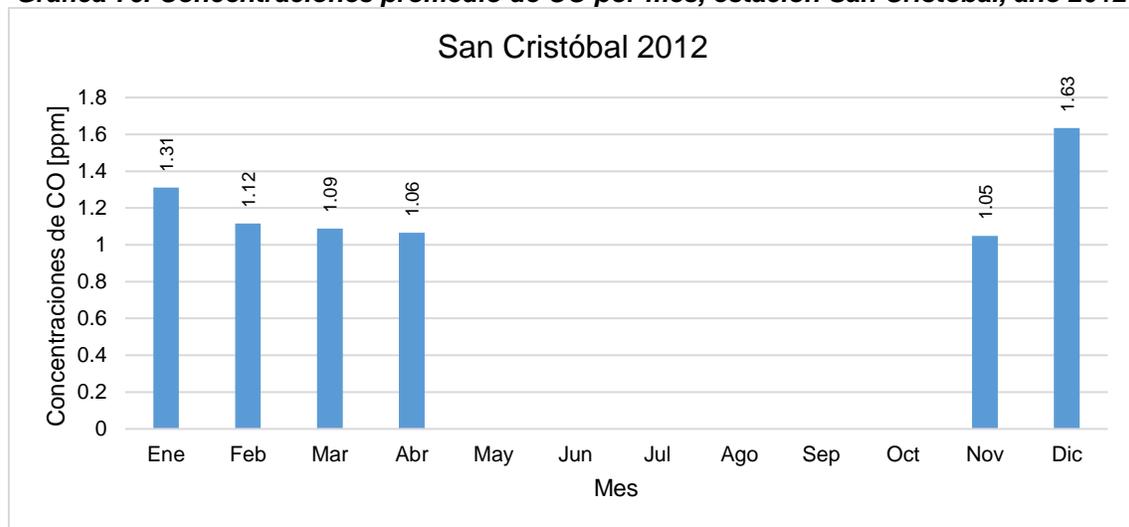
Tomando en cuenta lo anterior, es importante señalar que de acuerdo con la NOM-021-SSA1-1993 que establece los valores permisibles para las concentraciones de CO en el aire con 11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire, en este año no se supera. De la misma manera, se puede afirmar que la calidad del aire para el año 2011 en promedios por mes se presenta como buena, considerando que no se superan las 5.5ppm según lo establecido por la RAMA.

4.2.2 Análisis del año 2012

4.2.2.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica **76** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2012.

Gráfica 76. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

En la gráfica se puede observar que el mes de diciembre y enero presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO a lo largo del año con 1.31 ppm y 1.63 ppm respectivamente.

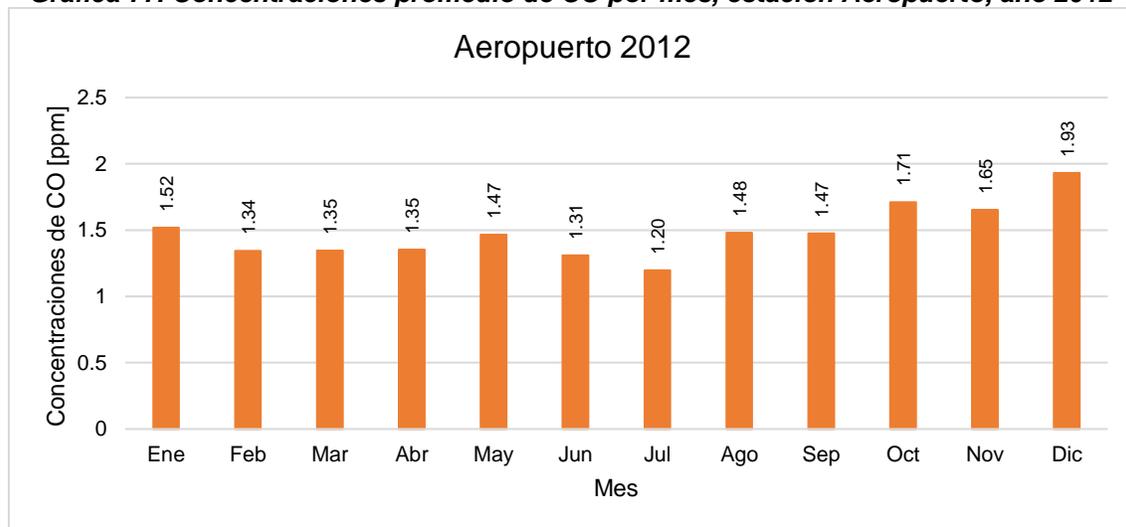
También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de noviembre que registra 1.05 ppm.

Aunque es de importancia mencionar que entre los meses de mayo a octubre no hay registro de concentraciones de CO.

4.2.2.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica 77 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2012.

Gráfica 77. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

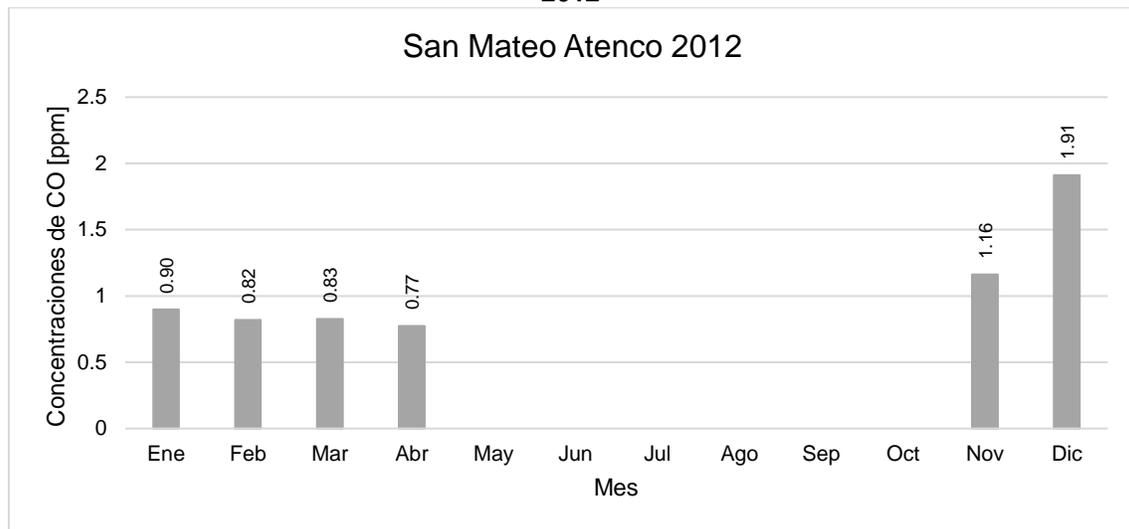
Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de octubre y diciembre con 1.71 ppm y 1.93 ppm respectivamente. Todos los meses del año 2012 superan 1.0 ppm.

Los meses con menores registros promedios de CO son junio con 1.31 ppm y julio con 1.20 ppm. A partir de agosto las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 1.47 ppm en septiembre.

4.2.2.3 Estación San Mateo Atenco

En la gráfica 78 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2012.

Gráfica 78. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

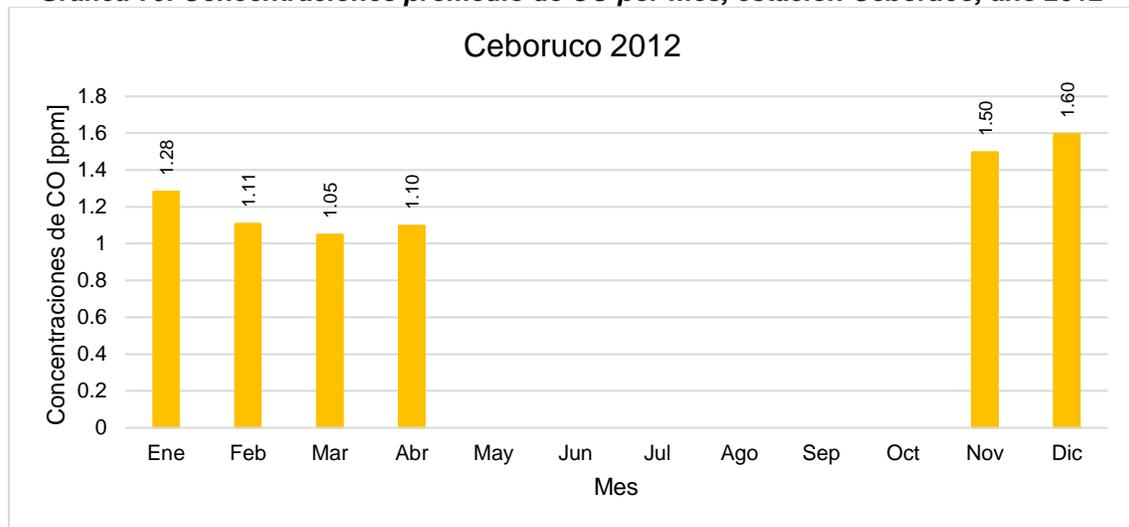
En el mes de diciembre las concentraciones de CO registran mayores datos con 1.91 ppm. Entre enero y abril no se superan 1.0 ppm.

Los menores registros de CO suceden en febrero con 0.82 ppm y abril con 0.77 ppm. Posteriormente al mes de abril, de mayo a octubre no existen registro de concentraciones de CO, hasta noviembre con 1.16 ppm.

4.2.2.4 Estación Ceboruco

La gráfica 79 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2012.

Gráfica 79. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

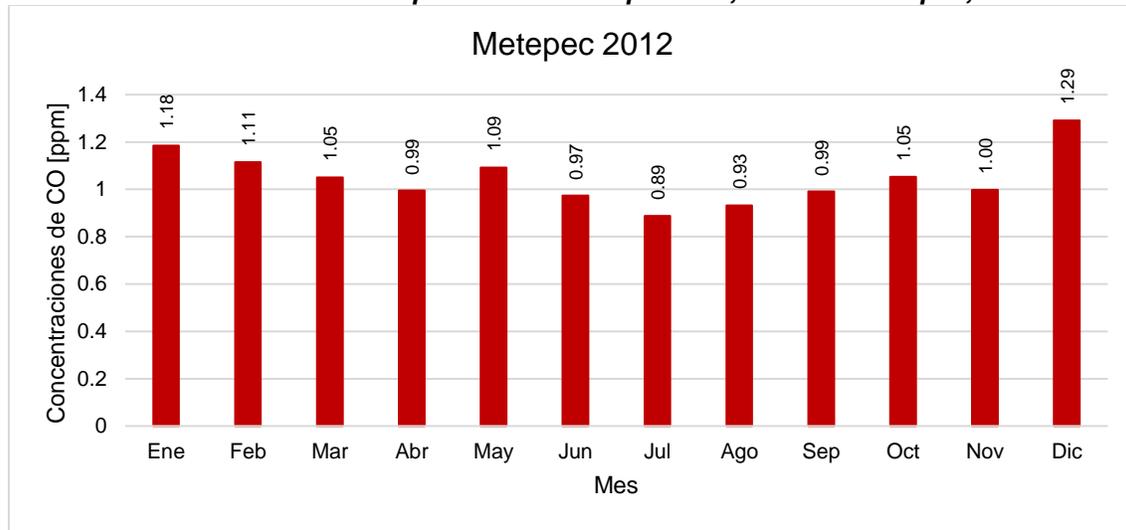
En la gráfica se observa que los meses de noviembre y diciembre presentan un registro mayor de 1.50 ppm y 1.60 ppm respectivamente. Entre los meses de enero a marzo los registros disminuyen y vuelven a aumentar hasta 1.10 ppm en abril.

Los menores registros de CO suceden en el mes de marzo con 1.05 ppm. Además, es importante mencionar que entre mayo y octubre no se presentan datos de concentraciones de CO por la falta de estos.

4.2.2.5 Estación Metepec

La gráfica 80 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Metepec, durante el año 2012.

Gráfica 80. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

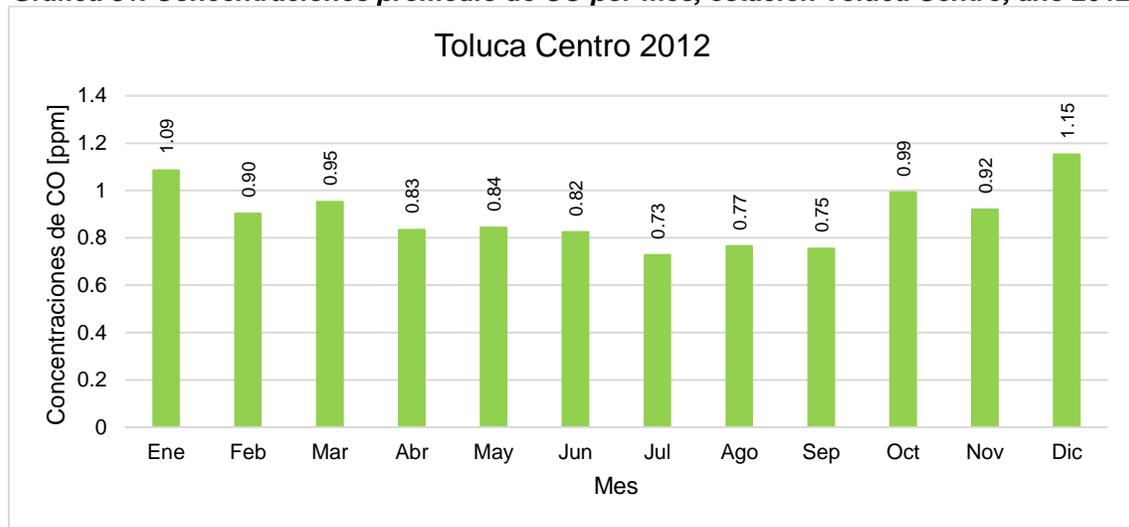
En la gráfica se puede observar que el mes de diciembre y enero presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.29 ppm y 1.18 ppm respectivamente. Así mismo, se registran concentraciones superiores a 1 ppm en los meses de febrero, marzo, mayo y octubre.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de julio que registra 0.89 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan.

4.2.2.6 Estación Toluca Centro

La gráfica 81 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2012.

Gráfica 81. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

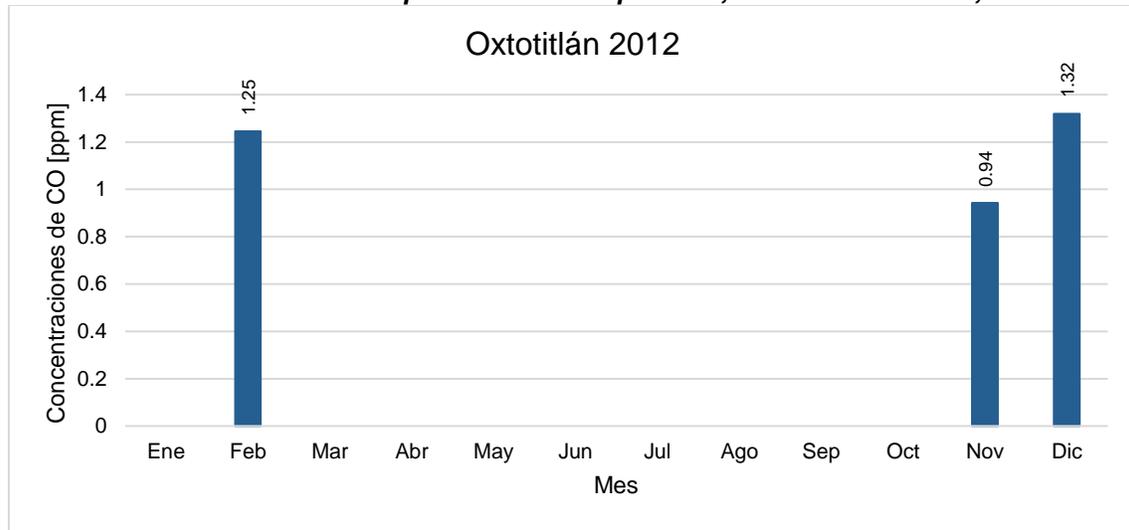
Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de diciembre y enero con 1.15 ppm y 1.09 ppm respectivamente. Con excepción de los meses antes mencionados, en el año no se superan 1.0 ppm.

Los meses con menores registros promedios de CO son julio con 0.73 ppm. A partir de septiembre las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 0.92 ppm en octubre.

4.2.2.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica **82** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2012.

Gráfica 82. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre los meses de diciembre y febrero con 1.32 ppm y 1.25 ppm respectivamente.

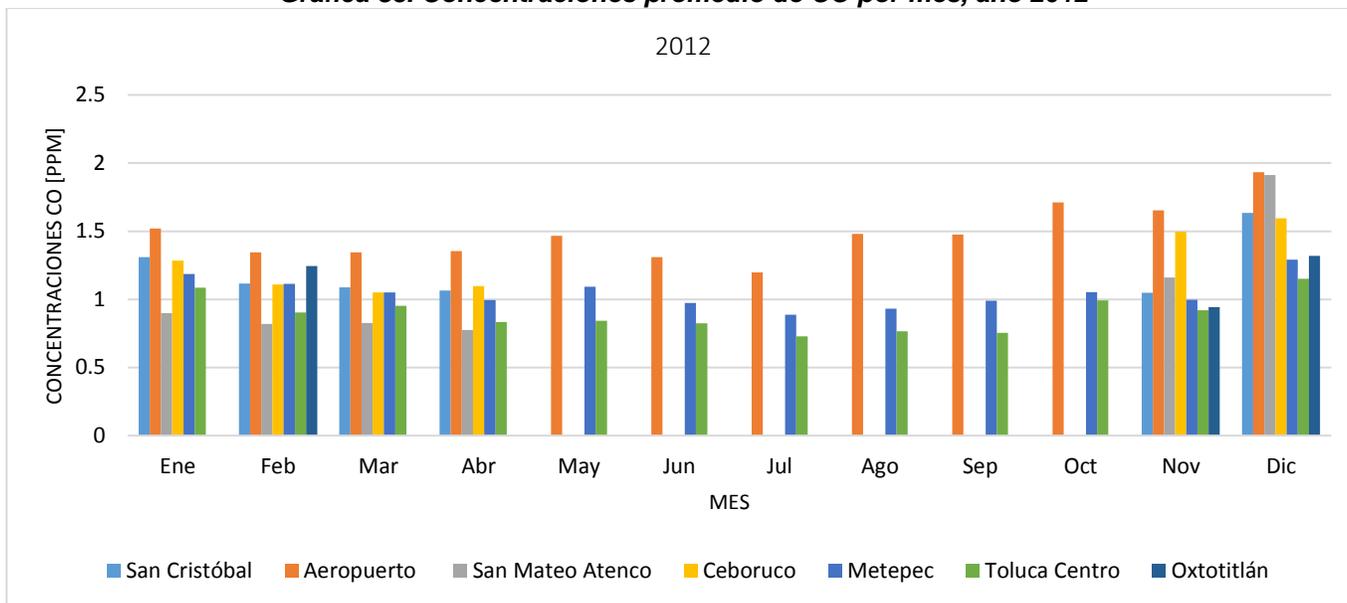
Los meses con menores registros promedios de CO son noviembre con 0.94 ppm , sin embargo, es importante mencionar que para este año la estación Oxtotitlán sólo tiene registros de los tres meses antes mencionados.

4.2.2.8 Concentraciones de CO promedio por mes, año 2012

En la gráfica **83** puede observarse las concentraciones promedio de CO por mes durante el año 2012, siendo la estación San Mateo Atenco la que registra mayores concentraciones desde 0.77 ppm en abril hasta 1.91 ppm en el mes de diciembre.

En general los mayores registros de concentraciones de CO se dan en el mes de diciembre siendo la estación San Cristóbal con 1.63 ppm, Ceboruco con 1.59 ppm, Metepec 1.29 ppm, Toluca Centro 1.15 ppm y la estación Oxtotitlán con 131 ppm. La estación Aeropuerto registra datos mayores en el mes de octubre con 1.71 ppm.

Gráfica 83. Concentraciones promedio de CO por mes, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

El mes de julio presenta registros menores en las estaciones Aeropuerto con 1.19 ppm, Metepec 0.88 ppm y la estación Toluca Centro con 0.72 ppm; el mes de noviembre tiene los menores registro de las estaciones San Cristóbal con 1.048 ppm y Oxtotitlán con 0.94 ppm: el mes de marzo con 1.04ppm con la estación Ceboruco.

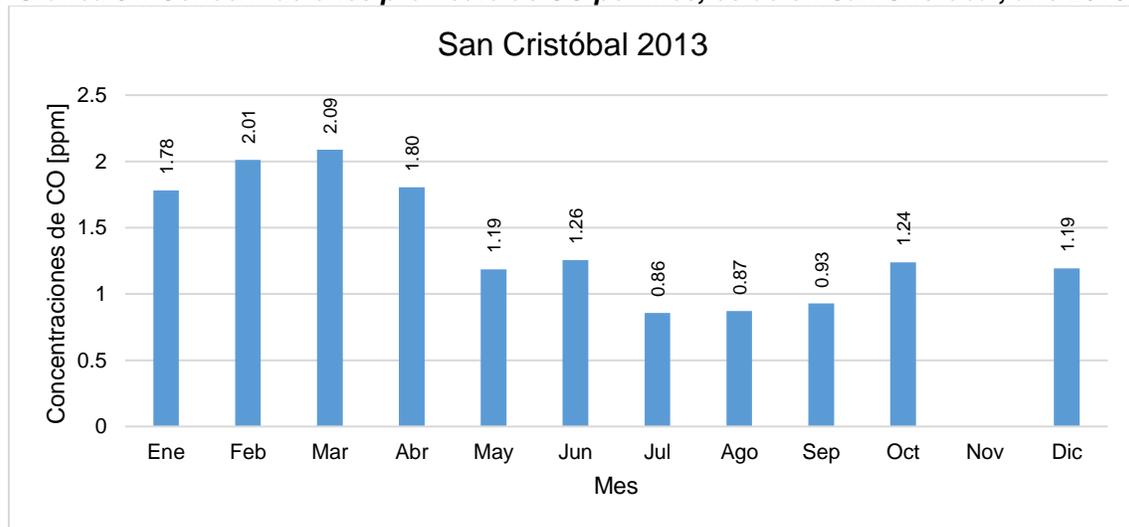
Considerando el análisis anterior, de acuerdo con la NOM-021-SSA1-1993 que establece las 11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire, en este año no se supera. De la misma manera, se puede afirmar que la calidad del aire para el año 2012 en promedios por mes se presenta como “buena” considerando que no se superan las 5.5ppm según lo establecido por la RAMA.

4.2.3 Análisis del año 2013

4.2.3.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica **84** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2013.

Gráfica 84. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

En la gráfica se puede observar que el mes de febrero y marzo presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 2.01 ppm y 2.09 ppm respectivamente.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de julio que registra 0.86 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan hasta el mes de octubre con 1.4 ppm.

Durante el mes de noviembre no se presentan registros de concentraciones de CO.

4.2.3.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica **85** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2013.

Gráfica 85. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

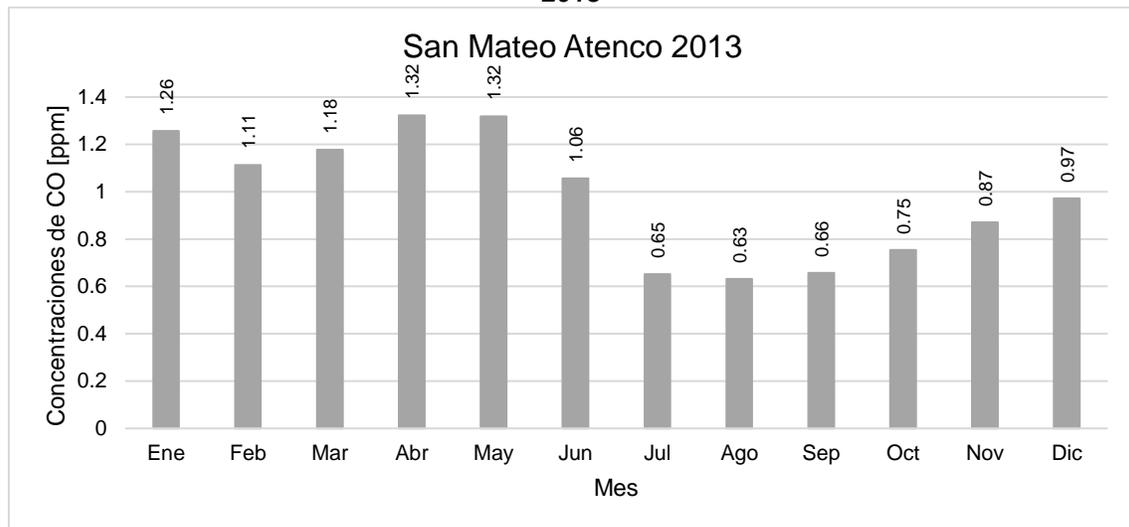
Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de octubre y diciembre con 1.71 ppm y 1.93 ppm respectivamente. Todos los meses del año 2013 superan 1.0 ppm.

Los meses con menores registros promedios de CO son junio con 1.31 ppm y julio con 1.20 ppm. A partir de agosto las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 1.71 ppm en septiembre.

4.2.3.3 Estación San Mateo Atenco

En la gráfica **86** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2013.

Gráfica 86. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

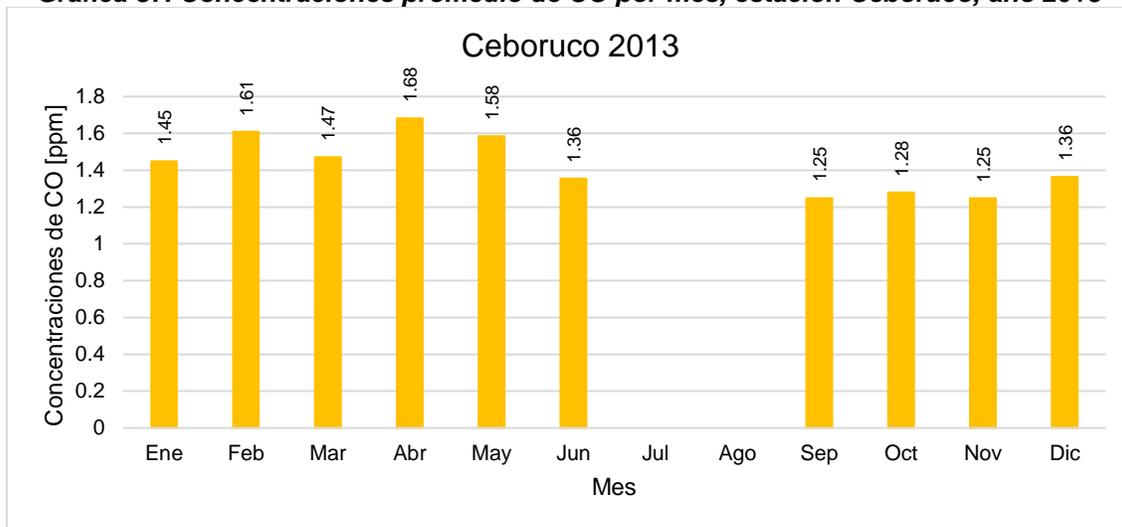
En el mes de abril y mayo las concentraciones de CO registran mayores datos con 1.32 ppm, posteriormente se registran menores concentraciones de CO.

Los menores registros de CO suceden en julio con 0.65 ppm y agosto con 0.63 ppm. Posteriormente, las concentraciones aumentan hasta alcanzar 0.97 ppm en diciembre.

4.2.3.4 Estación Ceboruco

La gráfica **87** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2013.

Gráfica 87. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

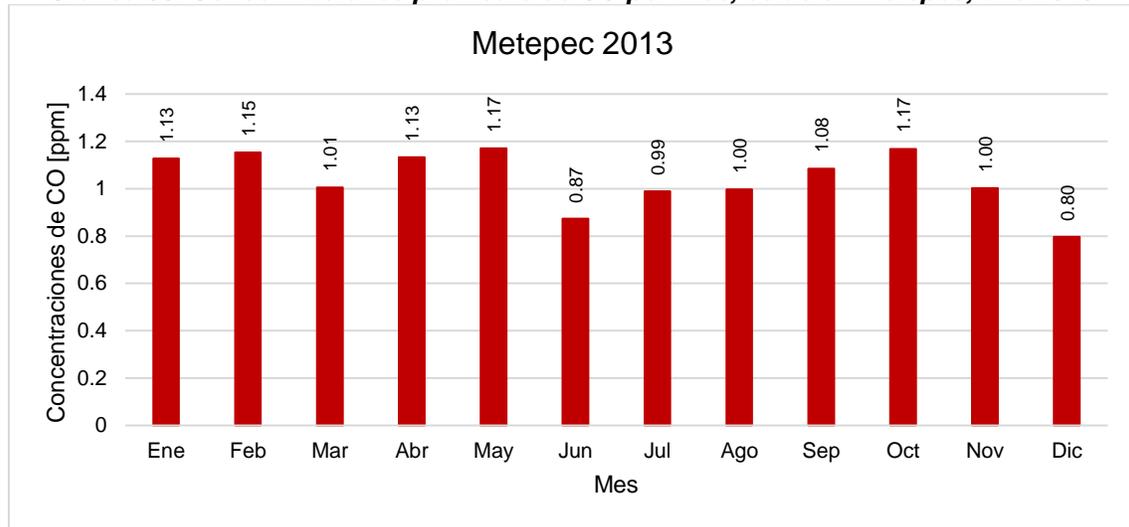
En la gráfica se observa que mes de abril presentan un registro mayor de 1.68 ppm, siguiéndole febrero con 1.61 ppm. Entre mayo y junio, los registros disminuyen.

Septiembre y noviembre se presentan registros de 1.25 ppm, mientras que octubre revista 1.28 ppm de CO. Mayo superan 1.5 ppm; sin embargo, no hay información de las concentraciones de CO en julio y agosto.

4.2.3.5 Estación Metepec

La gráfica 88 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Metepec, durante el año 2013.

Gráfica 88. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

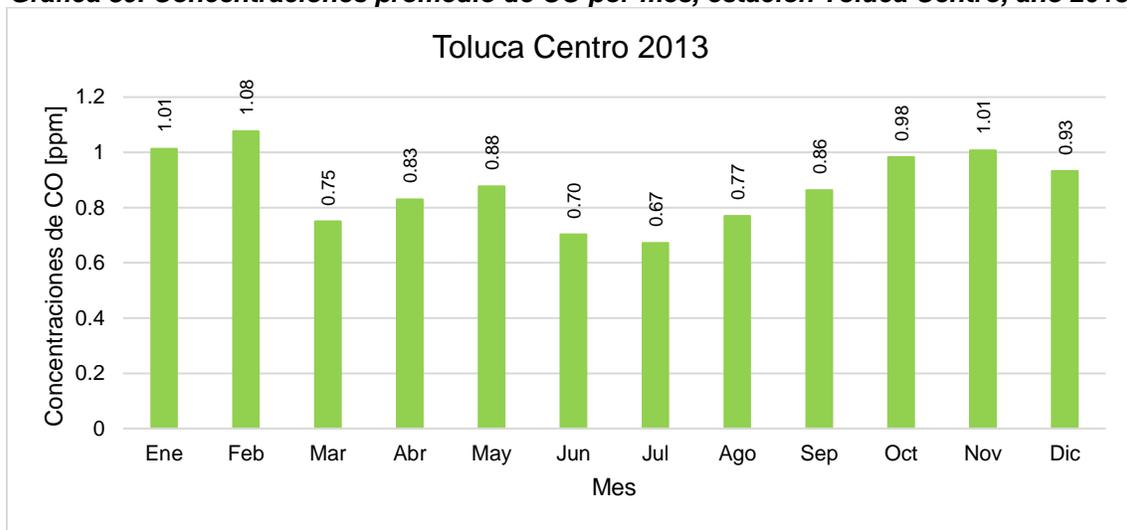
En la gráfica se puede observar que el mes de mayo y octubre presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.17 ppm respectivamente. Así mismo, se registran concentraciones superiores a 1 ppm en los meses de enero, febrero, marzo y abril

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de junio que registra 0.87 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan.

4.2.3.6 Estación Toluca Centro

La gráfica 89 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2013.

Gráfica 89. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

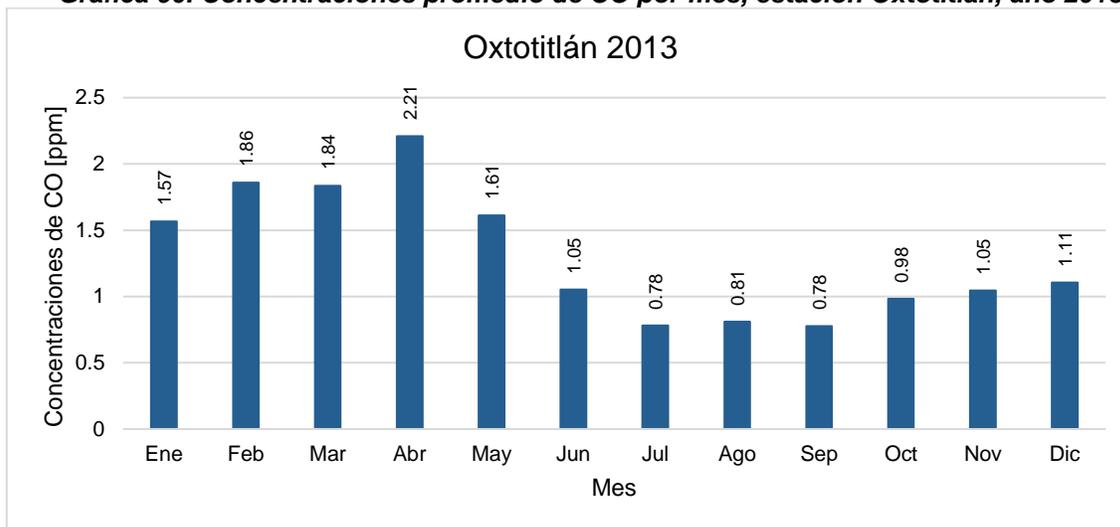
Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de noviembre y enero con 1.01 ppm y febrero con 1.08 ppm. Con excepción de los meses antes mencionados, en el año no se superan 1.0 ppm.

Los meses con menores registros promedios de CO son julio con 0.67 ppm. A partir de agosto las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 0.98 ppm en octubre.

4.2.3.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica 90 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2013.

Gráfica 90. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre los meses de febrero y abril con 1.86 ppm y 2.21 ppm respectivamente. Los meses que no superan 1.0 ppm son los que van del mes de julio al mes de octubre.

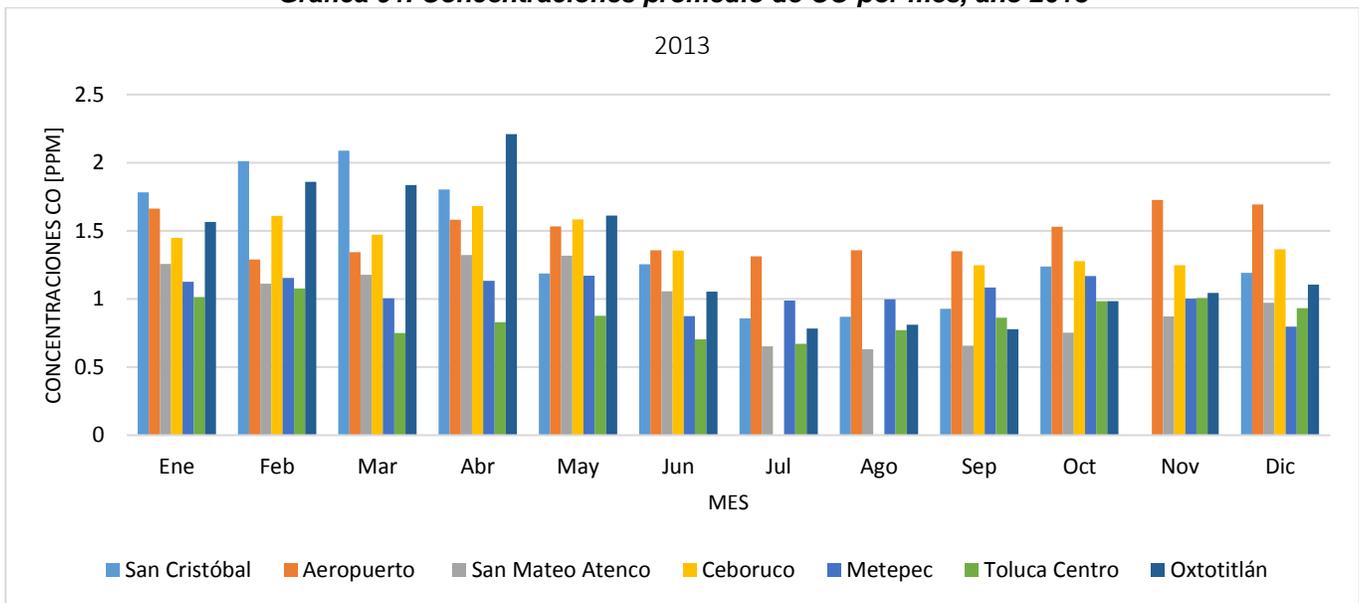
Los meses con menores registros promedios de CO son julio y octubre con 0.78 ppm.

4.2.3.8 Concentraciones de CO promedio por mes, año 2013

En la gráfica 91 se observan las concentraciones promedio de CO por mes durante el año 2013, siendo la estación Aeropuerto la que registra mayores concentraciones desde 1.28 ppm en febrero hasta 1.72 ppm en noviembre.

Los registros más alto de las estaciones se presentan en marzo con 2.08 ppm en la estación San Cristóbal y 1.83 ppm en Oxtotitlán; abril en la estación San Mateo Atenco 1.32 ppm, Ceboruco 1.68 ppm; mayo con 1.17 ppm en Metepec; y 1.07 ppm en la estación Toluca Centro en el mes de febrero.

Gráfica 91. Concentraciones promedio de CO por mes, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Además, la estación San Cristóbal en los meses de febrero y marzo superan las 2 ppm, considerándose elevando en comparación con las otras estaciones.

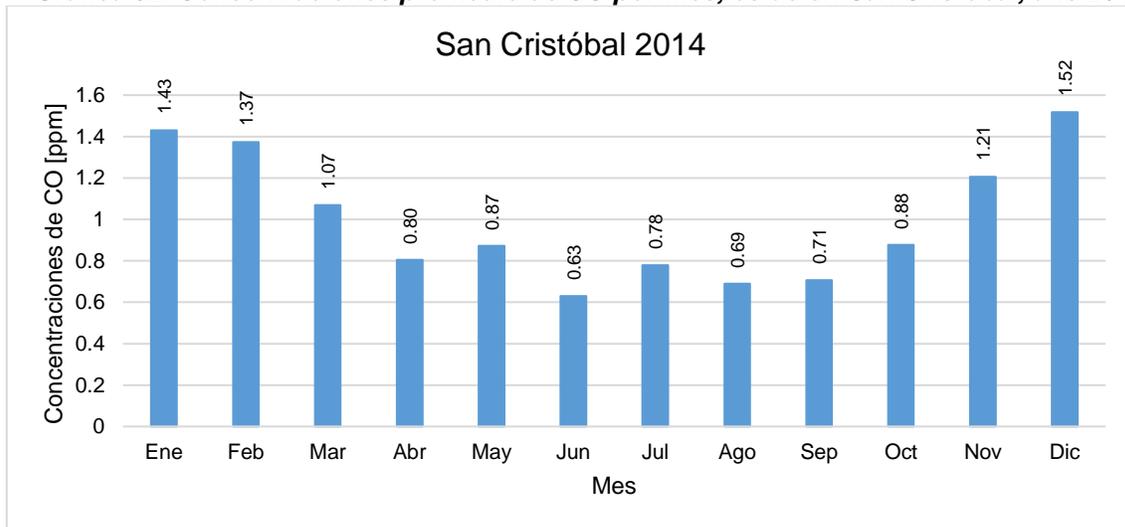
Tomando en cuenta lo anterior, y de acuerdo con la NOM-021-SSA1-1993 que establece los valores permisibles para las concentraciones de CO en el aire con 11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire y con la RAMA, en este año no se supera.

4.2.4 Análisis del año 2014

4.2.4.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica **92** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2014.

Gráfica 92. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

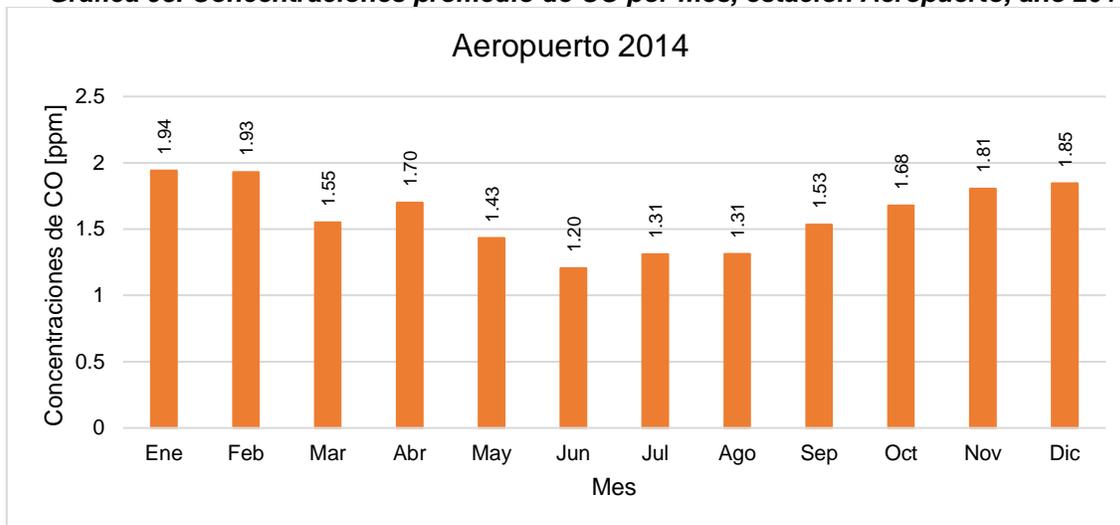
En la gráfica se puede observar que el mes de enero, febrero y diciembre presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.43 ppm, 1.37 ppm y 1.59 ppm respectivamente.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de junio que registra 0.63 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan en julio con 0.78 ppm, y nuevamente disminuyen para aumentar en septiembre a 0.71 ppm.

4.2.4.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica 93 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2014.

Gráfica 93. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

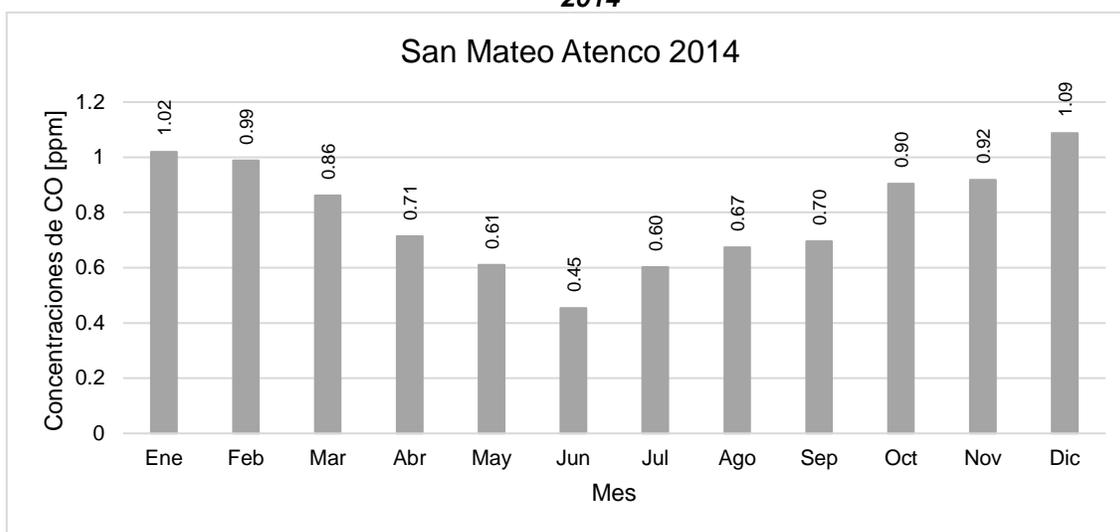
Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de enero y febrero con 1.94 ppm y 1.93 ppm respectivamente. Todos los meses del año 2014 superan 1.0 ppm.

Los meses con menores registros promedios de CO son junio con 1.20 ppm, julio y agosto con 1.31 ppm. A partir de septiembre las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 1.85 ppm en diciembre.

4.2.4.3 Estación San Mateo Atenco

En la gráfica 94 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2014.

Gráfica 94. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

En el mes de diciembre las concentraciones de CO registran mayores datos con 1.09 ppm, posteriormente se registran menores concentraciones de CO.

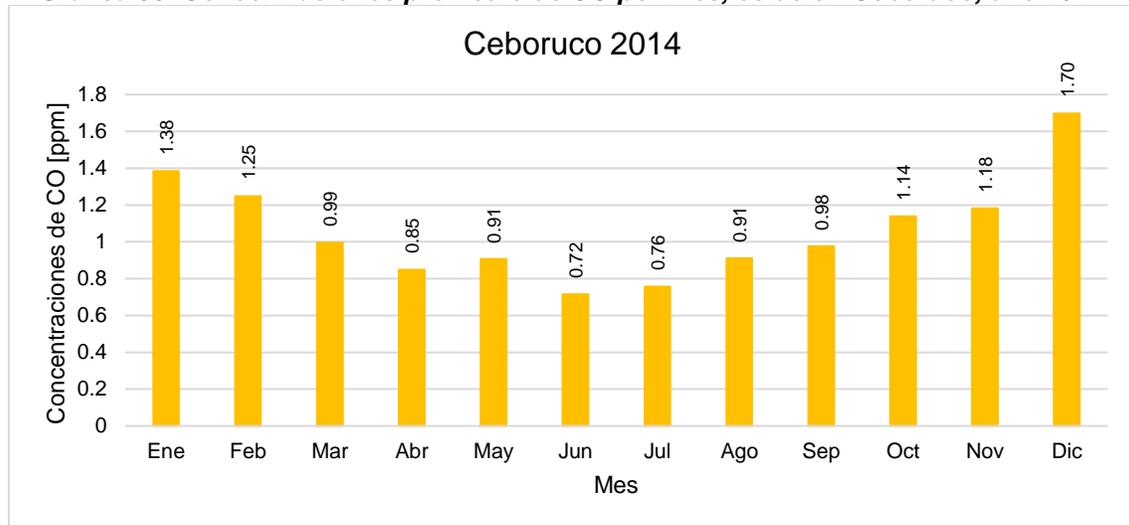
Los menores registros de CO suceden en junio con 0.45 ppm. Después, las concentraciones aumentan hasta alcanzar 0.92 ppm en noviembre.

En este año se observa que las concentraciones de CO disminuyen paulatinamente de enero a junio, donde alcanza el mínimo del año, para nuevamente ascender y llegar a diciembre como el mes con mayor registro de emisiones.

4.2.4.4 Estación Ceboruco

La gráfica **95** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2014.

Gráfica 95. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

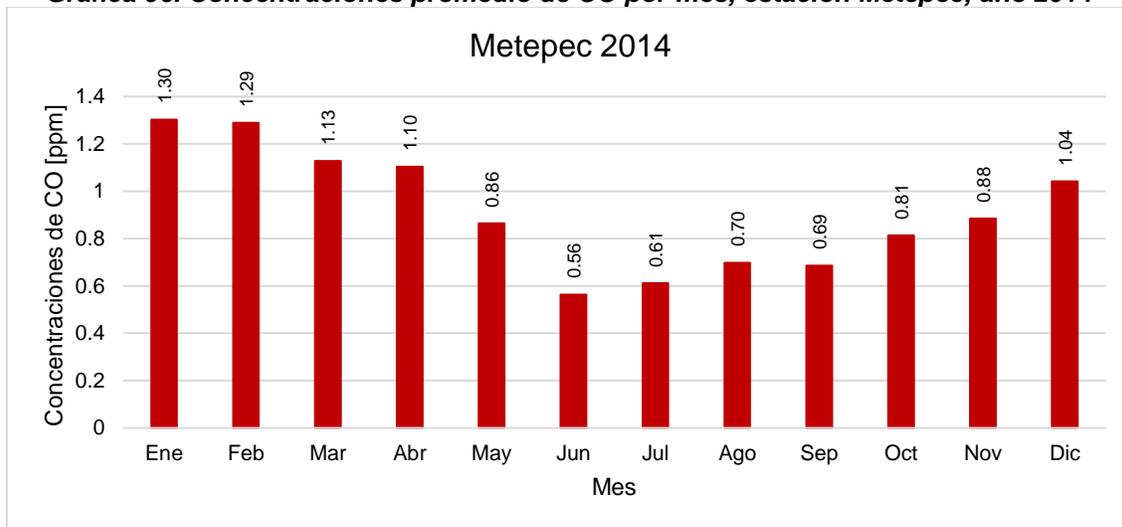
En la gráfica se observa que los meses de diciembre y enero presentan un registro mayor de 1.70 ppm y 1.38 ppm. Después del mes de enero los registros disminuyen hasta abril cuando vuelven a aumentar hasta 0.91 ppm en mayo.

Además, y después del antes mencionado, las concentraciones de CO disminuyen en junio con 0.72 ppm. Después las emisiones de CO aumentan a partir de agosto, alcanzando un registro mayor en noviembre de 1.14 ppm.

4.2.4.5 Estación Metepec

La gráfica **96** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Metepec, durante el año 2014.

Gráfica 96. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

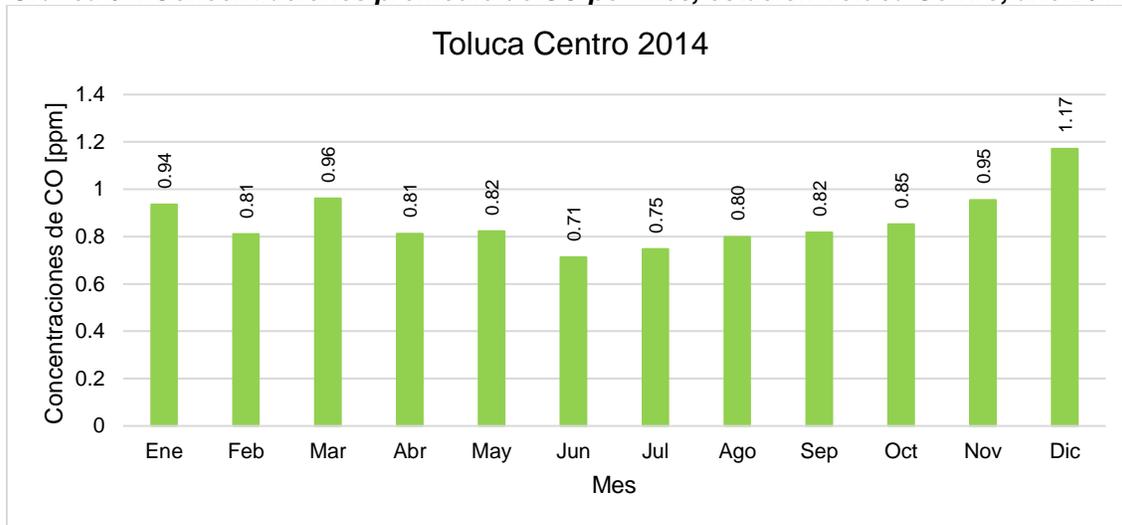
En la gráfica se puede observar que el mes de enero y febrero presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.30 ppm y 1.29 ppm respectivamente. Así mismo, se registran concentraciones superiores a 1 ppm en los meses de marzo, abril y diciembre.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de junio que registra 0.56 ppm y julio con 0.61 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan.

4.2.4.6 Estación Toluca Centro

La gráfica 97 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2014.

Gráfica 97. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

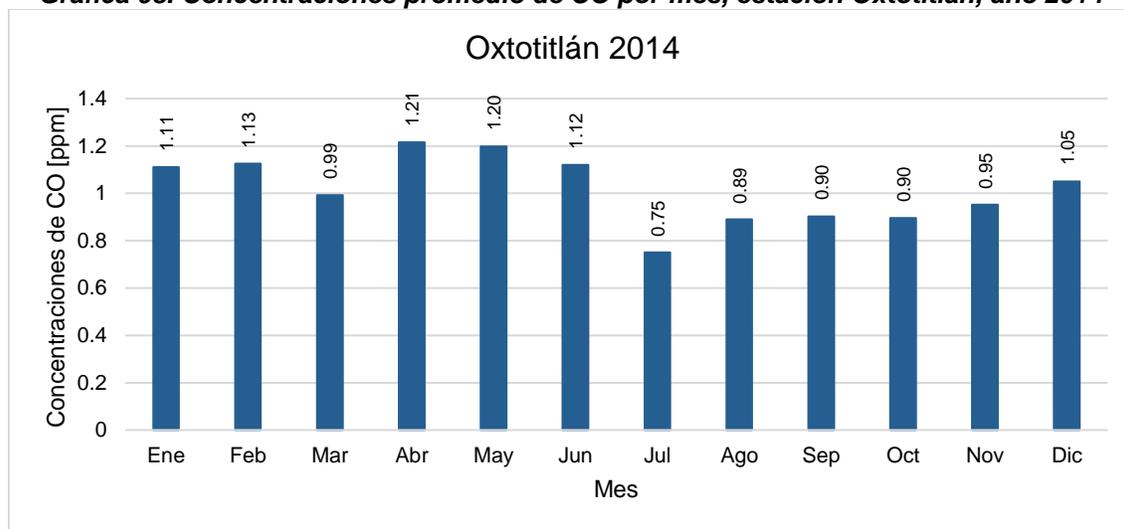
Esta estación registra una mayor concentración de CO es el mes de diciembre con 1.17 ppm. Con excepción del mes antes mencionado, en el año no se superan 1.0 ppm.

Los meses con menores registros promedios de CO son junio con 0.71 ppm y agosto con 0.75 ppm. A partir de agosto las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 0.95 ppm en noviembre.

4.2.4.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica 98 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2014.

Gráfica 98. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre los meses de abril y mayo con 1.21 ppm y 1.20 ppm respectivamente. Los meses que superan 1.0 ppm son enero, febrero, junio y diciembre, además de los otros que ya se mencionaron anteriormente.

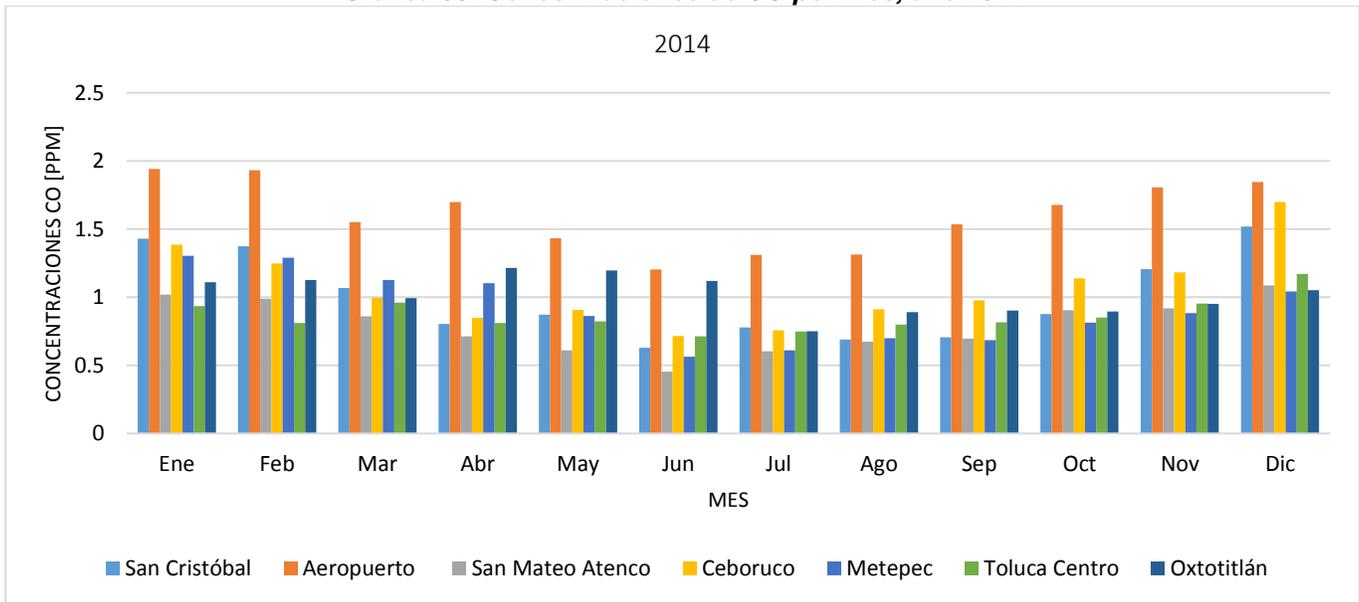
Los meses con menores registros promedios de CO son julio con 0.75 ppm.

4.2.4.8 Concentraciones de CO promedio por mes, año 2014

En la gráfica 99 se observan las concentraciones promedio de CO por mes durante el año 2014, siendo la estación Aeropuerto la que registra mayores concentraciones desde 1.2 ppm en el mes de junio y 1.93 ppm en el mes de febrero.

Los mayores registros de las demás estaciones se dan en diciembre de la siguiente manera, 1.51 ppm en la estación San Cristóbal, 1.08 ppm san Mateo Atenco, 1.69 ppm Ceboruco y 1.17 ppm Toluca Centro; por otro lado, el mes enero registra valores mayores en la estación Metepec con 1.3 ppm; y el mes de abril 1.21 ppm en la estación Oxtotitlán.

Gráfica 99. Concentraciones de CO por mes, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Además, el mes de junio con excepción de la estación Oxtotitlán es el mes con las concentraciones de CO más bajas del año entre 0.4 ppm y 1.2 ppm; para la estación Oxtotitlán en mes con menores concentraciones es julio con 0.75 ppm.

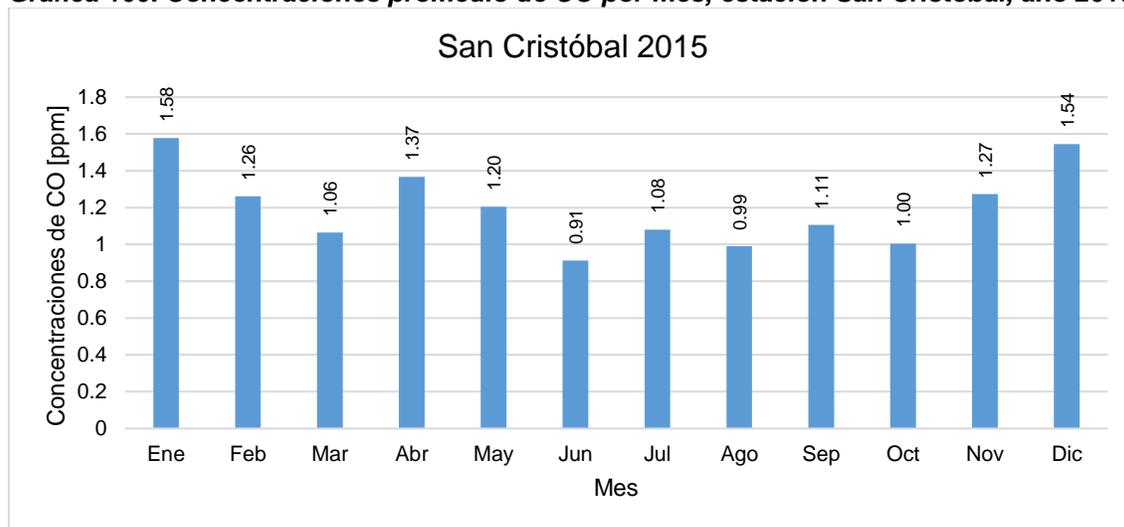
En este caso, las concentraciones mayores de CO se presentan en los meses de diciembre a febrero. Considerando la NOM-021-SSA1-1993 que establece los valores permisibles para las concentraciones de CO en el aire con 11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire, en el año 2014 no se supera.

4.2.5 Análisis del año 2015

4.2.5.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica **100** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2015.

Gráfica 100. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

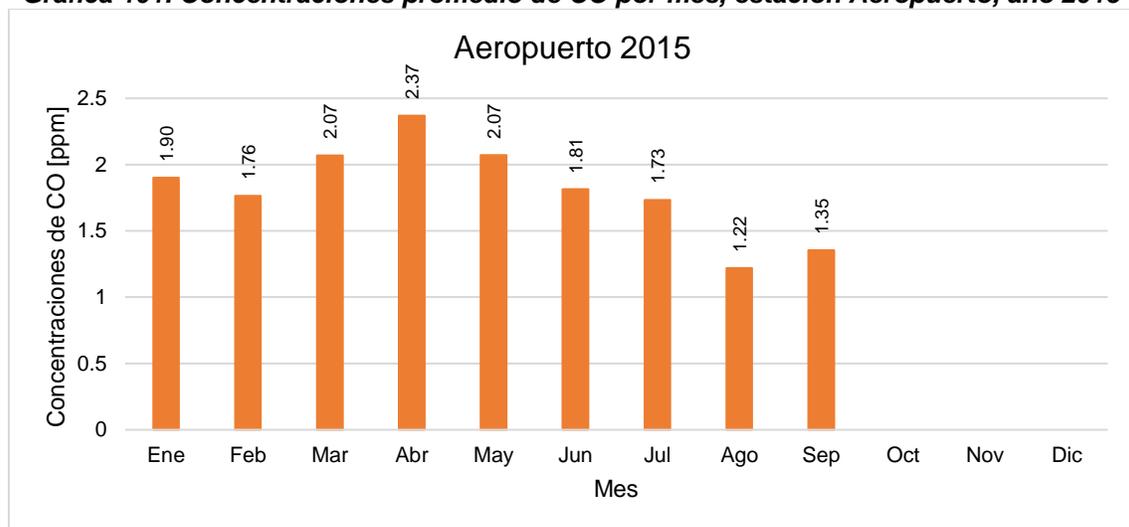
En la gráfica se puede observar que el mes de enero y diciembre presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1. 1.58 ppm y 1.54 ppm respectivamente.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de junio que registra 0.91 ppm como el menor dato del año.

4.2.5.2 Estación Aeropuerto

En la gráfica **101** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Aeropuerto, durante el año 2015.

Gráfica 101. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Aeropuerto, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de marzo a mayo 2.07 ppm, 2.37 ppm y 2.07 ppm respectivamente.

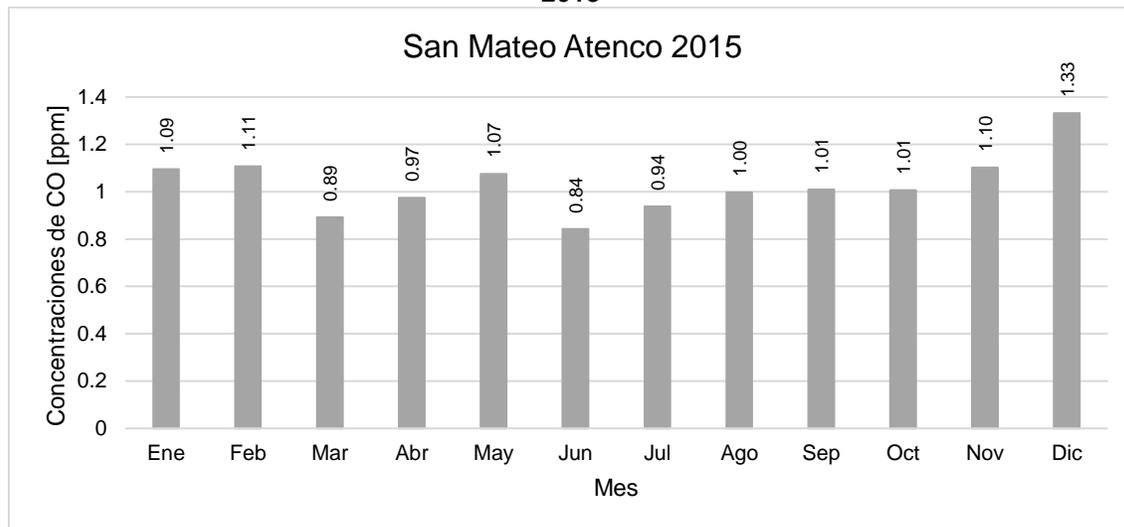
Todos los meses del año 2015 superan 1.0 ppm. Los meses con menores registros promedios de CO son agosto con 1.22 ppm y septiembre con 1.35 ppm.

A partir de septiembre las concentraciones de CO ya no se registran debido a que la estación Aeropuerto deja de funcionar.

4.2.5.3 Estación San Mateo Atenco

En la gráfica **102** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2015.

Gráfica 102. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

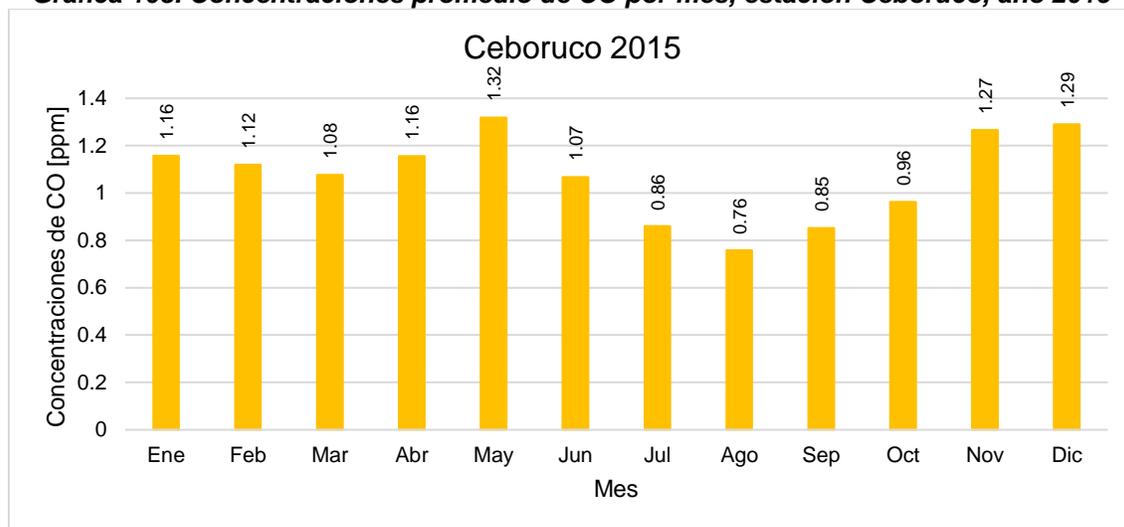
En el mes de diciembre las concentraciones de CO registran mayores datos con 1.33 ppm. Los meses de marzo, junio y julio registran concentraciones menores a 1 ppm.

Los menores registros de CO suceden en marzo con 0.89 ppm y junio con 0.84 ppm. Posteriormente, las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.10 ppm en noviembre.

4.2.5.4 Estación Ceberuco

La gráfica **103** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Ceberuco, durante el año 2015.

Gráfica 103. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceberuco, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

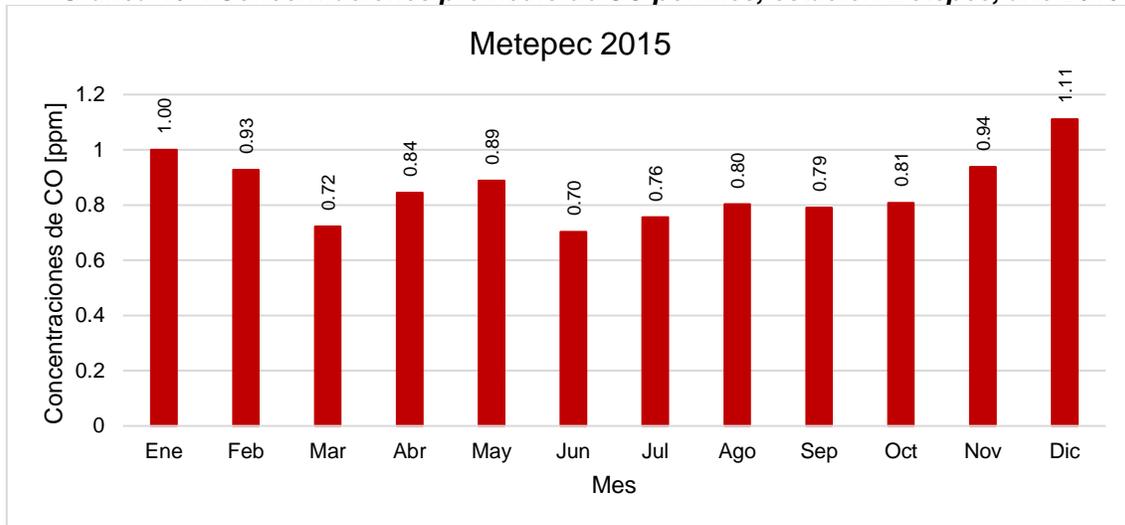
En la gráfica se observa que los meses de noviembre y diciembre presentan un registro mayor de 1.27 ppm y 1.29 ppm respectivamente. Posteriormente los registros disminuyen hasta abril cuando vuelven a aumentar hasta 1.32 ppm en mayo.

Además, y después del antes mencionado, las concentraciones de CO disminuyen en agosto con 0.76 ppm. Después las emisiones de CO aumentan a partir de septiembre, alcanzando un registro mayor en octubre de 0.96 ppm.

4.2.5.5 Estación Metepec

La gráfica **104** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Metepec, durante el año 2015.

Gráfica 104. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

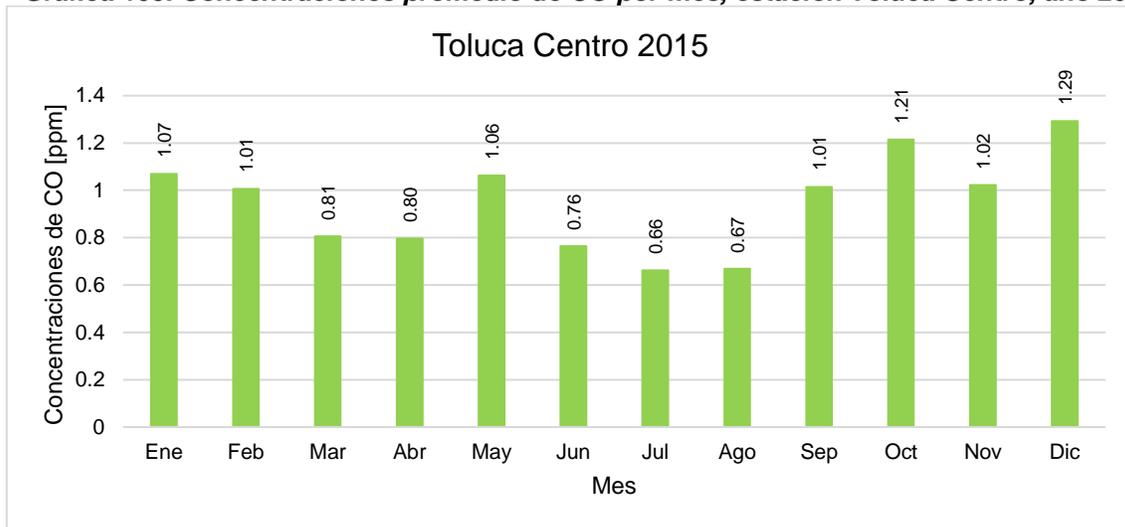
En la gráfica se puede observar que el mes de diciembre y enero presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.11 ppm y 1.0 ppm respectivamente. En este año, solo los meses antes mencionados superan 1 ppm de concentraciones promedio de CO.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de junio que registra 0.70 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan.

4.2.5.6 Estación Toluca Centro

La gráfica **105** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2015.

Gráfica 105. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

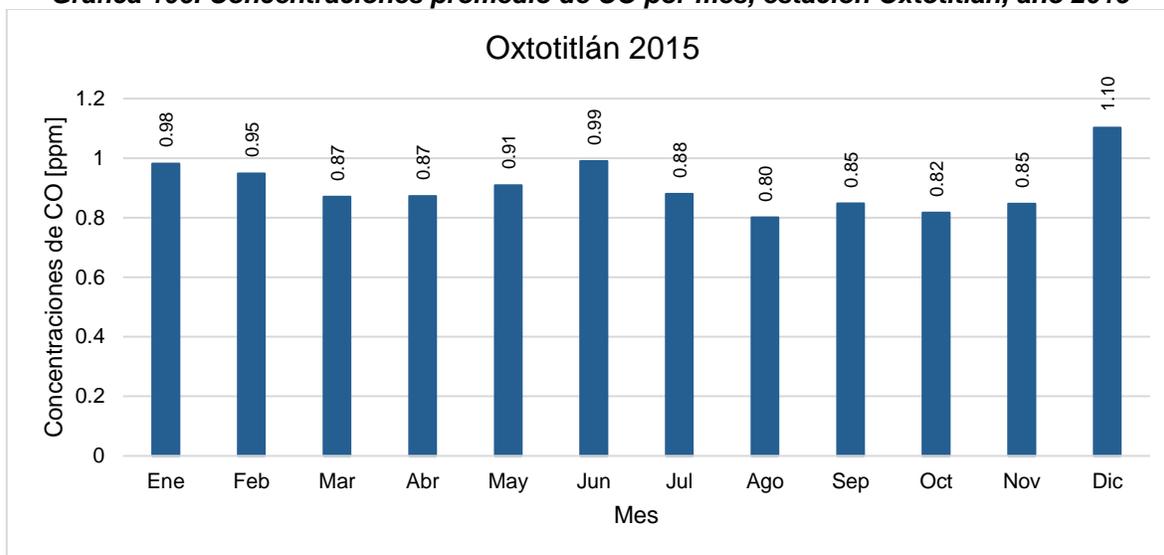
Esta estación registra una mayor concentración de CO en los meses de octubre y diciembre con 1.21 ppm y 1.29 ppm respectivamente. Así mismo, los meses que superan las emisiones de CO a 1 ppm son enero, febrero, mayo, septiembre y noviembre.

Los meses con menores registros promedios de CO son julio con 0.66 ppm y agosto con 0.67 ppm. A partir de septiembre las concentraciones de CO aumentan hasta 1.01ppm.

4.2.5.7 Estación Oxtotitlán

La gráfica **106** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2015.

Gráfica 106. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre los meses de enero, mayo y diciembre con 0.98 ppm, 0.99 ppm y 1.10 ppm respectivamente. En esta ocasión solo diciembre supera 1.0 ppm.

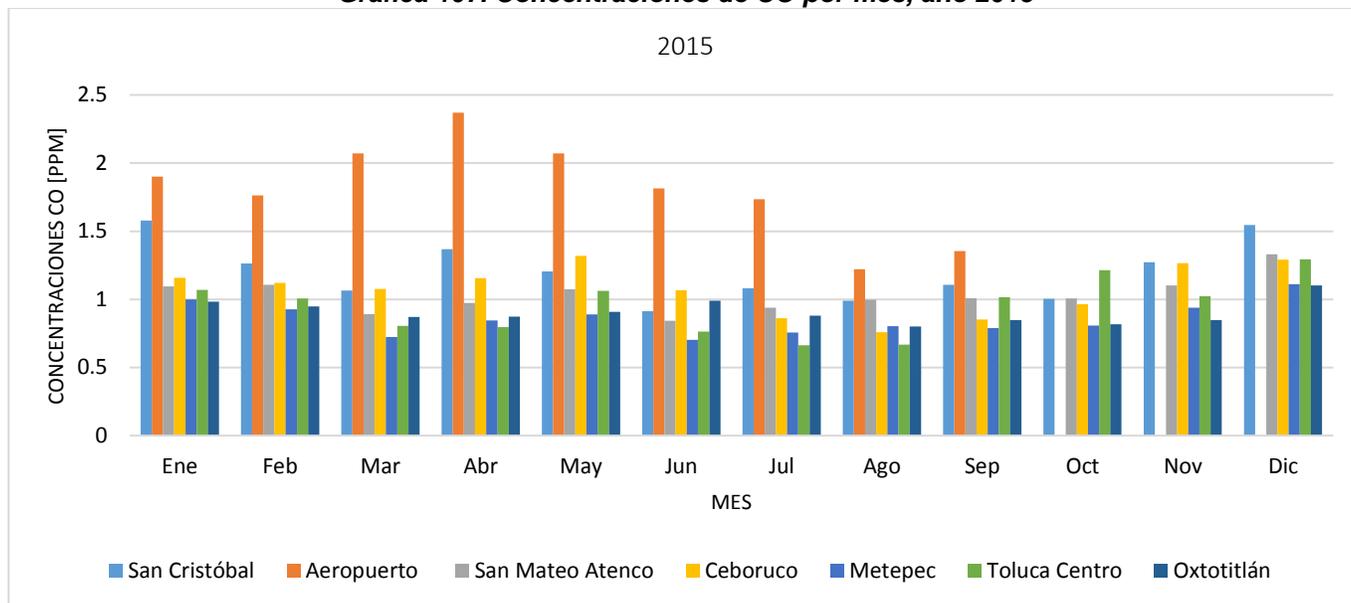
Los meses con menores registros promedios de CO son agosto con 0.80 ppm y octubre con 0.82 ppm.

4.2.5.8 Concentraciones de CO promedio por mes, año 2015

En la gráfica **107** se observan las concentraciones promedio de CO por mes durante el año 2015, siendo la estación Aeropuerto la que registra mayores concentraciones desde 1.22 ppm en el mes de agosto a 2.37 ppm en el mes de abril.

En este año, los mayores registros de concentraciones de CO suceden en el mes de diciembre en la estación San mateo Atenco 1.33 ppm, Metepec 1.11 ppm, Toluca Centro 1.29 ppm y Oxtotitlán 1.10 ppm; en el mes de enero 1.57 ppm la estación San Cristóbal; y en mayo 1.31 ppm la estación Ceboruco.

Gráfica 107. Concentraciones de CO por mes, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Los registros menores suceden durante los meses de mayo a agosto yendo desde 0.66 ppm a 1.22 ppm.

La estación Aeropuerto supera las 1.5 ppm en los meses de enero a julio, además de observar que dichas concentraciones superan casi el doble a los registros de CO.

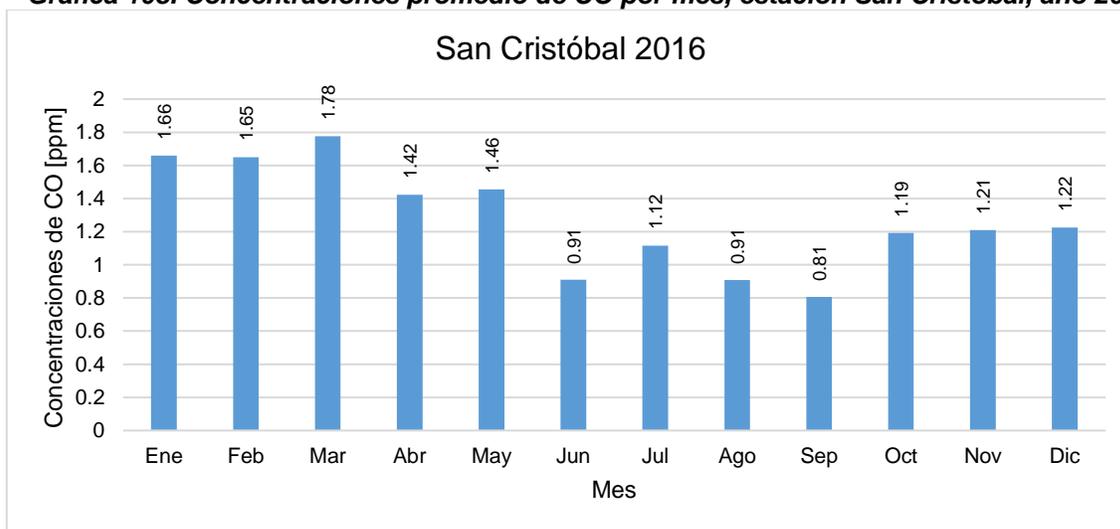
Tomando en cuenta lo anterior, y de acuerdo con la NOM-021-SSA1-1993 no se superan las 11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire. De la misma manera, se puede afirmar que la calidad del aire para el año 2011 en promedios por mes se presenta como “buena” considerando que no se superan las 5.5ppm según lo establecido por la RAMA.

4.2.6 Análisis del año 2016

4.2.6.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica **108** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2016.

Gráfica 108. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

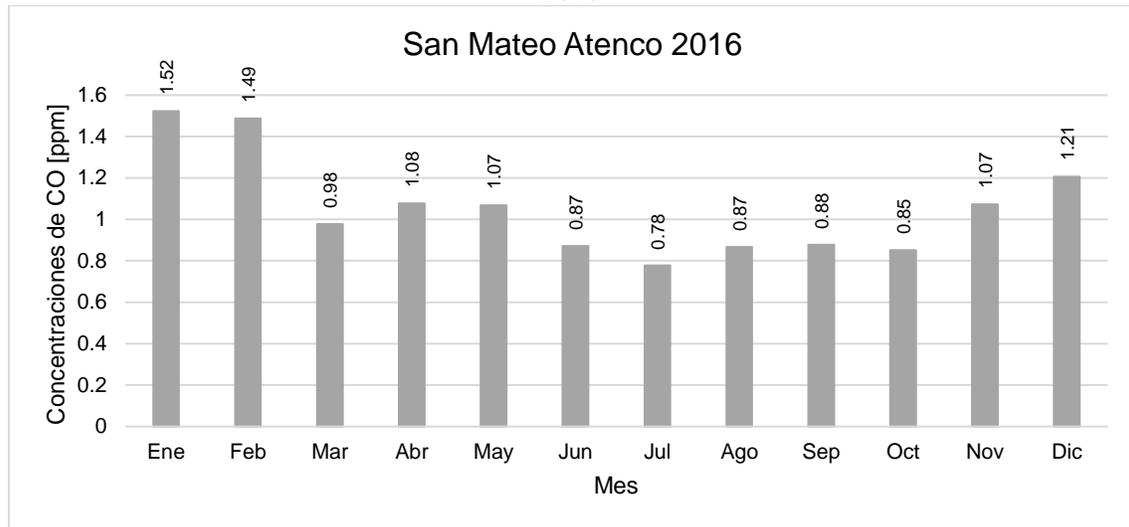
En la gráfica se puede observar que el mes de enero, febrero y marzo presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.66 ppm, 1.65 ppm y 1.78 ppm respectivamente.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de junio que registra 0.91 ppm. De la misma forma, el mes de agosto registra 0.91 ppm y septiembre 0.81 ppm como los menores datos del año.

4.2.6.2 Estación San Mateo Atenco

En la gráfica **109** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2016.

Gráfica 109. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

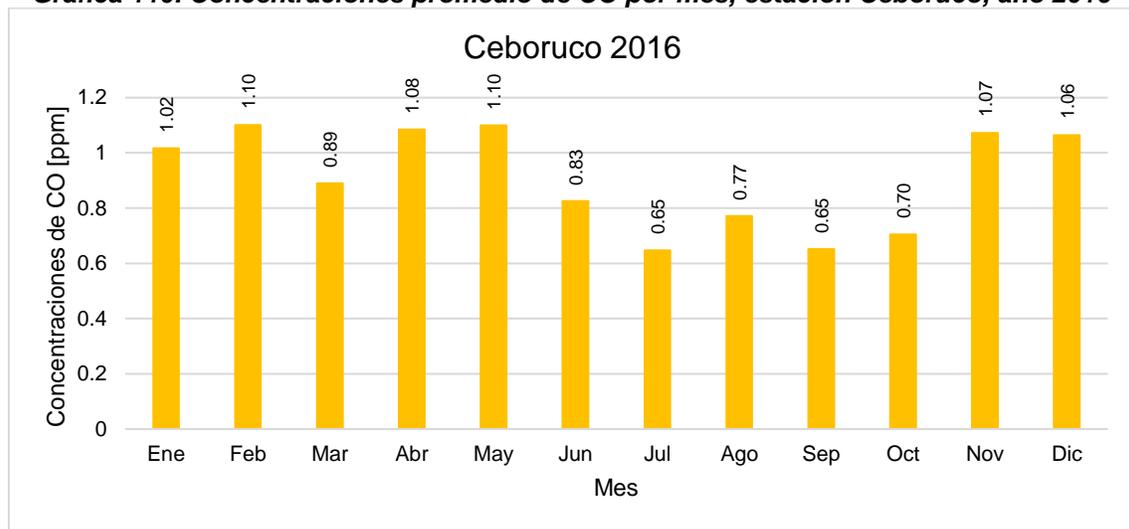
En el mes de enero y febrero las concentraciones de CO registran mayores datos con 1.52 ppm y 1.49 ppm respectivamente, posteriormente se registran menores concentraciones de CO.

Los menores registros de CO suceden en julio con 0.78 ppm. Después, las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.21 ppm en diciembre.

4.2.6.3 Estación Ceboruco

La gráfica 110 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2016.

Gráfica 110. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

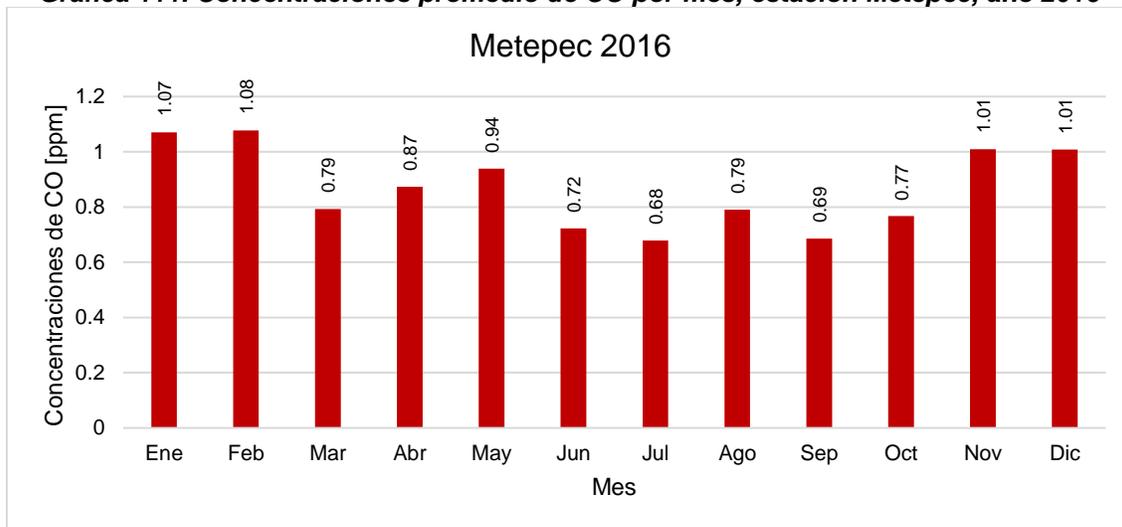
En la gráfica se observa que los meses de febrero y mayo presentan un registro mayor de 1.10 ppm. Le siguen los meses de abril y noviembre con 1.08 ppm y 1.07 ppm respectivamente.

Los meses con menores registros de concentraciones promedio de CO son julio y agosto con 0.65 ppm y octubre con 0.70 ppm.

4.2.6.4 Estación Metepec

La gráfica 111 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Metepec, durante el año 2016.

Gráfica 111. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

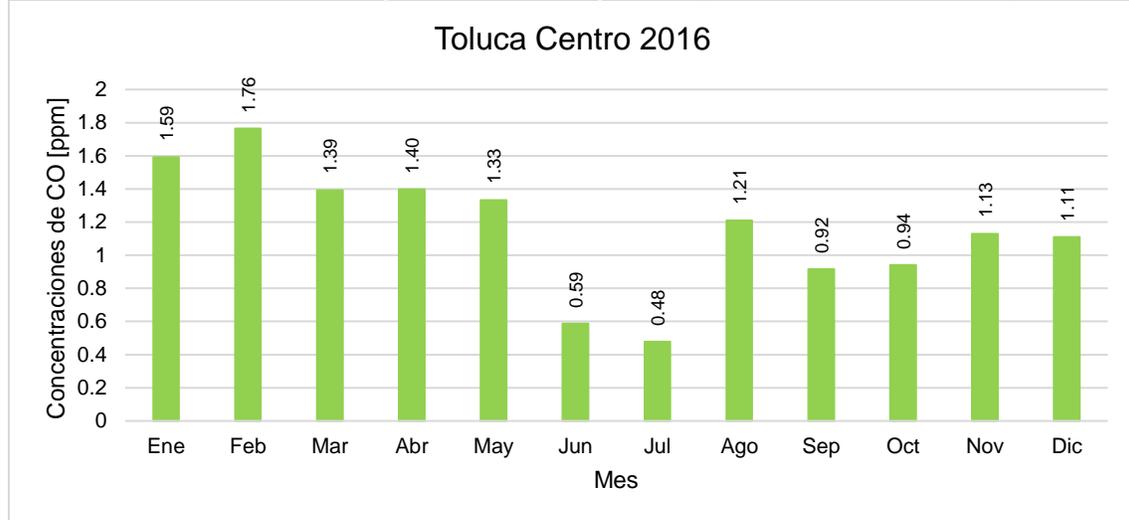
En la gráfica se puede observar que el mes de enero y febrero presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.07 ppm y 1.08 ppm respectivamente. Así mismo, se registran concentraciones superiores a 1 ppm en los meses de noviembre y diciembre.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de julio que registra 0.68 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan.

4.2.6.5 Estación Toluca Centro

La gráfica 112 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2016.

Gráfica 112. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

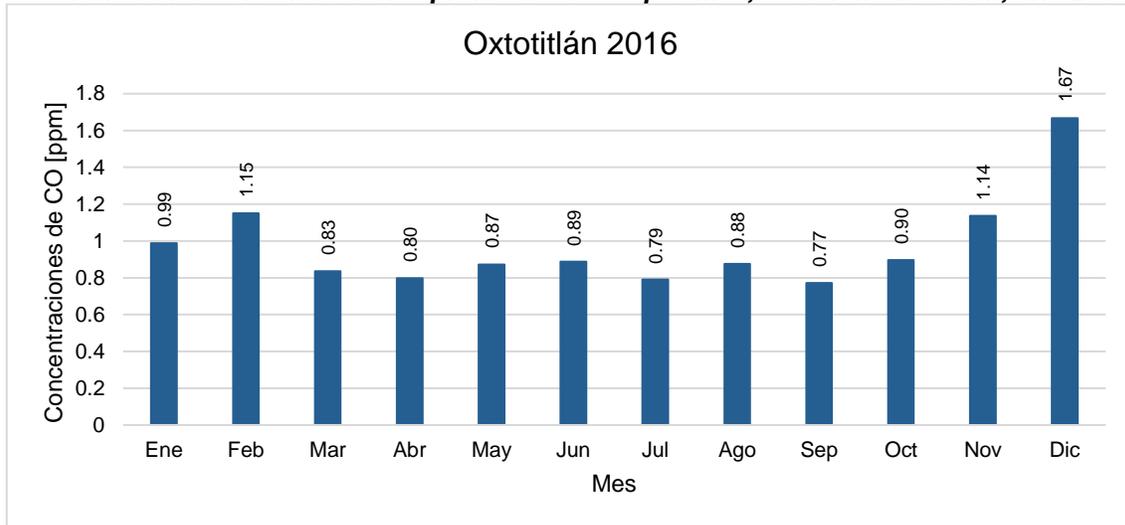
Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de enero y febrero con 1.59 ppm y 1.76 ppm respectivamente. Así mismo, en el año se superan 1.0 ppm durante marzo, abril mayo, agosto, noviembre y diciembre.

Los meses con menores registros promedios de CO son junio con 0.59 ppm y julio con 0.48 ppm. A partir de septiembre las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 1.13 ppm en noviembre.

4.2.6.6 Estación Oxtotitlán

La gráfica 113 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2016.

Gráfica 113. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO sucede en el mes de diciembre con 1.67 ppm. Los meses que superan 1.0 ppm son febrero y noviembre, además del otro mes que ya se mencionó anteriormente.

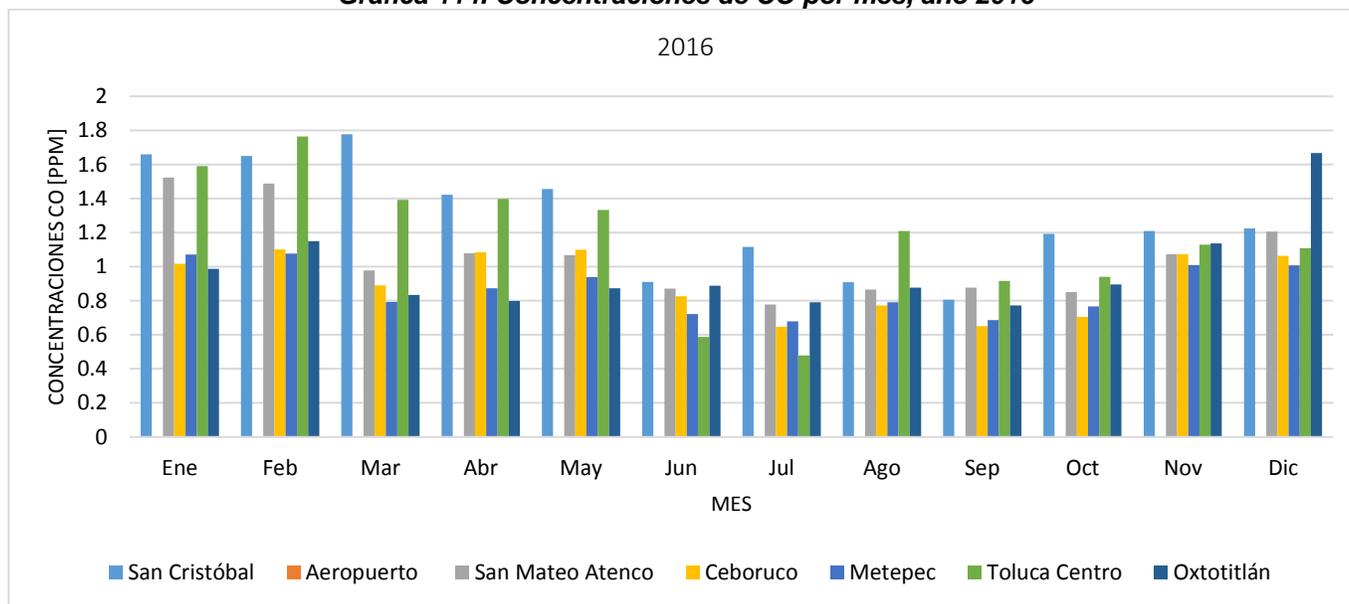
Los meses con menores registros promedios de CO son abril con 0.80 ppm y julio con 0.79 ppm.

4.2.6.7 Concentraciones de CO promedio por mes, año 2016

En la gráfica 114 se observan las concentraciones promedio de CO por mes durante el año 2016, siendo la estación San Cristóbal la que registra mayores concentraciones de CO desde 0.8 ppm en el mes de agosto a 1.77 ppm en el mes de marzo.

Durante este año el mes de marzo registro las mayores concentraciones de CO en la estación Ceboruco con 1.10 ppm y Toluca Centro 1.76 ppm; en el de enero en San Mateo Atenco con 1.52 ppm; noviembre con 1.009 ppm en Metepec; y 1.66 ppm durante diciembre en la estación Oxtotitlán.

Gráfica 114. Concentraciones de CO por mes, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Además, se puede observar que las estaciones San Cristóbal y Toluca Centro durante los meses de enero a mayo superan por 0.6 ppm a las demás estaciones. También la estación San Mateo Atenco presenta picos de concentraciones durante enero y febrero.

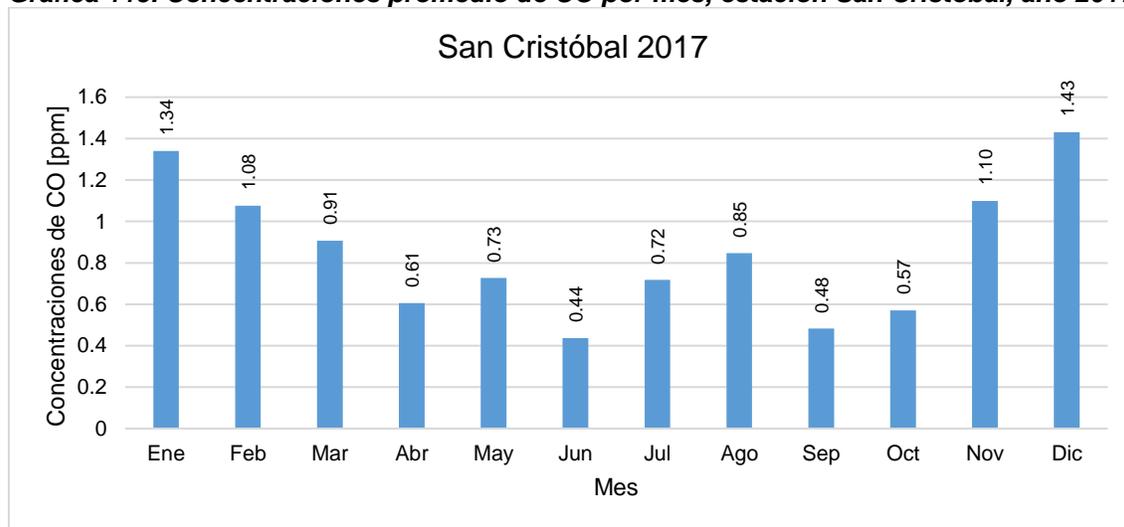
Considerando la NOM-021-SSA1-1993 que establece los valores permisibles para las concentraciones de CO en el aire con 11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire, en este año no se supera. De la misma manera, se puede afirmar que la calidad del aire para el año 2016 en promedios por mes se presenta como “buena” considerando que no se superan las 5.5ppm según lo establecido por la RAMA.

4.2.7 Análisis del año 2017

4.2.7.1 Estación San Cristóbal

En la gráfica **115** se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Cristóbal, durante el año 2017.

Gráfica 115. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Cristóbal, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

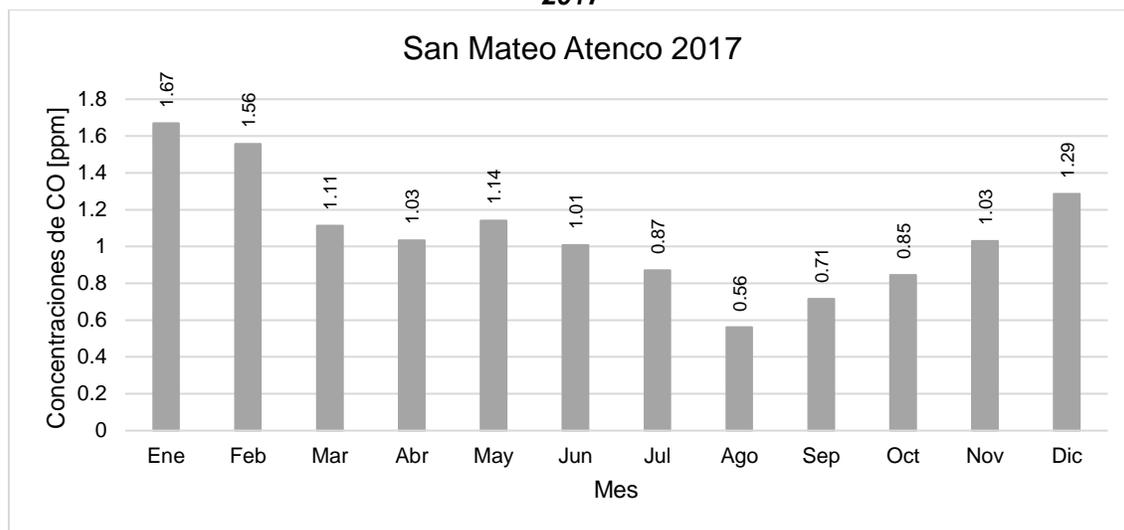
En la gráfica se puede observar que el mes de enero y diciembre presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.34 ppm y 1.43 ppm respectivamente.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de junio que registra 0.44 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan hasta el mes de agosto con 0.85 ppm, para nuevamente disminuir y alcanzar 1.10 ppm en noviembre.

4.2.7.2 Estación San Mateo Atenco

En la gráfica 116 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación San Mateo Atenco, durante el año 2012.

Gráfica 116. Concentraciones promedio de CO por mes, estación San Mateo Atenco, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

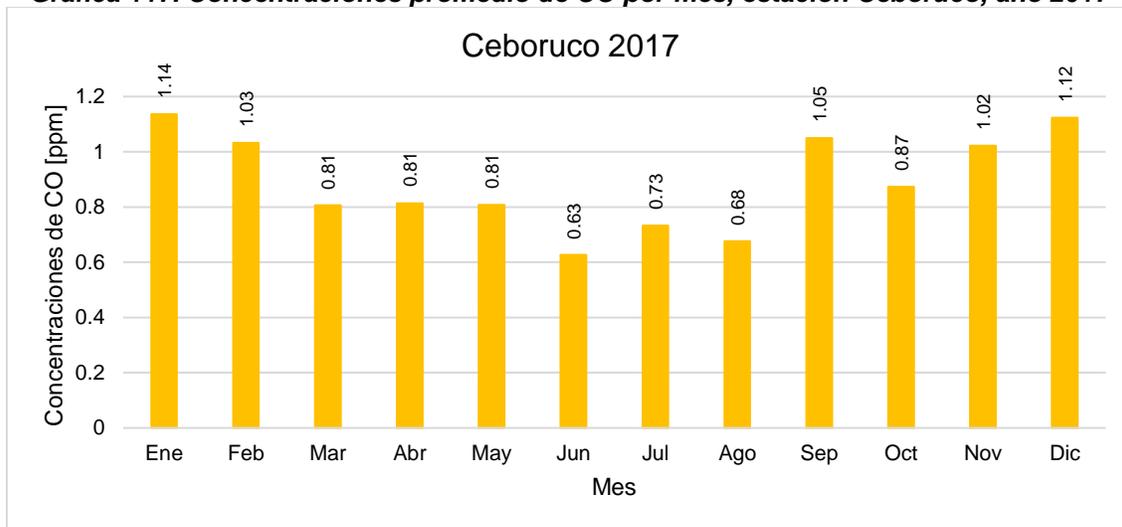
En el mes de enero y febrero las concentraciones de CO registran mayores datos con 1.67 ppm y 1.56 ppm respectivamente. Después las concentraciones de CO disminuyen a 1.03 ppm en abril, para nuevamente aumentar en mayo.

Los menores registros de CO suceden en agosto con 0.56 ppm. Posteriormente, las concentraciones aumentan hasta alcanzar 1.29 ppm en diciembre.

4.2.7.3 Estación Ceboruco

La gráfica 117 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Ceboruco, durante el año 2017.

Gráfica 117. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Ceboruco, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

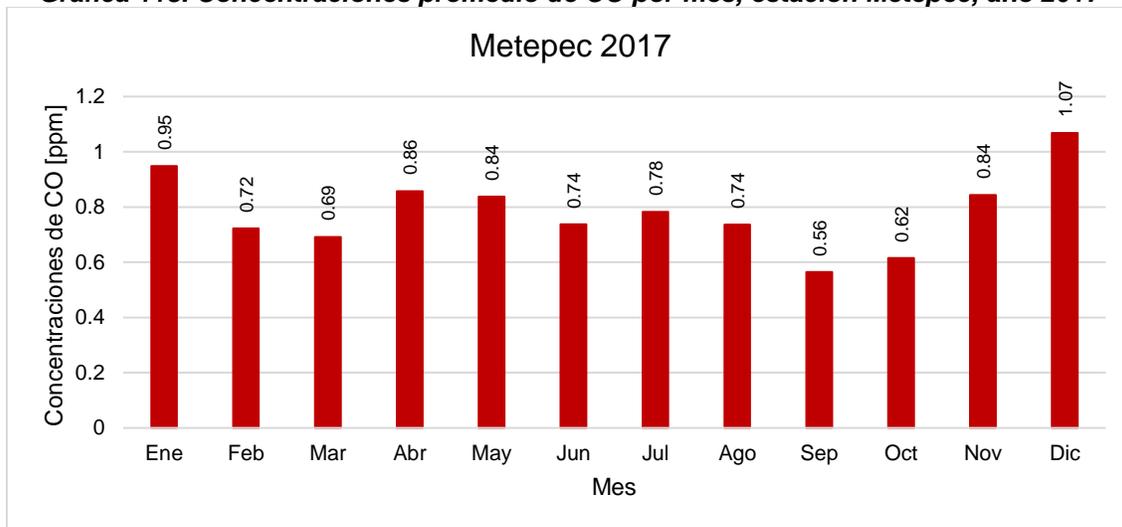
En la gráfica se observa que los meses de diciembre y enero presentan un registro mayor de 1.12 ppm y 1.14 ppm respectivamente. Posteriormente a enero los registros disminuyen hasta junio cuando vuelven a aumentar hasta 0.63 ppm en julio.

Además, y después del antes mencionado, las concentraciones de CO menores se presentan en junio con 0.63 ppm y agosto con 0.68 ppm. Después las emisiones de CO aumentan a partir de octubre, alcanzando un registro mayor en noviembre de 1.02 ppm.

4.2.7.4 Estación Metepec

La gráfica 118 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Metepec, durante el año 2017.

Gráfica 118. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Metepec, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

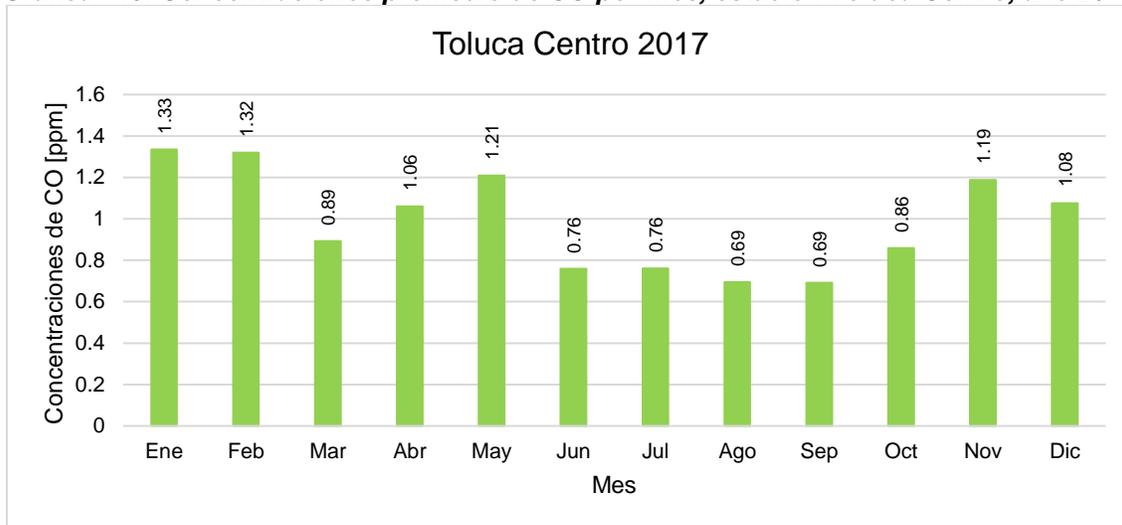
En la gráfica se puede observar que el mes de diciembre y enero presentan los mayores registros de concentraciones promedio de CO con 1.07 ppm y 0.95 ppm respectivamente. Así mismo, no se registran concentraciones superiores a 1 ppm con excepción del mes de diciembre.

También se observa que como transcurre el año, las concentraciones de CO disminuyen hasta el mes de septiembre que registra 0.56 ppm. Posteriormente las concentraciones aumentan.

4.2.7.5 Estación Toluca Centro

La gráfica 119 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Toluca Centro, durante el año 2017.

Gráfica 119. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Toluca Centro, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

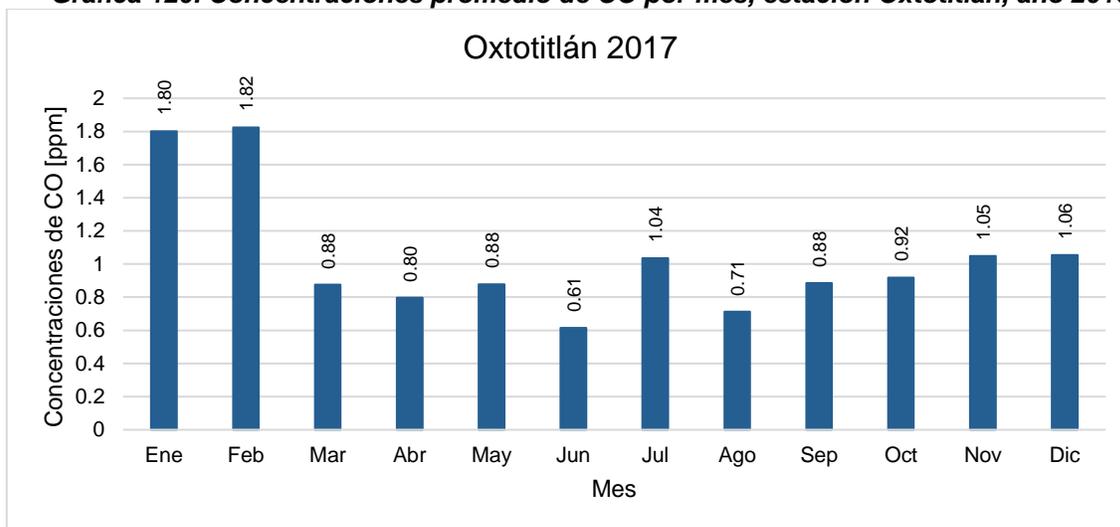
Esta estación registra una mayor concentración de CO entre los meses de enero con 1.33 ppm y febrero con 1.32 ppm respectivamente. Los que también superan 1.0 ppm son abril, mayo, noviembre y diciembre.

Los meses con menores registros promedios de CO son agosto y septiembre con 0.69 ppm. A partir de octubre las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar 1.19 ppm en noviembre.

4.2.7.6 Estación Oxtotitlán

La gráfica 120 se presentan las concentraciones promedio por mes de CO en la estación Oxtotitlán, durante el año 2017.

Gráfica 120. Concentraciones promedio de CO por mes, estación Oxtotitlán, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

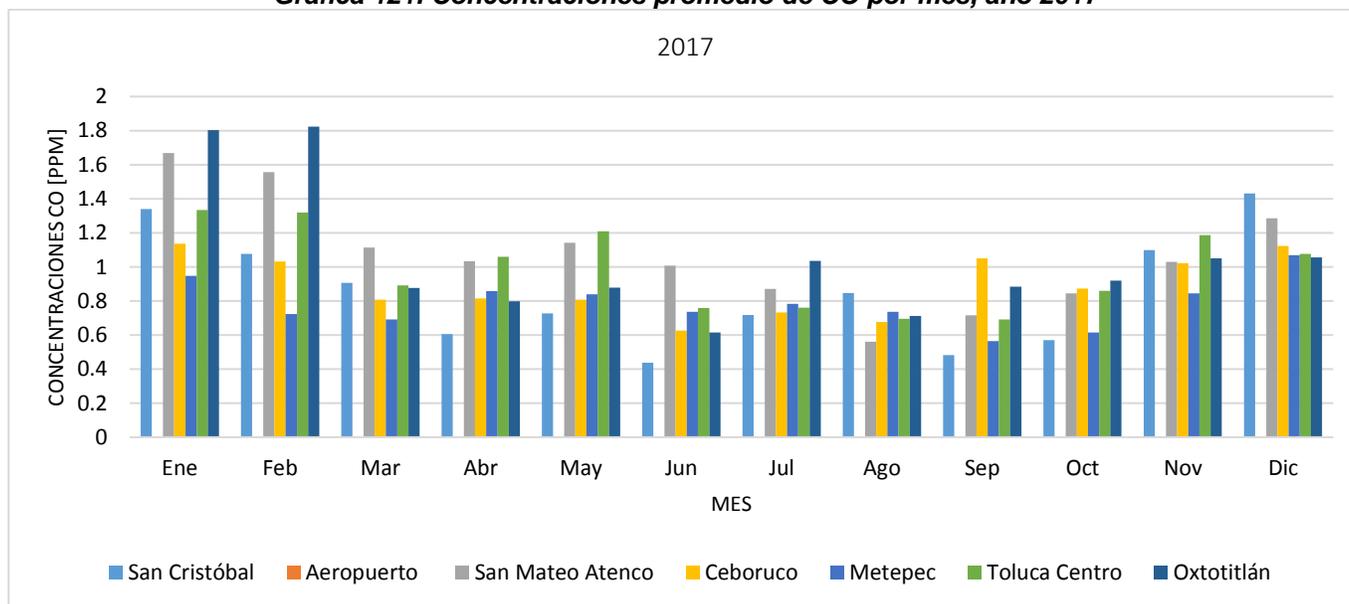
La estación Oxtotitlán registra una mayor concentración de CO entre los meses de enero y febrero con 1.80 ppm y 1.82 ppm respectivamente. Los meses que superan 1.0 ppm son julio, noviembre y diciembre, además de los otros que ya se mencionaron anteriormente.

Los meses con menores registros promedios de CO son junio con 0.61 ppm y agosto con 0.71 ppm.

4.2.7.7 Concentraciones de CO promedio por mes, año 2017

La gráfica 121 presenta las concentraciones promedio de CO por mes durante el año 2017. Durante los meses de enero y febrero puede observarse un pico en las concentraciones promedio sin superar las 1.8 ppm en las estaciones Oxtotitlán y San mateo Atenco; posteriormente las concentraciones descienden, siendo los meses de junio, julio y agosto como los meses con las menores concentraciones de CO.

Gráfica 121. Concentraciones promedio de CO por mes, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

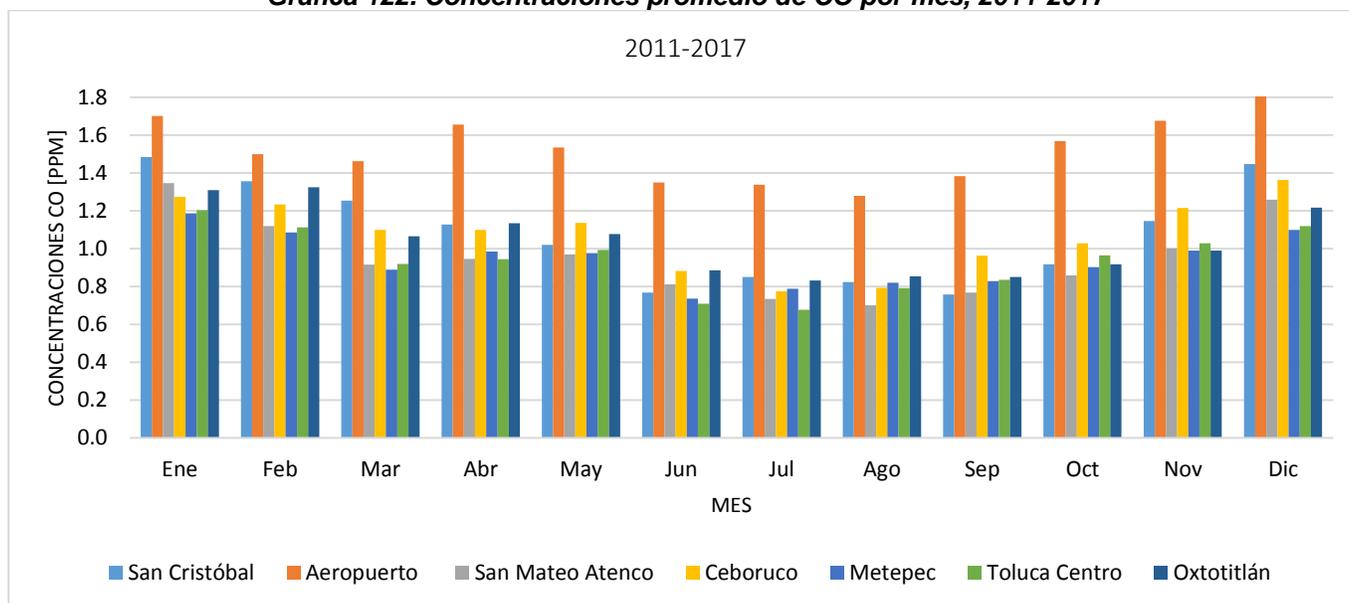
Durante el mes de noviembre y diciembre las concentraciones de CO aumentan hasta 1.4 ppm en la estación San Cristóbal. Sin embargo y respecto a la NOM-021-SSA1-1993 y la RAMA las concentraciones promedio de CO no superan el límite establecido, considerándose el año 2017 con calidad del aire buena.

4.2.8 Análisis del periodo 2011-2017

4.2.8.1 Concentraciones promedio de CO

La gráfica **122** presenta las concentraciones promedio por mes de CO durante el periodo de estudio. En ella se puede observar que durante los meses de enero y febrero las concentraciones de CO son mayores en comparación con los otros meses. En los meses de junio a agosto las concentraciones disminuyen.

Gráfica 122. Concentraciones promedio de CO por mes, 2011-2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

También puede observarse a la estación Aeropuerto como aquella con mayores concentraciones de CO, alcanzando en el mes de diciembre 1.8 ppm. En general, esta estación es la que registra mayores concentraciones de CO durante todo el periodo de estudio; y las demás estaciones se comportan de manera similar de manera que de enero a mayo las concentraciones promedio de CO descienden, posteriormente se mantiene constante de junio a agosto, y después vuelven a ascender hasta el mes de diciembre.

Y tomando en cuenta lo anterior, de acuerdo con la NOM-021-SSA1-1993 que establece los valores permisibles para las concentraciones de CO en el aire con

11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire, ya que en este periodo no se supera.

Tabla 19. Medidas tendencia de concentraciones promedio de CO por mes/estación, 2011-2017

| Estación | Media | Desviación estándar | Varianza | Coefficiente de variación | Mínimo | Máximo |
|------------------|-------|---------------------|----------|---------------------------|--------|--------|
| San Cristóbal | 1.08 | 0.26 | 0.07 | 24.37 | 0.76 | 1.48 |
| Aeropuerto | 1.52 | 0.17 | 0.03 | 10.92 | 1.28 | 1.81 |
| San Mateo Atenco | 0.95 | 0.20 | 0.04 | 21.35 | 0.70 | 1.35 |
| Ceboruco | 1.07 | 0.19 | 0.04 | 17.64 | 0.78 | 1.36 |
| Metepec | 0.94 | 0.14 | 0.02 | 14.66 | 0.74 | 1.19 |
| Toluca Centro | 0.94 | 0.17 | 0.03 | 17.52 | 0.68 | 1.20 |
| Oxtotitlán | 1.04 | 0.18 | 0.03 | 17.20 | 0.83 | 1.32 |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

En el periodo 2011-2017 de concentraciones promedio por mes de CO, la estación San Cristóbal registra la mayor desviación estándar de 0.26 ppm con respecto a su media 1.08 ppm y la estación San Mateo Atenco con 0.20 ppm respecto a su media de 0.95 ppm. La estación Metepec presenta una desviación menor de 0.14 ppm con respecto a la media de 0.94 ppm.

En cuanto al coeficiente de variación, las estaciones con mayor variación son San Cristóbal 24.37%, San Mateo Atenco 21.35%, Ceboruco 17.64%, Toluca Centro 17.52% y Oxtotitlán 17.20%. Mientras que la estación Metepec registra una variación de 14.66% y la estación Aeropuerto 10.92% como el menor coeficiente de variación.

En este caso, los datos se comportan de manera heterogénea en las estaciones San Cristóbal y San Mateo Atenco, y las demás estaciones son un poco más homogéneas en cuanto a las concentraciones promedio de CO mensual en todas las estaciones.

Al considerar la varianza, se dispersan de mayor manera en la estación San Cristóbal y San Mateo Atenco con 0.07 y 0.04 respectivamente; mientras que la estación Metepec se dispersa en menor proporción con 0.02.

De la misma forma se debe tomar en cuenta que la estación Aeropuerto registra los máximos promedios de CO con 1.81 ppm, seguido de la estación San Cristóbal con 1.48 ppm y Ceboruco con 1.36 ppm.; y como registro máximo menor la estación Toluca Centro 1.20 ppm y Metepec 1.19 ppm.

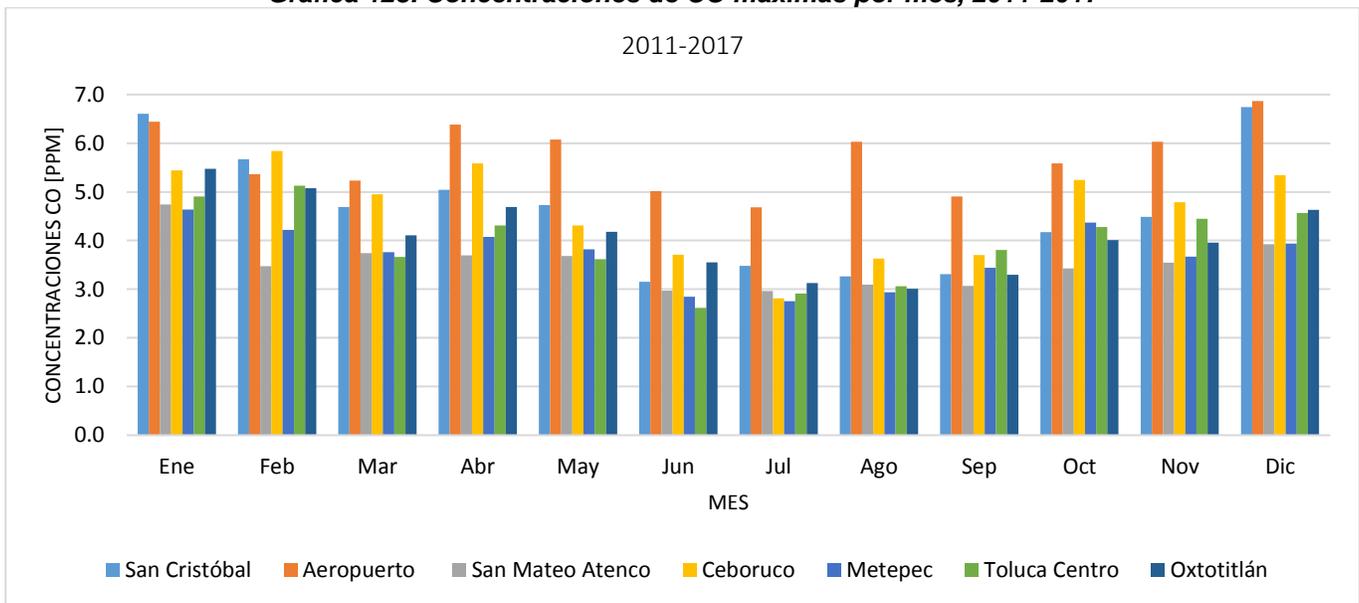
Finalmente, y al revisar la NOM-021-SSA1-1993 las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones promedio de CO mensual de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el periodo 2011-2017.

4.2.8.2 Concentraciones máximas de CO

La gráfica **123** hace referencia las concentraciones máximas de CO por mes durante los años 2011 al 2017. En el caso de las menores concentraciones de CO los meses de junio a agosto no superan las 4 ppm, sin embargo, la estación Aeropuerto es la única estación que lo supera.

Enero, febrero, noviembre y diciembre son los meses que presentan las mayores concentraciones durante el periodo de estudio. Aunque solo las estaciones San Cristóbal y Aeropuerto superan las 5.5ppm.

Gráfica 123. Concentraciones de CO máximas por mes, 2011-2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Durante el mes de enero las estaciones San Cristóbal y Ceboruco; marzo, abril, julio, septiembre y octubre con la estación Aeropuerto, y noviembre y diciembre en la estación San Cristóbal y Aeropuerto superan las 5.5 ppm, lo que significa que la calidad del aire en el periodo de estudio y en esas estaciones es regular si se considera lo que establece la RAMA.

Sin embargo, si se considera la NOM-021-SSA1-1993 que establece los valores permisibles para las concentraciones de CO en el aire con 11.00 ppm como el límite para una buena calidad del aire, no se supera.

Tabla 20. Medidas tendencia de concentraciones máximas de CO por mes/estación, 2011-2017

| Estación | Media | Desviación estándar | Varianza | Coficiente de variación | Mínimo | Máximo |
|------------------|-------|---------------------|----------|-------------------------|--------|--------|
| San Cristóbal | 4.61 | 1.24 | 1.54 | 26.93 | 3.15 | 6.74 |
| Aeropuerto | 5.72 | 0.69 | 0.48 | 12.05 | 4.68 | 6.87 |
| San Mateo Atenco | 3.53 | 0.50 | 0.25 | 14.24 | 2.96 | 4.74 |
| Ceboruco | 4.61 | 0.96 | 0.92 | 20.84 | 2.81 | 5.84 |
| Metepec | 3.71 | 0.61 | 0.37 | 16.44 | 2.75 | 4.64 |
| Toluca Centro | 3.94 | 0.80 | 0.64 | 20.28 | 2.61 | 5.13 |
| Oxtotitlán | 4.09 | 0.77 | 0.60 | 18.91 | 3.01 | 5.47 |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación San Cristóbal presentó la mayor desviación estándar en el periodo de estudio con emisiones de CO de 1.24 ppm respecto a la media de 4.61 ppm, con un coeficiente de variación de 26.93%; así mismo, las concentraciones máximas de CO en la estación San Cristóbal fueron desde 3.15 ppm a 6.74, indicando cierta heterogeneidad en los datos.

La estación Aeropuerto presentó los registros máximos de concentraciones de CO 6.87 y un mínimo de 4.68, además de que presenta un coeficiente de variación de 12.05% indicando homogeneidad en la dispersión de los datos durante los meses y periodo de estudio.

En cuanto a los registros menores de las medidas de tendencia ocurren en la estación Metepec, con una desviación estándar de 0.61 ppm respecto a la media

3.71 ppm; una varianza de 0.37; coeficiente de variación de 16.44%; y menor concentraciones máximas de CO de 4.64 ppm.

Así mismo, el coeficiente de variación es heterogéneo en las estaciones San Cristóbal, Ceboruco y Toluca Centro y homogénea en las estaciones Oxtotitlán, Metepec, San mateo Atenco y Aeropuerto.

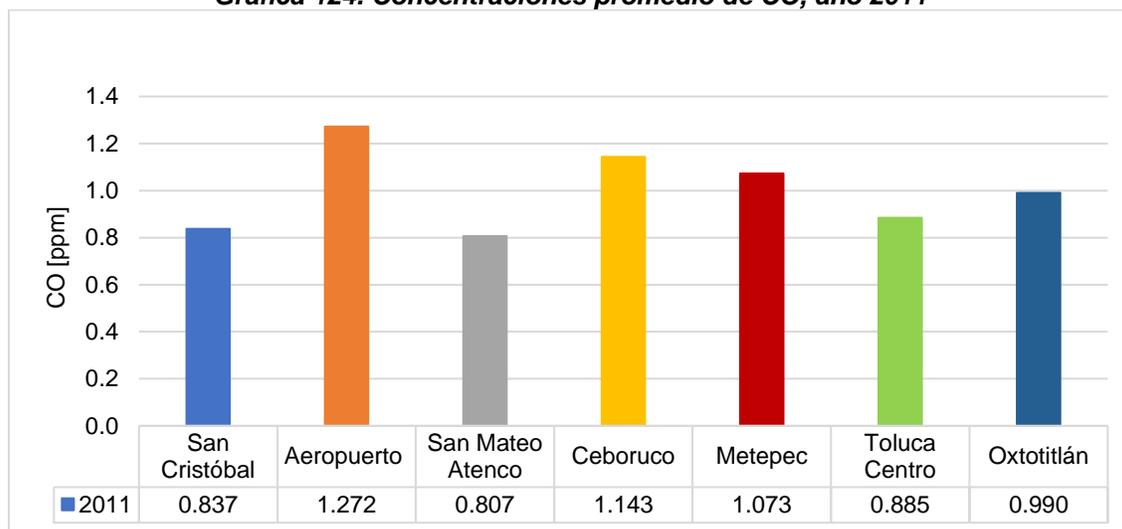
Finalmente, y al tomar en cuenta a la NOM-021-SSA1-1993 las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones máximas de CO de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el periodo 2011-2017.

4.3 Análisis de variables por año

4.3.1 Análisis del año 2011

En la gráfica 124 se presentan las concentraciones promedio de CO de las estaciones en el año 2011.

Gráfica 124. Concentraciones promedio de CO, año 2011



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Las concentraciones promedio de CO en el año 2012 se presentaron en mayor medida en la estación Aeropuerto con 1.27 ppm, Ceboruco con 1.14 ppm y Metepec con 1.07 ppm.

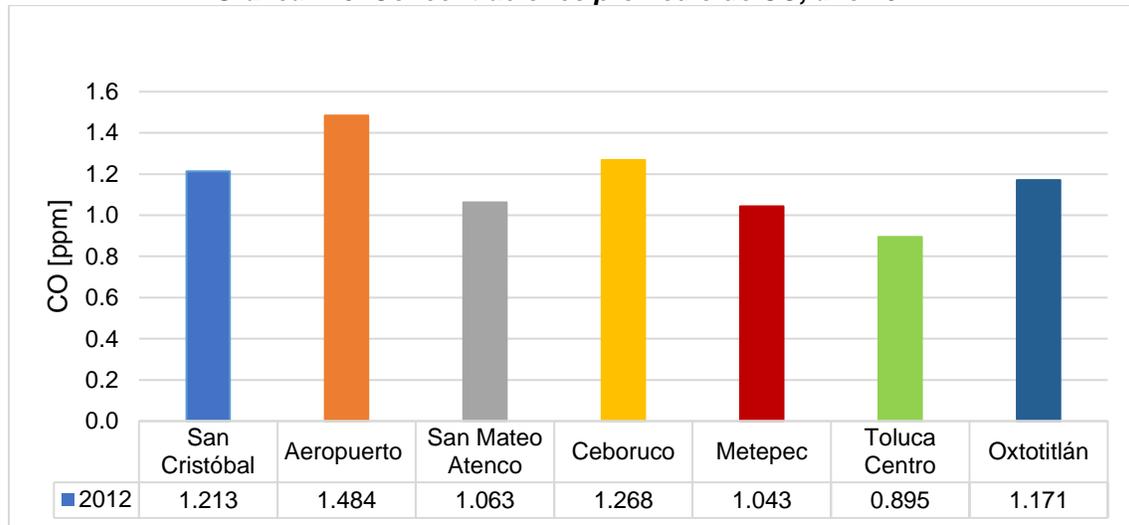
Los menores promedios de CO se dan en la estación Oxtotitlán fue de 0.99 ppm, Toluca Centro 0.88, San Cristóbal 0.83 ppm y San Mateo Atenco con 0.80 ppm.

Al revisar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones promedio de CO de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el año 2011.

4.3.2 Análisis del año 2012

En la gráfica 125 se presentan las concentraciones promedio de CO de las estaciones en el año 2012.

Gráfica 125. Concentraciones promedio de CO, año 2012



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Las concentraciones promedio de CO en el año 2012 se presentaron en mayores registros en la estación Aeropuerto con 1.48 ppm, Ceboruco con 1.26 ppm, San Cristóbal 1.21 ppm y Oxtotitlán con 1.17 ppm.

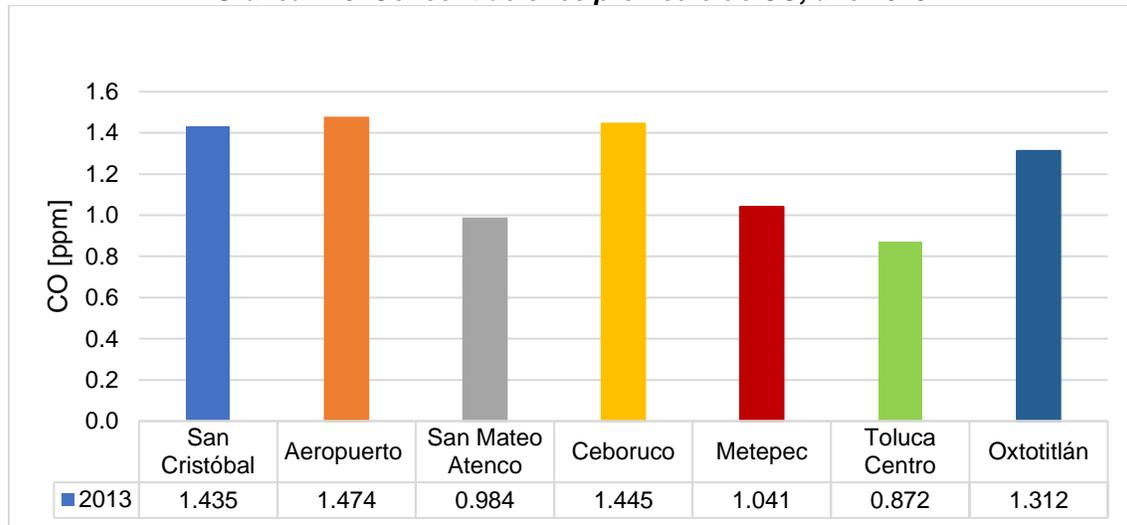
Los menores promedios de CO se dan en la estación San Mateo Atenco es de 1.06 ppm, Metepec 1.04 ppm y Toluca Centro 0.89 ppm.

Al revisar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones promedio de CO de las estaciones de la RAMA-ZMVT durante el año 2012.

4.3.3 Análisis del año 2013

En la gráfica 126 se presentan las concentraciones promedio de CO de las estaciones en el año 2013.

Gráfica 126. Concentraciones promedio de CO, año 2013



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Los registros mayores de concentraciones promedio de CO en el año 2013 se presentaron en la estación Aeropuerto con 1.47 ppm, Ceboruco con 1.44 ppm, San Cristóbal 1.43 ppm y Oxtotitlán con 1.31 ppm.

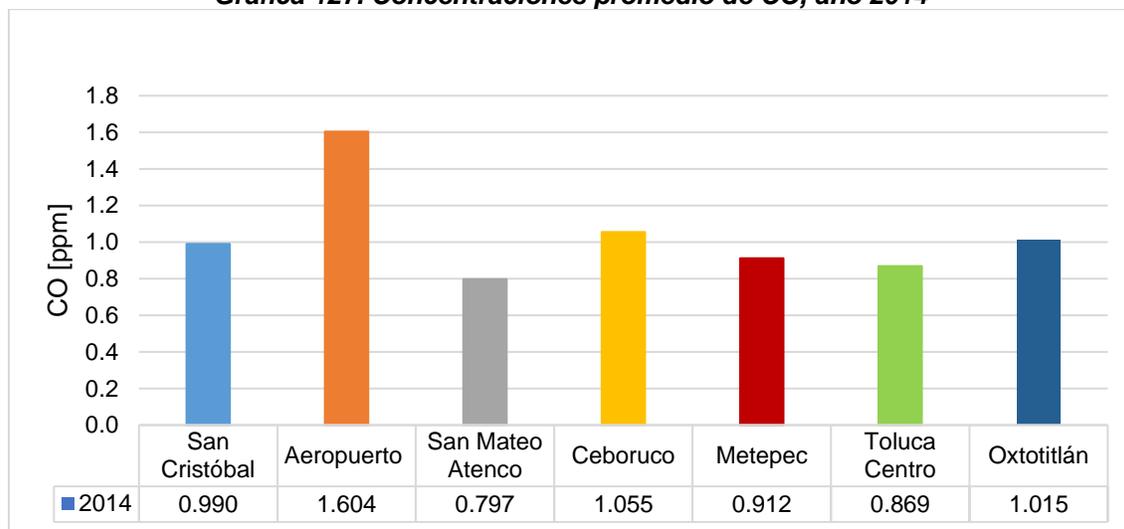
Los menores promedios de CO se dan en la estación Metepec 1.04 ppm, San Mateo Atenco es de 0.98 ppm, y Toluca Centro 0.87 ppm.

Al revisar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones promedio de CO de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el año 2013.

4.3.4 Análisis del año 2014

En la gráfica 127 se presentan las concentraciones promedio de CO de las estaciones en el año 2014.

Gráfica 127. Concentraciones promedio de CO, año 2014



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Los mayores registros de concentraciones promedio de CO en el año 2013 se presentaron en la estación Aeropuerto con 1.60 ppm, Ceboruco con 1.05 ppm, Oxtotitlán con 1.01 ppm y San Cristóbal 0.99 ppm.

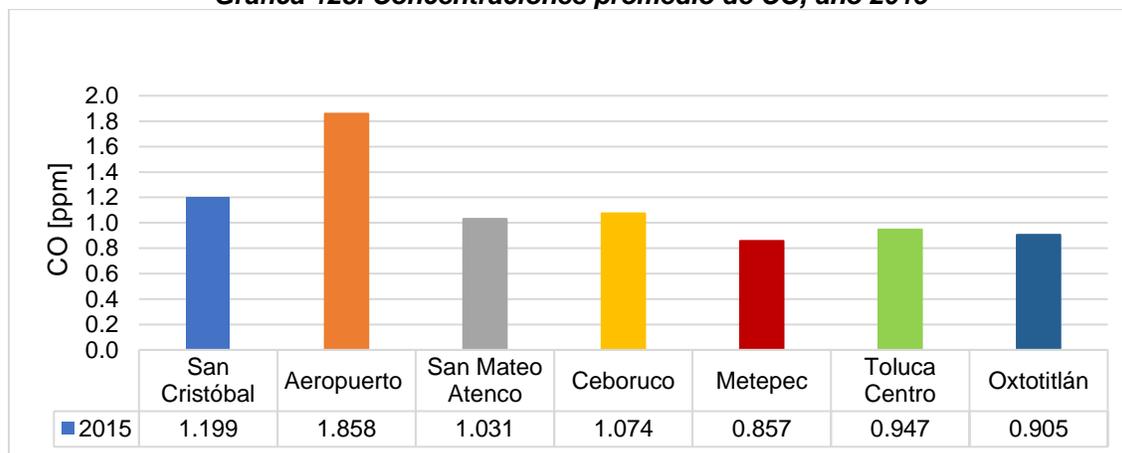
Los menores promedios de CO se dan en la estación Metepec 0.91 ppm, Toluca Centro 0.86 y San Mateo Atenco es de 0.79 ppm.

Finalmente, al revisar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones promedio de CO de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el año 2014.

4.3.5 Análisis del año 2015

En la gráfica 128 se presentan las concentraciones promedio de CO de las estaciones en el año 2015.

Gráfica 128. Concentraciones promedio de CO, año 2015



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Las de concentraciones promedio de CO mayores del año 2013 se presentaron en la estación Aeropuerto con 1.85 ppm, San Cristóbal 1.19 ppm, Ceboruco con 1.07 ppm, y San Mateo Atenco 1.03 ppm.

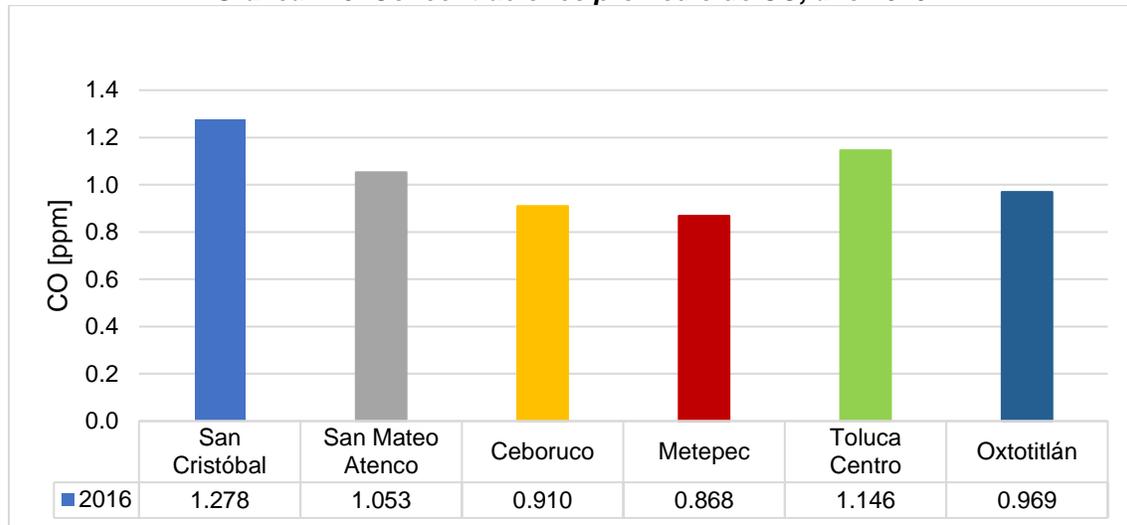
Los registros menores de promedios de CO se dan en la estación Toluca Centro 0.94. Oxtotitlán con 0.90 ppm y Metepec 0.85 ppm

Al revisar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones promedio de CO de las estaciones de la RAMA-ZMVT durante el año 2015.

4.3.6 Análisis del año 2016

En la gráfica 129 se presentan las concentraciones promedio de CO de las estaciones en el año 2016.

Gráfica 129. Concentraciones promedio de CO, año 2016



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Los mayores registros de concentraciones promedio de CO del año 2013 se presentaron en la estación San Cristóbal 1.27 ppm, Toluca Centro 1.14 ppm y San Mateo Atenco con 1.05 ppm.

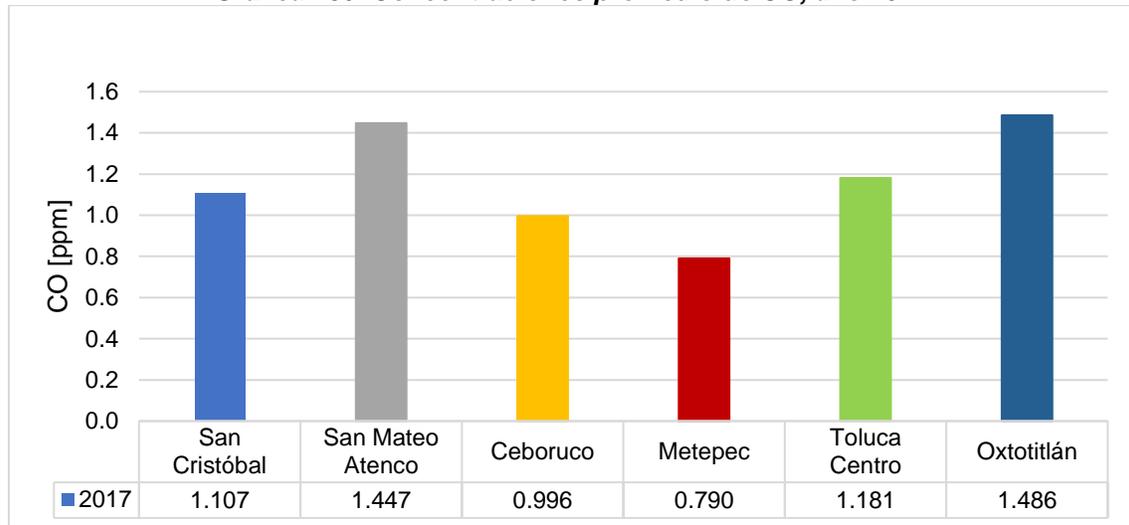
Los registros menores de promedios de CO se dan en la estación Oxtotitlán de 0,96 ppm, Ceboruco con 0.91 ppm y Metepec 0.86 ppm

Al considerar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones promedio de CO de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el año 2016.

4.3.7 Análisis del año 2017

En la gráfica 130 se presentan las concentraciones promedio de CO de las estaciones en el año 2017.

Gráfica 130. Concentraciones promedio de CO, año 2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Los mayores registros de concentraciones promedio de CO del año 2017 se presentaron en la estación Oxtotitlán con 1.48 ppm, le siguen la estación San Mateo Atenco con 1.44 ppm, Toluca Centro con 1.18 ppm y la estación San Cristóbal 1.10 ppm.

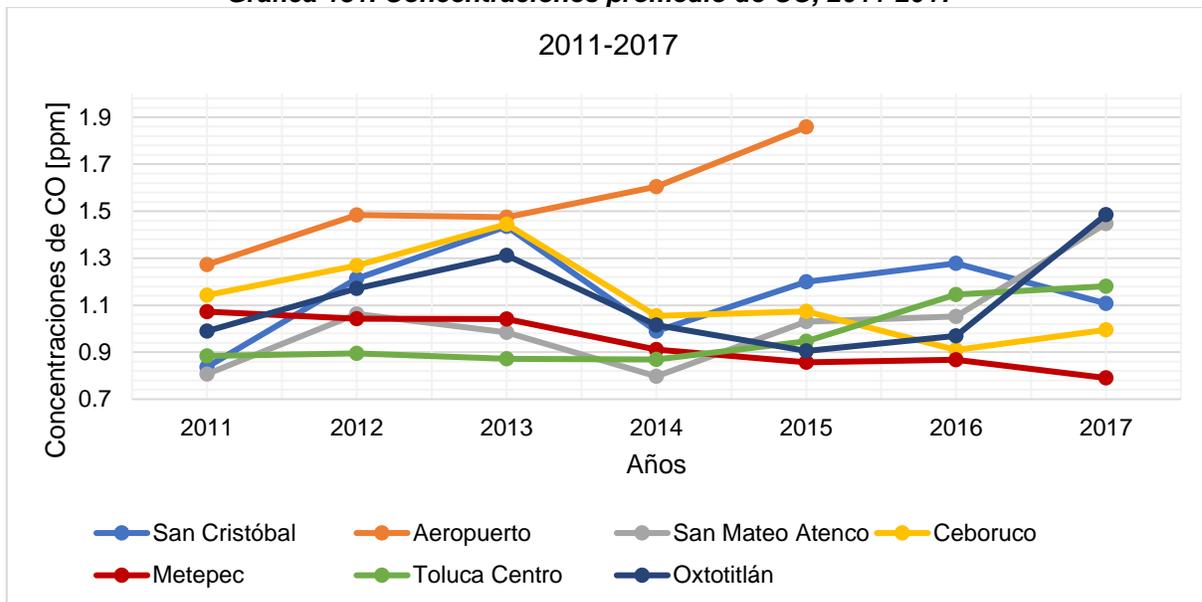
Los menores registros de promedios de CO se dan en la estación Ceboruco con 0.99 ppm y Metepec 0.79 ppm.

Al revisar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones promedio de CO de las estaciones de la RAMA-ZMVT durante el año 2017.

4.3.8 Análisis del periodo 2011-2017

En la gráfica 131 se presentan las concentraciones promedio de CO de las estaciones en el periodo 2011 al 2017.

Gráfica 131. Concentraciones promedio de CO, 2011-2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La estación San Cristóbal presenta un mínimo de 0.84 ppm en el 2011 y un máximo de concentraciones de CO de 1.44 ppm en 2013; el promedio de las concentraciones durante el periodo es de 1.15 ppm, con una desviación de 0.20 ppm.

La estación Aeropuerto solo registro datos hasta 2015. Sin embargo sus mínimos de CO ocurren en 2011 con 1.27 ppm y máximos de 1.86 ppm en 2015, se puede observar un aumento en las concentraciones de esta estación; un promedio de 1.54 ppm y una desviación estándar de 0.21 ppm.

La estación San Mateo Atenco tiene un mínimo de concentraciones de CO de 0.80 ppm en 2011 y un máximo en 2017 de 1.45ppm; concentraciones promedio de 1.03 ppm y una desviación estándar de 0.22 ppm.

Por su parte la estación Ceboruco presenta un mínimo de 0.91 ppm en el 2011 y un máximo de concentraciones de CO de 1.45 ppm en 2013; el promedio de las concentraciones durante el periodo es de 1.13 ppm, con una desviación de 0.18 ppm.

En cuanto a la estación Metepec, los mínimos de concentraciones de CO van de 0.79 ppm en 2017 y un máximo de 1.07 ppm en 2011; la media es de 0.94 ppm y la desviación estándar es de 0.11 ppm.

La estación Toluca Centro tiene un registro máximo de CO de 1.18 ppm en 2017 y un mínimo de 0.87 ppm en 2013; la media de esta estación es de 0.97 y la desviación corresponde a 0.13 ppm.

Por último, la estación Oxtotitlán tiene un máximo de 1.49 ppm en 2017 y un mínimo de concentraciones de CO de 0.91 ppm en 2011; en cuanto al promedio de CO es de 1.12 ppm con una desviación estándar de 0.21 ppm.

Tabla 21. Medidas tendencia de concentraciones de CO por estación, 2011-2017

| Estación | Media | Desviación estándar | Varianza | Coficiente de variación | Mínimo | Máximo |
|------------------|-------|---------------------|----------|-------------------------|--------|--------|
| San Cristóbal | 1.15 | 0.20 | 0.04 | 16.98 | 0.84 | 1.44 |
| Aeropuerto | 1.54 | 0.21 | 0.05 | 13.96 | 1.27 | 1.86 |
| San Mateo Atenco | 1.03 | 0.22 | 0.05 | 21.12 | 0.80 | 1.45 |
| Ceboruco | 1.13 | 0.18 | 0.03 | 15.94 | 0.91 | 1.45 |
| Metepec | 0.94 | 0.11 | 0.01 | 11.77 | 0.79 | 1.07 |
| Toluca Centro | 0.97 | 0.13 | 0.02 | 13.86 | 0.87 | 1.18 |
| Oxtotitlán | 1.12 | 0.21 | 0.05 | 18.91 | 0.91 | 1.49 |

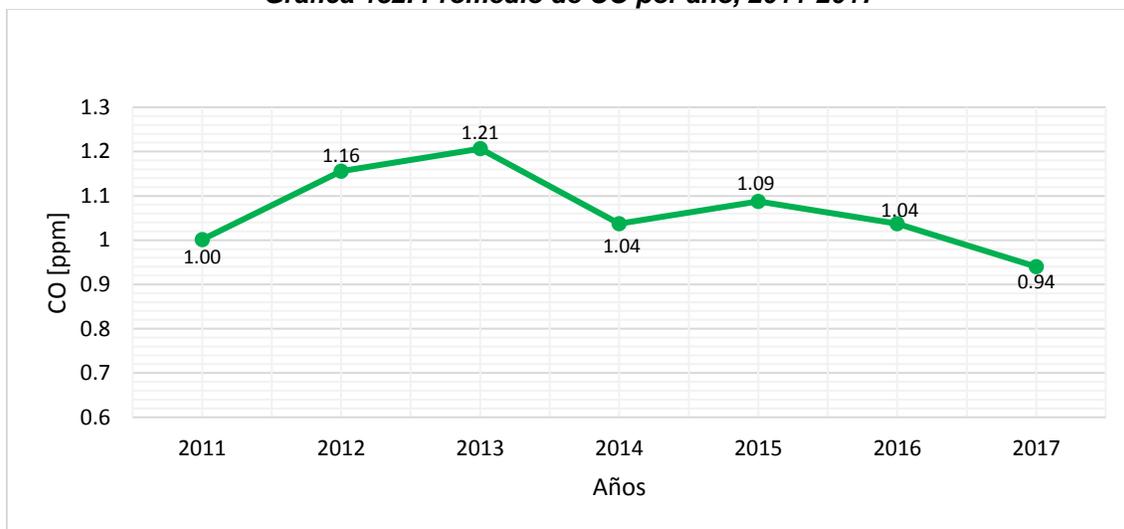
Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

Al considerar los coeficientes de variación, la estación San Mateo Atenco registra 21.12% como mayor en comparación con las otras estaciones, le siguen Oxtotitlán

18.91% y Aeropuerto con 16.98%; en estas la información no es tan homogénea como en las otras estaciones con menor coeficiente de variación.

Por otro lado, al revisar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite máximo permisible que se establece de 11 ppm, por lo que el periodo de estudio se considera como buena la calidad del aire.

Gráfica 132. Promedio de CO por año, 2011-2017



Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).

La gráfica 132 presenta el promedio de las concentraciones de CO respecto a cada año. En ella se puede observar que el año con mayores registros de CO es 2013 con 1.21 ppm, le siguen el 2012 con 1.16 ppm.

Al inicio del periodo de estudio (2011) se registran las menores concentraciones promedio de CO con 1.0 ppm, en 2014 y 2016 las emisiones de CO son de 1.04 ppm; y al final del periodo (2017), las concentraciones de CO alcanzan el mínimo correspondiente a 0.94 ppm.

Al consultar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite máximo permisible que se establece de 11 ppm, por lo que el periodo de estudio se considera como buena la calidad del aire.

Así mismo, se observa que entre 2011 y 2013 las emisiones CO aumentaron 1.21 ppm, pero después descendieron hasta 2017 con 0.94 ppm.

Discusión de resultados

Se realizó el análisis de los resultados derivados del tratamiento de información del CO durante el periodo 2011 al 2017 de las estaciones correspondientes a la RAMA-ZMVT, para determinar si exceden los límites máximos permisibles establecidos por las NOM-021-SAA1-1993.

Concentraciones promedio por hora

En cuanto a las concentraciones promedio de CO por hora, las concentraciones de CO a partir de las 7 a 9 horas alcanzan un registro mayor, disminuyendo entre las 14 y 16 horas; a partir de esta hora se observa un incremento de los registros de CO hasta las 23 horas. Es importante considerar que la estación Aeropuerto registra los máximos promedios de CO con 6.87 ppm, seguido de la estación San Cristóbal con 6.74 ppm y Ceboruco con 5.84 ppm.; y como registro máximo menor la estación San Mateo Atenco con 4.74 ppm y Metepec con 7.64 ppm.

En el periodo 2011-2017 de concentraciones promedio por hora de CO, la estación Aeropuerto registra la mayor desviación estándar de 0.67 ppm con respecto a su media 1.53 ppm. La estación San Mateo Atenco presenta una desviación de 0.31 ppm con respecto a la media de 0.97 ppm.

Considerando la desviación estándar, varianza y coeficiente de variación las estaciones Aeropuerto, San Cristóbal y Ceboruco son las que presentan mayor dispersión de los datos además de que estas mismas estaciones tienen los registros máximos de CO.

En este caso la estación aeropuerto al estar localizada muy cerca de una vía principal de tránsito vehicular y en una de las zonas industriales con las que cuenta la zona de estudio, es indicativo para que las emisiones sean mayores en esta

estación. La estación San Cristóbal, está localizada en una población pequeña, sin embargo se puede ver afectada por las emisiones de automóviles y la dispersión que presentan los vientos, puesto que se encuentra localizada al norte y los vientos predominan de sur a norte. La estación Ceboruco se encuentra instalada en una de las preparatorias de la UAEMex, cercana a una vía de acceso muy concurrida debido a las instalaciones educativas y la conexión hacia otros municipios.

En cuanto a la NOM-021-SAA1-1993, no se superan los límites máximos permisibles, ya que el registro más grande corresponde a 3.46 ppm.

Concentraciones máximas por hora de CO

Al evidenciarse las estaciones San Cristóbal, Aeropuerto y Ceboruco como las que presentan mayores variaciones en cuanto a los datos de CO, se analizaron sus concentraciones máximas en el periodo de estudio. En estas se encontró que la estación Aeropuerto presenta un máximo de CO de 7.15 ppm, San Cristóbal 7.14 ppm y Ceboruco 6.23 ppm; mientras que la estación San Mateo Atenco registra un máximo de 4.66 ppm.

Además, la estación San Cristóbal y Ceboruco registran un mayor coeficiente de variación y desviación estándar en comparación con las otras estaciones.

Aunado a lo anterior, la estación San Cristóbal entre las 1 y 5 horas presenta registros superiores a las 5 ppm. Por lo que es importante considerar que factores pueden influir en la emisión de CO. Por la madrugada no hay actividad de autos, con excepción de las industrias que podrían realizar emisiones en la noche-madrugada.

Al considerar a la NOM-021-SSA1-1993 las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en

cuanto a las concentraciones máximas de CO por hora de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el periodo 2011-2017.

Concentraciones promedio de CO mensual

Las concentraciones mensuales de CO se comportan de manera que en los meses de enero a mayo las concentraciones promedio de CO descienden, posteriormente se mantienen constantes entre junio a agosto, y después vuelven a ascender hasta el mes de diciembre.

San Cristóbal registra la mayor desviación estándar de 0.26 ppm con respecto a su media 1.08 ppm y la estación San Mateo Atenco con 0.20 ppm respecto a su media de 0.95 ppm. La estación Metepec presenta una desviación menor de 0.14 ppm con respecto a la media de 0.94 ppm.

De la misma forma se debe tomar en cuenta que la estación Aeropuerto registra los máximos promedios de CO con 1.81 ppm, seguido de la estación San Cristóbal con 1.48 ppm y Ceboruco con 1.36 ppm.; y como registro máximo menor la estación Toluca Centro 1.20 ppm y Metepec 1.19 ppm.

En este caso la estación Aeropuerto tiene una homogeneidad en sus datos, ya que registra el menor coeficiente de variación, y los datos de la estación San Cristóbal están más dispersos y heterogéneos en comparación con las otras estaciones.

Concentraciones máximas de CO por mes

En cuanto al comportamiento de las concentraciones CO mensuales, se observa que entre junio y septiembre las emisiones disminuyen, lo que indica que hay deposición de contaminantes por precipitaciones, ya que entre junio y octubre corresponden a la temporada de lluvias que menciona el (GEM-SMA, 2007). De la

misma forma en los meses de diciembre y enero se registran mayores concentraciones de CO, pudiendo ser por la combustión de madera por ser temporada con bajas temperaturas y ya que también ocurren inversiones térmicas que permiten la permanencia de contaminantes por más tiempo.

La estación San Cristóbal presentó la mayor desviación estándar en el periodo de estudio con emisiones de CO de 1.24 ppm respecto a la media de 4.61 ppm, con un coeficiente de variación de 26.93%; así mismo, las concentraciones máximas de CO en la estación San Cristóbal fueron desde 3.15 ppm a 6.74, indicando cierta heterogeneidad en los datos.

La estación Aeropuerto presentó los registros máximos de concentraciones de CO 6.87 y un mínimo de 4.68, además de que presenta un coeficiente de variación de 12.05% indicando homogeneidad en la dispersión de los datos durante los meses y periodo de estudio.

En cuanto a los registros menores de las medidas de tendencia ocurren en la estación Metepec, con una desviación estándar de 0.61 ppm respecto a la media 3.71 ppm; una varianza de 0.37; coeficiente de variación de 16.44%; y menor concentraciones máximas de CO de 4.64 ppm.

Al tomar en cuenta a la NOM-021-SSA1-1993 las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire en cuanto a las concentraciones máximas de CO de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el periodo 2011-2017.

Concentraciones de CO anual por estaciones

La estación San Mateo Atenco tiene un mínimo de concentraciones de CO de 0.80 ppm en 2011 y un máximo en 2017 de 1.45 ppm; concentraciones promedio de 1.03 ppm y una desviación estándar de 0.22 ppm.

La estación Toluca Centro tiene un registro máximo de CO de 1.18 ppm en 2017 y un mínimo de 0.87 ppm en 2013; la media de esta estación es de 0.97 y la desviación corresponde a 0.13 ppm.

La estación Oxtotitlán tiene un máximo de 1.49 ppm en 2017 y un mínimo de concentraciones de CO de 0.91 ppm en 2011; en cuanto al promedio de CO es de 1.12 ppm con una desviación estándar de 0.21 ppm.

En el periodo de estudio, en el año 2011 las estaciones San Cristóbal, Aeropuerto, San Mateo Atenco, Ceboruco y Oxtotitlán presentan su mínimo. En 2013 tiene los máximos registrados de la estación San Cristóbal y Ceboruco: y el mínimo de la estación Toluca Centro.

El año 2015 registra el máximo de Aeropuerto. El 2016 tiene el mínimo registro de CO de la estación Ceboruco. El año 2017 tiene los registros máximos de CO en las estaciones San Mateo Atenco, Toluca Centro y Oxtotitlán.

Promedios generales de CO por año

Se registra que entre 2011 y 2013 las emisiones CO aumentaron de 1.00 ppm a 1.21 ppm, pero después descendieron hasta 2017 con 0.94 ppm.

Por lo que se puede inferir que en el periodo de estudio (2011-2017) las emisiones de CO disminuyeron; sin embargo, estas aumentaron en las estaciones San Mateo Atenco, Toluca Centro y Oxtitlán.

Al consultar la NOM-021-SSA1-1993, las concentraciones de CO no superan el límite máximo permisible que se establece de 11 ppm, por lo que el periodo de estudio el CO no contribuye empeorar la calidad del aire.

Al comparar a la RAMA-ZMVT con el estado de Jalisco, entre los años 2014 al 2015 se registra con máximos de CO de 5.8 ppm, sin superar la norma. El 2014 tuvo un

mínimo de 0.004 ppm, diciembre registros concentraciones mayores a 4 ppm. En el 2015 en febrero se superaron 5 ppm, enero y diciembre con los meses con mayores registros de CO, aunque nunca se supera la norma (GEJ, 2016) y (GEJ, 2015).

Por lo anterior, sirve de referencia y da pauta en la veracidad de la investigación, respecto a que las emisiones de CO han disminuido a pesar del aumento de vehículos. Esto, ya que el transporte motorizado es la principal fuente de emisión de CO, pero al tener en circulación modelos recientes con convertidores catalíticos que permiten la combustión completa de los hidrocarburos, las emisiones de CO disminuyen.

Relaciones de CO

❖ CO – radiación solar

Mientras la radiación es 0 W/m² o cercana a 0 W/m² (1 a 8 horas y 20 a 24 horas) las concentraciones de CO aumentan hasta alcanzar un máximo entre las 8 y 9 horas. Posteriormente la radiación solar aumenta y las concentraciones de CO disminuyen hasta las 20 horas, cuando la radiación es 0 W/m². El CO bajo estos valores de RS favorece reacciones fotoquímicas que dan paso a contaminantes secundarios.

❖ CO – temperatura

Cuando la temperatura es mayor, las concentraciones de CO disminuyen ya que al favorecer el aumento de la energía cinética, se presume que favorecen las reacciones fotoquímicas. De tal manera que el CO al ser precursor indirecto de GEI puede verse afectado por la radiación solar para la formación de NO₂ y éste a su vez en la formación de O₃ (Ortega Martínez, 2009), (Benavides B. & León A., 2007) y (CRANA, 2016).

NOM-021-SSA1-1993

Al considerar a la NOM-021-SSA1-1993 las concentraciones de CO no superan el límite establecido de 11 ppm, considerándose como buena la calidad del aire por emisiones de CO por hora de las estaciones de la RAMA-ZMVT en el periodo 2011-2017.

A pesar de ello, la norma no ha sido reformada y es importante considerar que la EPA y la OMS considera como límite máximo permisible de CO de 9 ppm. Por lo que las políticas respecto a los límites de CO en México no han cambiado a pesar de causar intoxicación, mareos y hasta la muerte por insuficiencia cardiaca o sofocación debido a afinidad que tiene por la hemoglobina (GEM-SMA, 2007) y (Molina & Molina, 2005).

Conclusiones



Conclusiones

Los resultados obtenidos que se presentan en el análisis de las variables promedio por hora de las concentraciones de CO, permiten observar que a partir de las 7 horas aumentan hasta alcanzar su mayor registro entre las 8 y 9 horas; posteriormente los registros de CO disminuyen entre las 14 y 16 horas, y por la tarde los registros de CO aumentan hasta las 23 horas. La estación Aeropuerto registra los máximos promedios de CO con 6.87 ppm, seguido de la estación San Cristóbal con 6.74 ppm y Ceboruco con 5.84 ppm. De igual manera al llevar a cabo los análisis de tendencias se observa que las estaciones antes mencionadas presentan la mayor dispersión de los datos.

Respecto a las concentraciones máximas de CO por hora, la estación Aeropuerto presenta un máximo de CO de 7.15 ppm, San Cristóbal 7.14 ppm y Ceboruco 6.23 ppm; mientras que la estación San Mateo Atenco registra un máximo de 4.66 ppm. Aunado a lo anterior, la estación San Cristóbal presenta mayor dispersión de datos en su análisis entre las 1 y 5 horas con registros superiores a las 5 ppm. Por lo que es importante considerar que factores pueden influir en la emisión de CO en la zona a esta hora tan particular, puesto que en la madrugada no hay actividad de fuentes móviles, sin embargo si pudiera haber actividad en las industrias aledañas, que podrían realizar emisiones en la noche-madrugada.

En cuanto al comportamiento de las concentraciones de CO mensuales, se observa que entre junio y septiembre las emisiones disminuyen, lo que indica que hay deposición de contaminantes por precipitaciones, ya que entre junio y octubre corresponden a la temporada de lluvias. De igual forma en los meses de diciembre y enero se registran mayores concentraciones de CO, pudiendo ser por la combustión incompleta de algunos motores de combustión y fuentes de calor de los hogares, por ser temporada con bajas temperaturas, favorecidas por la presencia

de inversiones térmicas que permiten la permanencia de contaminantes por más tiempo.

Resulta importante mencionar que durante los años 2012 y 2013 no hay información sobre las concentraciones de CO en los meses de mayo a agosto, influyendo de manera considerable en el análisis del trabajo de investigación.

El comportamiento anual de concentraciones promedio de CO en el periodo de estudio, indica que entre 2011 y 2013 las emisiones CO aumentaron de 1.00 ppm a 1.21 ppm, y después descendieron hasta 2017 con 0.94 ppm.

Así mismo, las concentraciones de CO en el periodo 2011 a 2017 no superan los límites máximos permisibles que establece la NOM-021-SAA1-1993 con 11ppm. A pesar de ello, la norma no ha sido reformada y es importante considerar que la EPA y la OMS establecen como límite máximo permisible de CO de 9 ppm.

Con base en los análisis realizados, el comportamiento del CO en el periodo de estudio presenta entre las 8 y 9 horas concentraciones mayores de 1.93 ppm a 3.46 ppm. Y entre las 14 y 16 horas se registran menores concentraciones. El comportamiento mensual presenta mayores registros en el mes de diciembre, y menores registros de CO entre junio y octubre.

En cuanto al comportamiento anual, en el periodo de estudio 2011-2017 las emisiones de CO disminuyeron; sin embargo, estas aumentaron en las estaciones San Mateo Atenco, Toluca Centro y Oxtitlán.

Considerando la NOM-021-SAA1-1993, no se superan los límites máximos permisibles de CO, respecto a 11ppm, ya que en los promedios de CO no se superan 3.46 ppm y en los promedios por mes el máximo es de 6.87 ppm.

Considerando la hipótesis planteada al inicio de la presente investigación, en la cual se esperaba que en el periodo en estudio se observará un incremento en las

concentraciones del Monóxido de Carbono en los datos reportados por la RAMA-ZMVT se rechaza parcialmente la hipótesis antes mencionada, ya que se observó que entre 2011 y 2017 las concentraciones de CO disminuyeron aun cuando se observa una tendencia al alza en las estaciones San Mateo Atenco, Toluca Centro y Oxtitlán.

Por otra parte, el CO es un contaminante criterio muy dañino para la salud humana, ya que puede provocar efectos graves como la muerte cuando hay concentraciones elevadas de éste, derivado de la fuerte afinidad que tiene con la hemoglobina, capaz de privar de oxígeno a los tejidos del cuerpo.

Así mismo, es importante considerar que el CO es producto de la combustión incompleta de hidrocarburos, carbón e incendios forestales. Es considerado como un GEI indirecto, ya que éste puede oxidarse fácilmente al entrar en contacto con el Oxígeno de la atmósfera y convertirse de CO a CO₂;

Si bien el objeto del trabajo era analizar las concentraciones de CO, también se realizó el análisis de la temperatura y la radiación solar porque a pesar de que no es considerado como un GEI y no está directamente relacionado con las variables meteorológicas es importante analizar las reacciones de tipo fotoquímico ya que estas desencadenan contaminantes secundarios; así como la dispersión de los contaminantes.

Recomendaciones

Recomendaciones

Aunado a la investigación presentada, y con la finalidad de generar mejores condiciones que permitan enriquecer el conocimiento hacia el tema del monitoreo atmosférico y la calidad del aire se recomienda:

A pesar de lo establecido por la NOM-021-SAA1-1993, en cuanto al número de estaciones que debe haber por zona metropolitana (5 estaciones); sería conveniente aumentar el número de estas para cubrir mejor la zona de estudio, ya que con el paso del tiempo la dinámica poblacional ha cambiado. Pudiéndose considerar todos municipios que incluyen la ZMVT según SEDESOL (2010), los cuales son 15.

Considerar los resultados de la presente investigación, con el fin de apoyar a las futuras investigaciones del CO y los daños que causa hacia el ser humano y el medio ambiente, de manera que puedan conocerse datos sobre muertes por CO y la relación del contaminante con las variables meteorológicas y su impacto.

Realizar una revisión exhaustiva de lo sucedido con las estaciones cercanas a la zona industrial de Toluca, ya que se observaron concentraciones mayores a 5 ppm en las primeras horas del día, con el propósito de regular las emisiones de la industria.

También buscar una mejor regulación de emisiones de contaminantes dañinos para salud, considerando a la EPA y la OMS con un límite máximo permisible de CO de 9 ppm.

Implementar políticas públicas que permitan informar y prevenir a la población al respecto de los daños a la salud derivados de una inadecuada calidad del aire y las repercusiones de ésta no solo para la salud de los seres humanos sino en general al medio ambiente.

Bibliografía



Bibliografía

Amable, I. y otros, 2017. *Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud*. *Revista Médica Electrónica*, 39(5), pp. 1160-1170.

Benavides B., H. O. & León A., G. E., 2007. *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. [En línea]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd> [Último acceso: 24 marzo 2016].

Caballero, M., Lozano, S. & Ortega, B., 2007. *Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático; una perspectiva desde las Ciencias de la Tierra*. *Revista Digital Universitaria*, pp. 2-12.

Cámara de Diputados, 1917. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. DF.: DOF.

Cámara de Diputados, 1998. *Ley General de Equilibrio y Protección al Ambiente*, México: DOF.

Camilloni, I., Vera, C. & Kornbliht, A., s/a. *Ciencias Naturales, La Atmósfera. Explora: Las Ciencias en el Mundo Contemporáneo*, pp. 1-16.

Chamba, F. & Chunchu, J., 2001. *Estudio de la Variabilidad Espacial y Temporal de la Precipitación y Temperatura, Ligada al Cambio Climático, en la Provincia de Loja*. Loja, Ecuador: universidad Nacional de Loja.

CONANP, sf. *Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación; Ciénegas del Lerma*. [En línea]. Disponible en: https://simec.conanp.gob.mx/ficha_pdf.php?anp=20®=

CRANA, 2016. *Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra*. [En línea]. Disponible en: http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/monaxido-carbono [Último acceso: 2 octubre 2018].

Cuatecontzi, D., Gasca, J., González, U. & Guzmán, F., 2004. *Sustentabilidad del sector transporte*. En: SEMARNAT, ed. *Cambio Climático: una visión desde México*. México: INE, pp. 412-422.

de la Cruz, F., Furet-Bridón, N., Turtós-Carbonell, L. & Lorente-Vera, M., 2011. *La dispersión atmosférica de contaminantes en una zona industrial de Cuba*. Revista CENIC., 42(2-3), pp. 1-7.

DOF, 1993a. *NOM-021-SSA1-1993*. México.

DOF, 1993. *NOM-034-ECOL-1993*. México.

DOF, 2012. *NOM-156-SEMARNAT-2012*. México.

Domínguez Arce, W., 2015. *Representación espacial por interpolación con Kriging de los contaminantes criterio para analizar la situación de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca en el año 2011*. Toluca(México).

Ferrer, J. & Escalante, R., 2009. *Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Economía Informa , septiembre-octubre(360), pp. 22-39.

García, M. y otros, 2012. *Las Inversiones Térmicas y la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de Guadalajara (México)*. Investigaciones Geográficas, Issue 58, pp. 9-29.

GEJ, 2015. *Informe 2014, Calidad del aire*. [En línea]. Disponible en: <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/reportes/ReporteAire2014.pdf>

GEJ, 2016. *Informe 2015 Calidad del aire*. [En línea]. Disponible en: <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/reportes/ReporteAire2015.pdf>

GEM; SEMARNAP, 1997. *Aire Limpio Programa para el Valle de Toluca 1997-2000*. México: SEMARNAP.

GEM, 2007. *NTEA-007-SMA-DS-2006*. Gaceta del Gobierno, 05 junio, pp. 1-12.

GEM-SMA, 2004. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2004*, Estado de México: Gobierno del Estado de México.

GEM-SMA, 2007. *Aire limpio: Programa para el Valle de Toluca 2007-2011*. Tlanepantla, Edo. Méx: GEM.

GEM-SMA, 2012a. *Inventario de Emisiones a la Atmósfera del Estado de México 2006*. Tlanepantla de Baz, México(México): GEM.

GEM-SMA, 2012. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire; Valle de Toluca 2012-2017*. Metepec, Méx.: GEM.

Global, C. C., 2015. *Cambio Climático Global*. [En línea]. Disponible en: <http://cambioclimaticoglobal.com/que-es-el-cambio-climatico> [Último acceso: 03 marzo 2016].

Gobierno de la Rioja, 2016. *Monóxido de carbono*. La rioja.org. [En línea]. Disponible en: <https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/atmosfera/calidad-aire/evolucion-principales-contaminantes/monoxido-carbono> [Último acceso: 20 octubre 2018].

Gómez, R., 2000. *Formación de Ozono por descargas eléctricas atmosféricas*. Meteorología Colombiana, marzo, Issue 1, pp. 71-74.

Hernández, J., Madrigal, D. & Morales, C., 2004. Comportamiento del monóxido de carbono y el clima en la ciudad de Toluca, de 1995 a 2001. *Ciencia Ergo Sum*, pp. 263-274.

Hernández, S., Fernández, C. & Baptista, P., 2010. *Metodología de la investigación*. Quinta ed. México: Mc Graw Hill.

INECC, 2015. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Cambio Climático en México*. [En línea]. Disponible en: <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-cambio-climatico> [Último acceso: 03 marzo 2016].

INEGI, 2008. *Conjunto de datos vectoriales Unidades Climáticas Escala 1:1 000 000*, México: INEGI.

INEGI, 2010. *Censo de Población y Vivienda 2010*. [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx> [Último acceso: 23 mayo 2016].

INEGI, 2011. *Clasificación de Actividades Económicas*, México: INEGI.

INEGI, 2016a. *Áreas Geoestadísticas municipales 2016, Escala 1:250 000*, México: INEGI.

INEGI, 2016b. *División política estatal 2015, Escala 1:250 000*, México: INEGI.

INEGI, 2016. *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, Serie VI, capa unión, Escala 1:250 000*, México: INEGI.

INEGI, 2017. *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 2017*. [En línea]. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>

INEGI, 2018a. *Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos; Estadísticas de Transporte*. [En línea]. Disponible en: <http://sc.inegi.org.mx/cobdem/resultados.jsp?w=62&Backidhecho=98&Backconstem=96&constembd=028&tm=%27Backidhecho:2>

INEGI, 2018. *Conjunto de datos vectoriales de información topográfica Escala 1:250 000 Serie V*, México: INEGI.

IPCC, 2014. *Comunicado de prensa IPCC: Las emisiones de gases de efecto invernadero se aceleran a pesar de las medidas para reducirlas*, s.l.: IPCC.

López Gigosos, M., 2009. *Contaminación Atmosférica, Morbilidad y Mortalidad en la ciudad de Albacete* (Año 2005). *Revista Clínica de Medicina de Familia*, 2(8), pp. 392-399.

Machado, A. y otros, 2007. *Determinación y estudio de dispersión de las concentraciones de monóxido de carbono en la zona oeste de la ciudad de Maracaibo*, Venezuela. *Multiciencias*, 7(2), pp. 115-125.

Ministerio de Agricultura y Pesca, A. y. M. A., 2016. *Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes*. [En línea]. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/CO-Monoxido-de-carbono,15589,11,2007.html> [Último acceso: 07 enero 2017].

Molina , L. & Molina, M., 2005. *La Calidad del aire en la Megaciudad de México. Un enfoque integral*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.

Montoya, M., Morales, A. & Olaya, J., 2005. *Estimación no-paramétrica de curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO₂ y SO₂* en. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, Volumen 3, pp. 23-27.

Ñaña, E., 2014. *Variación temporal de la concentración de monóxido de carbono usando datos del sensor MOPITT en las regiones costa, sierra y selva del Perú*. *Apuntes de ciencia y sociedad*, 4(2), pp. 213-221.

Olaya, J. y otros, 2014. *Modelación no paramétrica de la contaminación promedio octohoraria del aire debida al Monóxido de Carbono y al Ozono Troposférico*. *Ingeniería y Competitividad*, 16(1), pp. 147-157.

Olivo, M. & Soto-Olivo, A., 2010. *Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial*. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, pp. 221-230.

OMS, 2006. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.

ONU, 1992. *Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*, Nueva York: s.n.

ONU, 1998. *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, Kioto

Ortega Martínez, I., 2009. *Espectroscopia FTIR de absorción solar y lunar para la determinación en columna de CO en la capa de mezcla de la Ciudad de México*. México: UNAM.

Porto, G. P., 2009. *El calentamiento global y las emisiones de carbono*. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428493007> [Último acceso: 21 marzo 2016].

RAMA, 2014. *Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT*. [En línea]. Disponible en: <http://rama.edomex.gob.mx/que-es-red> [Último acceso: 21 marzo 2016].

RAMA, 2018. *Datos de contaminantes criterio y variables meteorológicas de la RAMA-ZMVT 2011-2017*, Toluca: GEM-SMA.

Ramos, S., Bautista, R. & Valdez, A., 2010. *Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México*. *Universidad y Ciencia*, 14(57), pp. 65-80.

REITEC, 2002. *Humedad Relativa*. [En línea]. Disponible en: <http://www.reitec.es/Pdf/agua02.pdf> [Último acceso: 05 abril 2016].

Romero, H. y otros, 2010. *Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile*. *EURE*, 36(109), pp. 35-62.

Romero, M., Diego, F. & Álvarez, M., 2006. *La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud*. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), pp. 1-14.

Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016. *Calidad del Aire en la Ciudad de México 2016*, Ciudad de México: Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo Atmosférico.

SEDESOL, 2010. *Delimitación de las Zonas Metropolitanas en México 2010*. s.l.

SEMARNAT, 2008. *Subsistema del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera de México*. [En línea]. Disponible en: <http://sinea.semarnat.gob.mx/sinea.php?>

SEMARNAT, 2013. *Calidad del aire: Una práctica de vida*. 1a ed. México, D.F.: SEMARNAT.

SEMARNAT, 2016. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. 2015 ed. México: Semarnat.

SEMARNATI, A., s.f. *Contaminación Atmosférica*. [En línea]. Disponible en: <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf> [Último acceso: 25 septiembre 2018].

SEMARNAT, s.f. *Índice Metropolitano de la Calidad de Aire (IMECA)*. [En línea]. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AIRE01_04&IBC_user=dgeia_mce&IBC_pass=dgeia_mce [Último acceso: 03 marzo 2016].

SMN, 2010. *Servicio Meteorológico Nacional: Glosario*. [En línea]. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=154:v&catid=13 [Último acceso: 05 abril 2016].

SMN, 2014. *Bases de Datos Climatológicos*, s.l

Téllez, J., Rodríguez, A. & Fajardo, A., 2006. *Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental*. SciELO, 8(1), pp. 108-117.

Trejo Vázquez, R., 2006. *IMECA: Indicador del Grado de Contaminación de la Atmósfera*. Conciencia Tecnológica, Issue 31, pp. 50-53.

UANL, 2016. *Fuentes de las que provienen los diferentes contaminantes atmosféricos en el área metropolitana de Monterrey.*, Monterrey: UANL.

Wark, K. & Warner, C. F., 2000. *Contaminación del aire: Origen y control*. México, DF.: Limusa.

WHO, 2014. *Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012*, Suiza: WHO.

Anexos



Anexos

Anexo 1. Datos utilizados para la realización de las relaciones

| Hora | CO | Temperatura | Radiación Solar |
|-------------|------------|--------------------|------------------------|
| 1 | 0.94916747 | 11.3731958 | 0.00213134 |
| 2 | 0.84998122 | 10.7862488 | 0 |
| 3 | 0.78437614 | 10.2609805 | 0.00013332 |
| 4 | 0.74860633 | 9.76941693 | 0.00066587 |
| 5 | 0.75270151 | 9.32097705 | 0.01571029 |
| 6 | 0.88324809 | 8.91234785 | 0.01971231 |
| 7 | 1.33593149 | 8.57197089 | 0.6040474 |
| 8 | 2.0011417 | 8.78010547 | 35.4169663 |
| 9 | 2.06521837 | 10.8183852 | 162.269108 |
| 10 | 1.66350691 | 13.4891095 | 334.584742 |
| 11 | 1.235051 | 15.8702982 | 499.508051 |
| 12 | 0.93122512 | 17.7867313 | 627.512257 |
| 13 | 0.78732236 | 19.2119055 | 720.079122 |
| 14 | 0.766159 | 20.0597726 | 679.451995 |
| 15 | 0.7479057 | 20.3404318 | 561.397558 |
| 16 | 0.75905142 | 19.966991 | 420.836344 |
| 17 | 0.77757761 | 19.1510652 | 275.867153 |
| 18 | 0.82907283 | 17.9945304 | 144.260431 |
| 19 | 0.96139943 | 16.5469114 | 54.2212331 |
| 20 | 1.06321111 | 15.2208187 | 14.4674115 |
| 21 | 1.1655454 | 14.1727107 | 1.26979472 |
| 22 | 1.19092239 | 13.3553146 | 0.02833577 |
| 23 | 1.16098265 | 12.6308145 | 0.00146238 |
| 24 | 1.06825309 | 11.983092 | 0.00279404 |

Fuente: Elaboración propia con base en RAMA (2018).