

Generación de procedimientos e instrumentos para la creación de un sistema de alerta temprana en el marco del cambio climático y desde una perspectiva de contingencia ambiental atmosférica de la calidad del aire en Zonas Metropolitanas con base en condiciones meteorológicas

Informe Final



Derechos Reservados © 2018

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Todos los derechos están reservados. Ni esta publicación ni partes de ella (informes, mapas, bases de datos) pueden ser reproducidas, almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El análisis y las conclusiones aquí expresadas no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva, de sus Estados Miembros, o del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Documento generado a partir de los resultados de la consultoría realizada por **Raúl Vladimir Hernández Grajales**.
Número de Contrato IC-2016-093

Para mayor información sobre este estudio, consultar con la Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático del INECC.

Citar como:

INECC-PNUD México. 2017. *Generación de un conjunto de procedimientos e instrumentos para la creación de un sistema de alerta temprana en el Marco del Cambio Climático y desde una perspectiva de contingencia ambiental atmosférica de la calidad del aire en las Zonas Metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México con base en las condiciones meteorológicas*. Proyecto 85488 "Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", Raúl Vladimir Hernández Grajales, pp. 75, México.

Contenido

Resumen Ejecutivo	7
1. Introducción.....	10
2. Caracterización del área de estudio	11
3. Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG).....	13
3.1 Propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana desde una perspectiva de contingencia ambiental atmosférica.....	20
3.2 Aplicación de la propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana sobre la Región de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)	21
3.2.1 Condiciones sinópticas y meteorológicas	21
4. Proyecciones de cambio climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara	25
4.1 Precipitación.....	26
4.2 Temperatura máxima	28
4.3 Temperatura mínima.....	30
5. Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM).....	32
5.1 Criterios de referencia con base en los patrones sinópticos.	38
5.2 Propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana desde una perspectiva de contingencia ambiental atmosférica.....	39
5.3 Aplicación de la propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana sobre la región de la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG)	40
5.3.1 Condiciones sinópticas y meteorológicas	40
6. Proyecciones de cambio climático en la Zona Metropolitana de Monterrey	44
6.1 Precipitación	45
6.2 Temperatura máxima	47
6.3 Temperatura mínima.....	49
7. Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).....	51
7.1 Criterios de referencia con base en los patrones sinópticos.....	58
7.2 Propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana desde una perspectiva de contingencia ambiental atmosférica.....	59
7.3 Aplicación de la propuesta para Protocolo de un Sistema de Alerta Temprana sobre la Región de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)	60
7.3.1 Condiciones sinópticas y meteorológicas	60
8. Proyecciones de cambio climático en la Zona Metropolitana del Valle de México	64
8.1 Precipitación.....	65
8.2 Temperatura máxima.....	67
8.3 Temperatura mínima.....	69
9. Conclusiones	71
10. Recomendaciones	72

11. Bibliografía	73
------------------------	----

Lista de Figuras

Figura 1 Temporada de incendios forestales en México (Cartel informativo del Centro Nacional de Prevención de Desastres).	11
Figura 2 Zona Metropolitana de Guadalajara	13
Figura 3 Condiciones medias de enero de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).	15
Figura 4 Condiciones medias de mayo de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).	16
Figura 5. Perfil de temperatura promedio a las 06:00 hrs. "S" (12:00 "Z") del mes de a) enero, y b) mayo para el radiosondeo de la Cd. de Guadalajara (Clave OMM-76612), obtenidos de la base de datos de 2000 al 2016 de la Universidad de Wyoming (weather.uwyo.edu).	17
Figura 6. a) Imagen satelital canal "VIS" con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 08 de febrero de 2017.	18
Figura 7 Variación mensual de precipitación y temperatura promedio de a) Guadalajara, Jal. y b) Tlaquepaque, Jal., utilizando la base de datos de 25 años del sistema CLICOM.	19
Figura 8. Carta sinóptica del 08 de febrero de 2017 a las 06:00 horas locales (http://www.wpc.ncep.noaa.gov)	21
Figura 9 a) Imagen satelital canal "VIS" con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 08 de febrero de 2017a las 13:12 horas locales.	21
Figura 10 Reporte METAR del aeropuerto de la Ciudad de Guadalajara, Jal., del 8 de febrero de 2017.	23
Figura 11 Perfil de temperatura ambiente (línea roja) y temperatura de punto de rocío (línea azul) a las 06:00 y 18:00 hrs. "S" (12:00 y 00:00 "Z") del 08 de febrero de 2017 para radiosondeo de Guadalajara, Jal. (Clave OMM-76612).	24
Figura 12 Ciclo anual de la precipitación y de la temperatura en la Zona Metropolitana de Guadalajara.	25
Figura 13 -Zona Metropolitana de Monterrey	32
Figura 14 Condiciones medias de enero de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).	33
Figura 15 Condiciones medias de mayo de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).	34
Figura 16 Perfil de temperatura promedio a las 06:00 hrs. "S" (12:00 "Z") del mes de a) enero, y b) mayo para el radiosondeo de la Cd. de Monterrey (Clave OMM-76394), obtenidos de la base de datos de 2000 al 2016 de la Universidad de Wyoming (weather.uwyo.edu).	35

Figura 17 a) Imagen satelital canal “VIS” con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 02 de enero de 2017.	36
Figura 18 Variación mensual de precipitación y temperatura promedio a) Monterrey, NL. y b) Cadereyta, NL., utilizando la base de datos de 25 años del sistema CLICOM.....	37
Figura 19 Carta sinóptica del 12 de enero de 2017 a las 06:00 horas locales (http://www.wpc.ncep.noaa.gov)	40
Figura 20 a) Imagen satelital canal “VIS” con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 12 de enero de 2017.....	41
Figura 21 Reporte METAR del aeropuerto de la Ciudad de Monterrey, NL., del 12 de enero de 2017.	42
Figura 22 Perfil de temperatura a las 06:00 (línea roja) y 18:00 (línea azul) horas “S” (12:00 y 00:00 “Z”) del 12 de enero de 2017 para radiosondeo de Mmonterrey, NL. (Clave OMM-76394).	43
Figura 23 Ciclo anual de la precipitación y temperatura en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM).....	44
Figura 24 -Zona Metropolitana del Valle de México	51
Figura 25 Condiciones medias de enero de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).	52
Figura 26 Fig. 26.- Condiciones medias de mayo de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).	53
Figura 27 Perfil de temperatura promedio a las 06:00 hrs. “S” (12:00 “Z”) del mes de a) enero, y b) mayo para el radiosondeo de la Cd. de México (Clave OMM-76679), obtenidos de la base de datos de 2000 al 2016 de la Universidad de Wyoming (weather.uwyo.edu).....	54
Figura 28 Variación mensual de precipitación y temperatura promedio de a) Santa Úrsula, Coapa, Cd. de México y b) San Juan de Aragón, Cd. de México, utilizando la base de datos de 25 años del sistema CLICOM.	55
Figura 29 a) Patrones de imagen de satélite y b) perfiles verticales de humedad para un periodo entre el 16, 17, 18, 19 y 20 de septiembre de 2002.	56
Figura 30 a) Imagen satelital canal “VIS” con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 02 de mayo de 2016.	57
Figura 31. Carta sinóptica del 08 de febrero de 2017 a las 06:00 horas locales (http://www.wpc.ncep.noaa.gov).....	60
Figura 32 a) Imagen satelital canal “VIS” con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 02 de mayo de 2016 a las 13:12 horas locales.	61
Figura 33 Reporte METAR del aeropuerto de la Ciudad de México del 02 de mayo de 2016.	62
Figura 34 Perfil de temperatura ambiente (línea roja) y temperatura de punto de rocío (línea azul) a las 06:00 hrs. “S” (12:00 “Z”) del 08 de febrero de 2017 para radiosondeo de la Ciudad de México (Clave OMM-76679).	63
Figura 35 Ciclo anual de la precipitación y temperatura en la Zona Metropolitana de Valle de México (ZMVM).	64

Lista de Tablas

Tabla 1.- Diagrama de un procedimiento sistemático desde una perspectiva de contingencia ambiental con base en los criterios meteorológicos y estacionales.	20
Tabla 2 Precipitación (mm) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara.	27
Tabla 3.- Temperatura máxima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara.	29
Tabla 4.- Temperatura mínima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara.	31
Tabla 5 Tabla 6 Criterios meteorológicos de referencia para determinar condiciones de riesgo para contingencia ambiental.	38
Tabla 7 Diagrama de un procedimiento sistemático desde perspectiva de contingencia ambiental con base en las condiciones sinópticas y estacionales.	39
Tabla 8 Precipitación (mm) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Monterrey.	46
Tabla 9.- Temperatura Máxima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Monterrey.	48
Tabla 10.- Temperatura Mínimo (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México.	50
Tabla 11.- Criterios meteorológicos para determinar condiciones de riesgo para contingencia ambiental.	58
Tabla 12.- Diagrama de un procedimiento sistemático desde perspectiva de contingencia ambiental con base en los criterios meteorológicos y estacionales.	59
Tabla 13.- Precipitación (mm) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México.	66
Tabla 14.- Temperatura Máxima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México.	68
Tabla 15.- Temperatura Mínimo (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México.	70

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 A) Corriente en chorro (flecha negra) en 250 milibares elongada hacia el sur para el 19 de febrero de 2017 (www.weather.uwyo.edu). B) Trayectoria del Huracán “Jova” del 6 al 12 de octubre de 2011 (www.nhc.noaa.gov).	14
--	----

Resumen Ejecutivo

Este estudio se realizó en el marco del Proyecto Sexta Comunicación Nacional de Cambio Climático y tuvo como objetivo realizar la identificación, compilación, análisis y síntesis de las condiciones atmosféricas históricas, actuales y bajo escenarios de cambio climático, que tienen incidencia en las contingencias ambientales por la mala calidad del aire en las Zonas Metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México.

Debido a los problemas en la mala calidad del aire que se han presentado en las principales Zonas Metropolitanas señaladas, los cuales presuntamente se vienen acentuado de manera más frecuente por condiciones anómalas en la circulación de los vientos por condiciones asociadas a la variabilidad climática y posiblemente al cambio climático, se consideró importante hacer un análisis de este tipo de características atmosféricas que no favorecen la dispersión de los contaminantes en estas ciudades.

Por ello, surgió la necesidad de identificar, compilar y analizar dichas condiciones atmosféricas, con la finalidad de establecer un protocolo de alerta temprana, que de manera oportuna y con una baja incertidumbre permita a las autoridades de los tres órdenes de gobierno implementar medidas efectivas para informar a la población el riesgo y los probables efectos a la salud por la exposición a eventos extremos de concentraciones de contaminantes, así como el restablecimiento de actividades normales por condiciones atmosféricas favorables en la disminución de estas concentraciones.

Este documento constituye el informe final, que integra los análisis y resultados obtenidos a lo largo de la consultoría.

En México, las emisiones de contaminantes y sus concentraciones; así como los factores meteorológicos y geográficos constituyen elementos que agravan la contaminación atmosférica (García G., y otros, 2013), la cual ha deteriorado la calidad del aire en diversas ciudades, entre ellas, la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) y Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Considerando que los niveles de concentración de los diversos contaminantes exhiben variaciones espaciales y estacionales que, por una parte, están relacionados con la distribución e intensidad de las fuentes de emisión y, por otra, con algunos factores meteorológicos (Jáuregui, E., et. al., 1981), se desarrolló un análisis y pronósticos operativos de los patrones sinópticos y condiciones climáticas precursores de la activación de las contingencias ambientales por episodios de máximos de concentración por ozono (O₃) y otros contaminantes en las ZMG, ZMM y ZMVM.

Al analizar las condiciones medias mensuales en los niveles de 250, 500, 850 y 1000 milibares de las variables: viento, velocidad vertical de viento y presión reducida al nivel del mar, se

identificaron los patrones atmosféricos de presión reducida al nivel del mar, viento, flujo de humedad, movimientos ascendentes y descendente de aire en los niveles de 250, 500, 850 y 1000 milibares sobre el territorio nacional, que no favorecieron la generación de nubosidad, lluvia y al transporte de los contaminantes emitidos en las ciudades.

Los perfiles verticales de temperatura mensual para las estaciones de radiosondeo de la Ciudad de Guadalajara (ID WMO 76612), Ciudad de Monterrey (ID WMO 76394) y Ciudad de México (ID WMO 76679) para un periodo desde el año 2000 al 2016, mostraron en todas las regiones inversiones matutinas por radiación en superficie e inversiones térmicas por subsidencia en niveles medios de la atmósfera, que ocasionaron condiciones de estabilidad atmosférica. Esto se refleja en menor capacidad del aire para diluir los gases contaminantes (Jáuregui Ostos, 2000).

El ozono troposférico (O₃) afecta negativamente la salud humana y los ecosistemas, y es un gas de efecto invernadero. Según Jaffe & Wigder, 2012, los incendios forestales son una fuente de O₃; y aun cuando en el análisis no se cuantificó con precisión, se observó por medio de imágenes de satélite, que el humo generado por los incendios forestales sobre diferentes puntos del territorio nacional, arrastrado por el patrón de viento en niveles medios de la atmósfera sobre la ZMG, ZMM y ZMVM contribuyendo a la presencia de este contaminante durante las fases de contingencia ambiental emitida por la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET), Sistema de Monitoreo Ambiental (SIMA) y por la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), respectivamente.

Otro factor importante sobre las condiciones sinópticas considerado para el periodo de diciembre a mayo, es el fenómeno meteorológico de El Niño, que climatológicamente genera una serie de modificaciones a las condiciones atmosféricas que repercuten de manera negativa en el patrón de vientos y en la temporada de lluvias de invierno y primavera-verano, y la canícula, (mínimo de precipitación que corresponde a una menor cantidad de nubes convectivas profundas), lo que permite una mayor incidencia de radiación solar, que favorece la generación de ozono para reacciones fotoquímicas (Jáuregui Ostos, 2000).

Los registros de las contingencias emitidas sobre la ZMG, ZMM y ZMVM, se han presentado por las concentraciones de O₃, principalmente en los meses de secas, con presencia de inversiones térmicas en superficie, vientos débiles en superficie e incendios forestales, por lo que es importante considerar el desplazamiento de los sistemas meteorológicos que se desarrollan en el Caribe, Golfo de México y Pacífico del Este, tales como, ondas tropicales, depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes, definidos por su alto contenido de humedad, extensión de nubosidad que favorece a que la radiación solar se incremente o disminuya y abundantes precipitaciones, que ayudan a disminuir la cantidad de incendios y por consiguiente varíe la intensidad de las reacciones fotoquímicas para la formación de ozono y el proceso de coagulación (gotas de lluvia y aerosoles se atraen) que funciona como un mecanismo de limpieza atmosférica (Chu, 2015).

Aunado a las condiciones meteorológicas adversas, se observó que otro factor importante, considerado como externo, es el humo generado por la gran cantidad de incendios forestales que se presentan sobre el territorio nacional, y que es transportado por los patrones de viento dominantes en niveles medios y altos de la atmósfera sobre las regiones de estudio.

Otro factor importante es la canícula, periodo en el que se presenta un déficit de precipitación, que genera condiciones meteorológicas favorables para una mayor incidencia de radiación solar, que favorecen a las reacciones fotoquímicas para la formación de ozono.

Utilizar los análisis sinópticos y herramientas de pronóstico numérico a corto plazo de los patrones de presión atmosférica, patrones de viento e incendios forestales, así como analizar y pronosticar el comportamiento estacional de la temporada de lluvias y la presencia de la canícula, generan un conjunto de procedimientos e instrumentos para la creación de un sistema de alerta temprana desde una perspectiva meteorológica sobre las zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y valle de México.

De lo anterior se concluye que para las regiones de estudio, los patrones de escala sinóptica, tales como, campos de presión y viento en superficie y en las diferentes capas de la atmósfera analizadas, modularon los patrones meteorológicos locales, que generaron condiciones meteorológicas adversas de estabilidad atmosférica, como inversiones térmicas en superficie y niveles medios de la atmósfera, inhibición de precipitación y formación de nubosidad, y viento débil en superficie, en los periodos en que se activaron las contingencias ambientales.

1. Introducción

La presencia de contaminantes en la atmósfera de las grandes ciudades tiene una estrecha relación con las fuentes de emisión, el terreno y la meteorología de la región (Secretaría de Medio Ambiente, 2009), tal como se ha presentado durante la activación de contingencias ambientales de las Zonas Metropolitanas de Guadalajara (ZMG), Monterrey (ZMM) y del Valle de México (ZMVM) por parte de los sistemas de monitoreo atmosférico.

De acuerdo con las normas mexicanas de calidad del aire, las contingencias ambientales sobre la ZMG y ZMVM son activadas cuando se presenta una concentración de contaminantes, tal como O₃ o partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), así como por riesgo ecológico derivado de actividades humanas o fenómenos naturales que pueden afectar la salud de la población o al medioambiente (Comisión Ambiental de la Megalópolis, 2016).

Para la ZMM, los niveles de contaminación deben alcanzar los 185 puntos IMECA (Índice Metropolitano de Calidad del Aire) y si se presenta una concentración de contaminantes, tal como O₃ o partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀); así como por riesgo ecológico derivados de actividades humanas o fenómenos naturales que pueden afectar la salud de la población o al medioambiente (Gobierno del Estado de Nuevo León, 2017).

Determinar la concentración de cada contaminante es importante contar con una red de monitoreo atmosférico para garantizar el diagnóstico y la vigilancia del estado de la calidad del aire, generando información real, válida y comparable entre las diferentes redes del país, y para ser un instrumento fundamental en el establecimiento de políticas ambientales de protección a la salud de la población y de los ecosistemas (Instituto Nacional de Ecología, 2006).

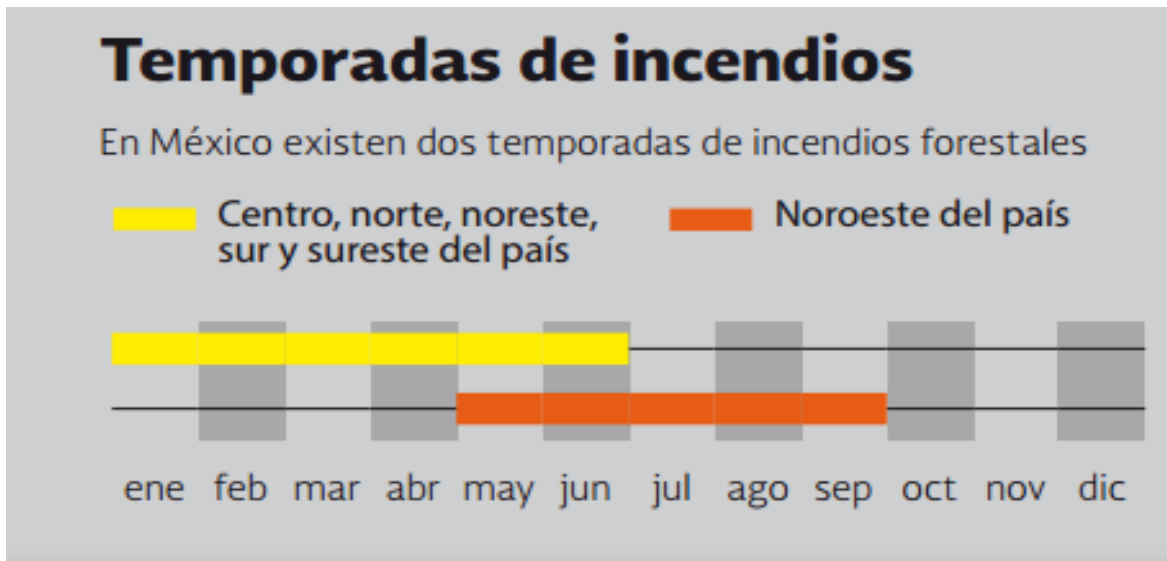
Para hacer frente a la problemática de calidad del aire, se consideraron los patrones meteorológicos y climáticos que favorecen las condiciones necesarias para la concentración de contaminantes ambientales. Recientemente se han desarrollado varios proyectos y estudios para analizar los fenómenos meteorológicos asociados con el comportamiento y evolución en superficie de las concentraciones de contaminantes ambientales para generar pronósticos de calidad del aire, integrando información de las fuentes de contaminación y el conocimiento actual sobre la química y dinámica atmosférica, generando estadísticas y escenarios numéricos a corto plazo (Aiken y otros, 2009).

2. Caracterización del área de estudio

El análisis sinóptico de los campos meteorológicos que afectan estacionalmente el territorio nacional mostró que las condiciones meteorológicas locales y regionales son moduladas en su totalidad por las condiciones sinópticas y climáticas que favorecieron altas concentraciones de contaminantes que activaron las contingencias ambientales sobre la ZMG, ZMM y ZMVM.

Otro factor relevante que se observó como fuente importante para la contribución de contaminantes, son los incendios forestales (Secretaría de Medio Ambiente, 2010), condiciones que pueden ocurrir en cualquier momento; sin embargo, en México se presentan dos temporadas de mayor incidencia: la primera, correspondiente a las zonas centro, norte, noreste, sur y sureste del país, que inicia en enero y concluye en junio. La segunda temporada inicia en mayo y termina en septiembre, y se registra en el noroeste del país (Fig. 1). Ambas coinciden con la época de mayor estiaje (sequía) en el territorio nacional (Comisión Nacional Forestal, 2010).

Figura 1 Temporada de incendios forestales en México (Cartel informativo del Centro Nacional de Prevención de Desastres).



Aunque se tienen como herramienta los modelos numéricos dinámicos y de contaminación atmosférica, para determinar numéricamente aproximaciones de los patrones de variables meteorológicas, dispersión y distribución de contaminación a corto plazo (Secretaría del Medio Ambiente, 2017), es necesario un análisis de las condiciones sinópticas y de la frecuencia de incendios forestales, la elaboración e interpretación del pronóstico meteorológico operativo por pronosticadores meteorólogos para anticipar las condiciones sinópticas que prevalecerán y podrían favorecer a la concentración de contaminantes ambientales a corto plazo, ya que hay un límite de dos semanas para predecir el tiempo, aun teniendo modelos y observaciones perfectas (MIT News, 2008).

Además, uno de los factores climáticos considerados por favorecer a los procesos meteorológicos que determinan directamente las especies precursoras de ozono (O₃), por la disminución de nubes e incremento de radiación, es un déficit de precipitación que se presenta entre el mes de julio y agosto en la región centro-sur de México y hasta Centroamérica llamado canícula (Magaña Rueda, 2004).

3. Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)

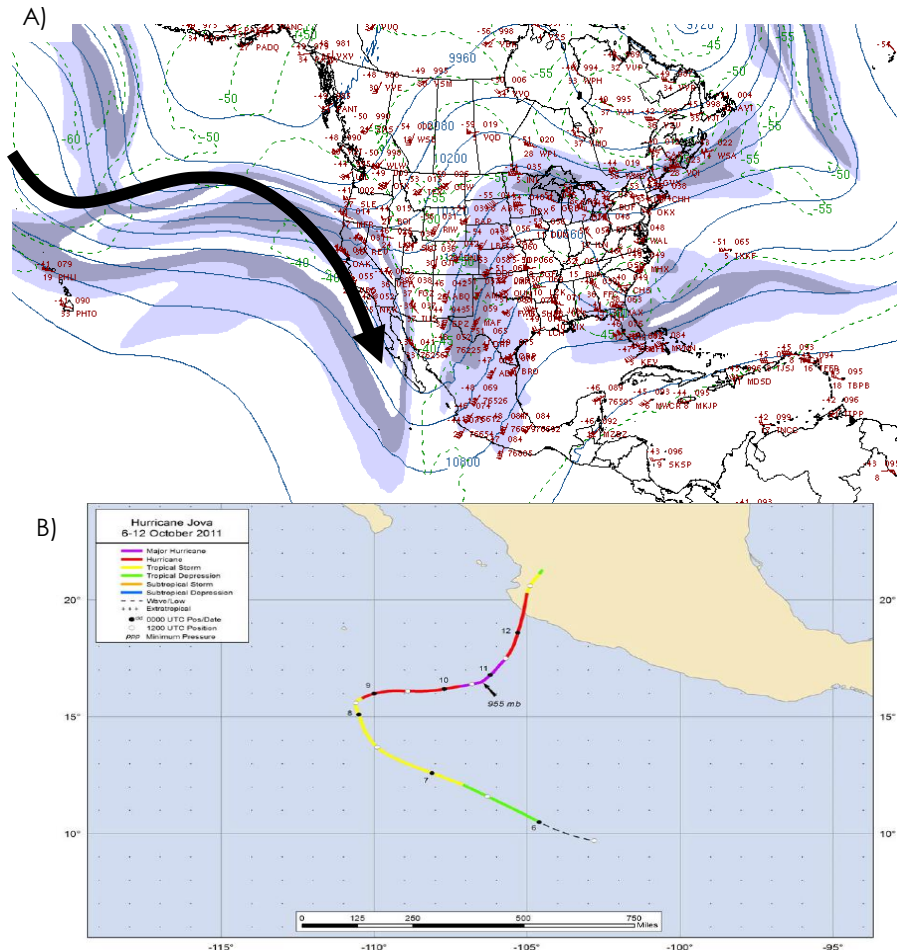
En la Figura 2 se muestra la región de la ZMG, localizada geográficamente a una altitud promedio de unos 1540 msnm. En los últimos 30 años, ha experimentado un acelerado crecimiento urbano e industrial con elevadas emisiones de contaminación atmosférica (Bautista J., García Bátiz, & González R., 1995) (Venegas Herrera, Medina Ortega, & Huizar Castañeda, 2016), situación ha propiciado la implementación de fases de contingencias ambientales. Su orografía compleja la definen cadenas montañosas que limitan un valle semi-cerrado, formando un obstáculo con condiciones atmosféricas estables (García G., y otros, 2013).

Figura 2 Zona Metropolitana de Guadalajara



Estacionalmente la ZMG es afectada por sistemas sinópticos, tales como, altas presiones y corrientes de vientos máximos, en invierno (Ver figura A), mientras que, en verano, el paso de ondas tropicales, ciclones tropicales y tormentas locales (Ver figura B), favorecen el ingreso de humedad y generación de nubosidad; así como la temporada de lluvias sobre la región (García G., y otros, 2013).

Ilustración 1 A) Corriente en chorro (flecha negra) en 250 milibares elongada hacia el sur para el 19 de febrero de 2017 (www.weather.uwyo.edu). B) Trayectoria del Huracán “Jova” del 6 al 12 de octubre de 2011 (www.nhc.noaa.gov).



- A) Corriente en chorro (flecha negra) en 250 milibares elongada hacia el sur para el 19 de febrero de 2017 (www.weather.uwyo.edu)
- B) Trayectoria del huracán “Jova” del 6 al 12 de octubre de 2011 (www.nhc.noaa.gov)

Para obtener las figuras 3 y 4, se analizaron los datos de reanálisis de 1948 al 2016 de los campos de presión, viento y velocidad vertical en los diferentes niveles atmosféricos, encontrando que el periodo más importante es de diciembre a mayo, ya que los patrones sinópticos que afectan la región de la ZMG están sujetos a la influencia, principalmente sistemas anticiclónicos, procesos meteorológicos que determinan directamente las especies precursoras de ozono (O₃), por la subsidencia, calentamiento y compresión adiabática de aire, inhibiendo del desarrollo vertical de nubes y generando una atmósfera más estable.

Figura 3 Condiciones medias de enero de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).

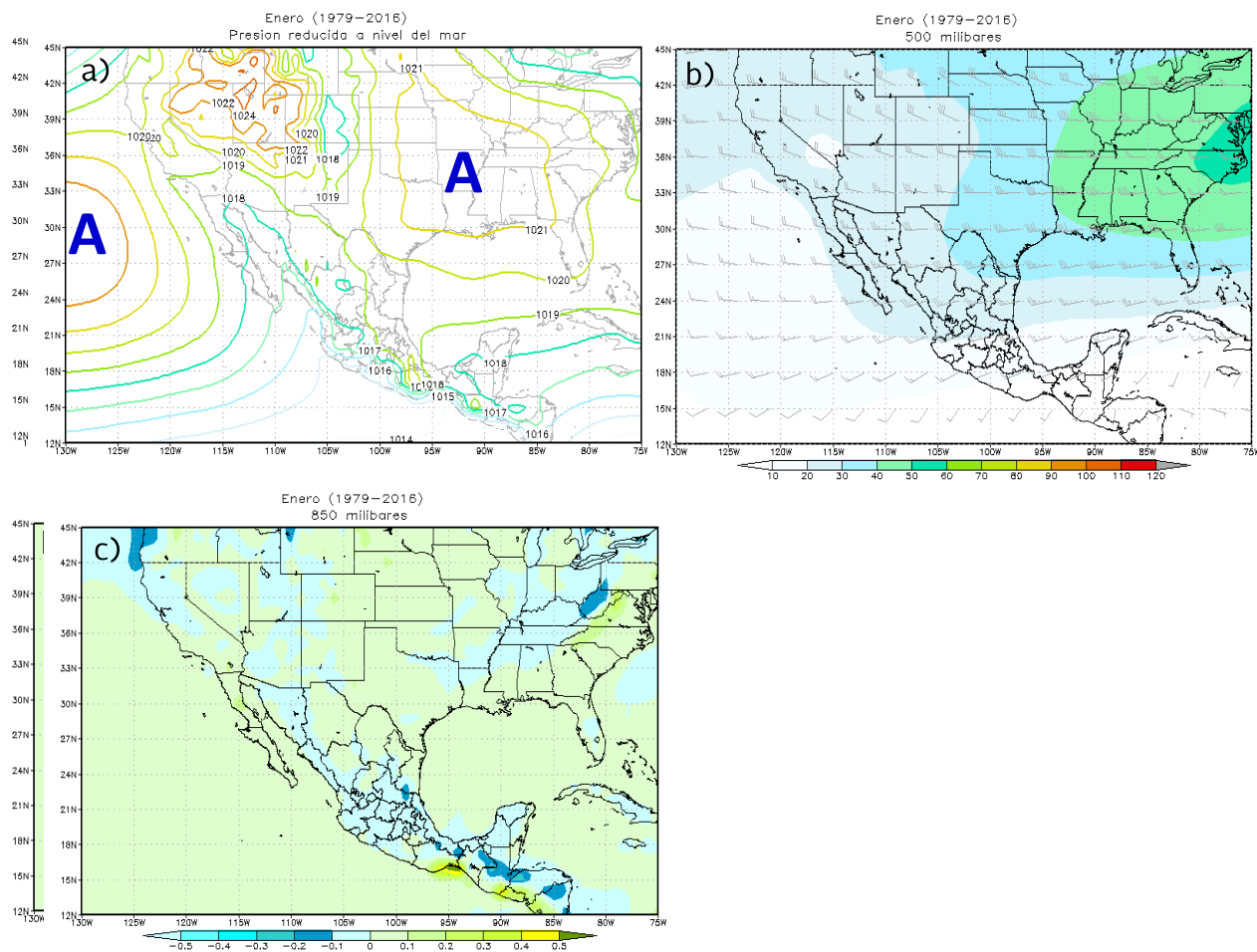
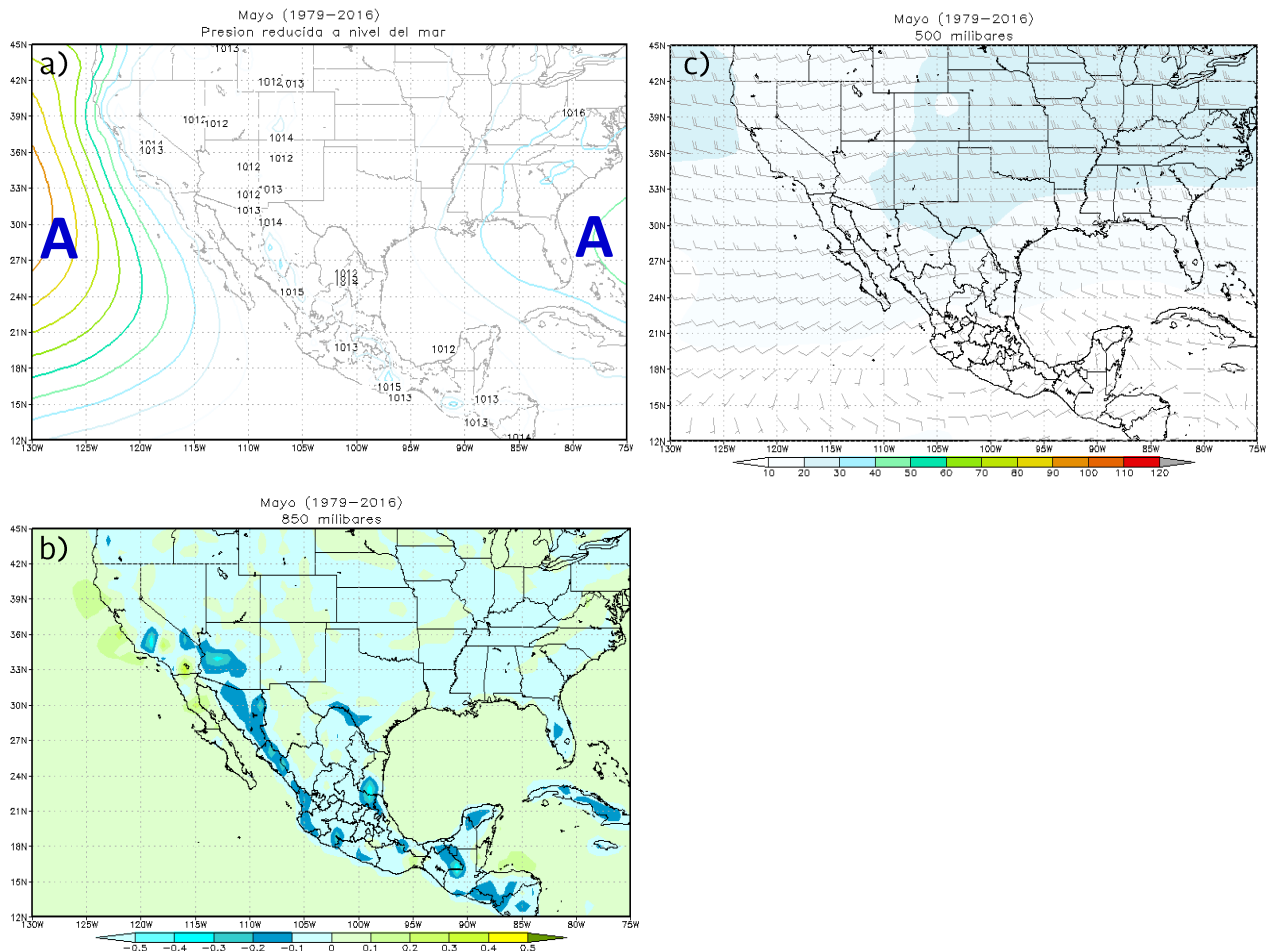
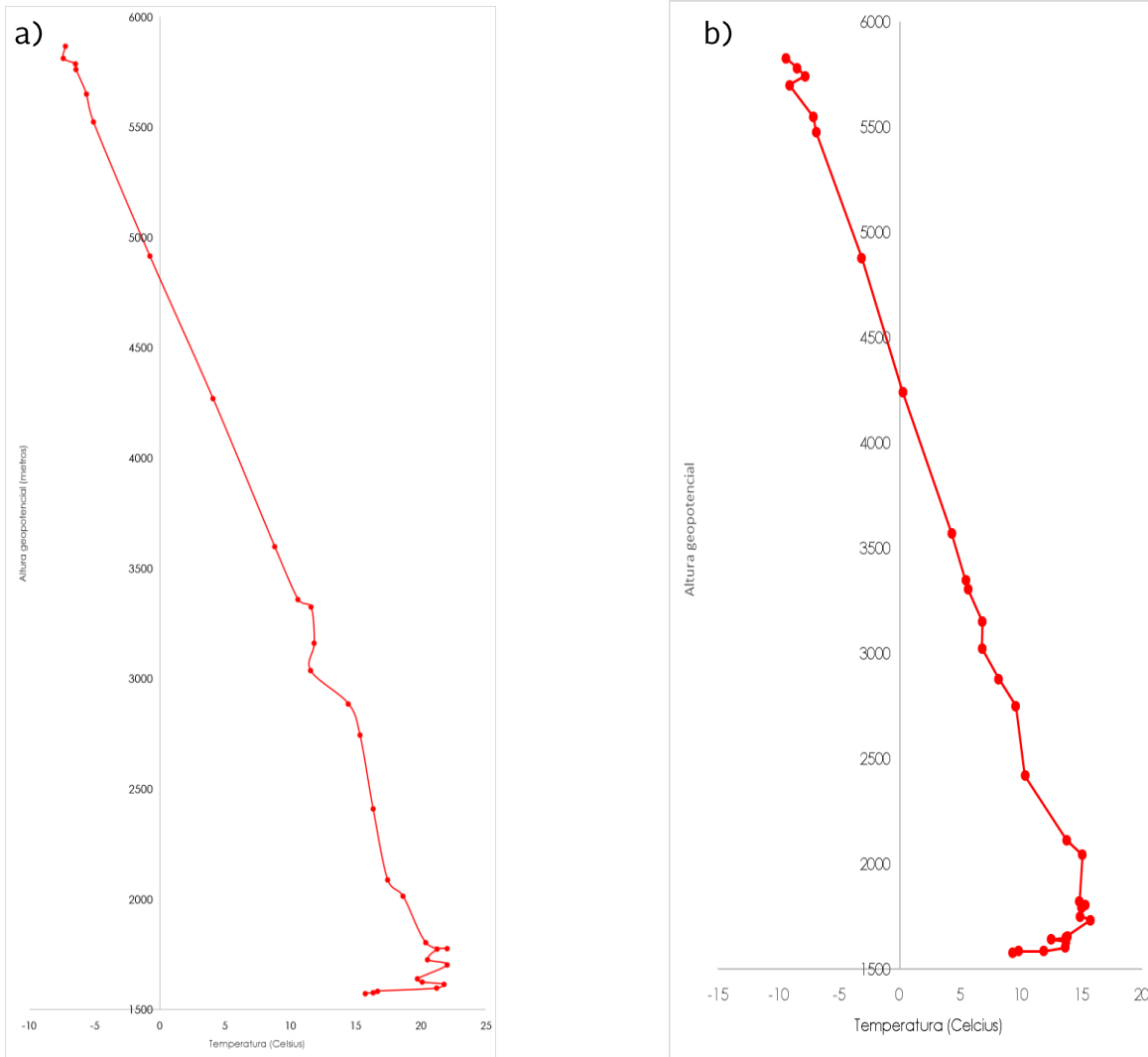


Figura 4 Condiciones medias de mayo de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).



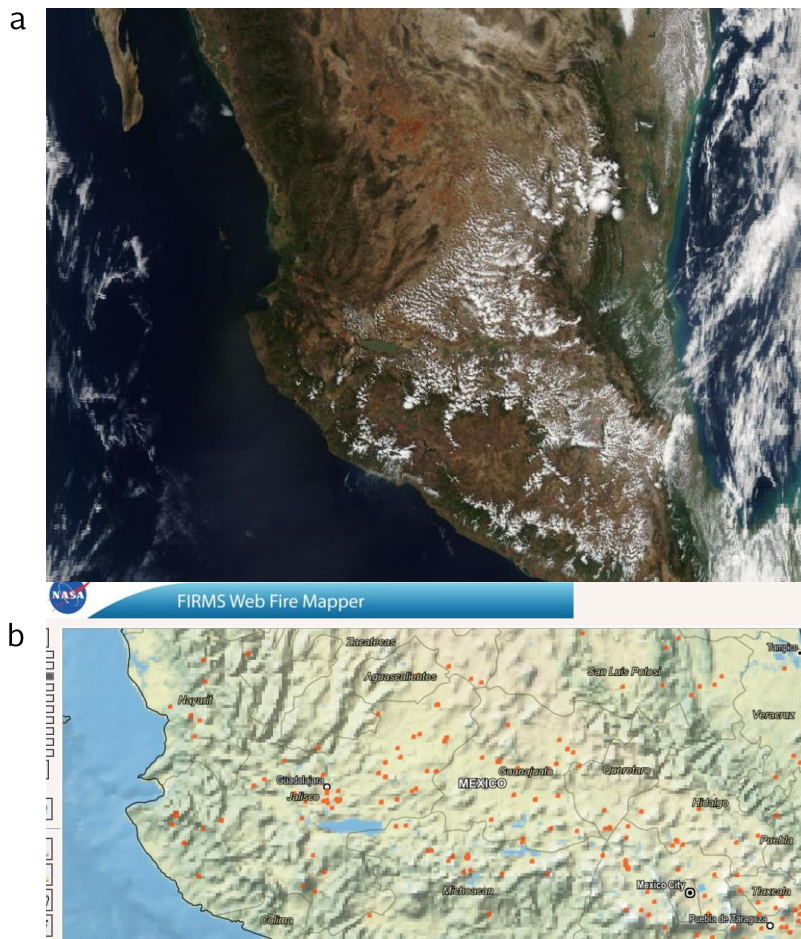
Además, estas condiciones de estabilidad asociadas con los sistemas de alta presión son óptimas para la disminución de nubes e incremento de radiación, favorables para la producción fotoquímica de ozono y generación de inversiones térmicas por radiación y subsidencia que inhiben la dispersión de contaminantes (Fig.5).

Figura 5. Perfil de temperatura promedio a las 06:00 hrs. "S" (12:00 "Z") del mes de a) enero, y b) mayo para el radiosondeo de la Cd. de Guadalajara (Clave OMM-76612), obtenidos de la base de datos de 2000 al 2016 de la Universidad de Wyoming (weather.uwyo.edu).



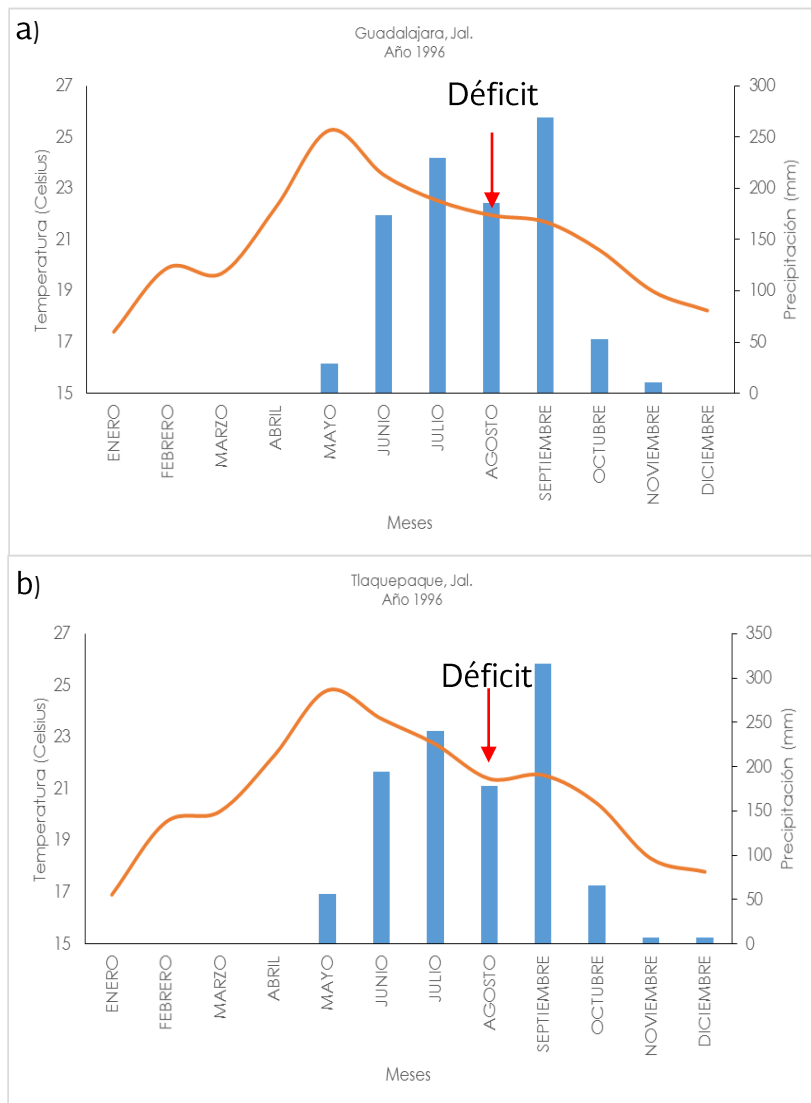
Otro factor externo importante que favorece el incremento de contaminantes atmosféricos, es el humo generado por los incendios forestales, monitoreados desde los sistemas de monitoreo earth data de la NASA (Fig. 6) que estacionalmente se representan, pero que ante eventos climáticos como El Niño, pueden agravar las condiciones ante la disminución de las precipitaciones que incluyen menos humedad en el suelo y frecuentemente, pérdidas de miles de hectáreas de bosques, como lo ocurrido en abril y mayo de 1998, donde se vivió uno de los peores desastres ecológicos de nuestro país, al ocurrir un gran número de incendios por la gran sequedad del terreno (Cedeño & Medina, 1999).

Figura 6. a) Imagen satelital canal "VIS" con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 08 de febrero de 2017.



Las condiciones ambientales mejoran con la llegada del ciclo anual de las lluvias de verano, aunque ante la aparición de dos máximos en la precipitación de verano, uno en julio y otro en septiembre, existe un mínimo relativo en agosto (Fig. 7) sobre la ZMG conocido como sequía intraestival, canícula o veranillo. Durante agosto, tal mínimo de precipitación se asocia a una menor cantidad de nubes convectivas profundas, lo que permite la mayor incidencia de radiación solar y por lo tanto una mayor temperatura de superficie, importante para la generación de O_3 , y gran sequedad del terreno que favorece un gran número de incendios (Cedeño & Medina, 1999).

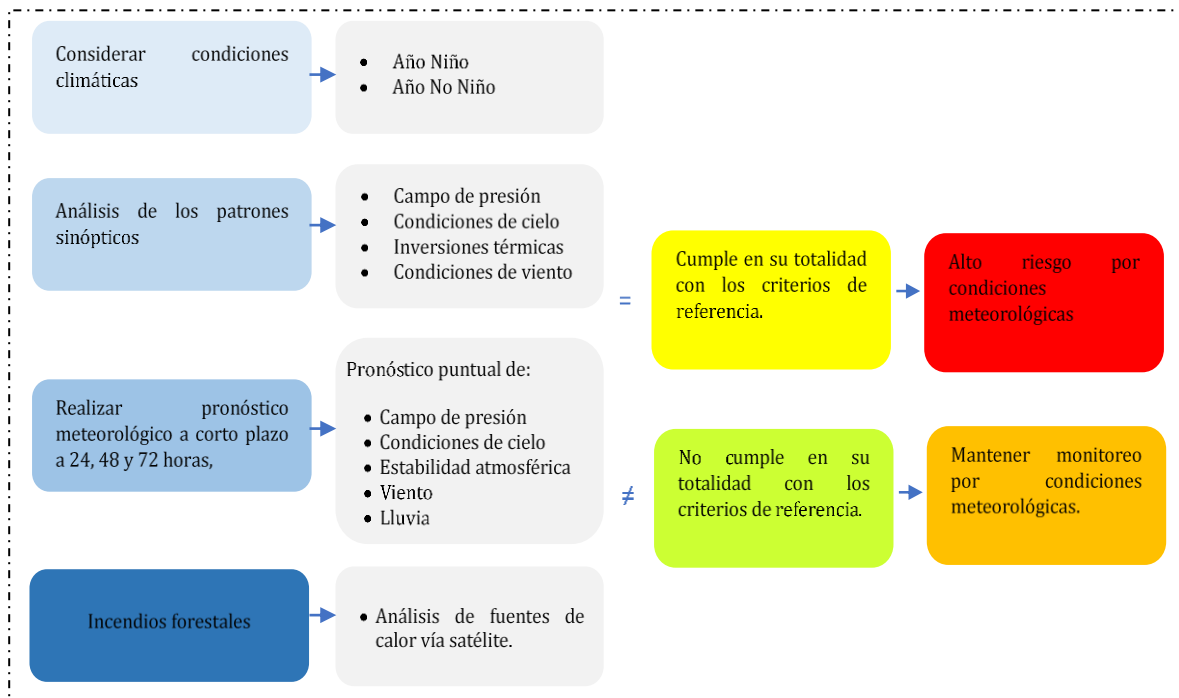
Figura 7 Variación mensual de precipitación y temperatura promedio de a) Guadalajara, Jal. y b) Tlaquepaque, Jal., utilizando la base de datos de 25 años del sistema CLICOM.



3.1 Propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana desde una perspectiva de contingencia ambiental atmosférica.

En la tabla 1, se proponen las instrucciones y/o recomendaciones en este protocolo a partir de los resultados obtenidos de los análisis realizados de las condiciones medias sinópticas y los patrones meteorológicos que se presentaron cuando se activaron las contingencias ambientales en la zona metropolitana de Guadalajara, y son aplicables como apoyo para la toma de decisiones en todo aquello que no contravenga a leyes, reglamentos, normativas, disposiciones e instructivos que autoridades u organismos públicos competentes aplican.

Tabla 1.- Diagrama de un procedimiento sistemático desde una perspectiva de contingencia ambiental con base en los criterios meteorológicos y estacionales.



3.2 Aplicación de la propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana sobre la Región de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)

El 8 de febrero de 2017, se activó la contingencia ambiental debido a la concentración de PM₁₀ por parte del sistema de monitoreo atmosférico de Jalisco.

3.2.1 Condiciones sinópticas y meteorológicas

Continuando con las condiciones medias de presión que dominan la región occidental del territorio nacional para el mes de febrero, el día 8 de citado mes de 2017, se estableció una dorsal de alta presión sobre la ZMG (Fig. 8), que originó una atmósfera estable y cielo despejado, con poca humedad, que aunado al humo generado por la presencia de incendios forestales asociados a los puntos de calor (Fig. 9) en los alrededores, ocasionaron condiciones meteorológicas y ambientales adversas el día que se activó la contingencia ambiental.

Figura 8. Carta sinóptica del 08 de febrero de 2017 a las 06:00 horas locales (<http://www.wpc.ncep.noaa.gov>)

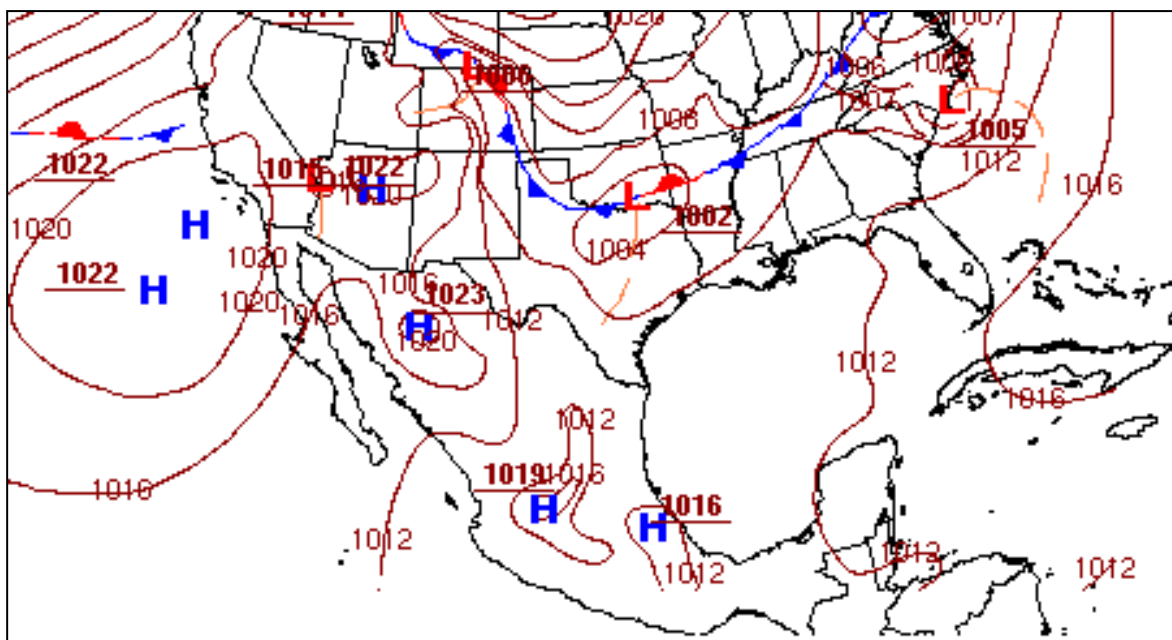


Figura 9 a) Imagen satelital canal "VIS" con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 08 de febrero de 2017a las 13:12 horas locales.



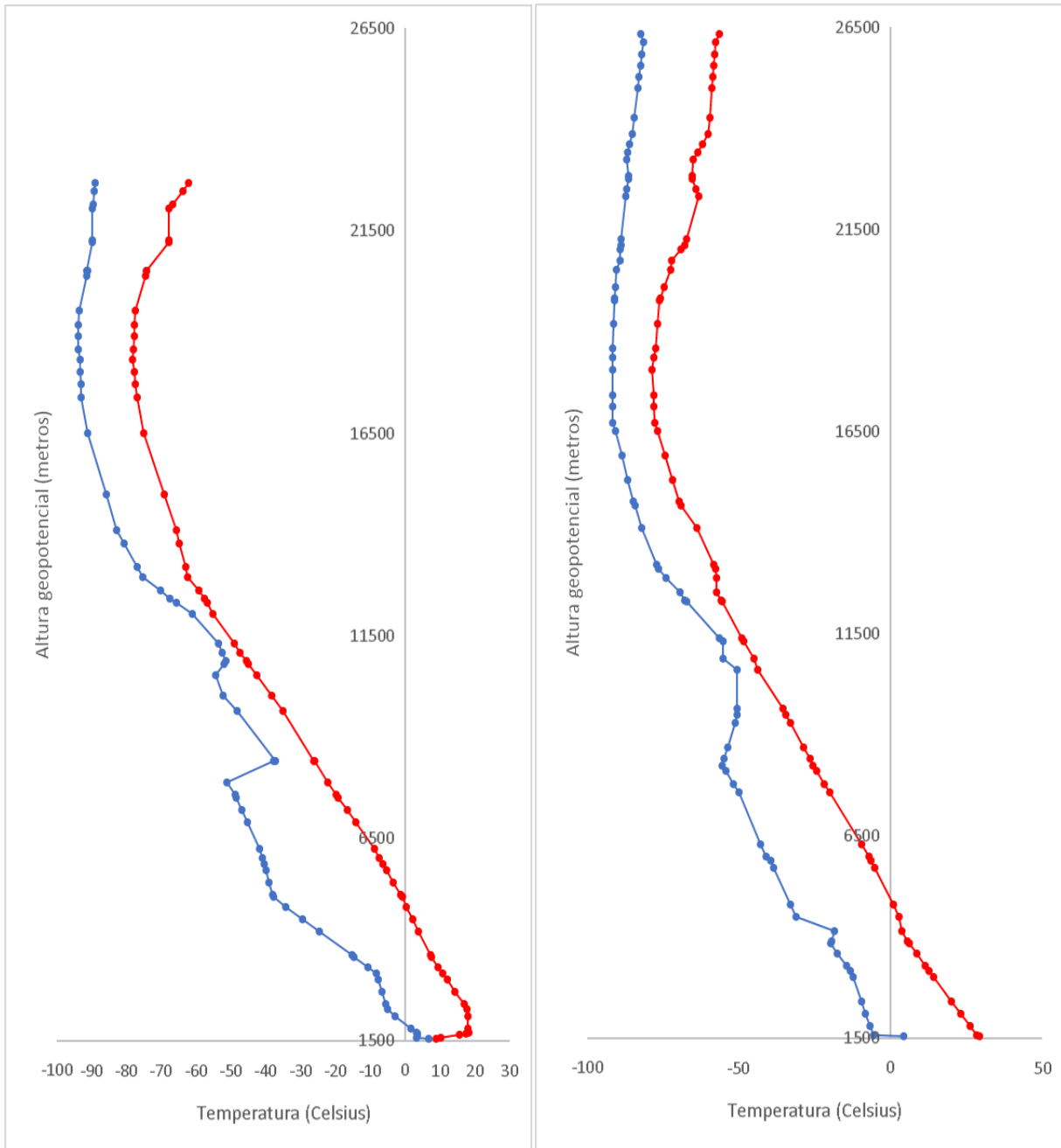
El reporte METAR (MMGL) registro de vientos débiles (Fig. 10); asimismo para determinar el contenido de humedad y perfil de temperatura, se graficó la temperatura ambiente y de punto de rocío, generando una inversión térmica matutina y una columna vertical seca, más profunda, por lo tanto, más difícil de romper (Fig. 11), favoreciendo a mayor acumulación de los contaminantes en la zona metropolitana de la Guadalajara.

Figura 10 Reporte METAR del aeropuerto de la Ciudad de Guadalajara, Jal., del 8 de febrero de 2017.

```
#####
# Reporte METAR - MMGL #
# Don Miguel / Guadalaj (Mexico) #
# WMO index: 76612 #
# Latitude 20-31N. Longitude 103-19W. Altitude 1528 m. #
# from 02/07/2017 12:00 to 02/09/2017 12:59 UTC #
#####
```

Fecha/hora "Zulú"	Dirección e intensidad	Cielo despeja
201702090050	METAR MMGL 090050Z 11003KT 8SM SKC 25/M05 A3007 RMK CI=	
201702082344	METAR MMGL 082344Z 11004KT 8SM SKC 29/M07 A3006 RMK SLP063 52004 957 CI=	
201702082244	METAR MMGL 082244Z 36007KT 7SM SKC 30/M08 A3005 RMK HZY CU-CI=	
201702082145	METAR MMGL 082145Z 03008KT 7SM SKC 30/M04 A3006 RMK HZY FU-S CU/CI=	
201702082045	METAR MMGL 082045Z 13007KT 8SM SKC 29/M03 A3008 RMK SLP072 57034 960 HZY CI=	
201702081949	METAR MMGL 081949Z 34003KT 6SM FEW300 28/M03 A3012 RMK 8/001 HZY=	
201702081852	METAR MMGL 081852Z 00000KT 6SM FEW300 26/M03 A3016 RMK 8/001 HZY=	
201702081747	METAR MMGL 081747Z 01004KT 6SM SKC 24/00 A3020 RMK SLP116 57004 958 HZY ISOL CI=	
201702081645	METAR MMGL 081645Z 00000KT 6SM SKC 21/04 A3021 RMK HZY=	
201702081550	METAR MMGL 081550Z 10003KT 7SM SKC 17/01 A3020 RMK HZY=	
201702081452	METAR MMGL 081452Z 00000KT 7SM SKC 12/00 A3019 RMK SLP135 52023 958 HZY=	
201702081350	METAR MMGL 081350Z 00000KT 8SM SKC 05/00 A3016 RMK ISOL AC=	
201702081254	METAR MMGL 081254Z 00000KT 8SM FEW300 05/M01 A3014 RMK 8/001=	
201702081141	METAR MMGL 081141Z 00000KT 8SM FEW300 06/00 A3011 RMK SLP099 52002 973 8/001=	

Figura 11 Perfil de temperatura ambiente (línea roja) y temperatura de punto de rocío (línea azul) a las 06:00 y 18:00 hrs. "S" (12:00 y 00:00 "Z") del 08 de febrero de 2017 para radiosondeo de Guadalajara, Jal. (Clave OMM-76612).

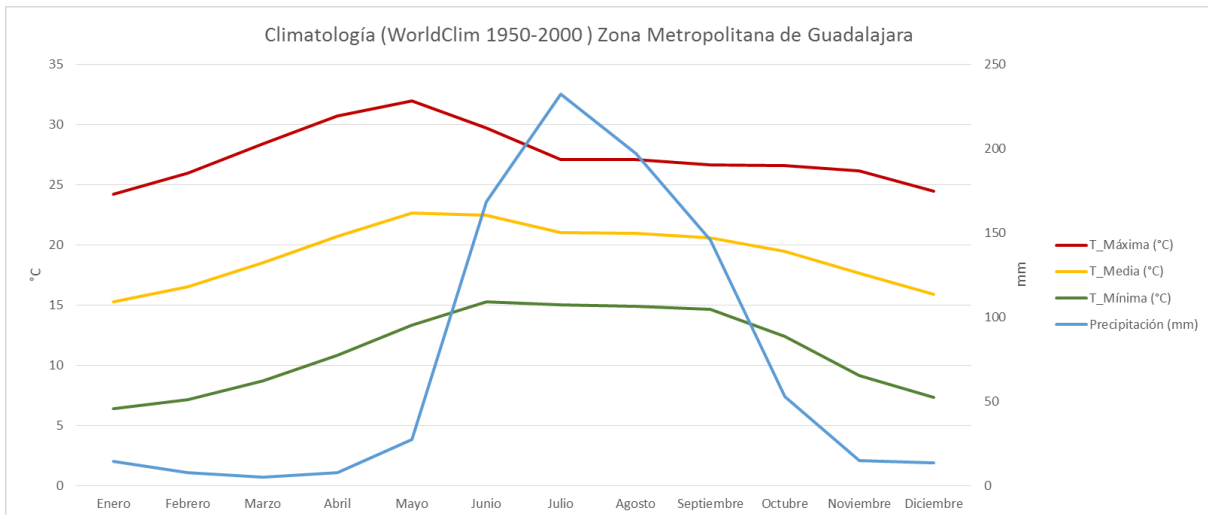


4. Proyecciones de cambio climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara

Con base a los escenarios y climatología (WorldClim 1950 – 2000, con una resolución espacial de 30 arco-segundo) para la Zona Metropolitana de Guadalajara (Fig. 12), se observaron los máximos valores de precipitación durante el verano, principalmente en el mes de julio, los mínimos de precipitación se presentan durante el invierno y la primavera, principalmente en el mes de marzo. Durante la primavera se presentan las temperaturas más altas, siendo mayo el mes más caluroso. En invierno se presentan las temperaturas más bajas, siendo enero el mes más frío.

A partir del invierno comienza a subir rápidamente la temperatura y los valores más altos se presentan cuando se tiene un mínimo en precipitación durante la primavera. Cuando comienzan la temporada de lluvias en el verano, se observa una disminución de la temperatura. La grafica de la lluvia tiene una forma gaussiana, en donde se tiene un solo máximo de precipitación, y se observa claramente la temporada de lluvias y la temporada de secas, la cual se ve influenciada por la zona de convergencia intertropical.

Figura 12 Ciclo anual de la precipitación y de la temperatura en la Zona Metropolitana de Guadalajara.



4.1 Precipitación

En la tabla 2 se presenta los valores de las anomalías, la climatología y las proyecciones totales de la precipitación de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Las anomalías más grandes representadas por los cuatro modelos de circulación general cuatro modelos de circulación general (CNRMCM5, HADGEM2-ES, MPI-ESM-LR y GFDL-CM3) y los escenarios radiativos RCP 4.5 y 8.5, para los periodos histórico, futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099), se observó en el futuro lejano tanto en el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5, que durante la mayor parte del año los modelos tienden a disminuir la precipitación con la excepción de los meses del otoño en donde se presentan anomalías positivas.

De acuerdo a los modelos de circulación general, en la proyección total las estaciones más secas son invierno y primavera, mientras que en verano se mantienen los máximos de precipitación, patrón que se mantiene bajo los dos escenarios y en todos los periodos de tiempo, siendo el futuro cercano en donde los cambios son más sutiles con respecto a la climatología, y el futuro lejano se presenta más extremo, resaltando el escenario RCP 8.5.

Tabla 2 Precipitación (mm) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Precipitación (mm) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara															
Mes	Modelo	Escenario	Anomalía						Clima	Proyección Total					
			RCP 4.5			RCP 8.5				RCP 4.5			RCP 8.5		
			Año	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069		2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069
Enero	CNRMCM5		15.11	-12.44	-9.61	-5.84	-22.34	-16.82	14.48	29.59	2.04	4.87	8.64	-7.86	-2.34
	MPI-ESM-LR		-4.94	-4.64	-0.68	-4.14	-7.77	-22.19	14.48	9.54	9.84	13.80	10.35	6.71	-7.71
	HADGEM2-ES		-13.01	-8.87	-22.52	2.32	-7.15	-20.33	14.48	1.47	5.61	-8.04	16.80	7.33	-5.85
	GFDL-CM3		-15.90	-7.71	-19.10	-17.16	2.13	-30.17	14.48	-1.41	6.77	-4.62	-2.68	16.62	-15.69
Febrero	CNRMCM5		-4.32	1.78	-12.22	-2.73	-10.01	-18.74	7.64	3.32	9.42	-4.58	4.91	-2.38	-11.10
	MPI-ESM-LR		2.07	-8.70	-10.42	-2.18	-12.96	-20.97	7.64	9.71	-1.06	-2.79	5.46	-5.32	-13.33
	HADGEM2-ES		-7.61	-10.29	-14.60	-0.12	-4.55	-14.95	7.64	0.03	-2.65	-6.96	7.52	3.09	-7.31
	GFDL-CM3		-4.19	-4.16	-13.73	-5.23	-14.63	-16.82	7.64	3.44	3.48	-6.09	2.40	-6.99	-9.19
Marzo	CNRMCM5		-6.93	-0.92	0.42	-0.26	-6.16	-5.23	4.98	-1.95	4.05	5.40	4.72	-1.18	-0.25
	MPI-ESM-LR		-1.21	-12.44	-16.88	-4.03	-10.22	-22.18	4.98	3.77	-7.46	-11.90	0.95	-5.25	-17.21
	HADGEM2-ES		-2.10	-8.60	-10.38	-0.74	-7.11	-14.88	4.98	2.88	-3.63	-5.41	4.23	-2.13	-9.90
	GFDL-CM3		-1.10	-7.46	-12.03	-9.00	-10.07	-13.25	4.98	3.88	-2.49	-7.05	-4.03	-5.09	-8.27
Abril	CNRMCM5		5.03	-1.86	4.14	1.30	3.09	-2.89	7.95	12.98	6.09	12.10	9.25	11.05	5.06
	MPI-ESM-LR		-1.53	-8.01	-9.02	-3.89	-11.25	-17.56	7.95	6.42	-0.06	-1.07	4.07	-3.30	-9.61
	HADGEM2-ES		-5.67	-4.41	-2.55	-1.04	-6.17	-6.98	7.95	2.29	3.54	5.41	6.92	1.78	0.97
	GFDL-CM3		-0.61	2.96	-4.02	4.71	-3.83	-6.41	7.95	7.34	10.91	3.94	12.66	4.13	1.55
Mayo	CNRMCM5		23.70	4.95	0.76	1.12	4.85	7.66	27.56	51.26	32.50	28.32	28.68	32.41	35.21
	MPI-ESM-LR		-8.52	-17.60	-24.51	-5.17	-25.29	-60.56	27.56	19.04	9.96	3.05	22.39	2.26	-33.00
	HADGEM2-ES		0.04	-5.75	-4.67	-2.39	-4.22	-5.61	27.56	27.60	21.81	22.89	25.16	23.33	21.95
	GFDL-CM3		3.70	-18.87	-6.42	2.92	-6.86	-23.69	27.56	31.26	8.69	21.14	30.48	20.70	3.87
Junio	CNRMCM5		36.16	9.21	18.65	-0.12	21.41	26.60	168.63	204.79	177.84	187.28	168.51	190.04	195.23
	MPI-ESM-LR		-0.38	-0.75	0.60	-8.81	-3.22	-17.42	168.63	168.25	167.88	169.23	159.82	165.41	151.21
	HADGEM2-ES		3.46	-2.86	9.33	-6.10	-2.11	0.78	168.63	172.09	165.77	177.96	162.53	166.52	169.41
	GFDL-CM3		6.09	0.43	-1.75	4.41	-7.89	-16.67	168.63	174.72	169.06	166.88	173.04	160.74	151.96
Julio	CNRMCM5		-25.73	-17.45	-13.41	8.85	-13.79	-12.36	232.53	206.80	215.08	219.12	241.38	218.74	220.17
	MPI-ESM-LR		-0.94	-8.36	-10.59	-9.44	-11.50	-10.37	232.53	231.59	224.17	221.94	223.09	221.03	222.16
	HADGEM2-ES		1.33	-1.54	9.17	-7.94	-12.97	-15.83	232.53	233.86	230.98	241.69	224.59	219.56	216.70
	GFDL-CM3		3.59	-2.41	-9.69	-8.21	-6.70	-18.90	232.53	236.12	230.12	222.84	224.31	225.83	213.62
Agosto	CNRMCM5		11.18	-24.92	-11.49	21.83	-2.66	-28.84	197.39	208.57	172.48	185.90	219.22	194.73	168.55
	MPI-ESM-LR		-0.26	-3.08	-4.27	-4.41	3.05	-5.87	197.39	197.13	194.31	193.12	192.98	200.44	191.52
	HADGEM2-ES		3.07	-13.83	-11.43	-6.03	-8.74	-40.96	197.39	200.46	183.56	185.97	191.37	188.65	156.43
	GFDL-CM3		7.71	-0.69	14.79	4.60	2.60	-7.53	197.39	205.10	196.70	212.19	202.00	199.99	189.87
Septiembre	CNRMCM5		-6.26	19.08	37.54	17.18	18.81	42.17	145.67	139.41	164.75	183.20	162.84	164.47	187.84
	MPI-ESM-LR		0.35	9.35	21.79	6.03	14.03	31.51	145.67	146.01	155.01	167.45	151.69	159.70	177.18
	HADGEM2-ES		-17.42	-5.46	-11.13	-11.01	-8.26	-20.86	145.67	128.25	140.21	134.53	134.65	137.40	124.80
	GFDL-CM3		2.49	26.02	6.11	21.90	27.09	42.89	145.67	148.15	171.69	151.78	167.57	172.75	188.56
Octubre	CNRMCM5		-4.79	7.45	13.91	0.40	-2.42	3.14	52.97	48.18	60.42	66.88	53.37	50.55	56.11
	MPI-ESM-LR		6.84	9.26	17.89	3.62	10.66	26.63	52.97	59.81	62.23	70.86	56.59	63.63	79.60
	HADGEM2-ES		-9.55	-10.25	-12.43	-6.55	-8.88	-6.45	52.97	43.43	42.72	40.54	46.42	44.09	46.52
	GFDL-CM3		-4.55	27.13	20.07	33.58	5.02	36.97	52.97	48.42	80.10	73.04	86.55	57.99	89.94
Noviembre	CNRMCM5		6.89	8.06	-8.24	-12.92	-13.20	-20.03	14.89	21.78	22.95	6.65	1.97	1.68	-5.14
	MPI-ESM-LR		5.21	6.99	-2.98	-1.25	-3.53	5.74	14.89	20.10	21.88	11.90	13.64	11.36	20.62
	HADGEM2-ES		5.21	18.64	25.70	22.49	19.56	46.79	14.89	20.10	33.52	40.59	37.38	34.44	61.68
	GFDL-CM3		11.09	10.87	4.15	8.33	3.41	29.55	14.89	25.98	25.76	19.04	23.22	18.30	44.43
Diciembre	CNRMCM5		-19.34	-13.15	-22.57	-18.10	-17.55	-34.21	13.52	-5.82	0.38	-9.04	-4.57	-4.03	-20.68
	MPI-ESM-LR		-1.82	-0.36	4.42	-4.99	2.04	-15.80	13.52	11.71	13.16	17.95	8.54	15.57	-2.28
	HADGEM2-ES		1.31	6.00	0.90	3.91	4.22	3.01	13.52	14.84	19.52	14.42	17.44	17.74	16.54
	GFDL-CM3		-37.65	-22.85	-35.49	-28.63	-30.11	-45.56	13.52	-24.13	-9.32	-21.96	-15.11	-16.58	-32.04

4.2 Temperatura máxima

En la tabla 3 se presenta los valores de las anomalías, la climatología y las proyecciones totales de la Temperatura Máxima de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Los dos escenarios y todos los modelos muestran un incremento de las temperaturas máximas, pero cabe resaltar que el escenario 8.5 es el más extremo en todos los periodos de tiempo, principalmente en el futuro lejano en donde las anomalías alcanzan valores que superan los 6.5 °C.

En la climatología el rango de valores va desde 24 °C hasta 32 °C, mientras que en las proyecciones del futuro lejano bajo el escenario RCP 8.5 va desde los 28 °C hasta los 38.5° C, en donde se puede observar que en todos los meses existe un incremento de la temperatura, aun manteniéndose las temperaturas más altas en los meses de abril y mayo.

Tabla 3.- Temperatura máxima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Temperatura Máxima (°C) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara															
Mes	Modelo	Escenario	Anomalía						Clima	Proyección Total					
			RCP 4.5			RCP 8.5				RCP 4.5			RCP 8.5		
			Año	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069		2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069
Enero	CNRMCM5		0.37	1.76	2.05	1.14	2.55	3.97	24.26	24.63	26.02	26.31	25.40	26.81	28.23
	MPI-ESM-LR		1.28	1.96	2.27	1.54	2.77	5.02	24.26	25.54	26.22	26.53	25.80	27.03	29.28
	HADGEM2-ES		1.48	2.52	3.35	1.19	3.41	5.96	24.26	25.74	26.78	27.61	25.45	27.67	30.22
	GFDL-CM3		2.39	3.30	4.24	2.10	3.51	5.96	24.26	26.65	27.56	28.50	26.36	27.77	30.22
Febrero	CNRMCM5		0.41	1.83	2.73	0.94	2.91	4.78	25.96	26.37	27.79	28.69	26.90	28.87	30.74
	MPI-ESM-LR		1.14	2.24	2.66	1.55	2.97	4.94	25.96	27.10	28.20	28.62	27.52	28.93	30.91
	HADGEM2-ES		1.75	2.79	3.86	1.15	3.62	6.40	25.96	27.71	28.75	29.83	27.11	29.58	32.36
	GFDL-CM3		1.79	2.75	3.86	1.85	3.44	5.66	25.96	27.75	28.71	29.83	27.82	29.40	31.63
Marzo	CNRMCM5		1.38	2.03	2.85	1.08	3.19	4.87	28.42	29.80	30.45	31.27	29.50	31.61	33.29
	MPI-ESM-LR		1.38	2.39	2.70	1.60	3.03	5.20	28.42	29.80	30.81	31.12	30.02	31.45	33.62
	HADGEM2-ES		1.80	2.91	4.04	1.42	3.79	6.64	28.42	30.22	31.33	32.46	29.84	32.21	35.06
	GFDL-CM3		1.96	3.28	4.00	2.03	4.01	6.00	28.42	30.38	31.70	32.42	30.45	32.43	34.42
Abril	CNRMCM5		0.82	2.20	2.58	1.09	2.70	4.49	30.71	31.53	32.91	33.30	31.80	33.41	35.20
	MPI-ESM-LR		1.55	2.58	2.98	1.62	3.12	5.44	30.71	32.26	33.29	33.69	32.33	33.83	36.15
	HADGEM2-ES		2.25	3.24	4.11	1.86	4.30	6.78	30.71	32.96	33.95	34.82	32.57	35.01	37.49
	GFDL-CM3		1.97	2.78	3.66	1.77	3.84	5.77	30.71	32.68	33.49	34.37	32.48	34.55	36.48
Mayo	CNRMCM5		0.48	1.73	2.33	1.10	2.28	3.49	32.01	32.49	33.75	34.34	33.12	34.30	35.50
	MPI-ESM-LR		1.53	2.80	3.10	1.52	3.34	5.97	32.01	33.54	34.82	35.12	33.53	35.35	37.99
	HADGEM2-ES		1.92	3.32	3.91	2.08	3.98	6.33	32.01	33.93	35.34	35.92	34.10	36.00	38.34
	GFDL-CM3		2.05	3.94	4.34	1.61	4.13	6.55	32.01	34.06	35.95	36.36	33.63	36.15	38.57
Junio	CNRMCM5		-0.42	1.33	1.22	0.79	1.56	2.62	29.74	29.32	31.07	30.96	30.53	31.30	32.36
	MPI-ESM-LR		1.43	2.41	3.00	1.60	3.26	5.81	29.74	31.17	32.16	32.74	31.34	33.01	35.55
	HADGEM2-ES		1.61	2.94	3.12	1.65	3.65	5.79	29.74	31.35	32.68	32.87	31.40	33.39	35.53
	GFDL-CM3		1.93	3.85	4.21	1.79	4.41	6.99	29.74	31.67	33.59	33.95	31.53	34.15	36.73
Julio	CNRMCM5		0.85	1.58	2.10	0.72	1.92	3.36	27.12	27.97	28.70	29.23	27.84	29.05	30.49
	MPI-ESM-LR		1.46	2.47	3.01	1.75	3.49	5.92	27.12	28.58	29.59	30.13	28.87	30.61	33.05
	HADGEM2-ES		1.14	2.27	2.76	1.58	3.49	5.77	27.12	28.26	29.39	29.89	28.71	30.62	32.89
	GFDL-CM3		1.58	3.11	3.74	1.95	3.80	6.50	27.12	28.70	30.23	30.87	29.07	30.93	33.62
Agosto	CNRMCM5		0.61	1.52	1.82	0.69	2.00	3.48	27.11	27.72	28.63	28.92	27.80	29.11	30.58
	MPI-ESM-LR		1.41	2.55	2.92	1.72	3.49	5.99	27.11	28.52	29.66	30.03	28.83	30.59	33.10
	HADGEM2-ES		1.17	2.25	2.86	1.49	3.19	5.56	27.11	28.28	29.35	29.97	28.60	30.30	32.66
	GFDL-CM3		1.17	3.11	3.38	1.83	3.53	6.01	27.11	28.28	30.22	30.49	28.94	30.64	33.11
Septiembre	CNRMCM5		0.77	1.35	1.47	0.63	1.69	3.01	26.67	27.44	28.02	28.15	27.31	28.36	29.69
	MPI-ESM-LR		1.35	2.28	2.53	1.50	3.07	5.36	26.67	28.02	28.95	29.21	28.17	29.75	32.03
	HADGEM2-ES		1.34	2.27	3.05	1.55	3.10	5.36	26.67	28.02	28.94	29.73	28.23	29.78	32.04
	GFDL-CM3		1.40	2.73	3.35	1.47	3.26	5.48	26.67	28.07	29.40	30.03	28.15	29.93	32.16
Octubre	CNRMCM5		0.86	1.41	1.68	0.76	1.88	3.12	26.62	27.48	28.03	28.29	27.38	28.49	29.74
	MPI-ESM-LR		1.21	2.09	2.25	1.62	3.12	5.03	26.62	27.83	28.70	28.87	28.24	29.73	31.64
	HADGEM2-ES		1.39	2.22	2.84	1.50	3.05	4.94	26.62	28.00	28.84	29.45	28.12	29.67	31.56
	GFDL-CM3		1.90	2.30	3.05	1.08	3.06	4.92	26.62	28.52	28.91	29.67	27.70	29.67	31.54
Noviembre	CNRMCM5		0.84	1.40	1.87	1.03	2.15	3.56	26.16	27.00	27.55	28.03	27.18	28.31	29.72
	MPI-ESM-LR		1.50	2.13	2.47	1.46	3.31	5.35	26.16	27.65	28.29	28.63	27.62	29.47	31.51
	HADGEM2-ES		1.43	2.28	2.71	1.42	3.10	4.76	26.16	27.58	28.44	28.86	27.58	29.26	30.92
	GFDL-CM3		2.05	2.90	3.70	1.71	3.89	5.25	26.16	28.21	29.06	29.86	27.87	30.05	31.41
Diciembre	CNRMCM5		0.87	1.73	1.90	1.01	2.22	4.01	24.47	25.35	26.21	26.37	25.49	26.69	28.49
	MPI-ESM-LR		1.22	2.15	2.38	1.64	3.00	5.15	24.47	25.70	26.62	26.85	26.11	27.47	29.63
	HADGEM2-ES		1.38	2.18	2.89	1.30	3.26	5.18	24.47	25.86	26.65	27.36	25.77	27.73	29.65
	GFDL-CM3		2.40	3.38	3.98	1.98	4.38	6.11	24.47	26.87	27.85	28.45	26.46	28.85	30.58

4.3 Temperatura mínima

En la tabla 4 se presenta los valores de las anomalías, la climatología y las proyecciones totales de la Temperatura Mínima de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Las anomalías más grandes se presentan en el escenario RCP 8.5 en la proyección del futuro lejano en donde se alcanzan valores hasta de 6 °C. Todas las anomalías son positivas, tanto en el escenario RCP 4.5 como en el RCP 8.5, lo que quiere decir un incremento de temperatura en las proyecciones en todos los periodos de tiempo.

Mientras que en la climatología los valores de temperatura mínima van de 6 °C a 15 °C, en el escenario 8.5 futuro lejano la proyección total va de 9 °C hasta 21 °C. Durante el verano se presentan las temperaturas mínimas más altas y en el invierno se presentan las temperaturas mínimas más bajas.

Tabla 4.- Temperatura mínima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Temperatura Mínima (°C) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara															
Mes	Modelo	Escenario Año	Anomalía						Clima	Proyección Total					
			RCP 4.5			RCP 8.5				RCP 4.5			RCP 8.5		
			2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099		2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099
Enero	CNRMCM5		0.41	1.10	1.21	0.60	1.46	2.74	6.42	6.82	7.52	7.63	7.02	7.87	9.15
	MPI-ESM-LR		1.24	1.93	2.22	1.33	2.75	4.70	6.42	7.66	8.34	8.64	7.75	9.17	11.11
	HADGEM2-ES		0.90	2.07	2.27	1.24	2.79	4.58	6.42	7.32	8.48	8.68	7.66	9.21	10.99
	GFDL-CM3		1.54	2.37	2.27	1.53	3.14	4.81	6.42	7.96	8.79	8.68	7.95	9.55	11.23
Febrero	CNRMCM5		0.12	1.30	1.60	0.48	1.73	2.82	7.17	7.30	8.47	8.78	7.66	8.90	10.00
	MPI-ESM-LR		1.21	1.96	2.25	1.40	2.74	4.36	7.17	8.39	9.13	9.42	8.57	9.92	11.53
	HADGEM2-ES		0.98	1.83	2.39	0.99	2.62	4.42	7.17	8.15	9.00	9.57	8.16	9.79	11.60
	GFDL-CM3		1.17	2.31	2.39	1.54	2.78	4.93	7.17	8.35	9.48	9.57	8.72	9.96	12.10
Marzo	CNRMCM5		0.72	1.52	2.05	0.72	2.06	3.65	8.75	9.47	10.27	10.81	9.47	10.82	12.40
	MPI-ESM-LR		1.30	1.97	2.14	1.50	2.77	4.34	8.75	10.05	10.72	10.89	10.25	11.52	13.09
	HADGEM2-ES		0.81	2.05	2.51	0.99	2.56	4.44	8.75	9.56	10.81	11.26	9.74	11.31	13.19
	GFDL-CM3		1.21	2.17	2.51	1.37	3.04	5.30	8.75	9.96	10.93	11.26	10.13	11.80	14.05
Abril	CNRMCM5		0.82	1.83	2.19	0.99	2.42	4.18	10.87	11.68	12.70	13.05	11.86	13.29	15.05
	MPI-ESM-LR		1.58	2.29	2.65	1.65	3.00	4.87	10.87	12.45	13.15	13.51	12.51	13.87	15.73
	HADGEM2-ES		1.26	2.25	3.11	1.18	2.87	5.13	10.87	12.13	13.11	13.98	12.05	13.74	15.99
	GFDL-CM3		1.69	2.58	3.11	2.08	3.86	5.53	10.87	12.55	13.45	13.98	12.94	14.72	16.39
Mayo	CNRMCM5		1.37	2.00	2.17	1.18	2.58	4.32	13.37	14.74	15.37	15.54	14.55	15.95	17.69
	MPI-ESM-LR		1.39	2.37	2.51	1.48	3.06	4.95	13.37	14.76	15.74	15.88	14.85	16.42	18.32
	HADGEM2-ES		1.77	2.49	3.30	1.51	3.11	5.25	13.37	15.14	15.86	16.67	14.88	16.48	18.62
	GFDL-CM3		1.68	2.82	3.30	1.68	3.89	5.78	13.37	15.05	16.19	16.67	15.05	17.25	19.15
Junio	CNRMCM5		1.12	1.61	2.31	1.02	2.33	3.82	15.29	16.41	16.90	17.60	16.30	17.62	19.11
	MPI-ESM-LR		1.34	2.21	2.62	1.41	3.00	5.13	15.29	16.62	17.50	17.91	16.70	18.29	20.41
	HADGEM2-ES		1.45	2.56	3.33	1.20	3.16	5.40	15.29	16.73	17.84	18.61	16.48	18.45	20.69
	GFDL-CM3		1.64	3.08	3.33	1.86	3.68	5.80	15.29	16.92	18.37	18.61	17.15	18.97	21.09
Julio	CNRMCM5		0.67	1.36	1.88	0.99	2.11	3.65	15.05	15.72	16.41	16.93	16.04	17.16	18.70
	MPI-ESM-LR		1.26	2.03	2.47	1.42	3.06	5.15	15.05	16.32	17.08	17.52	16.47	18.12	20.20
	HADGEM2-ES		1.42	2.33	2.81	1.51	3.11	5.11	15.05	16.47	17.38	17.86	16.56	18.16	20.16
	GFDL-CM3		1.33	2.57	2.81	1.53	3.33	5.69	15.05	16.38	17.63	17.86	16.58	18.38	20.74
Agosto	CNRMCM5		0.98	1.63	1.98	1.05	2.26	3.76	14.90	15.88	16.53	16.88	15.95	17.15	18.66
	MPI-ESM-LR		1.25	2.04	2.37	1.43	2.99	5.01	14.90	16.15	16.94	17.27	16.33	17.89	19.91
	HADGEM2-ES		1.26	2.16	2.66	1.52	3.07	5.11	14.90	16.16	17.06	17.55	16.42	17.97	20.01
	GFDL-CM3		0.99	2.35	2.66	1.48	2.85	5.29	14.90	15.89	17.25	17.55	16.38	17.75	20.19
Septiembre	CNRMCM5		1.14	1.82	2.32	1.23	2.44	4.14	14.65	15.79	16.47	16.98	15.88	17.09	18.79
	MPI-ESM-LR		1.25	2.08	2.37	1.45	2.92	4.89	14.65	15.90	16.73	17.02	16.10	17.58	19.55
	HADGEM2-ES		1.42	2.35	2.98	1.70	3.30	5.30	14.65	16.07	17.01	17.63	16.35	17.95	19.96
	GFDL-CM3		1.28	2.60	2.98	1.59	3.22	5.30	14.65	15.93	17.25	17.63	16.24	17.87	19.95
Octubre	CNRMCM5		1.00	1.91	2.31	1.11	2.22	3.92	12.39	13.39	14.30	14.70	13.50	14.61	16.31
	MPI-ESM-LR		1.46	2.44	2.68	1.81	3.48	5.59	12.39	13.85	14.83	15.08	14.20	15.88	17.99
	HADGEM2-ES		1.37	2.34	2.98	1.70	3.24	5.25	12.39	13.77	14.73	15.37	14.09	15.64	17.64
	GFDL-CM3		1.67	2.48	2.98	1.30	2.92	5.13	12.39	14.07	14.87	15.37	13.69	15.31	17.52
Noviembre	CNRMCM5		0.96	1.40	2.12	0.82	2.04	3.50	9.17	10.12	10.57	11.29	9.99	11.21	12.67
	MPI-ESM-LR		1.68	2.47	2.54	1.67	3.49	5.98	9.17	10.85	11.64	11.71	10.84	12.65	15.15
	HADGEM2-ES		1.78	2.88	3.57	2.18	3.82	6.07	9.17	10.94	12.05	12.73	11.35	12.98	15.24
	GFDL-CM3		2.23	2.77	3.57	1.79	3.87	5.54	9.17	11.40	11.94	12.73	10.96	13.04	14.70
Diciembre	CNRMCM5		0.75	1.28	1.22	0.53	1.71	3.03	7.36	8.11	8.64	8.58	7.90	9.07	10.39
	MPI-ESM-LR		1.15	2.13	2.51	1.65	3.12	5.18	7.36	8.51	9.49	9.87	9.02	10.48	12.54
	HADGEM2-ES		1.47	2.57	3.34	1.80	3.68	5.96	7.36	8.83	9.93	10.70	9.16	11.04	13.32
	GFDL-CM3		1.49	2.54	3.34	1.22	3.60	5.46	7.36	8.85	9.90	10.70	8.58	10.96	12.82

5. Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM)

En la Figura 13 se muestra la región de la ZMM, localizada geográficamente a una altitud promedio de unos 500 msnm y es la tercera ciudad más grande de México, siendo una ciudad industrial y altamente contaminada, donde los contaminantes atmosféricos provienen, en general, de cuatro fuentes; la industria; las móviles (autos y camiones); fuentes de área, es decir, actividades comerciales y servicios; y fuentes naturales, como la erosión del suelo, entre otras (Martínez Muñoz & Valdez Cavazos, 2016).

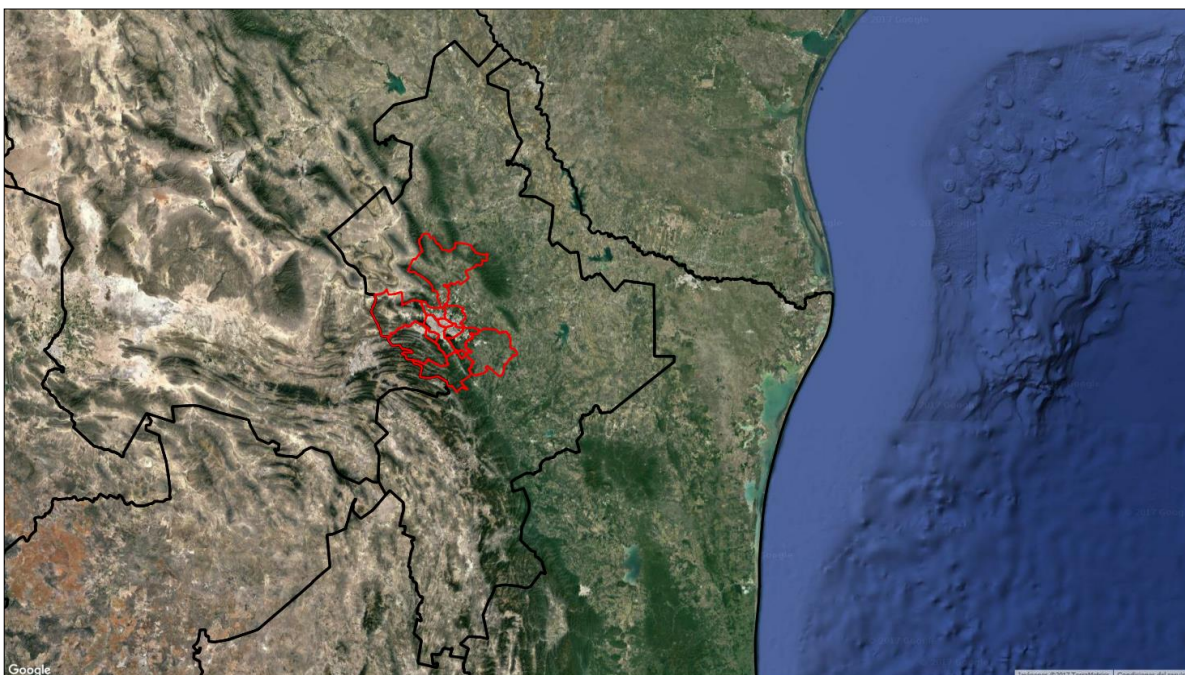


Figura 13 -Zona Metropolitana de Monterrey

Es afectada por sistemas sinópticos, tales como, altas presiones, corrientes de vientos máximos, frentes fríos y eventos de surada, en invierno, mientras que, en verano, el paso de ondas tropicales, ciclones tropicales y tormentas locales, favorecen el ingreso de humedad y generación de nubosidad; así como la temporada de lluvias sobre la región.

Invierno es la temporada más contaminada, con los niveles más altos de PM₁₀ de 8:00 a 10:00 a.m., mientras que las horas nocturnas eran las más limpias y el verano la temporada menos contaminada (González-Santiago, Badillo-Castañeda, Kahl, Ramírez-Lara, & Balderas-Rentería, 2011).

Para obtener las figuras 14 y 15, se analizaron los datos de reanálisis de 1948 al 2016 de los campos de presión, viento y velocidad vertical en los diferentes niveles atmosféricos, encontrando

que el periodo más importante es de diciembre a mayo, ya que los patrones sinópticos que afectan la región de la ZMM están sujetos a la influencia, principalmente sistemas anticiclónicos, procesos meteorológicos que determinan directamente las especies precursoras de ozono (O_3), por la subsidencia, calentamiento y compresión adiabática de aire, inhibiendo del desarrollo vertical de nubes y generando una atmósfera más estable, asociados con altas concentraciones de otros contaminantes PM_{10} .

Figura 14 Condiciones medias de enero de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).

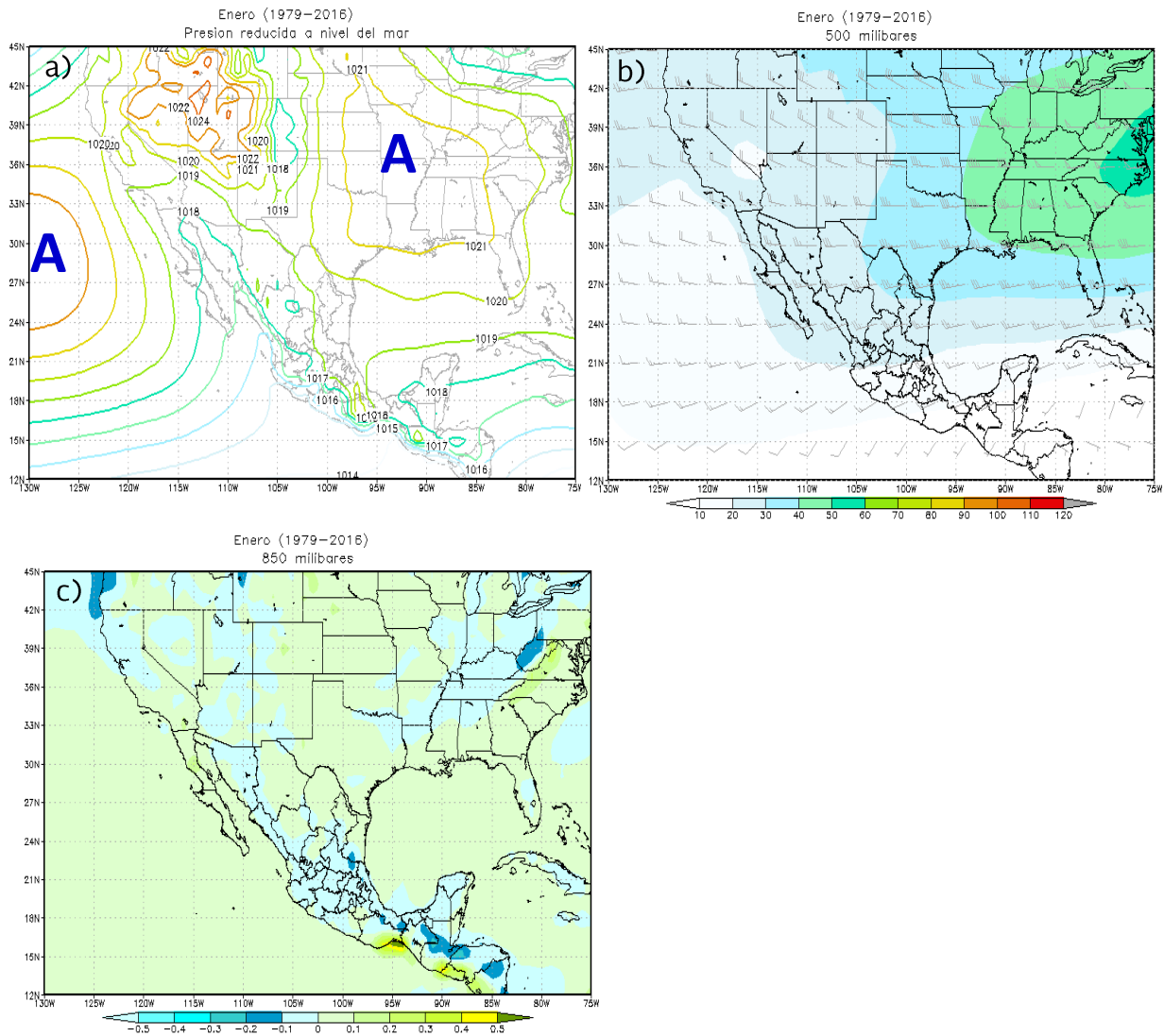
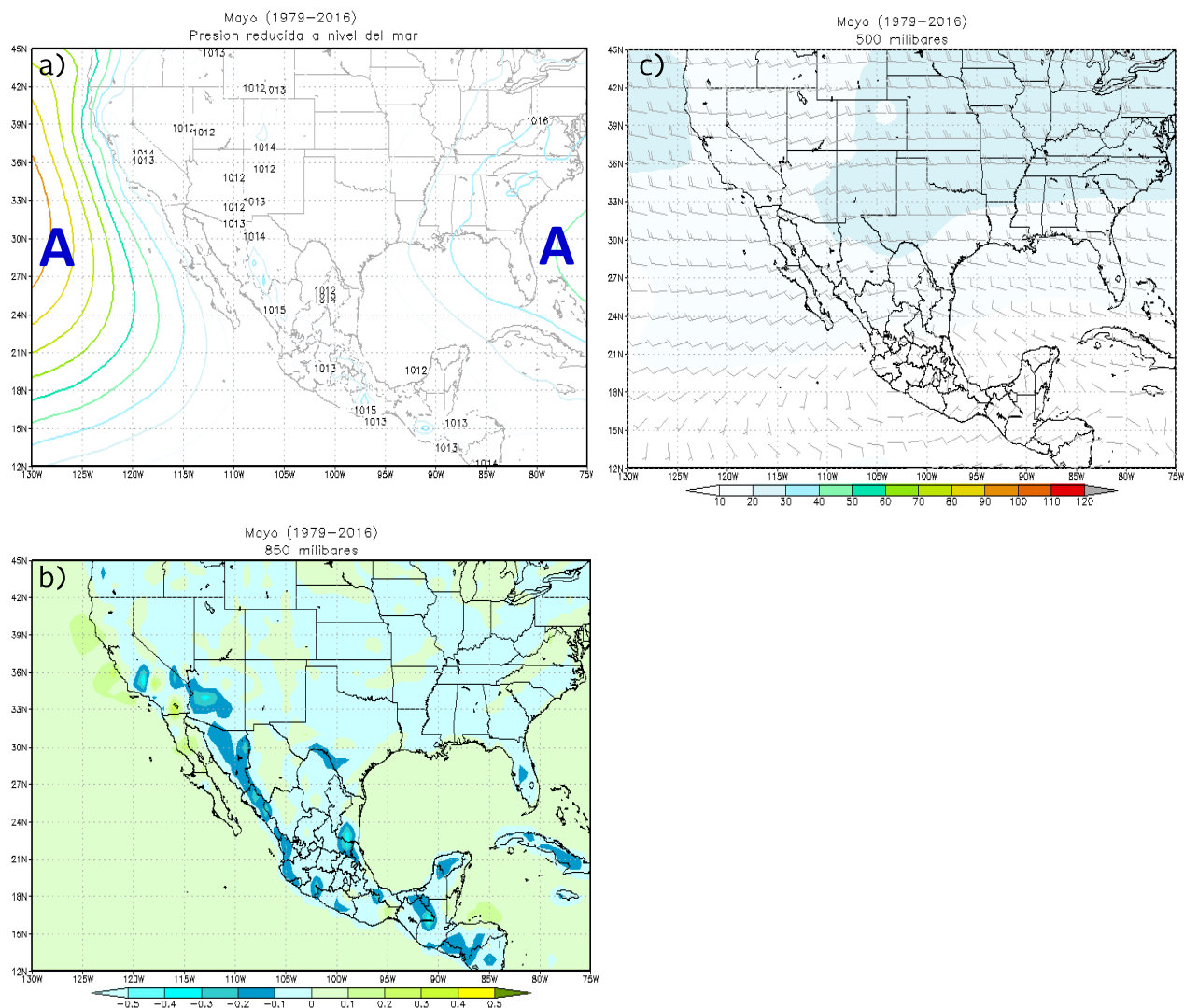
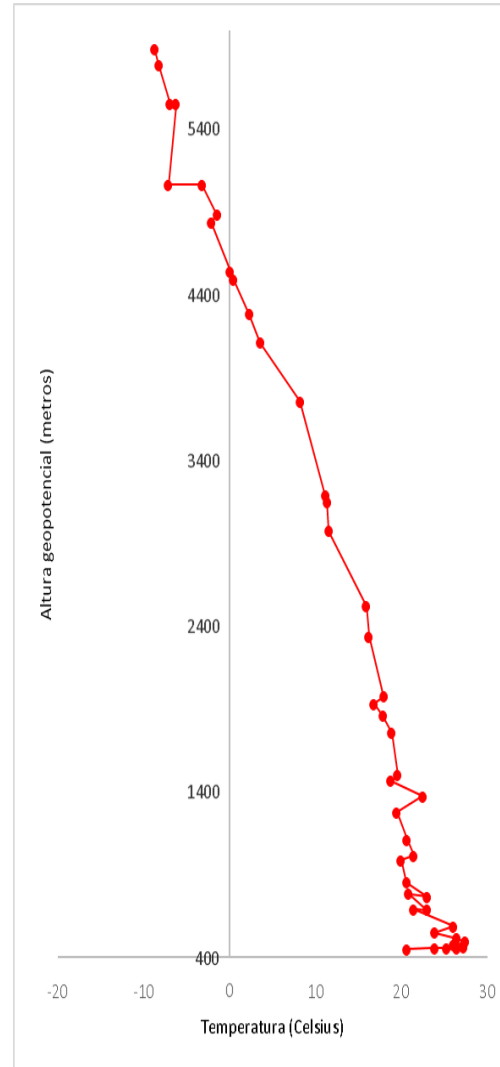
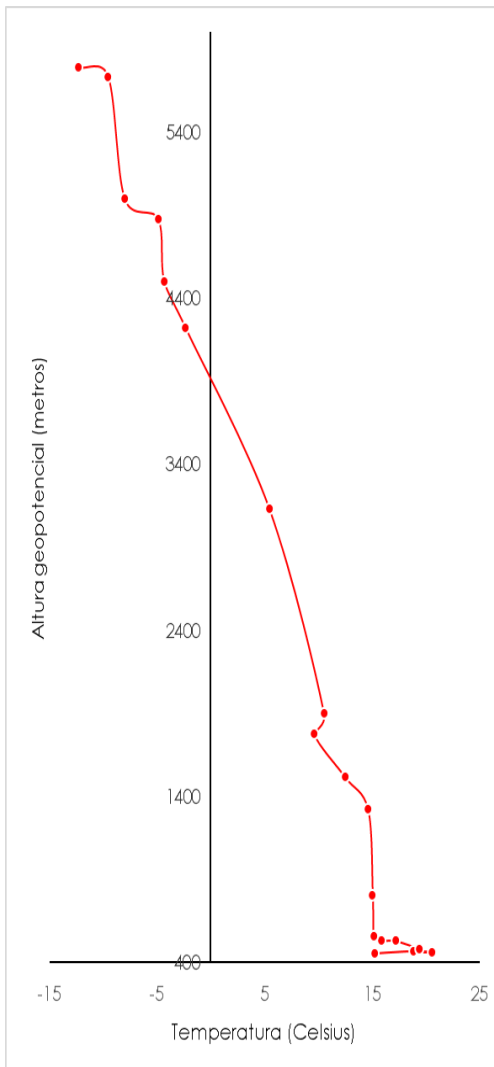


Figura 15 Condiciones medias de mayo de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).



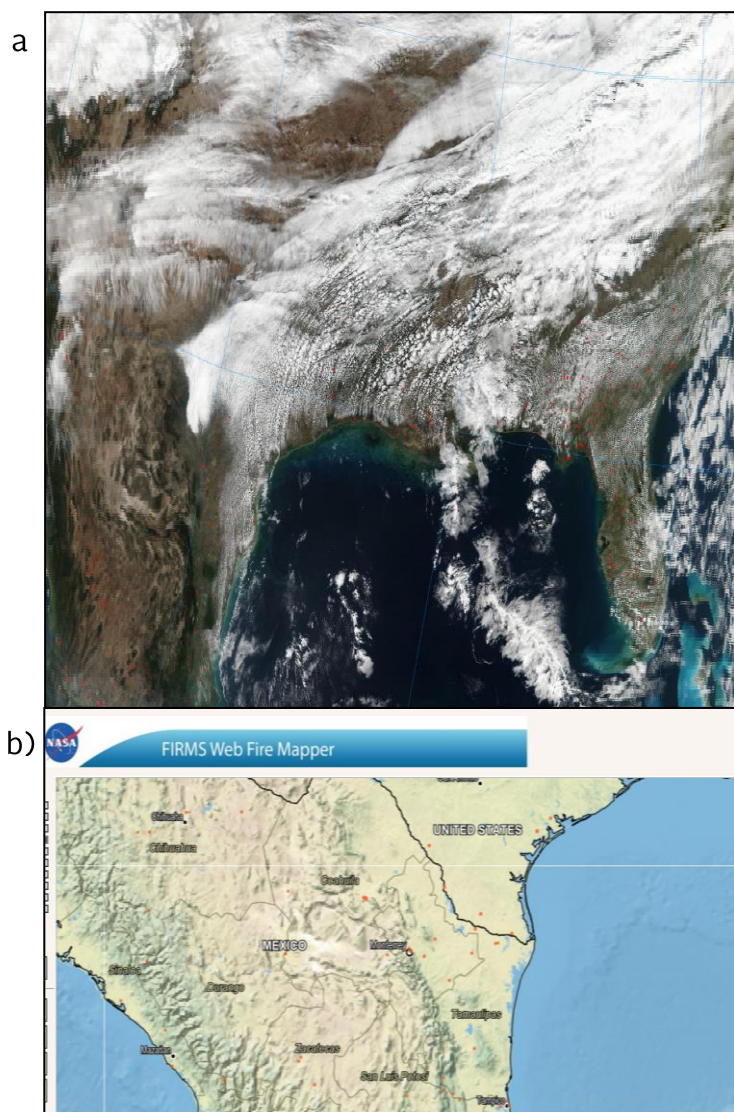
Además, estas condiciones de estabilidad asociadas con los sistemas de alta presión son óptimas para la disminución de nubes e incremento de radiación, favorables para la producción fotoquímica de ozono y generación de inversiones térmicas por radiación y subsidencia que inhiben la dispersión de contaminantes (Fig. 16).

Figura 16 Perfil de temperatura promedio a las 06:00 hrs. "S" (12:00 "Z") del mes de a) enero, y b) mayo para el radiosondeo de la Cd. de Monterrey (Clave OMM-76394), obtenidos de la base de datos de 2000 al 2016 de la Universidad de Wyoming (weather.uwyo.edu).



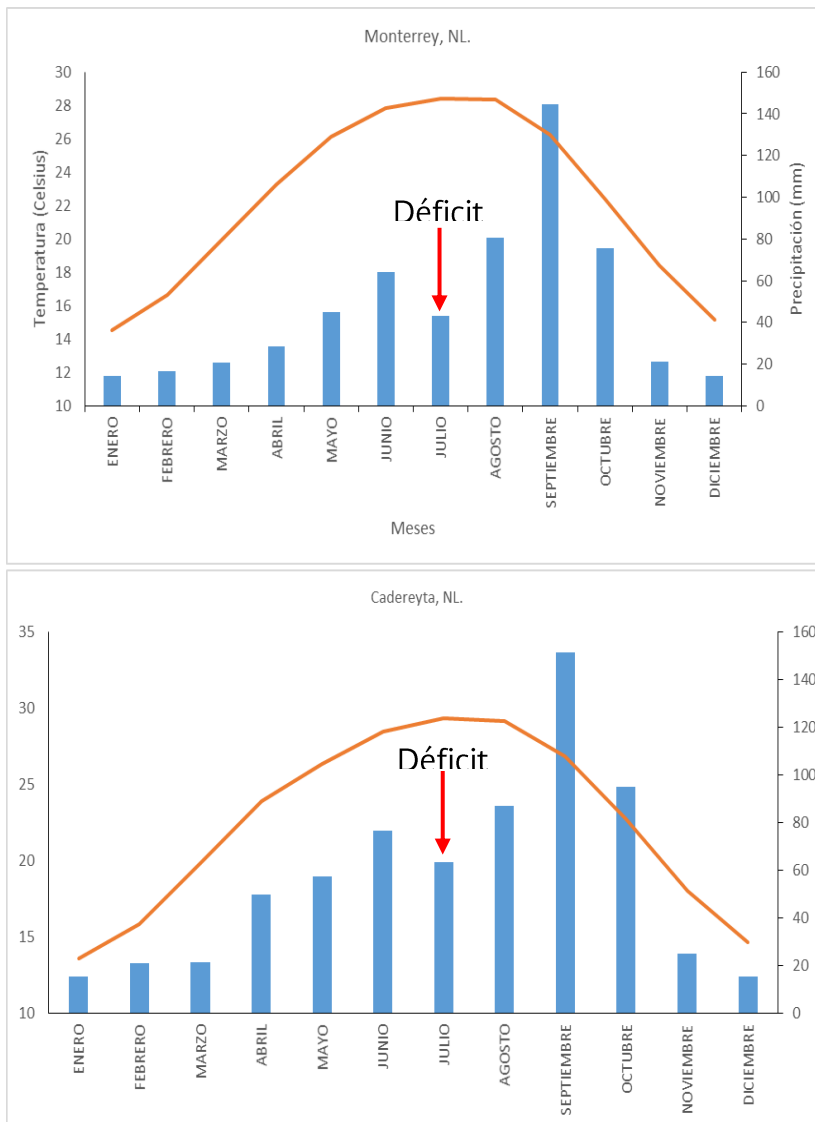
Otro factor externo importante que favorecen el incremento de contaminantes atmosféricos, es el humo generado por los incendios forestales, monitoreados desde los sistemas de monitoreo earth data de la NASA (Fig. 17) que estacionalmente se representan, pero que ante eventos climáticos como El Niño, pueden agravar las condiciones ante la disminución de las precipitaciones que incluyen menos humedad en el suelo y frecuentemente, pérdidas de miles de hectáreas de bosques, como lo ocurrido en abril y mayo de 1998, donde se vivió uno de los peores desastres ecológicos de nuestro país, al ocurrir un gran número de incendios por la gran sequedad del terreno (Cedeño & Medina, 1999).

Figura 17 a) Imagen satelital canal "VIS" con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 02 de enero de 2017.



Las condiciones ambientales mejoran con la llegada del ciclo anual de las lluvias de verano, aunque ante la aparición de dos máximos en la precipitación de verano, uno en julio y otro en septiembre, existe un mínimo relativo en agosto (Fig. 18) sobre la ZMM conocido como sequía intraestival, canícula o veranillo. Durante agosto, tal mínimo de precipitación se asocia a una menor cantidad de nubes convectivas profundas, lo que permite la mayor incidencia de radiación solar y por lo tanto una mayor temperatura de superficie, importante para la generación de O₃, y gran sequedad del terreno que favorece un gran número de incendios (Cedeño & Medina, 1999).

Figura 18 Variación mensual de precipitación y temperatura promedio a) Monterrey, NL. y b) Cadereyta, NL., utilizando la base de datos de 25 años del sistema CLICOM.



5.1 Criterios de referencia con base en los patrones sinópticos.

Integrando los resultados obtenidos de los análisis de las condiciones sinópticas que prevalecieron durante los eventos de casos de contingencia activada en la Zona Metropolitana de Monterrey, se consideraron 5 principales referencias asociadas a factores meteorológicos y un factor externo relevante para determinar el riesgo que puedan favorecer la concentración de contaminantes atmosféricos, sin considerar la emisión de compuestos volátiles de vehículos automotores y otros contaminantes, ya que para este estudio se consideran factores sinópticos y climáticos (Tabla 6).

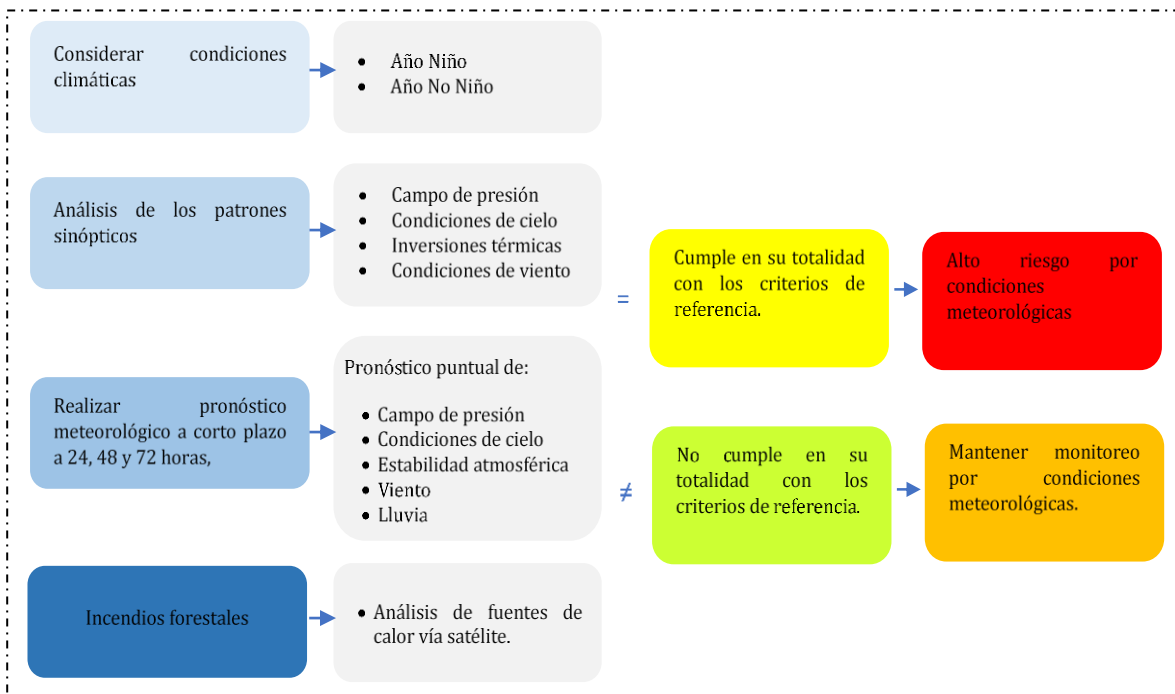
Tabla 5 Tabla 6 Criterios meteorológicos de referencia para determinar condiciones de riesgo para contingencia ambiental.

Riesgo	Factor Meteorológico	Factor Externo
ALTO	1. Alta presión en superficie http://www.nhc.noaa.gov/tafb_latest/USA_latest.gif	1. Incendios forestales
	2. Cielo despejado http://www.ssd.noaa.gov/goes/west/epac/vis.jpg https://aviationweather.gov/metar/data?ids=MMmx&format=raw&hours=0&taf=off&layout=on&date=0	
	3. Inversión térmica en superficie por debajo de los 750 milibares (2400 metros) http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=naconf&TYPE=GIF%3ASKEWT&YEAR=2017&MONTH=06&FROM=0312&TO=0312&STNM=76612	
	4. Viento del SW-NW (225°-215°) < 5 nudos en el nivel de superficie https://aviationweather.gov/metar/data?ids=MMGL&format=raw&date=0&hours=0	

5.2 Propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana desde una perspectiva de contingencia ambiental atmosférica.

En la tabla 7, se proponen las instrucciones y/o recomendaciones en este protocolo a partir de los resultados obtenidos de los análisis realizados de las condiciones medias sinópticas y los patrones meteorológicos que se presentaron cuando se activaron las contingencias ambientales en la zona metropolitana de Monterrey, y son aplicables como apoyo para la toma de decisiones en todo aquello que no contravenga a leyes, reglamentos, normativas, disposiciones e instructivos que autoridades u organismos públicos competentes aplican.

Tabla 7 Diagrama de un procedimiento sistemático desde perspectiva de contingencia ambiental con base en las condiciones sinópticas y estacionales.



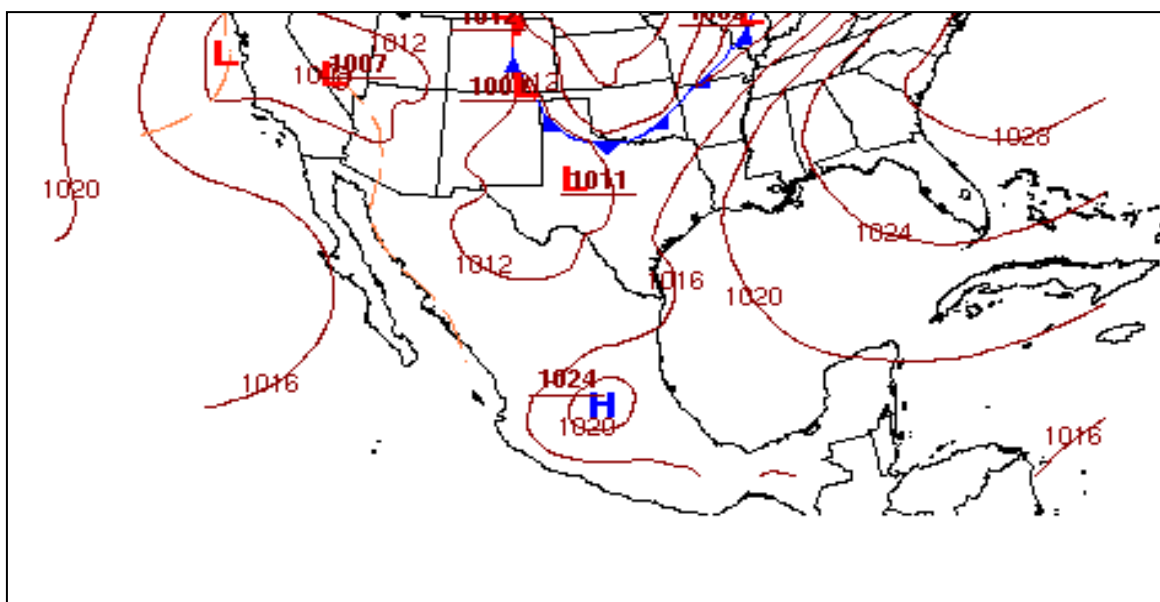
5.3 Aplicación de la propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana sobre la región de la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG)

El 12 de enero de 2017, se activó la contingencia ambiental debido a la concentración de PM₁₀ por parte del sistema de monitoreo atmosférico de Nuevo León.

5.3.1 Condiciones sinópticas y meteorológicas

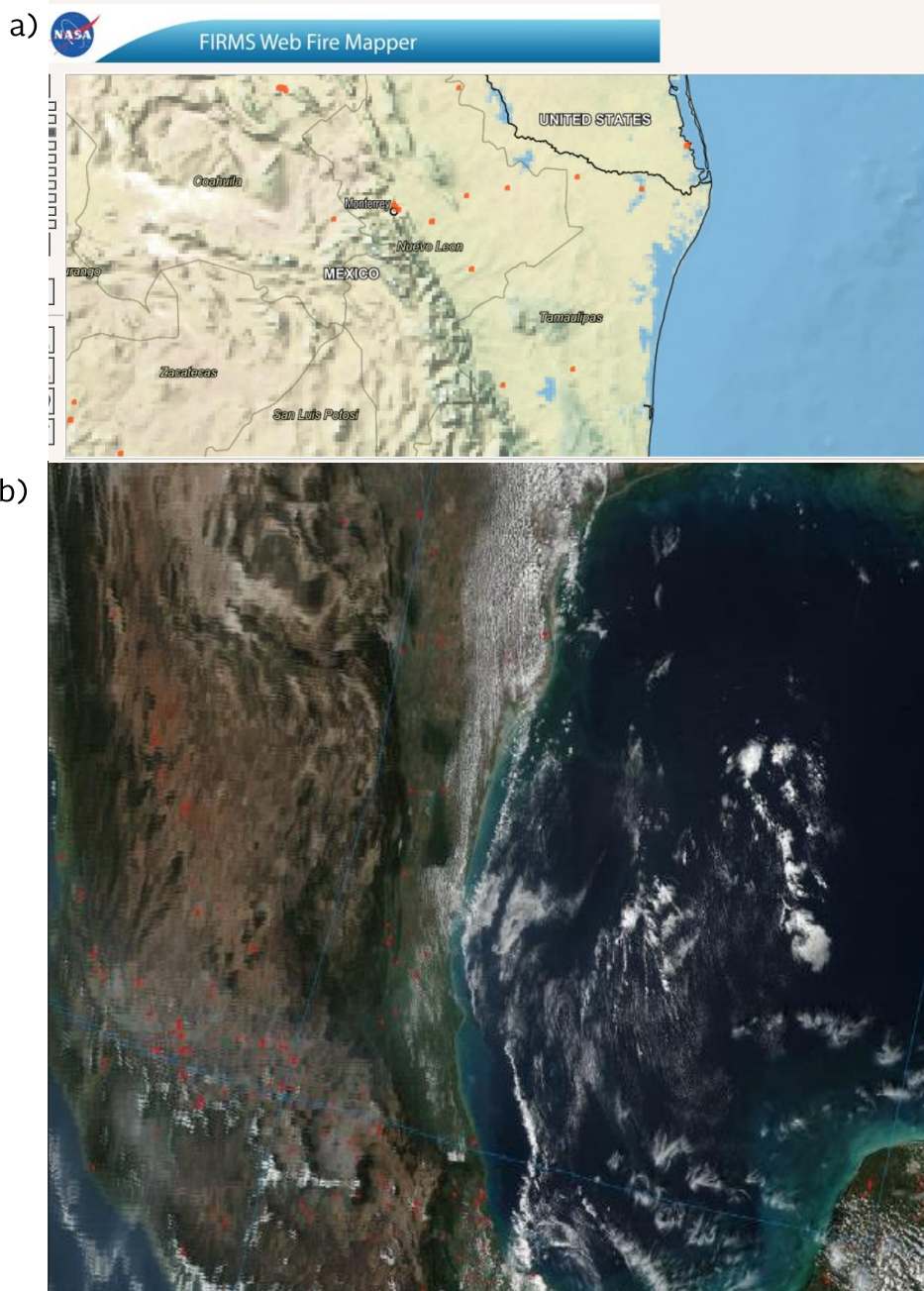
La condición sinóptica que prevalece durante el mes de enero es la presencia de una dorsal de alta presión sobre la región noreste del territorio nacional. En este caso, no fue la excepción, ya que las condiciones de estabilidad atmosféricas se mantuvieron sinópticamente el 12 de enero, con la permanencia de una dorsal de alta presión que se extendió hasta la meseta central (Fig. 19).

Figura 19 Carta sinóptica del 12 de enero de 2017 a las 06:00 horas locales (<http://www.wpc.ncep.noaa.gov>)



La estabilidad atmosférica, cielo despejado debido a la dorsal presente, que aunado a los puntos de calor representados en la figura 20 asociados a la presencia de incendios forestales para el 12 de enero, ocasionaron condiciones meteorológicas adversas.

Figura 20 a) Imagen satelital canal "VIS" con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 12 de enero de 2017



Otro factor relevante, fueron los vientos débiles, reportado en el registro METAR (MMAN) (Fig. 21); así como una inversión térmica matutina profunda por subsidencia que 24 horas antes se había presentado, por lo tanto, es más difícil de romperse (Fig. 22), favoreciendo a mayor acumulación de los contaminantes en la zona metropolitana de la capital de Nuevo León.

Figura 21 Reporte METAR del aeropuerto de la Ciudad de Monterrey, NL., del 12 de enero de 2017.

```
#####
#                               Reporte METAR - MMAN                               #
# Aerop. Internacional Monterrey, N. L. (Mexico)                               #
#                               WMO index: 76394                               #
# Latitude 25-52N. Longitude 100-14W. Altitude 448 m. #
#                               Time interval:                               #
#   from 01/11/2017 12:41 to 01/12/2017 23:40 UTC #
#####
```

```
201701122340 METAR MMAN 122340Z 14006KT 6SM SKC 25/13 A3002 RMK SLP///
201701122240 METAR MMAN 122240Z 13010KT 7SM SKC 26/12 A3001 RMK HZY=
201701122140 METAR MMAN 122140Z 11010KT 6SM SKC 26/10 A3000 RMK HZY=
201701122045 METAR MMAN 122045Z 09005KT 6SM SKC 25/11 A3000 RMK SLP///
201701121940 METAR MMAN 121940Z 13004KT 6SM SKC 24/11 A3000 RMK HZY=
201701121840 METAR MMAN 121840Z 16003KT 5SM SKC 22/11 A3003 RMK HZY=
201701121740 METAR MMAN 121740Z 00000KT 4SM SKC 19/12 A3005 RMK SLP///
201701121640 METAR MMAN 121640Z 36007KT 4SM SCT015 18/13 A3006 RMK 8/500
201701121540 METAR MMAN 121540Z 31003KT 4SM BKN012 BKN015 16/12 A3004
201701121440 METAR MMAN 121440Z 26007KT 4SM OVC010 15/12 A3001 RMK SLP///
201701121340 METAR MMAN 121340Z 29004KT 4SM OVC010 15/13 A2999 RMK 8/5//
201701121241 METAR MMAN 121241Z 00000KT 5SM OVC010 15/14 A2997 RMK 8/5//
```

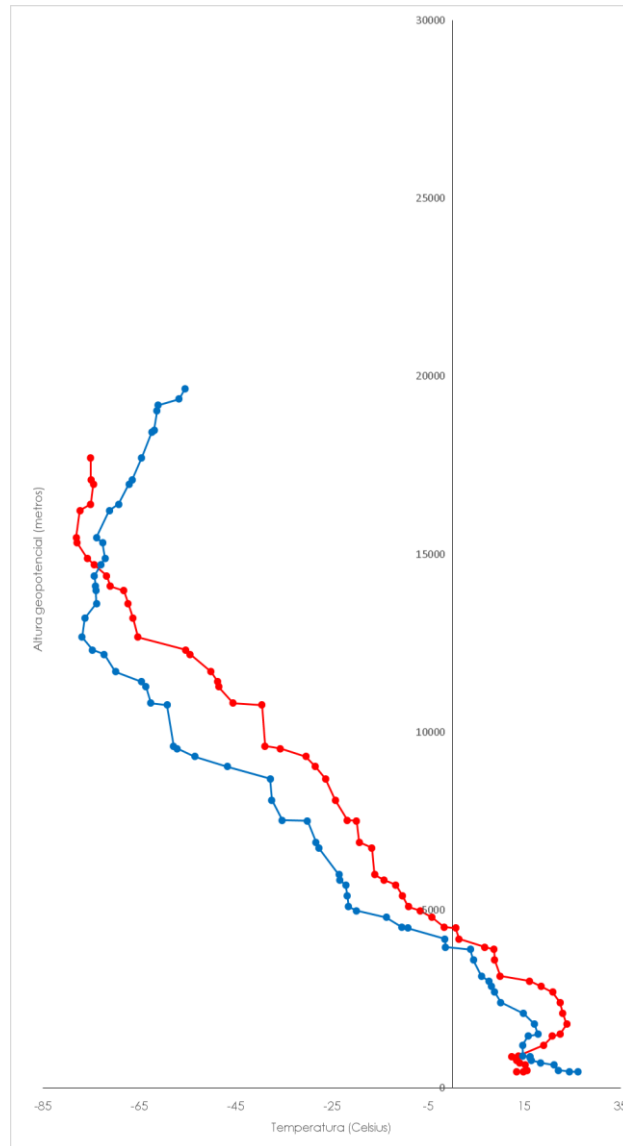
Fecha/hora
"Zulú"

Dirección e
intensidad del
viento

Cielo
despejado

Bruma

Figura 22 Perfil de temperatura a las 06:00 (línea roja) y 18:00 (línea azul) horas "S" (12:00 y 00:00 "Z") del 12 de enero de 2017 para radiosondeo de Monterrey, NL. (Clave OMM-76394).



Haciendo un análisis de toda la información meteorológica considerada como detonante para el desarrollo de contingencias ambientales, se observó que la presencia de altas presiones, cielos despejados, vientos débiles, inversión térmica y presencia de eventos externos como lo son los incendios forestales sobre la región,

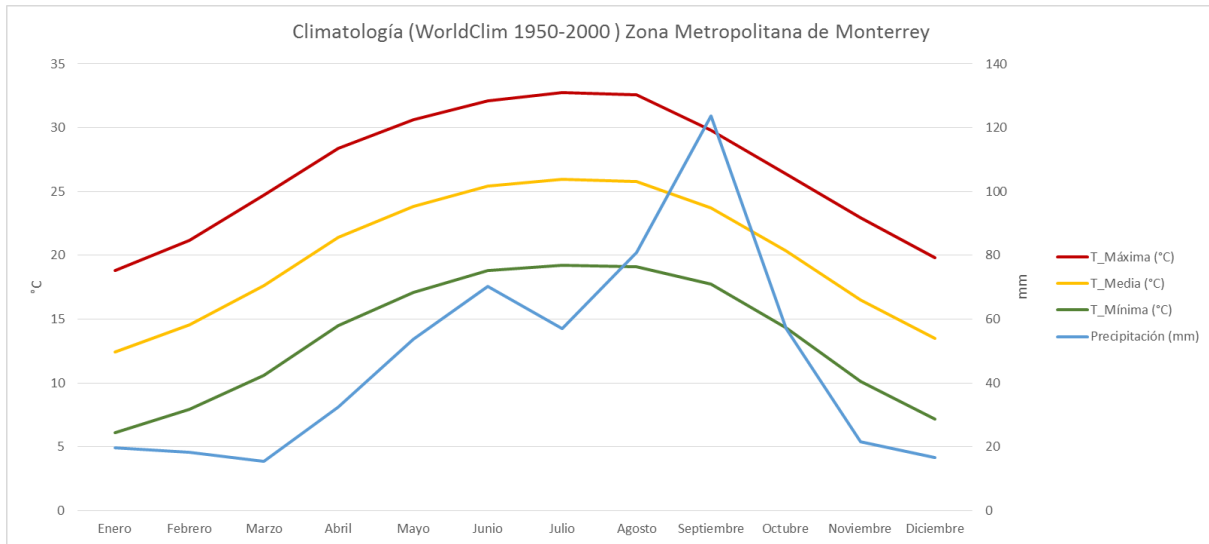
6. Proyecciones de cambio climático en la Zona Metropolitana de Monterrey

La climatología Base (WorldClim 1950 – 2000) del ciclo anual de la precipitación y de la temperatura para la Zona Metropolitana de Monterrey se muestra en figura 23.

Los máximos valores de precipitación se presentan durante el verano y el otoño, principalmente en el mes de septiembre, los mínimos de precipitación se presentan durante el invierno y la primavera, principalmente en el mes de marzo.

Durante el verano se presentan las temperaturas más altas, siendo julio el mes en que se alcanzan los máximos. En invierno se presentan las temperaturas más bajas, siendo enero el mes más frío.

Figura 23 Ciclo anual de la precipitación y temperatura en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM).



6.1 Precipitación

En la tabla 8 se presenta los valores de las anomalías, la climatología y las proyecciones totales de la Precipitación de la Zona Metropolitana de Monterrey.

El ciclo anual de la precipitación en la climatología muestra un comportamiento de canícula, presentando un máximo en precipitación en junio, una disminución de precipitación en julio y otro incremento en la precipitación en los meses de agosto y septiembre.

En las proyecciones totales de los escenarios de cambio climático se conserva este comportamiento, siendo más marcado en algunos modelos y en otros es mucho más suave.

En los meses de octubre, noviembre y diciembre se presentan anomalías positivas de la precipitación, a pesar de este incremento en la precipitación, sigue siendo el verano y otoño las estaciones en donde se presentan los valores más grandes de precipitación. A pesar de que en el invierno hay muy poca precipitación, marzo se mantiene como el mes más seco.

Tabla 8 Precipitación (mm) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Monterrey.

Precipitación (mm) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Monterrey															
Mes	Modelo	Escenario	Anomalia						Clima	Proyección Total					
			RCP 4.5			RCP 8.5				RCP 4.5			RCP 8.5		
			Año	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069		2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069
Enero	CNRMCM5		-1.57	-6.28	-6.87	-5.96	-11.11	-12.05	19.67	18.10	13.39	12.79	13.71	8.56	7.61
	MPI-ESM-LR		-3.63	-5.34	-8.06	-2.85	-11.19	-11.62	19.67	16.04	14.32	19.61	16.81	8.47	8.04
	HADGEM2-ES		-1.81	-3.31	-8.25	-5.36	-1.61	1.66	19.67	17.86	16.36	11.41	14.31	18.05	21.33
	GFDL-CM3		-23.26	-14.17	-29.52	-14.53	-2.30	-33.24	19.67	-3.60	5.49	-9.85	5.14	17.36	-13.58
Febrero	CNRMCM5		-9.13	-0.98	-16.72	-2.21	-15.37	-19.97	18.21	9.07	17.23	1.48	16.00	2.84	-1.76
	MPI-ESM-LR		4.00	-4.30	-8.37	1.48	-9.50	-8.48	18.21	22.20	13.90	9.84	19.68	8.71	9.73
	HADGEM2-ES		6.40	-0.93	0.45	2.96	3.51	4.76	18.21	24.61	17.27	18.65	21.16	21.71	22.96
	GFDL-CM3		-10.25	-16.09	-13.83	-8.86	-26.44	-16.97	18.21	7.96	2.12	4.37	9.34	-8.23	1.23
Marzo	CNRMCM5		-20.61	-6.35	-7.94	1.70	-10.86	-13.98	15.46	-5.15	9.11	7.52	17.16	4.60	1.48
	MPI-ESM-LR		-6.92	-12.12	-15.67	-5.66	-14.09	-26.83	15.46	8.54	3.34	-0.21	9.80	1.37	-11.37
	HADGEM2-ES		-0.11	-6.82	-4.82	0.31	-5.20	-1.90	15.46	15.35	8.65	10.64	15.77	10.26	13.56
	GFDL-CM3		-23.21	-18.06	-36.04	-9.88	-28.10	-40.13	15.46	-7.75	-2.60	-20.58	5.58	-12.64	-24.67
Abril	CNRMCM5		0.09	2.20	-11.47	-1.98	-10.06	-11.89	32.56	32.65	34.76	21.09	30.59	22.50	20.67
	MPI-ESM-LR		-3.09	-5.36	-8.06	-1.18	-7.02	-20.45	32.56	29.47	27.20	24.51	31.38	25.54	12.11
	HADGEM2-ES		5.44	0.11	6.02	0.15	0.38	2.14	32.56	38.00	32.67	38.58	32.71	32.94	34.70
	GFDL-CM3		-5.90	3.88	-11.63	7.67	-8.77	-13.50	32.56	26.66	36.44	20.93	40.24	23.80	19.07
Mayo	CNRMCM5		-10.79	-11.84	15.37	-2.39	-5.07	2.80	53.75	42.96	41.91	69.12	51.36	48.68	56.55
	MPI-ESM-LR		-3.68	-8.64	-5.21	-4.87	-11.65	-19.55	53.75	50.07	45.11	48.54	48.88	42.10	34.20
	HADGEM2-ES		-0.37	-3.37	1.86	-6.93	-2.62	-10.10	53.75	53.38	50.38	55.62	46.82	51.13	43.65
	GFDL-CM3		-12.25	-11.18	-20.84	1.77	-20.28	-24.89	53.75	41.50	42.57	32.91	55.52	33.47	28.86
Junio	CNRMCM5		5.72	11.95	9.93	1.52	5.11	16.68	70.30	76.02	82.25	80.23	71.82	75.41	86.98
	MPI-ESM-LR		-1.03	-4.65	-3.30	-2.19	-1.14	-9.46	70.30	69.27	65.65	67.00	68.10	69.16	60.84
	HADGEM2-ES		-7.31	-8.51	-6.18	0.23	-7.50	-13.89	70.30	62.99	61.79	64.12	70.52	62.80	56.41
	GFDL-CM3		-27.80	-13.51	-11.23	-16.70	-19.63	-0.73	70.30	42.50	56.79	59.07	53.60	50.67	69.57
Julio	CNRMCM5		-6.51	-5.04	-17.30	11.01	1.41	-10.93	56.99	50.48	51.95	39.69	68.00	58.40	46.06
	MPI-ESM-LR		-8.12	-10.68	-13.30	-6.18	-13.16	-16.36	56.99	48.87	46.31	43.69	50.81	43.83	40.63
	HADGEM2-ES		6.43	-8.23	21.66	-0.34	-0.80	-9.35	56.99	63.42	48.76	78.65	56.65	56.19	47.64
	GFDL-CM3		-12.23	-10.19	-13.83	-16.13	-11.57	-19.77	56.99	44.76	46.80	43.16	40.86	45.42	37.22
Agosto	CNRMCM5		4.88	-2.13	0.26	0.39	-8.42	-15.80	80.93	85.81	78.80	81.19	81.32	72.51	65.13
	MPI-ESM-LR		-6.67	-3.66	-11.66	-9.52	-19.77	-26.44	80.93	74.27	77.27	69.27	71.41	61.17	54.49
	HADGEM2-ES		-21.08	-14.19	-1.85	-28.92	-6.84	3.69	80.93	59.85	66.75	79.08	52.01	74.09	84.62
	GFDL-CM3		-17.51	-27.20	-26.57	-19.87	-30.74	-45.37	80.93	63.42	53.73	54.36	61.07	50.20	35.56
Septiembre	CNRMCM5		4.70	0.41	-0.34	9.32	10.51	20.25	123.59	128.29	124.00	123.25	132.91	134.10	143.84
	MPI-ESM-LR		4.74	-1.92	4.58	1.01	8.37	-7.17	123.59	128.33	121.67	128.17	124.59	131.96	116.42
	HADGEM2-ES		0.52	-5.28	-9.73	4.42	-7.70	-14.13	123.59	124.11	118.31	113.86	128.01	115.89	109.46
	GFDL-CM3		20.57	3.77	-15.40	21.25	5.21	-9.68	123.59	144.16	127.36	108.19	144.84	128.80	113.91
Octubre	CNRMCM5		-7.04	-0.88	0.71	-1.99	-3.75	2.35	57.12	50.08	56.23	57.83	55.13	53.37	59.46
	MPI-ESM-LR		1.95	3.07	-6.60	1.52	-3.68	3.26	57.12	59.07	60.19	50.51	58.64	53.44	60.38
	HADGEM2-ES		-23.78	-13.27	22.08	1.24	-6.01	7.43	57.12	33.33	43.85	79.20	58.35	51.11	64.54
	GFDL-CM3		-5.80	10.89	-17.54	-5.78	-6.58	-8.31	57.12	51.32	68.01	39.58	51.33	50.54	48.80
Noviembre	CNRMCM5		-8.24	-5.32	3.20	-9.21	-3.21	-10.47	21.62	13.38	16.30	24.82	12.41	18.41	11.15
	MPI-ESM-LR		0.88	6.52	2.96	0.43	0.81	7.08	21.62	22.50	28.14	24.58	22.05	22.43	28.70
	HADGEM2-ES		0.88	7.33	10.66	6.62	7.59	26.60	21.62	22.50	28.95	32.28	28.24	29.21	48.22
	GFDL-CM3		8.71	10.15	-4.01	-1.46	17.57	1.17	21.62	30.33	31.77	17.61	20.16	39.19	22.79
Diciembre	CNRMCM5		-13.42	-10.49	-12.14	-8.36	-5.11	-17.60	16.58	3.16	6.10	4.44	8.22	11.47	-1.02
	MPI-ESM-LR		0.73	5.62	13.26	0.76	6.74	-0.75	16.58	17.31	22.20	29.84	17.34	23.32	15.83
	HADGEM2-ES		5.93	1.62	4.36	1.93	0.42	-2.15	16.58	22.51	18.20	20.94	18.52	17.00	14.43
	GFDL-CM3		-15.44	-5.31	-12.69	-9.66	-12.43	-15.84	16.58	1.15	11.27	3.89	6.93	4.15	0.74

6.2 Temperatura máxima

En la tabla 9 se presenta los valores de las anomalías, la climatología y las proyecciones totales de la Temperatura Máxima de la Zona Metropolitana de Monterrey.

Las anomalías son positivas en todos los modelos en los dos escenarios y todos los periodos de tiempo.

Las temperaturas máximas más altas se presentan en el verano, tanto en la parte histórica como en la proyectada.

En el escenario RCP 8.5 futuro lejano es donde se presentan los valores máximos de la temperatura máxima, mientras que en el futuro cercano no existe una diferencia tan significativa entre los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Tabla 9.- Temperatura Máxima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Monterrey.

Anomalía de Temperatura Máxima (°C) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Monterrey															
Mes	Modelo	Escenario	Anomalía						Clima	Proyección Total					
			RCP 4.5			RCP 8.5				RCP 4.5			RCP 8.5		
			Año	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069		2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069
Enero	CNRMCM5		1.67	3.08	2.36	1.80	3.09	5.21	18.83	20.50	21.91	21.19	20.63	21.92	24.04
	MPI-ESM-LR		0.97	1.39	1.52	1.31	2.21	4.01	18.83	19.80	20.23	20.36	20.14	21.04	22.85
	HADGEM2-ES		1.99	3.57	4.01	1.66	4.38	6.86	18.83	20.82	22.40	22.85	20.49	23.21	25.69
	GFDL-CM3		2.63	2.71	4.11	1.33	2.66	6.86	18.83	21.47	21.54	22.95	20.16	21.49	25.69
Febrero	CNRMCM5		1.94	2.34	3.92	1.26	3.46	5.33	21.19	23.14	23.53	25.11	22.46	24.65	26.52
	MPI-ESM-LR		0.93	2.14	2.38	1.27	2.65	4.06	21.19	22.12	23.33	23.58	22.46	23.84	25.25
	HADGEM2-ES		0.08	2.89	3.28	0.81	3.55	6.12	21.19	21.27	24.08	24.48	22.01	24.74	27.32
	GFDL-CM3		1.92	2.37	3.28	1.51	3.35	4.92	21.19	23.11	23.56	24.48	22.70	24.54	26.11
Marzo	CNRMCM5		1.89	2.41	3.56	1.02	3.42	5.20	24.75	26.64	27.15	28.30	25.77	28.17	29.94
	MPI-ESM-LR		1.09	1.96	2.10	1.14	2.52	5.00	24.75	25.84	26.70	26.84	25.88	27.27	29.74
	HADGEM2-ES		1.58	3.46	4.04	1.54	3.79	6.58	24.75	26.33	28.20	28.78	26.29	28.53	31.33
	GFDL-CM3		3.07	3.82	5.01	1.67	4.93	7.07	24.75	27.82	28.56	29.75	26.41	29.67	31.81
Abril	CNRMCM5		1.82	2.08	4.13	1.28	3.59	5.55	28.40	30.22	30.48	32.53	29.68	31.99	33.95
	MPI-ESM-LR		1.53	2.30	2.63	1.48	3.15	5.36	28.40	29.93	30.70	31.03	29.88	31.55	33.76
	HADGEM2-ES		1.89	3.33	3.79	1.32	3.72	6.07	28.40	30.29	31.73	32.19	29.72	32.11	34.47
	GFDL-CM3		2.64	3.20	5.16	2.02	5.15	7.59	28.40	31.04	31.60	33.56	30.42	33.55	35.99
Mayo	CNRMCM5		1.48	2.44	2.41	1.09	2.80	3.81	30.61	32.09	33.05	33.02	31.70	33.40	34.41
	MPI-ESM-LR		1.41	2.29	2.57	1.44	3.02	5.33	30.61	32.01	32.90	33.18	32.05	33.62	35.94
	HADGEM2-ES		1.41	3.84	4.05	2.58	4.05	6.74	30.61	32.02	34.45	34.66	33.18	34.66	37.35
	GFDL-CM3		2.65	3.85	5.32	1.70	5.03	7.73	30.61	33.25	34.45	35.93	32.30	35.64	38.33
Junio	CNRMCM5		0.78	1.76	1.19	0.87	2.22	2.73	32.12	32.90	33.88	33.30	32.99	34.34	34.85
	MPI-ESM-LR		1.10	1.99	2.31	1.36	2.69	4.85	32.12	33.22	34.11	34.42	33.47	34.80	36.97
	HADGEM2-ES		1.83	3.66	3.80	1.48	4.09	6.56	32.12	33.95	35.78	35.92	33.60	36.21	38.68
	GFDL-CM3		3.73	4.29	4.86	2.75	5.26	6.92	32.12	35.85	36.40	36.97	34.87	37.38	39.04
Julio	CNRMCM5		0.98	1.69	2.44	0.53	2.20	3.83	32.78	33.75	34.47	35.21	33.31	34.97	36.61
	MPI-ESM-LR		1.47	2.13	2.50	1.38	2.90	4.86	32.78	34.24	34.91	35.27	34.16	35.68	37.63
	HADGEM2-ES		1.61	3.28	2.84	1.90	3.81	6.27	32.78	34.39	36.05	35.61	34.68	36.59	39.04
	GFDL-CM3		3.65	4.44	5.11	3.28	5.16	7.19	32.78	36.42	37.22	37.89	36.06	37.93	39.96
Agosto	CNRMCM5		0.68	1.64	2.26	0.77	2.51	4.45	32.55	33.23	34.19	34.81	33.32	35.06	37.00
	MPI-ESM-LR		1.52	2.22	2.77	1.61	3.25	5.28	32.55	34.07	34.77	35.32	34.16	35.80	37.83
	HADGEM2-ES		2.19	3.12	3.14	2.53	3.58	6.03	32.55	34.74	35.67	35.68	35.08	36.13	38.58
	GFDL-CM3		2.19	4.76	5.18	3.38	5.63	8.43	32.55	34.74	37.31	37.73	35.93	38.17	40.98
Septiembre	CNRMCM5		1.06	1.97	2.04	0.75	1.94	3.51	29.79	30.85	31.77	31.83	30.54	31.73	33.30
	MPI-ESM-LR		1.05	1.92	2.54	1.34	3.08	5.42	29.79	30.84	31.71	32.33	31.13	32.87	35.21
	HADGEM2-ES		2.22	3.15	3.56	2.41	3.75	5.98	29.79	32.01	32.94	33.35	32.20	33.54	35.78
	GFDL-CM3		2.54	4.21	5.04	2.37	4.88	7.92	29.79	32.33	34.00	34.83	32.16	34.67	37.71
Octubre	CNRMCM5		0.94	1.38	1.95	0.96	2.30	3.49	26.39	27.34	27.77	28.34	27.35	28.69	29.88
	MPI-ESM-LR		1.14	1.98	2.28	1.64	3.19	5.11	26.39	27.54	28.38	28.67	28.04	29.58	31.51
	HADGEM2-ES		2.92	3.83	3.50	2.47	4.23	6.17	26.39	29.31	30.22	29.90	28.86	30.62	32.56
	GFDL-CM3		2.15	2.51	4.69	1.51	3.96	6.35	26.39	28.55	28.90	31.08	27.91	30.36	32.74
Noviembre	CNRMCM5		1.87	1.81	2.25	1.53	2.80	4.67	22.96	24.82	24.76	25.21	24.49	25.76	27.63
	MPI-ESM-LR		1.56	1.91	2.17	0.86	2.92	4.78	22.96	24.52	24.87	25.13	23.81	25.88	27.74
	HADGEM2-ES		2.83	3.27	3.11	1.68	4.18	5.67	22.96	25.79	26.23	26.07	24.64	27.13	28.63
	GFDL-CM3		1.82	3.04	3.84	1.80	3.49	6.08	22.96	24.78	26.00	26.80	24.76	26.44	29.03
Diciembre	CNRMCM5		1.75	2.72	2.75	1.82	2.96	5.28	19.81	21.55	22.53	22.55	21.63	22.76	25.09
	MPI-ESM-LR		0.88	1.44	1.67	1.26	2.18	3.95	19.81	20.69	21.25	21.48	21.07	21.99	23.76
	HADGEM2-ES		1.38	2.75	3.00	1.22	3.65	6.08	19.81	21.18	22.56	22.81	21.02	23.45	25.89
	GFDL-CM3		2.15	2.88	3.57	1.78	3.97	5.69	19.81	21.95	22.69	23.38	21.58	23.77	25.50

6.3 Temperatura mínima

En la tabla 10 se presenta los valores de las anomalías, la climatología y las proyecciones totales de la Temperatura Mínima de la Zona Metropolitana de Monterrey.

El ciclo anual de la temperatura mínima es muy parecido al de la temperatura máxima, pero se observa que los valores más altos de la temperatura mínima se presentan durante el verano y los valores más bajos se presentan durante el invierno.

Las anomalías son positivas en todos los periodos de tiempo, en los dos escenarios y todos los modelos, lo que nos indica un incremento de la temperatura mínima en el futuro, siendo el más drástico el futuro lejano bajo el escenario RCP 8.5.

En el futuro cercano los dos escenarios tienen anomalías muy parecidas y si lo observamos en la proyección total serían casi los mismos valores, unas poquitas más altas las del escenario RCP 8.5.

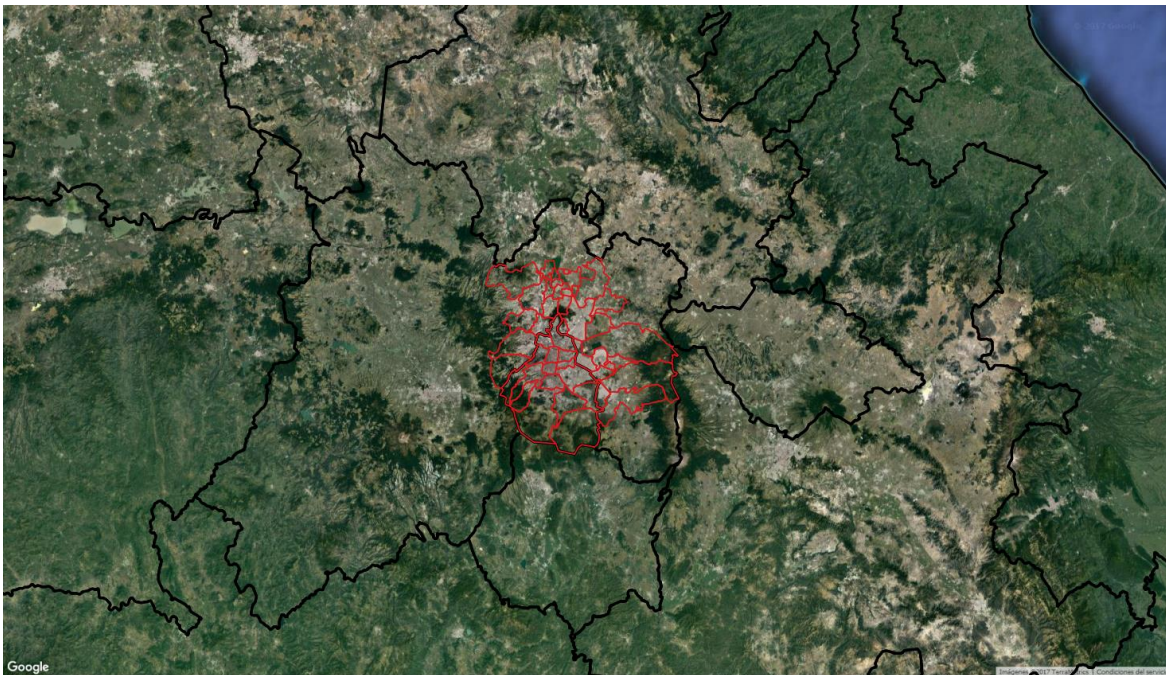
Tabla 10.- Temperatura Mínima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Temperatura Mínima (°C) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Monterrey															
Mes	Modelo	Escenario	Anomalía						Clima	Proyección Total					
			RCP 4.5			RCP 8.5				RCP 4.5			RCP 8.5		
			Año	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069		2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069
Enero	CNRMCM5		0.76	1.82	1.68	1.04	2.16	3.66	6.11	6.87	7.93	7.78	7.15	8.27	9.77
	MPI-ESM-LR		1.01	1.44	1.69	1.26	2.31	3.99	6.11	7.12	7.55	7.80	7.37	8.42	10.10
	HADGEM2-ES		1.56	2.53	3.14	1.47	3.18	6.07	6.11	7.67	8.63	9.25	7.58	9.29	12.17
	GFDL-CM3		1.18	2.03	3.14	0.86	2.03	3.29	6.11	7.29	8.14	9.25	6.97	8.13	9.40
Febrero	CNRMCM5		0.39	1.25	1.93	0.70	2.10	3.43	7.91	8.31	9.17	9.84	8.61	10.02	11.35
	MPI-ESM-LR		0.99	2.10	2.29	1.37	2.63	3.84	7.91	8.90	10.01	10.20	9.28	10.55	11.76
	HADGEM2-ES		0.67	2.02	2.64	0.45	2.96	5.48	7.91	8.58	9.93	10.55	8.37	10.88	13.40
	GFDL-CM3		0.70	1.06	2.64	0.77	2.02	2.92	7.91	8.61	8.98	10.55	8.69	9.93	10.84
Marzo	CNRMCM5		0.72	1.60	2.52	0.76	2.33	3.83	10.61	11.33	12.21	13.13	11.38	12.94	14.44
	MPI-ESM-LR		1.05	1.83	1.85	1.16	2.38	4.34	10.61	11.66	12.44	12.46	11.77	12.99	14.95
	HADGEM2-ES		1.10	2.22	2.89	1.37	2.83	5.16	10.61	11.72	12.83	13.50	11.98	13.44	15.77
	GFDL-CM3		1.50	2.13	2.89	1.00	3.07	4.70	10.61	12.12	12.74	13.50	11.62	13.68	15.31
Abril	CNRMCM5		1.17	2.10	2.40	0.93	2.61	4.45	14.52	15.70	16.62	16.93	15.45	17.14	18.97
	MPI-ESM-LR		1.31	2.06	2.28	1.46	2.90	4.75	14.52	15.83	16.58	16.81	15.98	17.42	19.27
	HADGEM2-ES		1.84	2.28	3.07	1.28	3.08	5.15	14.52	16.37	16.81	17.59	15.81	17.60	19.67
	GFDL-CM3		1.93	2.62	3.07	1.79	3.74	5.60	14.52	16.45	17.14	17.59	16.31	18.26	20.12
Mayo	CNRMCM5		0.99	2.01	2.60	1.16	2.56	4.07	17.11	18.10	19.13	19.72	18.27	19.68	21.18
	MPI-ESM-LR		1.35	2.16	2.47	1.43	2.83	4.93	17.11	18.47	19.28	19.58	18.54	19.95	22.04
	HADGEM2-ES		1.65	2.91	3.52	1.89	3.61	5.89	17.11	18.77	20.03	20.64	19.00	20.73	23.00
	GFDL-CM3		1.83	2.68	3.52	1.45	3.61	5.65	17.11	18.94	19.80	20.64	18.56	20.73	22.76
Junio	CNRMCM5		0.95	2.07	2.33	1.18	2.58	4.09	18.81	19.76	20.88	21.14	19.98	21.39	22.90
	MPI-ESM-LR		1.28	2.04	2.44	1.50	2.92	4.91	18.81	20.09	20.84	21.24	20.30	21.73	23.72
	HADGEM2-ES		1.42	2.58	2.83	1.58	3.28	5.30	18.81	20.23	21.39	21.64	20.39	22.08	24.11
	GFDL-CM3		2.00	2.90	2.83	1.69	3.75	5.66	18.81	20.81	21.71	21.64	20.50	22.56	24.47
Julio	CNRMCM5		0.89	1.84	2.09	1.13	2.45	4.21	19.22	20.11	21.06	21.31	20.35	21.67	23.43
	MPI-ESM-LR		1.33	1.91	2.23	1.36	2.81	4.68	19.22	20.55	21.13	21.45	20.58	22.03	23.90
	HADGEM2-ES		1.49	2.51	3.04	1.59	3.45	5.54	19.22	20.71	21.72	22.25	20.81	22.67	24.76
	GFDL-CM3		2.64	3.54	3.04	2.24	4.27	6.09	19.22	21.86	22.76	22.25	21.46	23.49	25.31
Agosto	CNRMCM5		1.14	1.84	2.14	1.18	2.53	4.38	19.11	20.26	20.96	21.26	20.30	21.64	23.49
	MPI-ESM-LR		1.27	2.09	2.43	1.45	2.96	4.78	19.11	20.39	21.20	21.55	20.57	22.07	23.90
	HADGEM2-ES		1.44	2.47	2.86	1.90	3.42	5.69	19.11	20.55	21.59	21.97	21.01	22.53	24.80
	GFDL-CM3		2.36	3.41	2.86	2.37	4.45	6.73	19.11	21.47	22.53	21.97	21.48	23.56	25.84
Septiembre	CNRMCM5		1.25	2.05	2.54	1.40	2.62	4.64	17.74	18.99	19.79	20.28	19.14	20.36	22.38
	MPI-ESM-LR		1.03	2.00	2.56	1.40	3.10	5.25	17.74	18.77	19.74	20.30	19.14	20.84	22.99
	HADGEM2-ES		1.77	2.64	2.96	2.04	3.62	5.80	17.74	19.51	20.38	20.70	19.78	21.36	23.54
	GFDL-CM3		2.48	4.05	2.96	2.81	4.79	7.61	17.74	20.23	21.79	20.70	20.55	22.53	25.35
Octubre	CNRMCM5		0.70	1.90	1.92	1.09	2.13	3.90	14.30	15.00	16.20	16.22	15.39	16.43	18.20
	MPI-ESM-LR		1.26	2.17	2.31	1.77	3.26	5.43	14.30	15.56	16.47	16.61	16.07	17.56	19.73
	HADGEM2-ES		1.73	2.86	3.41	2.31	3.92	6.12	14.30	16.03	17.16	17.71	16.60	18.22	20.41
	GFDL-CM3		1.40	2.51	3.41	0.91	3.34	5.67	14.30	15.70	16.81	17.71	15.21	17.63	19.96
Noviembre	CNRMCM5		1.17	1.30	2.05	1.12	2.35	4.08	10.11	11.28	11.41	12.16	11.23	12.46	14.19
	MPI-ESM-LR		1.80	2.22	2.33	1.24	3.26	5.30	10.11	11.91	12.33	12.44	11.35	13.37	15.41
	HADGEM2-ES		2.04	2.93	3.44	2.33	4.03	6.67	10.11	12.15	13.04	13.55	12.44	14.14	16.78
	GFDL-CM3		1.84	2.86	3.44	1.73	3.85	5.97	10.11	11.95	12.97	13.55	11.84	13.96	16.08
Diciembre	CNRMCM5		0.78	1.96	1.64	0.95	2.23	3.94	7.18	7.96	9.14	8.82	8.13	9.41	11.12
	MPI-ESM-LR		0.73	1.51	1.94	1.33	2.41	4.21	7.18	7.91	8.69	9.12	8.51	9.59	11.39
	HADGEM2-ES		1.63	2.57	3.52	1.85	3.49	6.33	7.18	8.81	9.75	10.70	9.03	10.67	13.51
	GFDL-CM3		1.39	2.61	3.52	1.71	3.68	5.58	7.18	8.57	9.79	10.70	8.89	10.86	12.76

7.Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

En la Figura 24 se muestra la ZMVM, localizada geográficamente en (19° 25'N Latitud y 99° 10'W Longitud) a una altitud de 2240 m sobre el nivel medio del mar. La planicie de la cuenca cubre unos 5000 km² de la meseta mexicana. La topografía y la meteorología de la ZMVM contribuyen sustancialmente al problema de la contaminación atmosférica. Las montañas, junto con frecuentes inversiones térmicas, atrapan contaminantes dentro de la cuenca de la ZMVM. Su elevación y la intensa luz solar también contribuyen a los procesos fotoquímicos que impulsan la formación de ozono (O₃) y donde la contaminación atmosférica es generalmente peor en el invierno, cuando la lluvia es menos común y las inversiones térmicas son más frecuentes (Molina & Molina, 2004).

Figura 24 -Zona Metropolitana del Valle de México



Para obtener las figuras 25 y 26, se analizaron los datos de reanálisis de 1948 al 2016 de los campos de presión, viento y velocidad vertical en los diferentes niveles atmosféricos, encontrando que el periodo más importante es de diciembre a mayo, ya que los patrones sinópticos que afectan la región de la ZMG están sujetos a la influencia, principalmente sistemas anticiclónicos, procesos meteorológicos que determinan directamente las especies precursoras de ozono (O_3), por la subsidencia, calentamiento y compresión adiabática de aire, inhibiendo del desarrollo vertical de nubes y generando una atmósfera más estable.

Figura 25 Condiciones medias de enero de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascales/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).

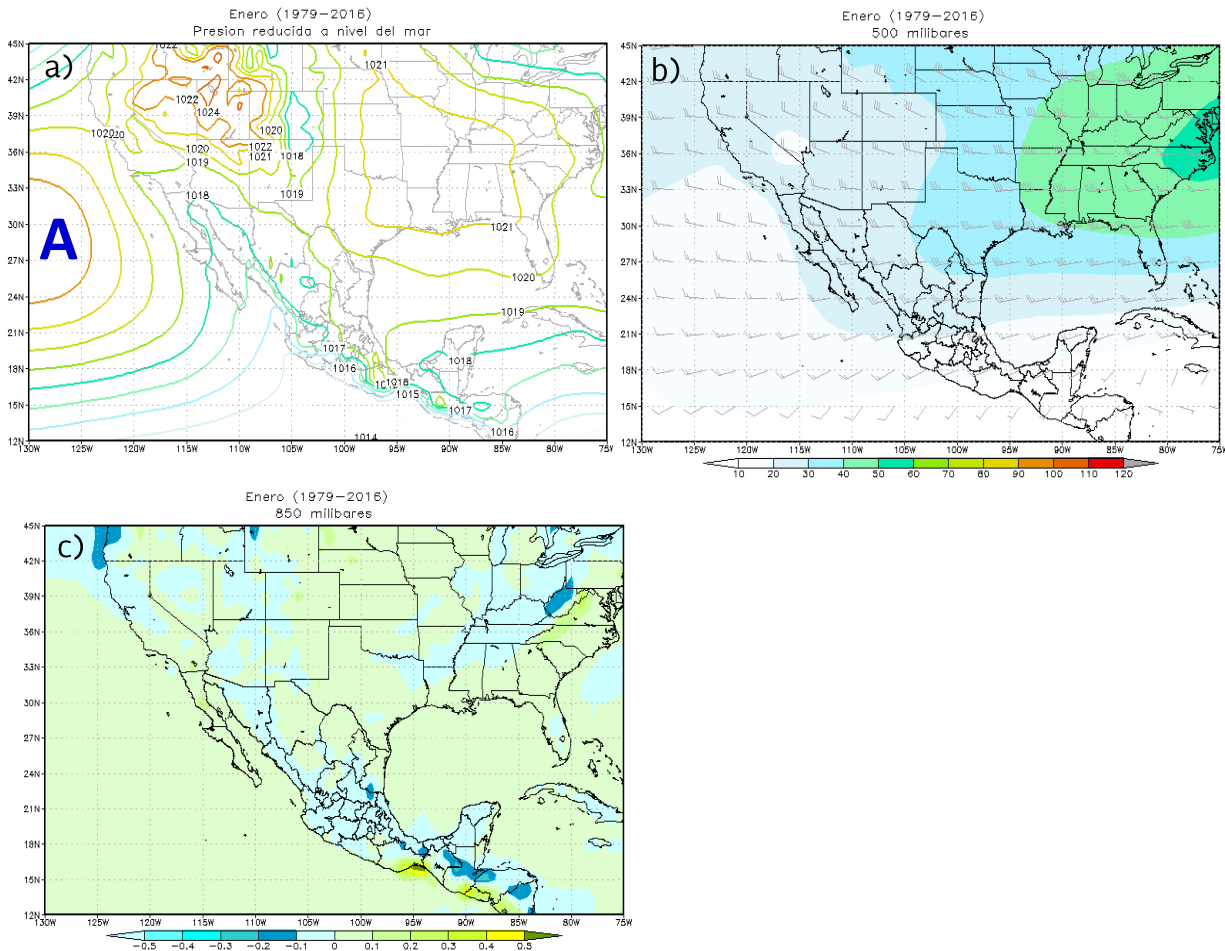
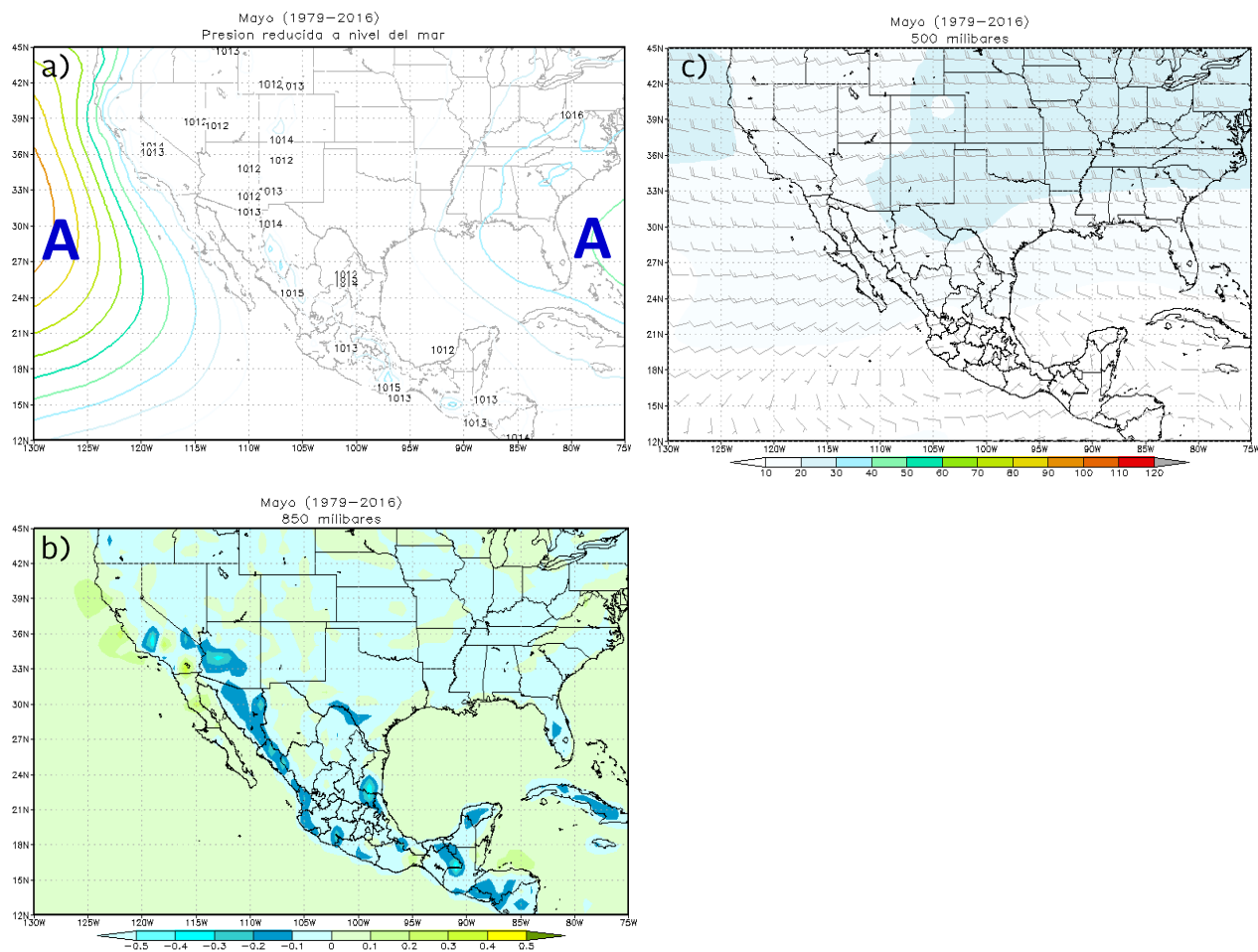


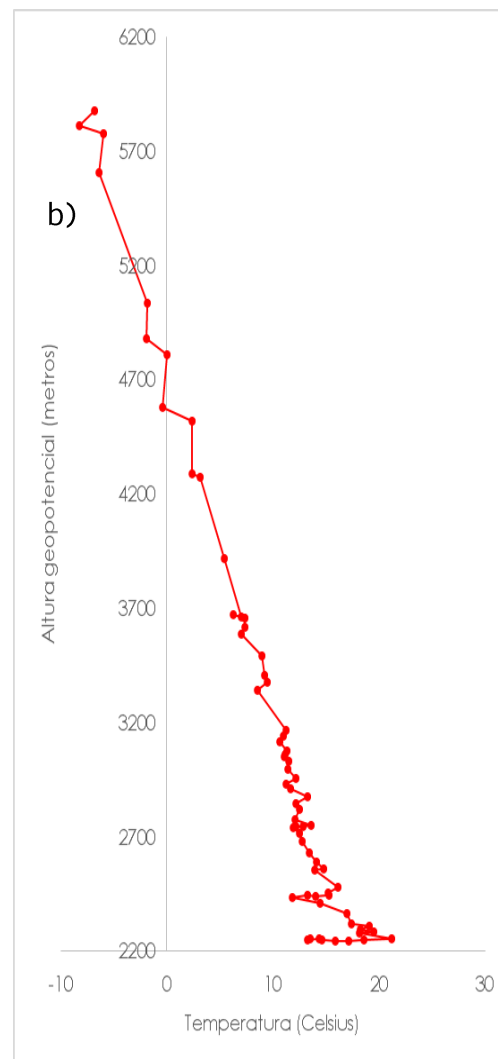
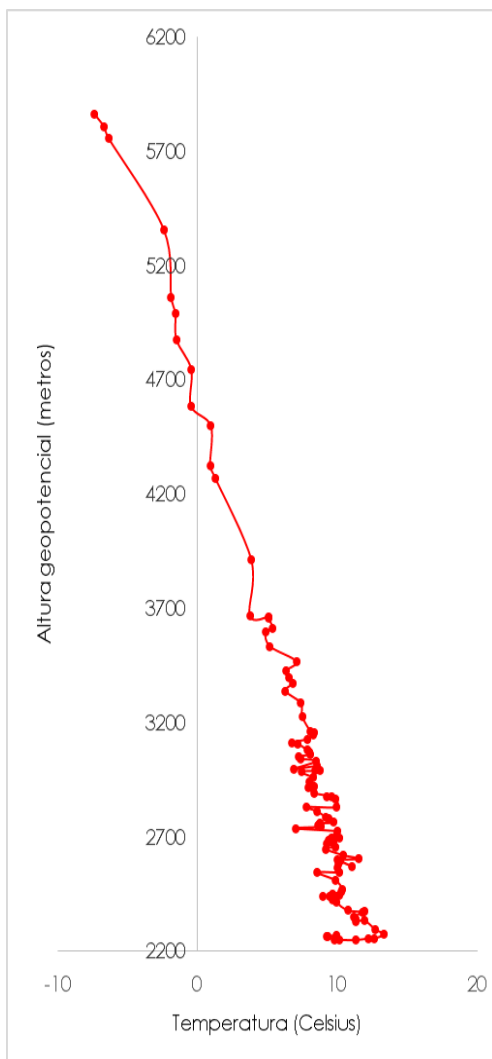
Figura 26 Fig. 26.- Condiciones medias de mayo de la a) presión reducida al nivel del mar (milibares), b) omega (Pascals/s) Movimiento de aire ascendente (valor negativo) y descendente (valor positivo) y c) viento (nudos).



Además, estas condiciones de estabilidad asociadas con los sistemas de alta presión son óptimas para la disminución de nubes e incremento de radiación, favorables para la producción fotoquímica de ozono y generación de inversiones térmicas por radiación y subsidencia que inhiben la dispersión de contaminantes (Fig.27).

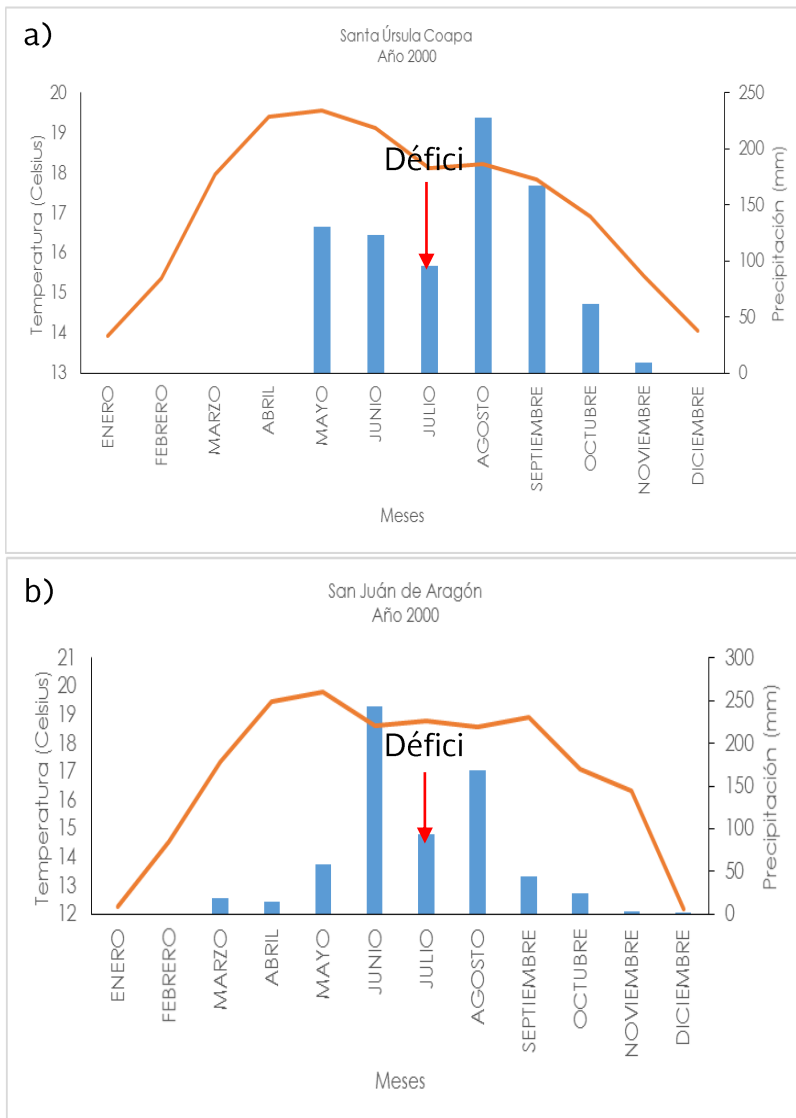
Figura 27 Perfil de temperatura promedio a las 06:00 hrs. "S" (12:00 "Z") del mes de a) enero, y b) mayo para el radiosondeo de la Cd. de México (Clave OMM-76679), obtenidos de la base de datos de 2000 al 2016 de la Universidad de Wyoming (weather.uwyo.edu).

a)



Las condiciones ambientales mejoran con la llegada del ciclo anual de las lluvias de verano, aunque ante la aparición de dos máximos en la precipitación de verano, uno en julio y otro en septiembre, existe un mínimo relativo en agosto (Fig. 28) sobre la ZMVM conocido como sequía intraestival, canícula o veranillo. Durante agosto, tal mínimo de precipitación se asocia a una menor cantidad de nubes convectivas profundas, lo que permite la mayor incidencia de radiación solar y por lo tanto una mayor temperatura de superficie, importante para la generación de O₃, y gran sequedad del terreno que favorece un gran número de incendios (Cedeño & Medina, 1999).

Figura 28 Variación mensual de precipitación y temperatura promedio de a) Santa Úrsula, Coapa, Cd. de México y b) San Juan de Aragón, Cd. de México, utilizando la base de datos de 25 años del sistema CLICOM.



Climatológicamente se ha observado que el paso de ciclones tropicales sobre el territorio nacional favorece el potencial de lluvias, aunque se observó lo contrario, ya que, en plena temporada de huracanes, al presentarse un evento en particular relevante el 18 de septiembre de 2002. El desplazamiento sobre el Pacífico mexicano de la tormenta tropical “Iselle” hacia el oeste, alejándose de las costas mexicanas, generó un proceso de secado en niveles medios de la atmósfera sobre la ZMVM y una disminución de nubosidad (Fig. 29), favoreciendo las condiciones de cielo despejado e incrementando las reacciones fotoquímicas favoreciendo a la activación de contingencia ambiental debido a la concentración de O₃.

Figura 29 a) Patrones de imagen de satélite y b) perfiles verticales de humedad para un periodo entre el 16, 17, 18, 19 y 20 de septiembre de 2002.

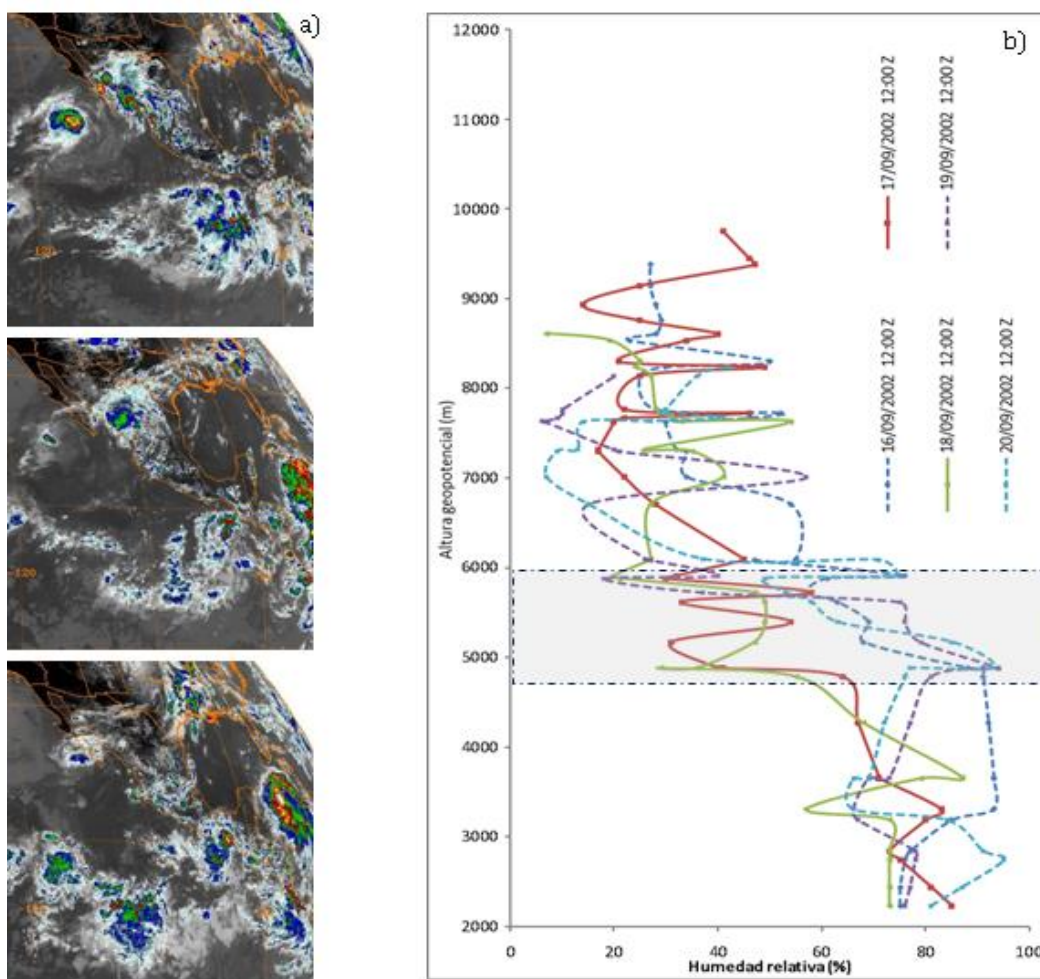
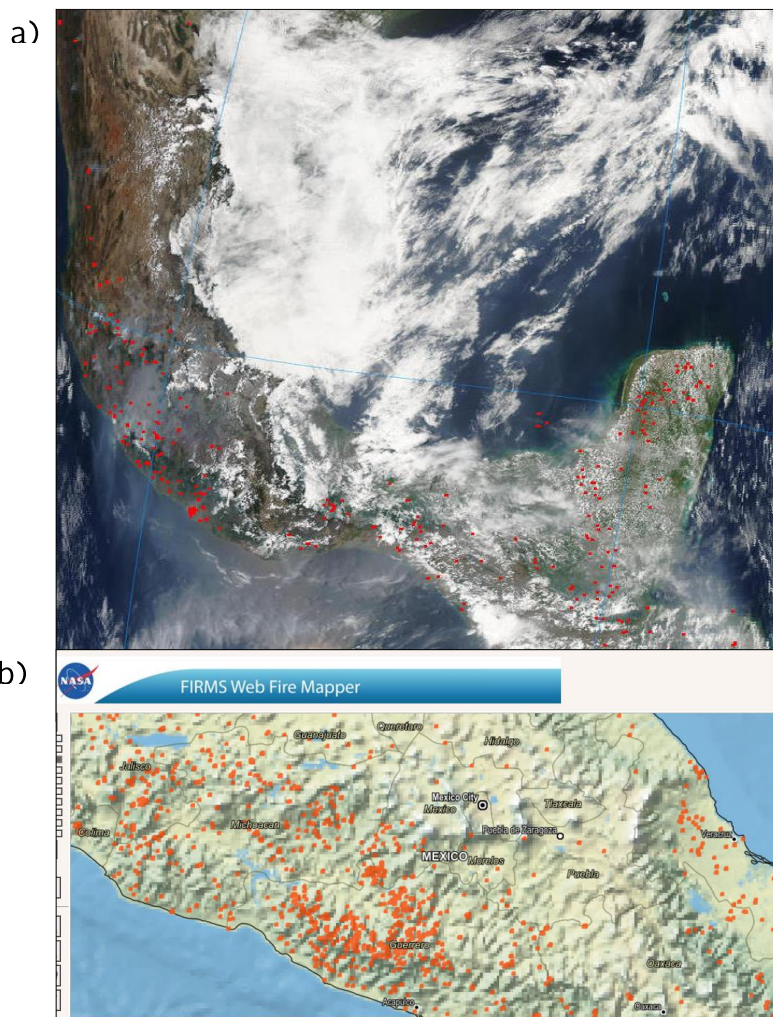


Fig. 29.- a) Patrones de imagen de satélite y b) perfiles verticales de humedad para un periodo entre el 16, 17, 18, 19 y 20 de septiembre de 2002.

Otro factor externo importante que favorecen el incremento de contaminantes atmosféricos, es el humo generado por los incendios forestales, monitoreados desde los sistemas de monitoreo earth data de la NASA (Fig. 30) que estacionalmente se representan, pero que ante eventos climáticos como El Niño, pueden agravar las condiciones ante la disminución de las precipitaciones que incluyen menos humedad en el suelo y frecuentemente, pérdidas de miles de hectáreas de bosques, como lo ocurrido en abril y mayo de 1998, donde se vivió uno de los peores desastres ecológicos de nuestro país, al ocurrir un gran número de incendios por la gran sequedad del terreno (Cedeño & Medina, 1999).

Figura 30 a) Imagen satelital canal "VIS" con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 02 de mayo de 2016.



7.1 Criterios de referencia con base en los patrones sinópticos

Integrando los resultados obtenidos de los análisis de las condiciones sinópticas que prevalecieron durante los eventos de casos de contingencia activada en la Zona Metropolitana del Valle de México, se consideraron 5 principales referencias asociadas a factores meteorológicos y un factor externo relevante para determinar el riesgo que puedan favorecer la concentración de contaminantes atmosféricos, sin considerar la emisión de compuestos volátiles de vehículos automotores y otros contaminantes, ya que para este estudio se consideran factores sinópticos y climáticos (Tabla 1).

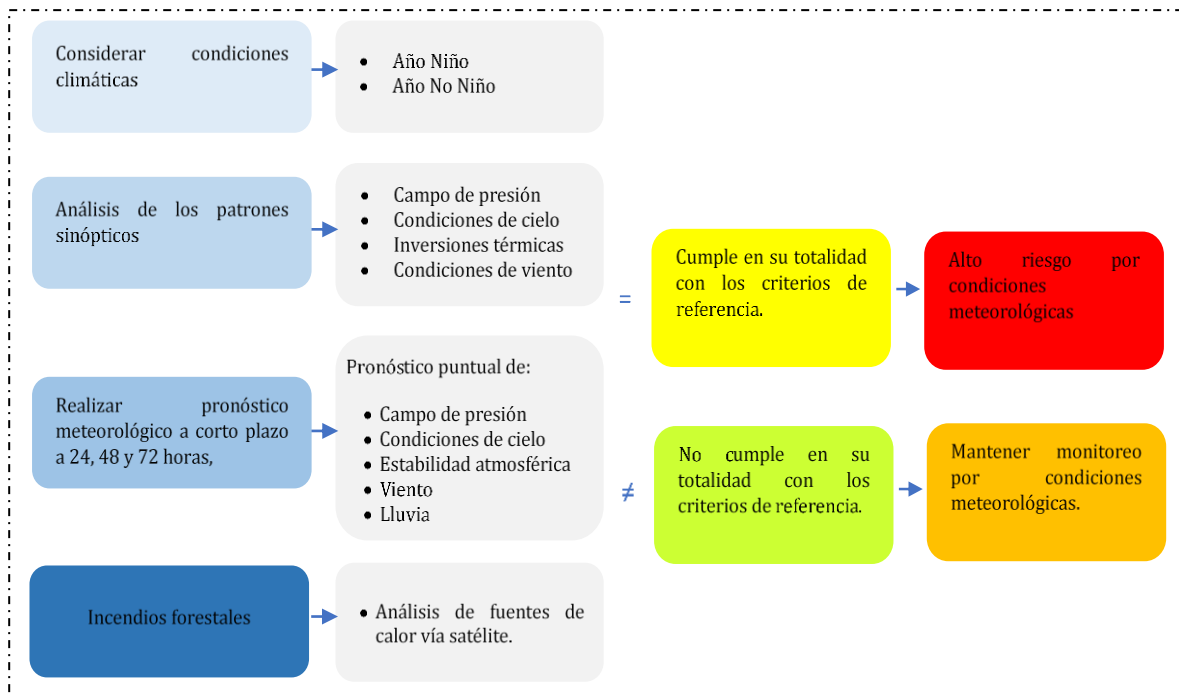
Tabla 11.- Criterios meteorológicos para determinar condiciones de riesgo para contingencia ambiental.

RIESGO	FACTOR METEOROLÓGICO	FACTOR EXTERNO
ALTO	<p>1. Alta presión hasta el nivel de los 500 milibares. http://www.nhc.noaa.gov/tafb_latest/USA_latest.gif</p>	<p>1. Incendios forestales</p>
	<p>2. Cielo despejado http://www.ssd.noaa.gov/goes/west/epac/vis.jpg https://aviationweather.gov/metar/data?ids=MMmx&format=raw&hours=0&taf=off&layout=on&date=0</p>	
	<p>3. Inversión térmica en superficie por debajo de los 750 milibares (2400 metros) o inversión térmica por subsidencia en altura por debajo de los 600 milibares (4200 metros). http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=naconf&TYPE=GIF%3ASKEWT&YEAR=2017&MONTH=06&FROM=0312&TO=0312&STNM=76612</p>	
	<p>4. Viento < 5 nudos en el nivel de superficie https://aviationweather.gov/metar/data?ids=MMGL&format=raw&date=0&hours=0</p>	

7.2 Propuesta para protocolo de un Sistema de Alerta Temprana desde una perspectiva de contingencia ambiental atmosférica.

En la tabla 12, se proponen las instrucciones y/o recomendaciones en este protocolo a partir de los resultados obtenidos de los análisis realizados de las condiciones medias sinópticas, análisis numérico y patrones meteorológicos que se presentaron en la activación de contingencias ambientales en la zona metropolitana del Valle de México, y son aplicables como apoyo para la toma de decisiones en todo aquello que no contravenga a leyes, reglamentos, normativas, disposiciones e instructivos que autoridades u organismos públicos competentes aplican.

Tabla 12.- Diagrama de un procedimiento sistemático desde perspectiva de contingencia ambiental con base en los criterios meteorológicos y estacionales.



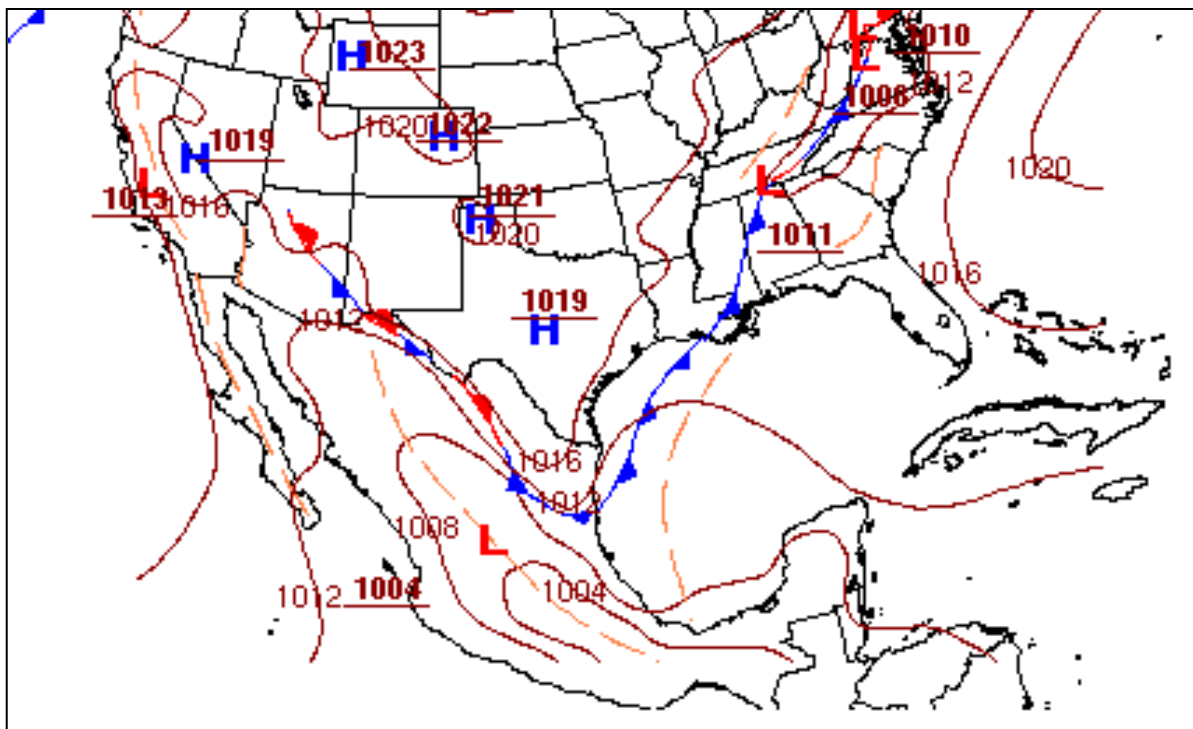
7.3 Aplicación de la propuesta para Protocolo de un Sistema de Alerta Temprana sobre la Región de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

El 2 de mayo de 2016, se activó la contingencia ambiental debido a la concentración de O₃ en la Zona Metropolitana del Valle de por parte de la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME).

7.3.1 Condiciones sinópticas y meteorológicas

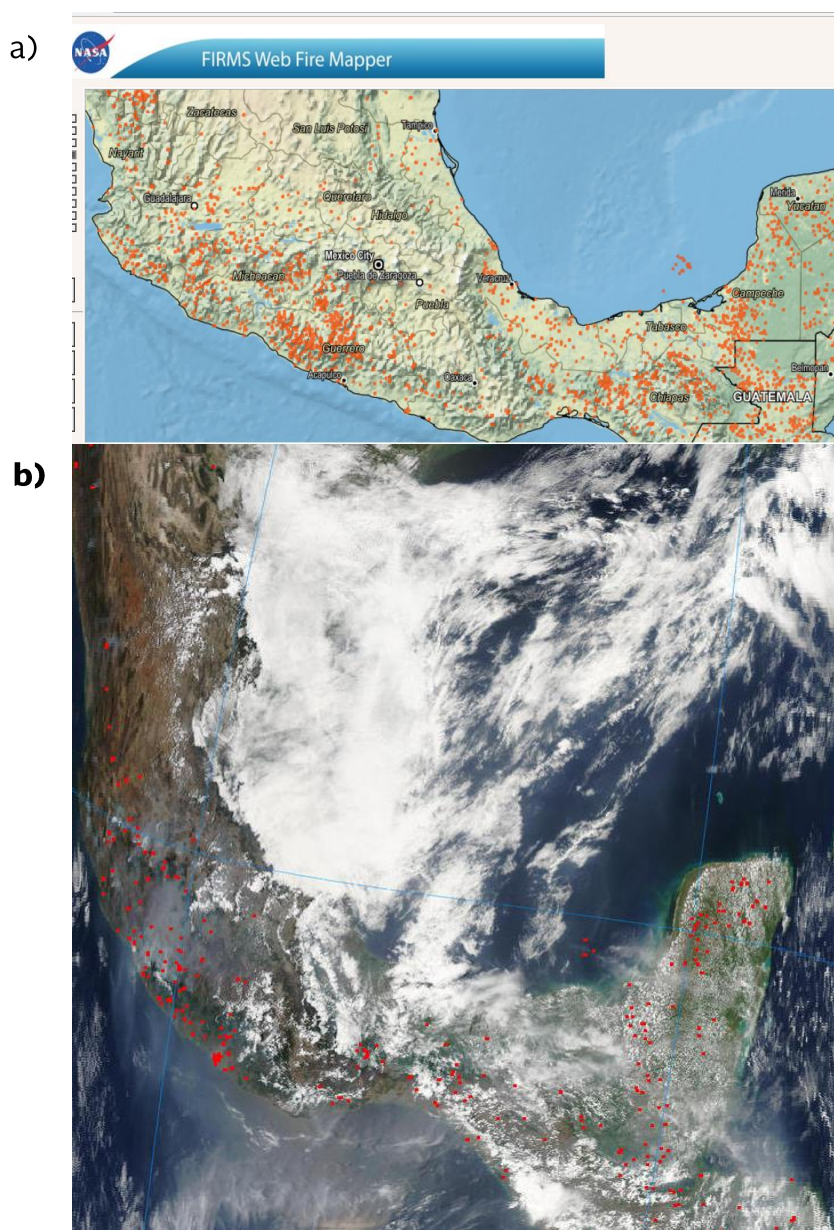
Para el día 2 de mayo de 2016 a nivel sinóptico dominan patrones medios de presión sobre la meseta central. Los efectos de un frente frío sobre la vertiente del Golfo de México a barlovento de la Sierra Madre Oriental (Fig. 31), favoreció a la estabilización de la atmósfera a sotavento de la Sierra, condiciones de poca humedad y cielo despejado.

Figura 31. Carta sinóptica del 08 de febrero de 2017 a las 06:00 horas locales (<http://www.wpc.ncep.noaa.gov>)



Una gran cantidad de humo se observa en las imágenes de satélite, asociado a los incendios forestales, considerados como factores externos, sobre la meseta central del territorio nacional, favoreciendo al incremento en la cantidad de contaminantes (Fig. 32).

Figura 32 a) Imagen satelital canal "VIS" con fuentes de calor del sistema MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y b) estimación de incendios con el sistema FIRMS (Fire Information for Resource Management System) para el 02 de mayo de 2016 a las 13:12 horas locales.



Registro de vientos débiles (Fig. 33), reportado en el METAR (MMMX); así como una atmósfera seca e inversión térmica matutina por subsidencia y profunda, por lo tanto, más difícil de romper (Fig. 34), favoreciendo a mayor acumulación de los contaminantes en la Ciudad de México.

Figura 33 Reporte METAR del aeropuerto de la Ciudad de México del 02 de mayo de 2016.

```
#####
#           MMMX, Mexico City / Licenci (Mexico)           #
#           WMO index: 76679                               #
#           Latitude 19-26N. Longitude 099-06W. Altitude 2238 m. #
# Time interval: from 05/02/2016 12:24 to 05/02/2016 22:45 UTC #
#####

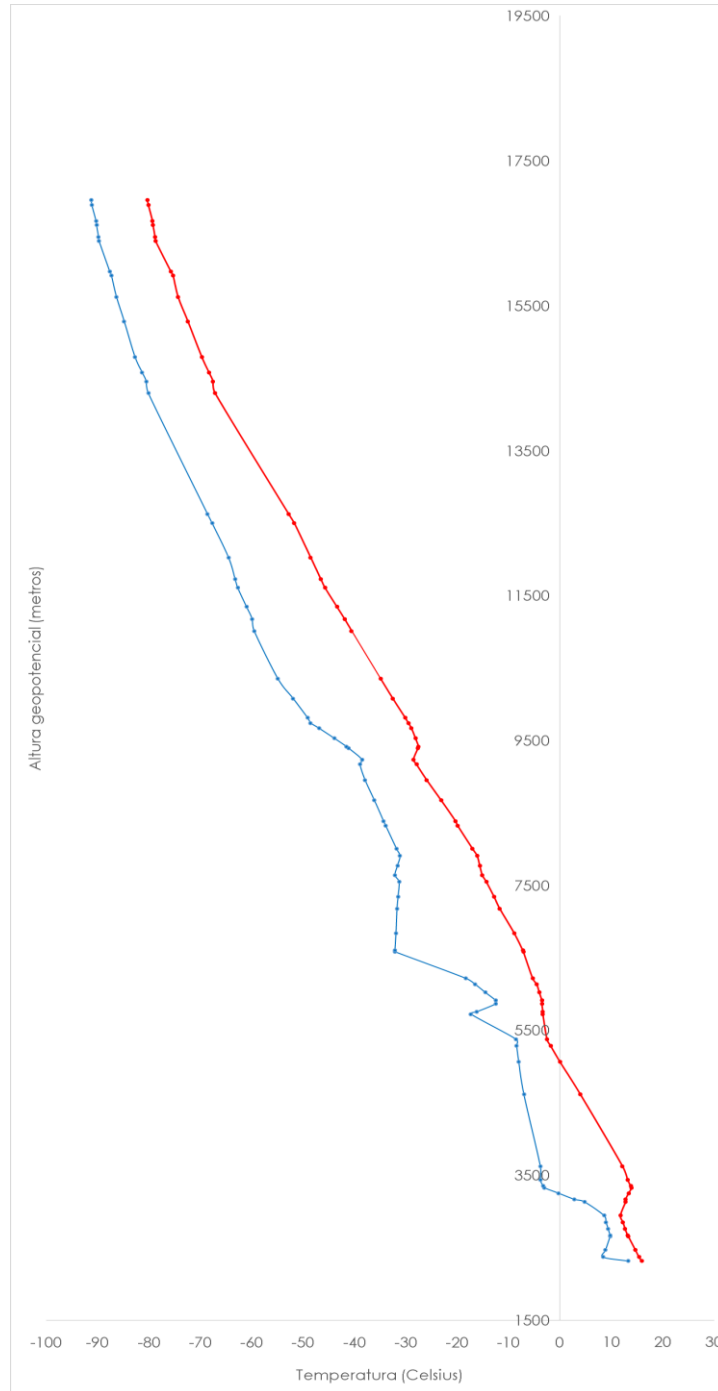
201605022245 METAR MMMX 022245Z 18005KT 6SM SCT020 BKN100 BKN200 30/M02
A3015 NOSIG RMK 8/232 HZY DSNT CB
E=
201605022148 METAR MMMX 022148Z 25006KT 6SM FEW020 BKN100 BKN200 30/M03
A3015 NOSIG RMK 8/132 HZY DSNT TCU
E=
201605022053 METAR MMMX 022053Z 12007KT 5SM FEW100 SCT200 30/M03 A3016
NOSIG RMK SLP012 57028 908 8/052
HZY VC TCU W DSNT TCU E=
201605021949 METAR MMMX 021949Z 24003KT 5SM FEW100 SCT200 31/M04 A3020
NOSIG RMK 8/052 HZY DSNT TCU E=
201605021842 METAR MMMX 021842Z 10008KT 6SM SCT200 28/M03 A3024 NOSIG
RMK 8/009 HZY CU E AC=
201605021745 METAR MMMX 021745Z 09006KT 6SM SKC 27/M04 A3028 NOSIG RMK
SLP105 57004 925 HZY DSNT CU E=
201605021641 METAR MMMX 021641Z 10003KT 6SM SKC 26/M04 A3030 NOSIG RMK
HZY=
201605021542 METAR MMMX 021542Z 08006KT 6SM SKC 24/00 A3031 NOSIG RMK
HZY=
201605021520 METAR MMMX 021520Z 04002KT 6SM SKC 23/01 A3031 NOSIG RMK
HZY=
201605021444 METAR MMMX 021444Z 09004KT 6SM SKC 21/01 A3031 NOSIG RMK
SLP062 52018 921 HZY=
201605021422 METAR MMMX 021422Z 09002KT 6SM SKC 20/01 A3031 NOSIG RMK
HZY=
201605021343 METAR MMMX 021343Z 10004KT 6SM SKC 18/01 A3030 NOSIG RMK
HZY=
201605021322 METAR MMMX 021322Z 07003KT 6SM SKC 17/01 A3030 NOSIG RMK
HZY=
201605021241 METAR MMMX 021241Z 09004KT 7SM FEW200 15/02 A3028 NOSIG RMK
8/001 HZY=
201605021224 METAR MMMX 021224Z 08004KT 7SM FEW200 15/01 A3027 NOSIG RMK
```

Fecha/hora
"Zulú"

Dirección e
intensidad del
viento

Cielo
despejado

Figura 34 Perfil de temperatura ambiente (línea roja) y temperatura de punto de rocío (línea azul) a las 06:00 hrs. "S" (12:00 "Z") del 08 de febrero de 2017 para radiosondeo de la Ciudad de México (Clave OMM-76679).



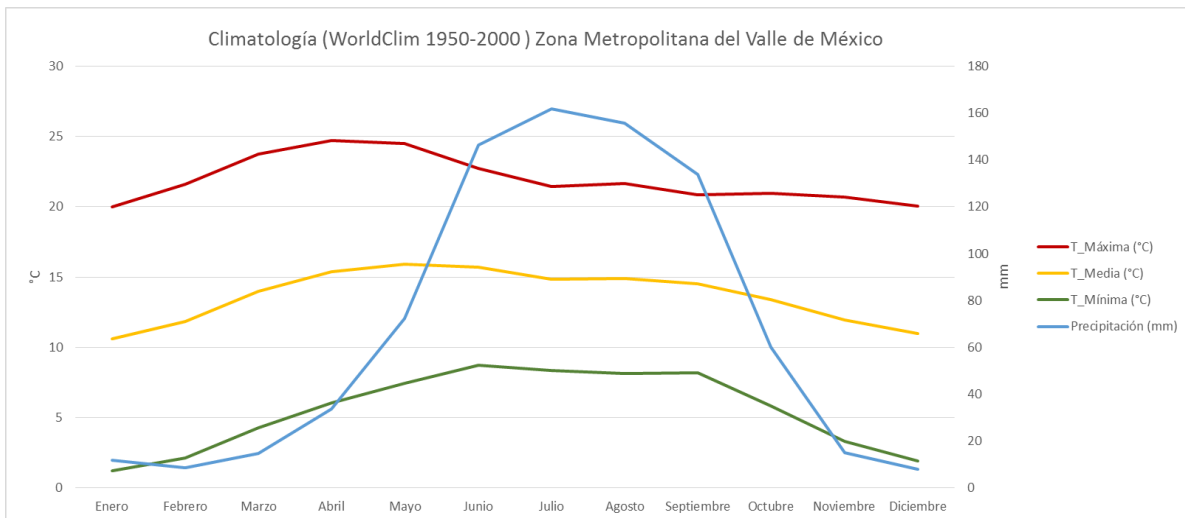
8. Proyecciones de cambio climático en la Zona Metropolitana del Valle de México

La climatología Base (WorldClim 1950 – 2000) del ciclo anual de la precipitación y de la temperatura para la Zona Metropolitana del Valle de México se muestra en la figura 35.

Los máximos valores de precipitación se presentan durante el verano, principalmente en el mes de julio, mientras que los mínimos de precipitación se presentan durante el invierno y la primavera, principalmente en el mes de diciembre.

Durante la primavera se presentan las temperaturas más altas, siendo abril el mes más caliente. En invierno se presentan las temperaturas más bajas, siendo enero el mes más frío.

Figura 35 Ciclo anual de la precipitación y temperatura en la Zona Metropolitana de Valle de México (ZMVM).



8.1 Precipitación

En la tabla 13 se presenta los valores de las anomalías, la climatología y las proyecciones totales de la Precipitación de la Zona Metropolitana del Valle de México.

El ciclo anual de la precipitación muestra un máximo en la lluvia de verano, mientras que las lluvias en invierno son casi nulas. La anomalía de precipitación tiene valores muy diversos, existen tanto anomalías positivas como negativas y dependiendo del modelo y el escenario se pueden observar valores muy grandes o muy poco significativos.

Los modelos bajo el escenario RCP 4.5 se tiene un comportamiento muy parecido al ciclo anual de la precipitación histórica, mientras que bajo el escenario RCP 8.5 se presenta el fenómeno llamado canícula en donde se pueden identificar dos máximos de precipitación y un mínimo en la temporada de lluvias.

Tabla 13.- Precipitación (mm) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Precipitación (mm) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México															
Mes	Modelo	Escenario	Anomalía						Clima	Proyección Total					
			RCP 4.5			RCP 8.5				RCP 4.5			RCP 8.5		
			2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099		2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099
Enero	CNRMCM5		4.19	-4.11	1.04	-2.97	-8.96	-6.79	11.82	16.01	7.71	12.86	8.85	2.86	5.03
	MPI-ESM-LR		-7.14	-9.72	-6.02	-10.17	-8.98	-17.45	11.82	4.68	2.10	5.80	1.65	2.84	-5.63
	HADGEM2-ES		1.46	-1.43	-5.82	3.89	-0.86	-6.41	11.82	13.28	10.39	6.00	15.71	10.96	5.41
	GFDL-CM3		-2.76	2.27	-11.71	2.12	12.62	-4.67	11.82	9.06	14.09	0.10	13.94	24.44	7.15
Febrero	CNRMCM5		-11.38	-8.11	-2.92	-1.49	-7.29	-14.68	8.58	-2.79	0.47	5.66	7.09	1.29	-6.10
	MPI-ESM-LR		3.72	-5.30	-8.04	-3.32	-7.64	-13.28	8.58	12.30	3.28	0.54	5.26	0.94	-4.70
	HADGEM2-ES		-5.19	-4.43	-3.01	3.14	-0.06	-4.89	8.58	3.39	4.15	5.57	11.72	8.52	3.69
	GFDL-CM3		-6.31	0.77	-1.63	-3.33	-13.72	-1.06	8.58	2.27	9.35	6.95	5.25	-5.14	7.52
Marzo	CNRMCM5		-8.83	-1.66	-7.31	-1.93	-7.91	-13.12	14.64	5.81	12.98	7.33	12.71	6.73	1.53
	MPI-ESM-LR		-2.88	-8.31	-13.55	-4.11	-10.26	-22.25	14.64	11.77	6.33	1.09	10.53	4.38	-7.60
	HADGEM2-ES		-2.54	-3.56	-2.92	0.48	-3.37	-5.08	14.64	12.10	11.08	11.72	15.12	11.27	9.56
	GFDL-CM3		-15.58	-13.62	-20.49	-11.29	-18.62	-16.54	14.64	-0.94	1.03	-5.85	3.35	-3.98	-1.90
Abril	CNRMCM5		12.70	14.93	3.26	-0.16	-0.79	0.71	33.86	46.56	48.79	37.11	33.70	33.07	34.57
	MPI-ESM-LR		-2.51	-17.85	-13.57	-2.84	-17.59	-28.34	33.86	31.34	16.01	20.28	31.02	16.26	5.52
	HADGEM2-ES		-4.69	-4.22	3.40	-5.05	-6.51	1.83	33.86	29.17	29.64	37.26	28.81	27.34	35.69
	GFDL-CM3		-13.77	-8.35	-17.60	-2.16	-16.72	-24.27	33.86	20.09	25.50	16.25	31.70	17.14	9.59
Mayo	CNRMCM5		14.04	13.04	16.11	4.39	4.10	21.29	72.40	86.43	85.44	88.50	76.79	76.50	93.68
	MPI-ESM-LR		0.32	-6.08	-9.26	4.75	-28.49	-34.26	72.40	72.72	66.32	63.14	77.14	43.91	38.13
	HADGEM2-ES		8.34	1.15	17.81	-1.60	2.28	-0.52	72.40	80.73	73.54	90.21	70.80	74.67	71.88
	GFDL-CM3		-13.12	-1.19	-11.07	-6.40	-12.75	-19.11	72.40	59.27	71.21	61.32	66.00	59.64	53.28
Junio	CNRMCM5		-16.04	4.69	4.22	0.02	-0.68	10.21	146.35	130.31	151.03	150.57	146.36	145.67	156.56
	MPI-ESM-LR		13.13	1.38	3.86	5.15	17.85	18.03	146.35	159.48	147.73	150.20	151.50	164.20	164.37
	HADGEM2-ES		0.14	-1.27	-9.98	-11.07	-2.69	-2.93	146.35	146.49	145.08	136.37	135.28	143.66	143.42
	GFDL-CM3		-10.38	-6.15	0.37	-3.20	-6.96	-12.63	146.35	135.96	140.20	146.72	143.15	139.39	133.72
Julio	CNRMCM5		-26.46	-32.36	-59.56	14.11	-18.91	-36.55	161.80	135.35	129.44	102.25	175.92	142.89	125.26
	MPI-ESM-LR		-8.52	-17.77	-21.33	-10.24	-20.36	-27.09	161.80	153.29	144.03	140.47	151.57	141.45	134.71
	HADGEM2-ES		4.67	-5.72	23.63	-10.02	-4.21	-8.62	161.80	166.47	156.08	185.43	151.78	157.59	153.19
	GFDL-CM3		-5.41	-14.06	-22.65	-22.93	-19.62	-33.65	161.80	156.40	147.74	139.15	138.87	142.18	128.15
Agosto	CNRMCM5		-3.51	-39.91	-34.13	12.13	-30.50	-54.41	155.78	152.28	115.87	121.66	167.91	125.28	101.38
	MPI-ESM-LR		-1.93	-10.18	-16.36	-6.39	-12.05	-29.09	155.78	153.85	145.60	139.42	149.39	143.73	126.69
	HADGEM2-ES		-34.01	-14.89	-27.80	-25.04	-18.85	-44.37	155.78	121.78	140.89	127.98	130.75	136.93	111.41
	GFDL-CM3		-4.79	-20.98	-14.77	-10.21	-25.15	-33.77	155.78	150.99	134.80	141.02	145.57	130.63	122.01
Septiembre	CNRMCM5		-14.88	14.94	14.83	27.46	20.49	15.71	133.94	119.05	148.87	148.76	161.40	154.42	149.64
	MPI-ESM-LR		2.68	7.80	14.66	12.60	9.11	17.09	133.94	136.62	141.74	148.60	146.54	143.05	151.03
	HADGEM2-ES		2.39	4.50	-25.64	8.68	-9.14	-35.28	133.94	136.32	138.44	108.30	142.61	124.80	98.66
	GFDL-CM3		-7.36	-11.62	-16.63	-1.88	-3.01	-24.20	133.94	126.58	122.32	117.31	132.06	130.93	109.74
Octubre	CNRMCM5		-8.39	7.63	16.65	-0.80	2.86	12.68	60.22	51.83	67.85	76.87	59.42	63.08	72.90
	MPI-ESM-LR		-0.17	-1.97	6.63	1.10	2.88	17.09	60.22	60.06	58.25	66.86	61.32	63.10	77.31
	HADGEM2-ES		-22.08	-0.11	12.44	1.73	-3.19	-12.52	60.22	38.15	60.11	72.66	61.95	57.03	47.70
	GFDL-CM3		-1.25	0.77	2.31	30.79	-6.97	6.25	60.22	58.97	60.99	62.53	91.01	53.25	66.47
Noviembre	CNRMCM5		-0.68	-5.43	-6.50	-2.58	-2.22	-8.82	14.95	14.27	9.52	8.45	12.37	12.73	6.13
	MPI-ESM-LR		3.95	7.46	5.38	0.32	0.89	7.42	14.95	18.90	22.41	20.33	15.27	15.84	22.37
	HADGEM2-ES		3.95	27.56	45.51	19.65	36.49	93.43	14.95	18.90	42.51	60.46	34.60	51.44	108.38
	GFDL-CM3		15.32	5.58	2.21	2.68	0.76	12.51	14.95	30.27	20.53	17.16	17.62	15.71	27.46
Diciembre	CNRMCM5		-7.72	-3.34	-7.68	-1.97	-1.30	-7.46	8.02	0.30	4.67	0.33	6.04	6.72	0.56
	MPI-ESM-LR		-1.86	0.70	1.02	2.79	-0.07	-1.04	8.02	6.15	8.72	9.04	10.81	7.94	6.98
	HADGEM2-ES		3.06	5.85	7.41	2.28	6.38	13.66	8.02	11.08	13.86	15.43	10.30	14.39	21.68
	GFDL-CM3		-6.91	2.55	10.13	-4.32	5.56	18.35	8.02	1.10	10.57	18.15	3.69	13.57	26.37

8.2 Temperatura máxima

En la tabla 14 se presenta los valores de las anomalías, la climatología y las proyecciones totales de la Temperatura Máxima de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Climatológicamente no existe una variación muy grande de la temperatura máxima entre la temperatura más alta en abril y la temperatura más baja en enero.

A partir del ciclo anual de la temperatura obtenido de la climatología, observamos que las temperaturas más altas de la temperatura máxima se presentan durante la primavera, y disminuye significativamente durante verano.

El escenario RCP 8.5 futuro lejano es el que presenta los valores más altos en las anomalías, mientras en el futuro cercano el comportamiento de ambos escenarios es muy parecido en todos los modelos.

La proyección total más significativa es bajo el escenario RCP 8.5 del futuro lejano, en donde se presenta anomalías muy grandes entre el mes más frío y el mes más cálido, lo que muestra un incremento bastante significativo en la temperatura máxima.

Tabla 14.- Temperatura Máxima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Temperatura Máxima (°C) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México															
Mes	Modelo	Escenario Año	Anomalía						Clima	Proyección Total					
			RCP 4.5			RCP 8.5				RCP 4.5			RCP 8.5		
			2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099		2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099
Enero	CNRMCM5		0.33	1.53	1.69	0.83	2.05	3.43	20.01	20.34	21.54	21.70	20.84	22.06	23.44
	MPI-ESM-LR		1.00	1.89	2.30	1.47	2.68	4.82	20.01	21.01	21.90	22.31	21.48	22.69	24.83
	HADGEM2-ES		1.55	2.72	3.34	1.64	3.69	5.97	20.01	21.56	22.74	23.35	21.65	23.70	25.98
	GFDL-CM3		1.53	2.57	3.28	1.32	2.96	5.97	20.01	21.54	22.58	23.29	21.33	22.97	25.98
Febrero	CNRMCM5		1.09	1.79	1.82	0.89	2.47	4.21	21.62	22.71	23.41	23.44	22.51	24.09	25.83
	MPI-ESM-LR		1.43	2.79	2.69	1.56	3.00	4.79	21.62	23.05	24.41	24.31	23.18	24.62	26.42
	HADGEM2-ES		1.61	2.62	3.35	1.56	3.96	6.36	21.62	23.24	24.24	24.97	23.18	25.58	27.98
	GFDL-CM3		1.44	2.73	3.35	1.57	3.26	4.66	21.62	23.06	24.35	24.97	23.20	24.88	26.28
Marzo	CNRMCM5		1.44	1.91	2.55	1.01	2.74	4.56	23.72	25.16	25.63	26.27	24.73	26.46	28.28
	MPI-ESM-LR		1.35	2.49	2.73	1.37	3.13	5.70	23.72	25.07	26.21	26.45	25.09	26.85	29.42
	HADGEM2-ES		1.99	2.87	3.64	1.63	3.98	7.04	23.72	25.71	26.59	27.36	25.35	27.70	30.76
	GFDL-CM3		2.42	3.96	4.77	1.99	4.51	5.66	23.72	26.14	27.68	28.49	25.71	28.23	29.38
Abril	CNRMCM5		0.80	1.35	2.37	1.07	2.78	4.48	24.70	25.51	26.06	27.08	25.77	27.49	29.19
	MPI-ESM-LR		1.53	2.91	3.04	1.59	3.46	6.00	24.70	26.24	27.61	27.75	26.30	28.16	30.70
	HADGEM2-ES		2.25	3.24	4.15	1.75	4.51	6.69	24.70	26.95	27.95	28.86	26.46	29.21	31.39
	GFDL-CM3		2.64	3.74	4.80	1.90	4.62	6.62	24.70	27.35	28.45	29.51	26.60	29.33	31.33
Mayo	CNRMCM5		0.06	1.20	1.88	0.91	1.90	2.88	24.47	24.53	25.67	26.35	25.38	26.37	27.35
	MPI-ESM-LR		1.61	2.82	3.12	1.58	3.66	6.23	24.47	26.08	27.29	27.59	26.05	28.13	30.70
	HADGEM2-ES		1.48	3.21	3.27	2.23	3.94	6.62	24.47	25.95	27.68	27.74	26.70	28.41	31.09
	GFDL-CM3		2.80	4.24	5.31	2.01	4.94	7.18	24.47	27.27	28.71	29.78	26.48	29.41	31.65
Junio	CNRMCM5		0.50	1.39	1.34	0.74	1.74	2.78	22.75	23.25	24.14	24.09	23.48	24.49	25.53
	MPI-ESM-LR		1.15	2.25	2.77	1.35	2.99	5.32	22.75	23.90	25.00	25.52	24.10	25.74	28.06
	HADGEM2-ES		1.52	2.45	3.17	1.60	3.19	5.32	22.75	24.27	25.20	25.92	24.35	25.94	28.07
	GFDL-CM3		3.03	4.32	4.30	2.01	4.93	7.30	22.75	25.78	27.07	27.05	24.76	27.68	30.05
Julio	CNRMCM5		1.02	1.62	2.29	0.73	2.04	3.57	21.42	22.44	23.05	23.71	22.16	23.46	25.00
	MPI-ESM-LR		1.41	2.31	2.73	1.35	3.11	5.40	21.42	22.83	23.74	24.16	22.77	24.53	26.83
	HADGEM2-ES		1.41	2.55	2.79	1.74	3.55	5.23	21.42	22.83	23.98	24.22	23.17	24.97	26.66
	GFDL-CM3		3.38	4.61	5.67	3.43	5.21	7.56	21.42	24.81	26.03	27.10	24.85	26.63	28.98
Agosto	CNRMCM5		0.73	1.77	1.96	0.77	2.29	4.00	21.64	22.38	23.42	23.60	22.41	23.93	25.64
	MPI-ESM-LR		1.54	2.74	2.98	1.63	3.30	5.81	21.64	23.19	24.38	24.63	23.27	24.94	27.45
	HADGEM2-ES		1.51	2.36	2.97	1.72	3.26	5.55	21.64	23.15	24.01	24.62	23.36	24.90	27.20
	GFDL-CM3		1.51	4.89	5.54	3.35	5.68	8.09	21.64	23.15	26.53	27.18	25.00	27.33	29.73
Septiembre	CNRMCM5		0.84	1.50	1.80	0.73	1.86	3.35	20.85	21.69	22.34	22.65	21.58	22.71	24.20
	MPI-ESM-LR		1.61	2.66	2.98	1.49	3.53	6.02	20.85	22.46	23.51	23.83	22.33	24.38	26.87
	HADGEM2-ES		1.63	2.38	3.16	1.80	3.26	5.52	20.85	22.48	23.23	24.01	22.65	24.11	26.37
	GFDL-CM3		2.59	4.46	4.98	2.73	5.12	8.12	20.85	23.43	25.31	25.83	23.58	25.97	28.97
Octubre	CNRMCM5		0.78	1.29	1.61	0.78	1.79	2.96	20.98	21.75	22.27	22.59	21.76	22.77	23.94
	MPI-ESM-LR		1.25	2.34	2.45	1.60	3.27	5.22	20.98	22.23	23.32	23.43	22.58	24.25	26.20
	HADGEM2-ES		1.66	2.54	3.23	1.85	3.37	5.40	20.98	22.63	23.52	24.21	22.83	24.35	26.38
	GFDL-CM3		1.74	3.03	3.85	1.12	3.49	5.77	20.98	22.72	24.01	24.83	22.10	24.47	26.75
Noviembre	CNRMCM5		1.02	1.13	1.49	0.79	1.92	3.16	20.69	21.71	21.82	22.18	21.48	22.61	23.85
	MPI-ESM-LR		1.46	2.28	2.30	1.00	3.04	4.99	20.69	22.15	22.97	22.99	21.69	23.73	25.68
	HADGEM2-ES		1.71	2.42	2.76	1.71	3.24	4.94	20.69	22.40	23.11	23.44	22.40	23.93	25.63
	GFDL-CM3		1.42	2.49	2.87	1.39	3.03	4.88	20.69	22.11	23.18	23.56	22.08	23.72	25.57
Diciembre	CNRMCM5		1.00	1.50	1.70	0.85	2.00	3.48	20.06	21.05	21.56	21.76	20.91	22.06	23.53
	MPI-ESM-LR		1.15	2.13	2.53	1.15	2.83	4.73	20.06	21.21	22.19	22.59	21.21	22.88	24.79
	HADGEM2-ES		1.58	2.10	2.67	1.30	3.15	4.78	20.06	21.64	22.16	22.73	21.35	23.20	24.83
	GFDL-CM3		1.72	2.81	3.17	1.76	3.49	5.18	20.06	21.77	22.87	23.22	21.82	23.55	25.23

8.3 Temperatura mínima

En la tabla 15 se presenta los valores de las anomalías, la climatología y las proyecciones totales de la Temperatura Mínima de la Zona Metropolitana del Valle de México.

El ciclo anual de la temperatura mínima es diferente al ciclo anual de la temperatura máxima, ya que en el invierno es en donde se registran las temperaturas más bajas de la temperatura mínima, y en el verano se registran las temperaturas más altas de la temperatura mínima.

La anomalía de la temperatura mínima proyectadas por los escenarios de cambio climático no es tan marcada. Mientras que las anomalías en el futuro cercano son muy parecidas a la climatología y entre los dos escenarios, mientras que en el futuro lejano se aprecia una diferencia significativa entre el RCP 4.5 y el escenario RCP 8.5 el cual es mucho más cálido.

Tabla 15.- Temperatura Mínima (Celsius) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Temperatura Mínima (°C) de los Escenarios de Cambio Climático en la Zona Metropolitana del Valle de México															
Mes	Modelo	Escenario	Anomalia						Clima	Proyección Total					
			RCP 4.5			RCP 8.5				RCP 4.5			RCP 8.5		
			Año	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069		2075-2099	2015-2039	2045-2069	2075-2099	2015-2039	2045-2069
Enero	CNRMCM5		0.50	1.20	1.46	0.66	1.43	2.68	1.22	1.71	2.42	2.68	1.88	2.65	3.90
	MPI-ESM-LR		0.94	1.79	2.10	1.22	2.47	4.24	1.22	2.16	3.00	3.32	2.44	3.69	5.45
	HADGEM2-ES		1.21	2.20	2.70	1.45	3.04	4.86	1.22	2.42	3.41	3.92	2.66	4.26	6.07
	GFDL-CM3		0.89	1.64	2.70	1.02	2.53	3.39	1.22	2.11	2.85	3.92	2.24	3.75	4.61
Febrero	CNRMCM5		0.06	1.03	1.52	0.57	1.57	2.80	2.13	2.19	3.16	3.65	2.70	3.70	4.92
	MPI-ESM-LR		1.29	2.28	2.20	1.52	2.64	4.15	2.13	3.42	4.40	4.33	3.65	4.77	6.28
	HADGEM2-ES		1.00	2.03	2.90	1.15	2.92	4.81	2.13	3.12	4.16	5.03	3.27	5.04	6.94
	GFDL-CM3		0.58	1.72	2.90	1.14	1.76	3.56	2.13	2.71	3.85	5.03	3.26	3.88	5.69
Marzo	CNRMCM5		0.54	1.56	1.99	0.77	2.04	3.53	4.26	4.81	5.83	6.25	5.04	6.30	7.79
	MPI-ESM-LR		1.26	2.14	2.22	1.30	2.84	4.77	4.26	5.52	6.41	6.49	5.57	7.10	9.04
	HADGEM2-ES		0.86	2.17	2.97	0.92	2.58	4.86	4.26	5.12	6.43	7.24	5.19	6.84	9.13
	GFDL-CM3		0.45	1.67	2.97	0.80	2.50	3.92	4.26	4.71	5.94	7.24	5.07	6.76	8.19
Abril	CNRMCM5		0.79	1.73	2.22	1.09	2.45	4.18	6.07	6.85	7.80	8.29	7.15	8.51	10.25
	MPI-ESM-LR		1.44	2.41	2.61	1.52	3.09	5.17	6.07	7.51	8.48	8.67	7.59	9.16	11.24
	HADGEM2-ES		1.36	2.45	3.62	1.22	3.16	5.55	6.07	7.42	8.52	9.68	7.28	9.23	11.62
	GFDL-CM3		1.38	2.34	3.62	1.75	3.50	5.25	6.07	7.44	8.41	9.68	7.82	9.56	11.32
Mayo	CNRMCM5		0.85	1.50	2.28	1.18	2.28	3.97	7.46	8.31	8.97	9.75	8.65	9.74	11.44
	MPI-ESM-LR		1.29	2.27	2.54	1.44	2.96	5.11	7.46	8.76	9.73	10.01	8.90	10.43	12.58
	HADGEM2-ES		1.53	2.73	3.45	1.56	3.14	5.52	7.46	9.00	10.19	10.91	9.02	10.60	12.98
	GFDL-CM3		1.26	2.51	3.45	1.49	3.31	5.36	7.46	8.73	9.97	10.91	8.95	10.78	12.82
Junio	CNRMCM5		0.61	1.77	2.31	1.07	2.16	3.68	8.72	9.34	10.50	11.04	9.80	10.89	12.40
	MPI-ESM-LR		1.32	2.12	2.46	1.42	2.99	4.93	8.72	10.05	10.85	11.19	10.15	11.71	13.65
	HADGEM2-ES		1.40	2.29	2.87	1.27	2.94	4.88	8.72	10.12	11.02	11.59	9.99	11.66	13.61
	GFDL-CM3		1.45	2.65	2.87	1.75	3.38	5.41	8.72	10.18	11.38	11.59	10.48	12.10	14.13
Julio	CNRMCM5		0.49	1.28	1.32	1.14	1.98	3.37	8.36	8.84	9.64	9.67	9.49	10.34	11.72
	MPI-ESM-LR		1.14	1.94	2.27	1.30	2.85	4.75	8.36	9.50	10.29	10.62	9.65	11.21	13.11
	HADGEM2-ES		1.34	2.16	2.84	1.32	2.89	4.71	8.36	9.69	10.51	11.19	9.68	11.25	13.07
	GFDL-CM3		1.33	2.29	2.84	1.16	3.05	4.95	8.36	9.69	10.64	11.19	9.51	11.41	13.31
Agosto	CNRMCM5		1.02	1.30	1.70	1.11	1.85	3.19	8.16	9.18	9.47	9.86	9.27	10.01	11.35
	MPI-ESM-LR		1.06	1.93	2.26	1.28	2.77	4.64	8.16	9.23	10.09	10.42	9.44	10.93	12.81
	HADGEM2-ES		1.13	2.07	2.60	1.39	2.88	4.76	8.16	9.29	10.24	10.76	9.55	11.04	12.92
	GFDL-CM3		1.61	2.35	2.60	1.64	3.19	5.17	8.16	9.77	10.52	10.76	9.80	11.35	13.34
Septiembre	CNRMCM5		1.07	1.82	2.31	1.40	2.39	3.96	8.21	9.28	10.03	10.52	9.61	10.60	12.17
	MPI-ESM-LR		1.08	1.96	2.31	1.21	2.74	4.64	8.21	9.29	10.17	10.52	9.42	10.95	12.85
	HADGEM2-ES		1.32	2.21	2.73	1.57	2.99	4.75	8.21	9.53	10.42	10.93	9.78	11.20	12.96
	GFDL-CM3		1.76	2.88	2.73	2.09	3.77	5.73	8.21	9.97	11.08	10.93	10.30	11.98	13.94
Octubre	CNRMCM5		0.76	1.76	1.98	0.96	1.84	3.57	5.84	6.60	7.60	7.82	6.80	7.68	9.41
	MPI-ESM-LR		1.31	2.17	2.43	1.60	3.21	5.18	5.84	7.15	8.01	8.27	7.44	9.05	11.02
	HADGEM2-ES		1.24	2.20	2.90	1.61	3.02	4.89	5.84	7.08	8.03	8.73	7.45	8.85	10.72
	GFDL-CM3		1.65	2.62	2.90	1.74	3.18	5.31	5.84	7.49	8.46	8.73	7.58	9.02	11.15
Noviembre	CNRMCM5		0.93	1.07	1.62	0.83	1.81	3.09	3.31	4.25	4.38	4.94	4.15	5.12	6.40
	MPI-ESM-LR		1.59	2.41	2.22	1.35	3.17	5.24	3.31	4.90	5.72	5.53	4.67	6.48	8.56
	HADGEM2-ES		1.54	2.68	3.41	2.02	3.47	5.76	3.31	4.86	5.99	6.72	5.33	6.79	9.07
	GFDL-CM3		1.88	2.49	3.41	1.74	3.34	5.13	3.31	5.19	5.80	6.72	5.05	6.66	8.45
Diciembre	CNRMCM5		0.68	1.39	1.38	0.62	1.70	3.01	1.94	2.62	3.33	3.32	2.55	3.64	4.95
	MPI-ESM-LR		0.93	1.78	2.21	1.26	2.65	4.58	1.94	2.87	3.71	4.15	3.20	4.59	6.52
	HADGEM2-ES		1.59	2.58	3.26	1.39	3.42	5.36	1.94	3.53	4.51	5.19	3.33	5.35	7.30
	GFDL-CM3		1.35	2.56	3.26	1.36	3.14	5.24	1.94	3.28	4.50	5.19	3.30	5.08	7.18

9. Conclusiones

La presencia estacional de sistemas de alta presión en superficie y circulaciones anticiclónicas en niveles medios y altos de la atmósfera sobre el territorio nacional, generan localmente inversiones térmicas y de subsidencia, y vientos débiles en superficie; así como condiciones de estabilidad atmosférica sobre las Zonas Metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México.

El Niño, modula el inicio e intensidad de la temporada lluvias sobre el territorio nacional; así como las condiciones de sequía, generando el retraso y déficit en las lluvias, favoreciendo el potencial de incendios forestales como factor externo que beneficia el incremento de contaminación.

Las circulaciones de viento en los niveles medios y altos de la atmósfera favorecen el transporte de humo generado por incendios forestales en diferentes regiones del territorio nacional e inmediaciones de las áreas de estudio.

La principal consideración antes de la aplicación del sistema de contingencias ambientales, son el diagnóstico y pronóstico a corto plazo de la permanencia de los patrones sinópticos de presión en niveles medios, campo de viento en superficie y niveles medios, inversiones térmicas por radiación y subsidencia por debajo de los 500 milibares.

Como resultado de la investigación presentada sobre las Zonas Metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México, es posible concluir que existe una estrecha relación entre los altos niveles de contaminación y las condiciones sinópticas estacionales prevalecientes, principalmente entre los meses de diciembre hasta mayo y un intervalo en los meses de julio y agosto, asociado a la presencia de la canícula.

10. Recomendaciones

Con el fin de considerar las condiciones sinópticas meteorológicas e incendios forestales como parte importante para la activación de contingencias ambientales se recomienda:

- La aplicación de un procedimiento o programa de contingencia ambiental preventiva para disminuir el riesgo para la salud, considerando únicamente la permanencia de las condiciones meteorológicas adversas que favorecen la concentración de contaminantes y no hasta que las estaciones de monitoreo registren el nivel más alto.
- Con el fin de tener un escenario del comportamiento de la temporada de lluvias, temporada de ciclones tropicales y canícula, es recomendable generar análisis y pronósticos de las condiciones de El Niño.
- Seguimiento de los patrones sinópticos y detección de las condiciones meteorológicas favorables para la concentración de contaminantes por medio de pronósticos meteorológicos a corto plazo por un meteorólogo operativo.
- Generar un sistema operativo computacional de alerta temprana con base en los criterios de referencia sinópticos y fuentes de calor estimados vía satélite.
- Es necesario elaborar programas de capacitación en climatología y meteorología operativa, como mecanismo de análisis y pronóstico numérico.

11. Bibliografía

- Aiken, A., Salcedo, D., Cubison, J., Huffman, A., DeCarlo, F., Ulbrich, M., . . . Jimenez, L. (2009). Mexico City aerosol analysis during MILAGRO using high resolution aerosol mass spectrometry at the urban supersite (T0) – Part 1: Fine particle composition and organic source apportionment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6633–6653.
- Atmospheric Soundings. (s.f.). Obtenido de weather.uwyo.edu:
<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- AWC - ADDS METARs. (s.f.). Obtenido de Aviationweather.gov:
<https://aviationweather.gov/metar/data?ids=MMmx&format=raw&hours=0&taf=off&layout=on&date=0>
- Bautista J., J. R., García Bátiz, M. L., & González R., S. (Octubre de 1995). Repositorio Institucional del Centro Universitario de los Altos. Obtenido de Los peligros industriales en la Zona Metropolitana de Guadalajara:
<http://repositorio.cualtos.udg.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/112/1/Los%20Peligos%20Industriales%20en%20la%20ZMG.pdf>
- Cedeño, O., & Medina, R. (1999). El equipo aéreo en el combate a los incendios. *Desarrollo sustentable*, 26-27.
- Chu, J. (2015). Can rain clean the atmosphere? Study explains how rain droplets attract aerosols out of the atmosphere. Cambridge, MA.: MIT News Office.
- Comisión Ambiental de la Megalópolis. (2016). Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en la Ciudad de México. Ciudad de México: CORPORACIÓN MEXICANA DE IMPRESIÓN, S.A. DE C.V.
- Comisión Nacional Forestal. (2010). Incendios Forestales. Guadalajara, Jalisco: Efecto Marketing Corporation, U. (s.f.). Unisys Weather. Obtenido de weather.unisys.com:
<http://weather.unisys.com/>
- García G., M., Ramírez S., H., Ulloa G., H., García G., O., Meulenert P., A., & Alcalá G., J. (2013). Concentración de contaminantes SO₂, NO₂ y correlación con H⁺, SO₄-2 y NO₃ durante la temporada de lluvias en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Revista Chilena de enfermedades respiratorias*, 81-88.
- Gobierno del Estado de Nuevo León. (01 de 06 de 2017). AIRE NL.GOB.MX. Obtenido de SISTEMA INTEGRAL DE MONITOREO AMBIENTAL [SIMA]: <http://aire.nl.gob.mx/index.html>
- González-Santiago, O., Badillo-Castañeda, C., Kahl, J., Ramírez-Lara, E., & Balderas-Renteria, I. (2011). Temporal analysis of PM₁₀ in Metropolitan Monterrey, México. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 573-579.
- Instituto Nacional de Ecología. (2006). La investigación ambiental para la toma de decisiones. Ciudad de México: S y G Editores.
- Jaffe, D., & Wigder, N. (2012). Ozone production from wildfires: A critical review. *Atmospheric Environment*, 1-10.

- Jáuregui Ostos, E. (2000). El clima de la Ciudad de México. Ciudad de México: Plaza y Valdés.
- Jáuregui, E., Klaus, D. & Lauer, W. (1981). Una primera estimación de transporte de SO₂ sobre la Ciudad de México. Geof. Int. Vol. 20-1. Pp. 55-79.
- Magaña Rueda, V. (2004). Los impactos de El Niño en México. Ciudad de México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez Muñoz, A., & Valdez Cavazos, A. (enero-febrero de 2016). Ciencia Universidad Autónoma de Nuevo León. Obtenido de Calidad del aire en el área metropolitana de Monterrey: <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=5391>
- MIT News. (16 de abril de 2008). Edward Lorenz, father of chaos theory and butterfly effect, dies at 90. Obtenido de MIT News: <http://news.mit.edu/2008/obit-lorenz-0416>.
- Molina, L. T., & Molina, M. J. (2004). Improving Air Quality In Megacities: Mexico City Case Study, Ann. NY. Acad. Sci., 142-158.
- Secretaría de Medio Ambiente. (2009). Calidad del aire en la Ciudad de México. Ciudad de México: Creative Commons .
- Secretaría del Medio Ambiente. (01 de Junio de 2017). Pronóstico aire. Obtenido de Pronóstico de calidad del aire y meteorológico para la CDMX: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/pronostico-aire/>
- Venegas Herrera, A. d., Medina Ortega, M. A., & Huizar Castañeda, P. (2016). LA ORGANIZACIÓN URBANA DE GUADALAJARA A PARTIR DE SUS ACTIVIDADES ECONÓMICAS . 21° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México (págs. 1-30). Mérida, Yucatán: AMECIDER – ITM.

Derechos Reservados © 2018

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña,
Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec,
Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Este trabajo se realizó con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo para la Sexta comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

