DEFINICIÓN DE ZONAS PARA MEDICIONES AMBIENTALES EN LA CUENCA DE TULA, PRECAMPAÑA OCTUBRE – DICIEMBRE 2021.

MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INECC
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

DIRECTORIO

Dra. María Amparo Martínez Arroyo
Directora General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Dr. Luis Gerardo Ruíz Suárez
Coordinador General de Contaminación y Salud Ambiental

M. en C. José Abraham Ortínez Álvarez
Director de Economía Sectorial

ELABORACIÓN

M. en I. Francisco Hernández Ortega
Subdirector de Modelación y Salud

M. en G. Josefina Gabriel Morales
Jefa del Departamento de Modelación Ambiental y Salud

D. R. © Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Enero 2021.
Boulevard Adolfo Ruíz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña, Alcaldía Tlalpan, Ciudad de México C.P. 14210.
https://www.gob.mx/inecc

CONTENIDO

Introducción	7
Objetivo	7
Descripción de la región de Tula	8
Dispersión de contaminantes en la cuenca atmosférica	12
Condiciones climatológicas mensuales en la cuenca atmosférica de Tula	13
Pronóstico meteorológico	16
Modelación fotoquímica de PM2.5 y Ozono para estimar zonas de mayor impacto	19
PM2.5	21
Ozono	23
Conclusiones	27

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas la región de Tula ha llamado la atención desde el aspecto ambiental y sanitario por ser una cuenca con múltiples impactos ambientales locales y provenientes de otras cuencas o zonas metropolitanas. En este sentido, aspectos como el sanitario han sido abordados por tener enclavada en su territorio la presa Endhó, una de las más contaminadas del país; asimismo ha atraído la opinión pública por hacer uso común de aguas residuales en el riego de campos agrícolas que presentan deficiencia de materia orgánica, y que se ven beneficiados por aguas de este tipo, ricas en dicho material.

Estos temas de índole ambiental, pero también vinculados con la salud pública, invariablemente atraen la atención de la comunidad científica, que busca no sólo conocer las fuentes de contaminantes, sino caracterizar los flujos de los mismos tanto en los procesos antropogénicos como en los ecosistemas, y analizar sus efectos en éstos y en la salud de la población local.

En este documento se realizó una caracterización climática y meteorológica de la región, y se presentan los resultados de la modelación fotoquímica de PM2.5 y ozono, para periodos seleccionados de los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2016 a 2018. Con objeto de apoyar la identificación de zonas donde se puedan establecer sitios para realizar mediciones de contaminantes atmosféricos, sus precursores y substancias vinculadas con éstos, que permitan aportar información básica sobre la generación y dinámica atmosférica de los mismos.

Cabe mencionar que la modelación numérica de la dispersión de contaminantes aplicada en este trabajo, tiene aplicaciones que incluyen: la determinación de impactos ambientales producidos por fuentes puntuales; el análisis de la correlación entre concentraciones atmosféricas y las emisiones; el pronóstico de episodios de contaminación atmosférica; complemento al monitoreo de calidad del aire para zonas donde la cantidad de monitores no es suficiente; y la determinación y selección de sitios para ubicar estaciones de monitoreo de calidad del aire. Por lo que es una herramienta muy útil en la ubicación de sitios de muestreo, dado que permite estimar la distribución geográfica de los contaminantes atmosféricos y las principales zonas de su impacto y exposición.

OBJETIVO

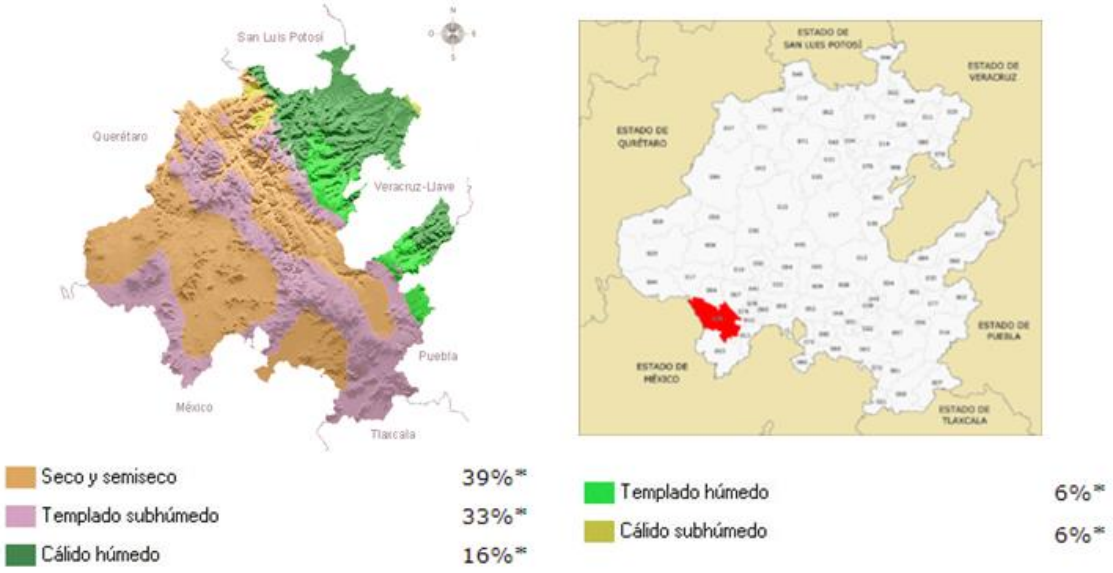
Caracterizar la distribución de PM2.5 y Ozono en el periodo de octubre a diciembre en la cuenca atmosférica de Tula, para definir zonas candidatas donde realizar mediciones de calidad del aire.

DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN DE TULA

El municipio de Tula de Allende conforma parte del estado de Hidalgo, la cabecera municipal es la localidad que lleva el mismo nombre. El municipio se localiza entre los paralelos 19° 55' y 20° 11' de latitud norte; los meridianos 99° 15' y 99° 32' de longitud oeste. Tiene una extensión de 336.1 km2. En el límite norte colinda con los municipios de Chapantongo, Tepetitlán y Tezontepec de Aldama; al este con Tezontepec de Aldama, Tlaxcoapan, Atitalaquia y Atotonilco de Tula; al sur con el municipio de Tepeji del Río de Ocampo y al oeste con el Edo. de México (Figura 1).

La región de Tula se localiza en el extremo sur-oeste del Estado de Hidalgo; la superficie que ocupa forma parte de la Subprovincia fisiográfica denominada Lagos y Volcanes de Anáhuac. La porción centro y occidente se caracteriza por el predominio de formas montañosas, la de mayor elevación corresponde al cerro Moctezuma que se localiza en el norte, cuya altura máxima sobre el nivel del mar es de poco más de 2700 metros. Al centro-oeste se halla otra estructura montañosa que alcanza una altura de 2,500 msnm. En esta zona el terreno forma una llanura de pendiente ligera, donde la altitud varía entre los 2,300 msnm, cerca del límite oeste, y los 2,100 msnm, esto en las cercanías de la presa Endhó. En la porción sur-este el relieve se caracteriza por el predominio de lomeríos de formas redondeadas y pendientes suaves. Por otra parte, el valle formado por el río Tula marca el límite entre la superficie montañosa y la superficie llana dentro de la localidad del mismo nombre; en la porción centro-este es donde se registra la altitud más baja y los terrenos con menor inclinación; precisamente ahí se asienta el área urbana de Tula de Allende, con un intenso uso agrícola en su mayor parte.

Figura 1. Distribución de climas del Estado de Hidalgo, con la ubicación de Tula de Allende 1 .



[1] http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/hgo/territorio/clima.aspx?tema=me&e=13

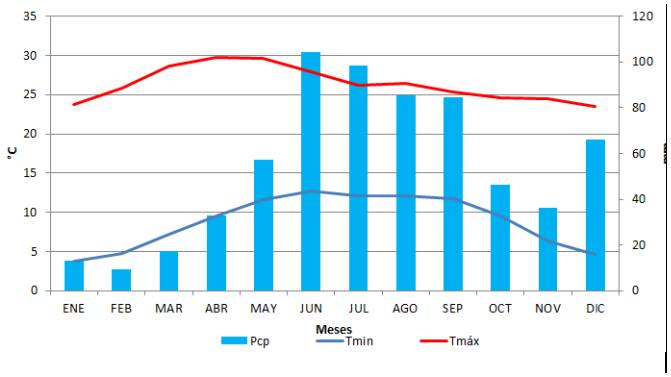
Dada la ubicación geográfica de la región de Tula, dentro del Eje Neovolcánico Transversal, la estructura geológica de su territorio es de origen volcánico, gran parte de la superficie corresponde al periodo neógeno caracterizado por la intensa actividad volcánica registrada, sobre todo, en el occidente de México. Lo anterior se manifiesta en la composición litológica de los cerros o áreas montañosas ubicadas en la porción occidental, las cuales están constituidas de basalto. Mientras que la formación de los terrenos llanos corresponde al periodo cuaternario, donde el material litológico predominante consiste de conglomerado polimíctico, lo que significa que las rocas que conforman el conglomerado son de composición variada. En la porción sureste, en los terrenos de mayor altitud, el material litológico es de basalto, mientras que en las partes inferiores contiguas a ésta, el material rocoso es de caliza. En los valles de los ríos Tula y Rosas (afluente del río Tula) el tipo de roca es suelo aluvial.

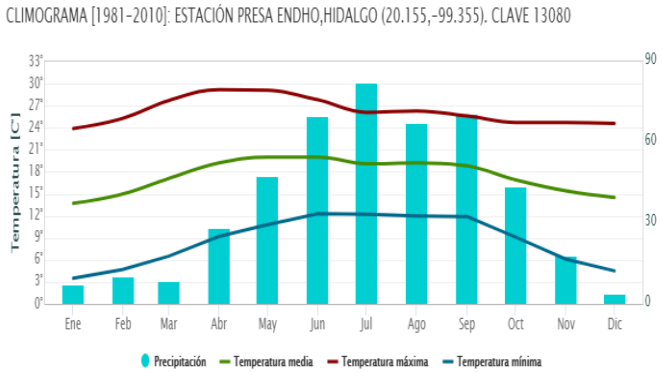
La hidrología superficial se caracteriza por la presencia significativa de ríos, aunque la mayoría son intermitentes. El río Tula es perenne y uno de los de mayor longitud; sus afluentes como el río Rosas y el río Tecolote (provenientes de las partes altas de la zona), han sido la base para la construcción de la presa Endhó. Desde el siglo XVII el río Tula se provee de las aguas desalojadas de la Ciudad de México; cuando se comenzó a desalojar el agua ésta era de origen pluvial, pero en las últimas décadas se empezó a verter al mismo caudal las aguas residuales, por lo que en la actualidad el río Tula es uno de los más contaminados del país.

La mayor parte del territorio de la región de Tula ha sido ocupada por actividades humanas, la más extendida es la agrícola, por su uso del suelo, ya que ocupa el mayor porcentaje de la superficie total: Las áreas agrícolas de la porción occidental son de temporal, mientras que las de la porción oriental son de riego, éstas son irrigadas con las aguas de la presa Endhó. Menos de un 9 % del suelo es ocupado por los asentamientos humanos, donde destaca como una de las más importantes el área urbana de Tula de Allende, que ocupa 14.7 km2; la mayoría de los asentamientos se distribuye en la porción oriental de su municipio. Tanto las áreas agrícolas como las áreas ocupadas por los asentamientos humanos se desarrollan y asientan en terrenos llanos con ligera inclinación. El municipio de Tula de Allende tiene temperaturas máximas con valores de 24 a 27.9 grados, la media entre un rango de 16 a 19.9 grados y para las mínimas es de 8 a 11.9 grados. Por su parte, la precipitación histórica en este municipio se encuentre entre los 536 a 668 mm (Figura 2).

En la época de lluvias el estado de Hidalgo se encuentra bajo la influencia de sistemas meteorológicos tropicales. El paso constante de ondas y ciclones tropicales aportan la humedad más importante del año en forma de nublados y lluvias abundantes. En la época seca-fría el desplazamiento de frentes fríos y masas de aire polar son los sistemas meteorológicos predominantes; cuando estos fenómenos son intensos, Hidalgo se ve afectado con sistemas anticiclónicos (tiempo atmosférico estable y seco), originando condiciones desfavorables para la dispersión de los contaminantes.

Figura 2. Climatología de 1950 a 2005 de Tula de Allende (izq.) y presa Endhó (der.), Hgo. Fuente: Servicio Meteorológico – CONAGUA 2.





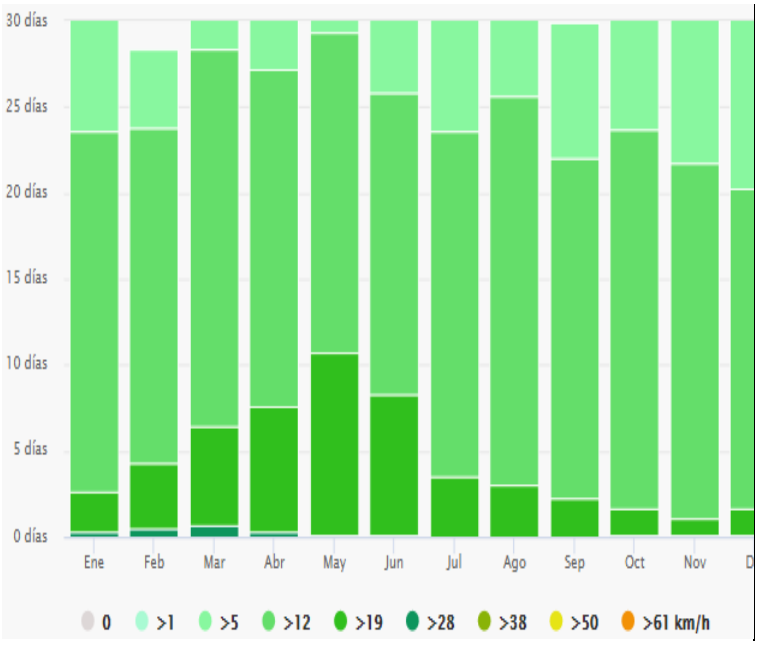
En cuanto a la precipitación histórica y temperatura ambiente (máxima y mínima), la información de la estación meteorológica de Tula de Allende en el periodo de 1950 a 2005 (Figura 2) muestra que las temperaturas más altas se presentan en los meses de abril y mayo, con valores 30 grados; mientras que el promedio anual de la temperatura máxima es de 27.8 °C. En cuanto a las temperaturas más frías, éstas se ubican en el mes de enero, con un valor de 3.8 grados y un promedio anual de 10.6 °C. Por otro lado, el análisis de los niveles de precipitación pluvial más elevados en Tula de Allende, señala que de junio a septiembre pueden registrar valores de 85 a 104 mm, periodo considerado como la temporada de lluvias, con un promedio histórico de 626.2 mm de lluvia anual.

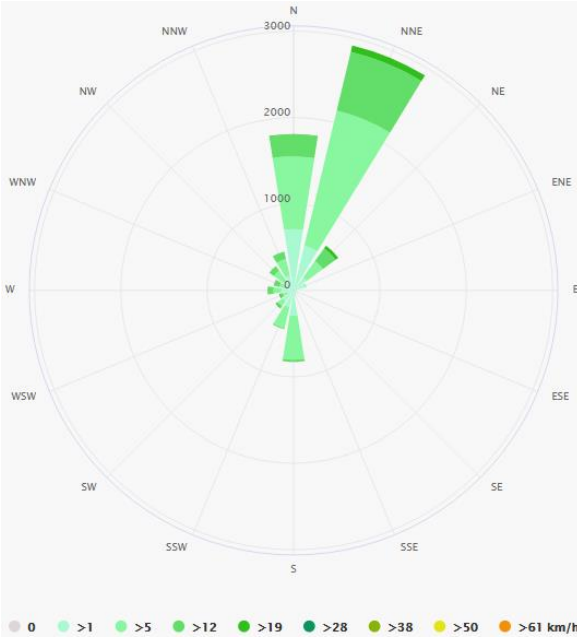
La estación de Tula de Allende, cercana a la presa Endhó, presenta tendencias similares, lo cual sugiere que las regiones donde se encuentran estas localidades comparten características meteorológicas (Figura 2), prevaleciendo en ambas un clima predominantemente templado subhúmedo. Las estimaciones con NOAA Environment Modeling System (NEMS) [3] muestran que en el periodo enero a abril pueden presentarse velocidades de viento por arriba de 28 km/h, aunque en la región prevalecen vientos con velocidades mayores a 5 km/h y es el periodo octubre a febrero en el que se aprecian velocidades de viento de menor magnitud. La dirección del viento prevaleciente es del nor-noreste y en menor proporción del norte, aunque también puede presentarse viento del sur (Figura 3).

[2] https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/climogramas-1981-2010

[3] https://content.meteoblue.com/ro/specifications/weather-model-theory

Figura 3. Viento predominante modelado en la región de Tula de Allende4.





DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA CUENCA ATMOSFÉRICA

Un factor que influye de manera determinante en la concentración y dispersión de contaminantes en la atmósfera de una región o localidad es la forma de la superficie terrestre. Los contaminantes se ven limitados al área restringida por el relieve, teniendo mayor o menor espacio para dispersarse según el tamaño y forma de la cuenca. Por lo que los rasgos topográficos de una región definirán la magnitud y dirección de los vientos, pudiendo generar patrones muy complejos[5], que a su vez determinan la dirección y alcance del transporte de contaminantes.

Cabe señalar que la complejidad de la meteorología de la zona centro de México está asociada con topografía accidentada de la región. Por lo que es necesario tratar su análisis bajo condiciones de cuenca atmosférica; ya que el aire en ésta es parte de un fluido atmosférico tridimensional, por lo que la cuenca atmosférica no presenta límites bien definidos como los de las cuencas hidrológicas, y cuyos procesos físicos (que generan los patrones de viento dentro de la cuenca atmosférica) pueden compartirse temporalmente con otra cuenca contigua, en función de las condiciones meteorológicas sinópticas y locales. Presentándose una dinámica que comunica las cuencas atmosféricas adyacentes,

[4] https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/tula-de-allende_m%c3%a9xico_3515064

[5] www7.uc.cl/sw_educ/contam/efect/efur09.htm

como en el caso de la Corona Regional del Centro de México (CRCM), situación que fue planteada por Bossert [6] en el análisis que realizó con datos de la campaña IMADA-AVER.

Una delimitación y definición de la cuenca atmosférica de Tula puede encontrarse en el informe "Definición de zonas para medición de calidad del aire en las regiones Tula, Toluca y Yecapixtla-Huexca-Cuautla" elaborado por el INECC, basado en la metodología propuesta por Zavala *et al*. en el Estudio de Calidad el Aire y su Impacto en la Región Centro de México (ECAIM)[7], quien consideró el efecto de la orografía en la formación y mantenimiento de la estructura espacial de patrones de circulación en niveles cercanos a la superficie, utilizando las medias mensuales para su análisis; y cuyos resultados mostraron un patrón espacial de viento convergente en el centro de los valles de la CRCM.

En este documento se retoman los resultados de la cuenca atmosférica de Tula, obtenidos en el informe antes mencionado; en el cual se define la cuenca atmosférica de Tula, incluyendo total o parcialmente los siguientes municipios:
Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Francisco I. Madero, Mixquiahuala de Juárez, Progreso de Obregón, Tepeji del Río de Ocampo, Tepetitlán, Tetepango, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende del Estado de Hidalgo; y Coyotepec, Huehuetoca, Zumpango y Tepotzotlán del Estado de México. En cuanto a la cobertura geográfica de la cuenca atmosférica de Tula, ésta se puede observar en la Figura 4.

Condiciones climatológicas mensuales en la cuenca atmosférica de Tula.

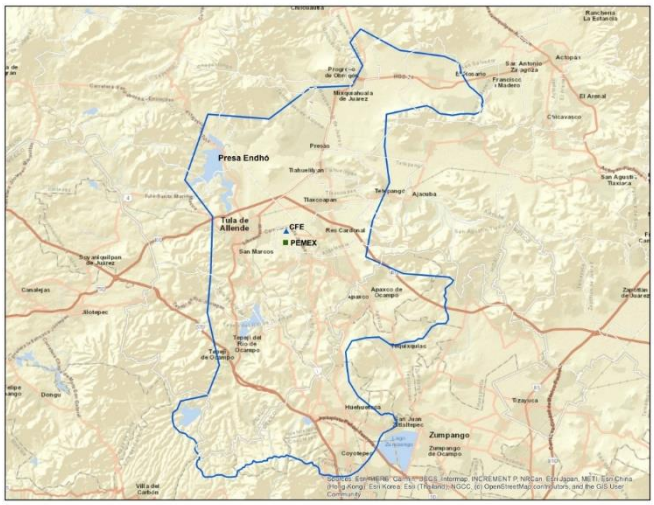
La **cuenca de Tula** es de interés ambiental y sanitario por las actividades de fuentes emisoras como la Termoeléctrica Francisco Pérez, la refinería Miguel Hidalgo, industrias cementeras y la Presa Endhó. Por lo que definir la región que comparten este tipo de fuentes es fundamental para realizar mediciones ambientales, perimetrales y/o en fuente. Esta región común se presenta en la Figura 4, y en seguida se describe una síntesis climática de la misma.

La cuenca de Tula presenta precipitación entre 120 y 4 mm, principalmente de mayo a octubre. Con cielos nublados (del 58 al 86 %) de junio a octubre y cielos más (>50%) despejados en noviembre y diciembre. El periodo de mayor temperatura es de abril a mayo, con temperaturas promedio máximas de 27 °C y 26°C respectivamente, y una temperatura promedio mínima de 6 °C en enero. La precipitación puede extenderse de abril a noviembre, pero la mayor lámina se espera en junio-julio, con 120 mm. El viento presenta su mayor intensidad de marzo a octubre, con velocidades de aproximadamente

[6] Bossert, J.E., 1997. An investigation of flow regimes affecting the Mexico City region. J. App. Meteor. 36, 119-140.
[7] INECC-SEMARNAT. Estudio de Calidad el Aire y su Impacto en la Región Centro de México, Tomo 1, Informe final. Ciudad de México, 2014.

3 m/s; y predomina del sur en diciembre y enero, del oeste en febrero y marzo, del norte en mayo y del este durante el periodo junio a parte de diciembre (Figura 5).

Figura 4. Cuenca atmosférica de Tula delimitada a partir de campos de divergencia y convergencia del viento en la Corona Regional del Centro de México.



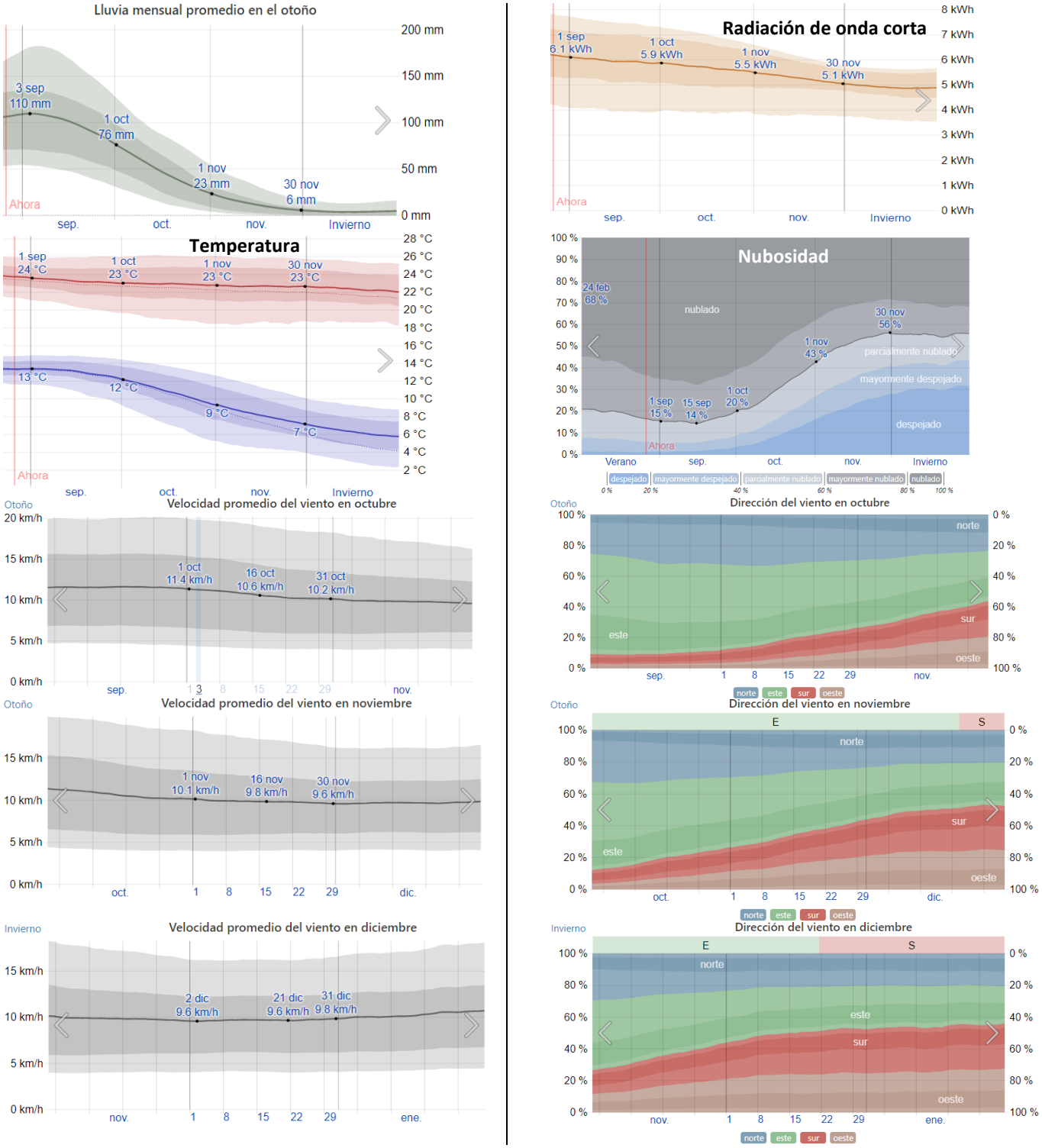
Fuente: INECC, 2019 [8]

Las condiciones climáticas de esta región se ilustran enseguida. Cabe mencionar que tales condiciones se caracterizaron con la información del portal https://es.weatherspark.com/, donde éstas son descritas e ilustradas para localidades ubicadas dentro de la cuenca atmosférica de Tula.

Cabe mencionar que al pie de las figuras donde se incluyen las condiciones climatológicas y pronóstico meteorológico se incluyen la dirección URL para que los posibles usuarios puedan acceder hasta un nivel de información de mes, día y hora, según se requiera.

[8] INECC. Definición de zonas para medición de calidad del aire en las regiones Tula, Toluca y Yecapixtla-Huexca-Cuautla. Ciudad de México, 2019.

Figura 5. Condiciones climatológicas del cuarto trimestre del año en la cuenca de Tula



Fuente: https://es.weatherspark.com/y/6038/Clima-promedio-en-Tula-de-Allende-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o

Pronóstico meteorológico

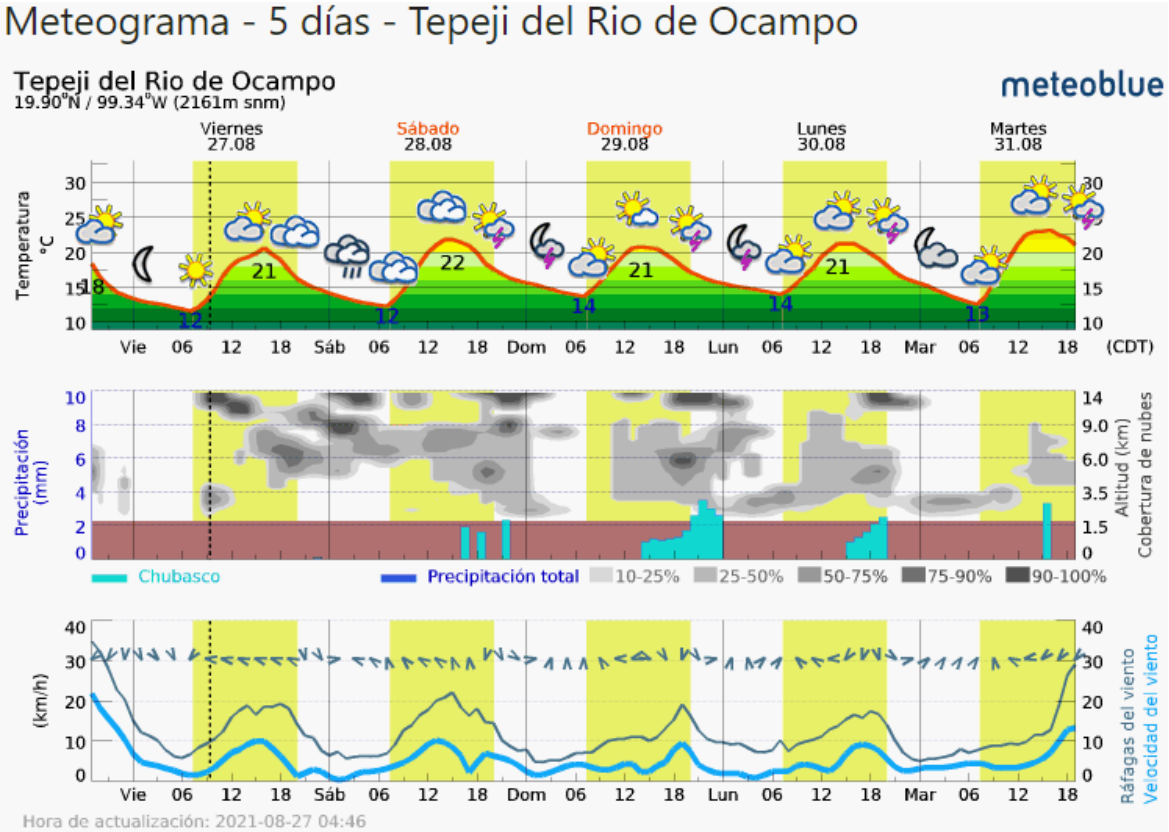
Con la finalidad de proporcionar, una opción para desplegar las condiciones de viento que se presentarán en las zonas o sitios donde se realizarán mediciones ambientales, a continuación, se presenta información sobre las variables meteorológicas y de calidad de aire que pueden revisarse diariamente para tener un panorama de las condiciones predominantes y en los días subsecuentes.

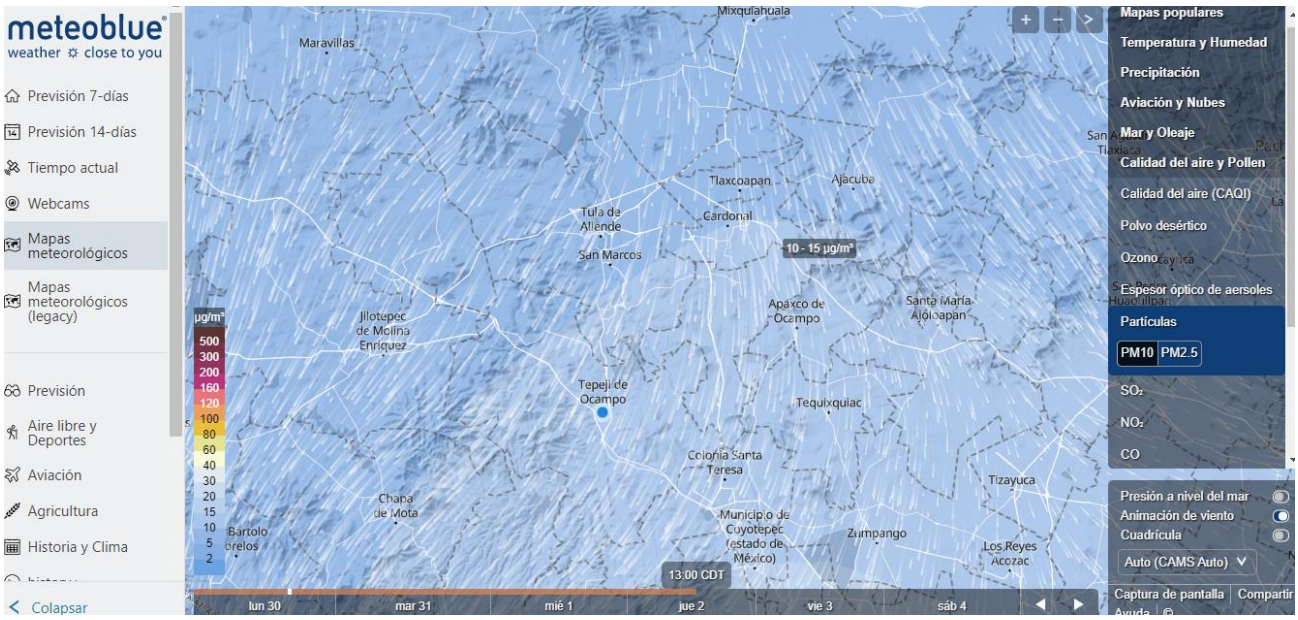
Como observa en la Figura 6, la información del radar meteorológico puede dar una perspectiva muy aproximada sobre la precipitación esperada en la región, mostrando a detalle el tipo de precipitación entre llovizna y granizo. Otra fuente importante de información son los Meteogramas, los cuales proporcionan información de las principales variables con un alcance del pronóstico de 5 días, posteriores al actual; tales fuentes de información permiten conocer, para un punto geográfico, el pronóstico de la dirección e intensidad del viento, la nubosidad, la temperatura y datos sobre las ráfagas de viento. Adicionalmente, en meteoblue.com también se pueden observar, a 5 días de pronóstico, las concentraciones de varios contaminantes, tales como partículas, ozono, CO, NO2, y SO2 para la hora actual.

Figura 6. Condiciones ambientales pronosticadas en el portal de meteoblue.com

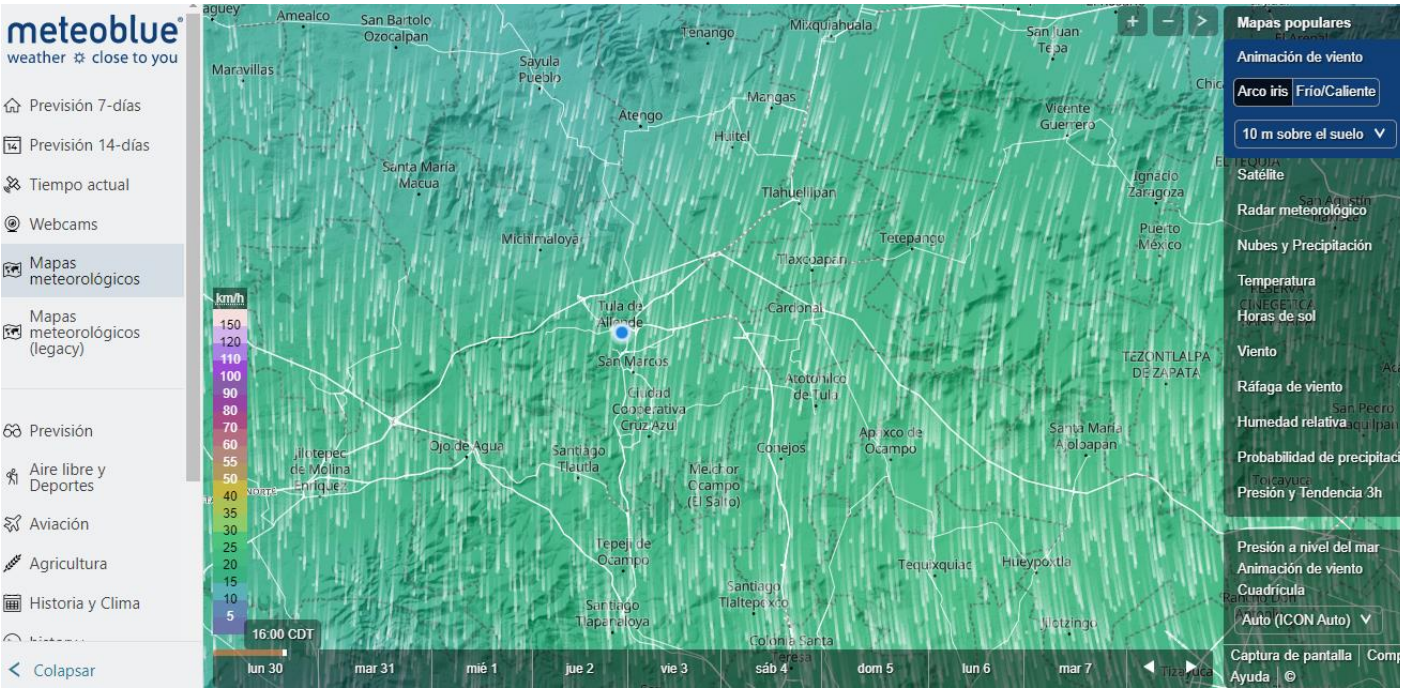
Fuente: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/tula-de-allende_m%c3%a9xico_3515064

Continúa figura 6





Continúa figura 6.



Fuente: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/maps/tula-de-allende_m%c3%a9xico_3515064#coords=10/20.0431/-99.2135&map=windAnimation~rainbow~auto~10%20m%20above%20gnd~none

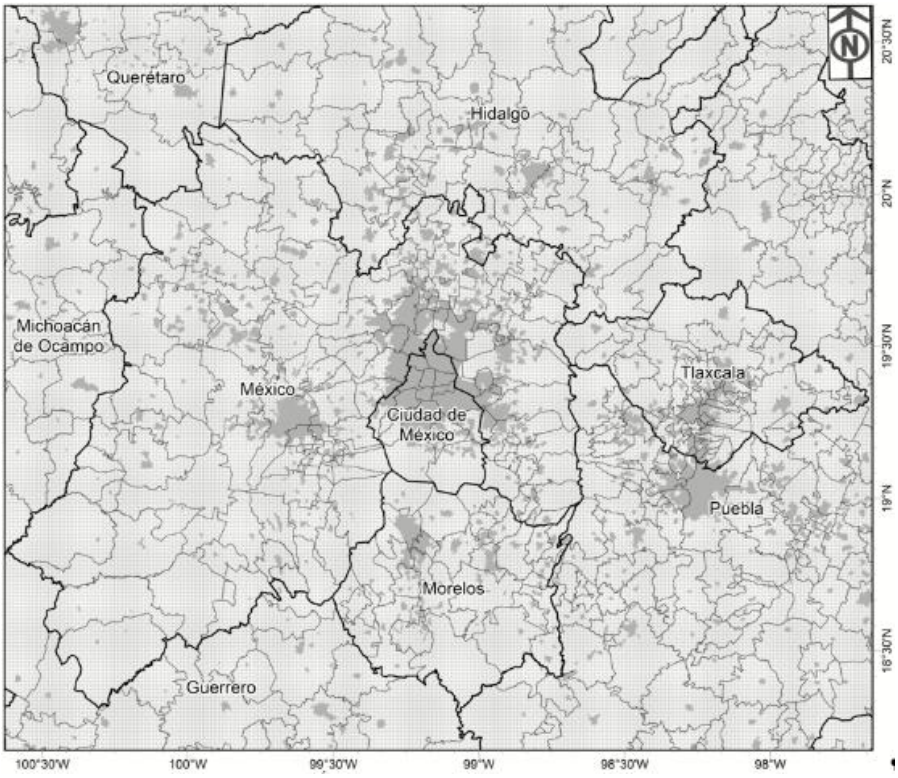
Modelación fotoquímica de PM2.5 y Ozono para estimar zonas de mayor impacto

Con la finalidad de conocer las áreas geográficas donde se esperan las concentraciones mas agudas de partículas y ozono durante la precampaña de octubre a diciembre 2021, se seleccionó una semana de cada mes, considerando la menor precipitación medida en la región durante el cuarto trimestre de los años 2016 a 2018 (Figura 7). Como resultado de esta revisión, se seleccionaron los siguientes periodos para realizar la simulación de dispersión de contaminantes en la Cuenca atmsoférica de Tula: 23 al 31 de octubre, 31 de octubre al 7 de noviembre y del 1 al 8 de diciembre; mismos que fueron modelados con WRF Chem.

Figura 7. Precipitación acumulada en estaciones de la región de Tula para el cuarto trimestre de los años 2016 a 2018.

Fuente: Elaboración propia con datos de monitoreo de la red de Tula en el SINAICA, proporcionados por INECC.

Figura 8. Cobertura de la capa de inventario de emisiones para modelación fotoquímica



Fuente: INECC, 2019-b.

La modelación fotoquímica se desarrolló con el inventario de emisiones para modelación 2016 (generado a partir del Inventario Nacional de Emisiones 2016 y el Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2016 [9]); elaborado para el mecanismo de reacción RADM2. Si bien la cobertura del dominio de modelacion tiene una extensión de toda la Megalópolis de México (Figura 8), aquí sólo se presentan resultados de la cuenca de Tula. En cuanto a la inicialización de las simulaciones, se utilizaron datos con resolución de 0.25 grados geográficos descargadas de https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/

PM2.5

La Figura 9 muestra la distribución de las concentraciones horarias máximas de PM2.5, estimadas en cada semana modelada. Como se aprecia en los resultados obtenidos, la distribución de partículas tiene una zona de maxima concentración delimitada por las

[9] INECC 2019-b. Adecuar el Inventario Nacional de emisiones 2016 para Modelación. INECC/A1-001/2019, Ciudad de México, 2019.

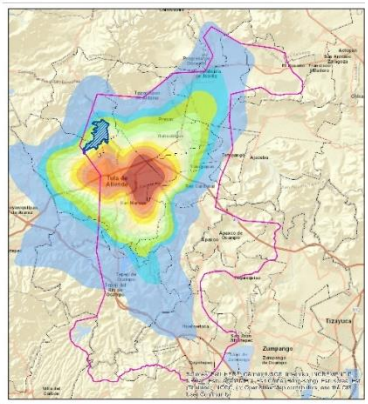
localidades de Tula de Allende, San Marcos, Atitalaquía y Tlahuelilpan; dentro de esta región se estimaron concentraciones horarias de PM2.5 que superaron los 220 µg/m^3.

Como se observa Figura 9, el transporte desde esta área de alta concentración se desarrolla principalmente hacia el nor-noreste y noreste, en su mayor parte dentro de los límite de la Cuenca Atmosférica de Tula. Este patrón se define principalmente en el mes de octubre, y aunque en noviembre y diciembre prevalese la distribución mencionada, el transporte de PM2.5 se extiende hacia Apaxco, lo que genera concentraciones superiores a 100 220 µg/m^3/h en esta localidad, mismas que también tienen un aporte de partículas provenientes desde municipios al sur como Zumpango y Tizayuca.

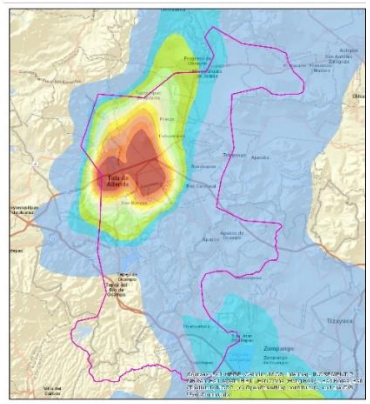
En el periodo octubre-diciembre se estimó que la zona donde se ubica la presa Endhó podría tener exposición a concentraciones entre 100 y 150 µg/m^3 h, siendo posible que se presenten en ésta zona las mayores concentraciones durante noviembre. En cuanto a la región de Tepeji del Río, se espera en ésta se observen en general concentraciones menores a 100 µg/m^3 h en el periodo modelado; aunque también se podrían registrar concentracione mayores durante diciembre, cuando se estima un mayor transporte de partículas desde la región de Tula de Allende.

Figura 9. Distribución de concentraciones horarias máximas de PM2.5 (µg/m3) en los periodos modelados de cada año.

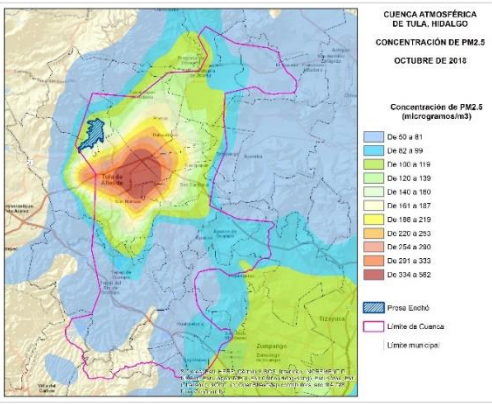
octubre a diciembre 2016

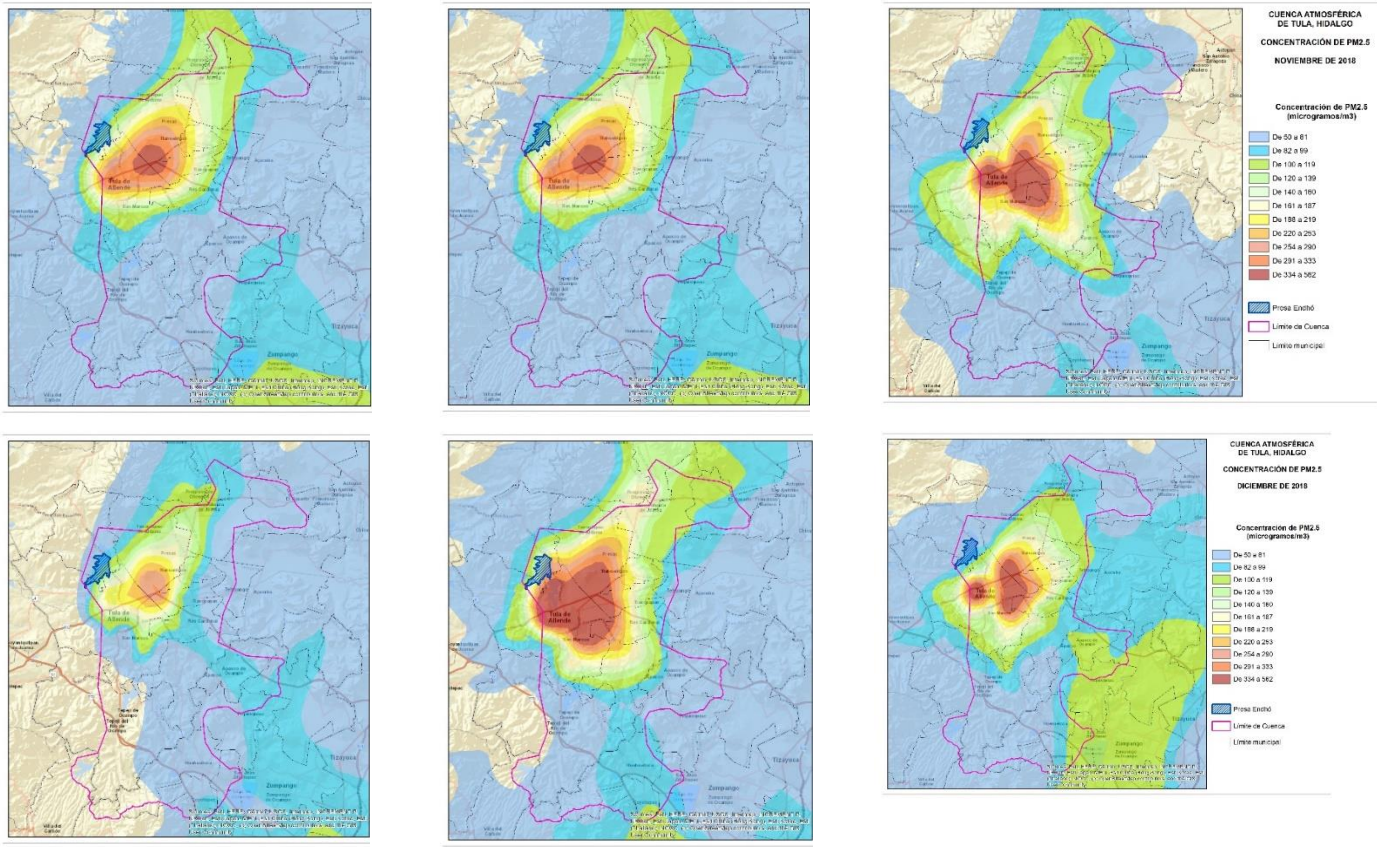


octubre a diciembre 2017



octubre a diciembre 2018





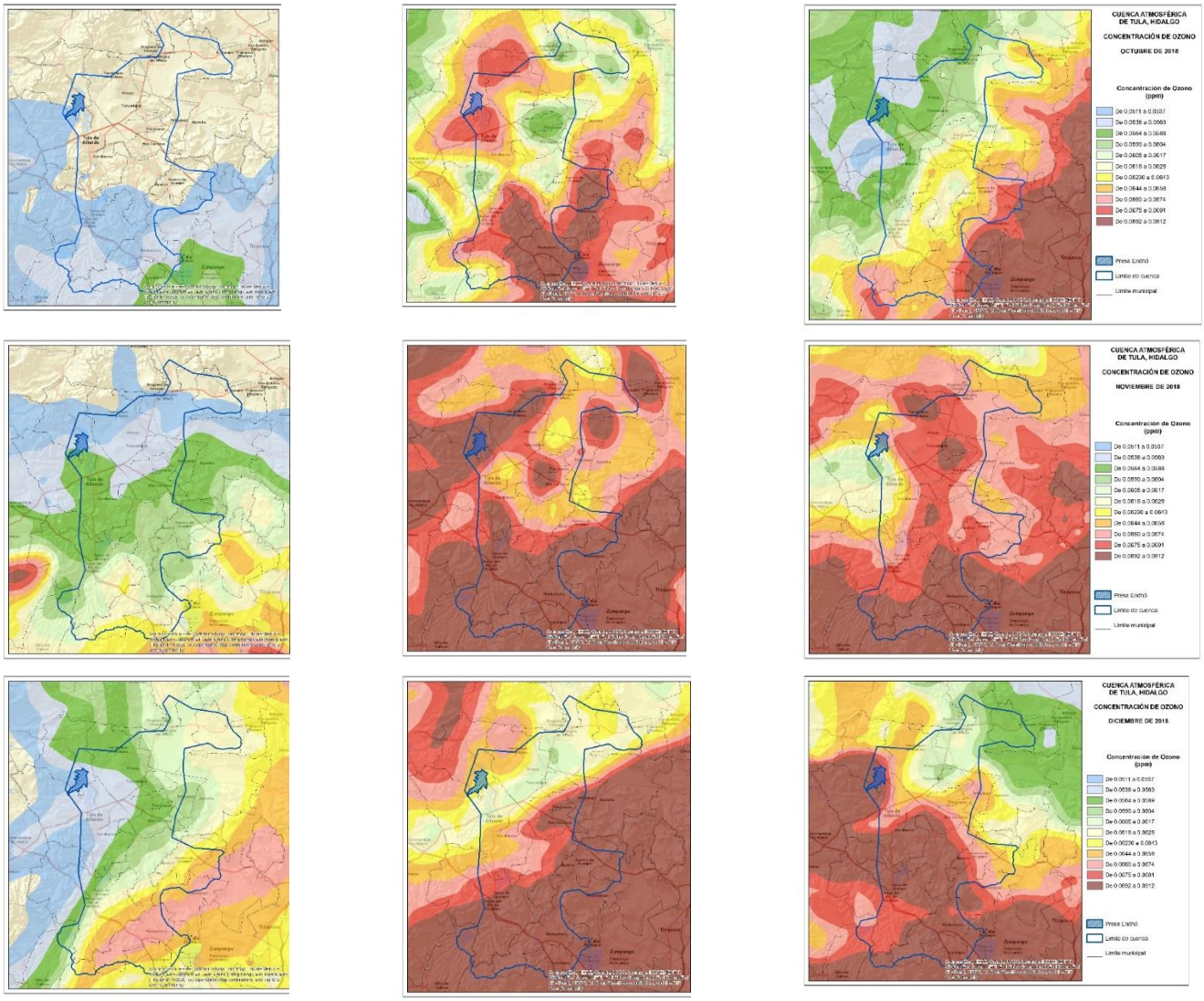
Ozono

La Figura 10 muestra la distribución de concentraciones horarias máximas de ozono por semana modelada. En general no se observa que las concentraciones de ozono tiendan a ser superiores a la norma de este contaminante. En la misma figura se aprecia también que en el mes de octubre se presentan concentraciones de ozono que caen en el nivel de buena calidad del aire; mientras que noviembre y diciembre fueron los meses en que se estimaron concentraciones mas cercanas al límite establecido por la norma de ozono.
La distribución de ozono obtenida muestra que durante los periodo modelados, principlamente en noviembre y diciembre, este contaminante es transportado principalmente desde la región al sur y sureste de la cuenca de Tula, y la generación local de este contaminante en ésta última cuenca, podría alcanzar concentraciones máximas horarias cercanas a las 0.06 ppm.

En cuanto a las regiones de interés para un muestreo de ozono local o de sus precursores, se sugiere la zona comprendida entre Tula de Allende, Tlahuelilpan y Apaxco, ya que en otras zonas el transporte de este contaminante desde fuera de la cuenca incide en las concentraciones locales, principalmente en noviembre y ligemente en menor medida en diciembre.

Figura 10. Distribución de concentraciones horarias máximas de Ozono (ppm) en los periodos modelados

octubre a diciembre 2016 | octubre a diciembre 2017 | octubre a diciembre 2018



Puede considerarse que en octubre se esperaría tener condiciones para el muestreo local de ozono y sus precursores, ya que el transporte de contaminantes se estimó desde la cuenca atmosférica de Tula hacia el sur de la misma. Mientras que en noviembre, y en menor medida en diciembre, se podría captar lo que es transportado hacia la cuenca de Tula desde las regiones externas a la misma.

La Figura 11 sintetiza las estimaciones de PM2.5, ya que representa las concentraciones máximas de este contaminante durante las semanas modeladas de octubre a diciembre de los años 2016 a 2018; y confirma lo observado en los resultados de cada mes descritos anteriormente, donde se mencionó que si se desea medir las concentraciones más

agudas de PM2.5, se puede establecer sitios de medición en la zona delimitada por Tula de Allende, San Marcos, Atitalaquía y Tlahuelilpan. Mientras que en zonas como Tepeji del Río y Apaxco se esperarian concentraciones menores a 80 µg/m^3.

Al igual que la Figura 11, la Figura 12, resume los resutados de ozono obtenidos en las modelaciones con WRF Chem. En la Figura 12 se observa en triángulos azules los puntos de las concentraciones máximas de los periodos semanales modelados, apreciándose que en general éstos se ubican fuera de la cuenca de Tula, evidenciando el transporte hacia la misma. También se observa que la parte central de la cuenca (Tetepanco, Talxcoapan y noroeste de Apaxco) es la zona con menor afectación por ozono exógeno, y por lo tanto mas conveniente para mediciones locales de este contaminante. Mientras que las zonas sur y sureste tiene la mayor incidencia de contaminantes con origen fuera de la cuenca.

Figura 11. Concentraciones horarias máximas de PM2.5 (µg/m3) considerando todos los periodos modelados.

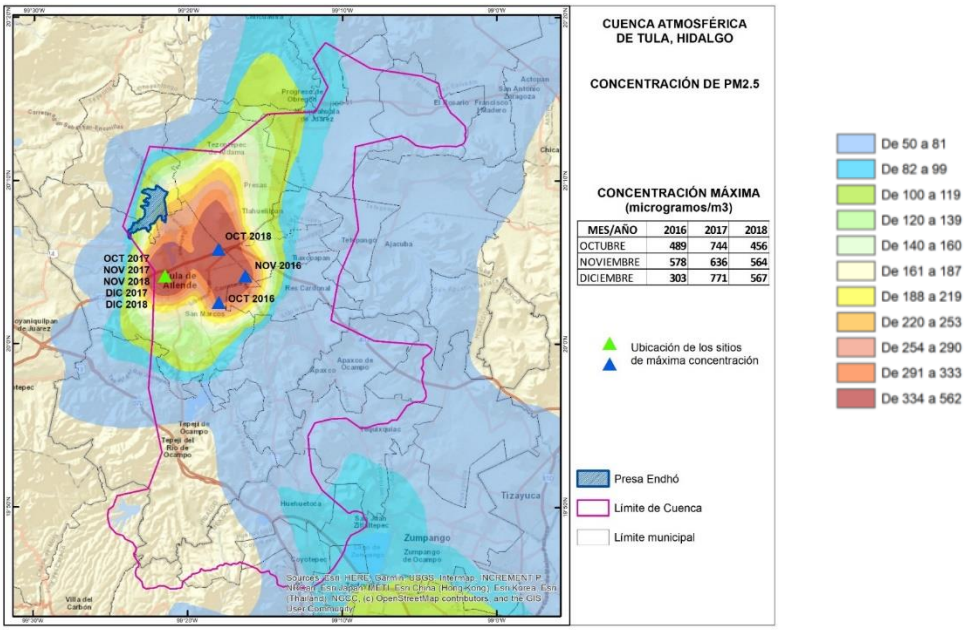
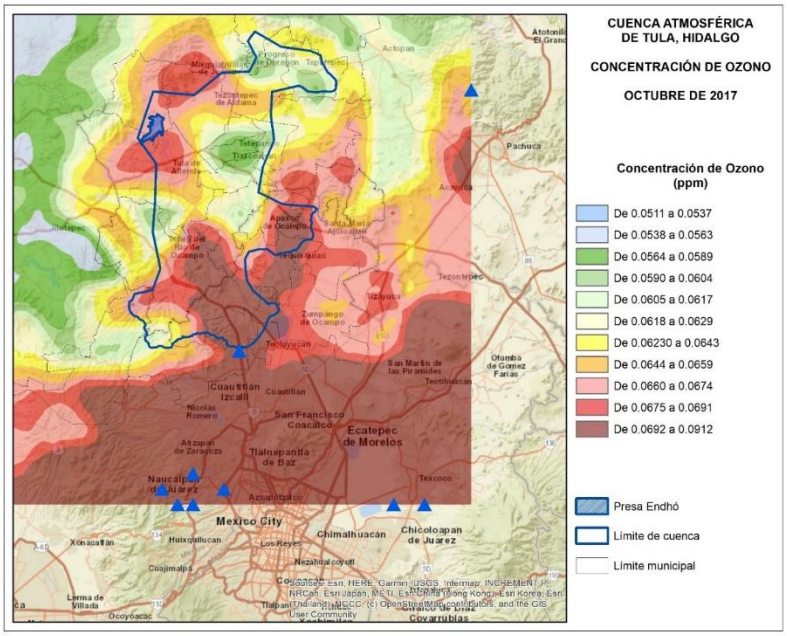


Figura 12. Concentraciones horarias máximas de ozono, considerando todos los periodos modelados.



Conclusiones

La distribución geográfica de PM2.5 tiene una zona de maxima concentración delimitada por las localidades de Tula de Allende, San Marcos, Atitalaquía y Tlahuelilpan. Dentro de esta región se estimaron concentraciones horarias de PM2.5 que superaron los 220 $\mu g/m^3$. Por lo que la zona mencionada es candidata para la medición de concentraciones elevadas de partículas.

Otra localidad de muestreo podría ser Apaxco, que en principio recibe aportaciones de partículas de la cuenca y desde zonas como Zumpango y Tizayuca. Mientras que en la presa Endhó podría tenerse exposición a concentraciones entre 100 y 150 $\mu g/m^3$ h, y en Tepeji del Río se estimaron concentraciones menores a 100 $\mu g/m^3$ h.

La modelación fotoquímica mostró que en noviembre y diciembre el ozono es transportado del exterior a la región, hacia la zona sur y sureste de la cuenca de Tula, y que la generación local de este contaminante podría alcanzar concentraciones máximas horarias cercanas a las 0.06 ppm.

Para un muestreo de ozono local o de sus precursores, se sugiere la zona comprendida entre Tula de Allende, Tlahuelilpan y Apaxco. También se puede resaltar que en octubre se espera tener condiciones para el muestreo de ozono y sus precursores locales, ya que el transporte de O_3 se estimó desde la cuenca atmosférica de Tula hacia el sur de la misma. Mientras que en noviembre, y en menor medida en diciembre, se podría captar lo que es transportado hacia la cuenca de Tula desde las regiones externas a la misma.

MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INECC

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO