



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE MISANTLA**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL
AIRE EN MISANTLA POR EFECTO DE
PM₁₀ Y PM_{2.5}**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

P R E S E N T A

RONALD ALEXANDER OJEDA LUNA

Director

M.C. ALAN ANTONIO RICO BARRAGÁN

Codirector

M.C. ALFONSO GONZÁLEZ JUÁREZ

MISANTLA, VERACRUZ

ABRIL, 2019



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

FECHA: 04 de Abril de 2019.

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS PROFESIONAL.

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

RONALD ALEXANDER OJEDA LUNA

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 162T0557
ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de
Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo
la **opción Titulación Integral (Tesis Profesional)**

Por tal motivo se **Autoriza** la impresión del **Tema titulado:**

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN MISANTLA POR EFECTO DE
PM₁₀ Y PM_{2.5}”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la
solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

ING. GERBACIO TLAXALO ESPINOZA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

La tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN MISANTLA POR EFECTO DE PM₁₀ Y PM_{2.5}"

Fue realizada por RONALD ALEXANDER OJEDA LUNA, con No. de control 16210557, bajo la dirección del Comité Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO AMBIENTAL

Comité Particular

Director de Tesis	M.C. Alan Antonio Rico Barragán
Codirector de Tesis	M.C. Alfonso González Juárez
Asesora	M.BT. Guadalupe Corelly Salazar Salazar
Asesor	M.C. Yovani López González



Handwritten signatures in blue ink over horizontal lines, corresponding to the names in the table above.

DEDICATORIA

Con un corazón humilde dedico esta tesis, al Ser más importante en mi vida al único **Omnipotente, Todopoderoso, Majestuoso y Digno** de recibir toda gloria y honra, su nombre es el **Señor de los Ejércitos Celestiales, el Gran Yo Soy.**

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, gracias al **Señor al único, Rey de Rey y Señor de Señores**, porque sin él, no hubiera sido posible llegar hasta estos momentos, (***Pon en manos de Señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán Proverbios 16:3***).

A **mi esposa** por estar conmigo en cualquier circunstancia, por su apoyo sin condición y su amor.

A **mis padres** por todo el sustento, por darme más de lo que merecía, también a mis demás familiares por el apoyo, brindado en los momentos en que más necesitaba.

Al **M.C. Alan Antonio Rico Barragán**, por brindarme la oportunidad de llevar a cabo dicha investigación, por la confianza y ayuda, así como las asesorías brindadas que fueron de refuerzo para el desarrollo del proyecto.

Al **H. Ayuntamiento Constitucional del Municipio de Misantla Veracruz 2014-2017**, porque, su aportación fue la principal razón de iniciar la presente investigación.

Al **M.I. Daniel Aguayo Siqueiros** y al **Ing. Marco Antonio Pérez Zacarías**, por su apoyo en la instalación de la estación meteorológica.

Y a mi amigo, el **Ing. Juan Francisco Carrera Muñoz**, por el gran compañerismo brindado desde el comienzo de nuestra amistad hasta ahora.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
GLOSARIO	IX
ABREVIATURAS	X
RESUMEN	XI
SUMMARY	XII
CAPÍTULO I GENERALIDADES	13
1.1 Introducción	13
1.2 Planteamiento del Problema	13
1.3 Justificación	15
1.4 Objetivos	15
1.4.1 Objetivo general	15
1.4.2 Objetivos específicos	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	17
2.1 Contaminación ambiental	17
2.2 Contaminación del aire	17
2.3 Contaminantes presentes en el aire	19
2.4 Material particulado	20
2.5 Clasificación de Contaminantes	21
2.5.1 Contaminantes primarios	21
2.5.2 Contaminantes secundarios	22
2.6 PM ₁₀ y PM _{2.5}	22
2.7 Causas de Origen	23
2.7.1 Fuentes antropogénicas	23
2.7.2 Fuentes fijas generadoras de emisiones	24
2.7.3 Fuentes de área generadoras de emisiones	24
2.7.4 Fuentes móviles generadoras de emisiones	24
2.7.5 Fuentes naturales generadoras de emisiones	25
2.8 Permanencia de Partículas en la Atmósfera	26
2.9 Evaluación de Partículas	27
2.9.1 Métodos tradicionales de muestreo de contaminantes criterio	27
2.10 Daños a la Salud por Efecto de PM ₁₀ PM _{2.5}	28
2.11 Beneficios de reducir los contaminantes atmosféricos	31

2.12	Alteración al Ambiente	33
2.12.1	Alteraciones en los Ecosistemas Terrestres	33
2.13	Legislación Ambiental	34
2.14	Estudios e Investigaciones Generados	35
	CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1	Ubicación de la Zona de Estudio	39
3.2	Clima de la Ciudad de Misantla	40
3.3	Determinación y Ubicación de los Sitios de Muestreo	40
3.4	Descripción de los Sitios de Muestreo	41
3.5	Metodología para el Monitoreo de PM ₁₀ y PM _{2.5}	43
3.5.1	VARIABLES atmosféricas	44
	CAPÍTULO IV RESULTADOS	45
4.1	Concentraciones de PM _{2.5}	45
4.1.1	Relación de concentraciones de PM _{2.5} con respecto al tiempo	49
4.2	Concentración de PM ₁₀ en los Puntos de Muestreo	50
4.2.1	Relación de concentraciones de PM ₁₀ con respecto al tiempo	54
4.3	Parámetros Atmosféricos	54
4.3.1	Dirección y velocidad del viento	55
4.3.2	Blox pot de los datos obtenidos en la estación meteorológica	57
	CAPÍTULO V CONCLUSIONES	59
	CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA	60
	ANEXOS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Localización y colindancias de la Ciudad de Misantla	39
Figura 2	Imagen satelital de los puntos de muestreo	41
Figura 3	Muestreo desarrollado en el punto 11	43
Figura 4	Concentraciones de PM _{2.5} en el punto 1	45
Figura 5	Concentraciones de PM _{2.5} en el punto 2	46
Figura 6	Concentraciones de PM _{2.5} en el punto 15	47
Figura 7	Concentraciones de PM _{2.5} en el punto 16	48
Figura 8	Concentraciones de PM _{2.5} en las Semanas de Muestreo	49
Figura 9	Concentraciones de PM ₁₀ en el punto 1	50
Figura 10	Concentraciones de PM ₁₀ en el punto 2	51
Figura 11	Concentraciones de PM ₁₀ en el punto 12	52
Figura 12	Concentraciones de PM ₁₀ en los Puntos de Muestreo	54
Figura 13	Dirección y Velocidad del viento durante el periodo de Muestreo	55
Figura 14	Distribución de las clases de viento	56
Figura 15	Comportamiento de la presión absoluta	57
Figura 16	Comportamiento de la humedad	58
Figura 17	Comportamiento de la temperatura	58

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1	Composición del aire	19
Tabla 2	Compuestos Mayoritarios y Minoritarios en Partículas Suspendidas	21
Tabla 3	Principales fuentes generadoras del MP	26
Tabla 4	Lista de referencia designada y métodos equivalentes	28
Tabla 5	Contribuciones a la generación de MP	42
Tabla 6	Promedios de muestreos no graficados	53

ANEXOS

		Página
Anexo 1	Puntos de muestreos, identificación y ubicación	64
Anexo 2	Promedios, R^2 y ecuación de las concentraciones del $PM_{2.5}$	65
Anexo 3	promedios, R^2 y ecuación de las concentraciones del PM_{10}	67

GLOSARIO

Ambiente: El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados;

Contingencia ambiental: Situación de riesgo, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que puede poner en peligro la integridad de uno o varios ecosistemas;

Contaminación: La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico;

Contaminante: Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural;

Estación meteorológica: Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico;

Compuestos orgánicos volátiles: son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura. Se puede considerar como COV aquel compuesto orgánico que a 20°C tenga una presión de vapor de 0.01 kPa o más, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso;

Presión Absoluta: es la presión real que se ejerce sobre un punto dado

Tórax: Parte superior del tronco del ser humano y de los animales vertebrados, situada entre el cuello y el abdomen, en la que se encuentran el corazón, los pulmones y otros órganos;

Emisión: descarga a la atmósfera continua o discontinua de materias, sustancias o formas de energía procedentes, directa o indirectamente, de cualquier fuente susceptible de producir contaminación atmosférica;

Material Particulado: mezcla compleja de sustancias en estado líquido o sólido, que permanece suspendida en la atmósfera por periodos variables de tiempo;

Microgramo por metro cúbico ($\mu\text{g m}^{-3}$): a la expresión de concentración en masa del contaminante (en microgramos) en un volumen de aire (metro cúbico) a condiciones locales de temperatura y presión;

Partículas PM_{10} : a las partículas con un diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micrómetros;

Partículas $\text{PM}_{2.5}$: a las partículas con un diámetro aerodinámico igual o menor a 2.5 micrómetros;

Promedio: a la media aritmética de un conjunto de datos;

Punto de monitoreo: aquel lugar determinado para medir las concentraciones ambientales del MP con el objetivo de determinar la exposición de la población a estos contaminantes;

Morbilidad: es el número de personas que enferman en una población y período determinados;

Mortalidad; es el número de defunciones en una población y período determinados.

Definiciones tomadas de (LGEEPA, 2015; LGCC, 2016; LGS, 2014; LGCC, 2016; LGPGIR 2015).

Abreviaturas

EPA: Por sus siglas en Ingles: Agencia de Protección Ambiental

PST: abreviación de Partículas Suspendidas Totales;

MP: abreviación de Material Particulado;

LMP: límite máximo permisible

RESUMEN

La calidad del aire en condiciones satisfactorias se considera un derecho humano fundamental. En diversas ciudades del mundo se ha reconocido que la contaminación atmosférica generada por el crecimiento industrial y demás causas antropogénicas, pueden representar daños a la salud. El presente estudio evalúa la calidad del aire en cuanto a los niveles de PM_{10} y $PM_{2.5}$ presentes en el aire de la Ciudad de Misantla Veracruz, es necesario comentar que dicha Ciudad sufrió una contingencia ambiental en Marzo del 2017, cuando el sitio de disposición final de Residuos Sólidos Urbanos, se incendió siendo esta la principal razón de esta investigación. Metodológicamente se seleccionaron 20 puntos de muestreo los cuales se distribuyeron dentro de la ciudad y en su periferia, mediante un instrumento de medición I instrumento para la medición de partículas HoldPeak HP5800D Detector de PM_{10} y $PM_{2.5}$. El muestreo se llevó a cabo dentro de la altura promedio respirable. con un intervalo de muestreo de 60 segundos por muestreo. Se tomaron datos tres veces por día, con horarios de 6:30, 14:30 y 22:30 horas, los muestreos se realizaron cada dos semanas, iniciando el lunes 05/Junio/2017 y finalizando el domingo 20/agosto/17. Los resultados arrojados fueron los siguientes, de la siguiente manera el punto 2 (Col. irregular “Frente Cardenista”), el punto 15 Col. Francisco Villa) y 16 (Col. Pedregal II) superaron el límite máximo en 17, 12 y 8 ocasiones respectivamente superando el límite de la NOM. Por otra parte, las concentraciones de PM_{10} en el punto 2 (Col. irregular “Frente Cardenista”), fue el que más veces supero el límite con 4 ocasiones; el punto 12 (entrada Col. Villaraus) con 3 ocasiones. Además, se monitoreo el clima con la ayuda de una estación Meteorológica observando la velocidad del viento, presión absoluta, humedad y temperatura, con los resultados se concluyó que, la velocidad del viento no presento influencia significativa a la dispersión de las partículas, para esto se necesitan velocidades de por lo menos 10 m/s. mientras que la temperatura favoreció a la elevación de las partículas, por lo cual la calidad del aire se considera regular- buena con referencia a la norma aplicable hasta el momento de los muestreos.

SUMMARY

Air quality under satisfactory conditions is a fundamental human right. In various cities around the world it has been recognized that air pollution the generation by industrial growth and anthropogenic causes, can represent damage to health. The present study evaluates the air quality in terms of PM10 and PM2.5 levels. Present in the air of the City of Misantla Veracruz, it is necessary to have said city. End of Urban Solid Waste, this main reason for this investigation caught fire. Methodologically, 20 sampling points were selected, which were distributed within the city and its periphery, by means of a measuring instrument instrument for the measurement of particles HoldPeak HP58OOD Detector of PM10 and PM2.5. The sampling was carried out within the average breathable height. with a sampling interval of 60 seconds per sample. Data were taken three times a day, with schedules of 6:30, 14:30 and 22:30 hours, samplings were made every two weeks, starting on Monday 05 / June / 2017 and ending on Sunday 20 / August / 17. The results were the following, as follows: point 2 (Irregular column "Cardenista Front"), point 15 Col. Francisco Villa) and 16 (Col. Pedregal II) exceeded the maximum limit in 17, 12 and 8 respectively exceeding the limit of the NOM. On the other hand, the images of PM10 in point 2 (irregular Col. "Cardenista Front"), was the one that more times exceeded the limit with 4 occasions; point 12 (entry Col. Villaraus) with 3 occasions. In addition, we can see the weather with the help of a Meteorological station observe the wind speed, absolute pressure, humidity and temperature, with the results that conclude, the wind speed, the air pressure, the pressure of the particles, for this, speeds of at least 10 m / s are required. While the temperature favored the elevation of the particles, the air quality is considered regular, good reference with the applicable standard until the moment of the sample.

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 Introducción

El Gobierno de la Ciudad de México (2017), menciona que las partículas suspendidas representan uno de los principales problemas de salud pública, sus efectos dependen de la concentración, composición química y tamaño; indica que el riesgo es mayor a medida que se reduce el tamaño de la partícula, y el incremento en la concentración está relacionado con enfermedades respiratorias, cardiovasculares y un incremento en el riesgo de mortalidad.

La mala calidad del aire se logra percibir principalmente en las grandes ciudades, al reducir la claridad del panorama o causar irritación de los ojos y garganta. No obstante, más allá de ver el aire limpio o sucio, es necesario valorar de manera cuantitativa su calidad, a través de la medición de la concentración de los contaminantes que se presentan (Herrera *et al*, 2009).

Por otro lado, la relación entre la contaminación atmosférica y sus efectos en la salud pública resulta significativa, por ende el monitoreo de la calidad del aire debe ser una actividad prioritaria para las autoridades ambientales (Hernández *et al*, 2000; María *et al*, 2015; Cruz *et al*, 2017) debido a los efectos que provocan el (MP) material particulado en el ambiente y en la población, es necesario realizar el estudio de este material en zonas urbanas e industriales de todo el país (Flores, 2006; García *et al*, 2006)

1.2 Planteamiento del Problema

El estudio de las partículas suspendidas en el aire en la República Mexicana, se centran en la Ciudad de México, debido a que se caracteriza por ser la zona con mayor contaminación (Flores, 2006). La calidad del aire en la Ciudad de México,

se comenzó a evaluar en 1986 cuando se estableció la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (**RAMA**). Actualmente dicha red cuenta con 45 sitios de muestreo distribuidos en puntos estratégicos.

Del mismo modo en el estado de Veracruz, a través del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (**SINAICA**) se cuenta con tres redes de monitoreo atmosférico, ubicadas en las ciudades de: Minatitlán, Poza Rica y Xalapa.

Es sabido que los efectos de las partículas en la salud de las personas tienen una relación histórica al aumento de enfermedades de tipo respiratorio; bronquitis, asma y algunos efectos sobre dolencias de tipo cardiovascular (Cruz *et al*, 2017). La OMS, 2013 estableció que existe una concordancia entre la concentración de partículas del aire contaminado con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. Otros efectos negativos ocasionados son la dificultad para respirar, tos, disminución de la voz y ardor en los ojos.

En cuanto a la zona de estudio, Misantla Veracruz, no cuenta con evidencias de estudios relacionados a la calidad del aire., es importante comentar que el mes de Marzo del 2017, se presentó un incendio en el sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos. Lo anterior ocasiono una contingencia ambiental generando gases y humos, que se dispersaban dentro del municipio, ocasionando una alta probabilidad de emisiones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} . (Contretas, 2008; Bernache, 2012; Atencio *et al*, 2013).

Estudios generados en condiciones similares, en la parte Centro Occidente del País indica que cerca de 0.6% de los residuos municipales se queman en los vertederos, representando 61 toneladas diarias de residuos que se incineran dentro de los sitios de disposición final y liberan sus humos sin control a la atmósfera (Bernache, 2012).

1.3 Justificación

La Estrategia Nacional de Calidad del Aire (**ENCA**) valora la calidad del aire como un bien social que atañe a todos los mexicanos, por lo que debe ser considerada como una prioridad (Cruz *et al*, 2017; Pacchiano *et al*, 2017).

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, menciona que el monitoreo de la calidad del aire es de suma importancia, por lo cual se debe ampliar a la mayor cantidad de ciudades del país, utilizando la tecnología disponible, además el crecimiento económico del país está relacionado estrechamente a la emisión excesiva de contaminantes, dichas emisiones han llevado a tener una paulatina preocupación acerca del deterioro ambiental y sus efectos sobre ecosistemas naturales y salud humana.

Se tienen diversos estudios donde confirman, que los sitios de disposición final no regulado presentan una alta tasa de emisión tanto de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ (Contretas, 2008; Bernache, 2012; Atencio *et al*, 2013). Dentro de la Ciudad de Misantla, existe un sitio de disposición final no regulado, el cual presenta diversas zonas con fuego, lo que ocasiona que exista una alta probabilidad de contaminación alrededor de esta zona por emisiones al ambiente.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de conocer el grado de contaminación por PM_{10} y $PM_{2.5}$, así como analizar la influencia de las condiciones meteorológicas en dichas concentraciones.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la calidad del aire en Misantla por efecto de PM₁₀. y PM_{2.5}

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las condiciones meteorológicas en la ciudad de Misantla
- Determinar las concentraciones de PM₁₀. y PM_{2.5}

CAPITULO II. MARCO TÉORICO

2.1 Contaminación Ambiental

El término contaminación es la presencia de algún contaminante o mezcla de ellos, llámense materia o energía, no importando su estado, que al incorporarse al ambiente altere o modifique su composición (LGEEPA, 2015). Debido a lo anterior, un contaminante puede afectar la salud de la población, cuando se encuentra presente con valores superiores o extremos. Si bien es cierto que, de manera natural los podemos encontrar en el ambiente, se encuentran en concentraciones que no dañan, no obstante, cuando sobrepasan determinado nivel son considerados como un peligro potencial (Munguía, 2003).

El incremento en las actividades industriales, el aumento en el uso de combustibles fósiles, agrandan la generación de emisiones de contaminantes del aire (Cruz y Jimenez, 2006; Franco, 2015) recordando que dentro de la contaminación ambiental, la calidad del aire juega un papel importante para la calidad de vida del ser humano y el ambiente (OMS, 2005; Rojano *et al*, 2013).

2.2 Contaminación del Aire

La calidad del aire, se ve afectada cuando se modifica la composición de la atmósfera, ya sea por causas naturales o bien por la intervención del hombre (Querol, 2008). El aire que respiramos día a día, se conforma principalmente por Nitrógeno (N₂), Oxígeno (O₂) y en pequeñas porciones por vapor de agua y Dióxido de Carbono (CO₂). Sin embargo, la mayoría de las actividades humanas ocasionan emisiones de la atmósfera de polvos, humos y especialmente partículas aerodinámicas que alteran su composición (OMS, 2005; Hidalgo, 2015; Salmon, 2016).

La calidad del aire es una de las características de importancia en la determinación del índice de calidad de vida de una ciudad (Franco, 2015) un centro urbano con buena calidad del aire es destacado para vivir y más atractivo para las inversiones, al ser comparada con otras ciudades con similares condiciones de ingresos, acceso a bienes y servicios pero con ambiente atmosférico contaminado (Rojas, 2007; Querol, 2008).

Los problemas de la contaminación del aire; tuvieron sus orígenes cuando el ser humano empezó a trabajar el fuego, como consecuencia se empezó a modificar la composición atmosférica (Sánchez, 2015) dicha alteración se incrementó a partir de la Revolución Industrial, debido al aumento en el uso de combustibles fósiles, indispensables para el funcionamiento de la nueva maquinaria (Sánchez, 2015; SEMARNAT, 2015); Estas tecnologías aportaron beneficios, sin embargo, también acarrearón problemas ambientales (González, 2014).

En México y en diversas partes del mundo, la contaminación atmosférica es observada como un problema local, esto debido que se manifiesta primordialmente en las grandes ciudades. No obstante, se han ido evidenciando que los efectos se presentan a nivel regional tanto global (González, 2009; Garibay *et al*, 2010; Oyarzún, 2010; SEMARNAT, 2013).

La combustión es la principal fuente ocasional de la contaminación atmosférica (Oyarzún, 2010) es importante mencionar que los vehículos de combustión interna se convirtieron en los principales emisores de contaminación y en la actualidad es un gran problema, pues no es sólo fruto de su funcionamiento, sino también de su proliferación, de la calidad de combustible utilizado, del tipo y antigüedad de los autos entre otros ((Vallejo *et al*,2003; Aldunate *et al*, 2006., Celis *et al*, 2007).

Según Sánchez (2015), en promedio, una persona respira alrededor de 14,000 L d⁻¹ de aire, por lo cual las perturbaciones en la calidad, del mismo repercuten directamente en daños a la salud (Martínez *et al*, 2014). Estudios que se han llevado a cabo en la Ciudad de México y en otras ciudades, atribuyen que existe una correlación entre la mortalidad por causa orgánica, aumento de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y los contaminantes atmosféricos (Penna y Duchade, 1991; Cruz y Jimenez, 2006; Alberto y Escalante, 2009; Boldo, 2012; Foster *et al*, 2016; Salmon, 2016).

2.3 Contaminantes Presentes en el Aire

El aire puro se compone de varios elementos y compuestos los cuales se detallan en la sucesiva tabla.

Tabla 1. Componentes del Aire

Componente	Símbolo Químico	% aproximado
Nitrógeno	N	78.084
Oxígeno	O ₂	20.946
Argón	Ar	0.934
Dióxido de Carbono	CO ₂	0.033
Otros		0.003

Fuente: Riojas y Zúñiga, 2017

La composición de la atmósfera ha ido cambiando, desde su origen primitivo que permitió su formación a partir de la actividad volcánica, llegando a evolucionar hasta sus características actuales (Hidalgo, 2015).

Aunque los contaminantes, representan en proporción una mínima parte del total, estas pequeñas cantidades afectan de una manera importante tanto al ecosistema como a la salud pública, (Orona, 2014; Hidalgo, 2015). Dentro de los

contaminantes destacan el dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono (CO), vapores de combustibles y solventes, plomo (Pb) partículas suspendidas (MP) ozono (O₃), el Dióxido de Nitrógeno (NO₃) Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) y Óxidos Nitrosos. Además de los compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuestos clorados (CFC's. HCFC's), también son considerados como contaminantes. (Sánchez, 2015; SEMARNAT, 2015).

2.4 Material Particulado (MP)

En la atmósfera, existen gran cantidad de contaminantes que presentan distintas consecuencias en el ambiente y la salud humana. Dentro de dichos compuestos destacan las partículas suspendidas, aeropartículas, material particulado y aerosoles, que son algunos de los términos utilizados para nombrar una mezcla de compuestos microscópicos, en forma de líquidos y sólidos suspendidos en el aire, por ejemplo, polvo, humo y neblinas (Garibay *et al*, 2011; Sánchez, 2015).

El material particulado (MP) es una mezcla compleja de sustancias que permanecen suspendidas en la atmósfera por periodos variables de tiempo, reside principalmente en partículas de carbón no quemado, sulfatos, nitratos, amonio, cloro, y partículas de metales (Linares y Díaz, 2008; Angulo *et al*, 2011).

El MP es considerado como el contaminante más complejo por sus características de tamaño (desde 0.007 hasta 60 micras), su composición química es variada; COV, HAP, metales pesados, ácido sulfúrico, nítrico, sales de amonio, además se desarrollan diversas transformaciones en la atmósfera e interacciones que provocan nuevos compuestos contaminantes (Rojas, 2007; Quijano *et al*, 2010) Así que dependiendo del tipo partícula se pueden encontrar tanto compuestos mayoritarios como minoritarios (Tabla 2).

Tabla 2. Compuestos Mayoritarios y Minoritarios en Partículas Suspendidas

Compuestos Mayoritarios	Compuestos Minoritarios
Sulfatos (SO ₄)	Elementos traza: por ejemplo, metales, como plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), níquel (Ni), cromo (Cr), zinc (Zn), y magnesio (Mg), etc.
Nitratos (NO ₃)	
Amonio (NH ₄)	Compuestos orgánicos: por ejemplo, Hidrocarburos aromáticos, HAP, alifáticos, aldehídos, ácidos carboxílicos y cetonas, entre otros.
Sodio y Cloro (NA y Cl)	
Carbón elemental	
Carbón orgánico o Aerosol orgánico secundario	
Componentes minerales; Fe ₂ O ₃ , Ca, Si y Al	
Agua	

Fuente: Parra *et al*, 2010; Garibay *et al*, 2011

Es necesario recalcar que la estructura química de las partículas es muy desigual y depende de la fuente emisora como del mecanismo de formación de las partículas; las partículas encontradas en una región costera estarán principalmente compuestas de cloruro de sodio, derivado de la sal presente en el mar (Hidalgo, 2015).

2.5 Clasificación de Contaminantes

Las partículas se pueden catalogar de varias maneras, dependiente del criterio que se tome como base. Dentro de las clasificaciones más básicas de las partículas ambientales y de los demás contaminantes del aire, es el basándose de acuerdo a su origen distingue entre partículas primarias y partículas secundarias (Sierra, 2009; NOM-025-SSA1-2014).

2.5.1 Contaminantes primarios

Son aquellos que son emitidos de manera directa a la atmósfera como resultado de un proceso natural o antrópico, (por ejemplo, el humo oscuro que se observa en los escapes de coches y camiones, el polvo de las calles), entre otros. Estos contaminantes se hallan en la atmósfera en la misma forma en que fueron emitidos como son CO₂, CO y SO₂ y partículas de polvo (Sierra, 2009; Garibay *et al*, 2011; Sánchez, 2015). Tanto las partículas finas como las partículas gruesas pueden ser primarias, en otras palabras, emitidas por una fuente (Hidalgo, 2015)

2.5.2 Contaminantes secundarios

Principalmente estos contaminantes se forman en la atmósfera, como consecuencia de reacciones entre contaminantes primario, o de contaminantes primarios con los compuestos que de forma natural se hallan en la atmósfera como puede ser el O₃, plomo (Pb), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC), material particulado, entre otros. (Sierra, 2009, Hidalgo, 2015; Sánchez, 2015).

Estos contaminantes secundarios provienen de reacciones químicas o de condensación de vapores en la atmósfera, de productos precursores, proceso que toma horas o días. Por ejemplo, el contaminante criterio ozono troposférico no es emitido directamente por alguna fuente. Pertenece a una familia de productos altamente reactivos llamados oxidantes fotoquímicos que se forman a partir de compuestos orgánicos volátiles (COV) tales como benceno, aguarrás, tolueno, acetona, entre otros, y óxidos de nitrógeno (NO_x) en una reacción que requiere radiación solar (O´Ryan y Larraguibel, 2000).

2.6 PM₁₀ y PM_{2.5}

Linares y Díaz (2008) y OMS (2017) clasifican al MP de acuerdo con su diámetro aerodinámico; en menores o iguales a 10 micras (PM₁₀), en menores o iguales a

2.5 micras ($PM_{2.5}$) y menores o iguales a 0.1 micras ($PM_{0.1}$). El tamaño es un parámetro importante para caracterizar su conducta en la atmósfera y, por ende, la concentración a la que puede estar exhibida la población; también determina la capacidad de penetración y retención en diversas regiones de las vías respiratorias (NOM-025-SSA1-2014; Hidalgo, 2015).

Cada tipo de partícula está compuesta de diferente material y puede provenir de diferentes fuentes, un ejemplo de lo anterior es que el origen de las $PM_{2.5}$ radica en fuentes antropogénicas, como las emisiones de los vehículos, por otro lado, las partículas de mayor tamaño (PM_{10}) logran tener en su composición un importante componente de tipo natural (Linares y Díaz, 2008; Canales *et al*, 2014)

2.7 Causas de Origen

Existen varias maneras de catalogar las fuentes de emisión; una de las más usadas es dividir las fuentes antropogénicas y fuentes naturales. Las causas antropogénicas abarcan las emisiones generadas por las acciones del hombre, mientras que las últimas son procedentes de fenómenos naturales donde no interviene el hombre (Rojas, 2007; Hidalgo, 2015). La anterior clasificación sirve de base para reunir de una manera ordenada la información sobre las emisiones que emanan de este tipo de fuentes, y en ella se basan los inventarios de emisiones (Hidalgo, 2015).

2.7.1 Fuentes antropogénicas

Las fuentes antropogénicas comprenden las emisiones provenientes de las actividades humanas y algunos ejemplos de ellas son las emisiones derivadas de

fábricas, automóviles, construcciones, tortillerías, quemas agrícolas, incluso barrer, jugar fútbol, prender fuego, pulir, entre otras, (Garibay *et al*, 2011; Hidalgo, 2015). Por otro lado, muchas partículas son producto de reacciones químicas en la atmósfera (Aldunate *et al*, 2006).

De lo anterior resulta, que estas mismas fuentes se agrupan a su vez en tres subgrupos; fuentes fijas, de área y móviles.

2.7.2 Fuentes fijas generadoras de emisiones

Estas fuentes hacen referencia a toda instalación establecida en un solo lugar y que tenga el fin de desarrollar procesos industriales, comerciales, servicios o actividades que formen o puedan generar emisiones contaminantes al aire. Por lo regular, en este tipo de establecimientos las emisiones de partículas primarias pueden generarse a través de actividades de combustión o a su vez como resultado de diversos procesos que se llevan a cabo dentro de las fuentes fijas (Ryan, 2000; Garibay *et al*, 2011; Hidalgo, 2015).

2.7.3 Fuentes de área generadoras de emisiones

Dicha clasificación incluye fuentes que son demasiado numerosas y dispersas, más aún en conjunto son emisoras significativas de contaminantes. Dentro de esta clasificación se enlistan las gasolineras, tintorerías, actividades de construcción, quemas agrícolas, combustión doméstica, agrícola, industrial, incendios forestales, incendios en casa habitación y las plantas de tratamiento de agua residual (Garibay *et al*, 2011; Hidalgo, 2015).

2.7.4 Fuentes móviles generadoras de emisiones

Por otra parte, las fuentes móviles que se sujetan en esta categoría son todas las fuentes motorizadas con autorización para circular por caminos públicos, como lo son las motocicletas, vehículos particulares, autobuses, taxis para pasajeros y camiones, asimismo aquellas que no circulan por carretera, tal es el caso de maquinaria de uso agrícola, locomotoras, embarcaciones marinas, maquinaria para construcción, entre otras. (Barrera, 2005; Garibay *et al*, 2011; Hidalgo, 2015; INECC y SEMARNAT, 2016).

2.7.5 Fuentes naturales generadoras de emisiones

Este tipo de fuentes, emiten contaminantes atmosféricos sin la participación de las actividades antropogénicas, es decir, sin la intervención de hombre. En algunos casos hay regiones, donde estas contribuyen de manera significativa al total de las emisiones (Vallejo *et al*, 2003; Hidalgo, 2015).

Abarcan todas las de origen geológico, los volcanes, y las que tienen que ver con el suelo; como la erosión, sin olvidar los incendios forestales (Rojas y Garibay; 2003, Hidalgo, 2015). Además de las tormentas de arena, microorganismos, desperdicios de animales y, en áreas costeras, el mar.

De acuerdo con el inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero del año 2008 las principales fuentes generadoras de PM₁₀ y PM_{2.5} son las siguientes:

Tabla 3. Principales fuentes generadoras del MP

Fuente	Categoría	PM ₁₀	PM _{2.5}
Área	Combustión agrícola	16,445.88	16,445.88
Área	Labranza	150,585.77	33,384.87
Área	Incendios forestales	31,336.21	26,589.51
Área	Quemas agrícolas	31,899.53	30,455.11
Fijas	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica MÉX.	68,949.54	58,271.17
Fijas	Industria alimentaria	77,522.82	43,902.70
Fijas	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	15,148.64	9,873.46
Fijas	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	16,278.36	11,961.12
Fijas	Industrias metálicas básicas	11,768.63	6,932.58
Móviles	Maquinaria de uso agropecuario	23,112.86	22,419.47

Fuente: Inventario nacional de emisiones, 2008.

2.8 Permanencia de las Partículas en la Atmósfera

A través de diferentes procesos las partículas son removidas de la atmósfera, así como la sedimentación y la precipitación, hasta cierto punto. El tamaño de las partículas es uno de los factores que determinan el tiempo de residencia de las partículas. Las partículas con diámetros por arriba de 20 μm pueden persistir suspendidas en la atmósfera durante algunas horas, mientras que las partículas entre 2 y 3 μm pueden permanecer de 2 a 4 días. Las partículas en un rango de tamaño 0.1 – 1 μm son las que muestran el mayor tiempo de residencia, que va desde días incluso semanas, siendo removidas mayoritariamente por precipitación pluvial (Cruz y Jimenez, 2006; Aguiló, 2012; Hidalgo, 2015).

Otros factores que afectan el tiempo de residencia de las partículas, son sus propiedades termodinámicas; su distribución de la masa entre la fase gaseosa y

de aerosol, lo cual depende de la temperatura y la humedad. En definitiva, si hay cambios en la temperatura y la humedad en la atmósfera, simultáneamente se realizarán cambios en las concentraciones de ciertas partículas; sulfato de amonio y aerosoles orgánicos (Barrera, 2005; Garibay *et al*, 2011; Hidalgo, 2015).

2.9 Evaluación de Partículas

Generalmente, las mediciones de la calidad del aire se notifican como concentraciones medias diarias o anuales de partículas expresadas en $\mu\text{g m}^{-3}$. Cuando se dispone de instrumentos de medición suficientemente sensibles, se notifican también las concentraciones de partículas finas $\text{PM}_{2.5}$ o más pequeñas (OMS, 2017).

2.9.1 Métodos Tradicionales para el Monitoreo de Contaminantes Criterios

Existen metodologías para el monitoreo de los contaminantes criterio, las cuales algunas son dictadas por la EPA, o en su caso por las Normas Oficiales Mexicanas para cada contaminante, en caso de estar disponible. Es fundamental utilizar instrumentos capaces de proporcionar resultados reproducibles y trazables, con peculiaridades técnicas evaluadas y aprobadas por una autoridad competente.

El principio de operación de cada instrumento está determinado por alguna propiedad física o química del compuesto que se pretende analizar, ya que por lo regular se utilizan métodos determinados y con una interferencia mínima (EPA, 2017). La EPA actualiza constantemente su lista de referencia designada y métodos equivalentes (Tabla 4).

Tabla 4. Lista de referencia designada y métodos equivalentes

Contaminante	Principio de operación	Descripción del método
Partículas suspendidas PM ₁₀ , PM _{2.5}	Gravimetría	Método equivalente: determinación de la masa de partículas presente en un flujo de aire, las partículas son separadas de la corriente y depositadas sobre un filtro colocado en un elemento oscilante, la variación en la frecuencia de oscilación es proporcional a la masa. El tamaño de partícula está determinado por la entrada selectiva y el flujo de muestra.
Partículas suspendidas PM ₁₀ , PM _{2.5}	Atenuación de radiación beta	Método equivalente: atenuación en la intensidad de la radiación beta por las partículas depositadas sobre un filtro continuo.

Fuente: EPA, 2017

2.10 Daños a la Salud por Efecto de PM₁₀ y PM_{2.5}

Los efectos de las partículas en la salud de las personas presentan una relación histórica a la exacerbación de enfermedades de tipo respiratorio; bronquitis y asma, encontrando también dolencias de tipo cardiovascular (Linares y Díaz, 2008).

La atmósfera es la parte del medio ambiente, en la cual el ser humano está permanentemente en contacto, consecuentemente, el sistema respiratorio forma la principal vía de entrada al organismo para el material particulado atmosférico. El grado de penetración dependerá del tamaño de partícula, debido que, a menor tamaño, la partícula podrá eludir más fácilmente los mecanismos de defensa del sistema respiratorio. (González, 2012).

Al estar en contacto con el material particulado que se encuentra en la atmósfera, se genera una relación con diferentes daños a la salud humana, la magnitud de los efectos depende de variaciones en las concentraciones que se encuentran en el aire, de la cantidad que se inhala, del tiempo de exposición y de las características de la población expuesta.

Afectan en particular a los sistemas respiratorio y cardiovascular de toda la población, aunque la susceptibilidad puede variar con el estado de salud o la edad, siendo los niños menores de 5 años, los adultos mayores de 65 y las personas con padecimientos previos, los grupos de mayor susceptibilidad (NOM-025-SSA1-2014). Ya que su sistema inmunológico no está maduro como el de los adultos, así mismo los adultos mayores presentan decadencia en su sistema inmune, por lo cual poseen menor capacidad defensiva frente a las agresiones externas como el viento.

Especialmente las $PM_{2.5}$, su tamaño hace que sean 100% respirables, viajando desde el tórax, introduciéndose en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso pudiendo llegar al torrente sanguíneo. Estas partículas de menor tamaño están compuestas por elementos que son más tóxicos (metales pesados y compuestos orgánicos) que las de mayor tamaño, en conclusión (Linares y Díaz, 2008). De esta manera, la exhibición a largo plazo a niveles altos de $PM_{2.5}$ se relaciona significativamente a hospitalizaciones por neumonía adquirida, por otro lado, la exposición a PM_{10} durante los meses de verano se relaciona con síntomas de apnea obstructiva y menor saturación durante el sueño (NOM-025-SSA1-2014).

La epidemiología ha tenido un papel importante en la evaluación de impacto en salud de la contaminación atmosférica, se presentan pruebas de la asociación en poblaciones humanas, donde los principales efectos son en el sistema respiratorio

y el cardiocirculatorio (Rosales *et al*, 2001; Linares y Díaz, 2008). Debido a sucesos históricos, así como estudios toxicológicos y epidemiológicos llevados a cabo en diversas partes del mundo, contribuyen cada vez más pruebas a favor de la existencia de una relación causa-efecto entre la exposición a la contaminación atmosférica y los efectos adversos en la salud (Boldo, 2012).

Diversos estudios han encontrado una asociación estadísticamente significativa entre la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} y las diversas afectaciones a la salud que estas conllevan (Rosales *et al*, 2001; Salmon, 2016).

En el 2013, la OMS estableció que las partículas del aire contaminado están en constante relación con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. Asimismo, se ha observado una correspondencia entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de vías urinarias y vejiga (OMS, 2017). También podemos mencionar algunas otras, como la reducción de la función pulmonar, frecuencia de enfermedades respiratorias, agravamiento del asma y bronquitis crónica, muerte prematura, silicosis y asbestosis (dependiendo de la composición), catarro y exacerbación de asma (Riojas y Zúñiga, 2017). Otros efectos en la salud ocasionados por el PM₁₀ son: dificultad para respirar, tos, ronquera y ardor en los ojos, problemas que no precisamente causan una visita médica por parte de la ciudad afectada (Aldunate *et al*, 2006).

A pesar de los esfuerzos llevados a cabo por los diferentes órdenes de gobierno y la iniciativa privada la contaminación del aire sigue siendo uno de los problemas principales de salud pública, que afecta a la población a nivel nacional (NOM-025-SSA1-2014).

Bernache (2012) comenta que los sitios de disposición final son el punto más débil de los procesos de manejo de residuos municipales y esto resulta en vectores de contaminación ambiental que afecta directamente la calidad del aire en los

asentamientos de población aledaños. Estos vertederos son un factor de riesgo que están ocasionando un nivel importante de contaminación atmosférica municipales y regionales.

Es decir la quema de residuos sólidos ocasiona deterioro del aire conjuntamente con los gases tóxicos generados por la quema de materiales plásticos así como el metano emanado por la descomposición de los residuos sólidos, los cuales afectan el sistema respiratorio de los individuo (Contreras, 2008).

De manera que la contaminación del aire se ha convertido en una constante en muchas ciudades industriales de todo el mundo, lo cual ha acarreado problemas de salud a la población, ejemplos de lo anterior son los casos de la niebla tóxica londinense de 1952, que ocasionó cerca de 4 mil fallecimientos (Rosales *et al*, 2001; Contreras *et al*, 2013). Además de la contingencia en el Valle de Mosa Bélgica en 1930 y en Donora Pennsylvania, EEUU en 1948. (González, 2012).

2.11 Beneficios de Reducir los Contaminantes Atmosféricos

El hecho de que el aire que respiramos este contaminado representa un importante riesgo ambiental para la salud. Se estima que una disminución de los niveles de contaminación del aire, puede disminuir la carga de morbilidad procedente de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre las cuales se encuentra el asma. Por lo anterior, hace hincapié en reducir los niveles de contaminación del aire ya que, cuanto más bajos sean mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo (OMS, 2017).

La reducción de la exposición a PM_{2.5}, según Boldo (2012), implicaría una disminución sustancial en el número de muertes prematuras, la cual trae aumento relevante de la esperanza de vida. Riojas y Zúñiga (2017) argumentan que, en

México, las reducciones de PM₁₀ a 20µg m⁻³ y de O₃ a 98 µg m⁻³ evitarían, respectivamente, cerca de 300 a 400 muertes por año.

De modo similar, un estudio realizado por Ortiz y Rojas (2013) arrojó que se podrían evitarse 21 000 muertes para mayores de 30 años y 900 muertes en menores de un año por exposición a largo plazo, para menores de 5 años, podrían evitarse 1 2000 hospitalizaciones por causas respiratorias, 3800 atenciones en salas de urgencias y 2 500 visitas a las unidades de cuidados intensivos. Para mayores de 5 años, se evitarían alrededor de 44 000 hospitalizaciones por causas respiratorias, 350 hospitalizaciones por causas cardiovasculares (en mayores de 65 años), y 155 000 atenciones en las salas de urgencias en todo el período. Además de obtener beneficios económicos alrededor de 180 mil millones de pesos en los costos de enfermedad y un beneficio económico de más de 21 billones de pesos en mortalidad, entre el 2010 y 2020 para Bogotá Colombia.

Es por ello que la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento (LGEEPA, 2015) en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera, señalan que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y regiones del país. Así mismo la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (**ENCA**) valora la calidad del aire como un bien social que atañe a todos los mexicanos, por lo que debe ser considerada como una prioridad (Cruz *et al*, 2017; Pacchiano *et al*, 2017).

Lo dicho hasta aquí, supone que es importante reducir las concentraciones de contaminantes del aire, ya que se ha comprobado alrededor del mundo que las inversiones en la reducción de las concentraciones de contaminantes del aire son compensadas con creces al reducir los costos sociales de la mortalidad y morbilidad (Rojas, 2007).

2.12 Afectaciones al Ambiente

Las consecuencias de la contaminación del aire no sólo lo resentimos nosotros, también los ecosistemas naturales. Dentro de los problemas que atrae la contaminación de aire, resultado de los contaminantes secundarios, sobre los ecosistemas podemos encontrar ejemplos, como el deterioro de los bosques por la lluvia ácida daños a la vida silvestre y humana, así como la corrosión de los materiales de los edificios o construcciones. En el caso de los bosques dificulta el proceso de fotosíntesis. Durante su persistencia en la atmósfera, las partículas ocasionan diversos impactos al ambiente, por mencionar la disminución de la visibilidad, y otro, su efecto en el cambio climático. Aunado la degradación de los suelos, lo cual afecta las raíces y la nutrición de las plantas. Otro de sus efectos es la disminución de peces al acidificar lagos, lagunas, ríos y arroyos (Contreras *et al.*, 2013; Hidalgo, 2015).

En cuanto a la atmósfera esta es fundamental para la vida por lo que sus cambios tienen una gran consecuencia en el hombre y ambiente. Las modificaciones que se producen en su composición química pueden cambiar el clima, producir lluvia ácida o destruir la capa de ozono (Aldunate *et al*, 2006).

2.12.1 Alteraciones en los Ecosistemas Terrestres

Cuando las partículas caen o se depositan en los ecosistemas terrestres, ya sea en vegetación o el suelo logran causar respuestas dentro del ecosistema, las cuales dependen principalmente de la composición química de las partículas. Entre los efectos adversos que se han podido observar a causa de la precipitación de partículas esta la acidificación del suelo, la reducción de la fotosíntesis, variación en la sanidad del suelo, afectaciones en el follaje, la reducción del crecimiento, la disminución del florecimiento y un menguo de los procesos reproductivos (Inza *et al*, 2006). Por esta razón se considera un producto

principalmente, de la precipitación de nitratos, sulfatos y metales pesados, entre otros compuestos (Hidalgo, 2015).

En cuanto a las áreas verdes se pueden considerar las afectaciones en su densidad de copa, transparencia de follaje e incluso la muerte regresiva por causa de la contaminación atmosférica (Zaragoza, 2014). Por lo que se refiere a, los metales que se encuentran en las partículas estos de igual forma se precipitan en los bosques provocando una acumulación en las capas superiores del suelo; que cuando se encuentran en altas concentraciones hace que disminuya el proceso natural de descomposición de hojas, raíces y animales muertos (Flores, 2006; Querol, 2008; Orona, 2014; Hidalgo, 2015).

2.13 Legislación Ambiental

Las normas aplicables para los contaminantes se emiten con el objetivo de establecer los límites para sus emisiones provenientes de diversas fuentes, o bien, las concentraciones ambientales bajo las cuales se puede considerar que hay una buena calidad del aire. En ese sentido el Gobierno Federal es el responsable de establecer los estándares para la protección de la salud pública y vigilar su cumplimiento; publicados en las Normas Oficiales Mexicanas (**NOM**) y son de observación obligatoria en todo el país. Las NOM describen los límites permisibles para los contaminantes criterios. Además, están condicionadas a una revisión periódica para reflejar la información reciente sobre los efectos en la salud y la gestión de la calidad del aire.

La Secretaría de Salud es la dependencia comisionada para establecimiento de normas para cuidar la calidad del aire en nuestro país. Originalmente, esta dependencia emitió en 1994 la Norma Oficial Mexicana NOM-024-SSA1-1993, en la que estableció el valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente.

En ese mismo año se publicó la NOM-025-SSA1-1993 para las partículas PM₁₀, y posteriormente se combinaron las dos normas anteriores y se incluyó el límite máximo permisible para PM_{2.5} en la NOM-025, que se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* en 2005. En esta norma se estableció el valor de 65 µg m⁻³ como límite para la concentración promedio de 24 horas, y 15 µg m⁻³ como límite para la concentración promedio anual (Garibay *et al*, 2011).

En el 2014, la actualización de la NOM-025 estableció nuevos límites; PM₁₀, con un límite de 24 horas de 75 µg m⁻³ y límite anual de 40 µg m⁻³. Para el caso de PM_{2.5} estableció un Límite de 24 horas de 45 µg m⁻³ y límite anual de 12 µg m⁻³.

2.14 Estudios e Investigaciones Generados

El aumento de los niveles de contaminación del aire en todo el mundo ha despertado el interés por investigar la asociación entre el deterioro de la calidad del aire y sus posibles efectos en la salud humana. (Carnonell y Semerena, 2009), durante los últimos años se ha utilizado la toxicología y la epidemiología ambiental, con el fin de hallar los mecanismos biológicos y fisiológicos del daño que ocasionan en la salud (Rojas y Garibay, 2003).

Los estudios relacionados con el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, han hecho énfasis en monitorear las emisiones y modelar su conducta a través de herramientas como diversos modelos matemáticos, uso de imágenes satelitales, monitoreo a través de estaciones automatizadas y modelos geoestadísticos (Villatoro *et al*, 2008; Cañada, 2014; Sánchez, 2015; Chirinos y Mallqui, 2016).

Diversos autores han llevado a cabo varios estudios relacionados con las partículas suspendidas. Aldunate *et al*, (2006) desarrolló una investigación sobre

los efectos de la contaminación atmosférica por PM_{10} sobre la salud, determinando que existió un incremento significativo en el número de visitas médicas por enfermedades de las vías respiratorias superiores e inferiores, debido al incremento en las concentraciones de PM_{10} en el centro de la ciudad, aun cuando las concentraciones no superaron los valores límite establecidos.

Ramírez *et al*, (2009) argumenta con base a los resultados encontrados en la investigación científica, que existe una alta relación entre el CO y la temperatura con las infecciones respiratorias agudas. De la misma manera Canseco *et al*, (2011) observó una asociación entre las concentraciones de $PM_{2.5}$ y las enfermedades respiratorias en 3 zonas de Ciudad de Puebla. Se ha encontrado una relación entre PM_{10} y $PM_{2.5}$; Echeverri y Maya (2008) llevaron a cabo un estudio en la ciudad de Medellín, arrojando una relación de 0.67 entre PM_{10} y $PM_{2.5}$, identificando a las partículas más finas como uno de los principales problemas de contaminación.

En lo que corresponde a las áreas verdes, Orona (2014) determino, que el material particulado se deposita en los arbustos dejando presencia de metales pesados, ocasionado daños a la salud del arbusto. De modo similar, Zaragoza (2014) comenta que en la zona de estudio en áreas verdes, dos de tres parques registraron valores altos de muerte regresiva, debido a la contaminación presente, considerando como su condición precaria de salud.

Así mismo, la composición de estas partículas en cuanto a la presencia de metales pesados ha tenido un auge en el tema de investigación, Flores (2006) a través de un modelo de factor de análisis identificó 4 fuentes de emisión de metales, las cuales emiten de manera más abundante Cu-Fe-Mn-Zn, Cd-Cr, Cu-Zn y Fe-Ti.

Algunos artículos, como el de Ballester (2005) son de carácter informativo sobre las consecuencias de la contaminación atmosférica y cambio climático en la salud

y la importancia del cuidado de medio ambiente, obteniendo beneficios a corto y largo plazo. Incluso algunas investigaciones son la pauta para generar o definir medidas de control, por ejemplo Martínez *et al*, (2014).

Es importante reconocer las fuentes generadoras y características de los contaminantes, Wang *et al*, (2013) identificaron que las fuentes de PM₁₀ eran el polvo fugitivo a nivel del suelo, las fuentes de tráfico y las actividades industriales, mientras que las PM_{2.5} se originaron principalmente de actividades industriales, fuentes de tráfico. Así mismo determinaron que las concentraciones más altas fueron en invierno mientras que las bajas fueron en verano. Finalizando determinaron que la contaminación atmosférica ambiental debida a PM₁₀ y PM_{2.5} en Shanghái es más alta que en ciudades de países desarrollados, como España, Finlandia y Estados Unidos.

La ciudad de Chillán, Chile es otra metrópoli que presenta problemas de calidad de aire, incluso puede compararse con las ciudades que presentan altas tasas de polución (Celis y Morales, 2007). El área urbana de El Cairo en Egipto, se determinó que la calidad del aire es grave aunado a esto se fortalece por las tormentas de polvo naturales y la quema de desechos antropogénicos. (Zakey *et al*, 2008). Se ha investigado en sitios y/o fuentes potenciales de PM_{2.5} y PM₁₀ el grado de exposición del personal que colabora en esas zonas. Zheng *et al*, (2016) comenta que las mayores concentraciones de metales pesados se encuentran durante el invierno y la primavera. La evaluación del riesgo para la salud humana mostró que el riesgo potencial total de cáncer es mayor que el rango aceptable y seguro recomendado por la EPA; los elementos carcinógenos y no carcinógenos de las PM_{2.5} plantean un mayor riesgo para la salud pública de los niños que de los adultos.

A su vez Angulo *et al*, 2011 realizaron un estudio con la finalidad de tener una revisión de la literatura sobre la cuantificación y caracterización de partículas

suspendidas (PST) y partículas respirables (PM₁₀), producidas en áreas de explotación carbonífera a cielo abierto; concluyendo que la composición del MP está influenciada por la geología local y el progreso de las operaciones mineras, con consideraciones adicionales que incluyen la topografía del área.

Mientras tanto en nuestro país, el estudio de las partículas suspendidas ha tenido mayor influencia en la Ciudad de México (Flores, 2006), pero últimamente se están realizando investigaciones en otras ciudades, Tampico (Flores, 2006), Chihuahua (Hernández et al, 2000, Campos et al, 2007; Campos et al, 2008; Canseco 2011), Mexicali (Meza et al, 2010), Puebla (Abad *et al*, 2014), Monterrey (Sánchez, 2006; González, 2014), San Luis Potosí (Pineda *et al*, 2014), Durango (Martínez et al, 2014) Toluca (Sánchez, 2015) y Sonora (Cruz *et al*, 2017). Con lo cual se suman a la preocupación de los problemas en la salud pública, a causa de la mala calidad de aire, estos estudios presentan información relevante en la relación de salud pública y el Material Particulado.

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la Zona de Estudio

El municipio de Misantla se encuentra ubicada en la zona centro montañosa del estado de Veracruz, entre las coordenadas 19°56' latitud norte y 96°51' longitud oeste, a una altura de 300 m sobre el nivel del mar. Colinda al norte con los municipios de Martínez de la Torre, San Rafael y Nautla; al este con los municipios de Nautla, Vega de Alatorre, Colipa y Yecuatla; al sur con los municipios de Yecuatla, Chiconquiaco, Landero y Coss, Miahuatlán, Tonayán y Tenochtitlan. El Municipio presenta una extensión en superficie de 524.77 Km²; cifra que representa un 0.73% total del Estado (Gobierno Municipal de Misantla, 2014).

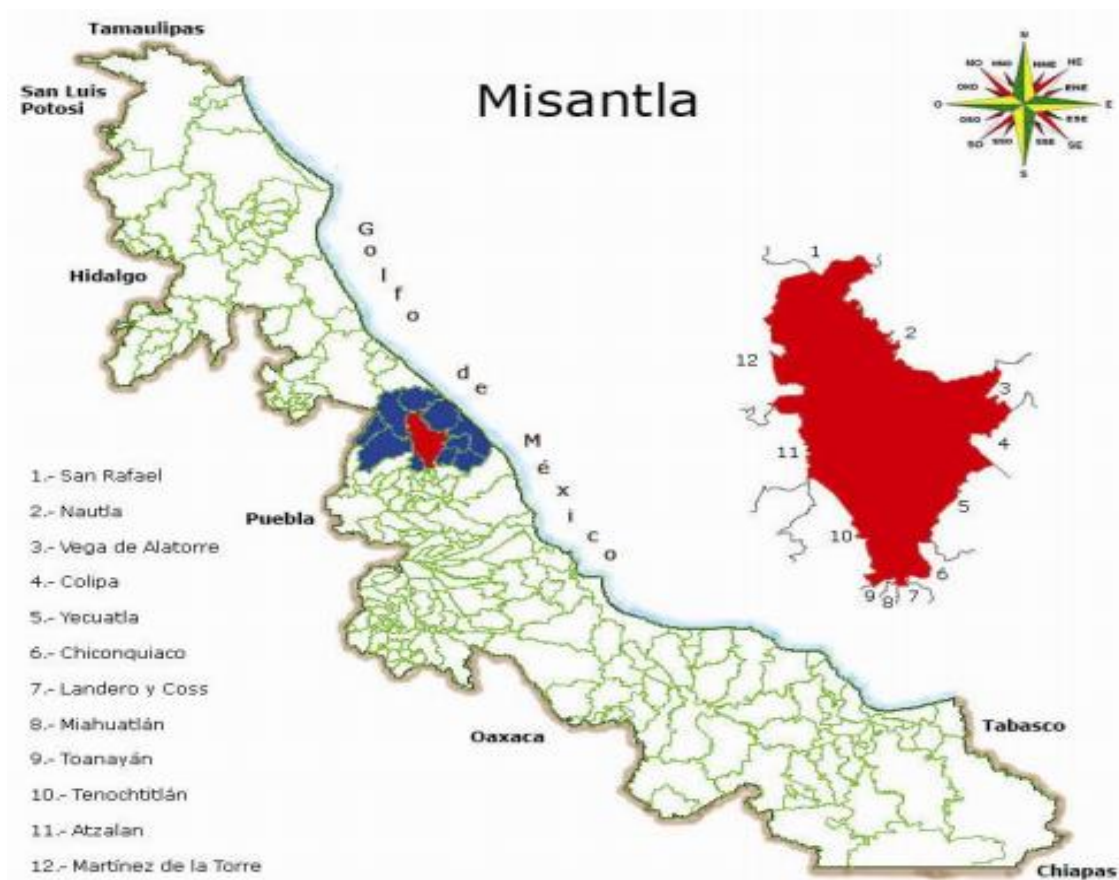


Figura 1. Localización y colindancias de Misantla (INEGI, 2015)

3.2 Clima en la Ciudad de Misantla

De acuerdo con el Gobierno Municipal de Misantla (2014) con relación a los componentes naturales de la región, se identifican los siguientes climas: tropical cálido, cálidos sub-húmedos, templados húmedos y de régimen térmico cálido, con precipitaciones que varían de los 2,036.4 mm anuales en promedio. La temperatura media anual oscila entre los 22.7°C y con una humedad relativa de 35 % a 40 %. Los meses más fríos son diciembre y enero, el calor más intenso se da de abril a agosto. Las heladas por lo general se registran ocasionalmente en los meses de diciembre. Los fenómenos meteorológicos especiales como ciclones, tormentas eléctricas y nortes, que regularmente ocasionan fuertes lluvias, se registran en los meses de septiembre y octubre.

3.3 Determinación y Ubicación de los Sitios de Muestreo

A partir de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth Pro® de enero 2017 se delimitó el área de estudio y utilizando el software GPS Utility® se creó un shape file, dicho archivo se exportó al Software SADA® (Análisis Espacial y Asistente de Decisión por sus siglas en inglés Spatial Analysis and Decision Assistance), seleccionando un muestreo simple al azar. Como resultado se obtuvo 20 sitios de muestreo, los cuales abarcan desde la cabecera municipal hasta localidades aledañas.

Una vez localizados, se acudió a cada uno de ellos para observar que fueran de fácil acceso y de baja peligrosidad para seguridad del personal de campo. Para tener una mejor ubicación de cada punto de muestreo, se utilizó el programa Google Earth™ (Fig. 2).

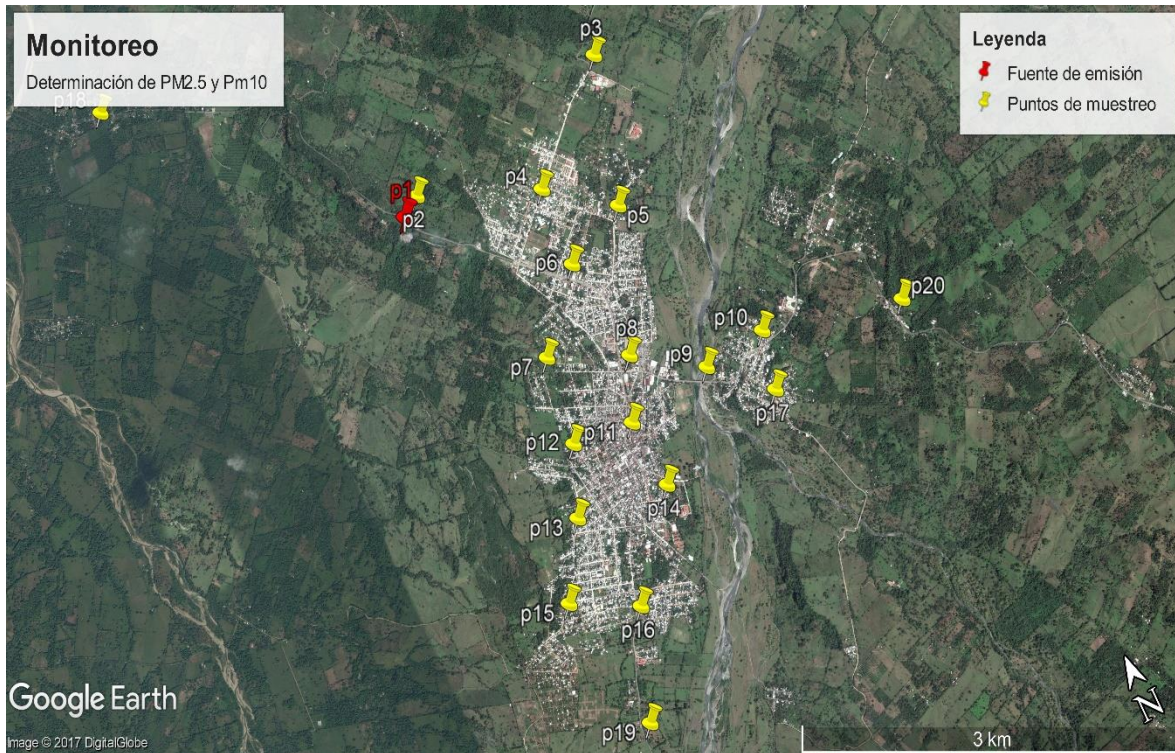


Figura 2. Imagen satelital de los puntos de muestreo (Google Earth, 2017)

A cada uno de los puntos de muestreo se le denominó P seguido del número de cada uno de ellos, de igual manera se identificó el lugar donde se encontraba junto con sus coordenadas correspondientes (anexo 1).

3.4 Descripción de los Sitios de Muestreo

Con la intención de describir el entorno del punto de muestreo se realizó la siguiente tabla, detallando las características que pudieran sobresalir de cada uno de los puntos, enfocándose en contribuciones cercanas como emisiones contaminantes (Tabla 5).

Tabla 5. Contribuciones a la generación de MP

	Lugar	Trafico	Madera como combustible	Zona Residencial	Terracería	Pavimento	Quema de residuos	Áreas verdes	Carpinterías
P1	Tiradero a Cielo Abierto		Fuente de Generación de PM ₁₀ y PM _{2.5}						
P2	Col. Frente Cardenista								
P3	ITSM								
P4	Sec. Técnica Industrial 62								
P5	Prim. Aquiles Serdán								
P6	Prim. Venustiano Carranza								
P7	Col. 5 de Mayo II								
P8	Centro de Salud								
P9	Puente Palchan								
P10	Pirámide Nizin								
P11	Parque Morelos								
P12	Col. M. Villaraus L.								
P13	Col. La Gloria								
P14	Pozo de Nacaquinia								
P15	Col. Francisco Villa								
P16	Col. Pedregal II								
P17	Col. Puerto Palchan								
P18	Loc. Santa Cruz								
P19	Hotel Campestre Casa Blanca								
P20	Loc. Km 3								

3.5 Metodología para el Monitoreo de PM_{10} y $PM_{2.5}$

Se realizó el muestreo abarcando parte de dos estaciones del año; primavera y verano. El inicio de los muestreos se efectuó en el mes de Junio y finalizaron en el mes de Agosto 2017. Se utilizó el equipo para la medición de partículas HoldPeak™ modelo HP5800D, dicho equipo detecta partículas de nivel 2.5 y 10 micras.

La toma se realizó a la altura promedio respirable de 1.6 -2.0 m (Fig. 3). El tiempo de muestreo se efectuó en intervalos de 60 segundos, tomado como sugerencia de las instrucciones de uso del equipo, registrando el valor capturado en una bitácora de campo.



Figura 3. Muestreo desarrollado en el punto 11

Se realizó el muestreo tres veces por día, mañana (06:30), tarde (14:30) y noche (22:30), de manera estratégica se seleccionaron los días lunes, miércoles y viernes se utilizaron para medir los 17 puntos de muestreo que se encuentran en

la cabecera municipal, mientras que los domingos se realizó en las 3 localidades aledañas. En los casos donde se presentó lluvia se suspendió la medición para prevenir resultados erróneos, debido a que la contaminación se ve reducida en gran medida por el aspecto de la lluvia.

3.5.1 Variables Atmosféricas

Con la ayuda de la estación meteorológica Ambient Weather WS-2095, localizada dentro del Instituto Tecnológico Superior de Misantla cerca del (P3), se midieron parámetros indispensables para conocer su relación con la dispersión; humedad, presión absoluta, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento. Los datos se registraron en lapsos de 30 min.

Mediante los softwares Google Earth Pro™ y WRPLOT View™ se realizaron figuras para evaluar el comportamiento de la velocidad y dirección del viento y observar su relación con la dispersión y movimiento de las partículas.

Es importante mencionar que la estación mencionada, se adquirió y se implementó a partir de la semana número 3 en adelante.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Concentraciones de PM_{2.5} en los Puntos de Muestreo

Se registraron datos de concentración de PM_{2.5} del lunes 05 de Junio al domingo 20 de agosto del 2017, analizando cuáles puntos superan 35 µg m⁻³, considerado como el LMP de acuerdo con la NOM-025-SSA1-2014.

El punto 1 presentó los valores más altos de concentración, superando el límite que presenta la normatividad vigente, lo anterior sin importar la hora y condición del clima. Esto se debe a que es allí donde se origina las emisiones, es la fuente principal de PM_{2.5} en la ciudad, ocasionado por una contingencia ambiental anteriormente mencionada, la figura 4 muestra que un total de 44 veces el valor de PM_{2.5} se evidenció por encima de los 35 µg m⁻³.

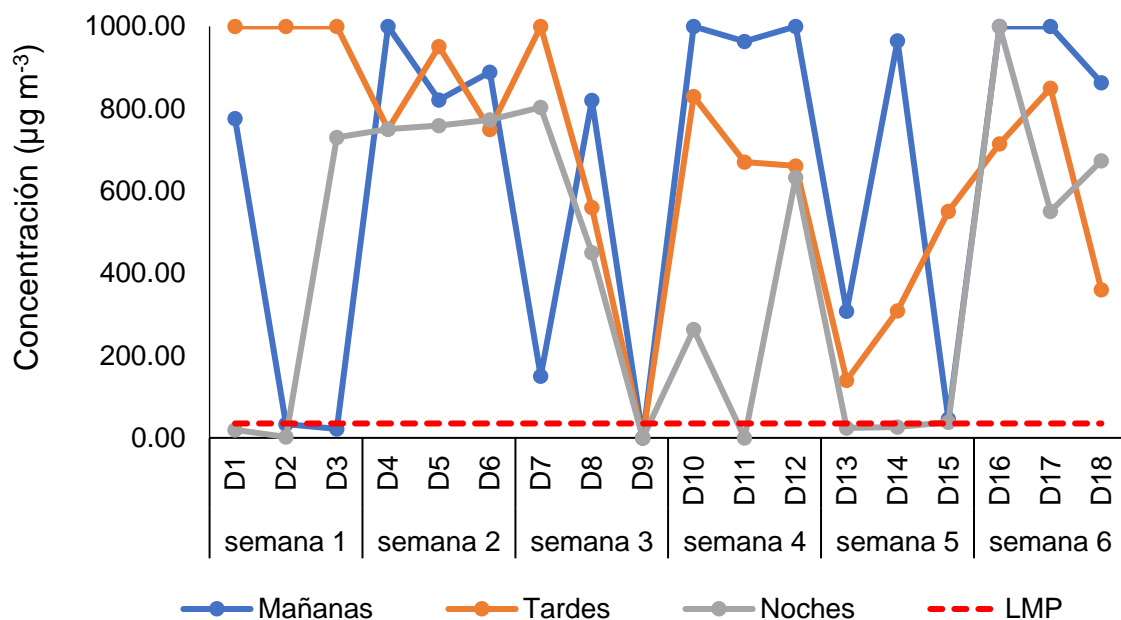


Figura 4. Monitoreo de PM_{2.5} en el punto 1

Las altas concentraciones de MP encontradas en este punto, son originadas debido a la quema de basura que se realiza en ese lugar. Los tiraderos a cielo

abierto que no se encuentran regulados bajo la normatividad vigente, representan un serio peligro a la salud de las personas que realizan trabajos de pepena en ese lugar, así como a la población que se encuentra a los alrededores de este foco de contaminación (Garibay et al, 2011).

El punto número 2 alcanzo y/o supero 17 de 54 muestreos, con una incidencia significativa por las mañanas, siendo la principal causa la ubicación del punto, ya que es vecino de la fuente de emisión, además, esta zona se encuentra en una especie de sumidero donde con el roció queda acumulado el MP donde los cerros cercanos dificultan la dispersión del mismo.

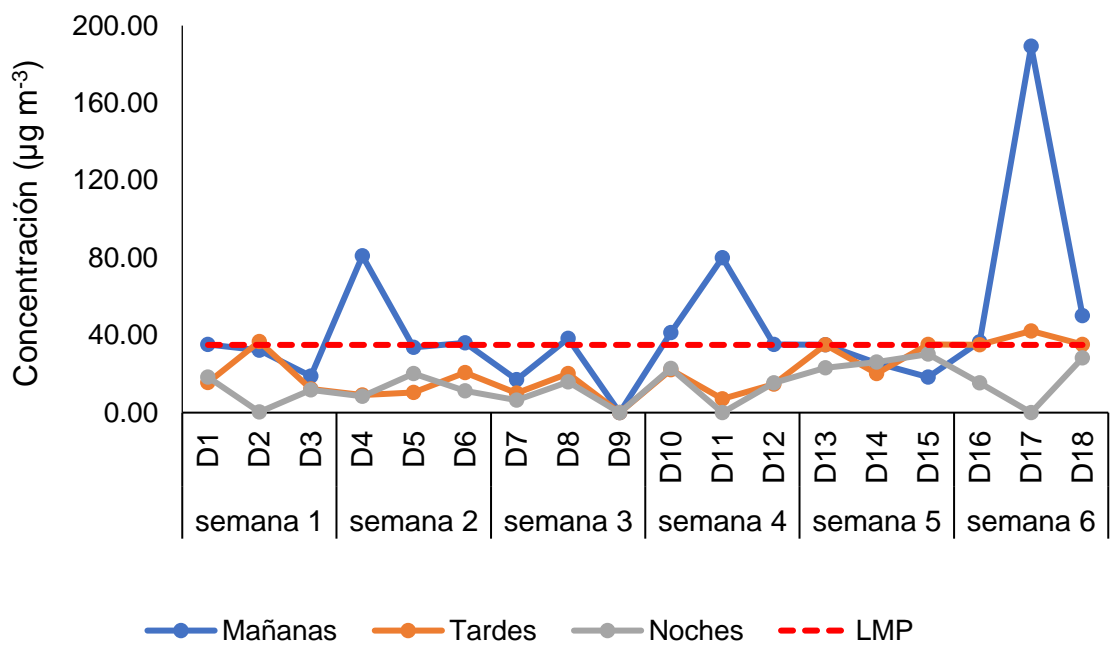


Figura 5. Concentraciones de PM_{2.5} en el Punto 2

Al mismo tiempo la mayoría de las personas que allí radican utilizan biomasa maderable como combustible, se tiene evidencia que esta actividad es la principal, causa de muerte y daños a la salud respecto a estudios interiores (Gil et al,1997 Sánchez, 2006; Montoya et al, 2013)

La quema de leña y otros combustibles de biomasa es una fuente importante de contaminación atmosférica por partículas, siendo la mayor parte de las procedentes de la combustión de tipo fino PM_{2.5} (OMS, 2005).

Por otra parte, el punto número 15 superó 12 veces el LMP manifestado en la normatividad. La mayor cantidad se dio por las mañanas, con respecto a las mañanas se presume que en la madrugada se produce el fenómeno de inversión térmica que dificulta la dispersión y difusión de los contaminantes. Y esto al momento de muestreo tuvo resultados significativos. Este punto es considerado el más alto a nivel muestreo, también se superó el límite por la tarde y noche con 4 y 3 veces respectivamente donde la temperatura influyo en la elevación de las partículas podemos decir que efectivamente las partículas están siendo elevadas, ya que fueron muestreadas en lo alto como se mencionó este punto es el más elevado;

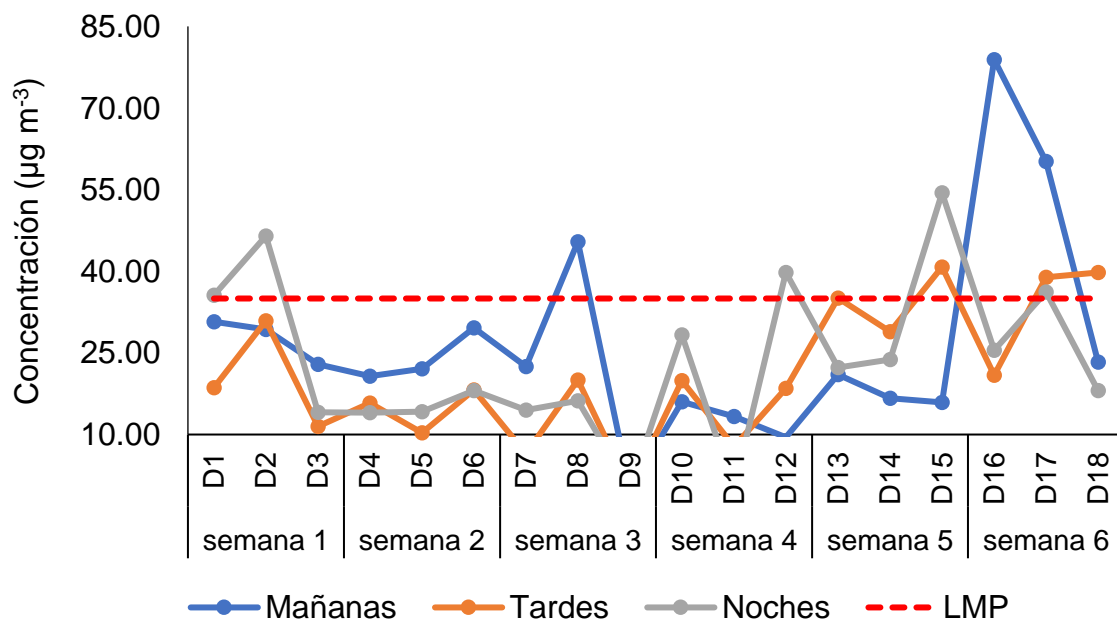


Figura 6. Concentraciones de PM_{2.5} en el punto 15

Por último, tenemos el punto número 16 que supero el límite en 8 de 54 muestreos consiguiendo el lugar número 3, pero al contrario de los demás puntos fue aquí donde el muestreo por las tardes obtuvo el mayor número de veces superadas, la hora del muestreo coincide en el horario de salidas de algunas escuelas aledañas, y el tráfico se aglomera pues es la entrada y salida de la ciudad que conecta a las comunidades siguientes.

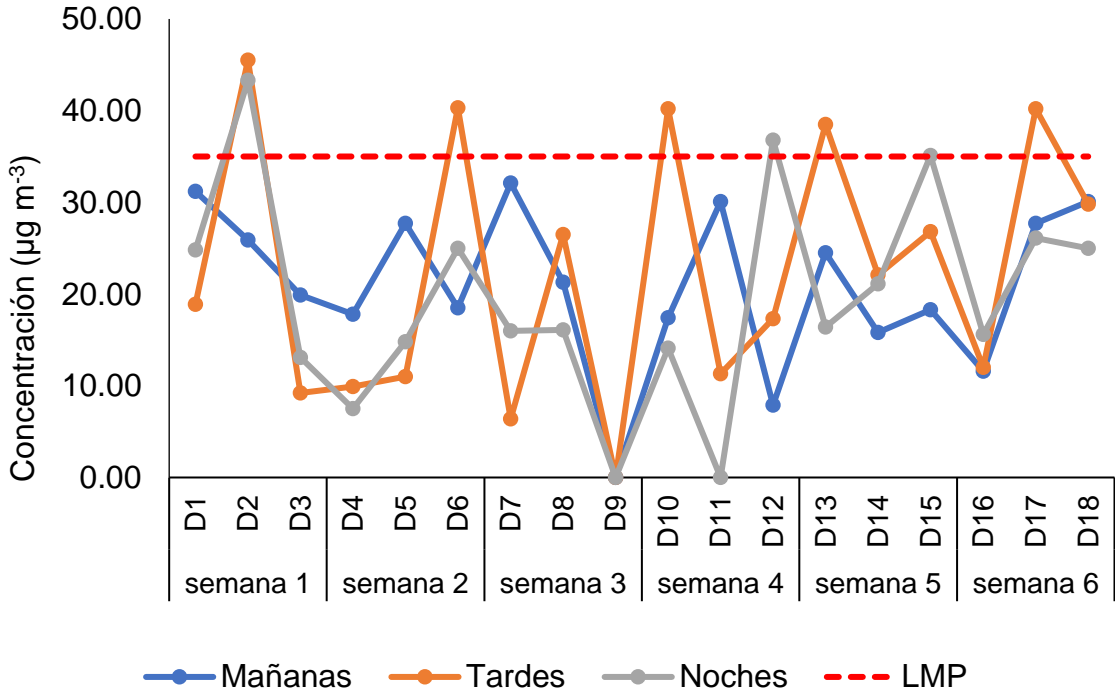


Figura 7. Concentraciones de PM_{2.5} en el punto 16

De acuerdo a los resultados al menos una vez todos los puntos presentaron una concentración igual o mayor a 35.00 (µg/m³) de PM_{2.5}, el cual según la NOM-025-SSA1-2014 lo establece como límite máximo diario. Los puntos 2 (Col. Irregular “Frente Cardenista”), 15 (Col. Francisco Villa) y 16 (Col. Pedregal II) superaron el límite máximo en 17, 12 y 8 ocasiones respectivamente superando el límite de la NOM.

4.1.1 Relación de concentraciones de PM_{2.5} con respecto al tiempo de Muestreo

Se puede observar el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} a lo largo de las 6 semanas de monitoreo (Fig.8). Las semanas con mayor incidencia en concentración fueron la semana 1, 5 y 6, pero a la misma vez la semana 1 presenta valores muy bajos como se puede observar en el primer cuartil que van desde los 0.4 a los 13 $\mu\text{g m}^{-3}$ con una mediana de 24 $\mu\text{g m}^{-3}$ aproximadamente, en la semana 2,3 y 4 el MP fue menor donde la temperatura se ve involucrada en la dispersión del MP, por igual la dirección del viento observamos que los vales superiores no sobrepasan los 27 $\mu\text{g m}^{-3}$, mientras que en la semana 5 un 25 % estuvo arriba de los 30 $\mu\text{g m}^{-3}$ incluso superando el LMP de 35 $\mu\text{g m}^{-3}$. Por otra parte, la semana 6 presento una mediana de 25 %.

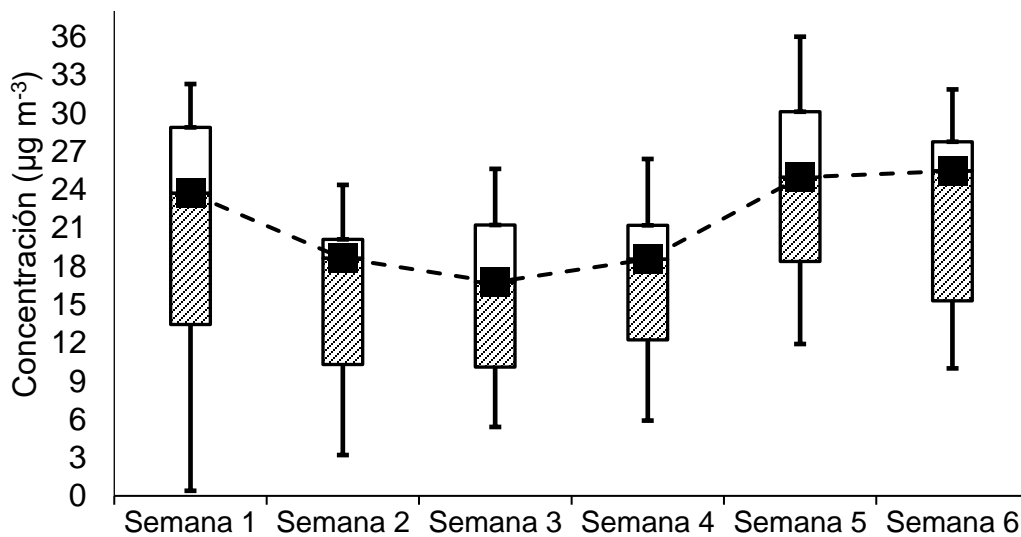


Figura 8. Concentraciones de PM_{2.5} en la Semana de Muestreo

4.2 Concentraciones de PM₁₀ en los Puntos de Muestreo

Las concentraciones de PM₁₀ fueron analizadas y resumidas, mostrando solo los puntos con mayor concentración, sobrepasando el límite de 150.00 µg m⁻³ (NOM-025-SSA1-2014). El punto número 1 superó 22 ocasiones el LMP ya que es la fuente de emisión de partículas. Indicando que las semanas 4,5,6 fueron las más afectadas.

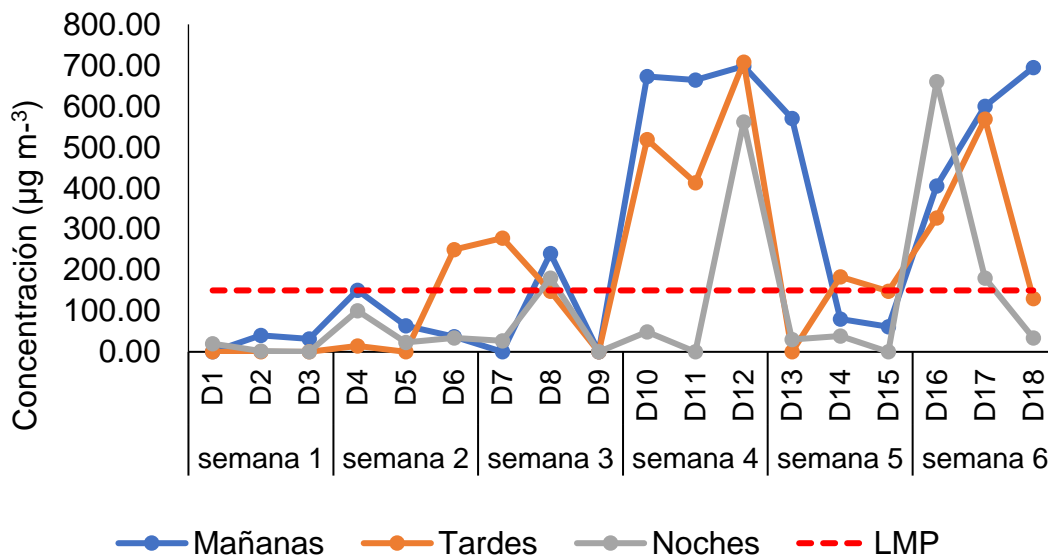


Figura 9. Concentraciones de PM₁₀ en el Punto 1

Enseguida observo que el punto número 2 superó el LMP en 4 ocasiones de los 54 muestreos, repartidos por la noche y en la mañana como se mencionó anteriormente esta zona se encuentra en una especie de sumidero donde con el rocío queda acumulado el MP.

Esta es la razón de encontrar concentración alta en noches y mañanas; por el contrario, por la tarde no se superó el LMP ninguna vez, ya que con el calor se dispersa y se eleva fácilmente el MP además que la zona no cuenta con pavimentación donde el viento juega un papel importante en la elevación de MP de la terracería (fig.10).

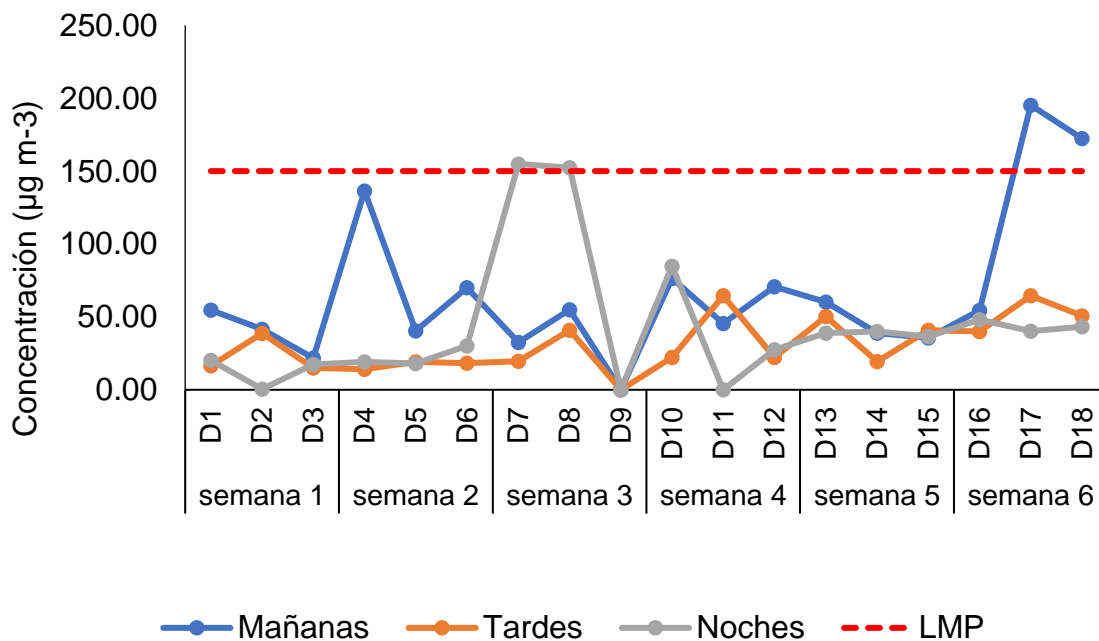


Figura 10. Concentraciones de PM₁₀ en el Punto 2

Posteriormente se muestra los resultados obtenidos del punto número 12, el cual supero el limite permisible en 3 ocasiones de los 54 muestreos, de las cuales dos fueron por la mañana en la semana 1, manteniendo un promedio de 25–30 µg m³ en este punto termina la zona centro de la ciudad y empieza una colonia colindante donde no se cuenta con pavimentación y precisamente es un punto con entrada y salida facilitando la generación de PM₁₀. Aunque generalmente observamos que por la noche se mantuvo en un promedio de 30-40 micras, mientras por la tarde se mantuvo en 100 µg m⁻³ esto nos indica que en tal punto la generación de partículas es considerado en un nivel bajo (fig. 11).

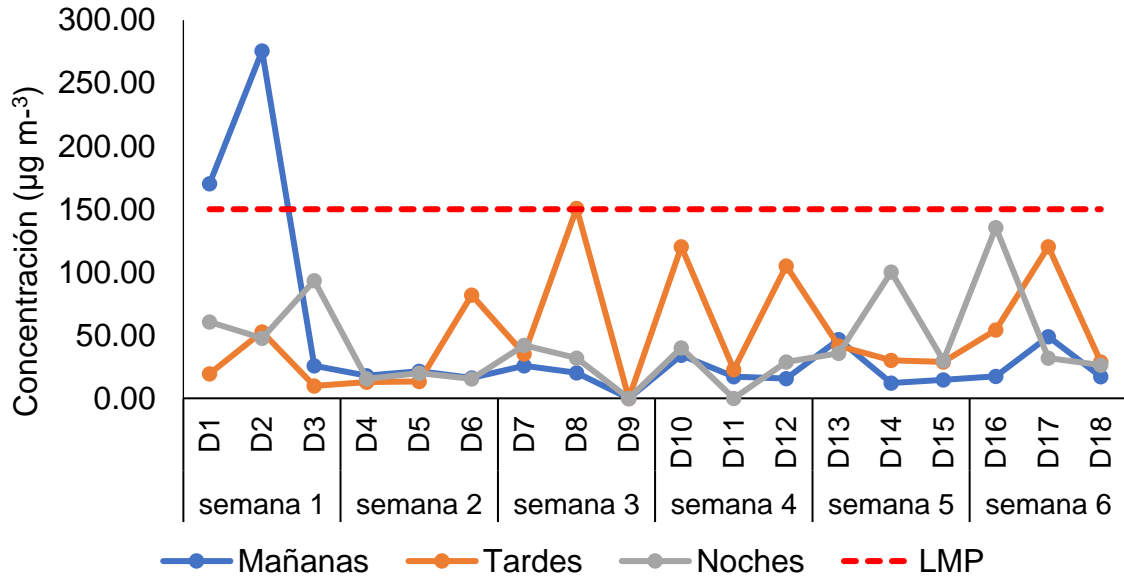


Figura 11. Concentraciones de PM₁₀ en el Punto 12

En cuanto a las PM₁₀ el límite que proporciona la NOM-025-SSA1-2014 es 150 (µg/m³) en este caso, solo nueve puntos presentamos parámetros iguales o mayores a este. De los cuales el punto 2 (Col. Irregular “Frente Cardenista”), fue el que más veces supero el límite con 4 ocasiones; el punto 12 (entrada Col. Villaraus) con 3 ocasiones el punto 13 (Col. La Gloria) con 2 ocasiones, mientras que los puntos 3 (ITSM), 4 (Sec. Técnica Industrial 62), 5 (Prim. Aquiles Serdán), 6 (Prim. Venustiano Carranza), 7 (Col. 5 de Mayo II), y 10 (Pirámide Nizin) solo en una ocasión superaron el límite permisible.

Los demás puntos tanto PM_{2.5} y PM₁₀ los cuales no se graficaron, porque no superaron el límite máximo permisible dictado en la legislación mencionada fueron los siguientes:

Tabla: 6 promedios de muestreo en puntos no graficados

Puntos	Mañanas		Tardes		Noches	
	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀
3	21.37	39.33	19.14	40.09	18.22	35.00
4	23.86	63.46	23.05	55.52	15.90	33.88
5	27.34	66.58	17.94	51.31	20.73	43.78
6	26.52	48.86	16.33	28.41	18.66	49.65
7	20.85	36.53	32.12	56.87	17.32	29.06
8	19.29	32.52	18.69	34.13	18.06	34.37
9	19.90	39.13	17.50	31.19	19.22	50.61
10	26.38	51.83	18.30	31.29	23.14	34.31
11	19.91	39.25	17.49	32.76	17.47	32.53
13	30.58	73.48	18.36	43.05	24.88	45.71
14	20.66	33.53	17.34	31.02	19.35	39.41
17	19.37	42.31	17.38	30.13	20.35	38.57
18	31.66	76.08	16.15	21.60	17.95	23.50
19	22.18	45.82	16.40	25.10	19.23	27.75
20	24.38	44.80	32.23	39.02	32.83	38.81

De los promedios generados podemos decir que fue en el muestreo de las mañanas los más altos sin embargo no alcanzan a superar el LMP, pero indican que ocurre una inversión térmica en el transcurso de las madrugadas y al momento de muestre este se ve reflejado.

4.2.1 Relación de concentraciones de PM₁₀ con respecto al tiempo

En el siguiente Blox pot, vemos como fue el comportamiento de PM₁₀ teniendo en las semanas 3,4 y 5 un alza en éstas, a diferencia de las demás, aunque podemos decir que no representa un riesgo ya que el LMP es de 150.00 (µg/m³)

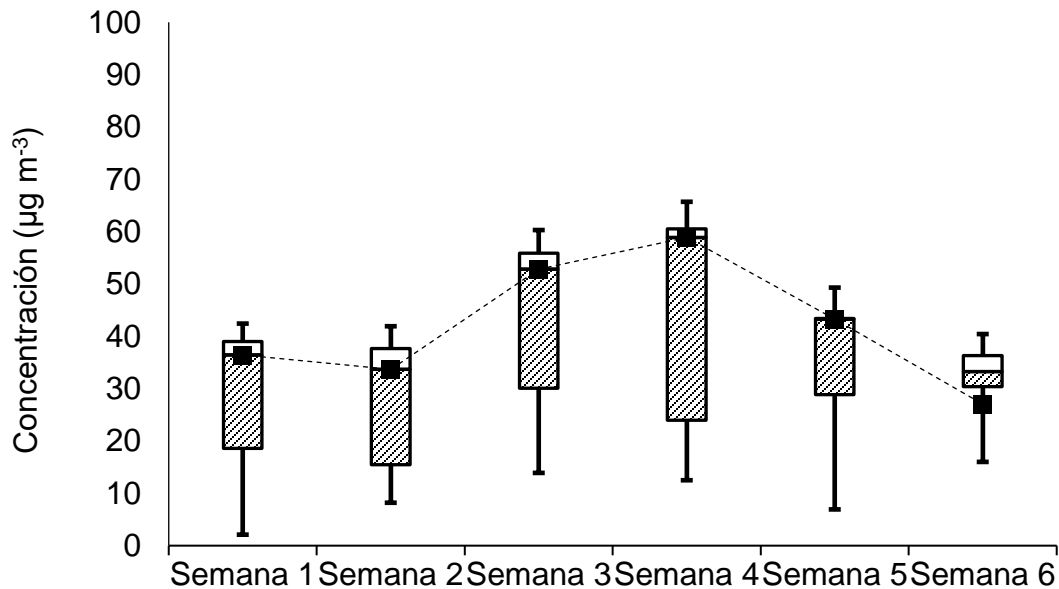


Figura 12. Concentraciones de PM₁₀

4.3 Parámetros atmosféricos

La estación meteorológica proporciona datos interesantes, que intervienen en la evaluación de la calidad del aire; velocidad del viento, humedad, presión absoluta y temperatura por mencionar algunos, cuyo fin es perfeccionar la investigación realizada, relacionado los datos obtenidos con las concentraciones de M.P., tomando los datos con un intervalo de 30 minutos (fig. 14,15, 16 y 17).

4.3.1 Dirección y velocidad del viento

Mediante el software de Google Earth®, acoplado a WrPloot View™ se obtuvieron las direcciones y velocidades del viento predominantes a lo largo de las semanas de muestreo, como lo podemos ver en la fig. 13.

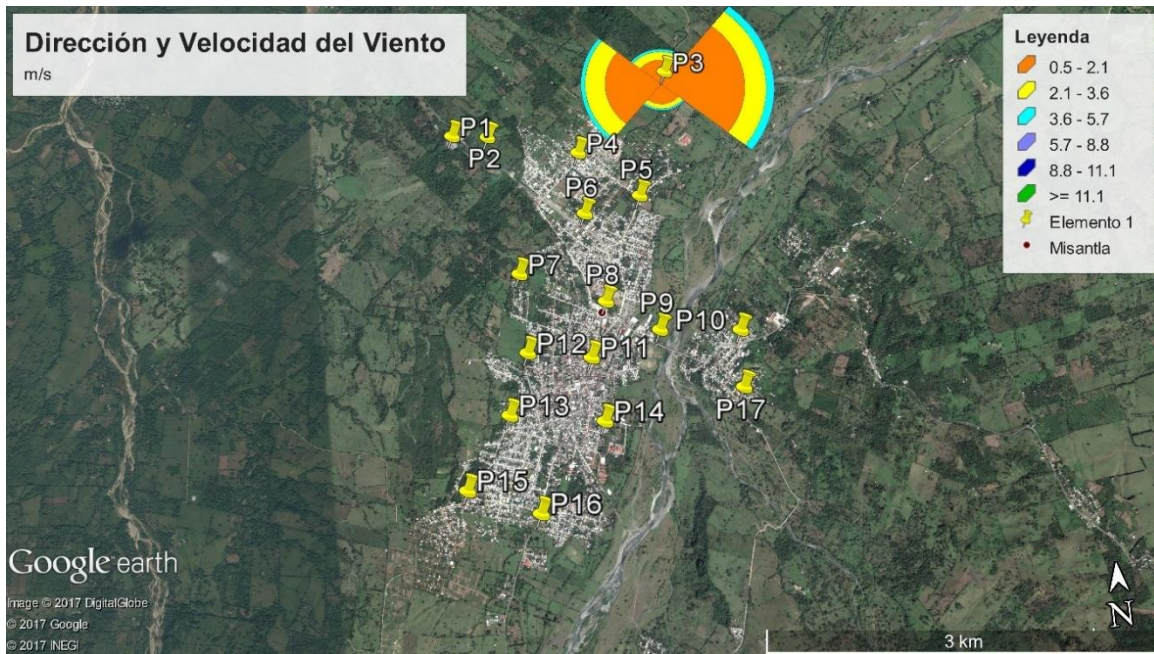


Figura 13. Dirección y Velocidad del viento durante el período del muestreo

En la anterior figura observamos cual es el comportamiento del viento en la zona de estudio, teniendo vientos predominantes hacia el oeste (W) con incidencia significativa al este (E), por medio de los cuales se dispersan las partículas, también observamos que la velocidad del viento no es considerada en la dispersión del MP. Ya que para hacerlo se necesita vientos mayores a los 10 m/s.

Se puede concluir que la zona centro y la mayoría de puntos no se ven afectados por el MP, ya que la dirección del viento no apunta hacia los puntos de estudio, caso contrario sería que los vientos provinieran del norte con una leve incidencia al este de ser así toda la ciudad se vería afectada sin importar el punto de

muestreo. Por otro lado, si el muestreo se hubiera realizado en la época de invierno los resultados, de la calidad del aire tendrían una tendencia hacer mala calidad.

En la figura 14. Se resume las distribuciones de las velocidades de viento observadas, teniendo en consideración que arriba de 44% se encuentra en condiciones de calma, mientras que cerca del 40% toman valores de 0.50-2.10 m s⁻¹, también hay un 3.5 % que toman valores de 3.0-5.70 aunque son vientos con mayor velocidad, su afectación a la distribución del MP es mínimo, ya que se necesitan vientos con mayor velocidad para dispersar contaminantes.

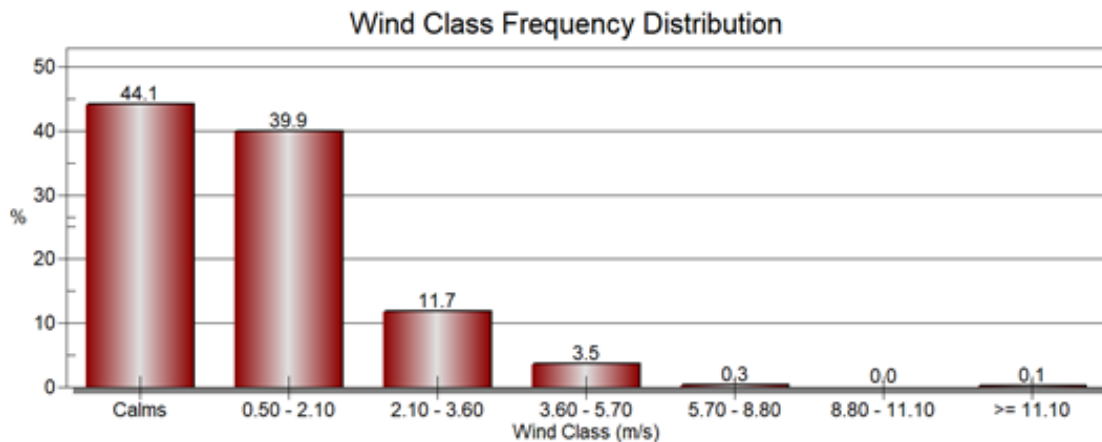


Figura 14. Distribución de las clases de viento

Podemos deducir que los resultados que arrojó la estación meteorológica indicaron que los vientos predominantes tuvieron dirección en su mayoría al oeste (W) con incidencia significativa al este (E) y al norte (N). Las velocidades observadas no favorecen a la dispersión de los contaminantes atmosféricos, ya que, para ser considerado como un factor de dispersión, por lo menos se debe de tener velocidad de 10 m/s

4.3.2 Blox pot de los datos obtenidos en la estación meteorológica

Los resultados arrojados para la presión absoluta en la Ciudad de Misantla se observan el siguiente Figura, con medianas relativamente parecidas entre los 738 y 740 (mmHg). Pero un dato importante es que en la semana 5 hay datos asimétricos en el primer cuartil, indicando que la mayoría de los datos se encuentran en esta parte abarcada.

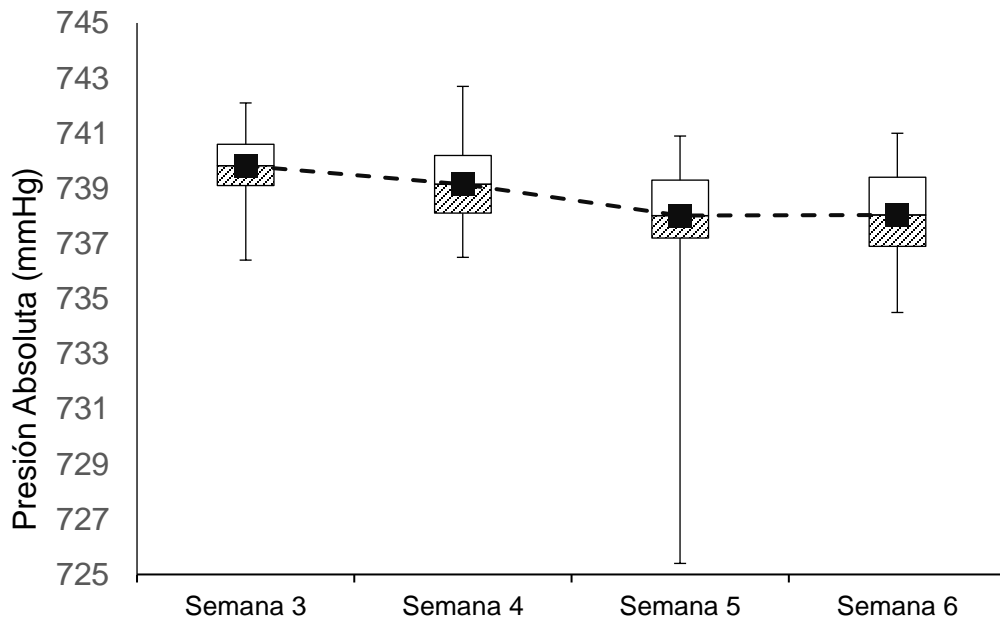


Figura 15. Comportamiento de la presión absoluta

Durante el periodo de muestreo la humedad en el aire de la Ciudad de Misantla se comportó de la siguiente manera, en las 4 semanas hubo valores asimétricos inferiores a 72 % con medianas entre un 80 y 82 %.

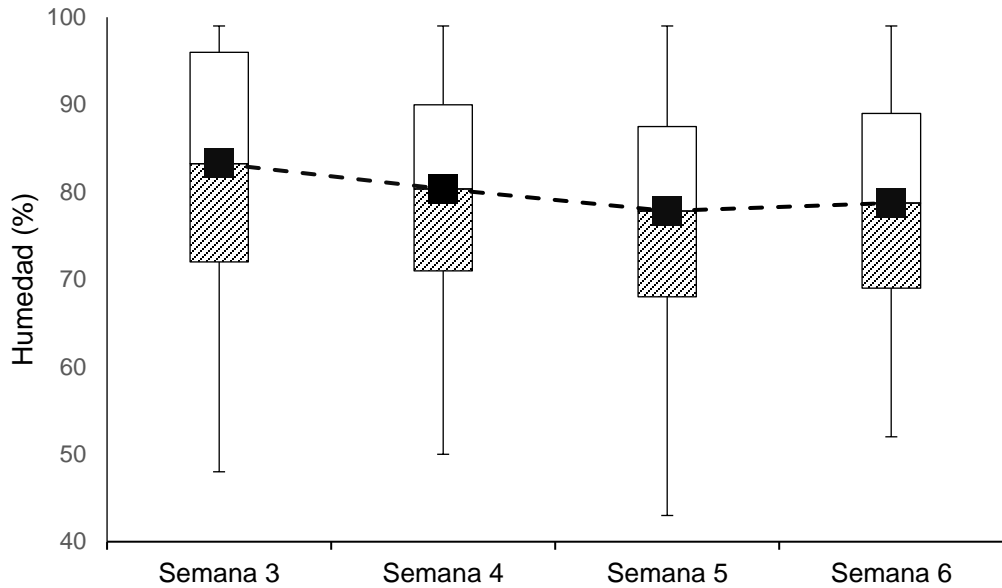


Figura 16. Comportamiento de la humedad

Entonces la temperatura se observa que en todas las semanas los cuartiles superiores fueron dominantes, indicando que en su mayoría hubo temperaturas superiores a los 28 °C teniendo como medias 25 y 26 °C. Esto a su vez facilito la dispersión del MP (Linares y Díaz, 2008; Canseco *et al*, 2011; Canales *et al*, 2014)

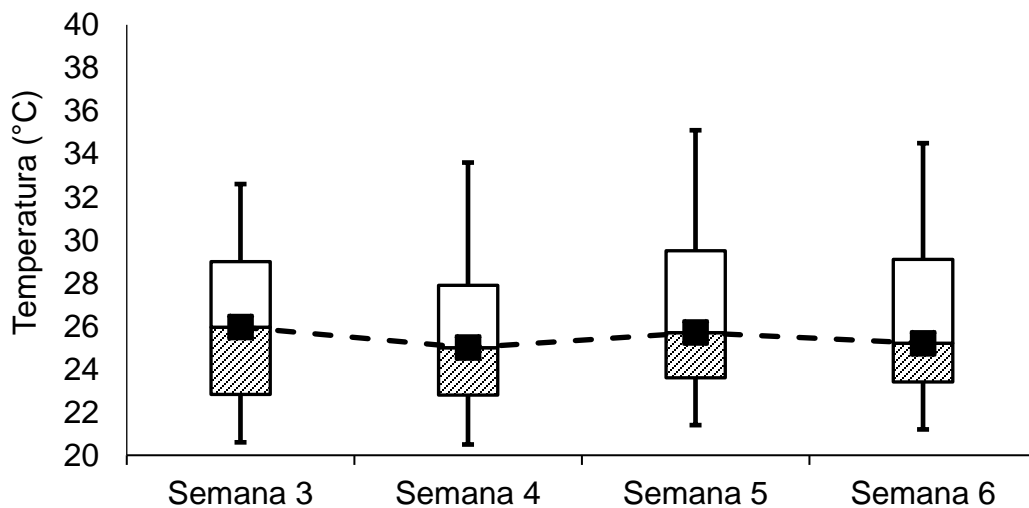


Figura 17. Comportamiento de la temperatura

CAPITULO V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten determinar que, la velocidad del viento no influyo en la dispersión del material particulado, ya que para hacerlo se necesitan vientos superiores a los 10 m/s, mientras que los vientos predominantes fueron hacia el Oeste con incidencia hacia al Este y Norte. Ocasionado la dispersión de las partículas lejos de la zona de estudio, caso contrario sería que los vientos provengan del Noroeste teniendo así mayor presencia de contaminantes en todos o casi todos los puntos de muestreo.

Aunado a esto la temperatura y la estación del año en que se realizó durante el estudio “primavera-verano”, las partículas suspendidas tendieron a elevarse por lo cual no se detectaban al nivel del muestreo. Ejemplo de esto fue el punto 15 (Col. Francisco Villa) el cual es considerado el punto con mayor altura, siendo este el segundo punto con mayor número de ocasiones en las que se superó el límite de la NOM, después del punto número dos, que es el más cercano a la fuente de emisión.

Los puntos con mayor concentración de MP son el # 2 (Col. Irregular “Frente Cardenista”), 15 (Col. Francisco Villa) y 16 (Col. Pedregal II); los cuales fueron los que presentaron mayor presencia de $PM_{2.5}$; lo cual pudiera dar paso a enfermedades de tipo respiratorios siendo los niños y adultos mayores los más vulnerables.

Con los promedios obtenidos vemos valores altos en la mañana sin embargo no superan el LMP, pero indican que ocurre el fenómeno de inversión térmica en el trascurso de las madrugadas y al momento de muestre este se ve reflejado.

En general, con las condiciones antes mencionadas, se considera que la calidad del aire en la Ciudad de Misantla se considera de Regular – Buena, con respecto a el PM_{10} y $PM_{2.5}$.

CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Alberto, F. C. J., y Escalante, S. R. I. (2009). Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud en la zona metropolitana del valle de México. *Economía Informa*, 360, 22–39.
- Aldunate, P., Paz, O., y Halvorsen, K. (2006). Los efectos de la contaminación atmosférica por PM10 sobre la salud ciudad de La Paz – Bolivia (3650 m.s.n.m.). *Acta Nova*, 3(Junio).
- Angulo, L. C., Huertas, J. I., y Restrepo, G. M. (2011). Caracterización de partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10) producidas en Áreas de explotación carbonífera a cielo abierto. *Informacion Tecnologica*, 22(4), 23–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000400004>
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 159–175.
- Barrera, L. V. A. (2005). *Caracterización elemental de pm 15 y pm 2.5 para la identificación de fuentes contaminantes en la ZMCM*.
- Bernache, P. gerardo. (2012). Riesgo de Contaminación por Disposición Final de Residuos. Un Estudio de la Región Centro Occidente de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28, 97–105.
- Boldo, P. I. E. (2012). *Efecto de la exposición a PM2,5 sobre la mortalidad evaluación del impacto de las políticas públicas en la salud*. Universidad Autonoma de Madrid.
- Canales, R. M. Á., Quintero, N. M., Castro, R. T. G., y García, C. R. (2014). Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México. *Información Tecnológica*, 25(6), 13–22. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600003>
- Canseco, L. A. L., Sosa, G. O., Gómez, vargas R., y Campos, T. A. (2011). Partículas Atmosféricas PM2.5 y su Asociación con Enfermedades Respiratorias en la Cd. de Chihuahua, Mexico. chihuahua.
- Celis, H. J., y Morales, P. J. (2007). Estudio de la contaminación del aire urbano en una ciudad intermedia: El caso de Chillán (Chile). *Atenea (Concepción)*, 495(1), 165–182. <https://doi.org/10.4067/S0718-04622007000100010>
- Celis, J. E., Morales, J. R., Zaror, C. A., y Carvacho, O. F. (2007). Contaminación del aire atmosférico por material particulado en una ciudad intermedia: El caso de Chillán (Chile). *Informacion Tecnologica*, 18(3), 49–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642007000300007>
- Contreras, M. J. (2008). Evaluación de experiencias locales urbanas desde el concepto de sostenibilidad: el caso de los desechos sólidos del municipio de Los Patios (Norte de Santander, Colombia). *Trabajo Social N.º 10*, 10, 123–4986. <https://doi.org/10.1136/thx.2008.106609>
- Cruz, C. M. E., Gómez, Á. A., Ramírez, L. R., Villalva, V. A. G., Monge, A. O., Varela, S. J., ... Duarte, T. F. (2017). Calidad del aire respecto de metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) y relación con salud respiratoria: Caso Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 23–34. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp02.02>
- Evaluación De La Contaminación Del Aire Por Microorganismos Oportunistas Y Su

- Relación Con Material Particulado (Pm2. (2006).
- Flores, R. R. M. (2006). *Determinación de metals en material particulado menor a 10 µm (PM10) suspendido en el aire de Tampico durante el 2004*. Instituto Politécnico Nacional.
- Foster, A., Gutiérrez, E., y Kumar, N. (2016). Cumplimiento voluntario , niveles de contaminación y mortalidad infantil en México. *Gaceta de Economía*, 1.
- Franco, A. G. (2015). *Análisis de la correlación entre las emisiones de PM10 Y PM2,5 generadas por fuentes fija, móviles y fugitivas y el ausentismo escolar de la población infantil en los jardines de la SDIS debido a enfermedades respiratorias dentro de la Localidad de Kenne*. Universidad de Santo Tomás. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381373-2.10010-9>
- García R, F. F., Agudelo G, R. A., & Jiménez J, K. M. (2006). Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 24(2), 73–82. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43678-3> ISBN
- Garibay, B. V., López, V. T., Manzanares, P. L., Echániz, P. G., López, V. T., & Pérez, R. I. K. (2011). Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM2.5.
- Gobierno Municipal de misantla. (2014). Plan municipal de Misantla H. Ayuntamiento de Misantla, Ver. 2014-2017. Misantla.
- González, C. J. A. (2014). *Determinación y cuantificación de PAHS en partículas PM2.5 en el área Metropolitana de Monterrey y su relación con el 1-Hidroxipireno como marcador biológico de exposición*. Universidad Autonoma de Nuevo León.
- González, S. O. (2009). *Determinación del contenido de PAH´s en partículas PM2.5 en una zona de alto tráfico vehicular y otra con potencial exposición industrial del Área Metropolitana de Monterrey*. Universidad Atonoma de Nuevo León.
- Hernández, C. L., Téllez, R. M. ma., Sanin, A. L. H., Lascasaña, N. M., Campos, M. A., y Romieu, I. (2000). Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez , Chihuahua. *Salud Pública de México*, 42(4), 288–297.
- Herrera, J. M., Rodríguez, S. R., y Dina, L. (2009). partículas pm10 y dióxido de nitrógeno en la Ciudad de Heredia , Costa Rica : año 2005-2006. *Tecnología En Marcha*, 22, 18–27.
- Hidalgo, G. J. E. (2015). *Estimación y prospectiva de emisiones de partículas [PM10, PM2.5, carbono negro] y gases de efecto invernadero, originadas en la combustión doméstica*. Instituto Politecnico Nacional.
- INECC, y SEMARNAT. (2016). *Estimación de la flota vehicular en circulación a nivel municipal en México para la modelación de estimación de emisiones de gases efecto invernadero y medidas de mitigación*.
- Inza, A. A., Sánchez, Lorda Maria E Menéndez, Martínez Marina, Ortega, C. L. Á., y Gil, I. J. I. (2006). *Estudio De Los Niveles De Pm10 Y Pm2.5 En Un Área Urbana Con Influencia Industrial Siderometalúrgica (Beasain, Guipúzcoa)*. Vasco.
- Linares, C., y Díaz, J. (2008). Las PM 2,5 y su afección a la salud. *El Ecologista*, 58, 46–49.

- Martínez, A. M. A., Páramo, F., Gavilán, G. A., Ortíz, Á. J. A., Magaña, R. M., Blanco, J. S., ... Ramírez, L. E. (2014). Evaluación de PM 2.5 , Compuestos Orgánicos Volátiles y Ozono para definir medidas de control en el área metropolitana de Monterrey, 19.
- Montoya, R. M., Zapata, S. P., y Correa, O. M. (2013). Contaminación ambiental por PM10 dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Nare, Colombia. *Rev. Salud ...*, 15(1), 103–115.
- O’Ryan, R., y Larraguibel, L. (2000). Contaminación del aire en Santiago : ¿qué es, qué se ha hecho, qué falta? *Perspectivas*, 4(1), 153–191. Retrieved from <http://www.dii.uchile.cl/~revista/>
- Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.
- Orona, M. A. F. (2014). *Determinación de Metales Pesados Prsentes en el Polvo Atmosferico del Aire Ambiente Depositado en el Follaje del Ligustrum lucidum (Trueno) en la Ciudad de Durango*. Alejandro Fabian Orona Meza CIIDIR IPN Unidad Durango Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental Instituto politécnico nacional Centro.
- Ortiz, D. E. Y., y Rojas, R. N. Y. (2013). Estimación de los beneficios económicos en salud asociados a la reducción de PM 10 en Bogotá. *Revista de Salud Pública*, 15(1), 90–102.
- Oyarzún, G. M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud, 16–25.
- Parra, Q. A., Quijano, V. M. J., & Henao, M. J. A. (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado-fracción respirable PM2.5 en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Revista Bistua*, 8(1), 53–66.
- Penna, M. L., y Duchiate, M. (1991). Contaminación del aire y mortalidad infantil por neumonía. *Bol of Sanit Panam*, 110(3), 199–207.
- Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. *Revista Espanola de Salud Publica*, 82(5), 447–453. <https://doi.org/10.1590/S1135-57272008000500001>
- Quijano, P. A., Quijano, V. j, y Henao, M. J. A. (2010). C. *BISTUA Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 8 (May 2015).
- Ramírez, R. M., Rojas, R. I., y García, C. R. (2009). Influencia de los contaminantes atmosféricos en las infecciones respiratorias agudas en mexicali-baja california, méxico. *Informacion Tecnologica*, 20(3), 89–100. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4060it.08>
- Riojas, H., y Zúñiga, P. E. (2017). Efectos en la salud por la contaminación atmosférica en México. In *Dia interamericano de la calidad del aire*. México: Instituto Nacional de Salud Pública Centro Colaborador OPS/OMS 11.
- Rojano, R. E., Angulo, L. C., y Restrepo, G. (2013). Niveles de partículas suspendidas totales (PST), PM10 y PM2.5 y su relación en lugares públicos de la ciudad riohacha, caribe colombiano. *Informacion Tecnologica*, 24(2), 37–46. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200006>

- Rojas, B. L., y Garibay, B. V. (2003). Las partículas suspendidas , aeropartículas o aerosoles : ¿ hacen daño a la salud ?; ¿ podemos hacer algo ? *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*.
- Rojas, N. (2007). Aire y problemas ambientales de Bogotá. In *Foro Nacional Ambiental*. Bogotá Colombia.
- Rosales-Castillo, J. A., Torres-Meza, V. M., Olaiz-Fernández, G., y Borja-Aburto, V. H. (2001). Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: Evidencias de estudios epidemiológicos. *Salud Publica de Mexico*, 43(6), 544–555. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342001000600005>
- Salmon, S. A. V. (2016). *Efecto a corto plazo del material particulado (PM2.5 y PM10) sobre la mortalidad diaria en España Estudios*. universidad de Alcalá.
- Sánchez, M. H. E. (2015). *Comportamiento espacial de las partículas suspendidas pm10 y estrategias de gestión ambiental del aire en la zona Metropolitana de Toluca, México*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- SEMARNAT. (2013). *Calidad del aire: una práctica de vida. cuadernos de divulgación ambiental*.
- Sierra, V. M. P. (2009). *Efecto in vitro de las PM2.5 contaminantes del aire de la Zona Metropolitana Valle de México, sobre la generación de especies reactivas del oxígeno por leucocitos polimorfonucleares humanos*. Instituto Politecnico Nacional.
- Vallejo, M., Jáuregui-Renaud, K., Hermosillo, A. G., Márquez, M. F., y Cárdenas, M. (2003). Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la ciudad de México. *Gaceta Medica de Mexico*, 139(1), 57–63. <https://doi.org/10.1115/DETC2009-87713>
- Villatoro, M., Henríquez, C., y Sancho, F. (2008). Comparación de los interpoladores idw y kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo. *Agronomia Costarricense, San José, CR*, 32(1), 95–105. <https://doi.org/10.1177/1094428108327450>
- Wang, J., Hu, Z., Chen, Y., Chen, Z., & Xu, S. (2013). Contamination characteristics and possible sources of PM10 and PM2.5 in different functional areas of Shanghai, China. *Atmospheric Environment*, 68(3663), 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.070>
- Zaragoza, H. Y. A. (2014). *Estimación e Impacto De Contaminantes Atmosféricos En Áreas Verdes Urbanas Del Distrito Federal*. Colegio de Posgraduados.
- Zheng, X., Xu, X., Yekeen, T. A., Zhang, Y., Chen, A., Kim, S. S., ... Huo, X. (2016). Ambient air heavy metals in PM2.5 and potential human health risk assessment in an informal electronic-waste recycling site of China. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(2), 388–397. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2014.11.0292>

ANEXOS

Anexo 1

Puntos de muestreos, identificación y ubicación

Punto	Lugar	Coordenadas UTM	
P1	Tiradero a Cielo Abierto	723753.06 m E	2207172.92 m N
P2	Col. "Frente Cardenista"	723888.13 m E	2207306.88 m N
P3	ITSM	725645.52 m E	2207553.33 m N
P4	Esc. Sec. Técnica Industrial 62	724828.90 m E	2206884.28 m N
P5	Primaria Aquiles Serdán	725333.55 m E	2206500.08 m N
P6	Primaria Venustiano Carranza	724804.78 m E	2206291.22 m N
P7	Colonia 5 de Mayo II	724316.43 m E	2205786.35 m N
P8	Centro de Salud	724928.07 m E	2205498.87 m N
P9	Puente Palchan	725453.65 m E	2205141.70 m N
P10	Pirámide Nizin	725973.39 m E	2205172.67 m N
P11	Parque Morelos	724727.44 m E	2205059.20 m N
P12	Col. Manuel Villaraus Lima	724232.16 m E	2205136.24 m N
P13	Col. La Gloria	724022.30 m E	2204647.24 m N
P14	Pozo de Nacaquinia	724780.98 m E	2204535.11 m N
P15	Col. Francisco Villa	723688.06 m E	2204143.14 m N
P16	Col. Pedregal II	724197.31 m E	2203857.40 m N
P17	Col. Puerto Palchan	725875.85 m E	2204749.69 m N
P18	Loc. Santa Cruz	721796.64 m E	2209065.37 m N
P19	Hotel Campestre Casa Blanca	723887.44 m E	2203082.91 m N
P20	Loc. Km 3	727066.47 m E	2204869.30 m N

Anexo 2.

Promedios de PM_{2.5} por cada punto, en tres diferentes etapas del día, además, de la R²

Promedios, R² y ecuación de las concentraciones del PM_{2.5}

PM _{2.5}				
Punto	Muestreo	Promedio	R ²	Ecuación
1	Mañana	685.78	R ² = 0.0788	y = 21.775x + 440.81
	Tarde	711.55	R ² = 0.2883	y = -30.562x + 962.35
	Noche	468.49	R ² = 0.0004	y = 1.2836x + 404.24
2	Mañana	47.32	R ² = 0.0973	y = 2.4021x + 21.869
	Tarde	22.48	R ² = 0.2787	y = 1.2346x + 9.4993
	Noche	16.93	R ² = 0.1107	y = 0.625x + 8.1739
3	Mañana	47.32	R ² = 0.0004	y = 0.0423x + 20.534
	Tarde	22.48	R ² = 0.0407	y = 0.4058x + 14.501
	Noche	16.93	R ² = 0.079	y = 0.6095x + 10.743
4	Mañana	23.84	R ² = 0.0435	y = -0.6093x + 28.299
	Tarde	23.00	R ² = 0.0052	y = 0.2215x + 19.618
	Noche	15.65	R ² = 0.1228	y = 0.5626x + 7.6993
5	Mañana	27.34	R ² = 0.0471	y = 0.6024x + 21.616
	Tarde	17.92	R ² = 0.2361	y = 0.9256x + 8.1346
	Noche	20.95	R ² = 0.0096	y = 0.1893x + 16.824
6	Mañana	27.04	R ² = 0.0172	y = -0.2881x + 28.271
	Tarde	16.53	R ² = 0.0123	y = 0.186x + 13.844
	Noche	18.49	R ² = 0.1924	y = 0.8061x + 8.781
7	Mañana	20.04	R ² = 0.0104	y = -0.1696x + 20.539
	Tarde	35.29	R ² = 0.0925	y = 3.6753x - 1.5824
	Noche	17.21	R ² = 0.1282	y = 0.6297x + 9.3176
8	Mañana	19.32	R ² = 0.0617	y = -0.3538x + 21.605
	Tarde	18.97	R ² = 0.0806	y = 0.5566x + 12.629
	Noche	17.70	R ² = 0.0687	y = 0.4828x + 11.147
9	Mañana	20.21	R ² = 0.0208	y = -0.217x + 21.145
	Tarde	17.57	R ² = 0.0952	y = 0.4928x + 11.913
	Noche	19.13	R ² = 0.098	y = 0.5519x + 11.757
10	Mañana	27.11	R ² = 0.1397	y = -2.2287x + 46.773
	Tarde	18.36	R ² = 0.1334	y = 0.8814x + 8.9654
	Noche	23.48	R ² = 0.0314	y = -0.4026x + 24.697

11	Mañana	20.09	$R^2 = 0.0682$	$y = -0.4411x + 23.168$
	Tarde	18.88	$R^2 = 0.0372$	$y = 0.4286x + 13.756$
	Noche	17.69	$R^2 = 0.0398$	$y = 0.2847x + 13.023$
12	Mañana	19.86	$R^2 = 0.076$	$y = -0.4634x + 23.158$
	Tarde	18.04	$R^2 = 0.0073$	$y = 0.1687x + 15.436$
	Noche	20.33	$R^2 = 0.0538$	$y = -0.4832x + 22.657$
13	Mañana	77.90	$R^2 = 0.0849$	$y = 12.627x - 46.386$
	Tarde	18.58	$R^2 = 0.0741$	$y = 0.5x + 12.802$
	Noche	24.83	$R^2 = 0.0726$	$y = 1.0348x + 12.242$
14	Mañana	20.92	$R^2 = 0.0175$	$y = -0.2194x + 21.84$
	Tarde	18.52	$R^2 = 0.2601$	$y = 0.9527x + 8.4379$
	Noche	19.33	$R^2 = 0.0154$	$y = 0.2378x + 14.919$
15	Mañana	28.12	$R^2 = 0.0505$	$y = 0.7831x + 19.116$
	Tarde	22.49	$R^2 = 0.3001$	$y = 1.2452x + 9.415$
	Noche	26.35	$R^2 = 0.0186$	$y = 0.3742x + 19.867$
16	Mañana	22.22	$R^2 = 0.0224$	$y = -0.244x + 23.307$
	Tarde	23.88	$R^2 = 0.0335$	$y = 0.4794x + 17.996$
	Noche	21.93	$R^2 = 0.0049$	$y = 0.1525x + 18.04$
17	Mañana	19.66	$R^2 = 0.0092$	$y = -0.1286x + 19.788$
	Tarde	19.04	$R^2 = 0.4262$	$y = 1.3636x + 3.9739$
	Noche	19.96	$R^2 = 0.1612$	$y = 0.7976x + 7.9503$
18	Mañana	41.66	$R^2 = 0.0644$	$y = -3.8371x + 48.147$
	Tarde	17.18	$R^2 = 0.1956$	$y = 1.9971x + 7.3267$
	Noche	17.95	$R^2 = 0.0651$	$y = -1.9943x + 18.947$
19	Mañana	22.18	$R^2 = 0.0065$	$y = 0.5114x + 16.693$
	Tarde	16.16	$R^2 = 0.0279$	$y = 0.6057x + 11.347$
	Noche	19.23	$R^2 = 0.1216$	$y = -3.06x + 23.527$
20	Mañana	24.38	$R^2 = 0.096$	$y = 1.9686x + 13.427$
	Tarde	28.38	$R^2 = 0.3306$	$y = -9.7743x + 57.86$
	Noche	32.83	$R^2 = 0.2306$	$y = -8.8371x + 52.813$

Anexo 3.

Promedios de PM₁₀ por cada punto, en tres diferentes etapas del día, además, de la R².

PM ₁₀				
Punto	Turno	Promedio	R ²	Ecuación
1	Mañana	334.03	R ² = 0.4062	y = 34.464x – 49.056
	Tarde	307.31	R ² = 0.2385	y = 20.463x + 10.471
	Noche	138.62	R ² = 0.1326	y = 13.089x – 16.525
2	Mañana	81.62	R ² = 0.1583	y = 4.312x + 36.12
	Tarde	32.75	R ² = 0.3019	y = 1.8977x + 12.899
	Noche	32.24	R ² = 0.1911	y = 1.691x + 12.591
3	Mañana	40.59	R ² = 0.0352	y = -0.7757x + 45.706
	Tarde	40.44	R ² = 0.002	y = -0.2779x + 40.835
	Noche	33.78	R ² = 0.1342	y = 1.2544x + 18.111
4	Mañana	62.45	R ² = 0.002	y = -0.4313x + 63.08
	Tarde	53.39	R ² = 0.0857	y = 2.1421x + 30.078
	Noche	33.58	R ² = 0.2022	y = 1.561x + 15.015
5	Mañana	66.58	R ² = 0.066	y = 2.1433x + 46.222
	Tarde	50.46	R ² = 0.1585	y = 3.0541x + 18.642
	Noche	43.52	R ² = 0.1188	y = 1.7336x + 22.214
6	Mañana	49.78	R ² = 0.0603	y = -1.2028x + 58.443
	Tarde	28.73	R ² = 0.2058	y = 1.3587x + 14.225
	Noche	44.04	R ² = 0.0198	y = 1.4442x + 25.425
7	Mañana	35.21	R ² = 0.001	y = 0.1198x + 32.112
	Tarde	58.14	R ² = 0.1102	y = 7.2287x – 13.761
	Noche	27.66	R ² = 0.0765	y = 0.8147x + 16.85
8	Mañana	32.50	R ² = 0.0556	y = -0.6556x + 36.923
	Tarde	34.25	R ² = 0.3116	y = 2.0523x + 12.853
	Noche	32.95	R ² = 0.1664	y = 1.4995x + 15.044
9	Mañana	38.56	R ² = 0.0413	y = -0.5742x + 41.877
	Tarde	30.50	R ² = 0.2379	y = 1.4761x + 14.783
	Noche	51.23	R ² = 0.0562	y = 1.3954x + 29.439
10	Mañana	53.52	R ² = 0.0888	y = -4.0899x + 89.404
	Tarde	30.44	R ² = 0.3506	y = 1.9137x + 10.564
	Noche	34.09	R ² = 2E-05	y = 0.0126x + 30.18
11	Mañana	38.90	R ² = 0.0136	y = -0.5349x + 41.82
	Tarde	31.20	R ² = 0.2746	y = 1.7917x + 12.445
	Noche	31.31	R ² = 0.1228	y = 1.1042x + 17.343
12	Mañana	46.90	R ² = 0.2369	y = -6.2408x + 103.58
	Tarde	54.62	R ² = 0.0535	y = 1.9423x + 33.131
	Noche	47.84	R ² = 0.013	y = 0.7912x + 35.011

13	Mañana	74.96	$R^2 = 0.0507$	$y = 25.336x + 23.471$
	Tarde	42.99	$R^2 = 0.1651$	$y = -8.0964x + 92.971$
	Noche	44.04	$R^2 = 0.0015$	$y = -0.3786x + 48.543$
14	Mañana	33.66	$R^2 = 0.0323$	$y = 0.5272x + 26.786$
	Tarde	30.09	$R^2 = 0.3127$	$y = 1.8183x + 11.143$
	Noche	39.28	$R^2 = 0.0098$	$y = 0.4778x + 30.372$
15	Mañana	49.99	$R^2 = 0.0005$	$y = 0.1379x + 45.901$
	Tarde	47.84	$R^2 = 0.1012$	$y = 2.0119x + 26.071$
	Noche	45.98	$R^2 = 0.0361$	$y = 0.8529x + 32.769$
16	Mañana	43.50	$R^2 = 0.042$	$y = -1.0534x + 51.09$
	Tarde	40.31	$R^2 = 0.0904$	$y = 1.2577x + 26.12$
	Noche	52.83	$R^2 = 7E-05$	$y = 0.0447x + 46.537$
17	Mañana	39.85	$R^2 = 0.0079$	$y = -0.384x + 41.287$
	Tarde	28.31	$R^2 = 0.2398$	$y = 1.2381x + 14.977$
	Noche	37.53	$R^2 = 0.1015$	$y = 1.1477x + 22.458$
18	Mañana	76.08	$R^2 = 0.0447$	$y = -4.9714x + 80.8$
	Tarde	24.06	$R^2 = 0.2725$	$y = 3.2314x + 8.74$
	Noche	23.50	$R^2 = 0.007$	$y = -0.7714x + 18.367$
19	Mañana	45.82	$R^2 = 0.4857$	$y = 9.1629x + 6.1133$
	Tarde	29.42	$R^2 = 0.4286$	$y = 5.5114x + 5.2267$
	Noche	27.75	$R^2 = 0.0024$	$y = 0.52x + 16.68$
20	Mañana	44.80	$R^2 = 0.4291$	$y = 9.7714x - 4.3333$
	Tarde	41.36	$R^2 = 0.176$	$y = -6.8857x + 58.567$
	Noche	38.81	$R^2 = 0.1483$	$y = -7.2671x + 51.307$