



SEP

SES

TecNM

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

“Determinación Espacial de las Posibles Fuentes de Riesgo a la Salud, de la Población de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca”

**OPCIÓN III:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA INDUSTRIAL**

**PRESENTA:
ANGÉLICA FLORES ORTÍZ**

**No. CONTROL:
97281101**

**ASESORA INTERNA:
M. en C. Laura Marmolejo García**

**ASESORES EXTERNOS:
Dr. Raúl Venancio Díaz Godoy
Dr. Vicente Vallejo Puerta**

METEPEC, ESTADO DE MÉXICO, AGOSTO DE 2020.



"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la

Metepec, Edo. De México, 12/agosto/2020

INGENIERÍA INDUSTRIAL

I.I.350.422.2020

ING. MIGUEL ÁNGEL TERRAZAS MAGAÑA
JEFE DE LA DIV. DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E.

Por este medio le informo a usted, que la Comisión Revisora designada para analizar el trabajo profesional denominado: **"DETERMINACIÓN ESPACIAL DE LAS POSIBLES FUENTES DE RIESGO A LA SALUD DE LA POBLACIÓN DE LA ZONA METROPOLITANA DE VALLE DE TOLUCA"**, que presentó la alumna: **ANGÉLICA FLORES ORTÍZ** de la carrera de ingeniería industrial, con número de control **97281101**, en la Opción **III: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, para sustentar el Acto Recepcional Profesional, ha dictaminado que dicho trabajo reúne las características de contenido necesarios para proceder a la impresión del mismo.

Sin otro particular por el momento, quedamos de usted.

A T E N T A M E N T E

ING. CARMEN MARGARITA MONTIEL LEYVA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



M. En C. Laura Marmolejo García

M. EN C. LAURA MARMOLEJO GARCÍA
ASESORA

Dr. Vicente Vallejo Puerta

DR. VICENTE VALLEJO PUERTA
REVISOR

Dr. Raúl Venancio Díaz Godoy

DR. RAÚL VENANCIO DÍAZ GODOY
COASESOR

Dr. José Luis García Rivas

DR. JOSÉ LUIS GARCÍA RIVAS
REVISOR

CMML*aar





Instituto Tecnológico de Toluca

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Metepec, Edo. de México, 11/agosto/2020

División de Estudios Profesionales

Asunto: Autorización de Impresión de Trabajo Profesional

C. ÁNGELICA FLORES ORTIZ
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

De acuerdo con el Reglamento de Titulación del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica, dependiente de la Subsecretaría de Educación Superior de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora realizó, con respecto a su trabajo profesional en la **OPCIÓN III: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, con el tema denominado: "**DETERMINACIÓN ESPACIAL DE LAS POSIBLES FUENTES DE RIESGO A LA SALUD, DE LA POBLACIÓN DE LA ZONA METROPOLITANA DE VALLE DE TOLUCA**". La División de Estudios Profesionales concede su autorización para que proceda la impresión del mismo.

A T E N T A M E N T E

"Educación, integridad y ciencia"

ING. MIGUEL ÁNGEL TERRAZAS MAGAÑA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



MATM/lmg

c.c.p. Archivo.



DEDICATORIAS

A MIS HIJOS:
JONATHAN
FRANCISCO JAVIER
JUAN MANUEL

*POR SU AMOR
INCONDICIONAL*

A MIS PADRES:
SOLEDAD ALICIA
ROBERTO

*POR SU EJEMPLO
DE
SUPERACIÓN
Y
AMORAL
TRABAJO*

A MIS HERMANOS:
GERARDO
JUAN MANUEL

*POR SU CARINO
HACIA MI*

CON TODO MI AMOR...∞ⁿ

AGRADECIMIENTOS

A MI ASESOR DE INVESTIGACIÓN:

DR. RAÚL VENANCIO DÍAZ GODOY

A MIS ASESORES INSTITUCIONALES:

MTRA. LAURA MARMOLEJO GARCÍA

DR. VICENTE VALLEJO PUERTA

A:

SEP-CONACYT

PROYECTO APOYADO POR EL FONDO SECTORIAL DE INVESTIGACIÓN
PARA LA EDUCACIÓN", CB- 2015-01-256751.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD XOCHIMILCO

DRA. MARÍA JUDITH CASTELLANOS MOQUEL Y DRA. MARÍA TERESA NÚÑES
CARDONA

*RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DEL VALLE DE TOLUCA, DE LA
SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO*

TÉCNICOS ESPECIALIZADOS RODRIGO CASTAÑEDA SANDOVAL Y JOSÉ LUIS
RICO CONTRERAS

DEPARTAMENTO DE ACELERADORES

M.EN.C. JOSÉ LÓPEZ MONROY

TÉCNICO ESPECIALIZADO PEDRO GUSTAVO VILLASEÑOR SÁNCHEZ

DR. JAIME MORENO ALCÁNTARA

"GRACIAS POR EL APOYO CONSTANTE E INCONDICIONAL QUE HIZO POSIBLE
ESTA INVESTIGACIÓN"

Resumen

El objetivo es determinar las posibles fuentes de riesgo a la salud, por inhalación de bacterias, hongos, Composición Química Elemental (CQE) e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) obtenidos de las muestras $PM_{2.5}$ en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. El muestreo se realizó (26/11/16-14/03/18) en San Mateo Atenco, Ceboruco, Nueva Oxtotitlán, San Lorenzo Tepaltitlán, Zinacantepec y San Cristóbal Huichochitlán, utilizando equipos TC-TECORA y BGI; la frecuencia fue de seis días durante 24 horas cada muestra, a las cuales se les realizó análisis gravimétrico, morfológico y se determinó su CQE, bacterias, hongos y HAP's. Los valores máximos por gravimetría ($\mu g/m^3$) fueron: San Cristóbal-1070, San Lorenzo Tepaltitlán-583, Nueva Oxtotitlán-425, Ceboruco-178, Zinacantepec-109 y San Mateo Atenco-69; que rebasan el máximo permisible de $45 \mu g/m^3$ de acuerdo con la NOM-025-SSA1-2014. El análisis morfológico determinó tamaño y tipo de partícula de las muestras utilizando un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB); se observó material orgánico e inorgánico con medidas menores a $10 \mu m$, como bacterias, hifas y hollín. La CQE se determinó con la técnica atómica Emisión de Rayos-X Inducidos por Protones (PIXE): K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Si, P, S, Cl, Cr, Co, Y, Ni, Cu, Zn y Pb; con ésta se obtuvo la componente natural y antropogénica utilizando su factor de enriquecimiento (FE). Los valores de FE natural indican que provienen de la naturaleza, enriquecidos y altamente enriquecidos de la actividad humana. Con la CQE se estimó el riesgo a la salud de la población por inhalación de las $PM_{2.5}$, bacterias, hongos y HAP's; se identificaron las posibles fuentes de emisión y con ellos sus posibles fuentes de riesgo, con ambos resultados es posible establecer estrategias de mitigación o remediación para lograr tener una mejor calidad del aire que se respira y así contar con una mejor calidad de vida.

CONTENIDO

CONTENIDO	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
1. FUNDAMENTOS.....	5
1.1 Contaminación atmosférica.....	5
1.1.1 Fuentes de contaminación.....	6
1.1.1.1 Fuentes de contaminación Naturales	6
1.1.1.2 Fuentes de contaminación Antropogénica.....	7
1.1.2 Tipos de contaminantes	8
1.1.3 Material particulado	10
1.1.3.1 Material particulado según su tamaño.....	10
1.1.3.2 PM _{2.5} y sus efectos a la salud	11
1.1.3.3 Efectos de las PM _{2.5} de acuerdo con su composición	15
1.1.4 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y PM _{2.5}	15
1.1.5 Hongos, Bacterias y PM _{2.5}	16
1.1.5.1 Hongos.....	17
1.1.5.2 Bacterias	19
1.2 Monitoreo atmosférico	22
1.2.1 Muestreo.....	22
1.2.2 Muestreo activo.....	25
1.2.3 Red de monitoreo atmosférico en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca	27
1.2.4 Control y aseguramiento de la calidad del monitoreo atmosférico	29
1.3 Análisis.....	31
1.3.1 Análisis de Masa Gravimétrica Fina	31

1.3.2	Análisis Morfológico.....	31
1.3.3	Análisis de Composición Química Elemental	33
1.3.3.1	Fundamentos de la técnica PIXE.....	34
1.3.3.2	Calibración del sistema PIXE.....	36
1.4	Componente Natural y Antropogénica.....	36
1.5	Riesgo	37
2.	MÉTODO.....	41
2.1	Monitoreo atmosférico	42
2.1.1	Selección de sitio de monitoreo	42
2.1.2	Campaña de muestreo.....	46
2.2	Análisis.....	48
2.2.1	Análisis de Masa Gravimétrica Fina	48
2.2.2	Análisis morfológico.....	49
2.2.3	Análisis de Composición Química Elemental	50
2.2.3.1	Control y aseguramiento de la calidad del Análisis de Composición Química Elemental	53
2.3	Componente Natural y Antropogénica.....	53
2.4	Determinación de Bacterias presentes en las PM _{2.5}	54
2.5	Determinación de Hongos presentes en las PM _{2.5}	55
2.6	Determinación de HAP's	56
2.7	Determinación de fuentes de emisión.....	57
2.8	Riesgo de Composición Química Elemental	57
2.8.1	Dosis de Exposición	58
2.8.2	Cálculo del riesgo de Composición Química Elemental	59
2.9	Identificación de fuentes de riesgo	59
3.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	60
3.1	Monitoreo	60

3.1.1 Selección de sitio de monitoreo	60
3.1.2 Campaña de muestreo.....	61
3.2 Análisis.....	61
3.2.1 Análisis de Masa Gravimétrica Fina	61
3.2.2 Análisis Morfológico.....	62
3.2.3 Análisis de Composición Química Elemental	63
3.2.4 Análisis de Bacterias	70
3.2.5 Análisis de Hongos.....	71
3.2.6 Análisis de HAP's	75
3.3 Determinación de la Componente Natural y Antropogénica	78
3.4 Determinación de Riesgo	81
3.4.1 Riesgo de Composición Química Elemental.....	81
3.4.2 Riesgo de Hongos	83
3.4.3 Riesgo de HAP's	83
3.5 Determinación de Fuentes de Emisión	88
3.6 Identificación de fuentes de riesgo	94
CONCLUSIONES.....	99
REFERENCIAS	100
ANEXOS	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Guías de Calidad del Aire, Objetivos Intermedios recomendados por la OMS y valor límite permisible de la NOM-025-SSA1-2014, para $PM_{2.5}$ en concentraciones promedio anuales. (OMS, 2006) (SEGOB, 2014)	14
Tabla 2. Guías de Calidad del Aire, Objetivos Intermedios recomendados por la OMS y valor límite permisible de la NOM-025-SSA1-2014, para $PM_{2.5}$ en promedio de 24 horas diarias. (OMS, 2006) (SEGOB, 2014)	14
Tabla 3. Enfermedades fúngicas transmitidas por el aire	19
Tabla 4. Enfermedades bacterianas transmitidas por el aire	21
Tabla 5. Promedio sugerido de estaciones de muestreo de la calidad de aire en zonas urbanas de una población determinada. (Inche, 2004)	24
Tabla 6. Normatividad Mexicana para contaminantes criterio y su valor límite permisible para sus concentraciones en el aire ambiente. (SEGOB, 2014), (RAMAT, 2019)	30
Tabla 7. Características de la ZMVT	42
Tabla 8. Factores de exposición, para el análisis de la dosis de exposición	58
Tabla 9. Estadísticos descriptivos de la MGF, para las muestras de la ZMVT	61
Tabla 10. CQE de las $PM_{2.5}$ presentes en San Mateo Atenco, determinada con PIXE	64
Tabla 11. CQE de las $PM_{2.5}$ presentes en Ceboruco, determinada con PIXE	65
Tabla 12. CQE de las $PM_{2.5}$ presentes en la Nueva Oxtotitlán, determinada con PIXE	66
Tabla 13. CQE de las $PM_{2.5}$ presentes en San Cristóbal Huichochitlán, determinada con PIXE	67
Tabla 14. CQE de las $PM_{2.5}$ presentes en San Lorenzo Tepaltitlán, determinada con PIXE	68
Tabla 15. CQE de las $PM_{2.5}$ presentes en Zinacantepec, determinada con PIXE	69
Tabla 16. Grupos bacterianos identificados en San Mateo Atenco y Ceboruco en temporadas de Lluvia y Seca-Cálida (Cruz, 2019)	70
Tabla 17. Géneros fúngicos reportados en San Mateo Atenco	71
Tabla 18. Géneros fúngicos reportados en Ceboruco	72
Tabla 19. Géneros fúngicos reportados en la Nueva Oxtotitlán	72
Tabla 20. Géneros fúngicos reportados en San Cristóbal Huichochitlán	73
Tabla 21. Géneros fúngicos reportados en San Lorenzo Tepaltitlán	73
Tabla 22. Géneros fúngicos reportados en Zinacantepec	74
Tabla 23. Concentración de HAP's en San Mateo Atenco	75
Tabla 24. Concentración de HAP's en la Nueva Oxtotitlán	76

Tabla 25. Concentración de HAP's en la San Cristóbal Huichochitlán	77
Tabla 26. Relación de los valores del riesgo a la salud por inhalación de CQE, presente en las PM _{2.5} en los seis sitios de la ZMVT	82
Tabla 27. Riesgo para cada uno de los hongos más representativos obtenidos en la ZMVT ..	83
Tabla 28. Riesgo a la salud por inhalación de HAP's, presentes en las PM _{2.5} , en San Mateo Atenco	84
Tabla 29. Riesgo a la salud por inhalación de HAP's, presentes en las PM _{2.5} , en San Cristóbal Huichochitlán	85
Tabla 30. Riesgo a la salud por inhalación de HAP's, presentes en las PM _{2.5} , en la Nueva Oxtotitlán	86
Tabla 31. Resumen del Riesgo por HAP's en la ZMVT	87
Tabla 32. Resumen de riesgos por inhalación de CQE, HAP's y Hongos, presentes en la ZMVT	87
Tabla 33. Fuentes de emisión obtenidas para PM _{2.5} del sitio de San Mateo Atenco	88
Tabla 34. Fuentes de emisión obtenidas para PM _{2.5} del sitio de Ceboruco	89
Tabla 35. Fuentes de emisión obtenidas para PM _{2.5} del sitio Nueva Oxtotitlán	90
Tabla 36. Fuentes de emisión obtenidas para PM _{2.5} del sitio de San Cristóbal Huichochitlán	91
Tabla 37. Fuentes de emisión obtenidas para PM _{2.5} del sitio de San Lorenzo Tepaltitlán	92
Tabla 38. Fuentes de emisión obtenidas para PM _{2.5} del sitio de Zinacantepec	93
Tabla 39. Resumen de las posibles fuentes de emisión de las PM _{2.5} , en los sitios de estudio	94
Tabla 40. Fuentes de riesgo por inhalación de PM _{2.5} en Ceboruco y Zinacantepec	94
Tabla 41. Fuentes de riesgo por inhalación de PM _{2.5} en San Cristóbal Huichochitlán y San Lorenzo Tepaltitlán	95
Tabla 42. Fuentes de riesgo por inhalación de PM _{2.5} en San Mateo Atenco y Nueva Oxtotitlán	96
Tabla 43. Resumen total de las Fuentes de riesgo por inhalación de PM _{2.5} en la ZMVT	97
Tabla 44. Relación entre la CQE y las enfermedades	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación entre el grosor de un cabello, un grano de arena y las partículas PM ₁₀ y PM _{2.5} (Pinilla, 2019)	11
Figura 2. Ejemplos de equipo de muestreo activo y sus filtros (Tecora, 2003)	26
Figura 3. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la RAMAT: Almoloya de Juárez (AJ), Nueva Oxtotitlán (NO), Centro (CE), Ceboruco (CB), San Cristóbal H (SC), San Mateo A. (SM) y Metepec (MT)	28
Figura 4. Técnica de análisis PIXE explicado en tres pasos. (Gómez, 2015)	35
Figura 5. Espectro característico de Rayos X- (Díaz & Domínguez, 2008)	35
Figura 6. Metodología seguida en el trabajo	41
Figura 7. Estación de monitoreo # 5: San Mateo Atenco (SM)	43
Figura 8. Estación de Monitoreo # 1: Nueva Oxtotitlán (NO)	43
Figura 9. Estación de Monitoreo # 4: Ceboruco (CB)	44
Figura 10. Estación de Monitoreo # 7: San Cristóbal Huichochitlán (SC)	44
Figura 11. Estación de Monitoreo: San Lorenzo Tepaltitlán (SL)	45
Figura 12. Estación de Monitoreo: Zinacantepec (ZN)	45
Figura 13. Filtro de Nucleopore de 47 mm, para monitoreo de aire. (Microimport, 2020)	46
Figura 14. Equipos de Muestreo (Aralco, 2020), (Solutions, 2020)	47
Figura 15. Acondicionamiento de filtros en un desecador	48
Figura 16. Balanza analítica y proceso de análisis de MGF	48
Figura 17. Preparación de las muestras a analizar en el MEB	49
Figura 18. Baño de oro realizado a las muestras en el equipo Denton Vacuum, Desk II	50
Figura 19. Análisis morfológico en el MEB JSM 5900LV	50
Figura 20. Arreglo experimental en el Acelerador Tandem Van de Graaff del ININ	51
Figura 21. Proceso para el aislamiento de colonias bacterianas	55
Figura 22. Obtención de colonias fúngicas por medio de filtro en agar rosa Bengala	56
Figura 23. Cromatógrafo Shimadzu, modelo GCMS-QP2010	56
Figura 24. Sitios de monitoreo seleccionados	60
Figura 25. Imagen de muestra tomada en la ZMVT	62
Figura 26. Posible Bacteria	62
Figura 27. Hifa	63
Figura 28. Hollín	63
Figura 29. Factor de enriquecimiento de San Mateo Atenco	78
Figura 30. Factor de enriquecimiento de la Nueva Oxtotitlán	78

Figura 31. Factor de enriquecimiento de San Cristóbal Huichochitlán	79
Figura 32. Factor de enriquecimiento del sitio de Ceboruco.....	79
Figura 33. Factor de enriquecimiento de San Lorenzo Tepaltitlán.....	80
Figura 34. Factor de enriquecimiento de Zinacantepec.....	80

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los problemas ambientales como la contaminación del aire tienen un crecimiento constante y la población ha tomado conciencia de los riesgos actuales.

Las Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005 tienen por objeto ofrecer orientación relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave, que entrañan riesgos sanitarios y sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud. Cada país establece normas de calidad del aire para proteger la salud pública de sus ciudadanos, por lo que son un componente importante de las políticas nacionales de gestión del riesgo y ambientales. Al respecto la OMS ha informado sobre cifras y datos de la relación de la calidad del aire en la salud de la población (OMS, 2018):

- La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.
- En 2016, el 91% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las directrices de la OMS sobre la calidad del aire. Aproximadamente el 58% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, mientras que el 18% de las muertes se debieron a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas, y el 6% de las muertes se debieron al cáncer de pulmón.
- Las políticas y las inversiones de apoyo a medios de transporte menos contaminantes, viviendas energéticamente eficientes, generación de electricidad y mejor gestión de residuos industriales y municipales permitirían reducir importantes fuentes de contaminación del aire en las ciudades.

Se estima que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, fue causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad se debe a la exposición a partículas PM_{2.5} (Partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 µm), que causan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer.

Los límites de la directriz de 2005 de la OMS se orientan para lograr las concentraciones más bajas posibles de partículas y los valores que fijan para las $PM_{2.5}$ son: $10 \mu g/m^3$ de media anual y $25 \mu g/m^3$ de media en 24h. (OMS, 2018)

En nuestro país la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en su última reforma publicada DOF 04-06-2012, define contaminación como la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico y contingencia ambiental como una situación de riesgo, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que puede poner en peligro la integridad de uno o varios ecosistemas. (DOF, 2012)

La Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-025-SSA1-2014, referente a salud ambiental, asigna valores límites permisibles para la Masa Gravimétrica Fina (MGF) de las $PM_{2.5}$ en el aire ambiente, para efectos de protección de la salud de la población más vulnerable y establece que los valores son: $45 \mu g/m^3$, como promedio de 24 horas y $12 \mu g/m^3$, como promedio anual.

La variedad de los efectos en la salud es amplia, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad. Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y hay pocas pruebas que indiquen cual es la mínima cantidad de contaminantes $PM_{2.5}$ por debajo de la cual no se pueda prever efectos adversos en la salud.

El diccionario de la Real Academia Española define el riesgo como contingencia o proximidad de un daño; en donde contingencia se define como la posibilidad de que algo suceda o no suceda, especialmente un problema que se plantea de manera no prevista. (RAE, 2019)

De manera general se reconocen dos tipos de riesgo, los de orígenes naturales ligados a los procesos que forman parte del funcionamiento y remodelación del planeta desde su origen y los antropogénicos, causantes del daño en los ecosistemas por la actividad humana.

Los estudios de riesgo son necesariamente muy locales, porque dependen de condiciones específicas de cada sitio. Una peculiaridad de los estudios de riesgo es que lo que está expuesto, varía en el tiempo, tanto en cantidad, como en sus características; particularmente los efectos del crecimiento demográfico y de la industrialización, que modifican e incrementan el riesgo, por lo que los estudios se vuelven rápidamente obsoletos.

La medición de la exposición a numerosos factores ambientales es compleja porque no se dispone de sistemas adecuados de información y vigilancia sanitaria que permitan valorar la magnitud y gravedad de los riesgos.

Actualmente los estudios realizados por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMAT) solamente analizan el valor de la MGF del material particulado de acuerdo con la NOM-025-SSA1-2014; no toma en cuenta la CQE presente en las partículas suspendidas en el aire, por lo que los estudios realizados sobre este tema están limitados al análisis gravimétrico y tomando en cuenta este valor no se puede tener resultados reales sobre los efectos a la salud. Es evidente la falta de vigilancia a nivel gubernamental para las $PM_{2.5}$ e incluso ésta norma requiere ser modificada porque se puede considerar que es poco confiable para todo el país y por consiguiente por la ZMVT. Lo anterior hace imprescindible determinar la composición de las $PM_{2.5}$, entre los que se encuentran: CQE, composición biológica y HAP's. Por lo que determinando la composición es posible determinar el riesgo a la salud por la inhalación de estos contaminantes.

En este trabajo de investigación se determinan las $PM_{2.5}$ a través de la toma de muestras en los seis sitios de estudio de la ZMVT y con ello se obtuvieron también su CQE, HAP's, bacterias y hongos presentes en estas muestras. A partir de las concentraciones obtenidas es posible entonces determinar el riesgo por inhalación de estos contaminantes y por lo tanto las posibles fuentes de emisión y con ello las posibles fuentes de riesgo.

HIPÓTESIS

“La existencia de $PM_{2.5}$ en la ZMVT está en relación directa con los riesgos a la salud por inhalación; debido a que estas partículas contienen elementos químicos, HAP's, bacterias y hongos”.

Para corroborar esta hipótesis se plantean los siguientes objetivos, general y específicos:

Objetivo General

Determinar las posibles fuentes de riesgo a la salud por la inhalación de bacterias, hongos, composición química elemental e hidrocarburos aromáticos policíclicos obtenidos de las muestras $PM_{2.5}$ en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Objetivos específicos

- 1) Determinar la masa gravimétrica fina de las muestras obtenidas de los seis sitios de estudio.
- 2) Determinar la composición química elemental a través de la técnica PIXE de las muestras obtenidas.
- 3) Calcular el riesgo a la salud por inhalación de composición química elemental, hidrocarburos aromáticos policíclicos, bacterias y hongos.
- 4) Calcular las posibles fuentes de emisión de los contaminantes mencionados.
- 5) Calcular las posibles fuentes de riesgo de los contaminantes mencionados.

1. FUNDAMENTOS

En este capítulo se describe los fundamentos para caracterizar las PM_{2.5}: CQE, HAP's, bacterias y hongos, de la ZMVT.

1.1 Contaminación atmosférica

El aire puro es una mezcla gaseosa de nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y cantidades menores de dióxido de carbono, argón, ozono y otros gases (1%). La contaminación del aire es el cambio en el equilibrio de estos componentes, y se puede definir como *“cualquier condición atmosférica en la que las sustancias presentes producen un efecto adverso medible en la salud del humano, los animales y vegetales, o bien un daño físico en los materiales (edificaciones y monumentos)”*. (Martínez et. al, 2007)

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) existe contaminación del aire cuando en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados períodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras, así como perturbar el bienestar de las personas o el uso de los bienes. (Echeverri, 2019)

Durante mucho tiempo el hombre disfruto del aire sin suficiente preocupación por su calidad, ya sea porque parecía que estaba bien o porque no entendía muchos de sus efectos. La calidad del aire en muchas ciudades se ha deteriorado hasta el punto de contribuir en la aparición de afecciones respiratorias, cardíacas, cancerígenas, entre otras; como lo reportan en sus investigaciones Ubilla y Yohannessen (2017), hasta el grado de presentar una creciente morbilidad y mortandad.

Los seres humanos obtienen del aire, de manera involuntaria, el oxígeno indispensable para su respiración y sobrevivencia. El hombre adulto toma al día cerca de 15 kg de aire, 2.5 L de agua y 2 kg de alimentos. El aire es más indispensable para la vida de un ser vivo que el agua y los alimentos; ya que el hombre puede llegar a resistir cinco semanas sin comer, cinco días sin beber agua, pero tan solo cinco minutos sin respirar. (Echeverri, 2019)

Los cambios en la composición de la atmósfera alteran las condiciones óptimas, deteriorando la calidad del aire, en el que se desarrollan los seres vivos. Este deterioro es un problema grave de interés para la salud pública en el que se necesita conocer sus orígenes, causas y así poder tomar acciones para detener sus efectos.

1.1.1 Fuentes de contaminación

Atendiendo a su origen las fuentes de contaminación del aire se pueden agrupar en dos tipos: naturales o antropogénica.

1.1.1.1 Fuentes de contaminación Naturales

Comprenden las emisiones de los contaminantes generados por la actividad natural del planeta tierra; algunos ejemplos son:

- a) Las erupciones volcánicas. Una de las principales causas de la contaminación, aportan a la atmósfera compuestos de azufre y una gran cantidad de partículas que se diseminan por ella como consecuencia de la acción del viento.
- b) Incendios forestales. Producidos en forma natural emiten altas concentraciones de dióxidos de carbono, óxidos de nitrógeno, humo, polvo y cenizas.
- c) Ciertas actividades de los seres vivos, como los procesos de respiración que incrementan la cantidad de dióxido de carbono, los procesos de reproducción de las plantas anemófilas, que polinizan a través del aire, como las gramíneas, los olivos y las arizónicas, las cuales producen pólenes y esporas que, al concentrarse en el aire son causa de las alergias respiratorias conocidas como Polinosis; o la descomposición anaerobia, en la que se degrada la materia orgánica fermentándose y convirtiéndose en una mezcla de gases, principalmente metano.
- d) Las descargas eléctricas generadas durante las tormentas y que dan lugar a la formación de óxidos de nitrógeno al oxidar el nitrógeno atmosférico.
- e) El mar, que emite partículas salinas al aire.
- f) Los vientos fuertes o vendavales, que transfieren a otras zonas partículas de las regiones áridas.

Un estudio efectuado con pacientes que acudieron al servicio de Alergia e Inmunología en la clínica del Hospital de Especialidades, Centro Médico Nacional Siglo XXI, IMSS (Gaspar et. al, 2014): “Prevalencia de polinosis en pacientes con asma, rinitis y conjuntivitis alérgicas en la zona sur del Distrito Federal, 2007-2013”, informa que diversos estudios sugieren que incluso 50% de los adultos residentes de la ciudad de México pueden tener datos de alergia respiratoria y que los pólenes de árboles, pastos y malezas constituyen una causa frecuente. Este estudio concluye que la sensibilización a malezas constituye en México la primera causa de polinosis respiratoria de la zona sur de la ciudad de México, la sensibilización a los árboles es la segunda y la sensibilización a gramíneas constituye la tercera causa.

En la ciudad de Toluca en la investigación “Estudio aerobiológico de pólenes anemófilos en la ciudad de Toluca, México” (Cid et. al, 2015), identificaron 29 diferentes tipos polínicos, con un conteo total de 13,542 granos de polen. Durante el invierno encontraron la mayor cantidad de pólenes. Los meses con mayor y menor cantidad de pólenes fueron enero y agosto, respectivamente. Además, identificaron una mayor cantidad de pólenes de árboles durante el invierno, principalmente de la familia Cupressaceae, lo que se relaciona estrechamente con la cantidad de árboles sembrados de esta especie en la ciudad.

Los estudios mencionados presentan la relevancia de las fuentes de contaminación naturales, aunado a esto la mezcla de polen y contaminación antropogénica puede aumentar la agresividad del polen y resultar en mayor prevalencia de alergias en zonas urbanas.

1.1.1.2 Fuentes de contaminación Antropogénica

Son consecuencia de la presencia y actividades del ser humano. La mayor parte de la contaminación procede de la utilización de combustibles fósiles (carbones, petróleo, gas). Entre las actividades humanas generadoras de contaminación podemos destacar las siguientes:

- a) En el hogar, el uso de las calefacciones y aparatos domésticos que emplean como fuentes de generación de calor, combustibles de origen fósil (carbón, gas natural).
- b) En el transporte: el automóvil, el avión, el ferrocarril y la navegación. El grado de contaminación depende del tipo de combustible utilizado, así como del diseño y estado de conservación de los transportes empleados.
- c) En la industria, el aporte de contaminación al aire depende del tipo de actividad, siendo las centrales térmicas, las cementeras, las siderometalúrgicas, las papeleras y las químicas las más contaminantes.
- d) En la agricultura y la ganadería, el uso intensivo de fertilizantes, el empleo de amplias superficies de regadío, por ejemplo, en los campos de arroz y la elevada concentración de ganado vacuno provocan el aumento en la atmósfera de gases efecto invernadero, como el metano.
- e) En la eliminación de residuos sólidos mediante el proceso de incineración, o en la cremación de cadáveres.
- f) En las avenidas, los puestos ambulantes y semifijos de venta de comida utilizan como combustible instalaciones de tipo eléctricas, gas LP, leña o carbón para la elaboración

de sus productos. Los combustibles que generan mayor contaminación son el carbón y la leña.

Legarreta et al. (2015), en su investigación “Material particulado y metales pesados en aire en ciudades mexicanas” realizó una revisión de literatura sobre tendencias y comportamientos espacio-temporales de material particulado y metales pesados en aire en ciudades mexicanas. En este estudio resume las principales fuentes de emisión de estos contaminantes atmosféricos y concluye que en las ciudades mexicanas las fuentes de contaminación de origen antropogénica más comunes fueron el tráfico vehicular en calles pavimentadas y no pavimentadas, la quema de combustibles fósiles, basura y residuos agrícolas, una gran gama de procesos industriales y las plantas de generación eléctrica. (Legarreta et. al, 2015)

La contaminación antropogénica es más relevante por localizarse en puntos geográficos concretos, como zonas urbanas o industriales, donde se incrementa la concentración de los contaminantes que pueden reaccionar entre sí, formando otros nuevos, y donde la existencia de vegetación es menor.

1.1.2 Tipos de contaminantes

La química atmosférica se mantiene prácticamente constante debido a los procesos biogeoquímicos y a las transformaciones cíclicas en los que se integran sus componentes: los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno, oxígeno y azufre especialmente. Estos ciclos se autorregulan mediante diferentes mecanismos, pero las actividades humanas los aceleran, rompen su equilibrio y movilizan las reservas, ocasionando la presencia en la atmósfera de los contaminantes del aire.

Se consideran contaminantes del aire a las sustancias químicas que en concentraciones determinadas pueden causar molestias, daños o riesgos a las personas y al resto de los seres vivos, o bien ser origen de alteraciones en el funcionamiento de los ecosistemas y en el clima.

Dentro de este grupo de contaminantes hay que diferenciar entre primarios y secundarios, según sea su origen:

Contaminantes primarios.

Son vertidos directamente a la atmósfera por alguna fuente de emisión como chimeneas, automóviles, entre otros. Los contaminantes atmosféricos que integran este grupo son:

- **Óxidos de azufre (SOx).** Se forman por la combustión del azufre presente en el carbón y el petróleo. Los SOx forman con la humedad ambiente aerosoles, incrementando el poder corrosivo de la atmósfera, disminuyendo la visibilidad y provocando la lluvia ácida.
- **Monóxido de carbono (CO).** Es el contaminante más abundante en la capa inferior de la atmósfera. Se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono. Es un gas inestable que se oxida generando dióxido de carbono (CO₂). Alrededor del 70 por ciento del CO proviene de los vehículos.
- **Óxidos de nitrógeno (NOx).** Se producen en la combustión de productos fósiles, destacando los vehículos, carbón y quemas de madera. La producción de fertilizantes y explosivos, tabaco y calderas generan emisiones importantes de NOx. El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) requieren especial atención. El NO se oxida formando NO₂, mientras que el NO₂ es precursor del smog fotoquímico.
- **Partículas.** Es material respirable presente en la atmósfera en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras). De acuerdo con su tamaño se pueden dividir en dos grupos principales: las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 µm (PM₁₀) y las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 2.5 µm (PM_{2.5}).
- **Hidrocarburos (HC).** Las emisiones de HC están asociadas a la mala combustión de derivados del petróleo. Las fuentes más importantes de emisión son el transporte por carretera, los disolventes, pinturas, vertederos y la producción de energía. Los de mayor interés son los compuestos orgánicos volátiles (COV), dioxinas, furanos, bifenilos policlorados (PCB) y los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP's). (SEMARNAT, 2013)

Contaminantes secundarios.

Son los contaminantes originados en el aire como consecuencia de la transformación y reacciones químicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera. Se pueden considerar:

- **Ozono (O₃).** Como se mencionó anteriormente el O₃ forma parte de la composición de la atmósfera, sin embargo, a baja altura (O₃ troposférico) resulta perjudicial por su carácter oxidante, reactivo, corrosivo y tóxico, por lo que reacciona con rapidez generando compuestos secundarios.

- **Lluvia ácida.** Es el término que se ha usado para describir el proceso por el cual ciertos ácidos se forman en la atmósfera a partir de contaminantes y luego se precipitan a la tierra. El SO_2 (dióxido de azufre) y los NO_x , causan la lluvia ácida. Estas sustancias en presencia de agua, O_2 y otros compuestos químicos forman ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3) respectivamente, que se precipitan a la tierra en forma líquida cuando se presentan lluvias o en forma seca en presencia de nevadas o neblinas. El pH (potencial hidrógeno) de la lluvia normal es de alrededor de 6, mientras que la lluvia ácida presenta un pH menor a 5.
- **Contaminación fotoquímica.** La constituyen la luz solar y sustancias susceptibles de ser oxidadas. El smog fotoquímico es una mezcla de contaminantes que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los contaminantes primarios. (SEMARNAT, 2013)

1.1.3 Material particulado

Existe un gran número de contaminantes en la atmósfera que tienen distintas repercusiones en el medio ambiente y la salud humana. Entre estos contaminantes destacan las partículas, también conocidas como partículas suspendidas, aeropartículas, material particulado (del inglés particulate matter) y aerosoles, que son algunos de los términos utilizados para nombrar una mezcla de compuestos microscópicos o muy pequeños en forma de líquidos y sólidos suspendidos en el aire, por ejemplo, hollín, polvo, humo y neblinas.

1.1.3.1 Material particulado según su tamaño

Las partículas suspendidas también se clasifican por su tamaño, pero como tienen una infinidad de formas no es posible caracterizarlas con una sola dimensión geométrica real. Por ello, se utiliza el diámetro aerodinámico como un indicador del tamaño de la partícula; este indicador es igual al diámetro de una partícula esférica de densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal que la partícula considerada, independiente de su forma, tamaño o densidad bajo condiciones de temperatura, presión y humedad existentes. El uso de este concepto permite también determinar el transporte, los procesos de remoción en el aire y en superficies, así como la trayectoria de las partículas dentro del sistema respiratorio.

El tamaño de las partículas suspendidas es una característica muy importante, porque mientras más pequeño sea su diámetro aerodinámico mayor será su capacidad de penetrar hasta los alvéolos pulmonares y con la posibilidad de incorporarse al torrente sanguíneo.

PM seguido de un número hace referencia a todas las partículas de un tamaño máximo determinado (diámetro aerodinámico). Las partículas de un rango inferior también quedan incluidas. La Figura 1 muestra la comparación entre el grosor de un cabello, un grano de arena y las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$.

$PM_{2.5}$: son partículas en suspensión con un diámetro aerodinámico de hasta $2.5\ \mu m$, denominadas partículas finas o fracción fina (que por definición incluye a las partículas ultrafinas).

PM_{10} : son partículas en suspensión con un diámetro aerodinámico de hasta $10\ \mu m$, es decir, comprende las fracciones fina y gruesa.

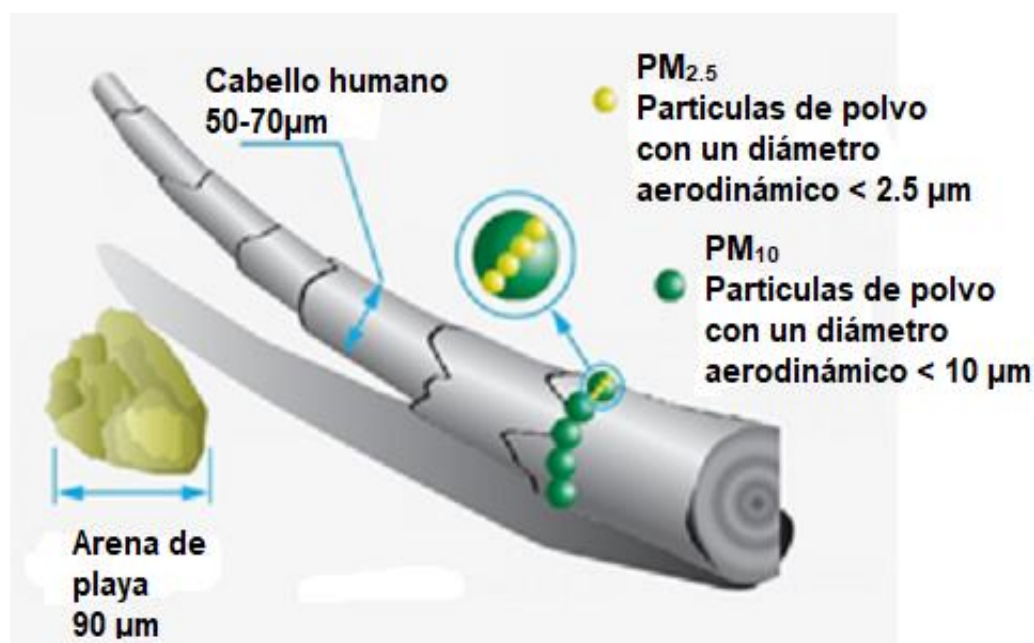


Figura 1. Comparación entre el grosor de un cabello, un grano de arena y las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ (Pinilla, 2019)

1.1.3.2 $PM_{2.5}$ y sus efectos a la salud

Los efectos adversos en la salud son sinérgicos a todos los componentes de la Contaminación Ambiental Urbana (CAU). Las partículas $PM_{2.5}$ y los óxidos de nitrógeno son los mejor estudiados, asociándose con una mayor morbilidad y mortalidad de enfermedades agudas y crónicas, especialmente respiratorias.

En la infancia algunos tipos de enfermedades respiratorias de mayor incidencia son la tos, moco, expectoración, sibilancias, mayor incidencia y gravedad de infecciones de vías bajas. En adultos con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) y cáncer pulmonar se

presentan exacerbaciones asmáticas y pérdida de la función pulmonar. En enfermedades cardiovasculares se presentan arritmias, insuficiencia cardíaca congestiva, hipertensión e infarto agudo de miocardio. Los tipos de enfermedades neurológicas que se presentan en niños son disminución de función cognitiva, déficit de atención e hiperactividad y autismo.

En adultos hay manifestaciones cerebrovasculares y enfermedades neurodegenerativas. También se asocian a dislipidemia, aterosclerosis, disfunción endotelial y alteraciones de la coagulación. Evidencias emergentes sugieren una asociación causal con la diabetes a través del estrés oxidativo que incrementa la resistencia a la insulina¹. (Ortega et. al, 2018)

Muchas de las enfermedades prevenibles, provocadas por la CAU en adultos, se inician subclínicamente en las primeras 2 décadas de la vida. Los niños son más vulnerables a la CAU por respirar mayores volúmenes de aire por kg de peso que los adultos, por la inmadurez de la mucosa alveolar en crecimiento y por su menor estatura. El 1% de la mortalidad infantil por infecciones respiratorias agudas es atribuida a la CAU. También tiene efectos adversos preconcepcionales (gametogénesis), transplacentarios (partos prematuros y bajo peso al nacimiento) y mayor morbilidad perinatal. (Landrigan et. al, 2017)

Las partículas presentan un amplio panorama de síntomas con intensidad variable, desde estornudos, tos y boca seca hasta la limitación de actividades por problemas de respiración. La exposición de largo plazo a partículas PM_{2.5} suele asociarse con una marcada reducción en la esperanza de vida, principalmente por el incremento de la mortalidad cardiopulmonar y por cáncer de pulmón. La reducción en la función pulmonar de niños y adultos origina el desarrollo de bronquitis asmática y EPOC. (Ghorani et. al , 2016)

La afectación causada por las partículas a la salud humana se explica por una serie de mecanismos fisiológicos que actúan en conjunto. El principal mecanismo que se ha evidenciado se conoce como estrés oxidativo y ocasiona una inflamación sistémica que desata múltiples alteraciones en los órganos críticos, como corazón, pulmones, cerebro y sistema vascular. Dicho estrés oxidativo se genera, principalmente, por la exposición crónica de partículas finas, y se especula como uno de los mecanismos que mayor deterioro provoca en el organismo. (Pope & Dockery, 2006)

Los hallazgos recientes de estudios epidemiológicos realizados tanto en el contexto poblacional como ocupacional, además de estudios toxicológicos y de exposición en seres humanos, indican que las concentraciones de PM_{2.5} que hoy se observan en numerosas

ciudades del país implican riesgos para la salud, debido a que se encuentran por encima de los niveles establecidos por las normativas nacional e internacional aplicables. Toda la población puede ser afectada, aunque la susceptibilidad puede variar con el estado de salud o la edad. Los niños en edades de entre 2-6 y de 6-12 años, así como los adultos con un promedio de edad de 70 años y las personas con padecimientos previos, son los grupos de mayor susceptibilidad.

Los eventos más documentados son la mortalidad y la hospitalización de pacientes con EPOC, exacerbación de los síntomas y aumento de la necesidad de terapia en asmáticos, mortalidad y hospitalización de pacientes con enfermedades cardiovasculares y diabetes mellitus, aumento del riesgo de infarto al miocardio, inflamación de las vías respiratorias, inflamación sistémica, disfunción endotelial y vascular, desarrollo de aterosclerosis, aumento en la incidencia de infecciones y cáncer de pulmón. Con relación a este último, en octubre del 2013, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) por sus siglas en inglés) anunció que existe evidencia suficiente para establecer una relación causal entre la exposición al material particulado y el cáncer en los humanos, catalogándolo como carcinógeno del Grupo 1. Dichos efectos se presentan a niveles que antes eran considerados como seguros, de allí la importancia de revisar y ajustar a valores más estrictos los límites máximos permisibles de la NOM, para la protección de la salud de la población, especialmente de los grupos más vulnerables. (SEGOB, 2014)

La OMS ha recomendado valores para las Guías de Calidad del Aire (GCA) y Objetivos Intermedios (OI) para ayudar a los países a cumplir paulatinamente con los distintos niveles de protección de la salud.

En México la NOM-025-SSA1-2014 es un instrumento regulatorio que contribuye al establecimiento de límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente, con la finalidad de garantizar la protección de la salud de la población. Por lo que su actualización debe basarse en el principio precautorio y en la información científica disponible. En las Tablas 1 y 2 se muestran los valores para concentraciones anuales y de 24 horas, así mismo el valor límite permisible otorgado por la NOM-025-SSA1-2014 para $PM_{2.5}$.

Tabla 1. Guías de Calidad del Aire, Objetivos Intermedios recomendados por la OMS y valor límite permisible de la NOM-025-SSA1-2014, para PM_{2.5} en concentraciones promedio anuales. (OMS, 2006) (SEGOB, 2014)

Objetivos	PM _{2.5} (µg/m ³)	Observaciones
OI 1	35	Estos niveles han sido asociados con aproximadamente 15% mayor riesgo de mortalidad a largo plazo en relación con nivel del lineamiento OMS.
OI 2	25	Además de otros beneficios en salud, se reduce el riesgo de mortalidad en 6% comparado con el nivel del OI 1.
OI 3	15	Además de otros beneficios en salud, se reduce el riesgo de mortalidad en 6% comparado con el nivel del OI 2.
GCA OMS	10	Niveles más bajos a los que se ha encontrado el aumento de muertes totales, cardiopulmonares y de cáncer de pulmón. Existen efectos inclusive a concentraciones más bajas
NOM-025-SSA1-2014	12	Pasar a un grado de concentración menor evitaría miles de defunciones

Tabla 2. Guías de Calidad del Aire, Objetivos Intermedios recomendados por la OMS y valor límite permisible de la NOM-025-SSA1-2014, para PM_{2.5} en promedio de 24 horas diarias. (OMS, 2006) (SEGOB, 2014)

Objetivos	PM _{2.5} (µg/m ³)	Observaciones
OI 1	75	Alrededor de un incremento de 5% de la mortalidad a corto plazo por encima del valor del lineamiento OMS.
OI 2	50	Alrededor de un incremento de 2.5% de la mortalidad a corto plazo por encima del valor del lineamiento OMS.
OI 3	37.5	Alrededor de un incremento de 1.2% de la mortalidad a corto plazo por encima del valor del lineamiento OMS.
GCA OMS	25	Basado en la relación entre niveles de 24 horas y anuales de partículas.
NOM-025-SSA1-2014	45	Pasar a un grado de concentración menor evitaría miles de defunciones.

1.1.3.3 Efectos de las PM_{2.5} de acuerdo con su composición

A pesar de la evidencia contundente a favor de la relación causal entre la exposición a partículas PM_{2.5} sus y efectos en la mortalidad y morbilidad, se ha establecido que no solo las concentraciones del contaminante están vinculadas con el grado de impacto, sino también la composición de estas partículas.

La RAMAT realiza actividades de monitoreo atmosférico; en los inventarios diarios y mensuales que genera, no determina la CQE de las partículas, únicamente da el valor de la MGF de PM₁₀ y PM_{2.5}; además las concentraciones de Ozono (O₃), Bióxido de Nitrógeno (NO₂), Monóxido de Carbono (CO), y Bióxido de Azufre (SO₂).

El conocimiento de CQE de las partículas que se encuentran en el aire es importante desde el punto de vista epidemiológico y técnico, ya que permite determinar el potencial efecto en la salud humana por la presencia de sustancias tóxicas y cancerígenas adheridas a este diminuto material; así como valorar el aporte de las fuentes de emisión a la contaminación del aire. (Quijano et. al, 2015)

1.1.4 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y PM_{2.5}

La exposición a una sustancia química en el medio ambiente puede darse al respirar, consumir o beber sustancias que contienen la sustancia química o al tocar la sustancia con la piel.

Si la población ha estado expuesta a sustancias peligrosas como HAP's, hay varios factores que determinarán si presentarán efectos dañinos, los tipos de efectos que ocurrirán y la gravedad de los mismos. Estos factores incluyen la dosis (qué cantidad), la duración (cuánto tiempo), la ruta o vía de exposición (respiración, ingestión o contacto con la piel), las otras sustancias químicas a las cuales están expuestos y sus características individuales como edad, sexo, estado nutricional, características familiares, estilo de vida y estado de salud.

¿Qué son los HAP's?

Los HAP's son una familia de hidrocarburos cuyas estructuras se caracterizan por la fusión de dos o más anillos de benceno. Están presentes en el medio ambiente en el aire (aerosoles), en el agua y en el suelo (Sbarato et. al, 2017). Constituyen un vasto grupo de contaminantes ambientales formados primordialmente por la combustión incompleta de la materia orgánica (Masala et. al, 2016). Los compuestos orgánicos se generan de forma natural en las erupciones volcánicas, por emisiones directas de las plantas y en incendios forestales. De

acuerdo con Borrás (2013), algunas fuentes antropogénicas incluyen la combustión incompleta de combustibles fósiles, emisiones de vehículos diésel, las actividades de la calefacción doméstica e industrial, las quemas de incineradoras, y el humo del tabaco. (Borrás, 2013)

Estudios preliminares sugieren que la exposición a partículas con contenido de HAP's se asocia con daño oxidativo celular. Los HAP's pueden llegar al cerebro y agravar eventos relacionados con padecimientos como Alzheimer y Parkinson. Los HAP's y sus derivados, determinan en gran medida la potencia tóxica del material particulado (Quijano 2015) y aquellos que son carcinógenos en animales han sido clasificados como potencialmente carcinógenos para humanos por la IARC. (Ahmed et. al, 2015)

La contaminación del ambiente a causa de los HAP's asociados al material particulado es un problema mundial que ha traído consecuencias adversas a la salud de índole carcinógenos, mutagénicos y tóxicos; donde en estudios realizados se ha comprobado que los promedios de concentraciones de contaminantes en el aire exceden los límites de las instituciones que regulan estos problemas como el caso de Taiyuan, China (Li et. al, 2016), donde se aprecian valores promedios de concentración diaria para $PM_{2.5}$ mayores a los establecidos en la National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) de China ($75 \mu g/m^3$), esto sin descartar el límite máximo permisible que la USEPA da como referencia para concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ ($35 \mu g/m^3$).

Existe más información disponible sobre los siguientes HAP's: acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[e]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[g,h,i]perileno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, fluoranteno, fluoreno, indeno[1,2,3-c,d]pireno, fenantreno, y pireno, porque se sospecha que son más dañinos que otros y exhiben efectos nocivos que son representativos de los HAP's; además existe una mayor posibilidad de que la población esté más expuesta a éstos que a otros, debido a que en estudios realizados y de todos los HAP's analizados, éstos fueron los que se identificaron como los que tenían las mayores concentraciones presentes en los sitios de desechos peligrosos de la Lista de Prioridades Nacionales (NPL) de la USEPA. (ATSDR, 2016)

1.1.5 Hongos, Bacterias y $PM_{2.5}$

Existen otras partículas de origen biológico que al ser inhaladas causan daños a la salud, por ejemplo: bacterias, protozoarios, virus, hongos, entre otros. De los hongos, bacterias y su acción combinada con el material particulado de origen químico nos ocuparemos en esta

investigación, ya que se ha dado relativamente poca importancia a este tipo de organismos y su papel como alérgenos y patógenos potenciales que afectan a la población.

El aire contiene en suspensión diferentes tipos de microorganismos, especialmente bacterias y hongos. La presencia de uno u otro tipo depende del origen, de la dirección e intensidad de las corrientes de aire y de la supervivencia del microorganismo. Algunos microorganismos, incluidos bacterias, virus y hongos, son capaces de viajar grandes distancias sin perder viabilidad. (De la Rosa et. al, 2002)

1.1.5.1 Hongos

Un hongo es un organismo eucariota que pertenece al reino Fungí. Los hongos forman un grupo polifilético (no existe un antepasado común a todos los miembros) y son parásitos o viven sobre materias orgánicas en descomposición. (Pérez & Gardey, 2014)

Por su tamaño, las esporas de hongos están dentro de la fracción de PM_{2.5} y son consideradas como bioaerosoles esto es, partículas de origen biológico que están en el aire y que por su composición pueden causar alergia, toxicidad o infección en individuos susceptibles (Eggleston , 2009) .Estas esporas son producidas por colonias de hongos asociadas a diversas fuentes, por ejemplo, las plantas, la materia orgánica en descomposición y superficies diversas, entre ellas las lonas y plásticos que cubren los puestos ambulantes y semifijos que están alrededor de las estaciones de transporte urbano, situación que puede ocasionar malestar en la nariz, irritación en los ojos y en la piel, probablemente provocada por la presencia de estructuras fúngicas en el aire.

Una gran cantidad de esporas de hongos microscópicos están presentes en la atmósfera de muchas zonas de todo el mundo; no obstante, se pueden observar diferencias cualitativas y cuantitativas, de acuerdo con la hora del día, la temporada, la meteorología y la zona geográfica. Más de 100 especies de hongos han sido reportados como causantes de graves infecciones humanas y animales como queratitis, micosis cutáneas, en mucosas y sistémicas; que comprometen todo el organismo. (Oliveira et. al, 2009)

Los géneros más comunes son *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, que han sido reportados como productores de alergias, asma, conjuntivitis y diversos padecimientos de la piel. Hay otros hongos un poco más peligrosos como *Aspergillus*, que puede causar enfermedades invasivas en pacientes con el sistema inmune debilitado. De todos los trastornos mencionados las reacciones alérgicas son más comunes, y en los últimos 20 a 30 años se ha elevado

considerablemente el número de pacientes con reacciones de hipersensibilidad. (Jung et. al , 2009)

Los hongos, independientemente si están vivos o muertos, tienen en su superficie moléculas proteicas o glucoproteicas que inducen la producción de anticuerpos, especialmente inmunoglobulina E (IgE), por lo que pueden presentarse reacciones de hipersensibilidad tipo I, en un tiempo tan corto como 15 minutos después de haber inhalado las esporas, esto en personas que han tenido contacto previo con estas estructuras y son sensibles a ellas. (Romero et. al , 2007)

En zonas urbanas, la dispersión de los hongos también puede deberse a la turbulencia que generan los coches y los autobuses, aumentando el tiempo que se encuentren en suspensión en la atmósfera. Para conocer el tipo y la cantidad de esporas fúngicas presentes en el aire, pueden utilizarse varias técnicas de captura y muestreo, ya sea el impacto directo sobre medios nutritivos para que las esporas germinen, trampas o captar el material biológico del aire en un líquido para posteriormente usar biología molecular para conocer los géneros y especies que son más comunes en el aire. (Castellanos et. al , 2007)

El tamaño de las esporas de hongos puede variar de 2 a 500 μm , aunque lo común es que sean menores de 20 μm . Los principales hongos causantes de alergia son *Alternaria* y *Cladosporium* siendo los niños los más frecuentemente implicados. En tiempos recientes se ha dado una gran importancia al tratamiento de enfermedades alérgicas, que han alcanzado una relevancia tal que son consideradas como problemas de salud pública. Este tipo de problemas son causados en una proporción importante por la presencia de esporas fúngicas en el aire. Se considera que las esporas de hongos son la tercera causa más frecuente de patología alérgica después de los ácaros y los pólenes. Las esporas representan el grupo más numeroso dentro de la variedad de microorganismos presentes en la atmósfera, contándose hasta cientos de miles en el aire, siendo incluso más numerosas que los granos de polen. (Rocha et. al , 2013)

En la Tabla 3 se encuentran las enfermedades fúngicas transmitidas por el aire. Ciertos hongos levaduriformes (*Cryptococcus*, *Coccidioides*, *Blastomyces*, *Histoplasma*) son responsables de enfermedades pulmonares, desde donde pueden invadir otros tejidos y producir una enfermedad sistémica. Las esporas de varios mohos causan reacciones de hipersensibilidad que puede ser inmediata produciendo alergias que afectan al aparato respiratorio superior causando rinitis y asma, producida por partículas de 30 μm como las esporas de *Puccinia*,

Alternaria y Cladosporium. Las reacciones de hipersensibilidad retardada afectan al aparato respiratorio inferior produciendo alveolitis y neumonitis, debido a partículas menores de 5µm, principalmente esporas de Aspergillus y Penicillium; o bacterias como los actinomicetos termófilos. (De la Rosa et. al, 2002)

Tabla 3. Enfermedades fúngicas transmitidas por el aire

Enfermedades	Hongos
Neumonías	Pneumocystis carinii
Micosis sistémicas	Cryptococcus neoformans Blastomyces dermatitidis Histoplasma capsulatum Coccidioides immitis Aspergillus fumigatus
Hipersensibilidad	Alternaria Botrytis Aspergillus Puccinia Penicillium Serpula Cladosporium Muco
Micotoxicosis	Aspergillus Fusarium Stachybotrys

1.1.5.2 Bacterias

Una bacteria puede definirse como un microorganismo procariota, las células procariotas son las que no tienen un núcleo bien definido, por lo que el material genético o ADN se encuentra de forma libre por el citoplasma. (Verger, 2017)

Las bacterias son organismos microscópicos unicelulares. Se encuentran entre las formas de vida más antiguas conocidas en el planeta. Hay miles de tipos de bacterias diferentes y pueden vivir en todos los medios y ambientes imaginables, en cualquier parte del mundo. Viven en el suelo, en el agua del mar y en las profundidades de la corteza terrestre. Se ha podido

comprobar que ciertas bacterias pueden vivir, incluso, en los desechos radiactivos. Muchas bacterias viven en los cuerpos de personas y animales, en la piel y en las vías respiratorias, la boca, los tractos digestivo, reproductivo y urinario, sin causar ningún daño.

Solo unos pocos tipos de bacterias causan enfermedades, son las conocidas con el nombre de patógenos. A veces, las bacterias que por lo general viven en el cuerpo de forma inocua provocan enfermedades. Las bacterias causan enfermedades mediante la producción de sustancias nocivas (toxinas), la invasión de tejidos o ambas cosas. Algunas bacterias pueden desencadenar una inflamación que puede afectar el corazón, el sistema nervioso, los riñones o el tubo digestivo. Algunas bacterias como *Helicobacter pylori* aumentan el riesgo de cáncer. (Bush & Schmidt, 2018)

Las bacterias se clasifican de varias maneras:

- **Nombres científicos:** las bacterias, al igual que otros seres vivos, se clasifican por género (basado en la existencia de una o varias características comunes) y, dentro del género, por especie. Su nombre científico se compone del nombre del género seguido por el de la especie a la que pertenecen (por ejemplo, *Clostridium botulinum*). Dentro de una especie, puede haber diferentes tipos, denominados cepas. Las cepas difieren en su composición genética y en sus componentes químicos. En ocasiones, ciertos medicamentos y vacunas solo son efectivos frente a determinadas cepas.
- **Tinción:** las bacterias pueden ser clasificadas por el color que adquieren después de que se les apliquen ciertos productos químicos (tinciones). La tinción de Gram es un proceso de tinción comúnmente utilizado. Algunas bacterias se tiñen de azul, por lo que se denominan grampositivas. Otras se tiñen de color rojo son las gramnegativas. Las bacterias grampositivas y las gramnegativas se tiñen de forma distinta porque sus paredes celulares son diferentes. También causan diferentes tipos de infecciones, y hay distintos tipos de antibióticos eficaces contra ellas.
- **Formas:** todas las bacterias se pueden clasificar en una de las tres formas básicas: esferas (cocos), bastones (bacilos) y espirales o hélices (espiroquetas).
- **Necesidad de oxígeno:** las bacterias también se clasifican en dos grupos, según si necesitan oxígeno para vivir y crecer o no les es necesario. Las que necesitan oxígeno se denominan aerobias, y las que tienen problemas para vivir o crecer en presencia de oxígeno se denominan anaerobias. Algunas bacterias, llamadas bacterias facultativas, pueden vivir y crecer con o sin oxígeno.

- **Composición genética:** Pruebas especializadas que permiten determinar diferencias en la composición genética (genotipo) de las bacterias.

Existen numerosas enfermedades bacterianas transmitidas por el aire, que se resumen en la Tabla 4; están producidas, principalmente, por bacterias Grampositivas debido a su mayor supervivencia en el aire. Afectan al tracto respiratorio superior (faringitis, epiglotitis, difteria) e inferior (bronquitis, neumonías, tosferina, tuberculosis) o, desde éste ingresan a la sangre y otros órganos (meningitis, carbunco pulmonar, fiebre Q, peste). (De la Rosa, 2002)

Tabla 4. Enfermedades bacterianas transmitidas por el aire

Enfermedades	Géneros y especies
Amigdalitis, faringitis, bronquitis, escarlatina	Streptococcus pyogenes
Difteria	Corynebacterium diphtheriae
Neumonía clásica	Streptococcus pneumoniae Staphylococcus aureus Klebsiella pneumoniae
Neumonía atípica, bronquitis	Mycoplasma pneumoniae Chlamydomphila pneumoniae Chlamydomphila psittaci
Meningitis	Neisseria meningitidis
Meningitis, piglottitis, neumonía	Haemophilus influenzae
Tosferina	Bordetella pertussis
Tuberculosis	Mycobacterium tuberculosis
Legionelosis	Legionella pneumophila
Actinomicosis	Actinomyces israelii
Nocardiosis	Nocardia asteroides
Fiebre Q	Coxiella burnetii
Carbunco pulmonar	Bacillus anthracis
Peste	Yersinia pestis

La supervivencia de las bacterias es variable, debido a su diversidad estructural y metabólica. En general, las bacterias Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas ya que su pared celular es más gruesa. En aire seco algunas especies de Bacillus y Clostridium son

capaces de sobrevivir más de 200 años, Mycobacterium un mes y Salmonella sólo diez minutos. (De la Rosa, 2002)

1.2 Monitoreo atmosférico

Se define como monitoreo atmosférico a todas las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado. (Inche, 2004)

El monitoreo atmosférico genera una base de datos y con estos resultados que se obtienen aporta información que es de vital importancia, porque con ésta se pueden llevar a cabo estudios que ayudan a conocer la calidad del aire u otras actividades relacionadas.

1.2.1 Muestreo

Muestreo es seleccionar un subconjunto de casos o individuos de una población. Una muestra estadística se obtiene con la intención de inferir las propiedades de la totalidad de la población, por lo que la muestra debe ser representativa. Para cumplir con esta característica, la inclusión de sujetos en la muestra debe seguir una técnica de muestreo. En tales casos, puede obtenerse una información similar a la de un estudio exhaustivo con mayor rapidez y menor costo.

En lo que a calidad del aire se refiere, el muestreo se define como la medición de la contaminación del aire por medio de la toma de muestras, de forma discontinua. La frase célebre de Deming W. E. (1900-1993), presenta la importancia de este: “El muestreo no es una simple sustitución de una cobertura total por una parcial. El muestreo es la ciencia y arte de controlar y medir la confiabilidad de la información estadística útil a través de la teoría de la probabilidad” (INECC, 2009)

Puntos para definirse en el monitoreo:

a) Definición de objetivos

Entre los objetivos más usuales encontramos los siguientes:

- Determinar la congruencia con las normas y los criterios legales
- Establecer los efectos en la población y en el ambiente
- Informar al público acerca de la calidad del aire
- Proporcionar información de fuentes y riesgos de contaminación
- Llevar a cabo evaluaciones de tendencias a largo plazo
- Medir los efectos de las medidas de control en la calidad del aire

- Estudiar las reacciones químicas de los contaminantes en la atmósfera
- Calibrar y evaluar modelos de dispersión de contaminantes en la atmósfera

También se tendrá que tomar en cuenta el área de influencia, ya que todos estos objetivos de monitoreo determinarán áreas o localidades delimitadas en donde se llevarán a cabo los estudios agrupándose en:

- Muestreos de un área o región determinada (población, vegetación, materiales).
- Muestreos de la contaminación causada por fuentes emisoras: fijas o móviles.
- Muestreos específicos, generalmente relacionados con personas.

b) Definición del número y los sitios de muestreo

Teniendo definidos los objetivos del monitoreo, delimitadas las localidades o áreas de estudio y los parámetros que se necesitan monitorear se tomará como meta la organización temporal y distribución espacial de los puntos de monitoreo o de colección de muestras dentro del área de estudio, de manera que sean representativas de la calidad del aire de un lugar determinado para poder compararlos con estándares de calidad del aire, valores límites, normas, entre otros análisis.

c) Localización de los sitios de muestreo

Existen diferentes procedimientos de selección de los lugares en donde se deben de instalar los sitios de muestreo, que van desde la elaboración de una cuadrícula del área a monitorear, hasta el uso de complejos modelos estadísticos que nos proporcionan el número y distribución óptima de las estaciones, pero que dependen estrechamente de la muestra o sea de la cantidad de mediciones que se llevaron a cabo para establecer el modelo.

Para elegir estas localizaciones se deberá tomar en cuenta una variedad de consideraciones como tipo de emisiones, fuentes de emisión, los factores topográficos y meteorológicos, información de la calidad del aire, modelos de simulación y otros factores como uso de suelo, demografía, salud pública, entre otros.

d) Densidad o número de puntos de muestreo requeridos

La densidad de los puntos de muestreo indica el número de sitios de muestreo por zona dentro de una misma área. En el caso de que se establezcan varios sitios de muestreo o de monitoreo, su número se incrementará en las zonas en las que se alcancen o excedan los valores permisibles, a mayores valores y variaciones de calidad de aire dentro de la misma zona, más

sitios de muestreo se requerirán. También se requerirán más número de puntos de muestreo cuando se tengan tiempos de muestreo cortos y cuando las mediciones sean menos frecuentes, esto es a menor frecuencia mayor número de sitios de muestreo. En la Tabla 5 se indica en promedio sugerido de estaciones de muestreo para analizar la calidad del aire en un sitio de estudio urbano, tomando en cuenta el número de población con que cuenta el mismo.

Tabla 5. Promedio sugerido de estaciones de muestreo de la calidad de aire en zonas urbanas de una población determinada. (Inche, 2004)

Población (millones)	Parámetros de monitoreo					
	Partículas	SO ₂	NO	oxidantes	CO	Parámetros meteorológicos
< de 1	2	2	1	1	1	1
1-4	5	5	2	2	2	2
4-8	8	8	4	3	4	2
Más de 8	10	10	5	4	5	3

e) Requerimientos del sitio de muestreo

Teniendo definidas las localidades o áreas donde se van a llevar a cabo los muestreos, se dividen éstas en zonas y se señala el número de los sitios de muestreo requeridos en cada zona a ser monitoreada. Se deberá tomar en cuenta, al seleccionar la ubicación de los sitios de muestreo y principalmente cuando se pretendan instalar muestreadores activos o automáticos, algunas consideraciones prácticas que necesitan tener estos sitios, como son las siguientes:

- Fácil acceso
- Seguridad contra vandalismo
- Libre de obstáculos
- Infraestructura

Algunas de las recomendaciones que se fijan en los manuales de los diferentes organismos, se presentan a continuación:

- Para asegurar un flujo lo más libre posible, se deben evitar árboles y edificios en un área de 10 m. alrededor del sitio de muestreo y no tomar muestras en las superficies laterales de los edificios.

- Para minimizar los efectos de las fuentes locales, se recomienda instalar la estación de monitoreo a una distancia de por lo menos 20 metros de cualquier fuente industrial, doméstica o de carreteras con alto tráfico vehicular.
- La entrada al muestreador debe estar entre 2 a 15 sobre el nivel del piso. Una altura de 1.5 m. se utiliza para estimar exposiciones potenciales del ser humano a situaciones de gran carga de tráfico vehicular. Sin embargo, para evitar el vandalismo en algunos sitios de monitoreo, se prefiere instalar la toma de muestra a una altura de 2.5 m.
- Para medir los parámetros meteorológicos se recomienda instalar los instrumentos a una altura mínima de 10 m. sobre el nivel del suelo, y tomar mediciones a diferentes alturas con el objeto de obtener gradientes térmicos.

f) Determinación de tiempos de muestreo

La determinación de los tiempos de muestreo dependerá del tipo de programa que se pretenda llevar a cabo. Lo primero que se tendrá que definir para cualquier tipo de programa de monitoreo, ya sea de muestreo continuo o discontinuo, será la duración de este. La frecuencia de muestreo y el tiempo de toma de muestra se determinarán para programas discontinuos en función de los objetivos de monitoreo y de la calidad de los datos que se requiera para cumplir con estos objetivos.

- **Frecuencia.** El término frecuencia de muestreo indica el número de muestras que se tomarán o llevarán a cabo en un intervalo de tiempo, en un punto de muestreo o en un área de muestreo, y se aplica en programas de muestreo discontinuos. Este factor es de gran importancia puesto que los valores de calidad del aire dependen en gran parte de variaciones temporales: condiciones climáticas y cambios estacionales. Por lo que se recomienda establecer una frecuencia de muestreo que tome en consideración todos estos cambios de manera que el programa de monitoreo sea representativo de lo que ocurre en la zona de estudio.
- **Tiempo de Toma de Muestra.** El tiempo de toma de muestra de una lectura individual en mediciones discontinuas, corresponde al período de tiempo en que se lleva a cabo la determinación de concentraciones de los contaminantes.

1.2.2 Muestreo activo

La medición de contaminantes atmosféricos se puede lograr a través de diversos métodos que tienen diferentes principios de medición, como son: muestreo pasivo, muestreo con

Bioindicadores, muestreo activo, método automático, método óptico de percepción remota. En la Figura 2 se muestran ejemplos de un equipo de muestreo activo y de los filtros que se utiliza para obtener la muestra y posteriormente analizarla.



Figura 2. Ejemplos de equipo de muestreo activo y sus filtros (Tecora, 2003)

El método de muestreo activo requiere de energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba que succiona el aire a muestrear a través de un medio de colección físico o químico. El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse

mediciones diarias promedio. Los muestreadores activos se clasifican en burbujeadores (gases) e impactadores (partículas); dentro estos últimos, los más utilizados actualmente son el muestreador de alto volumen “HighVol” y de Bajo volumen “LowVol”; para Partículas Suspensas Totales (PST), PM_{10} y $PM_{2.5}$.

El muestreo activo tiene como ventajas que es fácil de operar, muy confiable y es de costo relativamente bajo. Las desventajas que presenta es que no se aprecian los valores mínimos y máximos durante el día, sólo promedios generalmente de 24 horas.

Por lo general un muestreador activo utiliza filtros para la recolección de partículas, que se utilizan en el equipo de muestreo, pueden ser de materiales variados, como son fibra de vidrio, nucleopore, cuarzo, entre otros materiales.

1.2.3 Red de monitoreo atmosférico en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca

Las actividades de monitoreo atmosférico en la ciudad de Toluca inician en el año de 1975, mediante una red manual para PST. En 1987 con ayuda de la Facultad de Química de la UAEM, se incorporan las mediciones de óxidos de nitrógeno y bióxido de azufre por vía húmeda en 3 de las 5 estaciones que se tenían establecidas.

En 1992, el Gobierno del Estado de México adquiere los componentes para la instalación de la RAMAT, misma que inició operaciones en 1993 y desde entonces es administrada por la Secretaría de Medio Ambiente del gobierno del estado.

A principios del año 2010, la RAMAT de la ZMVT fue renovada en su totalidad. Además, una estación de monitoreo fue reubicada (Toluca-Centro) y se instaló una nueva estación: Ceboruco. (RAMAT 2019). Para el 2020 se tienen en funcionamiento dos estaciones más: Xonacatlán y Almoloya de Juárez. (RAMAT, 2020)

La red de monitoreo atmosférico surge como un programa de vigilancia atmosférica vinculado con los siguientes objetivos:

- Evaluar la calidad del aire en una zona establecida, mediante la generación de indicadores de la calidad del aire.
- Crear las medidas necesarias para controlar la contaminación.
- Observar la tendencia de los contaminantes a lo largo del tiempo.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire y brindar información en caso de situaciones de alerta, alarma y emergencia.

- Obtener una base de datos para planear la distribución del suelo y del transporte.
- Conocer el impacto que ejercen ciertos contaminantes sobre la población.
- Proporcionar datos para el desarrollo y la validación de modelos.
- Desarrollar estrategias de control para prevenir problemas por contaminación, o bien, eliminarlos.

Estaciones de monitoreo de la RAMAT

Las estaciones de monitoreo atmosférico son recintos metálicos climatizados, que albergan en su interior los equipos analizadores automáticos, además de contar con una torre meteorológica, donde están instalados los sensores, cuenta con energía eléctrica regulada, su sistema de adquisición de datos está basado en plataforma PC y una topología de red LAN interna y comunicación con el Centro de Control TCP/IP. (RAMAT, 2019). En la Figura 3 se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de la RAMAT. (RAMAT, 2020)

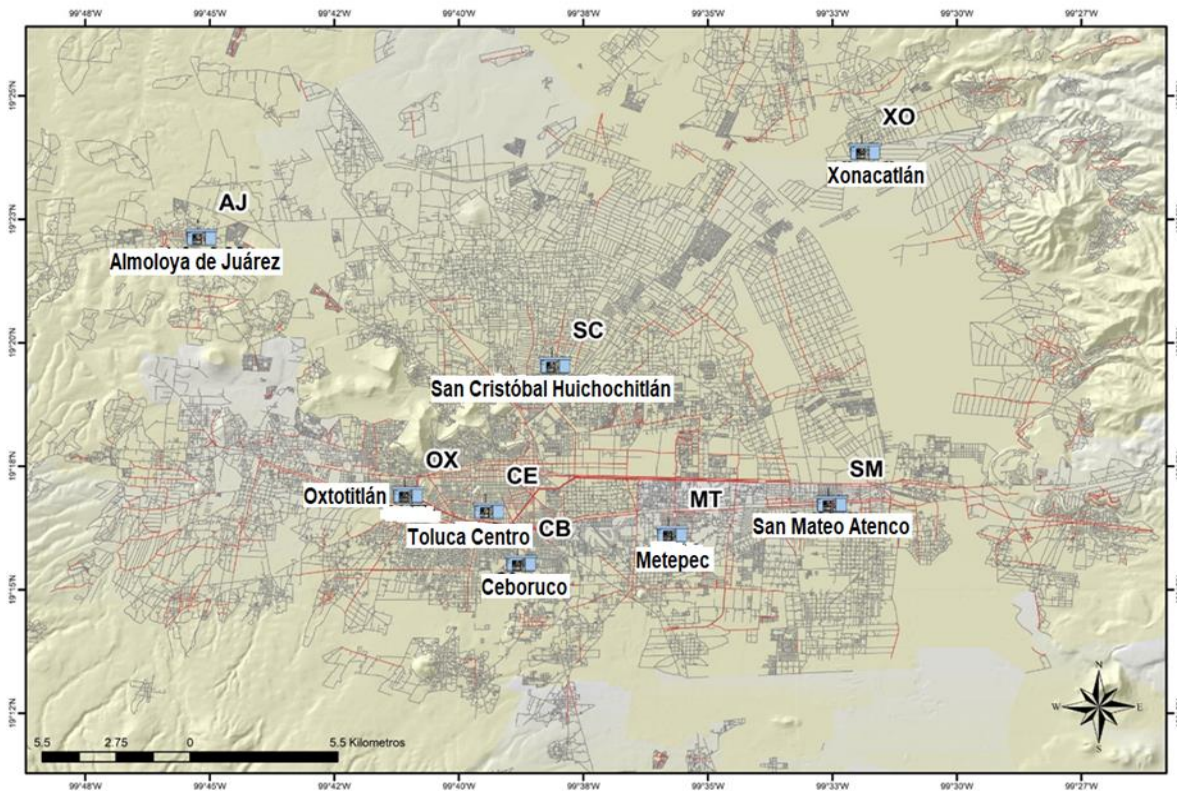


Figura 3. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la RAMAT: Almoloya de Juárez (AJ), Nueva Oxtotitlán (NO), Centro (CE), Ceboruco (CB), San Cristóbal H (SC), San Mateo A. (SM) y Metepec (MT)

1.2.4 Control y aseguramiento de la calidad del monitoreo atmosférico

Para que una red de monitoreo proporcione datos confiables y representativos se consideran los siguientes aspectos:

- a) **Zona de estudio.** Lugar geográfico donde se desarrollará el estudio. Deben tomarse en cuenta los objetivos del programa y considerar la topografía del sitio junto con las variables del clima.
- b) **Clima.** El clima es un factor que va a determinar la selección del sitio de muestreo. Los factores del clima más significativos son: presión, temperatura, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento.
- c) **Selección del sitio de muestreo.** De acuerdo con lo especificado por la EPA, los sitios de muestreo deben:
 - Ser representativos del área donde se ubican.
 - Proporcionar datos comparables con el resto de los equipos de monitoreo.
 - Tener un tiempo de vida útil largo.
 - Ser accesibles permanentemente.
 - Contar con suministros de energía eléctrica seguros.
 - Ser capaces de resistir condiciones extremas.
 - Estar protegidos contra actos de vandalismo.
- d) **Inventario de emisiones.** El inventario de emisiones enumera todas las fuentes de emisión que existen en la zona de estudio y define el tipo de contaminante, número y tamaño de cada una de ellas.
- e) **Manejo y reporte de datos.** Los datos deberán ser validados y se debe contar con un número mínimo de ellos por periodo de tiempo para que la información se considere veraz.
- f) **Métodos de análisis para los contaminantes.** Se cuenta con metodologías oficiales establecidas como estándares para la medición y análisis de los contaminantes considerados como criterio a nivel internacional. Estos contaminantes son: Bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono, hidrocarburos no metano y material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$). Las metodologías para el caso de México se encuentran como NOM.
- g) **Número mínimo de estaciones.** El número promedio de estaciones de monitoreo que deben considerarse para los programas de vigilancia de la calidad del aire en zonas urbanas e industriales de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud va

de 2 a 10, dependiendo del tamaño de la población. Para la ZMVT, en la que radican 2 millones 347 mil 692 personas al año 2019 (COESPO, 2019), el número mínimo de estaciones es cinco. La RAMAT cuenta con ocho estaciones.

- h) Normas de la calidad del aire.** En México han establecido normas de calidad del aire que fijan los valores máximos permisibles de concentración de contaminantes, con el propósito de proteger la salud de la población en general y de grupos con mayor susceptibilidad. Las normas de calidad del aire son publicadas por la Secretaría de Salud en el Diario Oficial de la Federación. En la Tabla 6 se presentan las NOM para los contaminantes criterio.

Tabla 6. Normatividad Mexicana para contaminantes criterio y su valor límite permisible para sus concentraciones en el aire ambiente. (SEGOB, 2014), (RAMAT, 2019)

Contaminante	Norma	Valor máximo	Valor máximo
Ozono (O₃)	NOM-020-SSA1-2014	0.095 ppm	0.070 ppm
		Promedio	Promedio móvil
		de 1 hora	de 8 hrs. Tomado como el máximo en un periodo de 1 año.
Monóxido de Carbono (CO)	NOM-021-SSA1-1993	11 ppm o 12, 595 µg/m³	1 vez al año
		Promedio móvil	
		de 8 hrs.	
Dióxido de Azufre (SO₂)	NOM-022-SSA1-2010	0.11 ppm o 288 µg/m³	0.025 ppm o 66 µg/m³
		Promedio	
		de 24 hrs. 1 vez al año	
Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	NOM-023-SSA1-1993	0.21 ppm o 395 µg/m³	1 vez al año
		Promedio de 1 hr.	
Partículas Suspendidas Totales (PST)	NOM-024-SSA1-1993	260 µg/m³	75 µg/m³
		Promedio	
		de 24 hrs.	
Partículas Suspendidas PM₁₀	NOM-025-SSA1-2014	75 µg/m³	40 µg/m³
		Promedio	
		de 24 hrs.	
Partículas Suspendidas PM_{2.5}	NOM-025-SSA1-2014	45 µg/m³	12 µg/m³
		Promedio	
		de 24 hrs.	
Plomo (Pb)	NOM-026-SSA1-1993	1.5 µg/m³	
		En un periodo	
		de 3 meses promedio	

1.3 Análisis

El análisis de muestras ambientales es indispensable para una correcta interpretación del estudio de la contaminación atmosférica. Las muestras obtenidas en el monitoreo de partículas suspendidas $PM_{2.5}$, en los filtros utilizados son sometidas a diferentes análisis.

Para lograr un análisis satisfactorio es fundamental emplear la técnica analítica más adecuada para cada tipo de muestra y para el estudio que se determine realizar; a continuación, se presentan los análisis a los que son sometidas las muestras de $PM_{2.5}$, en este proyecto de investigación.

1.3.1 Análisis de Masa Gravimétrica Fina

El análisis de MGF de las partículas suspendidas en la atmósfera, recogidas mediante filtración, es la técnica más usada para determinar las concentraciones ambientales de partículas en suspensión que se depositan en un filtro.

En los distintos laboratorios de investigación e instituciones gubernamentales del mundo, encargadas de estudios sobre contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$, la variable que principalmente es medida es la variable gravimétrica, es decir la cantidad de material atmosférico colectado en los filtros correspondientes.

El pesaje de las partículas en suspensión en los filtros es una aplicación de pesaje diferencial. Dado que la cantidad de partículas en suspensión recogida es muy pequeña en términos de peso, los filtros deben pesarse con mucha exactitud, tanto antes como después de la carga de partículas en suspensión (Toledo, 2019).

1.3.2 Análisis Morfológico

Para el análisis de la morfología de las partículas existe una técnica utilizada de MEB, esta es una técnica muy útil para la caracterización individual de partículas atmosféricas, mediante ella se obtiene la morfología, tamaño e incluso la composición química elemental superficial de cada partícula analizada. (Aragón et.al , 2000)

La posibilidad de observar muestras íntegras y en sus tres dimensiones mediante la microscopía electrónica, fue hecha realidad con la aparición del microscopio electrónico de scanning (SEM) o de barrido, en el año 1965.

Se requieren dos condiciones para analizar muestras en un MEB: que se encuentren libres de humedad y sean conductoras. En estos microscopios las muestras no conductoras (orgánicas,

biológicas, vidrios, polímeros) necesitan una cubierta metálica para lograr su observación, generalmente una cubierta de oro, o con carbono cuando se quiere realizar análisis químico por Espectroscopía de rayos X de energía dispersa (EDS). Por otro lado, las muestras conductoras pueden ser revisadas sin ningún tipo de cubierta. (Rosas, 2020)

El MEB es un instrumento que emite rayos catódicos mediante emisión termoiónica por el calentamiento de un filamento de tungsteno, de manera controlada (radiación β), estos electrones son acelerados por diferencia de potencial y constituyen un haz el cual bombardea las partículas analizadas a través de una columna de vacío, dotada de sistemas electrostáticos y electromagnéticos que lo concentran y le imprimen un movimiento de barrido electrónico, recorriendo punto por punto y, en forma lineal, un área determinada de la muestra.

El choque de los electrones primarios sobre la superficie de la muestra genera varias señales que son captadas por detectores especiales. Entre las señales generadas por la superficie del sólido impactado se encuentran electrones secundarios que son emitidos como resultado de la excitación atómica superficial, y su emisión está en concordancia con el relieve topográfico y la densidad de la partícula, por lo cual la imagen de electrones secundarios emitidos proporciona información sobre la textura, superficie y morfología de las partículas. Estos electrones secundarios son inducidos a un tubo intensificador de imagen, en sincronía con el barrido electrónico del haz primario, y luego las señales de imágenes se conducen a un monitor donde son amplificadas y pueden visualizarse.

El haz primario de electrones penetra a poca profundidad del interior de las partículas y al ser desviados, por los materiales que componen la muestra, originan una dispersión electrónica o retrodispersión que puede ser captada por detectores especiales, como el EDS, proporcionando una imagen de electrones retrodispersos que permiten conocer algunas características del interior de la muestra, como su composición elemental.

El EDS capta los fotones de alta energía que emite cada elemento al ser bombardeado con el haz primario. Este tipo de señal es específica para cada elemento de la superficie de la partícula y es captada por el detector del espectrómetro que la traduce en un pulso específico, el cual es conducido a un sistema de banco de datos de los diferentes elementos de la tabla periódica. Este sistema programado proporciona información gráfica del espectro de picos de energía correspondiente a cada uno de los elementos que contiene el área estudiada,

pudiendo también suministrar, de manera semicuantitativa, el porcentaje de cada uno de ellos en la partícula. (González, 2018)

Cuando el microscopio de barrido se acopla aun espectrómetro de energía dispersiva de rayos X, el sistema SEM-EDS formado proporciona información del tamaño, forma, textura, y de la composición elemental cualitativa y semicuantitativa de cada partícula atmosférica analizada. Conocer estas características individuales de las partículas puede contribuir a determinar la naturaleza de las mismas y adjudicar su fuente emisora. A través de técnicas de microscopía electrónica es posible comparar, de manera directa, las partículas minerales terrestres de origen natural con aquellas de origen antropogénico, lo cual no es posible o difícilmente realizable por otros métodos analíticos. (Aragón, 2000)

1.3.3 Análisis de Composición Química Elemental

El análisis de CQE es un proceso donde una muestra, recolectada del aire, suelo, agua u otro origen, es analizada para determinar el contenido total de compuestos elementales presentes en las muestras de naturaleza orgánica e inorgánica, tanto sólidas como líquidas.

El análisis de CQE puede ser cualitativo (determinando que elementos están presentes), o puede ser cuantitativo (determinado cuánto de cada compuesto está presente).

Las técnicas con haces de iones son de caracterización elemental, es decir, permiten discernir y cuantificar los elementos atómicos presentes en la muestra, la relación cuantitativa entre ellos y de esta forma la composición química.

El principio básico de funcionamiento de las técnicas con haces de iones es la aceleración de iones (átomos a los cuales se les ha extraído o agregado electrones, con lo cual se convierten en partículas cargadas susceptibles de experimentar una fuerza en presencia de un campo eléctrico) hasta energías de millones de electrón voltios (MeV) y en dirección a la muestra. Al alcanzar la muestra e interaccionar con ésta, se producen distintos fenómenos con la emisión de diversas partículas cuyas cantidades son contadas en detectores realizados a partir de materiales semiconductores como el silicio.

Actualmente existen diversas técnicas utilizadas para analizar la contaminación atmosférica; se describe a la técnica nuclear PIXE como una técnica para realizar análisis multielemental no destructivo de las de las partículas en suspensión en el aire tomadas en los filtros. (Díaz & Domínguez, 2008)

1.3.3.1 Fundamentos de la técnica PIXE

La Emisión de Rayos-X Inducidos por Partículas (PIXE) es una técnica ampliamente utilizada gracias a la baja intensidad de corriente necesaria, lo cual evita cualquier deterioro de la muestra, no se necesita ningún tratamiento previo de la muestra y se pueden llevar a cabo medidas en condiciones atmosféricas, es decir, se puede utilizar para grandes muestras.

PIXE permite la determinación multielemental en minutos de la muestra y presenta una altísima sensibilidad del orden de partes por millón en la mayoría de los casos, siendo ideal para la detección de elementos traza. Permite asimismo el análisis simultáneo de todos los elementos presentes en la muestra, excepto aquellos con número atómico menor que 11 (Na) y mayor que 82 (Pb); por motivos técnicos no los detecta.

Para la irradiación del material, se emplean normalmente protones (núcleos de hidrógeno) o partículas alfa (núcleos de helio) de 2 a 3 MeV.

Cuando los átomos de la muestra son bombardeados con los protones o las partículas alfa, los electrones de sus capas más internas son excitados y “suben” hasta las capas exteriores, dejando el sitio vacante y el átomo en un estado excitado. A continuación, el átomo excitado vuelve rápidamente a su estado fundamental o de más baja energía, mediante la transición de los electrones de las capas externas a las vacantes que habían quedado en las capas internas. Cada una de las transiciones posibles tiene una energía bien definida que depende de la distancia energética entre capas y de la especie elemental, de tal forma que cuando un electrón cae a una capa interna, libera un rayo X característico de la transición entre los niveles en que ha realizado el salto.

Un detector de un material semiconductor (silicio o germanio generalmente) cuenta el número de rayos X emitidos y a partir de allí es posible cuantificar la cantidad presente del elemento que posee diferencia de niveles energéticos correspondientes a la energía de los rayos X detectados. La Figura 4 presenta la Técnica de análisis PIXE explicado en tres pasos y la Figura 5 muestra un espectro característico de una muestra irradiada.

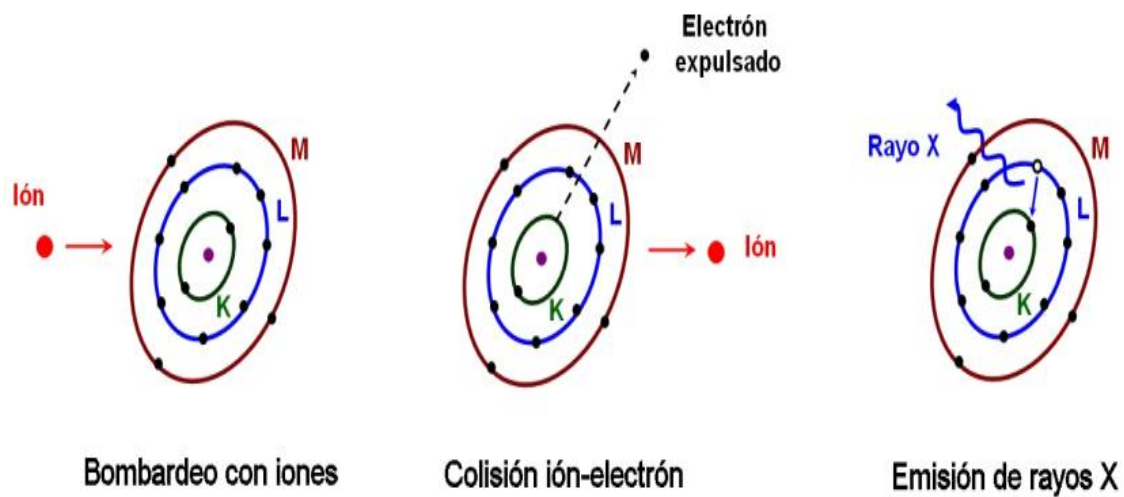


Figura 4. Técnica de análisis PIXE explicado en tres pasos. (Gómez, 2015)

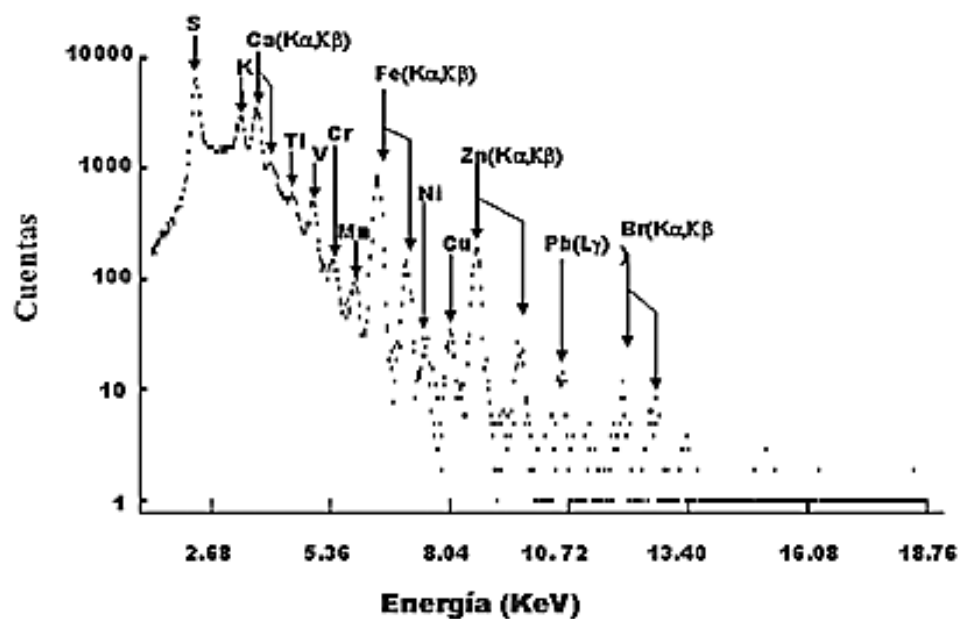


Figura 5. Espectro característico de Rayos X- (Díaz & Domínguez, 2008)

Con el espectro característico de rayos-X es posible determinar los elementos presentes en la muestra considerando la energía de la línea de los picos. La concentración de cada elemento también se determina a partir del espectro tomando en cuenta el área bajo la curva de cada elemento.

Los valores de las concentraciones elementales de cada muestra correspondiente a un cierto periodo de colección permiten configurar tablas de concentraciones (bases de datos), a partir de las cuales se realiza un análisis estadístico que incluye, por ejemplo, cálculo de regresiones, correlaciones, series de tiempo, estadística básica, análisis de factores y otros.

La interpretación adecuada de los resultados permite obtener conclusiones importantes sobre la contaminación del lugar, así como proponer el origen de las fuentes que producen los elementos contaminantes. (Díaz, 2007) y (Flores & Aldape, 2010)

1.3.3.2 Calibración del sistema PIXE

Los detectores de rayos X no entienden de energías, sólo de pulsos eléctricos, cada vez que les llega un rayo, lo convierten en una señal eléctrica de intensidad proporcional a la energía, lo que se llama canales. Se tiene que ver qué canal corresponde a qué energía, para lo cual se lleva a cabo una calibración a partir de distintos patrones de composición conocida (cobre, calcio, azufre, entre otros), y se identifica los distintos canales con sus energías, obteniendo una recta de calibración para cada detector.

Las muestras patrón se irradian previamente en condiciones experimentales idénticas a la irradiación de las muestras bajo estudio, con el fin de determinar el factor de respuesta del sistema para cada elemento. Este proceso determina la calibración del sistema PIXE y permite encontrar la curva de sensibilidad del mismo.

1.4 Componente Natural y Antropogénica

Para determinar la componente natural y antropogénica se obtiene el Factor de Enriquecimiento (FE), que se utiliza para diferenciar entre los elementos procedentes de las actividades humanas conocidos como de origen antropogénico y los originados de la corteza terrestre conocidos como de origen natural (R., 2004-2005),(Rojano et. al, 2014) y se determina considerando la siguiente expresión (Díaz & Domínguez, 2008):

$$FE(X) = \frac{\left(\frac{C_x}{C_r}\right)_{\text{aerosol}}}{\left(\frac{C_x}{C_r}\right)_{\text{corteza terrestre}}}$$

FE(X)= Elemento químico de interés

C_{x aerosol}= Concentración del elemento de interés en el aerosol

Cr_{aerosol} = Concentración del elemento de referencia en el aerosol

$Cx_{\text{corteza terrestre}}$ = Concentración del elemento de interés en la corteza terrestre

$Cr_{\text{corteza terrestre}}$ = Concentración del elemento de referencia en la corteza terrestre

En 1993 ajustaron la escala para considerar el factor de enriquecimiento de 0 a 10 como natural, de 10 a 500 enriquecido y un factor mayor de 500 altamente enriquecido. Los elementos con un factor mayor a 10 deben ser considerados antropogénicos. Esta metodología ha sido aplicada por Díaz & Domínguez (2008), en la Ciudad de México.

1.5 Riesgo

Una distinción que se hace necesaria al intentar comprender las múltiples definiciones de “riesgo” es la existente entre “riesgo” y “peligro”. Estos términos son utilizados como sinónimos en contextos en los que quizás puedan entenderse como tales. Sin embargo, no son lo mismo.

Se considera que al hablar de peligro nos estamos refiriendo básicamente a una fuente de daño. Se trata de un término que expresa el potencial de un agente ambiental para dañar la salud de ciertos individuos si el nivel de exposición es lo suficientemente alto o si otras condiciones se producen. A diferencia del riesgo que es la probabilidad cuantitativa de que un efecto a la salud ocurrirá después de que un individuo ha sido expuesto a una cantidad específica de un peligro. Es decir, el peligro es una cualidad de la fuente de daño; el riesgo es una probabilidad de dañarnos si entramos en contacto con esa fuente en determinadas circunstancias.

La distinción entre riesgo y peligro es particularmente importante en el área de la salud ambiental, donde se habla de peligros ambientales con efectos directos sobre la salud humana. Tal es el caso de los peligros biológicos, los químicos, los físicos, los biomecánicos y los psicosociales. Estos últimos son esenciales, pero por la naturaleza de los fenómenos psicológicos y sociales, su comprensión requiere de cierta especificidad. No es posible medir los efectos que para un individuo o una familia tiene un ambiente social desfavorable y disfuncional, de la misma manera en que se hace la medición de la exposición a agentes químicos, biológicos o físicos nocivos. (Echemendia, 2011)

a) Utilización del riesgo

El conocimiento y la información sobre los factores de riesgo tienen diversos objetivos (Pita et. al, 2002):

- **Predicción:** La presencia de un factor de riesgo significa un riesgo aumentado de presentar en un futuro una enfermedad, en comparación con personas no expuestas. En este sentido sirve como elemento para predecir la futura presencia de una enfermedad.
- **Causalidad:** La presencia de un factor de riesgo no es necesariamente causal. El aumento de incidencias de una enfermedad entre un grupo expuesto en relación a un grupo no expuesto se asume como factor de riesgo; esta asociación puede ser debida a una tercera variable. La presencia de esta o estas terceras variables se conocen como variables de confusión. Así por ejemplo el ejercicio físico se conoce como factor de protección asociado al infarto de miocardio. El efecto protector que pueda tener el ejercicio se debe controlar por la edad de los pacientes, ya que la edad está asociada con el infarto de miocardio en el sentido de que a más edad más riesgo. Por otra parte, la mayor dosis de ejercicio la realiza la gente más joven; por lo tanto, parte del efecto protector detectado entre el ejercicio y el infarto de miocardio está condicionado por la edad. La edad en este caso actúa como variable de confusión.
- **Diagnóstico:** La presencia de un factor de riesgo aumenta la probabilidad de que se presente una enfermedad. Este conocimiento se utiliza en el proceso diagnóstico ya que las pruebas diagnósticas tienen un valor predictivo positivo más elevado, en pacientes con mayor prevalencia de enfermedad. El conocimiento de los factores de riesgo se utiliza también para mejorar la eficiencia de los programas de cribaje, mediante la selección de subgrupos de pacientes con riesgo aumentado.
- **Prevención:** Si un factor de riesgo se conoce asociado con la presencia de una enfermedad, su eliminación reducirá la probabilidad de su presencia. Este es el objetivo de la prevención primaria. Así por ejemplo se relacionan la obesidad y la hipertensión, el hipercolesterolemia y la enfermedad coronaria, el tabaco y el cáncer de pulmón, entre otros.

b) Evaluación de riesgos

Evaluación de riesgos se refiere a la técnica para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo. El término análisis de riesgo se ha usado frecuentemente como un sinónimo de evaluación de riesgos. Debe de interpretarse que además de la evaluación, el análisis incluye los métodos para hacer un mejor uso de los resultados de la evaluación.

El análisis de riesgos es una técnica multidisciplinaria que utiliza conceptos desarrollados en varias ciencias en las que se incluyen a la toxicología, epidemiología, ingeniería, psicología,

higiene industrial, seguridad ocupacional, seguridad industrial, evaluación del impacto ambiental, etc. (Díaz, 2007)

La evaluación de riesgo tiene como meta estimar la severidad y probabilidad de que se produzca un daño para la salud humana y el ambiente por una actividad o exposición a una sustancia, que bajo circunstancias es probable que pueda causar daño a la salud humana o al ambiente. Se usan cuatro técnicas, aunque distintas, están muy relacionadas: evaluación de la fuente-mecanismo de emisión, evaluación de la exposición, evaluación de dosis-respuesta y caracterización del riesgo.

c) Comunicación de Riesgos

En esta fase los actores involucrados transfieren o intercambian información acerca de los niveles de riesgos para la salud o el ambiente, la importancia de esos riesgos, tipos de decisiones, acciones o políticas con que se cuenta para controlar o manejar los riesgos. El principal canal para la comunicación de riesgos son los medios de comunicación, los cuales han sido criticados por exagerar los riesgos y poner más énfasis en los dramas que en los datos científicos.

Estudios relacionados con los efectos en la salud por contaminación del Aire han sido publicados en diversas revistas nacionales e internacionales algunos de ellos son:

Díaz et al. (1994) realizaron un análisis de riesgo en un sitio que se ubica en el estado de San Luis Potosí y Villa de la Paz, Matehuala México. En Matehuala la contaminación del sitio afecta a la ciudad del mismo nombre que se ubica a una distancia 10.0 km de Villa de la Paz. El sitio es una típica área minera. El análisis se realiza para todas las vías de exposición.

Díaz et al. (2003) realiza una evaluación de Riesgo para la Salud en la Población expuesta a metales en Bolivia y considera para su estudio todas las vías de exposición. El trabajo consistió en una evaluación del riesgo en salud con capítulos de contaminación ambiental, estimación del riesgo, evaluación de rutas de exposición y análisis de biomarcadores de exposición en niños. Los resultados obtenidos demostraron contaminación ambiental por plomo y arsénico. Registrándose la mayor contaminación en suelo (arsénico), polvo (plomo) y agua (plomo). Sobre el trabajo en la zona metalúrgica de Vinto, la evaluación efectuada fue de tipo preliminar. Es decir, aunque se siguió la metodología de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), el análisis ambiental y la evaluación de biomarcadores tuvieron

una limitante: solo cuantifican a detalle las concentraciones de arsénico. Los resultados demuestran exposición al arsénico y potencial exposición al plomo. (Díaz et. al, 1997)

Díaz (2007) realiza la caracterización elemental de las partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros y su riesgo a la salud en la zona metropolitana de la Ciudad de México. Realizó una caracterización de las partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros, utilizando la técnica PIXE y mediante la combinación de un Sistema experto y un Sistema de Información Geográfica predijo y visualizó el daño a la salud en un sitio de la ZMCM.

2. MÉTODO

En la Figura 2.1 se muestra la metodología desarrollada para determinar las posibles fuentes de riesgo a la salud que provoca la inhalación de los elementos químicos presentes en las $PM_{2.5}$ junto con los HAP's, bacterias y hongos.

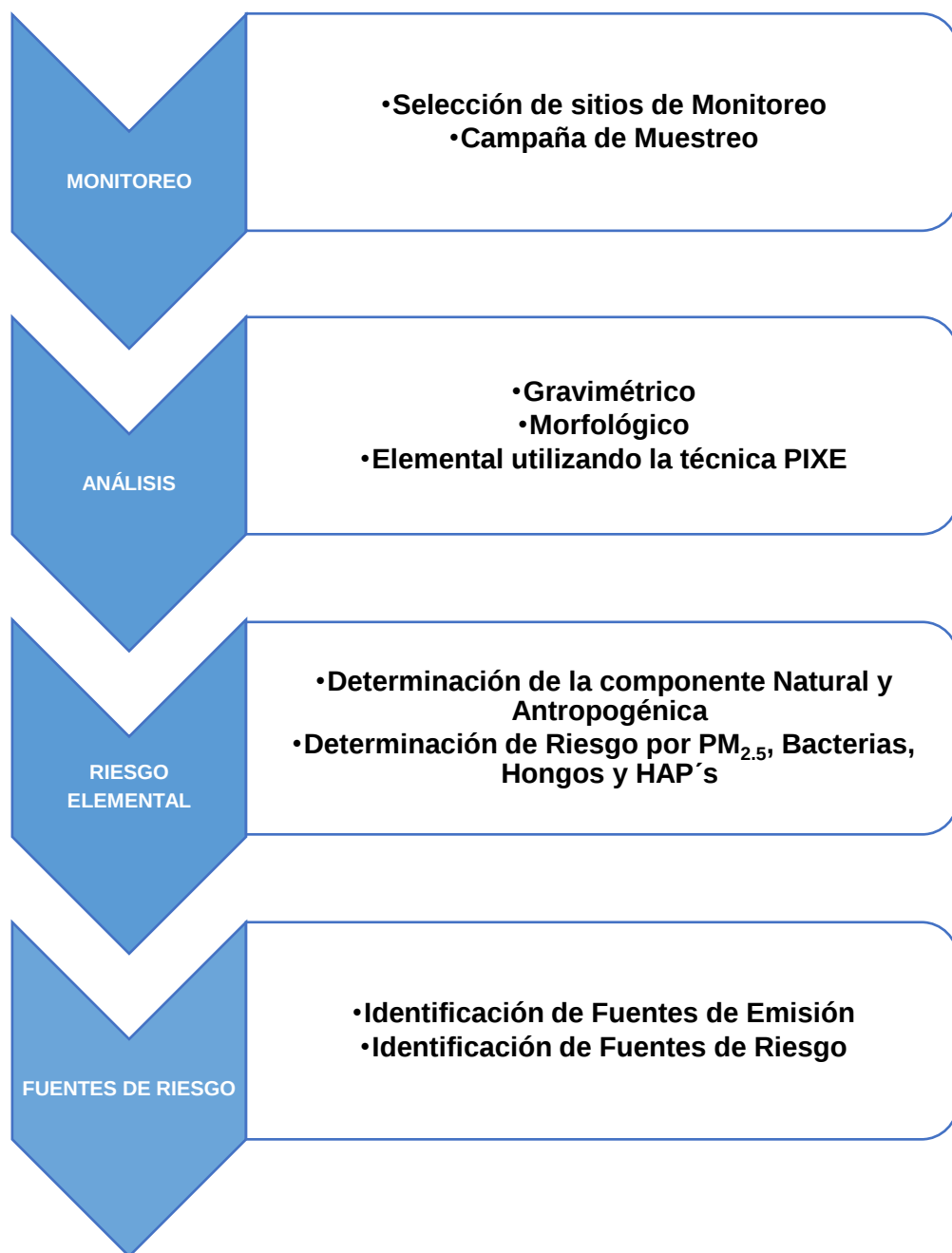


Figura 6. Metodología seguida en el trabajo

2.1 Monitoreo atmosférico

2.1.1 Selección de sitio de monitoreo

Para la selección del sitio de monitoreo se consideraron los códigos de referencia de la USEPA (USEPA, 2013). Dentro de los cuales se consideraron los siguientes criterios para ubicar el sitio de monitoreo:

- Ser representativas del área en donde se ubican
- Proporcionar datos comparables con las demás estaciones
- Ser útiles por lo menos durante todo el período de tiempo del estudio
- Ser accesibles permanentemente
- Contar con energía eléctrica segura
- Estar acondicionadas para resistir condiciones extremas de temperatura
- Libres de árboles y edificios (Se recomienda radio libre de 10 m. alrededor del sitio de muestreo)
- Se recomienda 20 m. de distancia del sitio de muestreo a fuentes de emisiones industriales, comerciales o móviles
- Altura de la toma de muestra de 2 a 15 metros.

Bajo estos criterios han sido seleccionados los siguientes sitios de monitoreo, tanto por la RAMAT (RAMAT, 2020), como por el grupo de esta investigación.

A continuación, en la Tabla 7 se presentan las características de la ZMVT. (SEMARNAT, 2009)

Tabla 7. Características de la ZMVT

ZMVT				
Clima	Temperatura media anual (°C)	Precipitación Media anual (mm)	Altitud (msnm)	Población Total
Templado	12 a 14	800-1,200	2,500-2,900	2,347,692

➤ Estación de Monitoreo # 5: San Mateo Atenco (SM).

La Figura 7 muestra la estación de Monitoreo #5, de la Zona Sur, se ubica en el municipio de San Mateo Atenco, en la dirección: Ave. Hacienda Tres Marías # 260 Colonia Santa Elena, San Mateo Atenco, Código Postal 52105, entre las calles de Hacienda de la Gavia y Niños Héroes (Dentro de las instalaciones del Tanque Elevado de OPDAPAS del Municipio).



Figura 7. Estación de monitoreo # 5: San Mateo Atenco (SM)

➤ **Estación de Monitoreo # 1: Nueva Oxtotitlán (NO)**

La estación de Monitoreo #1, de la Zona Centro se localiza en la dirección: Escuela Primaria “Carmen Serdán”, calle Lago Caimanero esq. Laguna de la Asunción, Col. Nueva Oxtotitlán, Toluca, Méx., mostrada en la Figura 8 y sus Coordenadas Geográficas son: Latitud Norte: 19° 17' 0.40", Longitud Oeste: 99° 41' 0.56".

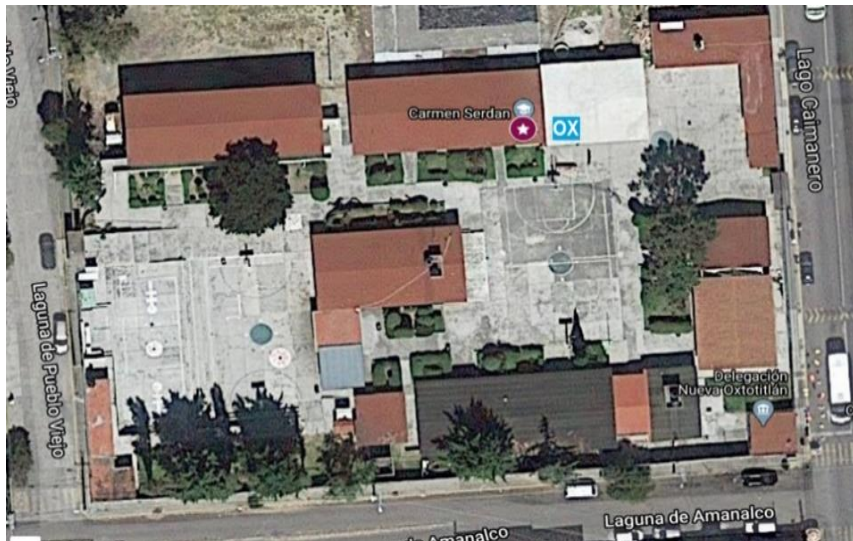


Figura 8. Estación de Monitoreo # 1: Nueva Oxtotitlán (NO)

➤ **Estación de Monitoreo # 4: Ceboruco (CB)**

La estación de Monitoreo #4, de la Zona Sur, se ubica en la dirección: Calle Ceboruco S/N, Colonia Azteca, Código Postal 50640, Toluca, México entre las calles de Heriberto Enríquez y José Antonio Albarrán (dentro de las instalaciones de la Preparatoria # 5 Ángel María Garibay

Kintana de la UAEM). Coordenadas Geográficas: Latitud Norte: 19° 15' 37.1'', Longitud Oeste: 99° 38' 44.6''. En la Figura 9 se puede apreciar la ubicación de esta estación.

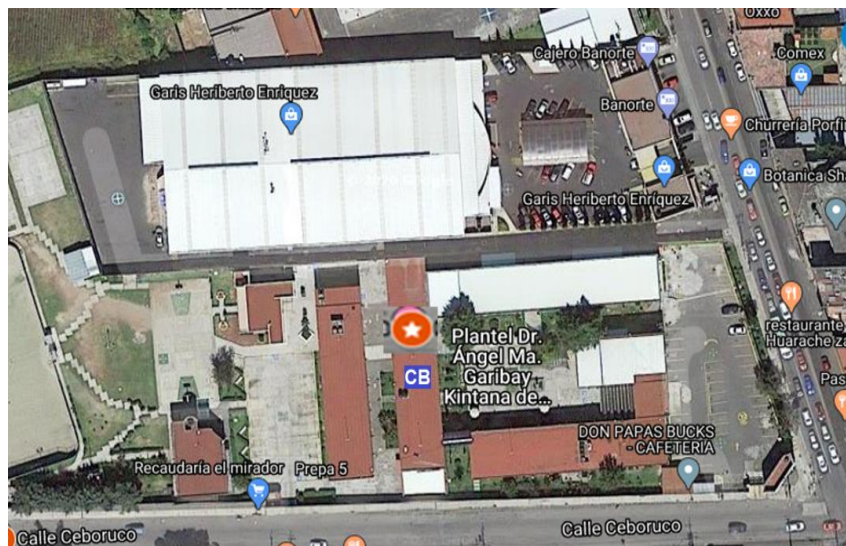


Figura 9. Estación de Monitoreo # 4: Ceboruco (CB)

➤ **Estación de Monitoreo # 7: San Cristóbal Huichochitlán (SC)**

La estación de Monitoreo #7, presentada en la Figura 10, de la Zona Norte, se encuentra en la dirección: Paseo de la Luz esquina Manuel Hinojosa Giles S/N, Poblado de San Cristóbal Huichochitlán, código Postal 50100, entre las Calles de Paseo de la Luz y República del Salvador (dentro de las instalaciones de la Escuela Primaria Manuel Hinojosa Giles). Coordenadas geográficas: Latitud Norte: 19° 19' 38.0'', Longitud Oeste: 99° 38' 3.44''.



Figura 10. Estación de Monitoreo # 7: San Cristóbal Huichochitlán (SC)

➤ **San Lorenzo Tepaltitlán (SL)**

La estación de Monitoreo de San Lorenzo Tepaltitlán, presentada en la Figura 11, de la Zona Norte, se encuentra en la dirección: Hombres Ilustres No. 14, Col. San Ángel Inn, CP. 50010. Coordenadas geográficas: Latitud Norte: 19° 19' 2.0", Longitud Oeste: 99° 37' 18".

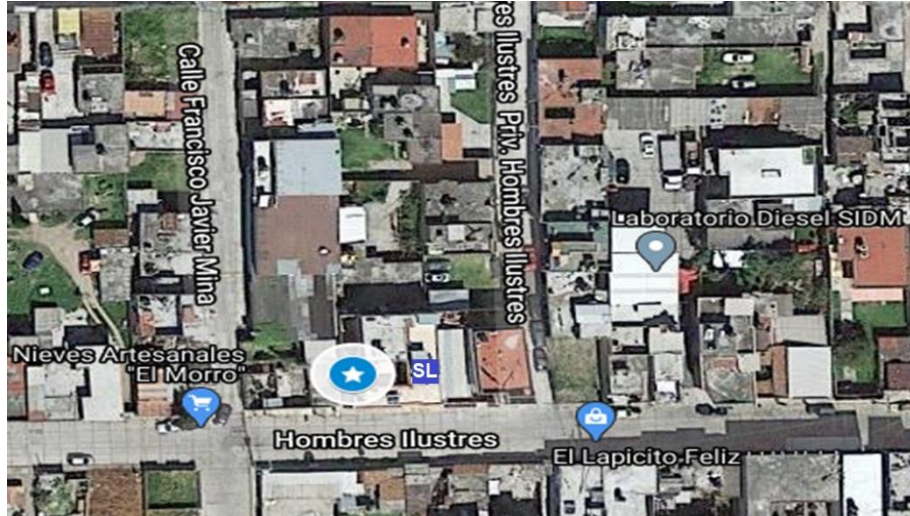


Figura 11. Estación de Monitoreo: San Lorenzo Tepaltitlán (SL)

➤ **Zinacantepec (ZN).**

El lugar de monitoreo de Zinacantepec se localiza en el domicilio: Avenida 16 de septiembre 111, El Calvario, C.P. 51350 San Miguel Zinacantepec; esta se presenta en la Figura 12, con Coordenadas: Latitud Norte 19° 17' 07.5", Longitud Oeste 99° 44' 07.1".

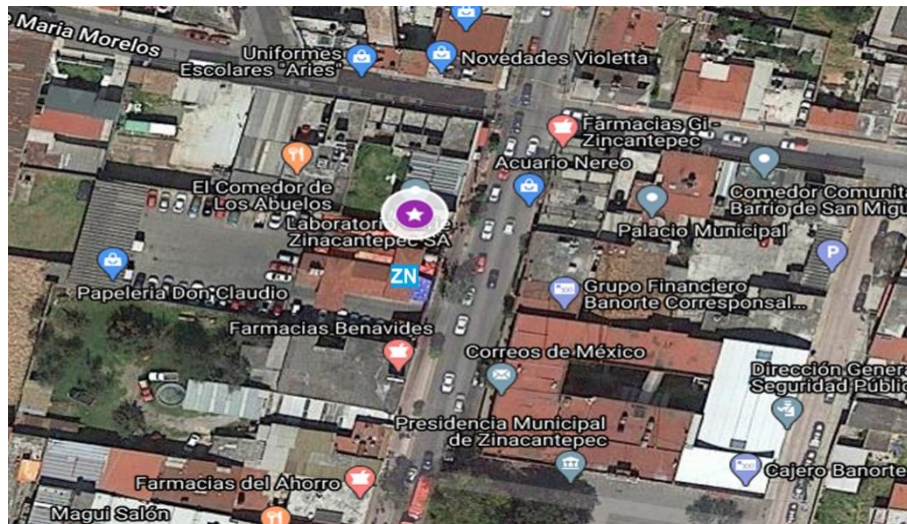


Figura 12. Estación de Monitoreo: Zinacantepec (ZN)

2.1.2 Campaña de muestreo

La campaña de muestreo se realizó bajo las siguientes características:

- EL período de colección de muestras para este trabajo de investigación se desarrolló del 26 de noviembre del 2016 al 14 de marzo de 2018.
- La frecuencia de muestreo fue cada seis días
- El tiempo de muestreo fue de 24 horas
- Se utilizaron filtros de Nucleopore de 47 mm de diámetro y tamaño de poro de 0.4 micrómetros para la partícula fina. En la Figura 13 se muestra este filtro.
- Se utilizó el método de muestreo activo. Los equipos utilizados fueron un muestreador tipo ECHO PM TCR TECORA y un OMNI BGI. En la Figura 14 se aprecian estos equipos.

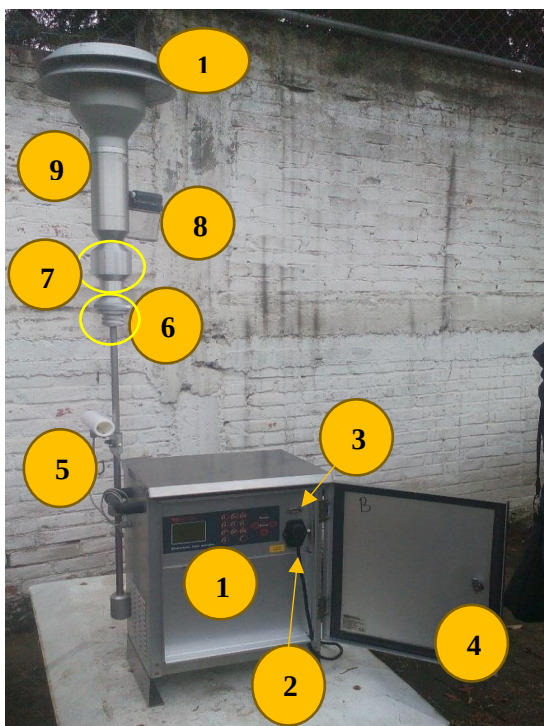


Figura 13. Filtro de Nucleopore de 47 mm, para monitoreo de aire. (Microimport, 2020)



BGI
Flujo=5 L/min

Equipo de Muestreo OMNI BGI



TECORA
Flujo=16.7 L/min

Equipo de Muestreo ECHO PM TCR TECORA

1. Panel de control
2. Cable de alimentación
3. Puerto RS232 para transferencia de datos
4. Puerta con seguro
5. Sensor de temperatura ambiente
6. Área de muestreo para $PM_{2.5}$ (contiene un filtro de teflón o fibra de vidrio)
7. Zona de preimpactación (contiene un filtro de fibra de vidrio)
8. Contenedor de plástico o vidrio para retener partículas más grandes (piedras, hojarasca, pequeños insectos).
9. Área de muestreo para PM_{10}
10. Cabezal para la captación del aire.

Figura 14. Equipos de Muestreo (Aralco, 2020), (Solutions, 2020)

2.2 Análisis

2.2.1 Análisis de Masa Gravimétrica Fina

Previo a cada determinación del peso los filtros fueron acondicionados a una temperatura promedio de 20-21 grados centígrados y a una humedad relativa entre 30 - 40 % durante un tiempo de 24 horas de acuerdo a lo descrito por la USEPA y R.V. Díaz . (USEPA, 2006), (Díaz, 2007). La Figura 15 muestra el acondicionamiento de la muestras que se realiza en un desecador, previo a los análisis.



Figura 15. Acondicionamiento de filtros en un desecador

El análisis de MGF es la metodología utilizada para determinar la cantidad de material depositado en los filtros. Consiste en pesar los filtros antes y después de la toma de muestras, la diferencia de estos pesos es la masa del material depositado en los filtros. Para este análisis se requirió una balanza analítica de alta precisión, de la marca Mettler Toledo M5 (Thermo, 2005), que se presenta en la Figura 16 utilizándola en el análisis.



Figura 16. Balanza analítica y proceso de análisis de MGF

Para el pesaje se colocan los filtros dentro del platillo flotante de la balanza, se pesaron dos veces cada uno para asegurar reproducibilidad. Los cálculos de la concentración de PM_{2.5} en el aire ambiente se calcularon como la masa total de partículas recogidas en el intervalo de tamaño PM_{2.5}, dividido por el volumen real de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico de aire (µg / m³).

$$MGF = \frac{mf-mi}{Vt} = \mu g/m^3$$

Dónde:

MGF: Concentración de PM_{2.5} en el aire

mf: Masa final en el filtro (µg)

mi: Masa inicial en el filtro (µg)

Vt: Volumen total (m³)

2.2.2 Análisis morfológico

Se prepararon las muestras adhiriéndolas en un cilindro de aluminio utilizando cinta de material de carbono, adhesiva de doble cara y sobre esta un fragmento del filtro de la muestra a analizar. La Figura 17 presenta el proceso de preparación.



Figura 17. Preparación de las muestras a analizar en el MEB

Las muestras que se analizan en el MEB requieren una preparación previa en la que se le aplica una capa superficial de oro para hacerlas conductoras. Una vez listas las muestras se colocan para recibir un baño de oro por 90 segundos. La Figura 18 muestra la preparación del baño de oro en el que se utilizó el equipo Denton Vacuum, Desk II.



Figura 18. Baño de oro realizado a las muestras en el equipo Denton Vacuum, Desk II

El equipo utilizado para analizar el tamaño y tipo de partícula presentes en las muestras obtenidas en la ZMVT fue un MEB JSM 5900LV de bajo vacío. Las muestras obtenidas durante el monitoreo atmosférico en un punto de la ZMVT fueron sometidas a este análisis, algunas de las imágenes se muestran en la sección de resultados. Las señales son conducidas a un monitor de televisión que genera la reconstitución ampliada en su pantalla; este proceso se presenta en la Figura 19.



Figura 19. Análisis morfológico en el MEB JSM 5900LV

2.2.3 Análisis de Composición Química Elemental

En esta investigación se realizó análisis elemental cualitativo, determinando que elementos químicos están presentes y análisis cuantitativo, determinado cuánto de cada compuesto químico está presente en ng/m^3 .

Las muestras obtenidas en los seis sitios de la ZMVT, SM, CB, SC, NO, ZN y SL; fueron analizadas utilizando la técnica atómica denominada PIXE. Las características para ésta fueron:

Equipo Utilizado:

- Software para análisis de Espectros Característicos de Rayos-X, GUPIXWIN
- Sistema PIXE (Acelerador Tandem Van de Graaff + Línea PIXE), Presentado en la figura 20
- Línea PIXE: Línea conducción de haz, sistemas de colimación y difusión del haz, cámara de irradiación, detector Ge-Li, electrónica asociada, sistema multicanal

Condiciones Experimentales:

- Ion = Protón
- Energía del haz (E) = 2.5 MeV
- Corriente del haz (I) = 10.0 nA
- Carga en el filtro (Q) = 4.0 μC

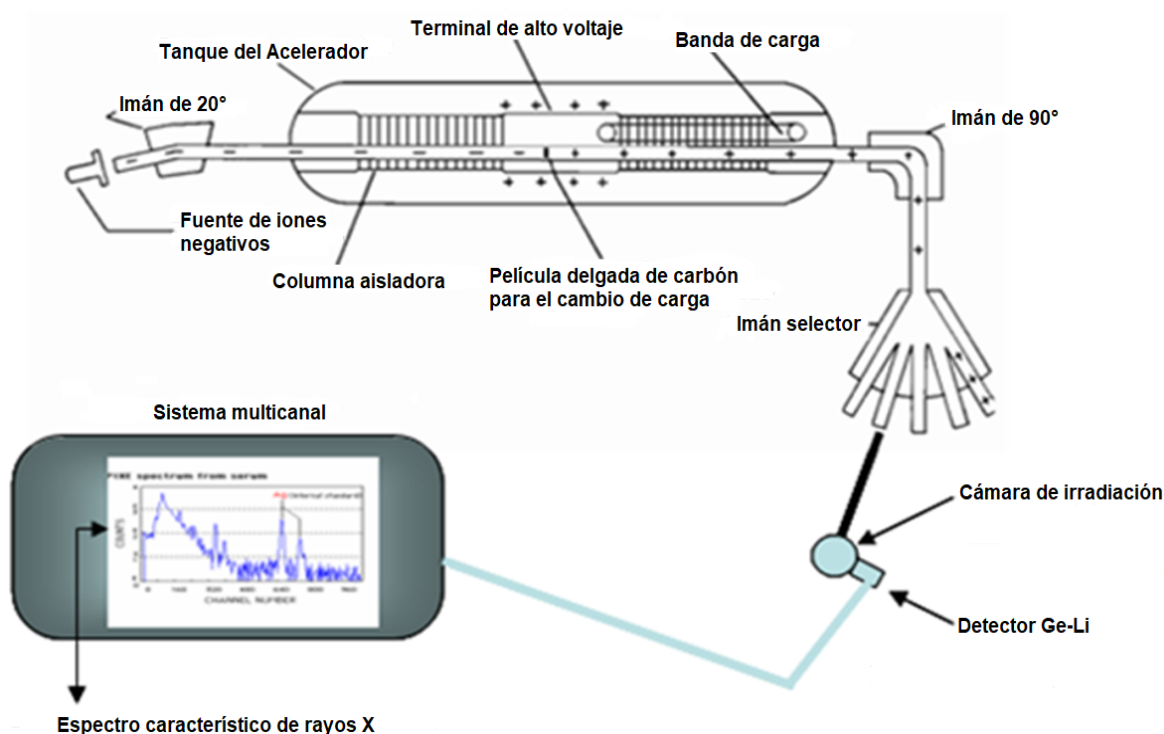


Figura 20. Arreglo experimental en el Acelerador Tandem Van de Graaff del ININ

A partir del espectro característico de rayos-X generado y los ajustes realizados con el software denominado GUPIXWIN se calculó la producción de rayos-X (N_x) para cada uno de los elementos presentes en la muestra.

La concentración química elemental $c(Z)$ presente en la muestra es proporcional al número de rayos-X detectados (N_x) e inversamente proporcional a la carga suministrada a la muestra, es decir:

$$c(Z) = [N_x / (Y_R Q)]$$

Donde:

Q = Es la carga suministrada a la muestra durante la irradiación.

Y_R = Es el factor de respuesta que involucra fundamentos físicos del arreglo experimental.

Con

$$Y_R = (\Omega/4\pi) \sigma_x \xi T (1/q)$$

Donde:

Ω = Ángulo Sólido del detector.

Σ_x = Sección transversal de choque para producción de rayos-x.

ξ = Eficiencia del detector.

T =Transmitancia

q = Carga debida a la partícula incidente

Este factor de respuesta (Y_R), se obtiene para cada elemento, con la calibración del sistema, (Folkman, 1975) Por lo que utilizando las ecuaciones 1 y 2 se obtiene la expresión 3, con la cual es posible calcular la concentración de la composición química elemental de la muestra en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

$$C(Z) = c(Z) [S / V]$$

$C(Z)$ = Concentración química elemental de la muestra

$c(Z)$ = Concentración areal de la muestra en el filtro.

S = Área del filtro.

V = Volumen muestreado.

Los resultados de este análisis se presentan en la sección siguiente.

2.2.3.1 Control y aseguramiento de la calidad del Análisis de Composición Química Elemental

Para el control de calidad el sistema se calibra utilizando estándares Micromatter, útiles como fuente de espectros de elementos puros para su uso en rutinas de sustracción de fondo, y como un control de rutina de la resolución del detector de rayos X y el rendimiento general del sistema (Micromatter, 2017). Irradiando los estándares con la misma energía, ión y corriente con las que serán irradiadas las muestras en estudio.

Para cada análisis fue irradiado un punto de cobre que permite saber si las condiciones experimentales deseadas están siendo reproducidas. La espectrometría de rayos X fue realizada mediante un detector Ge- Li. La resolución del detector de Ge-Li se verificó continuamente.

El Software empleado para el análisis de los Espectros Característicos de Rayos-X, fue GUPIXWIN, que es un paquete de software versátil para ajustar espectros PIXE de muestras delgadas, gruesas, intermedias y en capas. Extrae intensidades máximas y las convierte en concentraciones a través del método de estandarización del valor H. La excitación de rayos X puede ser a través de protones, deuterones, iones He-3 o He-4; (University of Guelph, 2019)

Este programa deconvoluciona los picos del espectro característico de rayos-X determinando los rayos X presentes en la muestra y su concentración respectiva, el correcto ajuste realizado por el software para cada espectro determina la correcta obtención de la concentración química elemental, determinación que ha sido verificada con la inter comparación de éstos resultados con otros laboratorios a nivel internacional como son el Laboratorios de la Universidad de Davis en California USA y del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), intercomparación que valida el correcto funcionamiento del sistema en general. (Díaz, 2007)

2.3 Componente Natural y Antropogénica

Utilizando el factor de enriquecimiento (FE) se determinaron las componentes natural y antropogénica utilizando la expresión utilizada por Díaz y Domínguez (2008):

$$FE(X) = \frac{\left(\frac{C_x}{C_r}\right)_{\text{aerosol}}}{\left(\frac{C_x}{C_r}\right)_{\text{corteza terrestre}}}$$

Donde:

FE(X)= Elemento químico de interés

C_{x aerosol}= Concentración del elemento de interés en el aerosol

Cr_{aerosol}= Concentración del elemento de referencia en el aerosol

C_{x corteza terrestre} = Concentración del elemento de interés en la corteza terrestre

Cr_{corteza terrestre} = Conconcentración del elemento de referencia en la corteza terrestre

En 1993 ajustaron la escala para considerar el factor de enriquecimiento de 0 a 10 como natural, de 10 a 500 enriquecido y un factor mayor de 500 altamente enriquecido. Los elementos con un factor mayor a 10 deben ser considerados antropogénicos.

2.4 Determinación de Bacterias presentes en las PM_{2.5}

Los muestreos, se realizaron el 16 de agosto de 2017 (época de lluvias), 23 de enero de 2018 (época seca-fría) y 26 de marzo (época seca-cálida) del mismo año. La colecta de bacterias suspendidas en el aire se realizó con un muestreador TCR TECORA (PM_{2.5}) con filtros de fibra de vidrio (47 µm de diámetro marca PALL Corporation) durante 24 horas. Posteriormente, los filtros fueron transportados al laboratorio de Ecología Microbiana de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco, conservándose a 5 °C. Asimismo, para el análisis de las muestras se utilizaron las técnicas propuestas por la Dra. María Teresa Núñez-Cardona.

Para recuperar las bacterias viables colectadas en los filtros de fibra de vidrio, bajo condiciones estériles, se colocó 1/4 parte del filtro en un tubo de ensaye conteniendo caldo nutritivo (CN); se incubó durante 24 horas, se utilizó 0.1 ml del medio líquido para inocularse en cajas de Petri conteniendo agar nutritivo (AN) con el objetivo de recuperar a las células bacterianas que constituyen parte de las partículas suspendidas en el aire de la ZMVT. Los cultivos bacterianos fueron incubados a 28 °C, durante 24 horas. Después, fueron aisladas colonias al azar realizándose un registro del tamaño, forma, color y conservadas en viales con AN; este proceso se presenta en la Figura 21. (Cruz, 2019)

Mediante la técnica de tinción de Gram, se observaron las células microbianas al microscopio óptico, determinando su respuesta a Gram positivos o Gram negativos. Asimismo, se realizaron anotaciones de la morfología celular (bacilos, cocobacilos, cocos, entre otros) de cada cultivo puro.

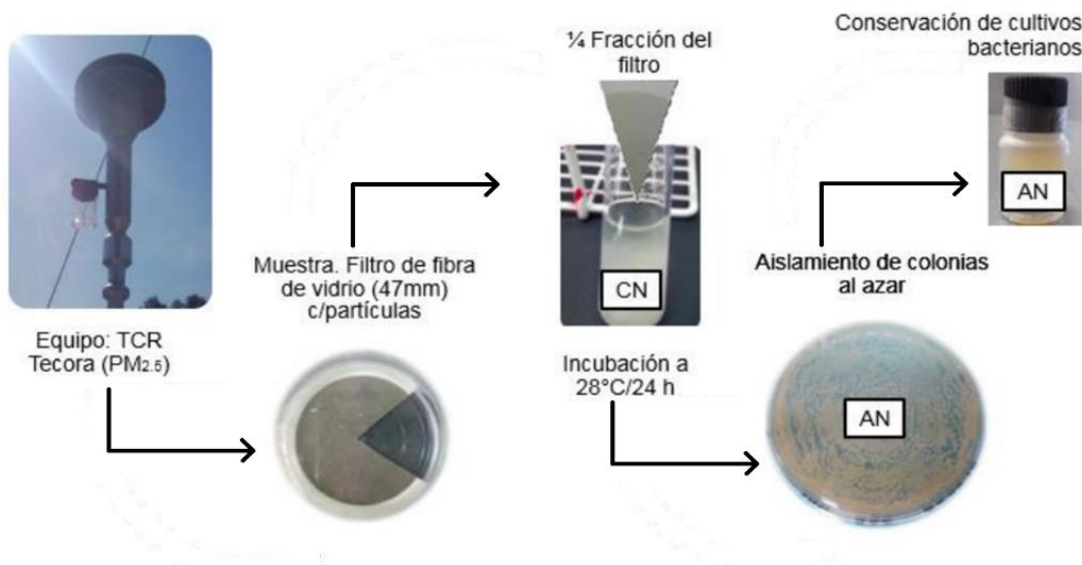


Figura 21. Proceso para el aislamiento de colonias bacterianas.

2.5 Determinación de Hongos presentes en las PM_{2.5}

Los sitios de estudio fueron seleccionados considerando la metodología descrita en 2.1.1 y la campaña de muestreo en la sección 2.1.2. Las muestras fueron analizadas colocándolas en un porta filtro, siendo protegidos de la luz solar y manteniéndolos en refrigeración hasta su uso, con el fin de no modificar la composición y viabilidad de los conidios presentes en dichas muestras. Para su obtención, se tomó un trozo del filtro de aproximadamente 2 cm² y se colocó en un tubo Falcon con 1 ml de Tween 80 al 0.05% y se agitó en un vortex durante 1 minuto para hacer los lavados, el procedimiento se realizó 6 veces. La suspensión resultante del lavado del filtro se colocó en un tubo Eppendorf y se centrifugo a 13000 rpm por 25 minutos. Posteriormente se tomó la pastilla y se re suspendió nuevamente en 1 ml de Tween 80, de esta nueva suspensión se tomaron 100 µl que se vertieron en las cajas Petri (cinco por estación de muestreo) con rosa Bengala adicionado con ciprofloxacino. En la Figura 22 se presenta el proceso mencionado.

Para su incorporación en el medio se utilizó un rastrillo de vidrio con el que se esparció todo el líquido en la caja hasta ser absorbido. La incubación se realizó a 28°C durante un periodo de 3 a 5 días para favorecer el crecimiento de las estructuras fúngicas, posteriormente se sometieron al procedimiento de identificación y caracterización.



Figura 22. Obtención de colonias fúngicas por medio de filtro en agar rosa Bengala.

2.6 Determinación de HAP's

La determinación de HAP's se desarrolló bajo el método EPA TO-13A. El cromatógrafo utilizado para el análisis fue de la marca Shimadzu, modelo GCMS-QP2010 Ultra, con columna de la marca Shimadzu modelo SH-Rxi-5Sil MS, columna capilar de 30m de longitud, 0.25 mm de diámetro con una fase estacionaria compuesta de 5% de difenil y 95% de dimetil polisiloxano; helio como gas acarreador y con el siguiente programa de operación: 40°C a 325°C, incrementándose 10°C/min. El inyector utilizado fue de la marca Shimadzu, modelo AOC-201 con un programa de 280°C/325°C de inyección. En la Figura 23 se puede apreciar el equipo utilizado.



Figura 23. Cromatógrafo Shimadzu, modelo GCMS-QP2010

2.7 Determinación de fuentes de emisión

Para la identificación de las posibles fuentes de emisión en esta investigación se hizo uso de herramientas estadísticas como las técnicas multivariantes.

La secuencia seguida para la identificación consiste en (Jhonson & Wichern , 1992):

- 1. Calcular matriz de correlaciones entre variables**, Se efectuó el cálculo de la matriz de correlación utilizando el software SPSS versión 22.
- 2. Aplicar método de extracción**. Con el mismo software se realizó la extracción de factores utilizando el método de componentes rectangulares. Este análisis considera n variables cuantitativas y las mezcla mediante combinaciones lineales reduciéndose a $p < n$ variables que resumen la información facilitando su interpretación.
- 3. Aplicar método de transformación**. El método utilizado para transformar, rotar la matriz, fue el VARIMAX establecido por Kaiser 1958, se basa en el criterio de maximizar la varianza de las cargas de cada componente. Para ello toma la varianza total asociada con los componentes retenidos y no rotados y la redistribuye a través de los nuevos componentes rotados VARIMAX. Para esta rotación se utilizó también el mismo software. (Díaz, 2007)
- 4. Determinar el número de factores significativos**, es decir se deben obtener los componentes más significativos. Para ello como no existe una prueba universal se consideran los componentes que tengan la mayor varianza total explicada (mayor de 70%).
- 5. Determinar las concentraciones elementales para cada fuente**. Para ello se aplicó el Análisis de Factores Principales Absolutos (APFA), tal como ha sido aplicado por Díaz y Maenhaut. (Díaz et. al, 2002), (Maenhaut et. al, 2002)

Los datos manejados a través de esta secuencia fueron sometidos a criterios estadísticos como el Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de Bartlett, éstos mostraron que la significación estadística de la estructura de los datos es apropiada.

2.8 Riesgo de Composición Química Elemental

Para el cálculo del riesgo, es fundamental contar con la Dosis de Exposición (DE), Factores de Exposición (FE) y las Dosis de Referencia (DR).

2.8.1 Dosis de Exposición

Para el cálculo de Dosis de Exposición, de acuerdo a las fuentes, (Peña, 2001), (CEPIS & OPS, 1997), (ATSDR, 2003) y (USEPA, 2016), se utilizaron las concentraciones elementales obtenidas para los elementos: Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Y, Zn, y Pb a través de la técnica PIXE, así como los factores de exposición mostradas en la Tabla 8, tomados de (USEPA, 1997)

Tabla 8. Factores de exposición, para el análisis de la dosis de exposición

Parámetro	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 Años
Peso Corporal promedio (kg)	16	29	70
Tasa de Aire Inhalado (m ³ /día)	6.0	11.04	19.92
Tasa de Retención para el aire inhalado	1	1	1
Tasa de Absorción de aire inhalado	1	1	1
Frecuencia de Exposición (días)	365	365	365
Duración de la Exposición (años)	4	6	30
Tiempo de Promediación (días)	1460	2190	25550

La dosis de exposición se calcula utilizando la expresión:

$$\text{Dosis de Exposición (mg/kg/día)} = \frac{C \times TI \times TR \times TA \times FE \times DE}{TP \times PC}$$

En donde:

C= Concentración del contaminante en el medio (mg/m³)

TI= Tasa de Aire Inhalado (m³/día)

TR= Tasa de Retención para el aire inhalado

TA= Tasa de Absorción de aire inhalado

FE= Frecuencia de Exposición (días)

DE= Duración de la Exposición (años)

TP= Tiempo de Promediación (días)

PC= Peso Corporal promedio (kg)

Los datos obtenidos para la Dosis de Exposición de los tres grupos de edades se presentan en la sección de resultados.

2.8.2 Cálculo del riesgo de Composición Química Elemental

Con la Dosis de Exposición calculada como se indica en la sección 2.8.1 y la Dosis de Referencia (DR) y/o Mínimo Nivel de Riesgo (MNR) obtenida de las referencias (ATSDR, 2018), se calculará el riesgo elemental de las PM_{2.5} utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Riesgo} = (\text{DE}) \text{ Dosis de Exposición (mg/kg/día)} / (\text{DR}) \text{ (mg/kg/día)}$$

ó la concentración del contaminante y el MNR en la expresión:

$$\text{Riesgo} = \text{Concentración del Contaminante (mg/m}^3\text{)} / \text{MNR (mg / m}^3\text{)}.$$

Con las dos fórmulas anteriores se concluye que valores mayores o iguales a 1 indican la presencia o la existencia de riesgo y valores menores a 1 la inexistencia del mismo.

Para el cálculo del riesgo ocasionado por las bacterias, hongos y HAP's, se sigue la presente metodología.

Los resultados se muestran en la sección correspondiente.

2.9 Identificación de fuentes de riesgo

Para determinar las fuentes de riesgo se consideraron las fuentes de emisión obtenidas de acuerdo con la sección 2.7, asignando el riesgo elemental a cada uno de los elementos presentes en la fuente. Estos resultados se presentan en la sección correspondiente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Monitoreo

El Monitoreo se realizó en la ZMVT que está conformada por 22 municipios, los cuales comprenden una superficie de 2,669 km², que corresponde al 11.9% del territorio estatal. La altitud promedio de las cabeceras municipales es de 2,610 metros sobre el nivel del mar con un rango que va de 2,560 a 2,740 metros sobre el nivel del mar. La ZMVT se localiza en la parte centro del Estado de México.

3.1.1 Selección de sitio de monitoreo

Los lugares seleccionados corresponden a seis sitios pertenecientes a la ZMVT, los cuales son: San Mateo Atenco, Ceboruco, San Cristóbal Huichochitlán, Nueva Oxtotitlán y Zinacantepec, tal como se observa en la Figura 24.

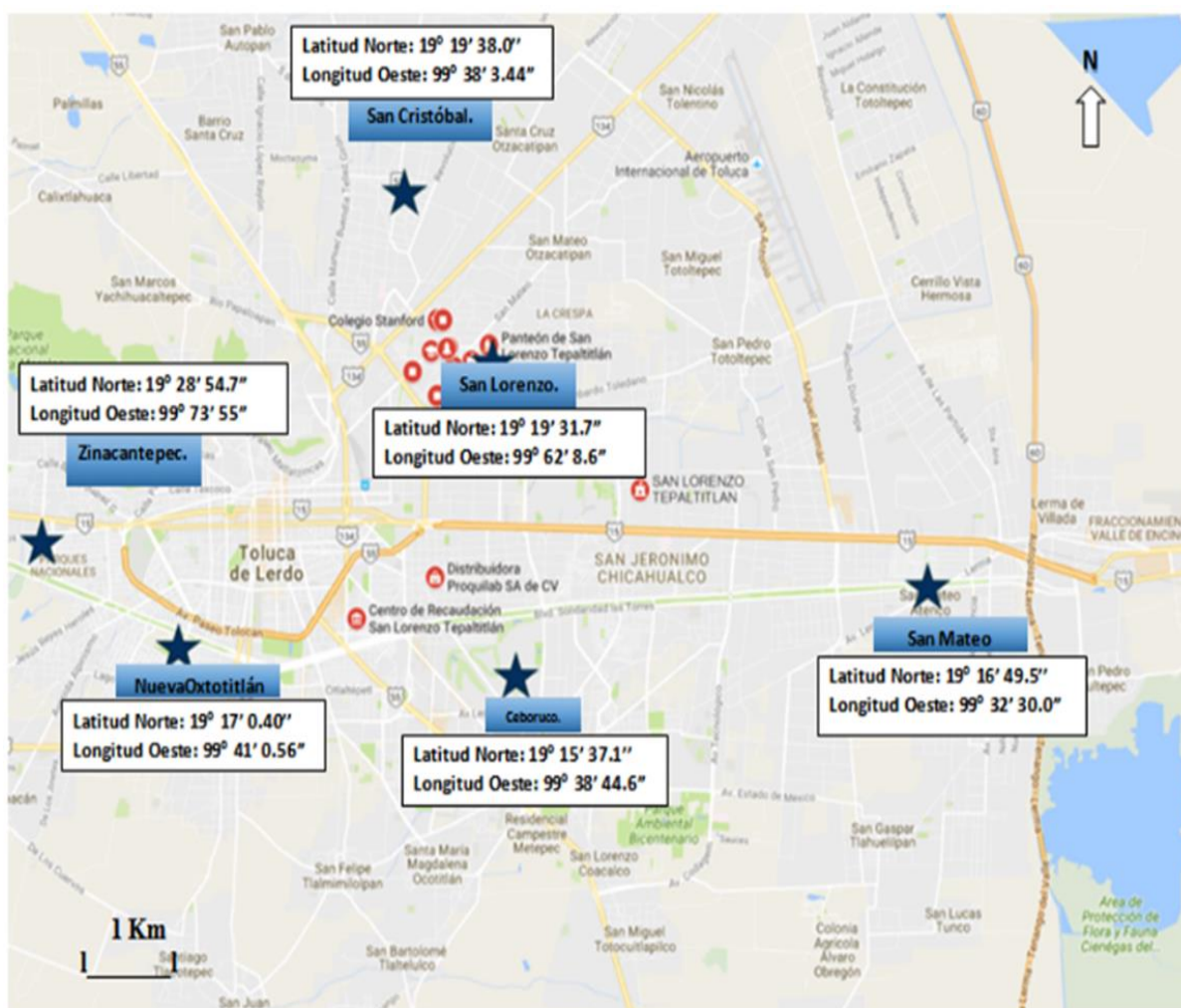


Figura 24. Sitios de monitoreo seleccionados

3.1.2 Campaña de muestreo

La campaña de muestreo se realizó bajo las características descritas en la metodología. En el Anexo se muestra la relación de estas.

3.2 Análisis

3.2.1 Análisis de Masa Gravimétrica Fina

En la Tabla 9 se presentan los resultados de MGF obtenida a partir de las muestras colectadas en los sitios seleccionados de la ZMVT; se presenta los valores máximos, promedio y desviación típica en unidades de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los resultados del análisis de MGF aplicado a las muestras obtenidas en la ZMVT de acuerdo con metodología descrita son presentados en el anexo.

Tabla 9. Estadísticos descriptivos de la MGF, para las muestras de la ZMVT

MGF				
Sitio de Muestreo	N	Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio	Desviación Típica
San Mateo Atenco	79	69	34	15
Ceboruco	79	178	47	22
Nueva Oxtotitlán	79	425	39	66
San Cristóbal Huichochitlán	79	1070	75	149
San Lorenzo Tepaltitlán	79	583	71	106
Zinacantepec	79	109	39	19

Los valores máximos, como se observa en la Tabla 9, en Ceboruco, Nueva Oxtotitlán, San Cristóbal Huichochitlán y San Lorenzo Tepaltitlán corresponden a valores obtenidos los días 25 de diciembre y día 1º de enero de 2016-2017 y repitiéndose valores altos para el 2017-2018 fecha correspondiente a la navidad y año nuevo. Días que suele haber fogatas, quema de llantas y madera (25 diciembre) y además de éstos, juegos pirotécnicos (1º de enero).

Todos los sitios de muestreo rebasaron el valor del límite máximo indicado por la NOM-025-SSA1-2014 que es de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el resultado del valor promedio, para este período de estudio, San Mateo Atenco, Zinacantepec y la Nueva Oxtotitlán se encuentran por debajo del valor normado, aunque muy próximo a él. San Mateo Atenco es el sitio con valor menor de

MGF. En el Anexo se presenta los resultados de la MGF para las 79 muestras obtenidas de cada sitio de muestreo.

3.2.2 Análisis Morfológico

Las muestras obtenidas durante la campaña de muestreo atmosférico en los sitios seleccionados de la ZMVT fueron sometidas a este análisis utilizando el MEB JSM 5900LV de bajo vacío; en las Figuras 25a la 27 se muestra algunos de los resultados.

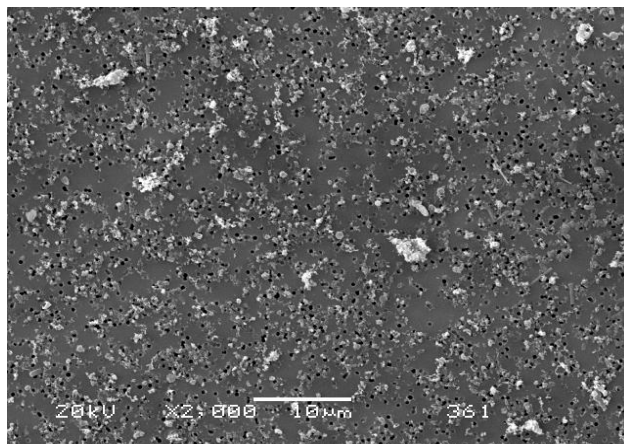


Figura 25. Imagen de muestra tomada en la ZMVT

En la Figura 25, obtenida con el MEB se observa un gran número de material orgánico e inorgánico cuyos tamaños son menores a un micrómetro.

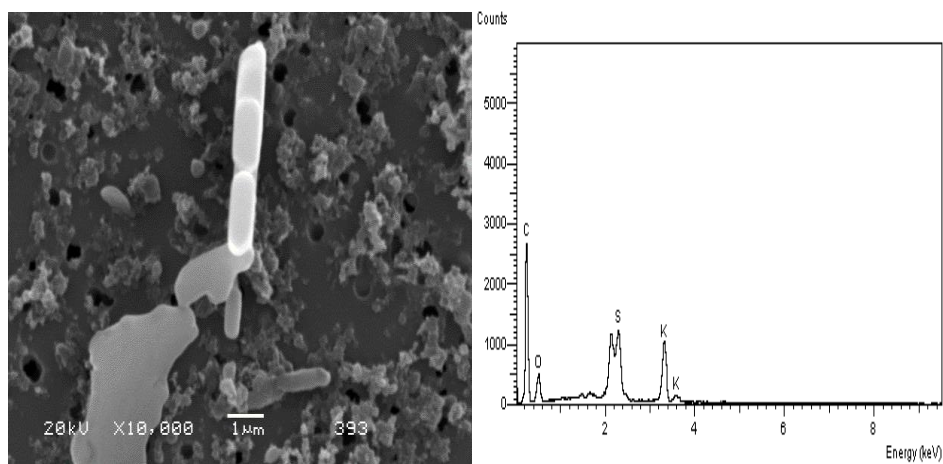


Figura 26. Posible Bacteria

En esta Figura 26 correspondiente a la ZMVT se observa principalmente una forma brillante que pudiera ser una bacteria de acuerdo con Martínez. (2012)

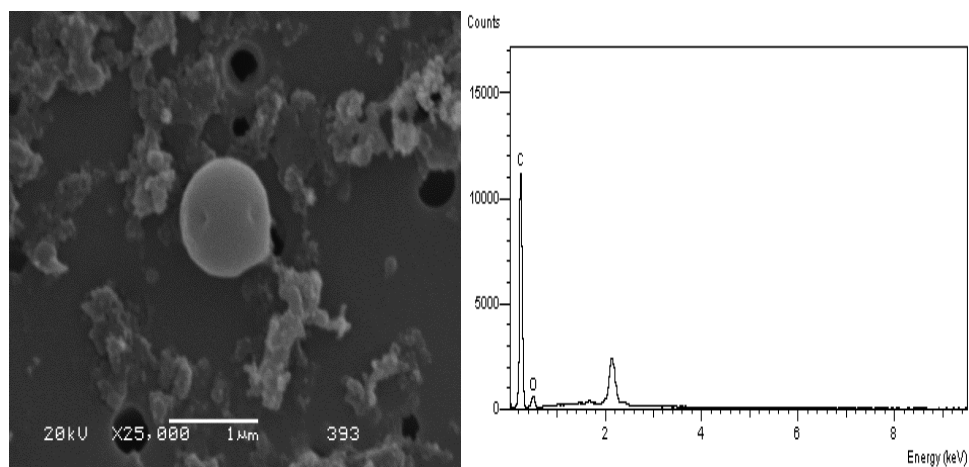


Figura 27. Hifa

En la Figura 27 se presenta principalmente una esfera que probablemente sea una Hifa. (Martínez, 2012)

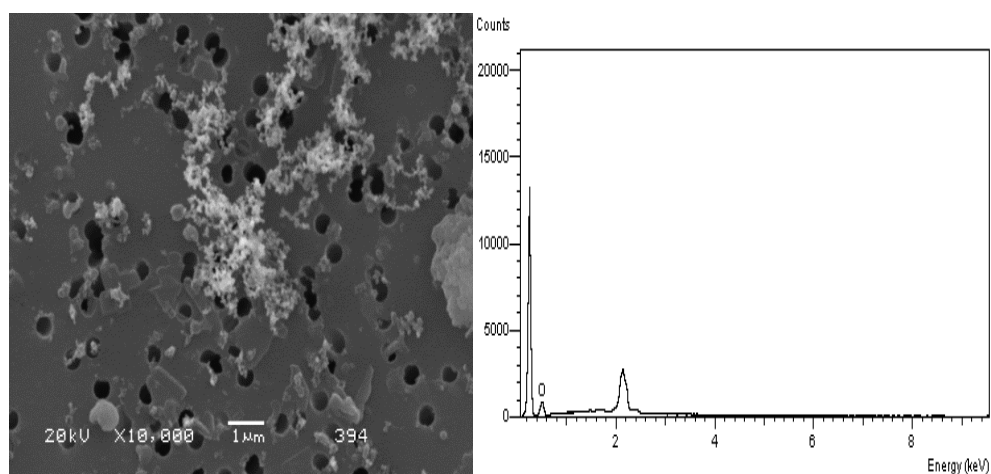


Figura 28. Hollín

En la Figura 28, se presenta un grupo de aglomerados, Martínez (2012) indica que puede ser hollín.

3.2.3 Análisis de Composición Química Elemental

En esta sección se muestran los resultados obtenidos para la CQE de las $PM_{2.5}$ de la ZMVT, en los seis sitios de muestreo: San Mateo Atenco, Ceboruco, Nueva Oxtotitlán, San Cristóbal Huichochitlán, San Lorenzo Tepaltitlán y Zinacantepec, utilizando la técnica PIXE. Las Tabla 10 a la 15 presentan la estadística descriptiva para CQE determinados por la técnica PIXE, el

valor máximo, el valor promedio y la desviación típica. Para las 79 muestras obtenidas estuvieron presentes, en todas ellas, los siguientes elementos: Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Y, Zn, y Pb.

En la Tabla 10 para el sitio de San Mateo Atenco el elemento **Si** presenta los valores más altos, seguido por K, Cl, P y S. El Fe, Ca, Y, Zn, Ni, Ti y Pb muestran los valores intermedios y el Mn, Cu, Cr, Co y V tienen los valores más bajos.

Tabla 10. CQE de las PM_{2.5} presentes en San Mateo Atenco, determinada con PIXE

Elemento	N	Máx. (ng/m ³)	Promedio	Desviación Típica
Si	79	531787	32345	120002
P	79	21536	790	3020
S	79	11258	1310	1619
Cl	79	26193	939	4105
K	79	32634	1079	4634
Ca	79	3309	265	541
Ti	79	1298	45	163
V	79	133	8	21
Cr	79	542	16	62
Mn	79	653	35	95
Fe	79	3970	302	615
Co	79	401	16	63
Ni	79	1530	89	305
Cu	79	648	30	110
Zn	79	1957	190	314
Y	79	1985	39	240
Pb	79	1043	79	182

La Tabla 11 correspondiente al sitio de Ceboruco presenta el **Si** con los valores más altos, seguido por P, Cu, Ca, Zn y S. El Y, Ni, K, Fe, Ti, Cl y Pb muestran los valores intermedios y el Co, Cr, Mn y V, tienen los valores más bajos.

Tabla 11. CQE de las PM_{2.5} presentes en Ceboruco, determinada con PIXE

Elemento	N	Máx. (ng/m ³)	Promedio	Desviación Típica
Si	79	1741471	85364	348307
P	79	314778	4394	35413
S	79	6680	1164	1003
Cl	79	1304	199	223
K	79	3603	521	681
Ca	79	11307	885	1644
Ti	79	1583	62	188
V	79	85	5	14
Cr	79	218	12	27
Mn	79	90	10	20
Fe	79	2707	542	506
Co	79	286	5	33
Ni	79	3724	109	578
Cu	79	17393	283	1991
Zn	79	7826	182	971
Y	79	4694	137	627
Pb	79	671	24	121

En la Tabla 12 del sitio Nueva Oxtotitlán, el elemento **Si** presenta los valores más altos, seguido por P, Pb, Cl, K, Zn, S, Ca, Ti, Fe y Ni. El Mn, Cr, Co e Y, muestran los valores intermedios y el Cu y V, tienen los valores más bajos.

Tabla 12. CQE de las PM_{2.5} presentes en la Nueva Oxtotitlán, determinada con PIXE

Elemento	N	Máx. (ng/m ³)	Promedio	Desviación Típica
Si	79	496908	12579	77085
P	79	134930	3172	17444
S	79	10184	1278	1708
Cl	79	33765	1133	5251
K	79	31523	1340	5239
Ca	79	10135	356	1534
Ti	79	7275	187	1135
V	79	46	6	11
Cr	79	2135	64	327
Mn	79	3453	133	600
Fe	79	6667	293	999
Co	79	1968	26	222
Ni	79	6415	169	957
Cu	79	450	12	63
Zn	79	10302	149	1158
Y	79	1483	53	248
Pb	79	61783	804	6950

La Tabla 13 correspondiente a San Cristóbal Huichochitlán presenta al **Si** presenta con los valores más altos, seguido por P, K, Cl, S, Pb, Ca, Fe, Ti y Ni. El Mn, Cr, Co, Cu, Zn e Y, muestran los valores intermedios y el V, tiene el valor más bajo.

Tabla 13. CQE de las PM_{2.5} presentes en San Cristóbal Huichochitlán, determinada con PIXE

Elemento	N	Máx. (ng/m ³)	Promedio	Desviación Típica
Si	79	459236	11666	67842
P	79	342770	11468	52194
S	79	70707	2412	8096
Cl	79	81579	3385	13591
K	79	105530	3817	15407
Ca	79	18910	514	2231
Ti	79	11002	193	1274
V	79	134	7	20
Cr	79	2449	37	275
Mn	79	2974	76	368
Fe	79	13469	445	1622
Co	79	2000	33	235
Ni	79	8805	148	1006
Cu	79	1935	46	224
Zn	79	1861	71	241
Y	79	1612	57	290
Pb	79	18994	362	2263

En la Tabla 14 se presenta para el lugar de San Lorenzo Tepaltitlán que el **Si** tiene el valor más alto, seguido por P y Pb. El Cl, K, Ca, Ti, Zn, S, Fe, Cr, Ni, Co, Y, además, el Mn, muestran los valores intermedios y el Cu y V, tienen el valor más bajo.

Tabla 14. CQE de las PM_{2.5} presentes en San Lorenzo Tepaltitlán, determinada con PIXE

Elemento	N	Máx. (ng/m ³)	Promedio	Desviación Típica
Si	79	1782329	43806	252255
P	79	534610	11811	67932
S	79	18677	2086	3270
Cl	79	69794	2331	10186
K	79	50586	2298	8278
Ca	79	33113	1349	4019
Ti	79	22434	409	2563
V	79	198	9	28
Cr	79	12700	243	1536
Mn	79	2564	78	359
Fe	79	16917	796	2049
Co	79	7407	94	833
Ni	79	11622	261	1566
Cu	79	386	22	56
Zn	79	21893	533	2745
Y	79	6134	365	1240
Pb	79	175459	2300	19736

La Tabla 15 presenta para el lugar de Zinacantepec que el **Si** registró el valor más alto, seguido por P, Ni, Ca, S y Cu. El Zn, Co, Y, Fe, K, Cl y Mn, muestran los valores intermedios y el Ti, Cr, Pb y el V, tienen los valores más bajos.

Tabla 15. CQE de las PM_{2.5} presentes en Zinacantepec, determinada con PIXE

Elemento	N	Máy. (ng/m ³)	Promedio	Desviación Típica
Si	79	2538334	81224	376811
P	79	64121	1150	7302
S	79	11765	1210	1547
Cl	79	2191	222	280
K	79	3914	468	630
Ca	79	11884	791	1799
Ti	79	784	65	147
V	79	133	6	18
Cr	79	537	26	78
Mn	79	2030	50	267
Fe	79	3930	488	552
Co	79	6945	106	795
Ni	79	11976	184	1366
Cu	79	11451	215	1381
Zn	79	7825	277	1175
Y	79	5523	309	1127
Pb	79	237	4	28

Con los resultados de las concentraciones obtenidas, en todos los sitios, se estimará el riesgo a la salud de la población por inhalación de la CQE de los elementos contenidos en las partículas suspendidas PM_{2.5}: Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Y, Zn, y Pb; utilizando la metodología descrita.

3.2.4 Análisis de Bacterias

Las muestras obtenidas en la campaña de muestreo biológico fueron analizadas en el Laboratorio de Ecología Microbiana, de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X) en el marco del proyecto CB-2015-01-256751. En la Tabla 15 se dan los grupos bacterianos identificados en dos sitios de la ZMVT.

Tabla 16. Grupos bacterianos identificados en San Mateo Atenco y Ceboruco en temporadas de Lluvia y Seca-Cálida (Cruz, 2019)

Temporada de Lluvia		Temporada Seca-Cálida	
SM	CB	SM	CB
Gpo. bacteriano	Gpo. bacteriano	Gpo. bacteriano	Gpo. bacteriano
Acinetobacter sp.	Acinetobacter Iwoffii	Bacillaceae	Acinetobacter Iwoffii
Acinetobacter Iwoffii	Bacillaceae	Bacillales	Bacillaceae
Bacillaceae	Bacillus sp.	Bacillus sp.	Bacillales
Bacillus sp.	Bacillus cereus	Bacillus cereus	Bacillus sp.
Bacillus cereus	Bacillus flexus	Bacillus flexus	Bacillus cereus
Bacillus flexus	Citrobacter sp.	Balneimonas sp.	Bacillus firmus
Exiguobacterium	Deinococcus sp.	Enterobacteriaceae	Bacillus flexus
Paenibacillus sp.	Enterobacteriaceae	Erwinia sp.	Bacillus selenatarsenatis
Paenibacillus lautus	Exiguobacteraceae	Erwinia dispersa	Enterobacteriaceae
Pseudomonas sp.	Exiguobacterium	Exiguobacteraceae	Erwinia sp.
	Lactococcus sp.	Exiguobacterium	Exiguobacteraceae
	Microbacterium	Exiguobacteraceae	Exiguobacterium
	Oxalobacteraceae	Paenibacillus sp.	Oxalobacteraceae
	Planomicrobium	Paenibacillus lauts	Paenibacillus lauts
	Pseudomonas sp.	Planococcaceae	Planococcaceae
	Rhizobiales	Planomicrobium sp.	Planomicrobium
	Rhodobacteraceae	Pseudomonas sp.	Pseudomonas sp.
	Solibacillus sp.	Sphingomonadaceae	Rhodobacteraceae
		Sreptomyces sp.	

Los grupos bacterianos detectados en el aire de la ZMVT fueron ligeramente mayores en la época seca-cálida, debido a las temperaturas más altas, que favorecen el crecimiento de los microorganismos, como las bacterias.

El riesgo para las bacterias obtenidas en este estudio no fue determinado. Debido a que sólo se realizaron tres muestreos en la campaña, por lo que los resultados no serían representativos.

3.2.5 Análisis de Hongos

Las muestras obtenidas en la campaña de muestreo biológico fueron analizadas en el Laboratorio de Micología Microbiana de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X) en el marco del proyecto CB-2015-01-256751.

Los resultados de los conteos de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC), que indican la frecuencia de identificación de los Hongos, se presentan en las Tablas 17-22. (Lozada , 2019)

En la Tabla 17 se muestra que en San Mateo Atenco se identificó a *Cladosporium* (196) en la categoría muy común; seguido de *Alternaria* (136) como común; *Epicoccum* (74), *Esteril* (74), *Fusarium* (72), *Acremonium* (43) como ocasionales; 44 géneros se reportaron como raros.

Tabla 17. Géneros fúngicos reportados en San Mateo Atenco

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
<i>Cladosporium</i>	196	100	<i>Aspergillus</i>	5	2.6	<i>Amblyosporium</i>	1	0.5
<i>Alternaria</i>	136	69.4	<i>Basiseptospora</i>	5	2.6	<i>Asteromella</i>	1	0.5
<i>Epicoccum</i>	74	37.8	<i>Cristulariella</i>	5	2.6	<i>Dreschlera</i>	1	0.5
<i>Esteril</i>	74	37.8	<i>Monilia</i>	5	2.6	<i>Gonytrichum</i>	1	0.5
<i>Fúsarium</i>	72	36.7	<i>Mucor</i>	5	2.6	<i>Humicola</i>	1	0.5
<i>Acremonium</i>	43	21.9	<i>Periconia</i>	5	2.6	<i>Monascus</i>	1	0.5
<i>Scopulariopsis</i>	26	13.3	<i>Phoma</i>	5	2.6	<i>Pseudotorula</i>	1	0.5
<i>Penicilium</i>	24	12.2	<i>Trichoderma</i>	5	2.6	<i>Pythium</i>	1	0.5
<i>Gonatobotrys</i>	22	11.2	<i>Dwayabeeja</i>	4	2.0	<i>Scedosporium</i>	1	0.5
<i>Nigrospora</i>	17	8.7	<i>Hyalodendron</i>	4	2.0	<i>Stachybotrys</i>	1	0.5
<i>Verticilium</i>	13	6.6	<i>Papulospora</i>	4	2.0			
<i>Arthrobotrys</i>	12	6.1	<i>Torula</i>	4	2.0			
<i>Botrytis</i>	12	6.1	<i>Ampelomyces</i>	3	1.5			
<i>Pithomyces</i>	12	6.1	<i>Helicocephalum</i>	3	1.5			
<i>Trichocladium</i>	12	6.1	<i>Paecilomyces</i>	3	1.5			
<i>Peyronellaea</i>	11	5.6	<i>Absidia</i>	2	1.0			
<i>Ulocladium</i>	11	5.6	<i>Aureobasidium</i>	2	1.0			
<i>Bipolaris</i>	9	4.6	<i>Curvularia</i>	2	1.0			
<i>Bispora</i>	6	3.1	<i>Oidium</i>	2	1.0			
<i>Byssochlamys</i>	6	3.1	<i>Picnidios</i>	2	1.0			

En la Tabla 18 se presenta que en Ceboruco se identificó a *Cladosporium* (228) en la categoría muy común, seguido de *Alternaria* (138) como frecuente, *Fusarium* (69), *Penicillium* (53) y *Acremonium* (50) como ocasionales; 48 géneros se reportaron como raros.

Tabla 18. Géneros fúngicos reportados en Ceboruco

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
Cladosporium	228	100	Pithomyces	9	3.9	Neosartorya	2	0.9
Alternaria	138	60.5	Basiseptospora	8	3.5	Absidia	1	0.4
Fúsarium	69	30.3	Chaetomium	6	2.6	Arthrobotrys	1	0.4
Penicilium	53	23.2	Chaetophoma	5	2.2	Cocumisporium	1	0.4
Acremonium	50	21.9	Nigrospora	5	2.2	Chrysosporium	1	0.4
Gonatobotrys	46	20.2	Oidium	5	2.2	Cirrenalia	1	0.4
Epicoccum	45	19.7	Papulospora	5	2.2	Dematiaceo	1	0.4
Esteril	37	16.2	Sirosporium	5	2.2	Exophiala	1	0.4
Peyronellaea	29	12.7	Wallemia	5	2.2	Genicularia	1	0.4
Scopulariopsis	18	7.9	Wardomyces	5	2.2	Helicocephalum	1	0.4
Verticilium	17	7.5	Aspergillus	4	1.8	Pseudotorula	1	0.4
Phoma	16	7.0	Asteromella	4	1.8	Trichoderma	1	0.4
Pythium	15	6.6	Bispora	4	1.8	Umbelopsis	1	0.4
Trichocladium	15	6.6	Periconia	4	1.8			
Paecilomyces	14	6.1	Torula	4	1.8			
Botrytis	13	5.7	Curvularia	3	1.3			
Bipolaris	12	5.3	Phialophora	3	1.3			
Ulocladium	11	4.8	Aureobasidium	2	0.9			
Ampelomyces	9	3.9	Dwayabeeja	2	0.9			
Geotrichum	9	3.9	Monilia	2	0.9			

La Tabla 19 se muestra que en la Nueva Oxtotitlán se identificó a Cladosporium (173) en la categoría muy común, seguido de Alternaria (90) como frecuente, Fusarium (69), Estéril (51), Penicillium (49), Gonatobotrys (38), Acremonium (37) y Epicoccum (37) como ocasionales; 38 géneros se reportaron como raros y los 32 restantes como no encontrados.

Tabla 19. Géneros fúngicos reportados en la Nueva Oxtotitlán

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
Cladosporium	173	100	Torula	6	3.5	Genicularia	1	0.6
Alternaria	90	52.0	Bispora	5	2.9	Geotrichum	1	0.6
Fúsarium	69	39.9	Nigrospora	5	2.9	Helicocephalum	1	0.6
Esteril	51	29.5	Paecilomyces	5	2.9	Hyalodendron	1	0.6
Penicilium	49	28.3	Phoma	5	2.9	Memnoniella	1	0.6
Gonatobotrys	38	22.0	Trichocladium	5	2.9	Papulospora	1	0.6
Acremonium	37	21.4	Aureobasidium	4	2.3			
Epicoccum	37	21.4	Monilia	4	2.3			
Botrytis	28	16.2	Wardomyces	4	2.3			
Verticilium	18	10.4	Basiseptospora	3	1.7			
Bipolaris	13	7.5	Trichoderma	3	1.7			
Mucor	13	7.5	Chalaropsis	2	1.2			
Ulocladium	12	6.9	Oidium	2	1.2			
Aspergillus	8	4.6	Stemphylium	2	1.2			
Peyronellaea	8	4.6	Ampelomyces	1	0.6			
Pythium	8	4.6	Chaetomium	1	0.6			
Absidia	7	4.0	Cristulariella	1	0.6			
Asteromella	7	4.0	Curvularia	1	0.6			
Pithomyces	7	4.0	Dendryphon	1	0.6			
Scopulariopsis	7	4.0	Eurotium	1	0.6			

La Tabla 20 indica que en San Cristóbal Huichochitlán se identificó a *Cladosporium* (127) y *Alternaria* (127) en la categoría muy común; seguido por *Fusarium* (73) y Estéril (60) como frecuentes; *Acremonium* (43), *Epicoccum* (32) y *Scopulariopsis* (32) como ocasionales; 35 géneros se reportaron como raros.

Tabla 20. Géneros fúngicos reportados en San Cristóbal Huichochitlán.

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
<i>Alternaria</i>	127	100	<i>Asteromyces</i>	4	3.1	<i>Pseudotorula</i>	1	0.8
<i>Cladosporium</i>	127	100	<i>Monascus</i>	4	3.1	<i>Stemphylium</i>	1	0.8
<i>Fúsarium</i>	73	57.5	<i>Papulospora</i>	4	3.1			
<i>Esteril</i>	60	47.2	<i>Cristulariella</i>	3	2.4			
<i>Acremonium</i>	41	32.3	<i>Curvularia</i>	3	2.4			
<i>Epicoccum</i>	32	25.2	<i>Monilia</i>	3	2.4			
<i>Scopulariopsis</i>	32	25.2	<i>Oidium</i>	3	2.4			
<i>Penicilium</i>	24	18.9	<i>Paecilomyces</i>	3	2.4			
<i>Gonatobotrys</i>	17	13.4	<i>Aspergillus</i>	2	1.6			
<i>Verticilium</i>	15	11.8	<i>Botrytis</i>	2	1.6			
<i>Phoma</i>	11	8.7	<i>Chalaropsis</i>	2	1.6			
<i>Pithomyces</i>	11	8.7	<i>Dwayabeeja</i>	2	1.6			
<i>Ulocladium</i>	11	8.7	<i>Picnidos</i>	2	1.6			
<i>Nigrospora</i>	8	6.3	<i>Pythium</i>	2	1.6			
<i>Aureobasidium</i>	5	3.9	<i>Torula</i>	2	1.6			
<i>Bipolaris</i>	5	3.9	<i>Trichoderma</i>	2	1.6			
<i>Bispora</i>	5	3.9	<i>Arthrobotrys</i>	1	0.8			
<i>Periconia</i>	5	3.9	<i>Dendryphon</i>	1	0.8			
<i>Peyronellaea</i>	5	3.9	<i>Helicosporium</i>	1	0.8			
<i>Trichocladium</i>	5	3.9	<i>Mucor</i>	1	0.8			

Se presenta en la tabla 21 los hongos encontrados para San Lorenzo Tepaltitlán y se identificó a *Cladosporium* (148) y *Alternaria* (147) en la categoría muy común; seguido por *Fusarium* (80) como frecuente; Estéril (60), *Epicoccum* (44) y *Acremonium* (34) como ocasionales; 35 géneros se reportaron como raros.

Tabla 21. Géneros fúngicos reportados en San Lorenzo Tepaltitlán

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
<i>Cladosporium</i>	148	100	<i>Scopulariopsis</i>	7	4.7	<i>Trichoderma</i>	1	0.7
<i>Alternaria</i>	147	99.3	<i>Dwayabeeja</i>	6	4.1			
<i>Fúsarium</i>	80	54.1	<i>Paecilomyces</i>	6	4.1			
<i>Esteril</i>	60	40.5	<i>Picnidos</i>	5	3.4			
<i>Epicoccum</i>	44	29.7	<i>Torula</i>	5	3.4			
<i>Acremonium</i>	34	23.0	<i>Helicocephalum</i>	4	2.7			
<i>Gonatobotrys</i>	29	19.6	<i>Bispora</i>	3	2.00			
<i>Penicilium</i>	26	17.6	<i>Byssochlamys</i>	3	2.00			
<i>Botrytis</i>	17	11.5	<i>Geotrichum</i>	3	2.00			
<i>Ulocladium</i>	15	10.1	<i>Memnoniella</i>	3	2.00			
<i>Pithomyces</i>	13	8.8	<i>Phoma</i>	3	2.00			
<i>Peyronellaea</i>	12	8.1	<i>Curvularia</i>	2	1.4			
<i>Verticilium</i>	12	8.1	<i>Periconia</i>	2	1.4			
<i>Pythium</i>	11	7.4	<i>Trichocladium</i>	2	1.4			
<i>Wardomyces</i>	11	7.4	<i>Aspergillus</i>	1	0.7			
<i>Nigrospora</i>	9	6.1	<i>Asteromyces</i>	1	0.7			
<i>Basipeptospora</i>	8	5.4	<i>Dendryphon</i>	1	0.7			
<i>Bipolaris</i>	8	5.4	<i>Fusicladium</i>	1	0.7			
<i>Monascus</i>	8	5.4	<i>Glicoecephalothricu</i>	1	0.7			
<i>Oidium</i>	8	5.4	<i>Stachybotrys</i>	1	0.7			

La Tabla 22 correspondiente a Zinacantepec presenta que se identificó a *Cladosporium* (152) en la categoría muy común, seguido de *Alternaria* (105) como común, *Fusarium* (74) como frecuente, *Acremonium* (55), *Epicoccum* (54), *Estéril* (46) y *Penicillium* (41) como ocasionales; 41 géneros se reportaron como raros.

Tabla 22. Géneros fúngicos reportados en Zinacantepec

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
<i>Cladosporium</i>	152	100	<i>Pithomyces</i>	6	3.9	<i>Dwayabeeja</i>	1	0.7
<i>Alternaria</i>	105	69.1	<i>Wardomyces</i>	6	3.9	<i>Eurotium</i>	1	0.7
<i>Fúsarium</i>	74	48.7	<i>Aureobasidium</i>	5	3.3	<i>Geotrichum</i>	1	0.7
<i>Acremonium</i>	55	36.2	<i>Oidium</i>	4	2.6	<i>Helicocephalum</i>	1	0.7
<i>Epicoccum</i>	54	35.5	<i>Ampelomyces</i>	3	2.0	<i>Oidiodendron</i>	1	0.7
<i>Esteril</i>	46	30.3	<i>Bispora</i>	3	2.0	<i>Papulospora</i>	1	0.7
<i>Penicilium</i>	41	27	<i>Nigrospora</i>	3	2.0	<i>Pseudotorula</i>	1	0.7
<i>Gonatobotrys</i>	29	19.1	<i>Paecilomyces</i>	3	2.0	<i>Rynchopurum</i>	1	0.7
<i>Pythium</i>	27	17.8	<i>Periconia</i>	3	2.0			
<i>Botrytis</i>	15	9.9	<i>Trichoderma</i>	3	2.0			
<i>Scopulariopsis</i>	15	9.9	<i>Basipeptospora</i>	2	1.3			
<i>Verticilium</i>	12	7.9	<i>Bipolaris</i>	2	1.3			
<i>Trichocladium</i>	11	7.2	<i>Hirsutella</i>	2	1.3			
<i>Ulocladium</i>	9	5.9	<i>Phialophora</i>	2	1.3			
<i>Phoma</i>	8	5.3	<i>Rizopus</i>	2	1.3			
<i>Chrysosporium</i>	7	4.6	<i>Wallemia</i>	2	1.3			
<i>Hyalodendron</i>	7	4.6	<i>Arthrobotrys</i>	1	0.7			
<i>Torula</i>	7	4.6	<i>Asteromella</i>	1	0.7			
<i>Aspergillus</i>	6	3.9	<i>Cirrenalia</i>	1	0.7			
<i>Peyronellaea</i>	6	3.9	<i>Curvularia</i>	1	0.7			

De los hongos obtenidos los de mayor concentración y, por consiguiente, con la probabilidad de presentar algún riesgo a la salud se tienen:

- *Alternaria*: es un hongo patógeno oportunista que puede causar manchas en las hojas, así como pudriciones y decoloraciones en muchas partes de las plantas. También puede causar en humanos infecciones en el tracto respiratorio superior y asma en personas debilitadas.
- *Cladosporium*: es un hongo filamentoso que con más frecuencia se encuentra presente en el aire, es uno de los hongos alergénicos respiratorios más importantes y se le ha implicado en casos de asma. Se asocia a casos de rinitis.
- *Fusarium*: es un extenso género de hongo del suelo que habita muchos lugares del mundo. La mayoría de las especies son inofensivos saprofitos relativamente abundante, causan infecciones en humanos, tanto superficiales como sistémicas llamadas en general fusariosis.
- *Penicillium*: es un hongo patógeno que puede provocar neumonitis por hipersensibilidad, asma y alveolitis alérgica.

3.2.6 Análisis de HAP's

En esta sección se muestran los resultados obtenidos para HAP's identificados en las PM_{2.5} de la ZMVT, específicamente en tres sitios de muestreo: San Mateo Atenco, Nueva Oxtotitlán, y San Cristóbal Huichochitlán.

Las Tabla 23 a la 25 presenta la concentración de HAP's identificados por cromatografía. Los análisis se realizaron en el Laboratorio Móvil para el Desarrollo Tecnológico de Equipos de Medición y Control de Contaminantes adscrito al Departamento de Electrónica del ININ.

Tabla 23. Concentración de HAP's en San Mateo Atenco

Concentraciones de HAP's en San Mateo Atenco			
Fecha	Elemento	Benceno	Total
		Concentración mg/m ³	
07/06/2017	Naftaleno	8.25E-05	6.45E-04
07/12/2017	Fenantreno	2.85E-05	2.85E-05
7/18/2017	Fluoranteno	7.03E-06	7.03E-06
7/24/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno	4.39E-06	4.39E-06
08/11/2017	Naftaleno	1.75E-05	6.89E-05
8/17/2017	Fluoreno	8.08E-06	3.81E-06
8/23/2017	Fluoranteno	3.81E-06	7.90E-06
8/29/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno	7.90E-06	
09/04/2017	Naftaleno	8.90E-06	1.43E-05
09/11/2017	Fenantreno	1.59E-05	1.59E-05
9/16/2017	Antraceno		
9/22/2017	Fluoranteno	5.48E-06	5.48E-06
9/28/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno		
10/04/2017	Naftaleno		4.41E-06
10/10/2017	Fluoreno	5.29E-06	5.29E-06
10/16/2017	Fenantreno	5.76E-05	5.76E-05
10/22/2017	Antraceno		
10/27/2017	Fluoranteno	1.38E-05	1.38E-05
	Pireno	1.18E-05	1.18E-05
11/03/2017	Naftaleno	2.26E-05	3.11E-05
11/09/2017	Fluoreno	3.65E-06	3.65E-06
11/15/2017	Fenantreno	3.65E-05	3.65E-05
11/21/2017	Antraceno		
11/27/2017	Fluoranteno	5.85E-06	5.85E-06

En la campaña de muestreo para el sitio de San Mateo Atenco se obtuvo que los HAP's con mayor frecuencia son Fluranteno, Naftaleno y Fenantreno, las de menor frecuencia son

Fluoreno, Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno y Pireno. La mayor concentración en el período de estudio se obtuvo para el Naftaleno y la menor para Fluoreno. Lo anterior se muestra en la Tabla 23.

Tabla 24. Concentración de HAP's en la Nueva Oxtotitlán

Concentraciones de HAPs en la Nueva Oxtotitlán			
Fecha	Elemento	Benceno	Total
		Concentración mg/m ³	
07/06/2017	Naftaleno	8.65E-05	6.15E-04
07/12/2017	Fenantreno		
7/18/2017	Fluoranteno		
7/24/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno	3.05E-06	3.05E-06
08/11/2017	Naftaleno	1.91E-05	8.86E-05
8/17/2017	Fluoreno		
8/23/2017	Fluoranteno		
8/29/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno		
09/04/2017	Naftaleno	1.20E-05	1.92E-05
09/11/2017	Fenantreno		
9/16/2017	Antraceno	1.29E-05	1.29E-05
9/22/2017	Fluoranteno		
9/28/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno		
10/04/2017	Naftaleno	1.07E-05	1.65E-05
10/10/2017	Fluoreno		
10/16/2017	Fenantreno	1.47E-05	1.47E-05
10/22/2017	Antraceno	1.47E-05	1.47E-05
10/27/2017	Fluoranteno	3.90E-06	3.90E-06
	Pireno	3.55E-06	3.55E-06
11/03/2017	Naftaleno		9.55E-06
11/09/2017	Fluoreno		
11/15/2017	Fenantreno		
11/21/2017	Antraceno	2.52E-05	2.52E-05
11/27/2017	Fluoranteno		

Para el sitio de la Nueva Oxtotitlán se obtuvo que los HAP's con mayor frecuencia son Naftaleno y Antraceno, los de menor frecuencia son Fenantreno, Fluoranteno, Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno, y Pireno. La mayor y menor concentración en el período de estudio se obtuvo para el mismo elemento Naftaleno. Estos resultados se presentan en la Tabla 24.

Tabla 25. Concentración de HAP's en la San Cristóbal Huichochitlán

Concentraciones de HAP's en San Cristóbal Huichotitlán			
Fecha	Elemento	Benceno	Total
		Concentración mg/m ³	
07/06/2017	Naftaleno		5.95E-04
07/12/2017	Fenantreno	5.37E-05	5.37E-05
7/18/2017	Fluoranteno	1.35E-05	1.35E-05
7/24/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno	8.80E-06	8.80E-06
08/11/2017	Naftaleno	2.25E-05	9.90E-05
8/17/2017	Fluoreno		7.52E-06
8/23/2017	Fluoranteno	7.52E-06	
8/29/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno		
09/04/2017	Naftaleno		1.09E-05
09/11/2017	Fenantreno	2.42E-05	2.42E-05
9/16/2017	Antraceno		
9/22/2017	Fluoranteno	9.81E-06	9.81E-06
9/28/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno		
10/04/2017	Naftaleno		4.46E-06
10/10/2017	Fluoreno		
10/16/2017	Fenantreno		
10/22/2017	Antraceno	1.10E-05	1.10E-05
10/27/2017	Fluoranteno		
11/03/2017	Naftaleno	1.33E-05	2.37E-05
11/09/2017	Fluoreno	6.97E-06	6.97E-06
11/15/2017	Fenantreno	6.36E-05	6.36E-05
11/21/2017	Antraceno		
11/27/2017	Fluoranteno	1.38E-05	1.38E-05

En la Tabla 25 en San Cristóbal Huichochitlán el HAP's con mayor frecuencia es Fluranteno y los demás se presentaron con menor frecuencia. La mayor concentración la tiene el Fenantreno y la menor el Antraceno.

3.3 Determinación de la Componente Natural y Antropogénica

En esta sección se presentan los resultados, utilizando el FE, para los elementos que contribuyen de manera natural en la atmósfera y los que lo hacen debido a la actividad del ser humano, estos se muestran en las Figuras 29 a 34.

La Figura 29 presenta que en San Mateo Atenco la componente natural quedó determinada para los elementos K, Ca, Ti, Mn y Fe; la Enriquecida para Si, P, V, Cr, Co, Ni, Cu e Y; la componente Altamente Enriquecida por los elementos S, Cl, Zn y PB.

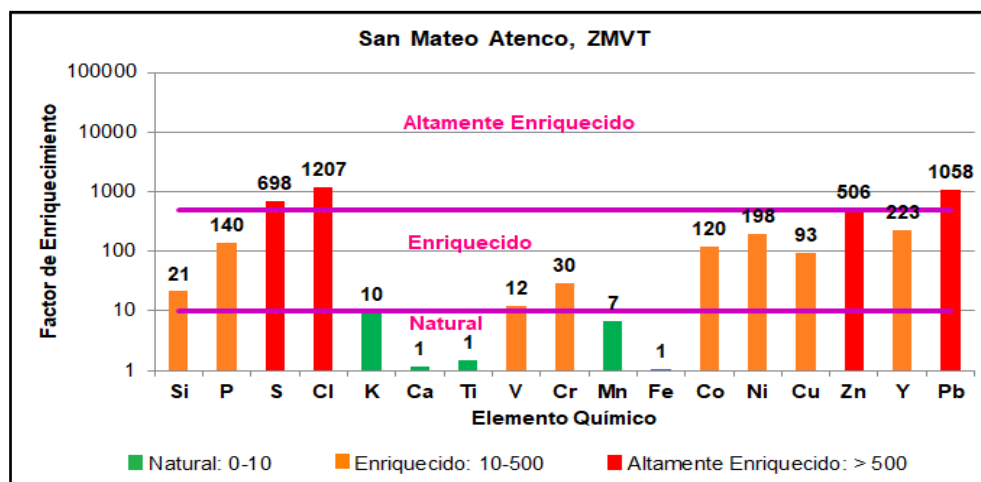


Figura 29. Factor de enriquecimiento de San Mateo Atenco.

En la Figura 30 se muestra que en el sitio de la Nueva Oxtotitlán la componente Natural quedó determinada para los elementos Si, Ca, Ti, y V; la componente Enriquecida para K, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn e Y; y la componente Altamente Enriquecida se determinó para los elementos P, S, Cl y Pb.

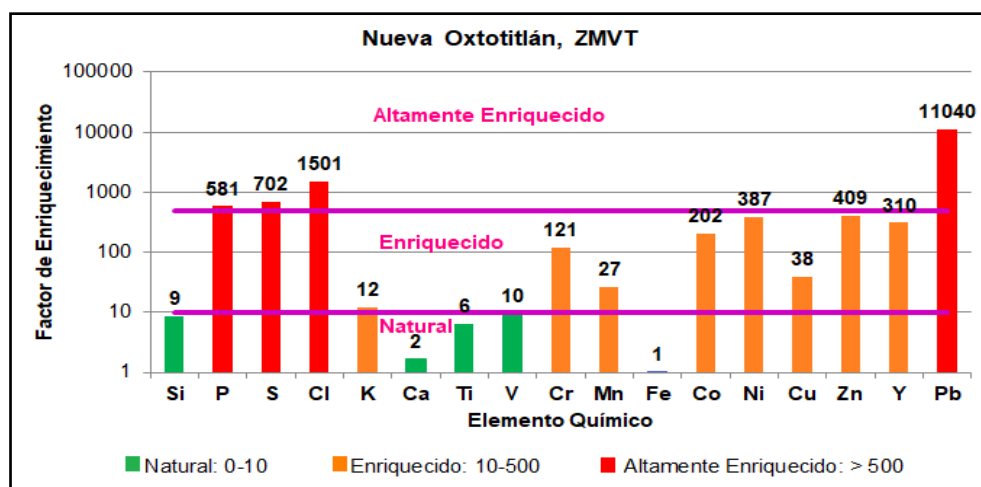


Figura 30. Factor de enriquecimiento de la Nueva Oxtotitlán

La Figura 31 que corresponde a San Cristóbal Huichochitlán presenta que la Componente Natural está determinada por los elementos Si, Ca, Ti, V y Mn; la componente Enriquecida se determinó con los elementos K, Cr, Co, Ni, Cu, Zn e Y; a su vez la componente Altamente Enriquecida se determinó por elementos.

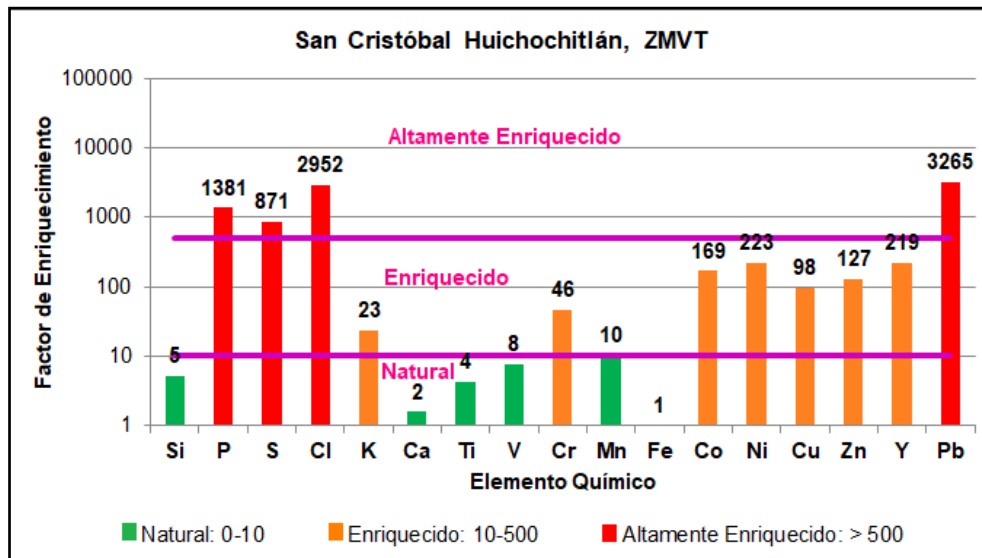


Figura 31. Factor de enriquecimiento de San Cristóbal Huichochitlán

En la Figura 32 correspondiente a Ceboruco, la componente Natural está determinada para los elementos K, Ca, Ti, V, Mn y Fe; la componente Enriquecida se determinó con los elementos Si, P, S, Cl, Co, Ni, Cu, Zn, Y junto con Pb. En este lugar no se determinaron componentes Altamente Enriquecidos.

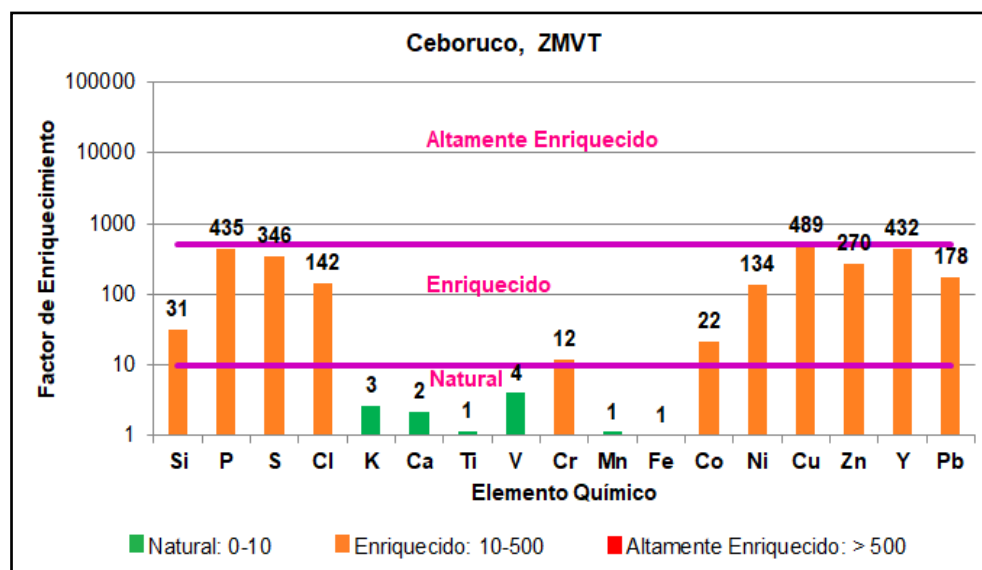


Figura 32. Factor de enriquecimiento del sitio de Ceboruco

La Figura 33 de San Lorenzo Tepaltitlán muestra que se determinó la componente Natural para los elementos P, Cl, Zn, Y junto con Pb; la componente Enriquecida para los elementos S, Cr, Co, Ni y Cu; además la componente Altamente Enriquecida está determinada por los elementos P, Cl, Zn, Y junto con Pb.

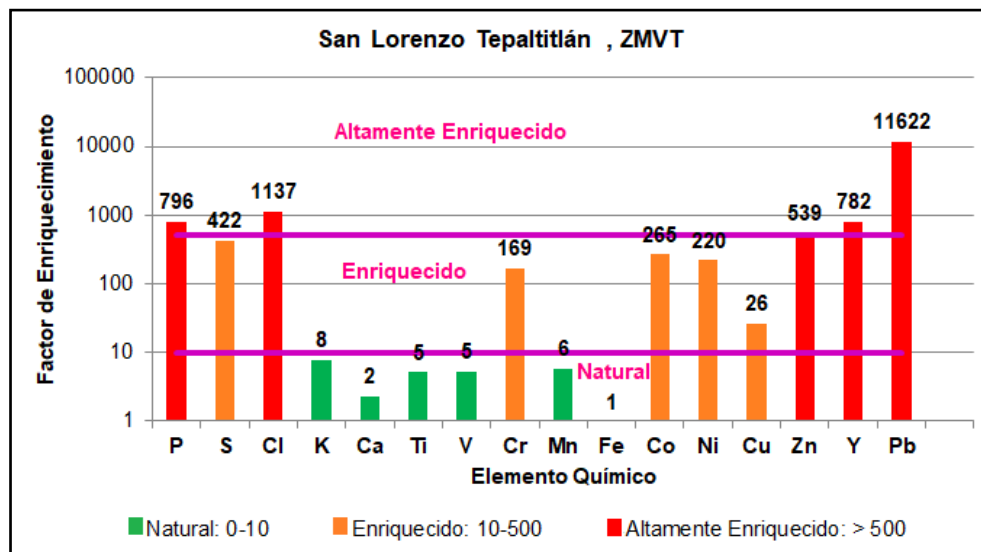


Figura 33. Factor de enriquecimiento de San Lorenzo Tepaltitlán

En la Figura 34 que corresponde al sitio de Zinacantepec la componente Natural quedó determinada por los elementos K, Ca, Ti, V, Mn y Fe; la componente Enriquecida se determinó para los elementos Si, P, S, Cl, Cr, Co, Ni, Cu, Zn y Pb; La componente Altamente Enriquecido se determinó sólo para el elemento Y.

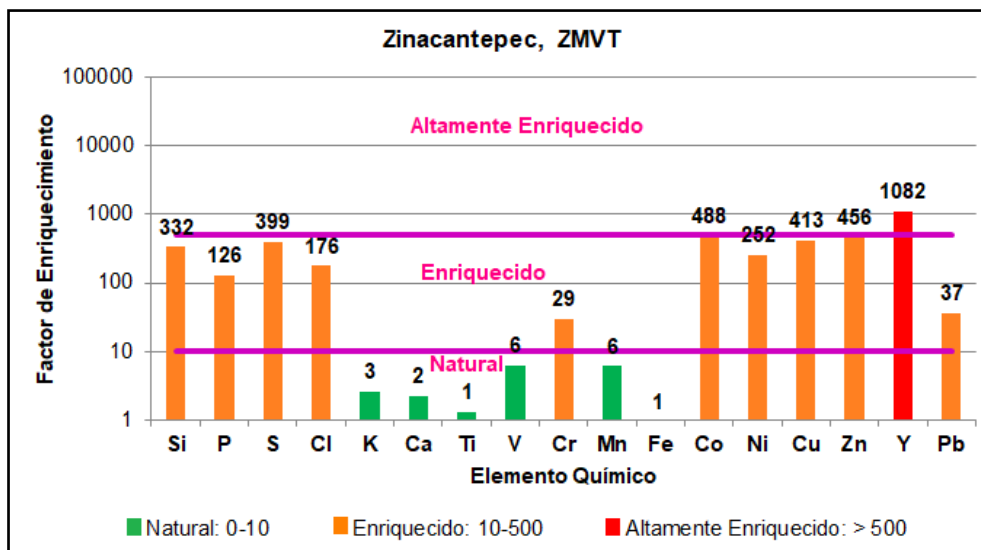


Figura 34. Factor de enriquecimiento de Zinacantepec

Con los resultados de la componente Natural y Antropogénica es posible visualizar los elementos que están en la atmósfera a un nivel natural, cuáles están enriquecidos y de cuáles hay que tener precaución dado que se presentan altamente enriquecidos.

Observando los resultados de los seis sitios se tiene que en los elementos altamente enriquecidos sólo hay uno para el sitio de Zinacantepec y el sitio con más elementos de los mismos es San Lorenzo Tepaltitlán. Los altamente enriquecidos son S, Cl y Pb. Los enriquecidos presentes en los seis sitios fueron: Co, Ni, Cu, Cr, Zn e Y.

Los elementos que están presentes a un nivel natural en los seis sitios son: Ca, Ti y Mn. EL V se encuentra como natural en cinco sitios, aunque en San Mateo Atenco se presenta como enriquecido. El K naturalmente se encuentra en San Mateo Atenco, Ceboruco, San Lorenzo Tepaltitlán y en Zinacantepec; en la Nueva Oxtotitlán y en San Cristóbal Huichochitlán se da como enriquecido. El Silicio únicamente se presenta de manera natural en la Nueva Oxtotitlán y en San Cristóbal Huichochitlán.

Ceboruco es el lugar que resulta como más limpio debido a que no cuenta con componentes altamente enriquecidos.

3.4 Determinación de Riesgo

3.4.1 Riesgo de Composición Química Elemental

Utilizando la metodología descrita en la sección correspondiente se determinaron los riesgos por la inhalación de la CQE presente en las PM_{2.5}, para los seis sitios de la ZMVT.

De los resultados presentados en la Tabla 26 se observa que se tienen posibilidades de contraer alguna enfermedad relacionada con los elementos: Cl, Ti, Cr, Mn y Pb para la ruta de exposición inhalación y para las clases sensibles de la población tratadas. Estos elementos presentan riesgo a la salud por esta vía de ingreso y en su mayoría muy alto riesgo; por ejemplo: El Cloro su valor mínimo es para el sitio ZN (adultos); el máximo para SC: (niños 6-12 años). Titanio: mínimo CB (adultos y niños); máximo NO (adultos y niños). Cromo: mínimo CB (adultos); máximo SL (niños 6-12 años). Manganeso: mínimo CB (A); máximo NO (niños 6-12 años). Plomo: mínimo ZN (adultos y niños); máximo SC (adultos y niños). De estos resultados se observa que las clases sensibles de la población más afectadas son para los adultos y los niños de 6 a 12 años y los sitios de mayor riesgo son SC y SL. Individualmente, no hay posibilidades de contraer alguna enfermedad por los elementos S, V, Ni, Cu, Zn y MGF,

sin embargo, estos elementos no actúan solos, actúan conjuntamente y por ello sus efectos se sinergizan es decir se potencializan.

Tabla 26. Relación de los valores del riesgo a la salud por inhalación de CQE, presente en las PM_{2.5} en los seis sitios de la ZMVT

Elementos	NO			SC			CB		
	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
	R= DE/DR			R= DE/DR			R= DE/DR		
S	0.394	0.4	0.128	0.663	0.673	0.216	0.167	0.17	0.054
Cl	137.004	139.083	44.557	363.109	368.618	118.092	6.11	6.203	1.987
Ti	31.706	31.706	31.706	15.644	15.644	15.644	3.654	3.654	3.654
V	0.002	0.002	0.001	0.004	0.004	0.001	0.003	0.003	0.001
Cr	14.092	14.306	4.583	1.213	1.231	0.394	0.621	0.63	0.202
Mn	73.598	74.715	23.936	25.914	26.307	8.428	1.857	1.885	0.604
Ni	0.059	0.06	0.019	0.023	0.023	0.007	0.037	0.037	0.012
Cu	0.002	0.002	0.002	0.005	0.005	0.005	0.027	0.027	0.027
Zn	0.0003	0.0003	0.0001	0.001	0.001	0.0003	0.002	0.002	0.001
Pb	20.316	20.316	20.316	106.64	106.64	106.64	15.181	15.181	15.181
MGF	0.014	0.014	0.014	0.018	0.018	0.018	0.002	0.002	0.002
Riesgo Total	277.188	280.604	125.263	513.233	519.164	249.445	27.66	27.794	21.724
Elementos	ZN			SL			SM		
	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
	R= DE/DR			R= DE/DR			R= DE/DR		
S	0.253	0.257	0.082	0.733	0.744	0.238	0.313	0.318	0.102
Cl	4.746	4.818	1.544	255.297	259.171	83.029	88.945	90.295	28.927
Ti	6.731	6.731	6.731	29.686	29.686	29.686	3.906	3.906	3.906
V	0.002	0.002	0.001	0.005	0.005	0.002	0.005	0.005	0.002
Cr	3.684	3.74	1.198	32.554	33.048	10.587	1.223	1.242	0.398
Mn	16.853	17.109	5.481	27.455	27.871	8.929	8.797	8.93	2.861
Ni	0.019	0.019	0.006	0.072	0.073	0.023	0.025	0.025	0.008
Cu	0.029	0.029	0.029	0.002	0.002	0.002	0.007	0.007	0.007
Zn	0.005	0.006	0.002	0.008	0.008	0.003	0.002	0.002	0.001
Pb	1.292	1.292	1.292	61.119	61.119	61.119	17.191	17.191	17.191
MGF	0.002	0.002	0.002	0.012	0.012	0.012	0.001	0.001	0.001
Riesgo Total	33.617	34.005	16.368	406.944	411.74	193.631	120.415	121.922	53.403

R (Riesgo)= DE (Dosis de Exposición) / DR (Dosis de Referencia)

3.4.2 Riesgo de Hongos

Para la determinación del riesgo a la salud por inhalación de hongos se siguió la metodología descrita en la sección 2.8. De los hongos obtenidos los de mayor concentración y, por consiguiente, con la probabilidad de presentar algún riesgo a la salud se tienen: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium* y *Penicillium*. A continuación, en la Tabla 27 se presenta el riesgo obtenido para los hongos más representativos en la ZMVT.

Tabla 27. Riesgo para cada uno de los hongos más representativos obtenidos en la ZMVT

Hongo	UFC	Vol m ³	UFC/M ³	Dosis de referencia UFC/ m ³	R
Cladosporium	1024	24	43	3000	0.014
Alternaria alternata	743	24	31	100	0.31
Fusarium	437	24	18	106	0.00002
Penicillium	217	24	9	107	0.0000009
Total					0.324

Para el cálculo de riesgo para los hongos no se consideró la dosis de exposición dado que las dosis de referencia solo están en UFC/m³. Se determina que *Cladosporium* produce asma y rinitis; *Alternaria alternata* es responsable de producir asma, conjuntivitis y neumonía; *Fusarium* ocasiona onicomycosis, queratitis, dolor muscular, asma, rinitis, sinusitis e infecciones en los bronquios; *Penicillium* genera neumonitis, asma y alveolitis. (López, 2016)

Sigue siendo difícil establecer límites aceptables de exposición a esporas de hongos en el aire debido a la gran cantidad de especies de hongos y cepas en ambientes interiores y exteriores y la gran variabilidad interindividual en la reacción humana a la exposición de esporas de hongos.

3.4.3 Riesgo de HAP's

Para la determinación del riesgo a la salud por inhalación de HAP's presentes en las PM_{2.5} se utilizó la metodología descrita en la sección 2.8. En las Tablas 28 a la 30 se muestran los HAP's obtenidos, así como el riesgo para las tres poblaciones de estudio, en donde los resultados reflejan que no existe riesgo a la salud, en los sitios de estudio de San Mateo Atenco, San Cristóbal Huichochitlán y Nueva Oxtotitlán; esto se atribuye a que el valor del riesgo obtenido es menor a uno.

Tabla 28. Riesgo a la salud por inhalación de HAP's, presentes en las PM_{2.5}, en San Mateo Atenco

Fechas	Riesgo por inhalación de HAP's en San Mateo Atenco			
	Elemento	Niños 2-6 años	Niños 6-12años	Adultos 70 años
06/07/2017	Naftaleno	0.000403	0.000409	0.0001313
12/07/2017	Fenantreno			
18/07/2017	Fluoranteno	6.7E-06	2.1E-06	0.0000176
24/07/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno			
11/08/2017	Naftaleno	4.31E-05	4.37E-05	0.000014
17/08/2017	Fluoreno	3.6E-06	3.6E-06	0.0000012
23/08/2017	Fluoranteno	7.5E-06	2.4E-06	0.0000198
29/08/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno			
04/09/2017	Naftaleno	0.000009	9.1E-06	0.0000029
11/09/2017	Fenantreno			
16/09/2017	Antraceno			
22/09/2017	Fluoranteno	5.2E-06	1.7E-06	0.0000137
28/09/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno			
04/10/2017	Naftaleno	2.8E-06	2.8E-06	0.0000009
10/10/2017	Fluoreno	0.000005	0.000005	0.0000016
16/10/2017	Fenantreno			
22/10/2017	Antraceno			
27/10/2017	Fluoranteno	1.32E-05	4.2E-06	0.0000346
27/10/2017	Pireno	1E-07	1E-07	0.0000001
03/11/2017	Naftaleno	1.94E-05	1.97E-05	0.0000063
09/11/2017	Fluoreno	3.4E-06	3.5E-06	0.0000011
15/11/2017	Fenantreno			
21/11/2017	Antraceno			
27/11/2017	Fluoranteno	5.6E-06	1.8E-06	1.464E-05
Riesgo Total		0.00053	0.00051	0.00026

Tabla 29. Riesgo a la salud por inhalación de HAP's, presentes en las PM_{2.5}, en San Cristóbal Huichochitlán

Fechas	Riesgo por inhalación de HAP's en San Cristóbal Huichochitlán			
	Elemento	Niños 2-6 años	Niños 6-12años	Adultos 70 años
06/07/2017	Naftaleno	0.00037186	0.0003775	0.00012117
12/07/2017	Fenantreno			
18/07/2017	Fluoranteno	1.28E-05	4.12E-06	3.37E-05
24/07/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno			
11/08/2017	Naftaleno	6.18E-05	6.28E-05	2.02E-05
17/08/2017	Fluoreno	7.05E-06	7.16E-06	2.30E-06
23/08/2017	Fluoranteno			
29/08/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno			
04/09/2017	Naftaleno	6.82E-06	6.92E-06	2.22E-06
11/09/2017	Fenantreno			
16/09/2017	Antraceno			
22/09/2017	Fluoranteno	9.33E-06	3.00E-06	2.45E-05
28/09/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno			
04/10/2017	Naftaleno	2.79E-06	2.83E-06	9.09E-07
10/10/2017	Fluoreno			
16/10/2017	Fenantreno			
22/10/2017	Antraceno			
27/10/2017	Fluoranteno			
03/11/2017	Naftaleno	1.48E-05	1.51E-05	4.83E-06
09/11/2017	Fluoreno	6.54E-06	6.63E-06	2.13E-06
15/11/2017	Fenantreno			
21/11/2017	Antraceno			
27/11/2017	Fluoranteno	1.32E-05	4.23E-06	3.46E-05
Riesgo Total		0.00051	0.00049	0.00025

Tabla 30. Riesgo a la salud por inhalación de HAP's, presentes en las PM_{2.5}, en la Nueva Oxtotitlán

Fechas	Riesgo por inhalación de HAP's en la Nueva Oxtotitlán			
	Elemento	Niños 2-6 años	Niños 6-12años	Adultos 70 años
06/07/2017	Naftaleno	0.0003843	0.0003902	0.0001252
12/07/2017	Fenantreno			
18/07/2017	Fluoranteno			
24/07/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno			
11/08/2017	Naftaleno	5.54E-05	5.62E-05	1.80E-05
17/08/2017	Fluoreno			
23/08/2017	Fluoranteno			
29/08/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno			
04/09/2017	Naftaleno	1.20E-05	1.22E-05	3.92E-06
11/09/2017	Fenantreno			
16/09/2017	Antraceno			
22/09/2017	Fluoranteno			
28/09/2017	Benzo(ghi)[1,2,3-cd]perileno			
04/10/2017	Naftaleno	1.03E-05	1.05E-05	3.37E-06
10/10/2017	Fluoreno			
16/10/2017	Fenantreno			
22/10/2017	Antraceno			
27/10/2017	Fluoranteno	3.71E-06	1.19E-06	9.75E-06
27/10/2017	Pireno	2.09E-08	2.09E-08	2.09E-08
03/11/2017	Naftaleno	5.97E-06	6.06E-06	1.95E-06
09/11/2017	Fluoreno			
15/11/2017	Fenantreno			
21/11/2017	Antraceno			
27/11/2017	Fluoranteno			
Riesgo Total		0.00047	0.00048	0.00016

En resumen, los riesgos obtenidos por la inhalación de HAP's presentes en las partículas PM_{2.5} en la ZMVT, para las poblaciones vulnerables son presentados en la Tabla 31.

Tabla 31. Resumen del Riesgo por HAP's en la ZMVT

Sitio	Riesgo HAP's		
	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
SM	0.00053	0.00051	0.00026
SC	0.00051	0.00049	0.00025
NO	0.00047	0.00048	0.00016
Riesgo Total	0.00151	0.00148	0.00067

Como resultado de los cálculos para el riesgo por inhalación de CQE, HAP's y Hongos presentes en las PM_{2.5} de la ZMVT, para las poblaciones vulnerables, en la Tabla 32 se presenta el resumen de los riesgos totales de los mismos.

Tabla 32. Resumen de riesgos por inhalación de CQE, HAP's y Hongos, presentes en la ZMVT

(Totales) Sitio/contaminante	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
NO (CQE)	277.17	280.59	125.25
SC (CQE)	513.21	519.15	249.43
CB (CQE)	27.66	27.79	21.71
ZN (CQE)	33.62	34.00	16.37
SL (CQE)	406.93	411.73	193.62
SM (CQE)	120.41	121.92	53.40
HAP's	0.00151	0.00148	0.00067
Hongos	0.324		

3.5 Determinación de Fuentes de Emisión

Para la identificación de las posibles fuentes de emisión en esta investigación se hizo uso de herramientas estadísticas como las técnicas multivariadas. En las Tablas 33 a la 38 se muestran los resultados.

En San Mateo Atenco se obtuvieron las posibles fuentes de emisión presentadas en la Tabla 33; en ella se observa que la matriz rotada de los datos (VARIMAX) da como resultado tres componentes significativos, los cuales fueron asociados con Polvo del suelo, Hidrocarburos y Sulfatos. En el análisis de componentes principales se obtiene que estos tres componentes explican el 97.4 % de la variabilidad de los datos.

Tabla 33. Fuentes de emisión obtenidas para PM_{2.5} del sitio de San Mateo Atenco

Elemento	Polvo del suelo	Hidrocarburos	Sulfatos
Ca	.990	.061	.126
Ti	.986	.086	-.144
Cu	.982	.064	-.174
Mn	.980	.069	-.184
Cr	.978	.093	-.184
K	.977	.154	-.027
Ni	.975	.083	-.206
Cl	.906	.277	.240
Fe	.903	.141	.406
MGF	.006	.976	-.195
V	-.048	-.922	-.235
Zn	-.575	-.739	.160
Pb	.098	.027	.954
S	-.609	-.162	.768

En la Tabla 34, correspondiente a Ceboruco, se muestran las posibles fuentes de emisión obtenidas, en ella se observa que la matriz rotada de los datos (VARIMAX) da como resultado tres componentes significativos, los cuales fueron asociados con Polvo de suelo, Industria y Quema de combustibles. En el análisis de componentes principales se obtiene que estos tres componentes explican el 83.04 % de la variabilidad de los datos.

Tabla 34. Fuentes de emisión obtenidas para PM_{2.5} del sitio de Ceboruco

Elemento	Polvo de suelo	Industria	Quema de combustibles
Ca	.966	-.046	.066
Fe	.932	.194	-.001
Ti	.905	-.177	.193
Zn	.697	.029	.557
Cr	.668	-.283	.545
K	-.003	.933	.254
Cl	-.206	.884	.077
MGF	.467	.592	.339
S	.076	.258	.916
Mn	.128	.242	.719

En el sitio de la Nueva Oxtotitlán, se obtuvieron las posibles fuentes de emisión presentadas en la Tabla 35 y se observa que la matriz rotada de los datos (VARIMAX) da como resultado tres componentes significativos, los cuales fueron asociados con Industria, Quema de carbón y Polvo del suelo. En el análisis de componentes principales se obtiene que estos tres componentes explican el 100 % de la variabilidad de los datos.

Tabla 35. Fuentes de emisión obtenidas para PM_{2.5} del sitio Nueva Oxtotitlán

Elemento	Industria	Quema de carbón	Polvo del suelo
Ni	.984	-.175	.035
V	.971	.134	.195
Zn	.899	.095	-.428
Cr	.853	.420	.310
Mn	.823	-.048	.566
Cl	.037	.999	.007
MGF	.173	-.985	-.018
S	-.644	-.763	-.060
Fe	.395	.700	.595
K	-.050	-.136	.989
Ca	.228	.483	.846

En la Tabla 36 se presentan las posibles fuentes de emisión obtenidas en el sitio de San Cristóbal Huichochitlán, donde se observa que la matriz rotada de los datos (VARIMAX) da como resultado tres componentes significativos, los cuales fueron asociados con Polvo del suelo, Hidrocarburos e Industria. En el análisis de componentes principales se obtiene que estos tres componentes explican el 92.8 % de la variabilidad de los datos.

Tabla 36. Fuentes de emisión obtenidas para PM_{2.5} del sitio de San Cristóbal Huichochitlán

Elemento	Polvo del Suelo	Hidrocarburos	Industria
Zn	0.996	0.055	-0.041
K	0.97	0.085	0.051
Cl	0.943	0.035	-0.213
Ti	0.79	0.537	0.221
Mn	0.79	0.34	0.478
Fe	0.786	0.499	0.359
MGF	0.709	-0.021	0.624
Ca	0.609	0.526	0.487
Cu	0.179	0.898	-0.014
S	-0.131	0.896	0.073
V	0.341	0.889	-0.196
Cr	0.086	0.1	-0.961

En San Lorenzo Tepaltitlán, Tabla 37, se exhiben las posibles fuentes de emisión y se observa que la matriz rotada de los datos (VARIMAX) da como resultado tres componentes significativos, los cuales fueron asociados con Industria, Polvo del suelo y Vehicular. En el análisis de componentes principales se obtiene que estos tres componentes explican el 100 % de la variabilidad de los datos.

Tabla 37. Fuentes de emisión obtenidas para PM_{2.5} del sitio de San Lorenzo Tepaltitlán

Elemento	Industria	Polvo del Suelo	Vehicular
Fe	.952	.247	.182
V	.888	-.455	-.069
Ca	.852	-.139	.505
S	.850	.388	.356
Cr	.839	-.522	.155
Ti	.819	.058	.571
Cl	-.106	.994	-.037
Mn	.040	.993	.115
K	-.210	.977	-.024
Zn	.487	.792	.367
Cu	.403	-.219	.889
MGF	.133	.463	.876

En Zinacantepec, Tabla 38, da como resultado tres componentes significativos, los cuales fueron asociados con Polvo del suelo, Vehicular y MGF. En el análisis de componentes principales se obtiene que estos tres componentes explican el 100 % de la variabilidad de los datos.

Tabla 38. Fuentes de emisión obtenidas para PM_{2.5} del sitio de Zinacantepec

Elemento	Polvo del suelo	Vehicular	MGF
Fe	.997	.011	.077
Zn	.993	.111	-.038
Ti	.941	.003	-.338
Cl	-.930	.247	.272
Ca	.850	.431	-.303
Cr	-.681	.671	.295
Mn	.232	.973	.007
K	.057	.961	-.270
S	-.140	.950	.278
MGF	-.219	.030	.975

En resumen, Son ocho las posibles fuentes de emisión en la ZMVT, presentadas en la tabla 39, los resultados indican que la Fuente de Polvo del suelo se obtiene en los seis sitios, la Industria en cuatro sitios; Hidrocarburos en dos sitios; **Relación entre la CQE y las enfermedades.** Vehicular se identifica en dos sitios; Quema de carbón se presenta en NO, Quema de combustibles en CB, Sulfatos en SM y MFG en ZN. (Owoade et al., 2015), (Banerjee et al., 2015), (Kronborg et al., 1987)

Tabla 39. Resumen de las posibles fuentes de emisión de las PM_{2.5}, en los sitios de estudio

Sitio	Posibles Fuentes de Emisión		
NO	Polvo del suelo	Industria	Quema de carbón
SM	Polvo del suelo	Sulfatos	Hidrocarburos
CB	Polvo del suelo	Industria	Quema de combustibles
SC	Polvo del suelo	Industria	Hidrocarburos
SL	Polvo del suelo	Industria	Vehicular
ZN	Polvo del suelo	MGF	Vehicular

3.6 Identificación de fuentes de riesgo

Para determinar las fuentes de riesgo se consideraron las fuentes de emisión obtenidas de acuerdo con la sección 2, asignando el riesgo elemental a cada uno de los elementos presentes en la fuente. Estos resultados se presentan a continuación, en las Tablas 40 a 42.

Tabla 40. Fuentes de riesgo por inhalación de PM_{2.5} en Ceboruco y Zinacantepec

CB				ZN			
Elemento	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Elemento	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
Polvo del Suelo				Polvo del suelo			
Ti	3.654	3.654	3.654	Zn	0.005	0.006	0.002
Zn	0.002	0.002	0.001	Ti	6.731	6.731	6.731
Cr	0.621	0.630	0.202	Cl	4.746	4.818	1.544
Riesgo T.	4.277	4.286	3.856	Cr	3.684	3.740	1.198
Industria				Riesgo T.	15.167	15.295	9.475
Cl	6.110	6.203	1.987	Vehicular			
MGF	0.002	0.002	0.002	Mn	16.853	17.109	5.481
Riesgo T.	6.112	6.205	1.989	S	0.253	0.257	0.082
Quema de Combustible				Riesgo T.	17.106	17.366	5.563
S	0.167	0.170	0.054	MGF			
Mn	1.857	1.885	0.604	MGF	0.002	0.002	0.002
Riesgo T.	2.024	2.055	0.658	Riesgo T.	0.002	0.002	0.002

En la Tabla 40 se muestran los riesgos para cada fuente, para las tres edades sensibles de la población de Ceboruco y Zinacantepec.

Tabla 41. Fuentes de riesgo por inhalación de PM_{2.5} en San Cristóbal Huichochitlán y San Lorenzo Tepaltitlán

SC				SL			
Elemento	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Elemento	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
Polvo de suelo				Industria			
Zn	0.001	0.001	0.0003	V	0.005	0.005	0.002
Cl	363.109	368.618	118.092	S	0.733	0.744	0.238
Ti	15.644	15.644	15.644	Cr	32.554	33.048	10.587
Mn	25.914	26.307	8.428	Ti	29.686	29.686	29.686
MGF	0.018	0.018	0.018	Riesgo T.	62.978	63.483	40.514
Riesgo T.	404.685	410.588	142.182	Polvo del Suelo			
Hidrocarburos				Cl	255.297	259.171	83.029
Cu	0.005	0.005	0.005	Mn	27.455	27.871	8.929
S	0.663	0.673	0.216	Zn	0.008	0.008	0.003
V	0.004	0.004	0.001	Riesgo T.	282.760	287.051	91.961
Riesgo T.	0.671901	0.682	0.222	Vehicular			
Industria				Cu	0.002	0.002	0.002
Cr	1.213	1.231	0.394	MGF	0.012	0.012	0.012
Riesgo T.	1.213	1.231	0.394	Riesgo T.	0.01441	0.01441	0.01441

Las fuentes de riesgo para las tres edades sensibles de la población de San Cristóbal Huichochitlán y San Lorenzo Tepaltitlán se presentan en la Tabla 41.

Tabla 42. Fuentes de riesgo por inhalación de PM_{2.5} en San Mateo Atenco y Nueva Oxtotitlán

SM				NO			
Elemento	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Elemento	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
Polvo del Suelo				Industria			
Ti	3.906	3.906	3.906	Ni	0.059	0.060	0.019
Cu	0.007	0.007	0.007	V	0.002	0.002	0.001
Mn	8.797	8.930	2.861	Zn	0.0003	0.0003	0.0001
Cr	1.223	1.242	0.398	Cr	14.092	14.306	4.583
Ni	0.025	0.025	0.008	Mn	73.598	74.715	23.936
Cl	88.945	90.295	28.927	<i>Riesgo T.</i>	<i>87.752</i>	<i>89.083</i>	<i>28.539</i>
<i>Riesgo T.</i>	<i>102.903</i>	<i>104.405</i>	<i>36.107</i>	Quema de Carbón			
Hidrocarburos				Cl	137.004	139.083	44.557
MGF	0.001	0.001	0.001	MGF	0.014	0.014	0.014
V	0.005	0.005	0.002	S	0.394	0.400	0.128
Zn	0.002	0.002	0.001	<i>Riesgo T.</i>	<i>137.412</i>	<i>139.497</i>	<i>44.6989</i>
<i>Riesgo T.</i>	<i>0.008</i>	<i>0.008</i>	<i>0.004</i>	Polvo del Suelo			
Sulfatos				K			
Pb	17.191	17.191	17.191	Ca			
S	0.313	0.318	0.102	<i>Riesgo T.</i>			
<i>Riesgo T.</i>	<i>17.504</i>	<i>17.509</i>	<i>17.293</i>				

Para las tres edades sensibles de la población de San Mateo Atenco y la Nueva Oxtotitlán, en la Tabla 42 se muestran sus fuentes de riesgo. En la misma tabla para la NO en la fuente de Polvo del suelo se observa que cuenta con dos elementos K y Ca, los cuales no presentan valor para el riesgo debido a que no fue posible calcular su riesgo elemental por no contar con una dosis de referencia.

Tabla 43. Resumen total de las Fuentes de riesgo por inhalación de PM_{2.5} en la ZMVT

Sitio	Polvo del suelo			Industria		
	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
SM	102.903	104.405	36.107			
CB	4.277	4.286	3.856	6.112	6.205	1.989
SL	282.760	287.051	91.961	62.978	63.483	40.514
ZN	15.167	15.295	9.475			
NO				87.752	89.083	28.53896
SC	404.685	410.588	142.182	1.213	1.231	0.394
Total	809.793	821.625	283.581	158.055	160.003	71.436304
Sitio	MGF			Quema de carbón		
	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
SM						
CB						
SL						
ZN	0.002	0.002	0.002			
NO				137.412	139.497	44.698875
SC						
Total	0.002	0.002	0.002	137.412	139.497	44.698875
Sitio	Vehicular			Hidrocarburos		
	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
SM				0.008	0.008	0.004
CB						
SL	0.014	0.014	0.014			
ZN	17.106	17.366	5.563			
NO						
SC				0.672	0.682	0.222
Total	17.121	17.381	5.578	0.680	0.690	0.226
Sitio	Quema de combustible			Sulfatos		
	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años	Niños 2-6 años	Niños 6-12 años	Adultos 70 años
SM				17.504	17.509	17.293
CB	2.024	2.055	0.658			
SL						
ZN						
NO						
SC						
Total	2.024	2.055	0.658	17.504	17.509	17.293

En la Tabla 43 se muestra el resumen total de las Fuentes de riesgo por inhalación de PM_{2.5} en la ZMVT. La Fuente de riesgo, para cinco de los sitios y para todas las clases sensibles de la población, con mayor valor es Polvo del suelo, siguiéndole Industria. El sitio de Zinacantepec tiene la menor Fuente de riesgo que es MGF.

En la siguiente Tabla 44, se presenta la CQE de las fuentes de riesgo obtenidas y las posibles enfermedades que pueden contraer los grupos sensibles de la población.

Tabla 44. Relación entre la CQE y las enfermedades
TSRD (2016), (Lenntech, 2020), (Montero, 2009), USEPA (2016)

Enfermedades	Elementos
Asma	S, Ni
Alteraciones del metabolismo hormonal	S
Bronconeumonía	S
Daños cardiacos	S, Cl, Ni
Daños en las funciones del hígado	S
Daños en las funciones de los riñones	S, Pb
Dolor de cabeza.	S, Cl, Mn, Cu
Dolor y obstrucción torácica.	S, Cl
Bronquitis	S, V, Mn, Cl, Ni
Fiebre	S
Irritación de la nariz	S, V, Cr
Irritación de la garganta	S, Cl, V
Paros respiratorios	S, Ni
Muerte	S, Cl, Cr, Pb
Picazón o sensación de quema en nariz y garganta	Cl
Fibrosis intersticial	Zn, Ti
Fiebre de vapores de metal	Zn
Anemia y daño de pancreas	Zn

CONCLUSIONES

1. Se determinaron las posibles fuentes de emisión para la Composición Química Elemental.
2. Los riesgos por inhalación de la Composición Química Elemental presente en las partículas $PM_{2.5}$ para los seis sitios de muestreo de la ZMVT fueron altos, lo que implica que existe una alta probabilidad de contraer algunas de las enfermedades que puede ocasionar la Composición Química Elemental.
3. Los riesgos para la inhalación de HAP's y hongos presentes en las $PM_{2.5}$ resultaron bajos, e incluso sumando todos los riesgos individuales para considerar su sinergismo siguen siendo bajos. Por lo que no se tiene probabilidad de contraer alguna enfermedad por estos contaminantes.
4. La metodología existente para determinar el riesgo de bacterias y hongos es limitada.
5. Con los riesgos obtenidos y las posibles fuentes de emisión es posible determinar las posibles fuentes de riesgo. Lo que nos indica qué fuente puede ser la más dañina a la salud de la población.
6. En la ZMVT los elementos Cl, S, Cr, Ti, Mn y Pb son los elementos que requieren ser vigilados, debido al gran impacto a la salud de la población.
7. Existe un alto riesgo a la salud para las clases sensibles de la ZMVT.
8. A partir de conocer los contaminantes que presentan riesgo a la salud de la población que los inhala, es necesario ahora establecer estrategias de mitigación o remediación.
9. La existencia de $PM_{2.5}$ en la ZMVT está en relación directa con los riesgos a la salud por inhalación; debido a que estas partículas contienen elementos químicos, HAP's, bacterias y hongos, por lo que se verifica la hipótesis.

REFERENCIAS

- Ahmed, T. M., Ahmed, B., Aziz, B. K., Bergvall, C., & Westerholm, R. (2015). Native and oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air particulate matter from the city of Sulaimaniyah in Iraq. *Atmospheric Environment*, 116, 44-50. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.020>
- Aragón Piña , A., Torres , G., Monroy , M., Luszczewski , A., & Ramos , R. (2000). Scanning electron microscope and statistical analysis of suspended heavy metal particles in San Luis Potosí, México. *Atmospheric Environment* , 34(24), 4103-4112.
- Aralco. (2020). Equipos de bajo volumen. *Aralco, Control y medición ambiental*. Obtenido de <http://comercialaralco.com/equipos-de-bajo-volumen-aralco/>
- ATSDR. (2016). Evaluación de la salud pública. *Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/hac/pha/reports/isladevieques_02072003pr_es/cdb_toc.html
- ATSDR. (2018). Niveles mínimos de riesgo (LMR) para sustancias peligrosas. *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Recuperado el 7 de septiembre de 2019, de <https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/index.html>
- ATSRD. (2005). Resumen de salud pública, Zinc. *Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*. Obtenido de [file:///C:/Users/angel/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8b-bwe/TempState/Downloads/es_phs60%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/angel/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8b-bwe/TempState/Downloads/es_phs60%20(1).pdf)
- (Author links open overlay panelDorteKronborgFinn PalmgrenJensenKristianKeiding*Niels Z.Heidam).
- Banerjee, T., Murari, V., Kumar, M., & Raju, M. P. (2015). Source apportionment of airborne particulates through receptor modeling: Indian scenario. *Elsevier*, 164-165, 167-187. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.04.017>
- Borras García, E. M. (2013). Caracterización de material particulado atmosférico generado en reactores fotoquímicos y procedente de muestras ambientales. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis doctoral. 2013. DOI: 10.4995/Thesis/10251/31645. (U. P. Valencia, Recopilador) Valencia. doi:doi:10.4995/Thesis/10251/31645
- Bush , L. M., & Schmidt, C. E. (mayo de 2018). *Manual MSD*. Obtenido de <https://www.msdmanuals.com/es-cr/hogar/infecciones/infecciones-bacterianas-bacterias-gramnegativas/introducción-a-las-bacterias-gram-negativas>
- Campbell, J. (2019). Acerca de GUPIX y GUPIXWIN. *University of Guelph*.

- Castellanos Moguel, J., Núñez Cardona, M. T., Falcón Bárcenas, T., & Díaz Godoy, R. V. (2007). Enemigos invisibles: Hongos y partículas en la atmósfera, efectos sobre la salud. Universidad Iberoamericana León. ISSN: 2007-5316. <http://entretextos.leon.uia.mx/num/14/PDF/E14-Art3.pdf>. Obtenido de <http://entretextos.leon.uia.mx/num/14/PDF/E14-Art3.pdf>
- CEPIS, & OPS. (1997). Curso de autoinstrucción en metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. *Evaluación de Riesgo para la Salud en la Población expuesta a metales en Bolivia*. Alto Lima, Bolivia. Obtenido de http://cidta.usal.es/riesgos/CD1/sitios_contaminados/www.cepis.ops-oms.org/tutorial3/e/casos/caso1/evalries.html
- Cid-del Prado, M., Piedras Gutiérrez, B., Visoso Salgado, Á., & Becerril Ángeles, M. (2015). Estudio aerobiológico de pólenes anemófilos en la ciudad de Toluca, México. *Alergia México*, 62(1), 8-14. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4867/486755049002>
- COESPO. (2019). Zonas Metropolitanas del Estado de México. *Consejo Estatal de Población*. Obtenido de http://coespo.edomex.gob.mx/zonas_metropolitanas
- Cruz Pauseno, G. (2019). *Distribución espacio-temporal de la composición bacteriana en la atmósfera baja del Valle de Toluca*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Xochimilco. Recuperado el 2019
- De la Rosa, M. C., Mosso, M. A., & Ullan, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5, 375-402. Obtenido de <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD0202110375A>
- Díaz Barriga, F., Santos, M. A., Mejía, J. J., Batres, L., Yáñez, L., Carrizales, L., & Calderón, J. (1994). *Caracterización del riesgo en salud por exposición a metales pesados en la Ciudad de San Luis Potosí*. San Luis Potosí.
- Díaz Barriga, F., Hamel, J., Paz, E., Carrizales, L., Batres, L., Calderón, J., . . . Mc Connell, R. (1997). *Evaluación del riesgo en salud. Zona metalúrgica del Alto Lima, ciudad de el Alto, Bolivia*. CEPIS/OPS.
- Díaz Godoy, R. V. (2007). *Caracterización elemental de las partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros y su riesgo a la salud en la zona metropolitana de la Ciudad de México*. Tesis Doctoral, México.
- Díaz Godoy, R. V., & Domínguez, R. (2008). Componente natural y antropogénica de la composición química elemental de las partículas suspendidas (PM2.5) y sus posibles fuentes de emisión, en un sitio de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

- Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 65(534), 120-128. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2720901>
- Díaz Godoy, R. V., Aldape, F., & Flores, M. J. (2002). Identification of airborne particulate sources, of samples collected in Ticoman, Mexico, using PIXE and multivariate analysis. (NIM B 189, 249-253.).
- DOF. (2012). *Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/protocolo/LGEEPA.pdf>
- Echemendia Tocabens, B. (2011). Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. *Scielo*, 49(3), 470-481. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-3003201
- Echeverri Londoño, C. A. (2019). *Contaminación Atmosférica*. Bogotá: Ediciones de la U. Obtenido de [https://books.google.com.mx/books?id=QzSjDwAAQBAJ&pg=PA88&lpg=PA88&dq=part%C3%ADculas+viabiles+\(capaces+de+vivir\)+y+no+viabiles+en+PM2.5&source=bl&ots=JWvaiF6GeO&sig=ACfU3U2QeeG0UNTM0bxWZFLDODxmIWjABw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiMquGEzLDkAhVkjK0KHSfeBpoQ6AEwDHoE](https://books.google.com.mx/books?id=QzSjDwAAQBAJ&pg=PA88&lpg=PA88&dq=part%C3%ADculas+viabiles+(capaces+de+vivir)+y+no+viabiles+en+PM2.5&source=bl&ots=JWvaiF6GeO&sig=ACfU3U2QeeG0UNTM0bxWZFLDODxmIWjABw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiMquGEzLDkAhVkjK0KHSfeBpoQ6AEwDHoE)
- Eggleston , P. A. (2009). Complex Interactions of Pollutant and Allergen Exposures and Their Impact on People With Asthma. *Pediatrics*, 123(3), 160-167. doi:DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2008-2233F>
- Flores Maldonado, J., & Aldape Ugalde, F. (2010). *Veinticinco años de estudio de la contaminación atmosférica mediante microanálisis de rayos x inducidos por partícula (PIXE)*. México. Obtenido de <http://www.inin.gob.mx/documentos/publicaciones/contridelinin/C>
- Folkmann, F. (1975). Analytical use of Ion-Induced X Rays. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 8(6). doi:doi.org/10.1088/0022-3735/8/6/001
- Gaspar López, A., López Rocha, E., Rodríguez Mireles, K., Segura Méndez, N., & Del Rivero Hernández, L. (2014). Prevalencia de polinosis en pacientes con asma, rinitis y conjuntivitis alérgicas en la zona sur del Distrito Federal, 2007-2013. *Alergia México*, 61(3), 147-152. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4867/486755157005>
- Ghorani Azam , A., Riahim Zanjani , B., & Balali Mood , M. (2016). *Efectos de la contaminación del aire en la salud humana y medidas prácticas para la prevención en Irán*. NCBI

- (Centro Nacional de Información Biotecnológica). *J Res Med Sci.* 2016; 21: 65. doi:DOI: 10.4103 / 1735-1995.189646
- Gómez Castaño, M. (2015). *Another day in the lab. Ciencia real contada directamente desde el laboratorio.* Obtenido de <https://dayinlab.com/2015/08/19/falsificando-monedas-un-campamento-diferente/>
- González Hernández, L. T. (2018). Caracterización Química y Morfológica del Material Particulado Suspendido del área Metropolitana de Monterrey y sus posibles fuentes de emisión. Monterrey, Nuevo León. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/16800/1/1080290345.pdf>
- Inche, J. L. (2004). *Gestión de la calidad del aire, Causas, Efectos y Soluciones* (1ra ed.). Lima, Perú: SISBIB, Sistema de Bibliotecas. Obtenido de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/Geologia/gestion_calidad/ficha.htm
- INECC. (2009). Manual 1: Principios de Medición de la Calidad del Aire. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.* Obtenido de <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medición%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- Jhonson , R. A., & Wichern , D. W. (1992). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (3a ed.). Prentice Hall, Inc.
- Jung , J. H., Lee , J. E., Lee , C. H., Kim , S. S., & Lee , B. U. (2009). Treatment of Fungal Bioaerosols by a High-Temperature, Short-Time Process in a Continuous-Flow System. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(9), 2742–2749. doi:10.1128/AEM.01790-08
- Kronborg, D., Palmgren Jensen, F., Keiding, K., & Heidam, N. Z. (1987). Determination of sources of atmospheric aerosol in Copenhagen based on receptor models. *Elsevier*, 1877-1889. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(87\)90148-X](https://doi.org/10.1016/0004-6981(87)90148-X)
- Landrigan , P. J., Fuller , R., Acosta Nereus, J. R., Adeyi , O., Arnold , R., & Basu , N. (2017). The Lancet Commission on pollution and health. 391(10119). doi:DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)
- Legarreta Perusquia, A., Corral Avitia, A. Y., Delgado Ríos, M., Torres Pérez, J., & Flores Marquez, J. P. (2015). Material particulado y metales pesados en aire en ciudades mexicanas. 56(1). Obtenido de <http://148.210.132.19/ojs/index.php/culcyt/article/view/818/853>
- Lenntech. (2020). Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/tabla-periodica.htm>

- Li, H., Guo, L., Cao, R., Gao, B., Yan, Y., & He, Q. (2016). A wintertime study of PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Taiyuan during 2009–2013: Assessment of pollution control strategy in a typical basin region. *Atmospheric Environment*, 140, 404 - 414. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.013>
- López Urbina, A. A. (20016). *Identificación de aislados de Alternaria alternata durante la Primavera, Verano y Otoño para determinar zonas de riesgo en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT)*. UAM Xochimilco.
- Lozada Canudas, A. (2019). *Relación entre la calidad del aire y los conidios del género Cladosporium en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, Estado de México*. Maestría en Ecología Aplicada, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud , México.
- Maenhaut , W., Fernández Jiménez, M. T., Rajta , I., & Artaxo , P. (2002). Two years study of atmospheric aerosols in alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and source apportionment. (NIM B 189), 243-248.
- Martínez López, E., Quiroz, C. M., Cardozo, F. D., & Montoya Espinosa, A. (2007). Contaminación Atmosférica y Efectos en la Salud de la Población de Medellín y su área metropolitana. Medellín, Colombia. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpcccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Salud/Secciones/Publicaciones/Documentos/2012/Investigaciones/Contaminación%20atmosférica%20y%20efectos%20sobre%20la%20salud%20de%20la%20población.pdf>
- Martínez Romero, M. A. (2012). Manual fotográfico de Partículas biológicas e inertes, presentes en la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México. (L. d. UAM-XOCHIMILCO, Recopilador)
- Masala, S., Lim, H., Bergvall, C., & Westerholm, R. (2016). Determination of semi-volatile and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in Stockholm air with emphasis on the highly carcinogenic dibenzopyrene isomers. *Atmospheric Environment*, 140, 370-380. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.007>
- Microimport. (2020). Filtros para monitoreo de aire. *Grupo Microanálisis*. Obtenido de <https://www.microimport.mx/productos/filtros-aire-chimeneas/?category=210&brand=>
- Micromatter. (2017). Estándares de calibración XRF. *Micromatter Technologies Inc*. Recuperado el 8 de diciembre de 2019, de <https://www.micromatter.com/XRFCalibrationStandards.aspx&prev=search>

- Montero, Á., De Gracia, J., & Morell, F. (2009). Enfermedad pulmonar intersticial por metales duros. *Elsevier Doima*, 46(9), 489-491. doi:10.1016/j.arbres.2009.10.007
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L., & Abreu, I. (2009). Seasonal and intradiurnal variation of allergenic fungal spores in urban and rural areas of the North of Portugal. *Aerobiologia*, 25, 85–98. doi: <https://doi.org/10.1007/s10453-009-9112-z>
- OMS. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS. Recuperado el 7 de agosto de 2019, de Organización Mundial de la Salud: https://www.who.int/publications/list/who_sde_phe_oeh_06_02/es/
- OMS. (2018). *Calidad del aire y salud*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Ortega García, J. A., Ferris Tortaja, J., & Sánchez Solís, M. (2018). Air pollution and children's health. *Anales de Pediatría (English Edition)*, 89(2), 77-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2018.04.017>
- Owoade, K. O., Hopke, P. K., Olise, F. S., Ogundele, L. T., & Fawole, O. G. (2015). Chemical compositions and source identification of particulate matter (PM_{2.5} and PM_{2.5-10}) from a scrap iron and steel smelting industry along the Ife–Ibadan highway, Nigeria. *Atmospheric Pollution Research*, 6, 107-119. doi:10.5094/APR.2015.013
- Peña, C. E.-F. (2001). *Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/informes2/toxamb.pdf>
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2014). Hongos . Recuperado el 9 de diciembre de 2019, de <https://definicion.de/hongos/>
- Pinilla Gil, E. (2019). *Docplayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/85870781-La-contaminacion-atmosferica.html>
- Pita Fernández, S., Vila Alonso, M. T., & Carpena Montero, J. (2002). *Determinación de factores de riesgo*. Coruña: Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Obtenido de https://www.academia.edu/29405077/Investigación_Determinación_de_factores_de_riesgo_Determinación_de_factores_de_riesgo
- Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709-742. doi:<https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
- Quijano Parra, A., Quijano Vargas, M. J., & Meléndez Gélvez, I. (2015). Cuantificación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en el material particulado PM_{2.5} de una

- zona residencial de Pamplona, Colombia. ISSN 1909-2474. *Luna Azul*(40), 85-101. doi:DOI: 10.17151/luaz.2015.40.7
- R. Lide, D. (2004-2005). *CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85th Edition*. London, New York, Washington, D.C.: CRC Press. Obtenido de https://www.routledge.com/CRC-Handbook-of-Chemistry-and-Physics-85th-Edition/Lide/p/book/9780849304859?utm_source=crcpress.com&utm_medium=referral
- RAE. (2019). Diccionario de la lengua Española. Obtenido de <https://dle.rae.es/riesgo?m=form>
- RAMAT. (2019). Estaciones. *Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT*. Recuperado el 15 de noviembre de 2019, de <http://rama.edomex.gob.mx/estaciones>
- RAMAT. (2020). Estaciones. *Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT*. Recuperado el 18 de Enero de 2020, de <http://rama.edomex.gob.mx/estaciones>
- Renau Piqueras, J., & Faura, M. (1994). *Principios básicos del Microscopio Electrónico de Barrido*. Valencia. Obtenido de https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9313/CC-011_art_5.pdf
- Rocha Estrada, A., Alvarado Vázquez , M. A., Gutiérrez Reyes , R., Salcedo Martínez , S. M., & Moreno Limón , S. (2013). Variación temporal de esporas de *Alternaria*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Curvularia* y *Venturia* en el aire del área metropolitana de Monterrey Nuevo León México. *Contaminación Ambiental*, 29(2), 155-165. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n2/v29n2a2.pdf>
- Rojano, R., Arregoces, H., & Restrepo, G. (2014). Composición Elemental y Fuentes de Origen de Partículas Respirables (PM10) y Partículas Suspendidas Totales (PST) en el Área Urbana de la Ciudad de Riohacha, Colombia. *Scielo*, 25(6), 3-12. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642014000600002&lng=pt&nrm=iso
- Romero Valdez , J. G., Pereira , Q., Zini , R. A., & Canteros , G. E. (2007). Reacciones de hipersensibilidad. *Revista de Posgrado de la Vía Cátedra de Medicina*(167). Obtenido de https://med.unne.edu.ar/revistas/revista167/3_167.pdf
- Rosas Saito, G. H. (10 de Enero de 2020). Microscopía electrónica de barrido y microanálisis de elementos del Clúster Científico y Tecnológico BioMimic. *Instituto de Ecología*. Obtenido de <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/component/content/article/17-ciencia-hoy/723-microscopia-electronica-de-barrido-y-microanalisis-de-elementos-del-cluster-cientifico-y-tecnologico-biomimic>

- Sbarato , V., Sbarato , D., Basán , R., Manzo, P., Ortega, J. E., Campos, M., & Salort, M. R. (2017). *Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico*. Maestría en Gestión para la Integración Regional y Centro de Información y Documentación Regional, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina . Obtenido de <http://www.monitoreoambiental.com/download/16.%20An%C3%A1lisis%20del%20Material%20Particulado-paper24.pdf>
- SEGOB. (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 18 de octubre de 2019, de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014
- SEMARNAT. (2009). *Ordenamiento ecológico territorial de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca: Siete municipios (Lerma, Metepec, Ocoyoacac, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec*. Obtenido de <https://dgoia.edomex.gob.mx/sites/dgoia.edomex.gob.mx/files/files/POER%20VALLE%20DE%20TOLUCA.pdf>
- SEMARNAT. (2013). *Calidad del aire: una práctica de vida*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>
- Solutions. (2020). Muestreador Echo PM. EGS. Obtenido de <http://www.egssolutions.com.co/muestreador%20echo%20pm.htm>
- Thermo, E. C. (2005). *Orion Products Specifications, Orion Cahn®C-35 Microbalance*. Obtenido de http://www.thermo.com.cn/Resources/200802/productPDF_29722.pdf
- Toledo, M. (2019). *Prueba de emisiones: determinación gravimétrica de partículas en suspensión*. Obtenido de https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Laboratory_weighing/emissions-testing-particulate-matter.html
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (Enero-Febrero de 2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica las Condes*, 28(1), 111-118. doi:10.1016/j.rmcl.2016.12.003
- USEPA. (1997). *Exposure Factors Handbook (1997, Final Report)*. Recuperado el 12 de agosto de 2019, de <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=12464>
- USEPA. (2006). 40 CFR Appendix L to Part 50 - Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as PM_{2.5} in the Atmosphere. Recuperado el 17 de Noviembre de 2019, de Legal Information Institute.

- USEPA. (2013). 40 CFR Appendix E to Part 58 - Probe and Monitoring Path Siting Criteria for Ambient Air Quality Monitoring. Recuperado el 13 de noviembre de 2019, de https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-E_to_part_58
- USEPA. (2016). Evaluación de riesgos para contaminantes tóxicos del aire: una guía para el ciudadano. Obtenido de https://www3.epa.gov/airtoxics/3_90_024.html
- Verger Salom, E. (Julio de 2017). *CienciaToday*. Obtenido de <https://cienciatoday.com/tipos-bacterias-existen/>

ANEXOS

ANEXO A. Tabla de CQE y MGF del sitio de San Mateo Atenco

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																
26/11/2016	ZMVT006	44	523924	1920	169	358	0	108	0	0	32	49	0	88	1176	572	0	0	0
02/12/2016	ZMVT014	35	395576	0	0	212	0	169	67	0	0	0	0	222	1256	648	0	0	0
08/12/2016	ZMVT019	42	0	21536	1046	152	245	101	0	0	0	241	286	0	0	133	364	0	0
20/12/2016	ZMVT011	26	531787	0	0	172	40	266	0	33	0	0	62	247	1530	456	0	0	0
25/12/2016	ZMVT023	44	0	9180	0	3827	3102	1416	1298	0	542	653	1116	401	1442	0	0	0	0
01/01/2017	ZMVT035	52	0	12654	1533	1107	826	321	0	0	0	354	154	168	159	0	108	0	556
06/01/2017	ZMVT038	61	0	0	1020	0	611	264	0	0	62	0	383	0	0	0	239	0	0
12/01/2017	ZMVT043	51	0	0	454	0	298	348	0	0	0	0	244	0	0	0	0	0	0
19/01/2017	NM	45	96415	3958	476	916	833	452	231	6	103	181	325	147	563	83	46	0	102
24/01/2017	ZMVT052	39	17015	0	1472	0	546	365	24	0	0	42	571	0	0	0	256	0	0
30/01/2017	ZMVT061	50	0	0	2766	301	1150	535	68	0	0	62	662	0	0	0	406	0	0
06/02/2017	ZMVT071	49	0	0	2628	230	684	215	0	0	21	18	172	0	0	0	90	0	589
12/02/2017	ZMVT077	46	0	0	774	341	620	244	0	0	0	41	338	0	0	0	307	0	0
18/02/2017	ZMVT081	38	0	0	423	188	503	296	0	0	0	0	391	0	142	0	455	0	0
24/02/2017	ZMVT087	26	0	0	373	295	439	337	0	0	0	0	710	0	171	0	318	0	0
02/03/2017	ZMVT095	34	0	0	0	0	471	352	184	91	0	29	0	0	0	0	1337	682	0
08/03/2017	ZMVT098	26	0	0	0	0	548	377	367	0	0	0	26	0	0	0	1957	450	0
14/03/2017	ZMVT107	19	494200	730	2163	68	526	3309	28	21	28	0	266	0	0	40	50	0	0
20/03/2017	ZMVT111	31	488136	1377	226	60	272	3041	23	0	24	0	142	0	0	90	0	0	0
26/03/2017	ZMVT121	20	0	0	1883	71	168	91	12	4	10	0	83	0	0	0	93	0	314
01/04/2017	ZMVT125	37	0	0	922	1905	329	364	44	0	16	21	382	0	14	0	853	0	252
07/04/2017	ZMVT136	24	0	0	2107	311	399	257	20	0	9	24	407	0	0	0	209	0	0
13/04/2017	ZMVT137	30	0	0	2042	97	240	101	16	8	7	0	140	0	10	12	74	0	244
19/04/2017	ZMVT143	20	0	0	1651	327	191	197	15	0	12	18	196	0	7	15	180	0	315
25/04/2017	ZMVT152	45	0	0	1724	543	266	202	21	2	11	13	242	0	6	5	282	0	225
01/05/2017	ZMVT159	69	0	26	893	115	88	71	4	3	6	7	102	0	2	3	126	0	50
07/05/2017	ZMVT163	67	0	0	1855	458	319	70	0	12	24	0	153	0	0	0	395	0	103
13/05/2017	ZMVT172	65	0	0	2388	726	238	129	0	0	26	11	201	0	0	6	190	0	153
19/05/2017	ZMVT178	55	0	0	2074	421	186	146	27	0	31	33	351	0	0	9	328	0	137
25/05/2017	ZMVT181	32	0	243	1505	51	236	93	0	0	9	13	135	0	7	0	91	0	0
30/05/2017	ZMVT190	24	0	0	1330	68	61	149	12	11	5	13	162	0	4	8	359	0	170
06/06/2017	ZMVT193	31	0	0	1322	92	88	140	0	7	0	5	172	0	4	4	38	0	0
12/06/2017	ZMVT202	39	0	855	2304	369	54	42	0	0	11	0	84	0	0	0	114	0	0
19/06/2017	ZMVT208	21	1878	276	1186	125	132	92	7	9	9	10	106	0	5	3	515	0	36
24/06/2017	ZMVT214	31	0	460	1615	127	219	114	10	0	5	7	154	0	0	0	27	0	0
30/06/2017	ZMVT220	13	0	0	0	20	8	8	0	0	85	6	13	0	0	0	0	0	0
06/07/2017	ZMVT226	20	0	0	421	65	44	34	0	0	0	9	54	0	4	7	95	0	0
12/07/2017	ZMVT232	23	0	0	273	72	54	48	0	0	3	10	86	0	0	0	17	0	0
18/07/2017	ZMVT238	40	0	0	978	97	43	48	0	0	0	17	115	0	0	0	0	0	124
24/07/2017	ZMVT244	24	2702	207	434	61	42	32	8	0	0	4	54	0	0	0	20	0	56

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																
30/07/2017	ZMVT250	40	0	0	1219	155	74	38	8	0	7	0	66	0	0	0	29	0	215
07/08/2017	ZMVT256	28	0	0	621	48	47	33	8	0	0	3	53	0	0	0	141	0	0
11/08/2017	ZMVT263	13	0	0	194	55	14	65	0	0	4	0	48	0	0	3	16	0	0
17/08/2017	ZMVT269	17	0	136	240	39	30	38	7	0	5	8	78	0	0	0	64	0	0
23/08/2017	ZMVT275	20	0	0	879	71	34	61	5	0	3	7	87	0	0	4	23	0	0
29/08/2017	ZMVT281	7	0	0	69	31	0	8	0	0	3	4	41	0	0	0	27	0	0
04/09/2017	ZMVT287	11	0	0	148	42	15	16	0	0	2	0	31	0	0	0	30	0	0
11/09/2017	ZMVT293	19	0	0	351	38	51	31	5	5	0	3	49	0	0	5	231	0	0
16/09/2017	ZMVT299	28	0	0	506	62	312	36	5	10	0	3	54	0	3	7	26	0	0
22/09/2017	ZMVT305	10	0	0	83	39	10	16	4	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
28/09/2017	ZMVT311	12	1443	0	294	78	25	30	7	0	3	3	45	0	0	0	70	0	91
04/10/2017	ZMVT317	7	0	0	92	78	26	20	0	0	0	2	41	0	0	0	91	0	0
10/10/2017	ZMVT323	53	0	0	1464	323	71	44	0	0	31	23	162	0	18	0	308	0	320
16/10/2017	ZMVT329	13	0	0	780	145	71	76	7	7	11	12	93	0	0	0	719	0	68
22/10/2017	ZMVT335	36	0	281	2055	398	202	65	0	16	28	0	144	0	13	16	180	0	0
30/10/2017	ZMVT341	30	0	0	2225	169	190	86	0	0	13	0	134	0	8	0	50	0	0
03/11/2017	ZMVT347	14	0	0	1142	118	114	71	8	0	10	15	156	0	6	8	198	0	128
07/11/2017	ZMVT353	18	0	0	512	67	56	61	6	11	3	6	74	0	3	0	57	0	27
15/11/2017	ZMVT359	23	0	0	1841	113	149	96	11	33	9	11	137	0	9	11	194	0	0
21/11/2017	ZMVT366	31	0	0	2024	197	207	79	0	0	14	10	407	0	0	0	0	0	0
27/11/2017	ZMVT372	50	0	0	2285	256	177	39	18	84	0	0	587	0	0	0	52	0	0
04/12/2017	ZMVT378	41	0	0	1511	142	572	98	0	12	10	14	392	0	0	8	34	0	72
09/12/2017	ZMVT384	44	0	163	1173	99	624	111	18	11	5	19	330	0	0	7	161	0	0
15/12/2017	ZMVT390	44	0	195	1093	137	112	209	17	8	6	18	390	0	0	14	96	0	0
21/12/2017	ZMVT396	57	0	0	1107	189	1685	145	11	0	7	39	440	0	0	14	67	0	0
27/12/2017	ZMVT402	54	0	2866	8544	26193	32634	1770	421	0	0	105	3847	0	114	140	1183	0	1043
01/01/2018	ZMVT408	52	0	4545	11258	25910	26010	652	365	133	0	321	3970	0	343	0	321	0	0
07/01/2018	ZMVT414	51	0	715	3940	775	1298	240	32	30	0	144	431	0	0	0	88	0	0
15/01/2018	ZMVT423	38	0	0	910	1072	817	296	31	8	0	22	419	0	0	11	28	0	0
19/01/2018	ZMVT427	34	0	0	895	282	581	256	15	0	0	12	412	0	0	0	93	0	0
25/01/2018	ZMVT433	29	0	103	694	781	882	134	17	4	0	17	243	0	4	4	41	0	11
31/01/2018	ZMVT439	42	0	0	1121	578	556	214	14	11	6	18	244	0	0	6	26	0	814
06/02/2018	ZMVT445	48	0	0	1271	671	1058	254	14	0	0	16	241	0	0	0	53	0	0
12/02/2018	ZMVT451	21	1224	0	824	147	401	103	9	0	5	12	156	0	0	11	42	0	64
18/02/2018	ZMVT457	26	0	0	834	75	199	194	0	0	0	0	135	0	0	0	46	0	0
24/02/2018	ZMVT463	32	0	0	1304	113	185	50	0	12	10	0	104	0	0	0	174	0	0
02/03/2018	ZMVT469	33	0	0	1075	58	182	80	13	8	0	10	94	0	25	0	41	0	0
08/03/2018	ZMVT475	32	978	0	1541	49	198	77	7	0	0	0	149	0	0	0	0	0	0
14/03/2018	ZMVT481	30	0	0	903	42	225	88	0	0	0	0	128	0	0	0	83	1985	0

ANEXO B. Tabla de CQE y GMF del sitio de Ceboruco

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																
26/11/2016	ZMVT007	51	0	0	0	0	320	701	0	0	0	0	743	0	0	0	0	0	0
02/12/2016	ZMVT013	36	1705831	4072	0	0	0	299	0	0	0	0	0	0	3724	860	0	0	0
08/12/2016	ZMVT018	36	268783	14427	679	71	715	685	16	0	0	0	515	57	708	3488	84	0	0
20/12/2016	ZMVT021	36	1260214	0	0	0	105	474	82	0	0	0	0	286	3531	17393	0	0	0
25/12/2016	ZMVT031	54	0	0	1073	0	2116	514	0	0	0	0	570	0	0	0	0	0	0
01/01/2017	ZMVT034	178	18895	314778	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06/01/2017	ZMVT039	43	75658	0	1332	0	850	1100	0	0	0	0	862	0	0	0	418	0	0
12/01/2017	ZMVT044	44	0	0	981	353	496	1333	0	0	0	0	1140	0	0	0	0	0	0
18/01/2017	ZMVT050	27	0	0	0	305	396	1483	85	0	0	0	1167	0	0	0	173	0	0
24/01/2017	ZMVT055	65	0	0	1418	0	843	1369	0	0	0	0	1018	0	0	0	0	0	0
30/01/2017	ZMVT062	59	0	0	1427	0	939	1270	126	0	0	0	1068	0	0	0	0	0	591
06/02/2017	ZMVT064	44	0	0	1019	0	448	578	0	0	0	0	418	0	0	0	0	0	0
12/02/2017	ZMVT079	39	0	0	493	214	368	1041	0	0	0	0	465	0	0	0	0	0	0
18/02/2017	ZMVT080	49	0	0	434	518	390	847	0	0	0	0	688	0	303	0	187	0	0
24/02/2017	ZMVT088	54	0	0	408	124	308	705	0	0	0	0	540	0	0	0	0	0	0
02/03/2017	ZMVT096	59	0	0	0	0	2436	1537	1583	0	0	0	0	0	0	0	7826	1756	0
08/03/2017	ZMVT102	65	1557965	4251	6680	0	2198	9641	73	0	58	59	823	0	0	180	92	0	0
14/03/2017	ZMVT108	61	1741471	3318	3850	313	1723	11307	127	85	0	0	668	0	79	123	82	0	0
20/03/2017	ZMVT112	56	0	0	0	0	829	433	572	0	0	0	0	0	0	0	3811	866	671
26/03/2017	ZMVT122	33	0	0	1800	0	281	602	63	0	25	0	559	0	0	0	68	0	0
01/04/2017	ZMVT126	53	33469	0	958	287	690	1745	160	0	0	41	1522	0	0	39	0	0	0
07/04/2017	ZMVT131	56	0	0	2229	0	723	1516	85	0	0	0	1227	0	0	0	0	0	0
13/04/2017	ZMVT138	32	0	0	2039	0	273	470	83	0	0	0	410	0	0	0	47	0	0
19/04/2017	ZMVT144	43	0	0	1263	0	309	553	0	0	0	0	507	0	0	0	42	0	0
25/04/2017	ZMVT153	64	0	0	2662	127	897	1428	129	0	36	49	1390	0	0	0	149	0	0
01/05/2017	ZMVT160	111	0	0	801	88	765	993	33	0	36	64	751	0	0	68	0	0	0
07/05/2017	ZMVT164	62	0	0	2317	218	350	314	0	0	13	0	265	0	0	0	16	0	0
13/05/2017	ZMVT173	47	0	0	1910	223	328	352	27	0	27	0	261	0	0	0	17	0	0
19/05/2017	ZMVT179	71	0	0	0	81	0	0	26	18	0	0	0	53	0	0	0	0	0
25/05/2017	ZMVT182	44	0	0	294	0	50	53	0	0	0	0	34	18	0	0	0	0	0
30/05/2017	ZMVT191	38	0	0	1883	209	148	366	47	0	22	0	259	0	14	0	38	0	0
06/06/2017	ZMVT194	53	0	0	1478	85	149	336	25	13	16	0	218	0	0	0	0	0	0
12/06/2017	ZMVT203	39	0	806	1784	223	187	471	20	0	20	0	254	0	0	11	0	0	0
19/06/2017	ZMVT209	44	0	697	1522	190	225	592	36	0	20	0	380	0	9	0	16	0	0
24/06/2017	ZMVT215	45	0	0	1439	225	273	481	25	19	15	6	324	0	0	0	36	0	0
30/06/2017	ZMVT221	39	0	0	192	0	0	0	0	0	218	14	20	0	0	0	0	0	0
06/07/2017	ZMVT227	38	0	0	617	163	145	242	0	0	9	0	173	0	0	0	24	0	0
12/07/2017	ZMVT233	34	0	0	335	105	49	118	0	0	0	0	190	0	0	0	123	0	0
18/07/2017	ZMVT239	49	0	0	949	118	74	212	24	0	8	0	159	0	0	9	39	0	0
24/07/2017	ZMVT245	36	0	0	419	105	39	75	0	0	8	8	72	0	0	0	14	0	0

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																
30/07/2017	ZMVT251	50	0	0	651	99	77	134	0	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0
07/08/2017	ZMVT257	43	0	314	2209	140	162	60	0	11	0	8	251	0	0	16	77	0	0
11/08/2017	ZMVT264	25	0	0	300	132	42	112	11	0	6	0	179	0	0	0	119	0	0
17/08/2017	ZMVT270	23	0	0	295	75	52	129	28	0	0	0	132	0	0	0	0	0	0
23/08/2017	ZMVT276	35	0	0	1340	105	49	176	22	16	0	0	134	0	0	0	28	0	0
29/08/2017	ZMVT282	12	0	0	0	71	0	33	13	0	0	6	31	0	0	0	20	0	0
04/09/2017	ZMVT288	23	0	0	135	173	38	91	0	0	9	0	64	0	0	0	0	0	0
11/09/2017	ZMVT294	29	0	0	325	126	129	275	72	0	0	0	165	0	0	0	0	0	0
16/09/2017	ZMVT300	48	0	482	559	177	177	231	19	0	0	0	182	0	0	0	27	0	0
22/09/2017	ZMVT306	25	0	0	188	149	44	145	16	0	13	8	86	0	0	0	24	0	0
28/09/2017	ZMVT312	23	0	0	292	199	102	151	20	0	0	0	151	0	0	0	0	0	0
04/10/2017	ZMVT318	49	0	0	0	185	72	110	0	0	0	0	99	0	0	0	27	0	0
10/10/2017	ZMVT324	35	0	0	1298	333	119	254	0	0	18	0	198	0	0	0	39	0	0
16/10/2017	ZMVT330	8	0	386	1507	422	110	259	33	15	25	0	186	0	0	0	0	0	0
22/10/2017	ZMVT336	24	0	0	1693	255	234	515	0	0	17	12	362	0	0	0	0	0	0
30/10/2017	ZMVT342	39	0	0	2026	234	271	298	0	0	34	0	248	0	0	0	0	0	0
03/11/2017	ZMVT348	33	0	0	794	368	204	559	30	0	39	0	369	0	0	14	25	0	0
07/11/2017	ZMVT354	47	0	0	1552	464	251	923	45	39	28	20	626	0	24	0	55	0	0
15/11/2017	ZMVT360	44	0	0	1664	292	165	618	41	43	19	0	460	0	0	0	25	0	0
21/11/2017	ZMVT367	44	4752	0	1772	397	375	957	75	0	19	16	1172	0	0	0	0	0	0
27/11/2017	ZMVT373	23	0	0	1294	396	473	1118	68	28	20	22	1345	0	0	22	64	0	0
04/12/2017	ZMVT379	51	2947	0	1586	374	478	763	31	0	14	0	1122	0	0	0	0	0	0
09/12/2017	ZMVT385	34	0	616	1181	385	503	694	36	28	19	0	1002	0	0	17	0	0	0
15/12/2017	ZMVT391	70	5278	0	1005	267	961	1571	83	0	19	35	1720	0	0	0	64	0	0
21/12/2017	ZMVT397	63	0	0	1575	397	1228	1244	57	0	27	77	1739	0	38	42	96	0	0
27/12/2017	ZMVT403	68	0	0	2289	942	3603	412	25	0	14	42	697	0	27	0	68	0	0
01/01/2018	ZMVT409	24	0	0	2424	1304	3107	248	0	0	14	66	377	0	31	0	35	0	0
07/01/2018	ZMVT415	52	0	0	2491	305	716	576	31	52	16	90	424	0	0	0	28	0	0
15/01/2018	ZMVT421	81	24163	715	1308	921	1548	2747	203	0	0	48	2707	0	0	0	68	0	0
19/01/2018	ZMVT428	59	6641	366	906	320	674	1071	79	0	16	25	1197	0	0	0	28	0	0
25/01/2018	ZMVT434	36	0	0	1038	281	215	511	50	0	11	0	869	0	0	0	39	0	0
31/01/2018	ZMVT440	58	3379	0	1158	209	702	1037	60	0	0	22	699	0	0	20	0	0	0
06/02/2018	ZMVT447	59	9965	366	1275	303	741	1445	108	0	0	25	1089	0	0	0	0	0	0
12/02/2018	ZMVT452	41	5449	693	1458	295	650	1294	68	0	0	19	798	0	0	20	68	0	0
18/02/2018	ZMVT458	59	10882	817	1170	0	360	685	0	0	0	0	553	0	0	0	75	1819	0
24/02/2018	ZMVT464	36	0	0	1076	104	215	402	30	0	0	0	361	0	0	0	0	0	0
02/03/2018	ZMVT470	51	0	0	999	143	264	581	47	0	0	0	294	0	0	0	0	0	0
08/03/2018	ZMVT477	38	0	0	1376	0	190	345	0	0	0	0	268	0	0	0	0	4694	628
14/03/2018	ZMVT482	56	7985	0	1072	0	437	873	58	0	0	32	741	0	84	0	0	1716	0

ANEXO C. Tabla de CQE y MGF del sitio de la Nueva Oxtotitlán

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																	
26/11/2016	ZMVT005	37	0	0	705	27	138	102	0	0	43	16	0	136	0	0	0	0	0	0
02/12/2016	ZMVT012	36	478557	0	0	52	0	92	0	0	0	0	0	0	0	1246	335	0	0	0
08/12/2016	ZMVT015	39	0	18274	1402	499	162	146	0	0	0	0	447	91	0	0	450	0	0	0
20/12/2016	ZMVT024	41	0	15423	1768	716	582	158	0	0	0	0	370	218	0	0	0	177	0	0
25/12/2016	ZMVT027	425	0	75813	9710	30018	29444	8918	0	7088	0	1972	3453	5571	1968	5562	0	0	0	0
01/01/2017	ZMVT030	381	0	134930	10184	33765	31523	10135	0	7275	0	2135	2315	6667	0	6415	0	0	0	0
06/01/2017	ZMVT037	54	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	44	0	0	0	0	0	0	0
12/01/2017	ZMVT048	84	0	0	0	0	2822	0	0	0	0	0	3432	2508	0	0	0	10302	0	61783
18/01/2017	ZMVT049	55	0	0	0	0	268	260	0	0	0	20	0	253	0	0	0	0	0	0
24/01/2017	ZMVT058	26	0	0	675	0	272	102	0	22	0	0	0	121	0	0	0	0	0	0
30/01/2017	ZMVT065	27	0	0	1653	0	392	150	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0
06/02/2017	ZMVT068	29	0	0	1707	0	283	65	0	0	0	0	0	80	0	0	0	35	0	0
12/02/2017	ZMVT073	18	0	0	125	0	188	65	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18/02/2017	ZMVT076	23	0	0	378	0	229	164	0	0	0	0	0	152	0	0	0	0	0	0
24/02/2017	ZMVT086	7	0	0	97	0	120	131	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0
02/03/2017	ZMVT090	25	0	0	0	427	0	85	37	0	0	0	0	0	102	0	0	0	0	0
08/03/2017	ZMVT099	26	0	0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0
14/03/2017	ZMVT104	9	496908	1684	1705	137	794	3256	0	0	0	19	23	224	0	16	43	47	0	0
20/03/2017	ZMVT114	13	0	0	831	0	163	90	0	0	0	9	0	80	0	0	0	0	0	0
26/03/2017	ZMVT117	21	0	0	2006	53	149	87	0	0	0	10	0	93	0	0	0	0	0	0
01/04/2017	ZMVT128	13	0	0	500	0	204	125	0	0	0	0	8	141	0	0	15	0	0	0
07/04/2017	ZMVT133	21	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0
13/04/2017	ZMVT140	28	0	0	3005	78	250	214	0	0	22	0	0	112	0	0	0	0	0	0
19/04/2017	ZMVT146	15	3035	0	28	0	0	0	0	0	0	9	0	0	4	5	0	0	0	0
25/04/2017	ZMVT149	28	0	0	2336	70	379	147	0	0	0	0	0	106	0	10	0	39	0	0
01/05/2017	ZMVT155	54	1599	165	1005	50	564	166	0	17	0	0	0	145	0	0	0	42	0	0
07/05/2017	ZMVT166	84	0	0	1905	201	339	99	0	0	0	8	0	67	0	0	0	10	0	0
13/05/2017	ZMVT169	30	0	329	1874	102	199	50	0	10	7	5	0	69	0	0	4	9	0	0
19/05/2017	ZMVT175	44	4310	0	2432	187	391	140	0	0	0	13	0	150	0	0	0	14	0	0
25/05/2017	ZMVT184	31	991	118	1960	109	421	136	0	7	2	4	0	117	0	3	1	29	0	0
30/05/2017	ZMVT187	18	0	341	1404	83	34	31	0	17	16	4	3	59	0	4	5	13	0	0
06/06/2017	ZMVT196	26	0	387	1574	111	128	0	0	0	0	7	0	63	0	0	0	13	0	0
12/06/2017	ZMVT199	20	0	193	1770	58	113	70	0	7	18	5	4	69	0	4	0	8	0	0
19/06/2017	ZMVT205	31	3327	457	2566	88	202	39	0	0	41	11	0	59	0	0	0	13	0	0
24/06/2017	ZMVT211	31	0	0	1670	86	177	63	0	10	0	6	4	65	0	0	5	43	0	0
30/06/2017	ZMVT217	27	0	0	0	0	0	0	0	0	9	279	25	0	0	0	0	0	0	0
06/07/2017	ZMVT223	23	0	0	0	0	29	0	0	0	9	370	39	0	0	0	0	0	0	0
12/07/2017	ZMVT229	20	0	0	382	69	42	63	0	8	0	3	0	108	0	0	0	26	0	0
18/07/2017	ZMVT235	28	0	0	713	48	62	34	0	5	0	0	0	46	0	0	0	8	0	0
24/07/2017	ZMVT241	21	0	0	513	63	37	7	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																	
30/07/2017	ZMVT247	21	0	0	619	43	35	0	0	0	3	4	0	16	0	0	0	0	0	0
07/08/2017	ZMVT253	28	2879	325	849	0	60	13	0	0	6	0	0	28	0	0	6	7	0	0
11/08/2017	ZMVT259	26	0	0	283	128	0	17	0	0	0	0	4	54	0	0	0	40	0	0
17/08/2017	ZMVT266	13	0	0	547	37	48	19	0	0	4	0	0	29	0	0	0	15	0	0
23/08/2017	ZMVT272	20	0	0	1194	33	19	19	0	0	15	0	0	22	0	0	0	0	0	0
29/08/2017	ZMVT278	10	0	0	304	26	15	20	0	4	3	5	3	22	0	0	0	0	0	0
04/09/2017	ZMVT284	9	0	0	203	43	10	0	0	0	0	3	0	11	3	0	0	0	0	0
11/09/2017	ZMVT290	14	0	0	276	25	34	19	0	0	6	0	0	27	0	0	3	4	0	0
16/09/2017	ZMVT296	19	0	0	466	62	131	34	0	0	9	0	2	27	0	3	7	9	0	0
22/09/2017	ZMVT302	8	0	0	32	53	19	12	0	0	0	3	0	12	0	0	0	0	0	0
28/09/2017	ZMVT308	12	0	0	181	49	24	18	0	0	0	0	0	24	0	0	0	14	0	0
04/10/2017	ZMVT314	7	0	119	141	79	36	22	0	0	0	0	0	27	0	0	0	12	0	0
10/10/2017	ZMVT320	15	0	474	1635	432	86	79	0	25	0	30	0	113	0	0	0	67	0	0
16/10/2017	ZMVT326	3	0	0	1453	136	50	66	0	0	13	7	0	104	0	6	8	20	0	0
22/10/2017	ZMVT332	13	0	169	1532	144	105	65	0	7	6	8	0	60	0	0	4	14	0	0
30/10/2017	ZMVT338	26	0	279	1838	150	135	66	0	9	0	14	7	71	0	0	0	0	0	0
03/11/2017	ZMVT344	13	0	169	990	132	83	79	0	0	10	5	3	80	0	0	6	8	0	0
07/11/2017	ZMVT350	14	0	0	1352	270	44	83	0	0	36	9	0	98	0	0	8	18	0	0
15/11/2017	ZMVT356	16	0	0	251	117	83	87	0	0	46	13	5	87	0	8	0	15	0	0
21/11/2017	ZMVT362	20	0	0	1654	210	183	98	0	9	0	9	0	293	0	0	0	0	0	0
27/11/2017	ZMVT369	14	0	152	1105	246	178	124	0	0	16	8	0	281	0	0	0	0	0	0
04/12/2017	ZMVT375	40	0	0	1047	167	236	85	0	0	7	10	0	287	0	0	0	32	0	0
09/12/2017	ZMVT381	19	0	0	641	100	306	50	0	0	5	4	0	221	0	0	0	0	0	0
15/12/2017	ZMVT387	24	0	157	852	124	507	94	0	0	0	6	6	268	0	0	0	15	0	0
21/12/2017	ZMVT393	27	0	0	127	101	751	83	0	0	10	5	5	215	0	0	5	0	0	0
27/12/2017	ZMVT399	171	0	0	3773	4724	11982	239	0	93	0	31	68	1272	0	45	0	273	0	560
01/01/2018	ZMVT405	209	0	0	5770	13666	16307	199	0	65	44	0	152	288	0	0	0	208	0	1134
07/01/2018	ZMVT411	32	0	139	2000	91	436	109	0	0	27	0	18	120	0	9	0	36	0	0
15/01/2018	ZMVT417	22	0	0	378	311	470	212	0	14	0	0	33	192	0	6	8	34	0	0
19/01/2018	ZMVT424	22	0	0	575	148	403	84	0	0	0	0	0	218	0	0	0	8	0	0
25/01/2018	ZMVT430	18	0	0	702	59	86	49	0	0	0	6	0	182	0	0	0	0	0	0
31/01/2018	ZMVT436	28	0	0	901	128	302	138	0	0	20	0	0	113	0	0	8	0	0	69
06/02/2018	ZMVT442	24	858	167	1120	122	404	113	0	0	0	6	0	115	0	0	0	0	0	0
12/02/2018	ZMVT448	9	0	0	751	74	341	63	0	7	0	0	5	67	0	0	0	41	0	0
18/02/2018	ZMVT454	20	0	0	2314	85	261	112	0	0	0	0	0	96	0	0	9	0	0	0
24/02/2018	ZMVT460	15	0	0	870	0	74	22	0	12	0	0	0	34	0	0	0	33	1047	0
02/03/2018	ZMVT466	25	0	0	1180	0	175	46	0	0	0	0	0	50	0	0	0	28	1483	0
08/03/2018	ZMVT472	21	1243	0	1049	0	106	36	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	1227	0
14/03/2018	ZMVT478	25	0	340	1325	48	234	62	0	0	0	0	0	76	0	0	0	0	447	0

ANEXO D. Tabla de CQE y MGF del sitio de san Cristóbal Huichochitlán

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																
26/11/2016	ZMVT003	83	0	29008	4374	0	427	242	0	134	104	962	789	642	1023	1935	0	0	0
02/12/2016	ZMVT010	43	397426	0	73	278	34	286	0	0	0	0	0	0	1446	270	0	0	0
08/12/2016	ZMVT020	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20/12/2016	ZMVT022	30	0	0	743	1479	2178	265	16	0	9	11	395	0	16	43	49	0	71
25/12/2016	ZMVT032	431	0	249695	14348	64786	54401	18910	11002	0	2449	1019	13469	0	8805	0	0	0	0
01/01/2017	ZMVT033	1070	0	342770	70707	81579	105530	6123	2870	0	0	2974	4905	2000	0	0	1861	0	18994
06/01/2017	ZMVT040	82	0	61738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12/01/2017	ZMVT045	106	17103	194601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2268
18/01/2017	ZMVT051	51	0	0	921	138	562	310	0	0	22	0	261	0	0	0	44	0	0
24/01/2017	ZMVT060	42	0	0	1502	176	496	262	0	0	0	0	198	0	0	18	55	0	157
30/01/2017	ZMVT063	50	0	0	1798	249	1014	157	0	0	0	0	145	0	0	0	78	0	0
06/02/2017	ZMVT067	57	0	0	2798	109	863	497	0	0	0	0	143	0	0	0	58	0	0
12/02/2017	ZMVT072	66	19516	0	1413	561	1062	362	37	0	0	15	289	0	0	38	82	0	0
18/02/2017	ZMVT078	34	14085	0	928	239	726	468	0	0	0	0	576	0	0	0	0	0	0
24/02/2017	ZMVT089	35	0	0	486	551	1068	498	41	0	0	0	514	0	0	0	0	0	0
02/03/2017	ZMVT097	33	0	756	143	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/03/2017	ZMVT103	38	459236	1425	981	0	426	2942	39	0	22	19	253	0	0	43	60	0	0
14/03/2017	ZMVT109	41	0	0	0	0	3716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20/03/2017	ZMVT113	54	0	0	409	49	152	341	25	0	0	0	284	0	0	0	0	0	0
26/03/2017	ZMVT123	44	0	22679	3390	0	275	0	0	0	0	0	0	0	0	422	0	0	0
01/04/2017	ZMVT124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/04/2017	ZMVT132	354	0	0	2223	1328	350	177	0	0	0	0	228	0	0	74	121	0	0
13/04/2017	ZMVT139	49	0	0	2231	1282	599	88	0	27	0	0	100	0	0	0	55	0	0
19/04/2017	ZMVT145	22	0	0	1343	125	247	103	0	11	0	0	110	0	0	11	43	0	0
25/04/2017	ZMVT154	43	0	0	1960	67	433	181	12	0	7	5	138	0	0	0	101	0	0
01/05/2017	ZMVT161	59	0	0	671	94	533	872	79	0	0	56	703	0	0	0	0	0	0
07/05/2017	ZMVT165	64	0	0	2319	627	859	80	25	0	0	0	136	0	0	46	61	0	0
13/05/2017	ZMVT174	47	0	0	1018	180	275	143	11	4	1	6	125	0	0	5	37	0	0
19/05/2017	ZMVT180	39	0	0	175	79	24	29	0	0	3	3	25	0	2	0	0	0	0
25/05/2017	ZMVT183	31	0	0	1325	66	210	89	0	0	7	4	73	0	0	8	7	0	0
30/05/2017	ZMVT192	20	0	0	1314	65	122	78	0	14	6	0	78	0	4	0	26	0	0
06/06/2017	ZMVT195	48	2087	356	1425	97	157	117	0	13	5	3	80	0	5	8	14	0	0
12/06/2017	ZMVT204	23	0	0	1480	86	123	101	10	13	6	3	79	0	0	0	11	0	0
19/06/2017	ZMVT210	29	1309	0	1486	45	167	142	6	26	7	0	76	0	7	0	5	0	0
24/06/2017	ZMVT216	33	0	167	1326	85	224	151	11	6	6	0	127	0	0	0	90	0	51
30/06/2017	ZMVT222	13	598	58	1272	64	137	96	3	13	5	2	70	0	3	2	12	0	0
06/07/2017	ZMVT228	20	0	0	452	46	32	26	0	0	0	0	32	0	0	0	13	0	0
12/07/2017	ZMVT234	28	0	0	180	99	0	45	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0
18/07/2017	ZMVT240	65	0	0	1159	263	104	68	0	0	0	0	66	0	0	0	0	0	0
24/07/2017	ZMVT246	36	0	0	558	63	67	16	0	0	0	6	37	0	0	0	0	0	0

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																
30/07/2017	ZMVT252	37	0	0	1556	69	68	26	0	0	0	5	38	0	0	0	8	0	0
07/08/2017	ZMVT258	29	0	0	232	60	28	68	21	0	0	5	107	0	0	0	77	0	0
11/08/2017	ZMVT265	11	0	0	229	57	28	27	0	0	0	0	25	0	0	0	5	0	0
17/08/2017	ZMVT271	11	0	0	83	53	29	38	0	0	0	0	42	0	0	0	14	0	0
23/08/2017	ZMVT277	23	0	197	1292	61	34	51	0	20	0	0	31	0	0	6	0	0	0
29/08/2017	ZMVT283	9	0	0	123	57	84	27	5	0	0	0	16	0	0	0	14	0	0
04/09/2017	ZMVT289	58	0	0	1566	1699	0	0	0	0	60	0	133	0	0	0	0	0	0
11/09/2017	ZMVT295	13	0	0	185	93	27	25	0	0	4	0	19	0	7	8	0	0	0
16/09/2017	ZMVT301	19	2106	0	515	39	212	48	6	8	0	0	35	0	0	9	11	0	74
22/09/2017	ZMVT307	10	0	0	82	49	28	40	0	0	0	3	35	0	0	0	0	0	0
28/09/2017	ZMVT313	16	2622	131	205	73	36	27	0	0	1	0	31	0	0	0	8	0	0
04/10/2017	ZMVT319	17	0	0	189	155	62	63	0	0	13	0	56	0	0	0	14	0	0
10/10/2017	ZMVT325	22	0	0	887	136	131	57	0	0	10	0	59	0	0	0	31	0	0
16/10/2017	ZMVT331	14	0	0	1335	101	129	67	0	12	7	0	59	0	0	0	0	0	0
22/10/2017	ZMVT337	55	0	0	2898	349	1365	219	38	0	23	12	236	0	0	32	103	0	0
30/10/2017	ZMVT343	30	0	220	1979	204	165	58	18	0	10	7	87	0	0	12	89	0	0
03/11/2017	ZMVT349	21	0	23	856	120	157	56	4	2	8	1	57	0	0	3	24	0	0
07/11/2017	ZMVT355	32	0	0	1328	182	240	149	15	32	6	5	139	0	7	40	34	0	0
15/11/2016	ZMVT361	32	0	349	2502	192	144	40	0	100	0	0	71	0	26	0	26	0	0
21/11/2017	ZMVT368	39	0	0	2039	218	1257	147	0	14	9	0	363	0	0	0	37	0	0
27/11/2017	ZMVT374	32	0	62	1118	125	251	67	6	18	5	2	96	0	4	10	28	0	0
04/12/2017	ZMVT380	68	0	0	1497	300	871	286	20	0	0	12	554	0	0	0	30	0	0
09/12/2017	ZMVT386	44	0	0	971	784	1530	98	10	14	0	7	260	0	0	14	26	0	0
15/12/2017	ZMVT392	98	0	463	1592	488	1882	230	22	0	0	37	1102	0	138	118	179	0	0
21/12/2017	ZMVT398	114	0	0	1254	2495	3675	446	26	0	16	19	667	0	28	72	83	0	120
27/12/2017	ZMVT404	576	0	0	9450	47200	51103	806	452	0	83	332	2939	0	106	241	1040	0	0
01/01/2018	ZMVT410	465	0	0	11150	46763	53872	1090	274	0	0	325	1111	0	0	72	476	0	6610
07/01/2018	ZMVT416	18	0	222	2941	435	865	333	19	54	0	78	371	0	22	11	56	0	128
15/01/2018	ZMVT422	43	1161	0	697	1790	1329	543	41	0	5	19	496	0	0	14	44	0	0
19/01/2018	ZMVT429	65	0	0	1365	4486	914	227	20	0	0	0	529	0	0	0	79	0	0
25/01/2018	ZMVT435	28	652	242	111	116	159	104	0	6	0	4	94	0	0	0	0	0	0
31/01/2018	ZMVT441	41	0	0	1118	1025	487	151	16	24	7	7	155	0	0	13	78	0	92
06/02/2018	ZMVT446	94	0	0	2040	1758	1490	218	0	0	24	0	188	0	0	22	0	0	0
12/02/2018	ZMVT453	27	972	0	892	143	365	127	13	0	6	0	119	0	0	12	38	0	0
18/02/2018	ZMVT459	34	0	0	1291	115	281	77	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0
24/02/2018	ZMVT465	56	0	386	802	253	106	48	13	0	0	0	32	0	0	0	0	1418	0
02/03/2018	ZMVT471	35	0	143	1115	51	168	58	0	11	0	0	76	0	0	28	40	0	0
08/03/2018	ZMVT476	36	0	0	998	90	155	58	0	0	0	0	48	0	0	0	0	1612	0
14/03/2018	ZMVT483	31	2745	320	1110	33	226	111	0	0	0	0	94	0	34	0	0	1494	0

ANEXO E. Tabla de CQE y MGF del sitio de San Lorenzo Tepaltitlán

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta.	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																
26/11/2016	ZMVT004	117	0	103547	9694	0	0	992	0	0	0	1914	534	0	682	0	0	0	0
02/12/2016	ZMVT009	45	0	5982	0	0	543	992	0	0	0	0	827	0	0	0	0	0	0
08/12/2016	ZMVT017	48	0	0	2967	460	1340	1750	0	0	0	0	1029	0	0	0	239	0	0
20/12/2016	ZMVT026	51	131931	0	0	309	1217	1351	0	0	0	130	814	0	0	0	0	0	0
25/12/2016	ZMVT029	583	0	272692	16291	69794	50586	33113	22434	0	12700	2564	16917	7407	7809	0	0	0	0
01/01/2017	ZMVT036	538	0	534610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06/01/2017	ZMVT042	58	0	0	1359	0	914	1076	0	0	0	0	785	0	0	0	0	0	0
12/01/2017	ZMVT046	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18/01/2017	ZMVT053	58	0	0	1236	348	424	914	0	0	0	0	660	0	0	0	288	0	0
24/01/2017	ZMVT056	55	0	0	2338	502	942	1734	91	0	0	52	1159	0	0	61	151	0	547
30/01/2017	ZMVT059	62	0	0	1408	0	1021	871	0	0	0	0	575	0	0	0	99	0	0
06/02/2017	ZMVT069	61	0	0	2768	0	955	904	0	0	0	0	414	0	0	0	0	0	0
12/02/2017	ZMVT075	85	0	0	423	253	832	804	0	0	0	0	464	0	209	0	0	0	0
18/02/2017	ZMVT082	31	21486	0	0	0	1060	704	767	0	0	0	0	0	0	0	435	3024	0
24/02/2017	ZMVT084	37	0	0	0	0	1087	754	830	0	0	0	0	0	0	0	3370	1664	0
02/03/2017	ZMVT092	114	26390	0	372	0	3558	2187	2165	0	0	158	0	0	0	164	10847	892	0
08/03/2017	ZMVT101	56	1384069	2877	18677	308	5330	10591	148	105	65	0	1615	0	0	386	263	0	0
14/03/2017	ZMVT106	38	1782329	3355	8518	200	2026	11603	0	198	0	0	816	0	76	213	157	0	0
20/03/2017	ZMVT116	52	0	0	1635	405	666	1420	91	31	0	0	672	0	0	38	0	0	0
26/03/2017	ZMVT120	43	46512	0	4034	377	727	1492	61	0	0	36	1155	0	0	39	138	0	0
01/04/2017	ZMVT130	60	41633	0	961	325	752	2004	118	0	0	44	1230	0	0	0	60	0	0
07/04/2017	ZMVT135	47	0	0	2973	328	968	2113	140	0	31	44	1652	0	0	75	159	0	0
13/04/2017	ZMVT142	79	0	0	3096	0	540	642	0	0	0	0	396	0	0	0	0	0	0
19/04/2017	ZMVT148	39	0	0	2174	0	419	774	0	36	0	35	528	0	31	42	110	0	0
25/04/2017	ZMVT151	85	0	0	2953	168	906	1564	93	0	0	0	1041	0	0	38	357	0	0
01/05/2017	ZMVT158	130	7783	0	1246	276	913	1827	110	0	0	57	958	0	0	0	138	0	0
07/05/2017	ZMVT168	75	0	0	2804	481	642	470	27	0	40	0	354	0	0	24	122	0	0
13/05/2017	ZMVT171	37	0	0	576	335	0	93	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	0
19/05/2017	ZMVT177	60	0	0	3074	217	390	509	0	0	19	0	456	0	0	0	98	0	0
25/05/2017	ZMVT186	41	0	0	742	206	86	83	0	0	0	0	77	0	0	0	36	0	0
30/05/2017	ZMVT189	45	0	0	383	47	36	113	11	0	14	0	52	0	0	14	0	0	0
06/06/2017	ZMVT198	65	0	1476	2817	423	524	703	0	0	32	0	364	0	19	24	0	0	0
12/06/2017	ZMVT201	71	0	3781	2587	986	0	115	0	0	64	0	250	0	26	0	85	0	0
19/06/2017	ZMVT207	42	0	0	2171	193	403	1040	36	26	12	15	403	0	0	0	0	0	0
24/06/2017	ZMVT213	56	0	0	2398	351	305	750	39	0	0	19	505	0	0	0	127	0	0
30/06/2017	ZMVT219	22	0	0	0	0	0	49	0	0	335	0	0	0	0	0	0	0	0
06/07/2017	ZMVT225	26	0	0	0	0	0	41	0	0	217	13	0	0	0	0	13	0	0
12/07/2017	ZMVT231	45	0	0	677	220	0	198	0	0	0	0	82	0	0	0	0	0	0
18/07/2017	ZMVT237	100	0	0	1078	0	0	0	0	0	0	0	112	0	0	0	0	0	0
24/07/2017	ZMVT243	71	0	0	0	10025	5054	1878	3992	0	5217	0	7285	0	11622	0	21893	0	175459

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta.	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																
30/07/2017	ZMVT249	56	0	0	0	380	0	0	0	0	40	0	108	0	0	0	0	0	0
07/08/2017	ZMVT255	40	0	0	746	168	62	99	0	0	14	0	74	0	0	0	27	0	0
11/08/2017	ZMVT262	20	0	0	0	140	57	168	0	0	0	0	137	0	0	0	22	0	0
17/08/2017	ZMVT268	24	0	0	171	121	46	146	0	0	6	6	105	0	0	0	0	0	0
23/08/2017	ZMVT274	33	0	0	1330	82	68	239	0	17	0	0	126	0	0	0	0	0	0
29/08/2017	ZMVT280	8	5253	341	327	342	38	66	14	0	6	0	71	0	0	0	20	0	0
04/09/2017	ZMVT286	8	0	0	360	127	49	72	0	11	0	0	42	0	0	0	0	0	0
11/09/2017	ZMVT292	23	0	0	523	57	75	46	7	7	0	4	74	0	0	7	344	0	0
16/09/2017	ZMVT298	33	0	0	482	163	247	162	16	0	0	0	88	0	0	17	19	0	121
22/09/2017	ZMVT304	11	0	0	0	80	58	134	39	0	8	0	55	0	0	0	0	0	0
28/09/2017	ZMVT310	16	0	0	270	287	82	138	0	0	0	9	101	0	0	0	22	0	0
04/10/2017	ZMVT316	10	0	0	212	225	71	99	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
10/10/2017	ZMVT322	18	0	616	1086	354	170	284	25	0	0	0	169	0	0	0	65	0	0
16/10/2017	ZMVT328	22	0	0	1550	373	125	270	20	0	20	0	146	0	0	0	0	0	0
22/10/2017	ZMVT334	52	0	0	2097	456	565	299	0	0	32	12	107	0	0	0	0	0	206
30/10/2017	ZMVT340	33	0	350	2206	517	205	330	0	0	12	14	177	0	0	20	26	0	0
03/11/2017	ZMVT346	27	0	0	492	407	186	565	0	0	26	0	318	0	0	0	0	0	0
07/11/2017	ZMVT352	51	0	0	2370	779	596	1760	83	36	33	26	856	0	0	36	100	0	0
15/12/2017	ZMVT358	31	0	0	2045	506	196	701	0	82	22	0	315	0	0	16	47	0	0
21/12/2017	ZMVT365	41	0	0	2235	467	697	855	52	0	28	0	1059	0	0	0	0	0	0
27/11/2017	ZMVT371	34	0	0	1213	421	284	664	49	33	28	14	913	0	0	0	41	0	0
04/12/2017	ZMVT377	6	0	0	1365	471	908	460	115	0	0	22	732	0	0	28	0	0	0
09/12/2017	ZMVT383	30	0	0	1573	435	355	796	37	30	22	8	629	0	0	10	38	0	0
15/12/2017	ZMVT389	97	0	933	1366	788	1489	201	0	0	63	0	1485	0	0	39	87	0	0
21/12/2017	ZMVT395	79	0	0	1326	776	2433	751	38	0	14	46	972	0	44	33	113	0	0
27/12/2017	ZMVT401	536	0	2400	12124	52081	45393	571	293	0	0	366	2502	0	0	139	922	0	2122
01/01/2018	ZMVT407	382	0	0	7686	28496	32008	847	0	0	0	260	1612	0	55	102	581	0	2856
07/01/2018	ZMVT413	50	0	0	2636	294	905	493	0	31	0	77	344	0	24	20	47	0	0
15/01/2018	ZMVT419	65	0	0	1026	1081	1396	1528	99	0	0	82	856	0	0	0	99	0	165
19/01/2018	ZMVT426	54	4276	0	1293	668	757	938	49	0	16	30	1062	0	0	0	57	0	0
25/01/2018	ZMVT432	48	855	103	1865	3955	4032	655	42	6	3	65	634	0	7	15	107	0	255
31/01/2018	ZMVT438	43	1353	0	1217	189	443	620	32	10	11	6	416	0	0	23	28	1993	0
06/02/2018	ZMVT444	6	3346	0	1231	394	889	1085	55	0	20	16	718	0	0	16	0	0	0
12/02/2018	ZMVT450	27	3421	0	920	243	372	638	47	17	13	0	456	0	0	0	0	0	0
18/02/2018	ZMVT456	40	0	0	2240	204	606	861	58	0	20	14	592	0	0	0	38	0	0
24/02/2018	ZMVT462	32	0	0	653	0	94	143	0	0	0	0	75	0	0	0	0	4800	0
02/03/2018	ZMVT468	43	0	0	1040	102	253	372	0	31	0	0	240	0	0	99	101	5165	0
08/03/2018	ZMVT474	34	0	0	1079	0	181	253	0	0	0	0	176	0	0	0	0	5144	0
14/03/2018	ZMVT480	48	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6134	0

ANEXO F. Tabla de CQE y MGF del sitio de Zinacantepec

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
		(µg/m3)	(ng/m3)																
26/11/2016	ZMVT	NM	0	0	628	321	183	484	33	0	22	0	865	0	0	0	44	0	0
02/12/2016	ZMVT008	57	0	0	0	342	0	0	0	0	537	1260	3930	6945	11976	11451	7825	0	0
08/12/2016	ZMVT016	48	0	64121	3557	2191	1503	1129	0	0	224	2030	2004	1402	2191	4596	0	0	0
20/12/2016	ZMVT025	91	0	0	757	0	327	792	0	0	0	0	471	0	0	0	157	0	0
25/12/2016	ZMVT	67	0	0	1660	318	1725	326	32	20	13	0	565	0	16	0	50	0	0
01/01/2017	ZMVT028	44	2538334	0	0	0	0	1051	135	0	0	0	628	0	0	0	0	0	0
06/01/2017	ZMVT041	53	0	0	0	349	616	1131	0	0	0	0	1035	0	0	0	314	0	0
12/01/2017	ZMVT047	43	262730	10497	0	0	1007	1959	0	0	0	158	1221	0	0	0	0	0	0
18/01/2017	ZMVT054	25	0	0	989	354	432	690	115	0	0	0	515	0	0	90	0	0	0
24/01/2017	ZMVT057	42	0	0	1536	0	882	1413	82	0	0	0	928	0	0	0	0	0	0
30/01/2017	ZMVT066	50	0	0	801	0	441	950	83	0	0	0	862	0	90	0	0	0	0
06/02/2017	ZMVT070	46	0	0	1618	0	256	551	104	0	0	0	369	0	0	0	0	0	0
12/02/2017	ZMVT074	67	0	0	443	292	224	688	0	0	0	0	389	0	0	0	0	0	0
18/02/2017	ZMVT083	24	0	0	0	0	915	569	631	0	0	0	0	0	0	0	3567	2202	0
24/02/2017	ZMVT085	44	0	1794	0	0	1470	936	784	0	0	0	0	0	0	156	4903	2098	0
02/03/2017	ZMVT091	109	0	0	0	0	983	616	726	0	0	0	0	0	0	0	3927	1365	0
08/03/2017	ZMVT100	37	1460144	3585	11765	0	2746	11884	135	133	77	0	1494	0	87	226	242	0	0
14/03/2017	ZMVT110	29	1683277	4575	5927	0	1625	11109	127	0	0	79	746	0	61	203	112	0	0
20/03/2017	ZMVT115	31	0	0	730	0	379	729	44	0	36	0	602	0	0	0	0	0	0
26/03/2017	ZMVT119	41	0	0	1981	156	415	839	69	0	0	0	900	0	0	0	69	0	237
01/04/2017	ZMVT129	35	0	0	253	0	308	606	53	0	0	0	471	0	0	0	0	0	0
07/04/2017	ZMVT134	57	0	0	2196	237	668	1062	72	0	0	0	851	0	0	0	63	0	0
13/04/2017	ZMVT141	38	336655	915	2217	79	679	2869	73	0	7	16	714	0	12	41	49	0	47
19/04/2017	ZMVT147	34	0	0	507	0	267	402	0	0	0	0	418	0	0	60	0	0	0
25/04/2017	ZMVT	61	67518	183	1435	95	468	1159	54	0	1	3	673	0	2	20	36	0	57
01/05/2017	ZMVT157	87	10881	0	872	119	925	1393	124	0	0	0	906	0	0	0	0	0	0
07/05/2017	ZMVT167	74	0	0	1465	0	421	345	0	0	0	0	336	0	0	0	0	0	0
13/05/2017	ZMVT170	38	0	0	1704	280	547	247	0	0	11	0	218	0	0	0	17	0	0
19/05/2017	ZMVT176	66	0	0	2579	192	628	603	22	0	25	13	471	0	0	0	11	0	0
25/05/2017	ZMVT185	35	15642	37	1415	137	541	703	40	0	8	3	476	0	0	4	13	0	11
30/05/2017	ZMVT188	40	10929	511	1281	175	120	159	51	0	0	0	98	0	0	0	0	0	0
06/06/2017	ZMVT197	47	0	914	1569	220	163	253	0	0	20	0	196	0	0	0	0	0	0
12/06/2017	ZMVT200	34	0	752	1766	358	225	269	25	28	0	0	195	0	0	0	14	0	0
19/06/2017	ZMVT206	36	0	0	1831	194	204	400	19	36	13	0	210	0	0	8	0	0	0
24/06/2017	ZMVT212	34	0	0	1162	96	250	313	28	14	20	0	188	0	0	0	38	0	0
30/06/2017	ZMVT218	13	0	0	0	63	0	0	0	0	327	0	16	0	0	0	0	0	0
06/07/2017	ZMVT224	15	0	0	0	0	0	0	0	0	245	0	0	0	0	0	0	0	0
12/07/2017	ZMVT230	28	0	0	236	115	0	71	35	0	0	0	141	0	0	0	0	0	0
18/07/2017	ZMVT236	41	0	0	809	135	71	110	0	0	0	8	112	0	0	0	0	0	0
24/07/2017	ZMVT242	35	4775	0	642	171	93	83	16	0	14	17	66	0	0	0	0	0	0

Fecha Toma de Muestra	Etiqueta	MGF (µg/m3)	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
			(ng/m3)																
30/07/2017	ZMVT248	36	0	0	756	140	66	110	0	0	0	0	79	0	0	0	0	0	0
07/08/2017	ZMVT254	37	0	0	553	0	72	60	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0
11/08/2017	ZMVT261	14	0	0	358	138	0	55	0	0	8	0	35	0	0	0	0	0	0
17/08/2017	ZMVT267	19	0	0	242	130	63	198	16	0	11	0	116	0	0	0	16	0	0
23/08/2017	ZMVT273	21	0	0	1403	140	93	107	36	17	9	9	110	0	0	0	0	0	0
29/08/2017	ZMVT279	23	0	0	240	468	133	352	0	0	14	0	50	0	0	0	22	0	0
04/09/2017	ZMVT285	12	0	0	152	313	58	206	0	0	14	0	16	0	0	0	0	0	0
11/09/2017	ZMVT291	18	0	0	320	143	50	105	0	0	0	0	66	0	0	0	0	0	0
16/09/2017	ZMVT297	27	0	0	551	146	140	182	14	14	11	0	119	0	0	0	64	0	0
22/09/2017	ZMVT303	9	0	0	119	196	0	61	0	0	0	0	63	0	0	0	30	0	0
28/09/2017	ZMVT309	20	0	0	165	90	41	77	0	0	6	0	75	0	0	0	0	0	0
04/10/2017	ZMVT315	9	0	0	0	124	0	79	16	0	0	0	68	0	0	0	0	0	0
10/10/2017	ZMVT321	5	0	375	1168	370	86	294	30	0	26	0	208	0	0	23	0	0	0
16/10/2017	ZMVT327	78	0	0	1807	416	56	265	0	20	27	0	170	0	0	0	0	0	0
22/10/2017	ZMVT333	23	0	0	482	312	97	215	0	0	39	0	149	0	0	0	0	0	0
30/10/2017	ZMVT339	32	0	0	1501	351	109	188	530	0	37	13	164	0	0	0	0	0	0
03/11/2017	ZMVT345	26	0	0	908	295	149	505	89	0	23	0	270	0	0	0	0	0	0
07/11/2017	ZMVT351	32	0	0	1215	634	231	890	62	39	0	0	542	0	0	0	38	0	0
15/11/2017	ZMVT357	26	0	0	1360	488	16	556	61	31	27	0	354	0	19	0	29	0	0
21/11/2017	ZMVT364	27	4606	0	1279	291	177	379	30	0	0	0	738	0	0	0	0	0	0
27/11/2017	ZMVT370	37	0	0	627	320	182	482	33	0	22	0	862	0	0	0	44	0	0
04/12/2017	ZMVT376	75	0	0	1148	465	768	358	0	0	16	27	669	0	0	0	39	0	0
09/12/2017	ZMVT382	30	0	0	964	306	503	379	42	24	24	0	811	0	0	13	0	0	0
15/12/2017	ZMVT388	38	2526	0	971	419	438	732	38	0	0	24	1078	0	0	0	0	0	0
21/12/2017	ZMVT394	43	0	0	1392	303	870	803	69	0	0	33	1197	0	0	0	42	0	0
27/12/2017	ZMVT400	44	0	0	1656	317	1720	325	31	20	13	0	564	0	16	0	50	0	0
01/01/2018	ZMVT406	64	0	0	3959	836	3914	444	0	0	0	67	595	0	0	0	0	0	0
07/01/2018	ZMVT412	38	0	0	2480	173	675	421	36	44	44	94	503	0	49	19	0	0	0
15/01/2018	ZMVT418	42	4031	0	338	258	712	1153	104	16	0	91	834	0	0	0	25	0	0
19/01/2018	ZMVT425	29	0	0	561	294	239	368	31	0	0	0	726	0	0	0	0	0	0
25/01/2018	ZMVT431	29	0	0	697	207	137	198	31	16	17	0	658	0	0	0	0	0	0
31/01/2018	ZMVT437	44	0	0	1104	303	474	608	55	31	0	22	435	0	0	22	0	0	0
06/02/2018	ZMVT443	31	3900	550	1214	346	452	536	58	0	28	0	342	0	0	31	0	0	0
12/02/2018	ZMVT449	26	4847	0	1008	347	412	559	0	0	13	0	363	0	0	0	0	0	0
18/02/2018	ZMVT455	20	0	608	2468	295	393	454	0	0	24	0	278	0	0	0	0	0	0
24/02/2018	ZMVT461	26	0	710	911	0	94	154	0	0	0	0	152	0	0	0	0	5523	0
02/03/2018	ZMVT467	30	0	0	1015	0	204	221	0	0	0	0	237	0	0	0	0	5504	0
08/03/2018	ZMVT473	34	5862	718	1090	0	156	132	0	0	0	0	138	0	0	0	0	5397	0
14/03/2018	ZMVT479	38	0	0	1087	138	261	357	33	0	0	0	366	0	0	0	0	2350	0