

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE LOS VALLES



“PARTÍCULAS ULTRAFINAS AMBIENTALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA,
MÉXICO”

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTORADO EN CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS
CON ORIENTACIÓN EN NANOCIENCIAS

PRESENTA

MC. LAURA ELIZABETH PEÑA GARCÍA

DIRECTOR: DR. VÍCTOR RENTERÍA TAPIA

Ameca, Jalisco; Octubre 2019



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE LOS VALLES

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

Ameca, Jalisco a 5 de septiembre 2019

**Junta Académica del Programa
Doctorado en Ciencias Físico Matemáticas
del Centro Universitario de los Valles**

Presente:

En mi carácter de director del trabajo recepcional titulado: "PARTÍCULAS ULTRAFINAS AMBIENTALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, MÉXICO", que presenta el *Mtra. Laura Elizabeth Peña García* con código **081450218**, expongo que lo he revisado y que a mi juicio cumple con los requisitos metodológicos y de contenido, para que pueda ser sometida al examen recepcional correspondiente al Doctorado en Ciencias Físico Matemáticas con orientación en Nanociencias.

Por lo antes expuesto, me permito emitir el presente oficio de liberación del trabajo recepcional, con la finalidad de que pueda llevarse a cabo la defensa del mismo.

Atentamente

Dr. Victor Renteria Tapia
Profesor Investigador
Universidad de Guadalajara,
CU-Valles



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Ameca, Jalisco a 5 de septiembre 2019

**Junta Académica del Programa
Doctorado en Ciencias Físico Matemáticas
del Centro Universitario de los Valles.**

Presente

En nuestro carácter de lectores de tesis del trabajo recepcional titulado: "PARTÍCULAS ULTRAFINAS AMBIENTALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, MÉXICO", que presenta el *Mtra. Laura Elizabeth Peña García* con código 081450218, exponemos que lo hemos revisado y que a nuestro juicio cumple con los requisitos metodológicos y de contenido, para que pueda ser sometida al examen de grado correspondiente al Doctorado en Ciencias Físico Matemáticas con orientación en Nanociencias.

Por lo antes expuesto, nos permitimos emitir el presente oficio de liberación del trabajo recepcional, con la finalidad de que pueda llevarse a cabo la defensa del mismo.



Dra. María Alejandra Carreón Álvarez
Profesor Investigador
Universidad de Guadalajara,
CU-Valles



Dra. María Luisa Ojeda Martínez
Profesor Investigador
Universidad de Guadalajara
CU-Valles



Dra. Irineo Yáñez Sánchez
Profesor
Universidad de Guadalajara
CU-Valles



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Ameca, Jalisco a 5 de septiembre 2019

Junta Académica del Programa
Doctorado en Ciencias Físico Matemáticas
del Centro Universitario de los Valles.

Presente

En mi carácter de Lector de tesis del trabajo recepcional titulado:
"PARTÍCULAS ULTRAFINAS AMBIENTALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, MÉXICO", que presenta el *Mtra. Laura Elizabeth Peña García* con código **081450218**, expongo que lo he revisado y que a mi juicio cumple con los requisitos metodológicos y de contenido, para que pueda ser sometida al examen recepcional correspondiente al Doctorado en Ciencias Físico Matemáticas con orientación en Nanociencias.

Por lo antes expuesto, me permito emitir el presente oficio de liberación del trabajo recepcional, con la finalidad de que pueda llevarse a cabo la defensa del mismo.

Atentamente

Dr. Enrique Barrera Calva
Profesor investigador
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE LOS VALLES

COORDINACIÓN DE DOCTORADO EN CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS

Oficio DCFM/157/2019

Mtro. Abraham Vega Tapia.
Coordinador Control Escolar
CUVALLES

PRESENTE

Por este medio se hace de su conocimiento que el trabajo de tesis presentado por la **Mtra. Laura Elizabeth Peña García** con código **081450218** para optar por el grado de Doctor en Ciencias Físico Matemáticas con Orientación en Nanociencias con el tema titulado: **"PARTÍCULAS ULTRAFINAS AMBIENTALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, MÉXICO"** **SÍ CUMPLE** con los requerimientos exigidos por la Junta Académica para su presentación en examen de grado. (NUMERO DE ACTA DCFM/005/2019 reunión celebrada el 6 de septiembre 2019).

Por tal motivo, le informamos que el examen de grado se efectuará el día 14 de octubre del 2019 a las 10:00 hrs en la sala de Gobierno, ubicado en el edificio Académico del CUValles. Al respecto le solicitamos atentamente la elaboración del acta correspondiente.

Asimismo, le comunico sobre la designación del jurado de examen de grado.

- Dra. María Luisa Ojeda Martínez (Presidente)
- Dra. María Alejandra Carreón Álvarez (Secretario)
- Dra. Irinea Yáñez Sánchez (Vocal)
- Dr. Enrique Barrera Calva (Vocal)
- Dr. Víctor Rentería Tapia (**Director**) (Vocal)

Sin otro particular aprovechamos la oportunidad para reiterarle mi atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"PIENSA Y TRABAJA"

Ameca, Jalisco, a 10 de septiembre de 2019



Maria Luisa Ojeda Martinez
 Dra. María Luisa Ojeda Martínez
 Coordinador de Doctorado en Ciencias Físico Matemáticas
 UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
 C. UNIVERSITARIO DE LOS VALLES
 Coordinación de Doctorado en Ciencias Físico Matemáticas

Myriam Guadalupe Comenares Lopez
 Vo.Bo. Dra. Myriam Guadalupe Comenares López
 Coordinador de Posgrado
 UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
 C. UNIVERSITARIO DE LOS VALLES
 Coordinación de Posgrado

c.c.p Archivo

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto recibió apoyo económico por parte de PROMEP, ya que, como cuerpo académico, nos invitó a participar en un macro proyecto de Redes titulado “Aplicación de la modelación numérica de macro y microescala para el diagnóstico y la predicción del transporte y dispersión de contaminantes en ciudades con altos índices de polución”. El nombre de la red fue: Estudios de Impacto del Medio Ambiente, y fue promovida por el Cuerpo Académico UDG-CA-423 Geociencias Ambientales Aplicadas de la Universidad de Guadalajara.

Agradezco infinitamente el apoyo incondicional recibido por parte de mi director de tesis, el Dr. Víctor Rentería. El respaldo que me brindó, la confianza y el mostrar interés por las actividades desarrolladas y los logros obtenidos para este proyecto fueron de mucho valor y fortaleza. Lo agradezco de todo corazón.

A las doctoras Rocío Castañeda, María Luisa Ojeda, Alejandra Carreón, al doctor Enrique Barrera y a los doctores José Rosas, Roberto Maciel y doctora Míriam Tostado por estar en todo momento. Constituyeron un gran comité de apoyo.

Al Lic. Carlos Daniel Barba Rodríguez, a la MC. Martha Claudia Gutiérrez Jiménez, al Dr. Mario Rivas Souza, al Ing. J. Jesús Francisco Durán Juárez y a la Dra. Angélica Ceceña del Instituto Jalisciense Forense (RENIECYT 2016/23661) por haber colaborado con el doctorado en Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad de Guadalajara y por las facilidades para la observación de muestras de pulmón.

Muy especialmente al Dr. Alfredo Ignacio Feria y Velasco (†) (Investigador Nacional Emérito, CUCBA), por su invaluable apoyo. De igual manera la Dra. Ruth Araceli De Celis Carrillo (Centro de Investigación Biomédica de Occidente), así como a la MC Rosa María Domínguez Arias y a la Dra. Josefina Casas Solís, ambas del Departamento de Biología Celular y Molecular.

A la Médica General Cecilia Alhelí Cuellar Lemus por su constante respaldo, amistad y cariño.

Para elaborar los experimentos magnéticos se acudió al Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental (LUGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, campus Morelia. Se contó con el apoyo del personal del Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental donde laboran los Doctores en Ciencias Francisco Bautista, María del Carmen Delgado-Carranza, Rubén Cejudo-Ruíz, Alexander Sánchez-Duque, Juan Julio Morales-Contreras y Avto Gogichaishvili.

Agradezco mucho las atenciones recibidas y la hospitalidad que me brindaron el Dr. Bautista y la Dra. Carmen Delgado.

Al MC José Pablo Torres Morán del Departamento de Desarrollo Rural Sustentable del CUCBA, por su incondicional apoyo personal y en la parte de estadística

Al Dr. Alfonso Aceves Escárcega, por su cariño y apoyo.

Se contó con la cooperación de doce profesores. Ellos forman parte de los departamentos de Desarrollo Rural Sustentable, Ciencias Ambientales, Botánica y Zoología, Ecología y Finanzas, además de la participación de 35 estudiantes de las licenciaturas de Biología y Agronomía del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. A todos, gracias. Sin el apoyo cada uno de ellos, hubiera sido imposible hacer la colecta de muestras en un día.

A mis muy estimados amigos profesores MC Elva Guadalupe Robles Jarero, MC Beatriz Rodríguez, MC Gabriela Hernández Pérez, MC Leticia Hernández López, MC Genoveva Pinal Gómez, MC Celia Robles Murguía, MC Martín Pérez Peña, Dr. Roberto Maciel Flores, Dr. Ernesto López Uriarte, MC Armando Toral Flores y al Dr. Javier García Velasco. Y a los 36 estudiantes de las licenciaturas en Biología y Agronomía: Alan Omar Galindo Navarro, Alejandra Monserrat Zepeda Velázquez, Ana Guadalupe García Guadalajara, Ana Karen Sandoval Ontiveros, Ángel Emmanuel Saldívar Sánchez, María Silvia Batres Hernández, Brenely Vianey Cornejo González, Carlos David Mendoza Ocegueda, Cynthia Giselle Navarro Acosta, Daniel Armando Mojica Martínez, Dante Samuel Figueroa Martínez, Erika Andrade González, Fátima Joselyn Muñoz Navarro, Javier Alonso Russell López, Julieta Leticia Mota Sandoval, Karina Guadalupe Lucas Alvarado, Kevin Escobedo Ángeles, Liliana García Hernández, Manuel Del Real Palomares, Margarita Elizabeth García Lerena, María

Guadalupe Negrete Reynoso, Mariel Torres Ortiz, Mariela Alejandra Alvarado Enríquez, Miguel Carrasco Ramírez, Mijaíl Farías Flores, Miriam Evelia Pérez Vázquez, Mónica Carolina Báez González, Oscar Alejandro Márquez González, Paulina Marimar Rojas Gallardo, Pedro Gerardo Velázquez Orozco, René Adolfo Ramírez Rojas, Rodrigo Gómez Rizo, Rogelio Casillas Ramos, Tonantzin Corral Castelo, Victoria Belén Muñoz Jiménez y Viridiana Cervantes Bueno, quienes hicieron posible levantar las muestras en un solo día.

También agradezco el cariño y apoyo del Dr. Eduardo Ríos Jara y de la Dra. Lucila Méndez Moran por darme las facilidades (y empujones cuando fueron necesarios) para alcanzar esta meta.

Finalmente gracias a cada uno de mis queridos amigos y compañeros de aventuras que, aunque no vean reflejados sus nombres, se encuentran presentes en mi mente y corazón.

A todos, muchas gracias.

DEDICATORIA

A Dios, por llevarme hasta el final

A mi madre y hermana queridas

A los amigos que compartieron angustias y sinsabores, pero que siempre me “arrastraron” para que siguiera adelante...

A mi familia

A los queridos ausentes que siempre estarán en mi mente y corazón

A mis ángeles, eternos compañeros ...

CONTENIDO	
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE CUADROS	XII
GLOSARIO	XIV
RESUMEN	XVI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	4
1.3 HIPÓTESIS	4
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	6
2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	6
2.2 HISTORIA	6
2.3 COMPONENTES Y ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES	10
2.4 NORMATIVIDAD	13
2.5 AFECTACIONES EN LA SALUD	14
2.6. ESTADO ACTUAL	25
2.7 AFECTACIONES EN LA VEGETACIÓN	30
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	33
3.1 ÁREA DE ESTUDIO	33
3.1.1 Condiciones meteorológicas regionales típicas	37
3.2 PROTOCOLO DE MUESTREO	39

3.2.1 Hojas de <i>Ficus benjamina</i>	40
3.2.2 Suelo	41
3.2.3 Polvo urbano	41
3.3 CARACTERIZACIÓN DE POLVO EN HOJAS DE <i>FICUS BENJAMINA</i>	44
3.3.1 Microscopía electrónica de barrido y EDS	44
3.3.2 Espectrofotometría de absorción atómica	46
3.3.3 Susceptibilidad magnética	46
3.4 CARACTERIZACIÓN DE SUELO	49
3.4.1 Análisis multielemental por fluorescencia de rayos X	49
3.5 MUESTRAS DE TEJIDO PULMONAR	49
3.6 MUESTRAS DE HOJAS DE <i>FICUS BENJAMINA</i> CONTAMINADAS CON NPS DE PLATA.	51
3.7 ELABORACIÓN DE MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS.....	52
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1 HOJAS DE <i>FICUS BENJAMINA</i>.....	55
4.1.1 Microscopía electrónica de barrido	55
4.1.2 Espectroscopia de absorción atómica	59
4.1.3 Caracterización magnética	77
4.2 SUELO.....	93
4.2.1 Análisis elemental por fluorescencia de rayos X	93
4.3 POLVO URBANO	97
4.3.1 Mapa de distribución de polvo urbano.....	101
4.4 PARTÍCULAS EN TEJIDO PULMONAR HUMANO.....	104
4.5 PARTÍCULAS ULTRAFINAS EN HOJAS DE <i>FICUS BENJAMINA</i>.....	131
CONCLUSIONES	138
PERSPECTIVAS	140

BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS.....	159
ANEXO II APARATO RESPIRATORIO.....	164
ANEXO III LA ESPECIE <i>FICUS BENJAMINA</i> L. FAMILIA MORACEAE.....	166
ANEXO IV CONVENIO DE COLABORACIÓN.....	168
ANEXO V ARTÍCULO.....	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala de nano a macro.....11

Figura 2. Origen de la contaminación por factores industriales12

Figura 3. Porcentaje de deposición de partículas ultrafinas en función de su tamaño (a), y partes del sistema respiratorio donde se localizan estas partículas inhaladas (b)15

Figura 4. Esquema del flujo de metales pesados desde industria al aire-suelo-agua.17

Figura 5. Muertes atribuibles a la contaminación ambiental (años estandarizados, 2012)27

Figura 6. Defunciones totales a causa de tumor maligno de bronquios y pulmón, Estado de Jalisco de 1979 al 201529

Figura 7. Descripción de las defunciones totales a causa de tumor maligno de bronquio y pulmón de 1979 al 2015. Datos por municipio30

Figura 8. Localización del área de estudio33

Figura 9. Montañas que circundan el área metropolitana de Guadalajara34

Figura 10. Altura máxima 1675 y altura mínima 1543 msnm en el AMG.....34

Figura 11. Distribución por municipios de actividades económicas.....35

Figura 12. Principales actividades industriales en el AMG.....36

Figura 13. Vientos predominantes en el AMG38

Figura 14. Localización de los puntos de muestreo en el AMG.40

Figura 15. Etiquetas para la identificación de muestras42

Figura 16. Diagrama de flujograma de muestreo y caracterización.....43

Figura 17. Porta muestras con ejemplares de hojas de <i>Ficus benjamina</i> numeradas y sobre cinta adhesiva de doble cara de carbón.....	45
Figura 18. Localización de puntos de muestreo considerados para SEM en el AMG	46
Figura 19. Cubos porta muestras para mediciones magnéticas. Con dimensiones interiores de 2 x 2 x 2 cm (8 cm ³)	48
Figura 20. Diagrama de las técnicas empleadas para la caracterización magnética	48
Figura 21. Imagen SEM de la cara abaxial de la hoja <i>Ficus benjamina</i> para las muestras (a) 170 y (b) 76. La variedad de partículas se indica con flechas. Partículas pequeñas individuales (blanco), partículas grandes individuales (azul) y agregados (rojo).....	56
Figura 22. Imagen SEM de la cara abaxial de la hoja de <i>Ficus benjamina</i> (a). Mapeo elemental (b). Los elementos identificados fueron As, Co, Cr, W y Ta (muestra 76)	56
Figura 23. Imagen SEM de hoja Abaxial de <i>Ficus benjamina</i> (a). Mapeo elemental (b) Los elementos identificados fueron As, Ni, Cr, W y Ta (muestra 125)	57
Figura 24. Localización de los sitios de colecta de las muestras analizadas mediante la técnica SEM para hojas de <i>Ficus benjamina</i>	59
Figura 25. Valores medios estimados por AA de los elementos analizados	60
Figura 26. Dispersión según muestras de los elementos	62
Figura 27. Mapa de distribución de Cadmio.....	64
Figura 28. Mapa de distribución de Cobalto.....	66
Figura 29. Mapa de distribución de Cromo	68
Figura 30. Mapa de distribución de Cobre	70
Figura 31. Mapa de distribución de Níquel	72
Figura 32. Mapa de distribución de Plomo.....	74

Figura 33. Mapa de distribución de Zinc.....76

Figura 34. Diagramas de cajas y bigotes para χ y $MRI_{0.7T}$ en función del uso del suelo (A y C) y tipo de vialidad (B y D)81

Figura 35. Diagramas de dispersión de $MRI_{0.7T}$ vs χ para tipo de vialidad y uso de suelo82

Figura 36. Valor del factor S_{-200} muy cercano a 1, lo cual es un indicador de tener la presencia de un portador magnético de baja coercitividad.....83

Figura 37. Mapa de χ que presenta las zonas del AMG con la distribución de las partículas magnéticas y las áreas con mayor presencia de las mismas85

Figura 38. Mapa de MRIS que presenta las zonas del AMG con la distribución de las partículas magnéticas y las áreas con mayor presencia de las mismas.....86

Figura 39. Mapa con el resultado obtenido de análisis de χ al cual se le sobrepuso la información de colonias y densidad de población de las mismas87

Figura 40. Mapa con el resultado obtenido del análisis de MRIS al cual se le sobrepuso la información de colonias y densidad de población de las mismas88

Figura 41. Geología de la zona de estudio90

Figura 42. Elementos en menor proporción observados en muestras de XRF (%)93

Figura 43. Localización de los puntos de muestreo analizados por XRF. Se indica los puntos donde se detectó Torio, Actinio y Galio96

Figura 44. Peso de muestras de polvo urbano97

Figura 45. Polígonos de colonias afectadas por polvo urbano99

Figura 46. Mapa de distribución de polvo urbano en el área metropolitana de Guadalajara ..103

Figura 47. Microfotografía, vista general de tejido pulmonar, se observan los alveolos pulmonares (Muestra 5).....115

Figura 48. Fotomicrografía de barrido de pulmón, donde se observa un alveolo (a), el cual es una evaginación de unos 200 μm de diámetro (Muestra 1).	116
Figura 49. Colágena entre los lobulillos pulmonares (línea roja). Partículas ambientales depositadas en alveolo (Muestra 6)	116
Figura 50. Eritrocitos, leucocitos (Muestra 4)	117
Figura 51. Microscopía electrónica de transmisión de NPs de plata (a). Distribución de tamaño de las NPs de plata para 24 h de añejamiento (b).....	132
Figura 52. Espectro de absorción de NPs de plata preparadas en agua en función del tiempo de añejamiento.	132
Figura 53. Espectro FTIR en la región de 600-4000 cm^{-1} de una hoja de <i>Ficus benjamina</i> impregnada con nanopartículas a) y posteriormente secada a 35 $^{\circ}\text{C}$ por 24 h b). La flecha indica la evolución espectroscópica correspondiente.	133
Figura 54. Absorbancia (a) y Reflectancia (b) en la región de 200-2000 nm para una hoja de <i>Ficus benjamina</i> en el área adaxial, impregnada con la solución coloidal (⋯) y después de secarla a 35 $^{\circ}\text{C}$ por 24 h (—)	135
Figura 55. Imagen SEM de NPs de plata depositadas en una hoja de <i>Ficus benjamina</i> en su cara adaxial (a). Distribución del tamaño de las NPs de plata en agua después de la inmersión en hojas de Ficus por 18 h (b).....	137

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Algunos eventos históricos de contaminación del aire	8
Cuadro 2. Principales características de las partículas ultrafinas, finas y gruesas	10
Cuadro 3. Normatividad internacional sobre partículas ambientales.....	13
Cuadro 4. Valores de referencia de metales pesados en hojas de plantas	14
Cuadro 5. Límites para las concentraciones de metales pesados para el consumo de los seres humanos	25
Cuadro 6. Estimación de muertes asociadas al deterioro medioambiental.....	27
Cuadro 7. Superficie por habitante en el AMG	35
Cuadro 8. Clasificador del SCIAN para las actividades del DENUÉ	53
Cuadro 9. El uso de suelo para las muestras analizadas por la técnica de SEM.....	58
Cuadro 10. Concentración de elementos tóxicos identificados por AA para el AMG	61
Cuadro 11. Correlaciones de AA en hojas de <i>Ficus benjamina</i>	62
Cuadro 12. Estadística descriptiva para los parámetros magnéticos de las muestras recolectadas	78
Cuadro 13. Resumen estadístico de los parámetros magnéticos discriminando por categorías de uso de suelo y tipo de vialidad.....	78
Cuadro 14. Densidad de población por colonia para χ	89
Cuadro 15. Colonias afectadas por partículas magnéticas para MRI _{0.7T}	89
Cuadro 16. Colonias afectadas y municipios.....	90
Cuadro 17. Resumen estadístico de 150 puntos diferentes del AMG de polvo urbano	97

Cuadro 18. Colonias con mayor densidad de polvo sobre sus banquetas	100
Cuadro 19. Actividades económicas DENUÉ	102
Cuadro 20. Elementos presentes en tejido pulmonar de individuos analizados	105
Cuadro 21. Imágenes EDS de tejido pulmonar.....	106
Cuadro 22. Descripción de características de tejidos pulmonares observados	110
Cuadro 23. Composición química de las muestras analizadas por XRF, AA y SEM, usos y efectos a la salud.....	118
Cuadro 24. Comparativa entre partículas ambientales observadas en hojas de <i>Ficus benjamina</i> y bronquios pulmonares con partículas del entorno urbano analizadas por Conny (2001, 2014); Conny <i>et al.</i> , (2011); Dong, (2014); Sielicki, (2011); Ault, (2012)	129
Cuadro 25. Asignaciones de los principales máximos de absorción de compuestos en hojas de plantas	135

GLOSARIO

ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
ADN	Ácido desoxirribonucleico
AMG / ZMG	Área o Zona Metropolitana de Guadalajara
CU	Corredor urbano
CUCBA	Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
EDS	Detector de energía dispersiva
EPA	Agencia de Protección al Ambiente
EU	Equipamiento urbano (uso de suelo)
FTIR	Infrarrojo con transformada de Fourier
g/cm ³	Gramos por centímetro cúbico
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
HA	Habitacional densidad alta (uso de suelo)
HB	Habitacional densidad baja (uso de suelo)
I	Industrial
IJCF	Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
κ	Susceptibilidad magnética volumétrica
κ_{hf}	Susceptibilidad magnética de alta frecuencia
κ_{lf}	Susceptibilidad magnética de baja frecuencia
kV	kilovoltio
kWh/m ² día	Kilowatt hora entre metro cuadrado por día
M	Mixto (uso de suelo)
mAm ²	Miliamperios por metro cuadrado
MC	Membrana cuticular
ml	Mililitros
mm	Milímetros
mmHg	Milímetro de mercurio
MRI	Magnetismo remanente isoterma
MRI _{0.2T}	Magnetismo remanente isoterma adquirido con un campo inverso de 200 mT
MRI _{0.7T}	Magnetismo remanente isoterma a 700 mT
MRIS	Magnetismo remanente isoterma de saturación
ng/m ³	Nanogramos entre metro cúbico
nm	Nanómetros
NPs	Nanopartículas
NUIU	No urbanizable intraurbana (uso de suelo)
PM	Partículas

PM ₁₀	Partículas de diámetro 10 µm
PM _{2.5}	Partículas de diámetro 2.5 µm
POBFEM	Población femenina
POBMAS	Población masculina
POBTOT	Población total
ppm	Partes por millón
PVC	Policloruro de vinilo
Qal	Aluvión
Qpt TA-TR	Toba andesítica-Toba riolítica
QptA-B	Andesita- Basalto
QptR	Riolita
QptR	Riodacita
QptRD	Riodacita
QptTR	Toba riolítica
S ₂₀₀	Cociente para determinar coercitividad
SEM	Microscopia electrónica de barrido
SP	Superparamagnético
T	Tesla
TEM	Microscopía electrónica de transmisión
Tm Ar-TR	Arenisca-Toba riolítica
TmB-A	basalto-andesita
TmplTR	Toba riolítica
TmR-TA	Riolita-Toba andesítica
Tpl B-A	basalto-andesita
TplAr-TR	Arenisca-Toba riolítica
TplB-A	basalto-andesita
TplQptA-B	andesita-basalto
TplTA	Toba andesítica
UTM	Coordenadas universal transversal de Mercator
UV	Ultravioleta
UV-vis	Ultravioleta-visible
WHO	Organización mundial de la Salud
XRF	Espectrometría de fluorescencia de rayos X
χ	Susceptibilidad magnética másica
χ _{d%}	Porcentaje de susceptibilidad magnética dependiente de la frecuencia
µg/m ³	Microgramos por metro cúbico
µm	Micrómetro

RESUMEN

El presente trabajo caracteriza la contaminación atmosférica producida por partículas metálicas depositadas en suelo y hojas de *Ficus benjamina* de la Zona o Área Metropolitana de Guadalajara, México. Además, se presentan los posibles efectos adversos para la salud humana y en la vegetación como consecuencia de la presencia de estas partículas. Para ello se utilizaron las técnicas de fluorescencia de rayos X, susceptibilidad magnética, microscopía electrónica de barrido, absorción atómica, reflectancia difusa y espectroscopia infrarroja. Se evaluó por absorción atómica la presencia de diversos elementos en sus hojas, así como su rango de concentración promedio, que en casi su mayoría superó los valores de referencia. Por medio de mapas de distribución espacial se determinaron las zonas contaminadas por estos metales y las medidas magnéticas sugieren la presencia de minerales ferrimagnéticos de tamaño ultrafino y grueso. De acuerdo con las imágenes de microscopía electrónica de barrido para polvo depositado en hojas de *Ficus benjamina*, se observaron partículas metálicas de diferentes tamaños (partículas ultrafinas, PM_{2.5} y PM₁₀) y de diversa morfología, tales como esferas, elipsoides y agregados. Se empleó la técnica de fluorescencia de rayos X identificándose 23 elementos en suelo, entre ellos Th y Ac en al menos 14 sitios, lo cual sugiere una posible contaminación radiactiva en el medio ambiente. También, a través de la técnica de microscopía electrónica de barrido y análisis por mapeo elemental, se identificaron partículas metálicas gruesas, finas y ultrafinas en bronquio y tejido pulmonar humano, así como fragmentos de cemento, plástico, levadura y bacterias. La similitud entre las partículas metálicas identificadas en las muestras recolectadas y las observadas en tejido pulmonar, advierte riesgos latentes en la salud humana. Por otra parte, con el uso de las técnicas de espectroscopia de reflectancia difusa e infrarrojo se observó que las hojas de *Ficus benjamina* expuestas a déficit hídrico y contaminadas de forma controlada con partículas ultrafinas de plata, presentaron daño estructural y en superficie. Los resultados obtenidos con la metodología empleada en este trabajo permiten vislumbrar el potencial contaminante en las zonas urbanas, que las plantas son las primeras especies vivientes en intentar mitigar a través de diferentes procesos de filtración.

CAPÍTULO 1. Introducción

La globalización y el incremento económico que ha originado evidentes beneficios, simultáneamente, han provocado la aparición de riesgos emergentes en la salud. Existen dificultades e incertidumbres para identificar con exactitud la relación causal entre medio ambiente y salud. La medición de la exposición a numerosos factores contaminantes es compleja porque no siempre se dispone de sistemas adecuados de información y vigilancia sanitaria que permitan valorar la magnitud y gravedad de los riesgos. Algunas sustancias por debajo de ciertos niveles no son peligrosas, sin embargo, otros agentes como alérgenos, radiaciones ionizantes, contaminantes del aire y químicos carcinógenos, pueden ocasionar un riesgo a niveles superiores de los observados (Vargas, 2005).

Respecto a la contaminación atmosférica, la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés World Health Organization) estima que es responsable de aproximadamente tres millones de muertes al año (WHO, 2016a). Entre las principales fuentes de contaminación antrópicas del aire se encuentran el transporte, la quema de combustibles en las viviendas, la incineración de desechos, las centrales eléctricas y las actividades industriales. Entre las fuentes naturales de contaminación atmosférica, se pueden considerar las tormentas de arena en zonas desérticas o áridas (WHO, 2016a). Una de las causas de la contaminación del aire se hace presente con mayor fuerza en ciudades fuertemente congestionadas por tráfico y con poca precipitación pluvial. Ello causa acumulación de metales pesados que provienen de los productos de la fricción de frenos, discos, ruedas y del propio pavimento sobre las vías de comunicación. Aunque se haya eliminado el asbesto en las balatas de frenos, metales como hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), antimonio (Sb), bario (Ba), circonio (Zr), además del zinc (Zn) se encuentran presentes en las llantas (Querol, 2008).

A partir de la década de los 90's se incrementaron los trabajos sobre la caracterización de los contaminantes atmosféricos en polvo urbano, suelo, partículas en suspensión, sedimentos y en algunas especies vegetales (Tam *et.al* 1988; Aguilar *et al*, 2011). Es particularmente interesante resaltar que la vegetación pueda usarse como un indicador biológico de elementos traza, partículas gruesas, finas y ultrafinas provenientes del aire contaminado. Estos bio-indicadores presentan una alta sensibilidad a los cambios ambientales, por lo que pueden

mostrar los efectos peligrosos del medio ambiente en los seres vivos. Además, permiten evaluar la calidad del aire de manera muy viable, rápida y económica y lo más importante, pueden distinguir acumulaciones de sustancias tóxicas y contaminantes en los ecosistemas. Técnicas de susceptibilidad magnética (Aguilar *et. al.*, 2012), infrarrojo (Sangi, *et. al.*, 2008), microscopía electrónica de barrido (Tomašević *et.al.*, 2005), fluorescencia de rayos X (Marguí *et.al.*, 2009) y absorción atómica (Sawidis *et.al.*, 1995), se han empleado para identificar y cuantificar una gran variedad de partículas del aire depositados en las hojas de las plantas.

Pocos estudios se han realizado en la identificación y estimación de la concentración de metales pesados empleando hojas de plantas recolectadas en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) (Gutiérrez 2013; Gutiérrez 2015). Al respecto, se ha informado que la concentración de metales pesados (Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) acumulados en hojas de *Ficus benjamina* que se determinó por absorción atómica, dependía de la estación del año y del metal (Gutiérrez, 2013). Por ejemplo, en el Bosque de Los Colomos en la temporada de primavera se determinó mayor concentración de plomo ($10.39 \pm 1.88 \text{ mg/Kg}^{-1}$) que en el verano ($4.99 \pm 1.88 \text{ mg/Kg}^{-1}$) y para el Cu la concentración se incrementó casi cinco veces en el verano (Gutiérrez, 2013). Al realizar una comparación de la capacidad de retención de contaminantes de la hoja de *Ficus benjamina* con otras hojas (*C. aurantium* y *Fraxinus uhdei*), se demostró que esta especie de *Ficus* retiene mayor concentración de Pb en primavera, verano y otoño, mientras que en las temporadas de verano e invierno retiene mayores concentraciones de Cu que otras hojas (Gutiérrez, 2013). Los resultados informados sugieren que las hojas de *Ficus benjamina* tienen gran capacidad para acumular metales y por lo tanto pueden ser usadas como bioindicadores de partículas ambientales.

También, se informaron estudios magnéticos de suelo y polvo urbano en el AMG y se determinó que el principal portador resultó ser magnetita, proveniente de zonas afectadas por emisiones vehiculares e industriales (Aguilar *et. al.*, 2011).

Se ha estudiado el tamaño de las partículas (PM) provenientes de la contaminación ambiental y se ha comprobado que están asociadas a mortalidad y morbilidad debido a exacerbación de enfermedades de vías respiratorias y la disminución de la función pulmonar (Gilmour *et al.*, 1996). Los efectos en la salud de los habitantes por inhalación de partículas también han sido estudiados por muchos autores en diferentes partes del mundo y se han establecido parámetros

diversos tales como poblaciones vulnerables: mujeres, niños, personas de edad avanzada o con problemas preexistentes de salud como enfermedades crónicas tales como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) e isquemia cardiaca, así como mujeres embarazadas. Se ha estudiado además el tipo de partículas presentes y el tiempo de exposición. (Riojas-Rodríguez *et al.*, 2013; Riojas-Rodríguez *et al.*, 2014).

Por otra parte, investigaciones recientes han revelado la existencia de nanopartículas (NPs) en varios sitios urbanos, entornos acuáticos, terrestres y atmosféricos, producidas por combustión de fuentes estacionarias y móviles, así como las provenientes de origen natural (Muñoz *et al.*, 2017; Shi *et al.*, 2001). En consecuencia, la presencia de partículas (< 100 nm en diámetro) en el medio ambiente ha generado preocupación por los efectos adversos que pueden tener en los ecosistemas y en la salud del ser humano (Shi *et al.*, 2001). Adicionalmente con el advenimiento de la nanotecnología, se están originando nuevas fuentes de emisión de material ultrafino que contribuyen a la contaminación del medio ambiente. Específicamente, se estima que de todos los nanomateriales que se usan en productos para el consumo, las NPs de plata son las que tienen un mayor grado de comercialización. Se utilizan en electrónica, ropa, pinturas, cosméticos, bactericidas, biofungicidas, así como en aplicaciones biomédicas y en la industria alimentaria. (Avalos *et al.*, 2013).

Otro grupo de productos comerciales se están fabricando con Nps de TiO₂ y se usan en pinturas, textiles, protectores solares, catalizadores y cosméticos. En muchas ocasiones estos productos entran al mercado sin tener la seguridad de que sus efectos sean tóxicos al medio ambiente y la salud humana. En virtud de que actualmente hay fuertes inversiones en el desarrollo de productos nanoscópicos, es imprescindible aclarar las controversias sobre su toxicidad, por lo que las estrategias, acciones y proyectos para conocer su impacto en la salud humana y en la vegetación resultan de gran importancia. Por ejemplo, se sabe que el pulmón es una de las principales vías de entrada de NPs en el cuerpo y, por tanto, un lugar probable para la acumulación de éstas. Una vez que las partículas ultrafinas son inhaladas, rápidamente se absorben por las células alveolares. Es probable que se produzcan efectos tóxicos como el estrés oxidativo, daño en el ADN y la inflamación que conduce a la fibrosis, la neumoconiosis y a mecanismos subyacentes que causan toxicidad pulmonar (Oberdorster *et al.*, 1992; Gilmour *et al.*, 1996; Utell, 2002; Yu *et al.*, 2007). En un estudio donde se analizó el proceso

de inhalación en ratas, el pulmón mostró una mayor biodisponibilidad de las NPs de oro (Au) dentro de los cinco días posteriores a la exposición y una acumulación significativa en más de 15 días de exposición (Yu *et al.*, 2007). Los datos de otra investigación realizada en ratas, también destacaron que las NPs de agregados de plata de 15 nm podrían mantenerse en la región intratraqueal durante siete días, mientras que los no agregados pueden trasladarse fácilmente a otros órganos (Kreyling *et al.*, 2011). Las NPs también pueden ingresar al organismo vía oral, cutánea o dérmica. (Hoet *et al.*, 2004). De modo similar, partículas de plata de tamaño < 50 nm depositadas en hojas de *Ficus benjamina*, tienen un efecto adverso en la actividad del proceso fotosintético de dicha planta (Peña *et al.*, 2019).

1.2 Justificación

Dado que de manera histórica la contaminación del aire en la ciudad de Guadalajara se ha asociado a partículas con diámetro de 10 μm (PM_{10}), 5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) y menores, se requiere identificar las zonas más contaminadas por estas partículas en el AMG. Por otra parte, la posibilidad de caracterizar PM de varios tipos, formas y tamaños en polvo y suelo a través de diferentes técnicas para evaluar la contaminación ambiental, así como la simplicidad de la metodología sugerida al emplear hojas de *Ficus benjamina* como bioindicadores, fueron los factores que determinaron la necesidad de iniciar una investigación sobre la composición química, concentración y distribución de partículas en el polvo urbano de esta región del occidente de México. Todo ello junto a la escasez de análisis morfológico de polvo urbano en el AMG, motivaron a identificar y conocer el tamaño y la forma de partículas ambientales, así como sus posibles fuentes de emisión. Ello permitirá advertir sobre los riesgos potenciales en la salud humana y en las plantas que se encuentran expuestas a estas partículas.

1.3 Hipótesis

Las PM depositadas en el suelo y en las hojas de *Ficus benjamina* provenientes de la contaminación del aire en el AMG, están constituidas por una amplia variedad de metales pesados de diferentes morfologías y tamaños que pueden afectar la salud humana y al proceso fotosintético de esta especie de árbol.

Objetivo general

La recolección de muestras de polvo depositado en hojas de *Ficus benjamina* y en suelo en el AMG, permitirá identificar principalmente el tipo de partículas metálicas, su tamaño y forma, así como su distribución espacial. Con base en los resultados obtenidos se discutirá sobre los posibles efectos de partículas metálicas en la salud humana y las plantas.

Objetivos específicos

- Identificar metales pesados y evaluar su concentración y morfología en polvo urbano depositado en hojas de *Ficus benjamina* por medio de las técnicas de absorción atómica (AA) y microscopía electrónica de barrido (SEM por sus siglas en inglés scanning electron microscopy).
- Evaluar la presencia de minerales ferrimagnéticos de grano ultrafino y baja coercitividad, utilizando medidas de susceptibilidad magnética.
- Identificar las zonas más contaminadas de la ciudad y los elementos químicos presentes en dichas áreas por medio de mapas de dispersión de partículas, elaborados con los datos obtenidos por la técnica de AA y susceptibilidad magnética.
- Correlacionar las PM con fuentes de emisión que están induciendo la contaminación ambiental en el AMG.
- Medir de forma cualitativa los elementos presentes en las muestras de suelo por medio de la técnica de fluorescencia de rayos X (XRF por sus siglas en inglés X-Ray fluorescence).
- Identificar partículas ambientales en bronquio y tejido pulmonar humano por medio de la técnica SEM, para conocer si también están presentes en las muestras de polvo y suelo.
- Evaluar daño estructural y en la superficie de hojas de *Ficus benjamina* debido a la presencia de partículas metálicas ultrafinas de plata depositadas de forma controlada.

CAPÍTULO 2. Antecedentes

2.1 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se define como la modificación de la atmósfera por el vertido de elementos en concentraciones elevadas en determinados lapsos de tiempo, que afecta negativamente a cualquier ser vivo o componente del ecosistema. Los contaminantes atmosféricos pueden ser transportados a grandes distancias antes de llegar al receptor final y dependiendo de las dosis, pueden afectar seriamente a la salud humana y a la vegetación. El tiempo de residencia y dispersión de los contaminantes emitidos a la atmósfera por fuentes naturales o por actividades humanas, depende de varios factores meteorológicos tales como la temperatura, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar, así como de factores topográficos como son altitud, tipo de suelo y relieve (Pérez *et. al.* 2006). Por otra parte, las autoridades ambientales generalmente se limitan a estimar la concentración de partículas respirables para tener un control de las fuentes contaminantes e identificar riesgos en la salud humana. Recientemente, los efectos de las partículas contaminantes depositadas en las plantas, han sido considerados por agencias gubernamentales para la toma de decisiones.

2.2 Historia

Se pueden mencionar varias semejanzas entre los eventos históricos y los efectos de la contaminación por partículas en la salud de la población (Cuadro 1). En 1273 Eduardo I, rey de Inglaterra, formuló una ley prohibiendo la quema del carbón, el cual contaminó tanto el aire que, posteriormente a inicios de 1400, Henry V conformó una comisión para el control del uso de la calefacción en Londres. En 1661, Carlos II ordenó al científico John Evelyn investigar los efectos de la progresiva contaminación del aire sobre la ciudad. Evelyn identificó la relación entre la “nube funesta” en Londres y el número de enfermedades fatales. La alta contaminación del aire a causa de la quema del carbón se transformó en un problema para las poblaciones, a pesar de que tenían bajas densidades, la industria era incipiente y las emisiones de contaminantes no estaban generalizadas. En consecuencia, los efectos de los episodios de contaminación del aire, eran relativamente menores. Sin embargo, a finales de 1800, con la

industrialización, más y más población se concentró en las ciudades y las crecientes cantidades de contaminación química fueron alterando su calidad. (Noji, 2000).

Desafortunadamente en diciembre de 1873, cuando se presentaron condiciones climáticas adversas, una espesa nube de contaminación cubrió Londres la que provocó 1,150 víctimas. Es este uno de los desastres por contaminación del aire más antiguos de que se tengan referencias. La percepción de riesgo empezó a cambiar a mediados del siglo XX cuando hubo episodios graves de contaminación del aire. Pronto los grupos de investigación empezaron a medir los niveles de ceniza y a darse cuenta de la correlación entre la contaminación urbana y la incidencia de mortalidad durante estos eventos. En respuesta, las áreas locales comenzaron a controlar y regular las emisiones de estas partículas. Pero los esfuerzos regulatorios continuaban siendo desiguales y localizados, hasta que la conciencia sobre el medio ambiente aumentó entre 1960 y 1970 (Chen *et al.*, 2009; Air Now, 2015; Alley *et al.*, 2009; Noji, 2000).

Cuadro 1. Algunos eventos históricos de contaminación del aire (Noji, 2000; Chen et al., 2009; Alley et al., 2009; Air Now, 2015)

Año	Mes	Inglaterra	Bélgica	Estados Unidos	México	India	Muertos	Intoxicados
852		Londres. Quema ineficiente de carbón para calefacción	_____	_____	___	___	SD	SD
1273		Eduardo I de Inglaterra, prohibió el uso del carbón.	_____	_____	___	___	SD	SD
1400		Henry V, formó comisión para regular el uso de la calefacción.	_____	_____	___	___	SD	SD
1661		Carlos II en Londres, ordenó investigar la relación entre el número de enfermedades fatales y la “nube funesta”	_____	_____	___	___	SD	SD
1873		Londres. Con condiciones climáticas adversas, nube espesa	_____	_____	___	___	1,500	SD
1930	Dic	_____	Meuse Valley. Tres días de niebla o baja dilución de la atmósfera	_____	___	___	63	6,000
1931		Manchester. Tras 9 días de niebla	_____	_____	___	___	592	SD
1939		Londres, en 4 días por niebla intensa.	_____	_____	___	___	1,300	Indeterminado
1948	Oct	_____	_____	Donora, Pensilvania. 23 al 31, sin viento la contaminación se acumuló y en 12 horas la funeraria quedó sin ataúdes y el centro de la comunidad se convirtió en morgue	___	___	20	Indeterminado
1950		_____	_____	_____	Poza Rica	___	22	350
1952	Dic	Londres	_____	_____	___	___	De 3,500 a 4,000	Indeterminado
1953	Nov	_____	_____	Nueva York	___	___	175 a 200	Indeterminado
1956	Nov	Londres	_____	_____	___	___	1,000	SD

Año	Mes	Inglaterra	Bélgica	Estados Unidos	México	India	Muertos	Intoxicados
1957	Dic	Londres	_____	_____	___	___	700 a 800	SD
1959	Ene	Londres	_____	_____	___	___	200 a 250	SD
1962	Dic	Londres	_____	_____	___	___	700	Indeterminado
1963	Ene	_____	_____	Nueva York	___	___	200 a 400	SD
1966	Nov	_____	_____	Nueva York	___	___	170	SD
1984		_____	_____	_____	___	Bophal	2,000	SD
1991		Londres. Durante cuatro días, hubo altos niveles de NO ₂	_____	_____	___	___	160	SD

SD sin datos

2.3 Componentes y origen de los contaminantes

Los contaminantes más comunes del aire son partículas en suspensión entre cuyos componentes se encuentran metales pesados, nitratos y sulfatos, entre otros. (Pérez *et al.* 2006). En particular, los metales pesados son un grupo de elementos que se encuentran en concentraciones relativamente bajas en la corteza terrestre, los suelos y las plantas, tienen importancia industrial y biológica y presentan densidades superiores a 6 g/cm^3 (Virtual, 2011; Martínez, 2009). Las partículas contaminantes del aire tienen la capacidad de generar problemas de salud más severos si se encuentran entre ellas metales pesados como plomo (Pb), zinc (Zn), cadmio (Cd) y cromo (Cr) (David *et al.*, 1989; Vargas, 2005; IDEAM, 2005; Flores *et al.*, 2013).

Las PM también conocidas como material particulado (por sus siglas en inglés particulate matter) están constituidas por la mezcla de compuestos químicos en forma de líquidos y sólidos suspendidos en el aire como hollín, polvo, humo y neblinas (Green *et al.*, 2012). La contaminación del aire incluye "partículas gruesas inhalables", con diámetros de $2.5 \mu\text{m}$, hasta $10 \mu\text{m}$, "partículas finas", con diámetros menores a $2.5 \mu\text{m}$ y "partículas ultrafinas" que se refieren a las partículas menores a $0.1 \mu\text{m}$ (AirNow, 2015; AirNow, 2016; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011). Las principales características de estas partículas se resumen en el (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales características de las partículas ultrafinas, finas y gruesas (Secretaría de Medio Ambiente, 2011).

	Tipo de partículas		
	Ultrafinas ($\text{PM}_{0.1} \mu\text{m}$)	Finas ($\leq \text{PM}_{2.5} \mu\text{m}$)	Gruesas ($\text{PM}_{2.5}\text{-PM}_{10} \mu\text{m}$)
Proceso de formación	<ul style="list-style-type: none"> Nucleación de gases atmosféricos, incluidos H_2SO_4, NH_3 y algunos compuestos orgánicos Condensación de gases Nanopartículas fabricadas y empleadas en productos de consumo generalizado 	<ul style="list-style-type: none"> Condensación de gases Coagulación de partículas pequeñas Reacción de gases en o sobre las partículas Evaporación de neblina y gotas de agua en las que los gases se han disuelto y reaccionado 	<ul style="list-style-type: none"> Procesos mecánicos (prensado, molienda, abrasión, rompimiento de sólidos/gotas) Evaporación de aerosoles Suspensión de polvos Reacción de gases en o sobre partículas

En particular, las partículas ultrafinas comprenden materia a nanoescala y en áreas urbanas entre el 80 y 90 % del total de partículas presentes en el aire son ultrafinas (Fernández, 2011). Según Rosell (2008) las NPs son porciones de materia diferenciadas del medio donde se encuentran y su longitud, al menos en una de sus dimensiones, está entre 1 y 100 nm (1 nm = 10^{-9} m; es decir, una millonésima de milímetro) (Figura 1).

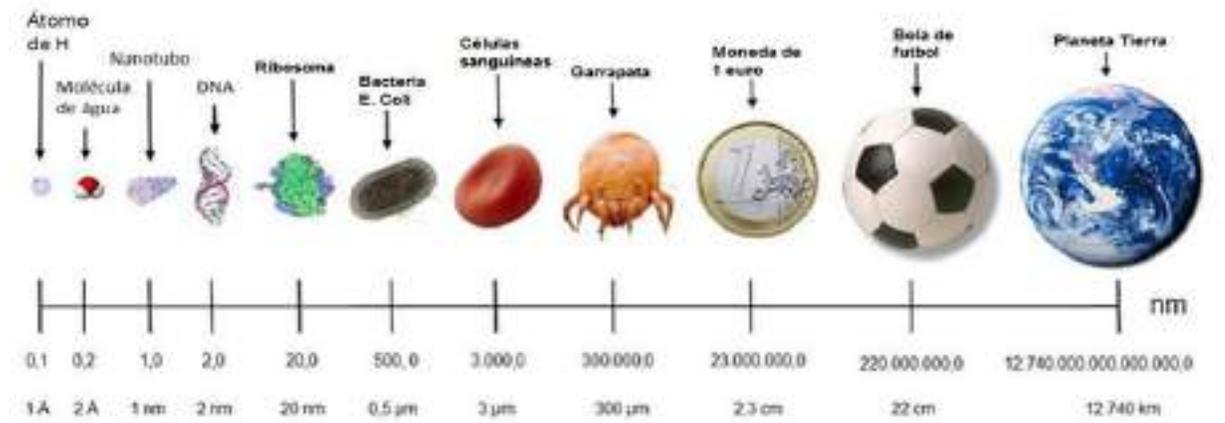


Figura 1. Escala de nano a macro (Adaptado de: Euyin, 2016)

Las NPs se pueden clasificar por su origen en naturales o antrópicas. Las producidas como consecuencia de la actividad humana pueden ser generadas de forma involuntaria o deliberada (Frejo *et al.*, 2011).

En general, las causas de la contaminación del aire pueden ser naturales (emisiones volcánicas, biogénicas, desérticas, marinas, etc.) o antropogénicas. Estas últimas son las que principalmente inciden de manera mayormente adversa sobre la calidad del aire. Existe un gran número de contaminantes atmosféricos con distintas repercusiones en la atmósfera. Entre ellos destacan CO_2 , CO , SO_2 , NO , NO_2 , O_3 . El ozono actúa positivamente en la estratosfera reduciendo la radiación ultravioleta, sin embargo, en la troposfera, su poder oxidativo tiene efectos negativos. También ocurre con sustancias tales como NH_3 , H_2S , partículas (incluyendo metales), compuestos inorgánicos secundarios y una gran cantidad de compuestos orgánicos, algunos persistentes, y con un elevado número de compuestos orgánicos volátiles (Querol, 2008).

Las PM que se producen por la combustión, tienen una composición química que se basa en el carbono y materiales inorgánicos, cuyo origen es el mineral presente en los combustibles. En

la mayoría de los procesos industriales, frecuentemente, las partículas atmosféricas tienen una composición química similar a la de las materias primas o los productos generados. El tiempo de residencia de dichas partículas en la atmósfera depende básicamente de las condiciones climáticas y de su tamaño. Las partículas más pequeñas pueden permanecer en suspensión durante períodos prolongados, mientras que las de mayor tamaño sedimentan rápidamente. Aquellas PM procedentes del aerosol en una ciudad que se acumulan sobre calles, aceras, ventanas, techos y otras superficies urbanas, suele denominárseles "polvo urbano". Estas PM no permanecen mucho tiempo en un sitio, sino que, entran rápidamente en re-suspensión y se incorporan nuevamente a la atmósfera urbana, o bien son tiradas por la lluvia y nuevamente arrastradas al sistema de drenaje o incorporadas a los suelos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales *et al.*, 2011). Las principales fuentes de emisiones continuas de PM contaminantes en zonas urbanas, provienen del tráfico y las actividades industriales (Figura 2) (Aguilar *et al.*, 2011)



Figura 2. Origen de la contaminación por factores industriales (Adaptado de: José David, 2017)

Existen sustancias que se denominan carcinógenas ambientales. Entre las más conocidas se encuentran el asbesto y el radón, así como algunas sustancias mezcladas en el aire ambiental o laboral tales como arsénico, cloro, níquel, berilio, formaldehído, radiaciones ionizantes,

cloruro de vinilo, cromato de níquel y clorometilo de éter. Estos agentes pueden hacer sinergia con el humo del tabaco (International Agency for Research on Cancer WHO, 2016).

2.4 Normatividad

Es importante mencionar que no se encontró ninguna normatividad para regular la exposición y respuesta de los seres humanos a partículas ultrafinas emitidas en el aire, producidas natural o artificialmente, ni en Estados Unidos ni en el ámbito internacional. Respecto a la regulación de la concentración de partículas PM_{2.5} y PM₁₀, existen varias normas internacionales para emisiones periódicas por día, mes o año (Cuadro 3).

Cuadro 3. Normatividad internacional sobre partículas ambientales

	Límite promedio 24 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Límite promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Observaciones	
PM ₁₀	75	40		
PM _{2.5}	45	45		
PM ₁₀	150		Media anual, promediada en 3 años	Primario y secundario
PM _{2.5}	35	12	No debe superarse más de una vez al año en promedio durante 3 años	Primario
		15		Secundario
PM ₁₀	28		Valores umbral propuesto al 2015	
PM _{2.5}		10		
PM ₁₀	27		Valores umbral propuesto al 2020	
PM _{2.5}		8.8		
PM ₁₀	50	20		
PM _{2.5}	25	10		

Tampoco hay ninguna normatividad para polvos o metales pesados depositados en hojas de plantas. No obstante, en varios trabajos han sido empleados los valores de referencia de una planta no contaminada o “planta de referencia” (Markert, 1992), para comparar la contaminación de metales pesados en hojas de plantas (Harada *et.al.*, 1998; Harada *et.al.*, 2000; Tomasevic, 2004; Remon *et.al.*, 2013). La concentración de elementos traza (g/g de peso seco) de una “planta de referencia” citada por Markert, corresponde a valores promedio del contenido de todos los elementos encontrados en plantas crecidas en suelos sin contaminación. Otros valores de referencia también han sido informados para comparar la concentración de

Cd, Pb y Zn (Akguc *et. al.*, 2008), Cu, Ni y Fe (Akguc *et. al.*, 2010), Co y Cr (Kabata-Pendias, 2000) en hojas de plantas. En el Cuadro 4 se han registrado los valores de referencia para metales pesados informados por Markert y otros autores. Estos valores de referencia pueden ser utilizados para cualquier tipo de planta y en este trabajo fueron empleados para comparar las concentraciones de metales pesados encontradas en hojas de *Ficus benjamina* por la técnica de absorción atómica.

Cuadro 4. Valores de referencia de metales pesados en hojas de plantas

Metal	Valor normal^a µg/g	Valor normal µg/g	Rango de Toxicidad µg/g
Zn	50	8-400 ^b	10-400 ^b
Cd	0.05	0.2-0.8 ^b	5-30 ^b
Pb	1	0.1-10 ^b	30-300 ^b
Cu	10	4-15 ^c	20-100 ^c
Ni	1.5	0.5-5 ^c	> 5 ^c
Fe	150	2-250 ^c	> 500 ^c
Co	0.2	0.1-10 ^d	> 10 ^d
Cr	1.5	0.2-0.8 ^d	5-30 ^d

Markert, 1992^a; Akguc *et. al.*, 2008^b; Akguc *et. al.*, 2010^c; Kabata-Pendias, 2000^d

2.5 Afectaciones en la salud

La contaminación del aire por partículas se ha asociado a diversos efectos, agudos y crónicos, en enfermedades respiratorias y cardiovasculares, dadas la diversidad en composición química y tamaños. Sin embargo, los problemas de salud que pueden generar las partículas ultrafinas (de un diámetro menor a 100 nm) son evidentemente diferentes a los que se pueden presentar por las PM₁₀ (Frejo *et al.*, 2011). De hecho, las partículas ultrafinas, dependiendo de su tamaño, forma y composición química, son capaces de penetrar y depositarse en los diferentes compartimentos del aparato respiratorio, en la región extra-torácica incluyendo la boca, fosas nasales, laringe y faringe en la región traqueo-bronquial, de la tráquea a los bronquios y en la región alveolar que comprende los bronquiólos y los alvéolos (Figura 3) (Frejo *et al.*, 2011; Utell, 2002; Castañeda 2016). Las partículas ultrafinas superiores a 10 nm se depositan

principalmente en la región alveolar y las inferiores a 10 nm se depositan principalmente en la región extra torácica y en una menor cantidad en la región traqueo bronquial (Rosell Farràs *et al.*, 2008; Aydın *et al.*, 2012; Hoet *et al.*, 2004).

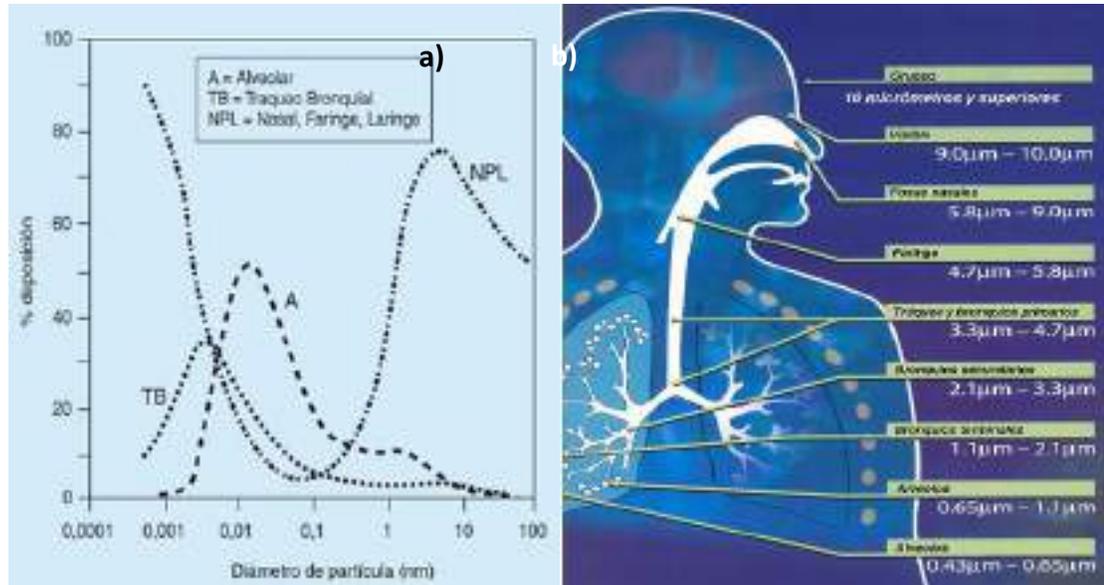


Figura 3. Porcentaje de deposición de partículas ultrafinas en función de su tamaño (a), y partes del sistema respiratorio donde se localizan estas partículas inhaladas (b) (Adaptado de: Utell, 2002 y Castañeda 2016).

Se estima que 1% o menos de las NPs depositadas en los pulmones pasan a la circulación sistémica y a otros órganos. El aumento de la producción y el uso de las NPs (<100 nm) en diversos productos de consumo (pinturas, protectores solares y cosméticos), nanomedicamentos y diagnósticos, ha elevado el riesgo de exposición a este tipo de partículas (International Agency for Research on Cancer, 2012).

También, hay dos contaminantes que han tenido mayor atención: las partículas suspendidas (PM₁₀ y PM_{2,5}) y el Ozono (O₃), dado que se presentan en concentraciones altas en las grandes ciudades. La exposición aguda y crónica a estas partículas genera un incremento en la morbilidad y mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias de la población expuesta (International Agency for Research on Cancer, 2016) así como a ciertos tipos de cáncer (Reichl, 2010). Las partículas y las emisiones de origen antropogénico afectan directamente al sistema broncopulmonar, por lo que es de gran importancia analizar las características de estas emisiones (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales *et al.*, 2011).

Existen otros tipos de partículas que se definen como fibras o material sólido con una relación de longitud/diámetro de al menos 3/1. La penetración en pulmón dependerá de sus propiedades aerodinámicas. Si las fibras son pequeñas penetrarán más profundamente en los pulmones, pero si son muy largas (> 20 micras) quedarán atrapadas en vías respiratorias superiores. El mecanismo de limpieza que tienen las vías respiratorias son los macrófagos, los cuales fagocitan las partículas extrañas o ajenas al pulmón, además de los cilios y el moco, los cuales facilitan la expulsión del material sólido a la boca. En cuanto a las fibras, si éstas son más grandes que los macrófagos, se eliminarán muy lentamente. En el caso de las fibras, que son inhaladas y que aparecen de manera constante en los alvéolos pulmonares, a menudo se pueden encontrar entre o dentro de las células que componen las paredes alveolares. Los materiales sólidos de tamaño nanométrico llegan fácilmente hasta los alvéolos y, en ocasiones, no alcanzan a ser eliminados por los procesos naturales de limpieza de los pulmones, dado que probablemente, la cantidad de material que ingresa es mayor que la capacidad de limpieza del organismo (Jia *et. al.*, 2010).

Los grupos vulnerables frente a la contaminación ambiental son los adultos mayores, los niños y las niñas desde su concepción, las personas con discapacidad, las personas de escasos recursos y, en general, todos aquellos que se encuentren en situación de extrema dificultad para satisfacer sus necesidades básicas (Congreso del Estado, 1986). Las mujeres sufren mayor exposición a los riesgos medioambientales tradicionales, como la utilización de combustibles sólidos en la cocina y el transporte de agua (WHO 2016a). La intensidad del tráfico es fundamental en cuanto a contaminación ambiental. Las personas que viven o trabajan cerca de vías de comunicación principales, se ven particularmente afectadas por los altos niveles de contaminación por partículas y metales pesados asociados a ellas (Gasser *et. al.*, 2009).

Las empresas agrícolas, industriales y el tráfico vehicular en las grandes ciudades, han liberado al medio ambiente una gran cantidad de contaminantes químicos, entre ellos metales pesados que se encuentran presentes en suelos, los cuales son transportados por el viento y el agua (Figura 4). Estos, a largo plazo, entran en contacto con los habitantes y tienen la capacidad de generar problemas de salud y al medio ambiente (Juárez *et al*, 2009). Es por ello

que se informan a continuación sus características, aplicaciones, vías de entrada en el organismo y enfermedades causadas por varios de estos metales pesados.

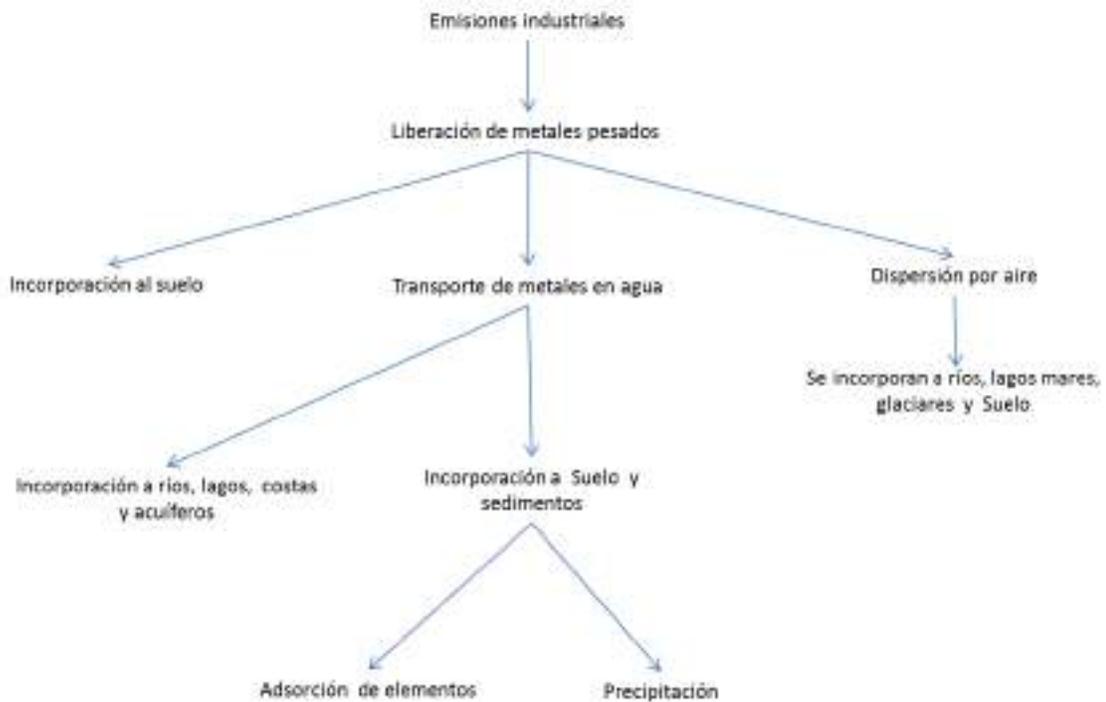


Figura 4. Esquema del flujo de metales pesados desde industria al aire-suelo-agua.

Cadmio (Cd)

Es un metal que se encuentra disponible en la corteza terrestre junto con el zinc, el cobre y el plomo. El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza, pero es liberado al agua, suelo y aire por actividades antrópicas diversas. Casi todo el cadmio es obtenido durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, la fabricación y aplicación de abonos a base de fosfato, la combustión de combustibles fósiles y la disposición e incineración de basura (WHO, 2006).

Usos:

Con el fin de proteger de la corrosión se da un baño con cadmio a tornillos, tuercas de seguridad, cerrojos o pasadores y diversas partes de aviones y vehículos de motor (Nordberg, 1999). También es empleado en baterías (83%), pigmentos (8%), recubrimientos electrolíticos

(7%), estabilizadores para plásticos (1.2%), aleaciones sin hierro, instrumentos fotovoltaicos y otros usos (0.8%).

Vías de entrada al organismo:

Por inhalación: a través del humo de tabaco o por exposición laboral al polvo de cadmio atmosférico, se absorbe vía pulmonar aproximadamente entre el 20 y el 50%. Después de absorberse vía pulmonar o digestiva, pasa al hígado (David *et al.*, 1989).

Por suministro: Una cantidad pequeña de cadmio (de 1–10%) entrará al cuerpo a través de la ingesta de alimentos y agua. Aunque en caso de no consumir suficiente hierro u otros elementos nutritivos en la dieta, es probable que el individuo absorba más cadmio de lo normal (ATSDR, 2012a; David *et al.*, 1989; Nordberg, 1999).

Efectos sobre la salud:

El cadmio es fácil de encontrar en estiércol (ganado) y pesticidas, puede acumularse en organismos acuáticos y durante la siega agrícola. A nivel internacional el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) determinaron que el cadmio y sus compuestos son carcinogénicos para los seres humanos (Lenntech, 2008; ATSDR, 2001).

Cobalto (Co)

Es un metal que se encuentra presente en el medio ambiente (en el aire y el agua) y los alimentos. Tiene propiedades similares al hierro y al níquel. Se encuentra presente en la vitamina B₁₂. También es útil en el tratamiento de la anemia de mujeres embarazadas ya que estimula la producción de glóbulos rojos (ATSDR, 2001).

Según la organización internacional del trabajo, el cobalto se considera como un agente sensibilizante que puede causar asma ocupacional. También puede generar bronco espasmo agudo o neumonía; sin embargo, en el caso de una exposición crónica, el daño puede llegar a generar fibrosis pulmonar (David *et al.*, 1989).

Usos:

En concentraciones altas el cobalto se puede encontrar en el suelo cerca de yacimientos minerales, rocas fosfatadas o sitios donde se funden los minerales, así como en vialidades con alto flujo vehicular, como las carreteras, cerca de aeropuertos u otros tipos de fuentes de contaminación industrial. También es posible encontrar pequeñas cantidades de cobalto en plantas e incineradores que usan carbón como combustible, expelidas por el tubo de escape de vehículos y en la producción y uso de aleaciones y compuestos de cobalto (ATSDR, 2012a; Lenntech, 2008). Se ha utilizado como colorante de vidrio y cerámica, también para usos nutricionales (estabilización de la espuma de cerveza) o médicos (tratamiento de anemia, incluso en prótesis de cadera y rodilla). También se ha utilizado en la industria en aleación con otros metales, así como en la minería, en pigmentos y blanqueadores (Ilundain, 2009).

Vías de entrada al organismo:

Por inhalación y por beber agua

Efectos en la salud:

En el caso de los bebedores de cerveza se observó que puede generar toxicidad cardiaca, fibrosis pulmonar severa, asma y neumonitis además de alergias como dermatitis y asma (Ilundain, 2009)

Cromo (Cr)

Es un elemento que se encuentra de manera natural en rocas, animales, plantas y en el suelo (ATSDR, 2012b).

Usos:

Se emplea ampliamente en procesos de fabricación de material cromado, así como en numerosos productos de consumo tales como:

- La madera tratada con dicromato de cobre
- El cuero curtido con sulfato crómico
- En artículos de cocina de acero inoxidable

- En reemplazos de cadera

Vías de entrada al organismo:

Por inhalación: en la industria metalúrgica y de curtido, sitios de desechos peligrosos y por el humo de tabaco (en sitios cerrados puede alcanzar concentraciones de cromo de 10 a 400 veces más alta que al aire libre). En las zonas rurales, generalmente el aire contiene concentraciones de cromo $< 10 \text{ ng/m}^3$ más bajas que el aire urbano (30 ng/m^3) (ATSDR, 2012b).

El agua y el suelo:

Debido a su baja solubilidad, esporádicamente se detecta cromo en muestras de agua subterránea, agua potable o de suelo, por lo que la exposición al cromo puede ocurrir por:

- Beber agua
- Absorción dérmica al bañarnos
- Ingerir alimentos como frutas, hortalizas, nueces, bebidas y carnes.

Efectos sobre la salud:

Es importante hacer notar que no todo el cromo es tóxico para la salud. El cromo con valencia VI es necesario para nuestro organismo para poder sobrevivir (Lenntech, s/f).

Las vías respiratorias en los trabajadores es la más común. Los efectos incluyen irritación de la mucosa nasal, secreción y problemas respiratorios como asma, tos o falta de aliento, además de lesiones dérmicas, úlceras cutáneas. También se puede presentar mayor incidencia de cáncer pulmonar (ATSDR, 2012b; Nordberg, 1999; Ilundain, 2009).

Cobre (Cu)

Es un metal rojizo que se presenta de manera natural en las rocas, el agua, los sedimentos y, en niveles bajos, en el aire. La concentración promedio en la corteza terrestre es de aproximadamente 50 ppm. El cobre puede liberarse al medio ambiente a través de la explotación minera y desde fábricas que usan cobre metálico o compuestos de cobre. También se puede liberar al medio ambiente desde basureros, incineración de desechos, agua residual

doméstica y de combustibles fósiles, así como de la producción de madera, de abonos a base de fosfato y de fuentes naturales como volcanes o incendios forestales (Nordberg, 1999).

Usos:

En cables eléctricos, alambre, láminas de metal, cañerías y otros productos. Los compuestos de cobre se usan comúnmente en agricultura para tratar enfermedades de las plantas como los hongos o para el tratamiento de aguas y como protección para madera, cuero y telas (ATSDR, 2016b).

Vías de entrada al organismo:

- Ojos, respiratoria o ingestión.

Efectos sobre la salud:

En caso de ingestión se presenta con vómito de color azul (sales cúpricas), hepatotoxicidad, hemólisis (destrucción de los glóbulos rojos) o metahemoglobinemia.

En caso de inhalación hay fiebre por vapores metálicos. La fiebre cede de forma espontánea, el paciente presenta escalofríos, tos y disnea (dificultad respiratoria) (Tintinalli *et al*, 2013). Otro padecimiento que se presenta asociado al cobre es la enfermedad de Wilson, un trastorno hereditario poco frecuente, que hace que el organismo no pueda eliminar el exceso de cobre, el cual puede ser tóxico (Kowdley, 2006).

Níquel (Ni)

El níquel tiene propiedades que lo hacen deseable para formar aleaciones. Algunos de los metales con los que se combina son hierro, cobre, cromo y zinc. La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable. También se combina con elementos como el cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel que se disuelven fácilmente en agua y se emplean en la síntesis de complejos de coordinación y para aplicaciones industriales, respectivamente. Se encuentra en todos los suelos y es liberado durante la actividad volcánica (ATSDR, 2016c).

Usos:

Los compuestos de níquel se usan para colorear cerámicas, fabricar baterías y como catalizadores (para acelerar la velocidad de las reacciones químicas). El níquel es liberado a la atmósfera durante la actividad minera, volcánica y por industrias que fabrican o usan níquel. La industria puede desechar níquel en aguas residuales. El níquel también es liberado a la atmósfera por plantas de energía que queman petróleo o carbón y por incineradores de basura (ATSDR, 2016c).

Vías de entrada al organismo:

- Aire, agua, ingesta de alimentos, dérmica, sedimentos y suelo,
- fumar tabaco y
- personas con algún tipo de prótesis

Al respirar aire que contiene níquel este va a los pulmones y pasa al torrente sanguíneo. Mientras más solubles son los compuestos de níquel en agua, más se absorbe a través de los pulmones. Algunas de estas partículas de níquel pueden abandonar los pulmones en la mucosidad que se traga o escupe (Nordberg, 1999).

Efectos en la salud:

Dentro de los efectos más graves a la salud por exposición al níquel se encuentran las alergias, rinitis, sinusitis, bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar, cánceres de la cavidad nasal, de pulmón y de senos nasales (ATSDR, 2016c).

Plomo (Pb)

El plomo es un metal pesado que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre. Sin embargo, generalmente se encuentra combinado con dos o más elementos (estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio) formando aleaciones de plomo que tienen importancia industrial (ATSDR, 2016d).

Usos:

- fabricación de acumuladores,

- plantas químicas,
- demolición de barcos,
- cortado y soldadura de estructuras de acero recubiertas con pinturas que contienen tetraóxido de plomo,
- forros para cables de teléfono y de televisión,
- elementos de construcción,
- pigmentos en pinturas,
- barnices para cerámicas,
- soldadura suave,
- municiones,
- fabricación de vidrio y cerámica,
- acabados del vidrio y cerámica,

Vías de entrada al organismo:

Personas que viven cerca de vialidades o carreteras con mucho tráfico o de plantas de energía, huertos frutales, minería, zonas industriales, incineradores, vertederos y sitios de desechos peligrosos. Personas que se encuentran expuestas a pinturas con plomo, elaboración de vitrales o que trabajan en fundiciones y refineries de plomo, fundiciones de latón o bronce, en industrias de plástico, en operaciones de estañado, soldadura o recorte de acero y plantas que fabrican baterías. Los trabajadores de la construcción y demolición, incineradores de basura municipal, industrias de alfarería y cerámica, talleres de reparación de radiadores y otras industrias que usan soldaduras de plomo (ATSDR, 2016d).

Las familias de trabajadores pueden estar expuestas a niveles de plomo cuando los trabajadores llevan a casa la ropa de trabajo, ya que esta contiene residuos del material de trabajo (Nordberg, 1999).

Efectos en la salud:

En el caso de los niños tiene consecuencias graves en la salud pues la exposición elevada afecta al cerebro y al sistema nervioso (WHO, 2018). Una vez que el plomo ingresa al organismo por inhalación y se deposita en vías respiratorias bajas es absorbido por completo. En el adulto el porcentaje que se absorbe vía gastrointestinal varía entre el 10 y 15%, sin embargo, en el caso de las mujeres embarazadas y los niños, este porcentaje se incrementa hasta el 50%. Una vez que ingresa al torrente sanguíneo, el plomo se distribuye en sangre, tejidos blandos, riñón, médula ósea, hígado y cerebro, así como en huesos y dientes (ATSDR, 2016d).

Es importante resaltar que no existe un nivel de concentración de plomo en sangre que pueda considerarse seguro (WHO, 2018).

Zinc (Zn)

El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. La principal producción es a partir de la minería y la producción de bienes, así como en las centrales eléctricas. El zinc metálico se puede troquelar para la fabricación de piezas de automóviles, equipos eléctricos, herramientas de maquinaria ligera, equipos informáticos, juguetes y artículos ornamentales (International Zinc Association, 2017; Glencore, 2017; ATSDR, 2016a).

Usos:

- galvanizado de acero,
- aleaciones de base zinc,
- industria de la fundición a presión,
- producción de latón y bronce,
- acuñación y aplicaciones arquitectónicas.

Efectos en la salud:

La EPA ha determinado que, debido a falta de información, el zinc no es clasificable en cuanto a carcinogénesis en seres humanos (David *et al.*, 1989), sin embargo, en caso de ingestión puede causar vómito y dolor abdominal (puede simular envenenamiento por hierro). La

inhalación de vapores de zinc puede generar irritación de las mucosas y fiebre (Tintinalli *et al.*, 2013).

Vías de entrada al organismo:

Se encuentra en el aire, el suelo y el agua y en los alimentos (ATSDR, 2016a), en bombas de humo militares, tabletas de zinc, y en procesos de fundición o galvanoplastia como óxido de zinc (Tintinalli *et. al.*, 2013).

Los niveles de metales pesados que causan daño a la salud, así como los efectos tóxicos que dañan a los organismos han sido informados en varias fuentes bibliográficas (Dreisbach, 1984). Según Industria Alimenticia (2007) se dice que la EPA tiene algunos límites establecidos para la ingesta de metales pesados en seres humanos, que no debe ser superado, puesto que puede causar graves trastornos a los seres vivos, incluso la muerte (Cuadro 5).

Cuadro 5. Límites para las concentraciones de metales pesados para el consumo de los seres humanos (Adaptado de: Industria Alimenticia. 2007)

Consumo por los seres humanos:	
Elemento	Límite máximo permisible
As	0.05 mg/l (+)
Cd	10 µg/l (*)
Cr	0.05 mg/l (+)
Cu	1.0 µg/l (#)
Hg	144 ng/l (*)
Ni	632.0 µg/l (*)
Pb	50.0 µg/l (*) (adultos)
Zn	5.0 µg/l (*)
*: criterios para el agua;	
+: máximo nivel de contaminación;	
#: nivel que jamás debe ser superado	

2.6. Estado actual

La asociación entre los diferentes tipos de partículas contaminantes del aire y la mortalidad causada por enfermedades respiratorias tales como el asma, la neumonía, el cáncer y la

Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), advierte sobre riesgos potenciales en la población.

A continuación, se realiza una breve descripción de esta estrecha relación a nivel mundial, en México, Jalisco y en especial se informan las defunciones causadas por cáncer pulmonar durante el periodo de 1979-2015 en el AMG.

A nivel mundial

Como ya se comentó la contaminación del aire por partículas $PM_{2.5}$ y $PM_{0.1}$ es la que causa mayor daño en la salud humana, porque ellas pueden entrar a los pulmones e incluso al cerebro. Según informes recientes de la WHO (<https://www.elcolombiano.com/medio-ambiente/ciudades>), las cinco ciudades más contaminadas del mundo con concentraciones superiores a 120 μg de partículas $PM_{2.5}$ por metro cúbico de aire son: Zabol, en Irán (227 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); Gwalior, en India (176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); Allahabad, en India (170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); Riad, en Arabia Saudí (156 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Jubail, también en Arabia Saudí (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Aunque en la mayoría de las ciudades la polución proviene de fuentes móviles y fijas, en la ciudad de Zabol las tormentas de arena persistentes en el verano arrastran partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ a velocidades de 130 km/h, por lo que la contaminación no tiene que ver con actividades industriales o automotores.

Durante 2010 en Europa la contaminación del aire contribuyó a más de 430,000 muertes prematuras y más de 7 millones de años de vida sana perdidos, esto por la exposición a partículas suspendidas con un diámetro aerodinámico menor a 2,5 μm ($PM_{2.5}$) (Borrego *et al.*, 2015). El número de años perdidos se refiere al número de fallecimientos que un padecimiento o enfermedad causa. El cálculo se hace en función del número de años que la persona habría podido vivir si, por el contrario, hubiera sobrevivido hasta una edad más avanzada. En lugar de establecer una edad arbitraria (como los 70 años) antes de la cual un fallecimiento podría considerarse prematuro, los epidemiólogos utilizan como “ideal” la mayor esperanza de vida observada. El fallecimiento a cualquier edad previa al “ideal”, se puede considerar como prematura, y la diferencia se cuantifica como “años de vida perdidos”, dependiendo de cuántos años antes del “ideal” haya fallecido la persona (WHO, 2012).

La Figura 5 muestra las muertes asociadas a la contaminación del aire por región o país. En el caso de México, el mapa refleja que se tuvo entre 20,000 y 40,000 muertes asociadas a dicho factor en 2012 (WHO, 2016b).

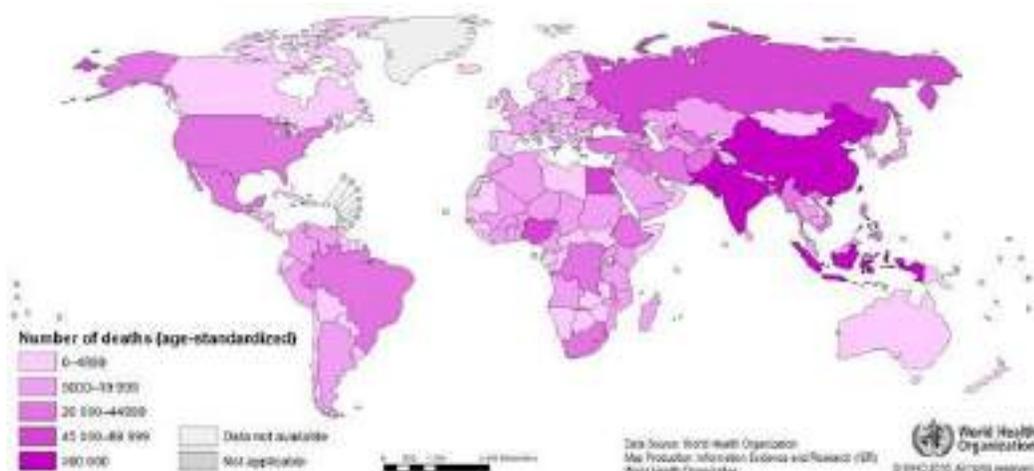


Figura 5. Muertes atribuibles a la contaminación ambiental (años estandarizados, 2012)
(Adaptado de: WHO, 2016b)

También, en 2016 la WHO publicó un comunicado donde informó que durante el año 2012 hubo un estimado de 12.6 millones de personas que fallecieron por causas asociadas al deterioro de las condiciones medioambientales (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estimación de muertes asociadas al deterioro medioambiental (WHO, 2014; WHO, 2016a)

Muertes a nivel mundial	Problema
3.7 millones de defunciones prematuras (WHO, 2014).	Exposición a partículas menores a 10 micras de diámetro (PM ₁₀), las cuales podían ser causa de cardiopatías, neuropatías y diferentes tipos de cáncer, entre ellos el de pulmón (6%)
12.6 millones de defunciones por el deterioro del medio ambiente, casi ¼ parte del total de muertes (WHO, 2016a).	Estas muertes se asocian a la contaminación del aire, el agua, el suelo, además de exposición a algunos productos químicos, radiaciones UV y el cambio climático. De las defunciones 847,000 se presentan en la región de las Américas y van asociadas a las condiciones socioeconómicas de la población

Las muertes que pueden atribuirse a la contaminación del aire por enfermedades no transmisibles como los accidentes cerebrovasculares (25%), cardiopatías (25%) y cáncer de pulmón (36%) (WHO, 2017b), constituyen actualmente casi dos terceras partes del total de

muerres debidas a la insalubridad del medio ambiente, es decir, que el incremento en las defunciones ha sido de 8,2 millones (WHO, 2014; WHO, 2016a).

En México y Jalisco

La Ciudad de México, el área metropolitana de Guadalajara (AMG) y Monterrey son las ciudades catalogadas con una condición crítica, debido a la contaminación ambiental por los elevados niveles de partículas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011). Aunque la Norma Oficial Mexicana (NOM-025-SSA1-2014) menciona que “en las ciudades de Monterrey y Guadalajara las concentraciones de PM_{10} se redujeron a partir del 2005, aproximadamente entre un 50 y 80% respectivamente para el indicador de 24 horas” es decir que los niveles de exposición promedio anual mostraron una reducción entre el 12 y 13% (Secretaría de Salud, 2014). Barnés establece que seis de cada diez muertes ocurren en las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla y Toluca (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2013; Barnés, 2011). En 2004 Brasil ocupó el primer lugar en contaminación del aire en Latinoamérica, el segundo puesto lo ocupó Argentina y el tercero fue para México. Durante el 2008, el primer lugar nuevamente fue ocupado por Brasil, pero el segundo lugar fue para México, Argentina se quedó en tercero. Algunas de las causas son las elevadas concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ o menores (Green *et al.*, 2012).

En el estudio de Green (2012) sobre las ciudades más contaminadas por PM_{10} , dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) en América Latina se identificó que Guadalajara ocupó el segundo lugar, siendo una de las ciudades que rebasó los $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , con una concentración promedio anual máxima de $70.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, más de cuatro veces mayor que el valor guía de la WHO. En cuanto al ozono (O_3) la ciudad de Guadalajara ocupa el primer lugar con $69.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Respecto a NO_2 , la ciudad con concentraciones más altas fue Montevideo, Uruguay y la segunda ciudad fue Guadalajara con una concentración de $57.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas (Green *et al.*, 2012; INEGI, 2017; Secretaría de Salud, 2017). Según la red de monitoreo ambiental de Guadalajara, en el período 2000-2009 los principales problemas relacionados con la calidad del aire correspondieron a altas concentraciones de ozono (O_3) y PM_{10} (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011).

En el AMG se han estudiado los efectos de la contaminación en población vulnerable, y se ha encontrado que hay una correlación directa entre calidad del aire y salud de la población. A pesar de que los niveles de contaminantes se encuentren dentro de los límites que establecen las normas, la mayor parte de los días, se presenta una exposición potencial de riesgo por las concentraciones fuera de dicha área, durante algunas horas de ciertos días, lo cual se refleja en infecciones agudas de vías respiratorias superiores (García *et al.*, 2014; Ramírez-Sánchez *et al.*, 2006). Probablemente no es casual que diez municipios encabezan la lista de casos por tumores malignos de bronquios y pulmón: Guadalajara (3,126), Zapopan (613), Tlaquepaque (284), Teocaltiche (227) Tepatitlán de Morelos (208), Lagos de Moreno (159), Puerto Vallarta (135), Tonalá (126), Ocotlán (124) y Ameca (119) (Figura 6). Hay que recordar que los tres primeros municipios forman parte del AMG (INEGI, 2017; Secretaría de Salud, 2017).

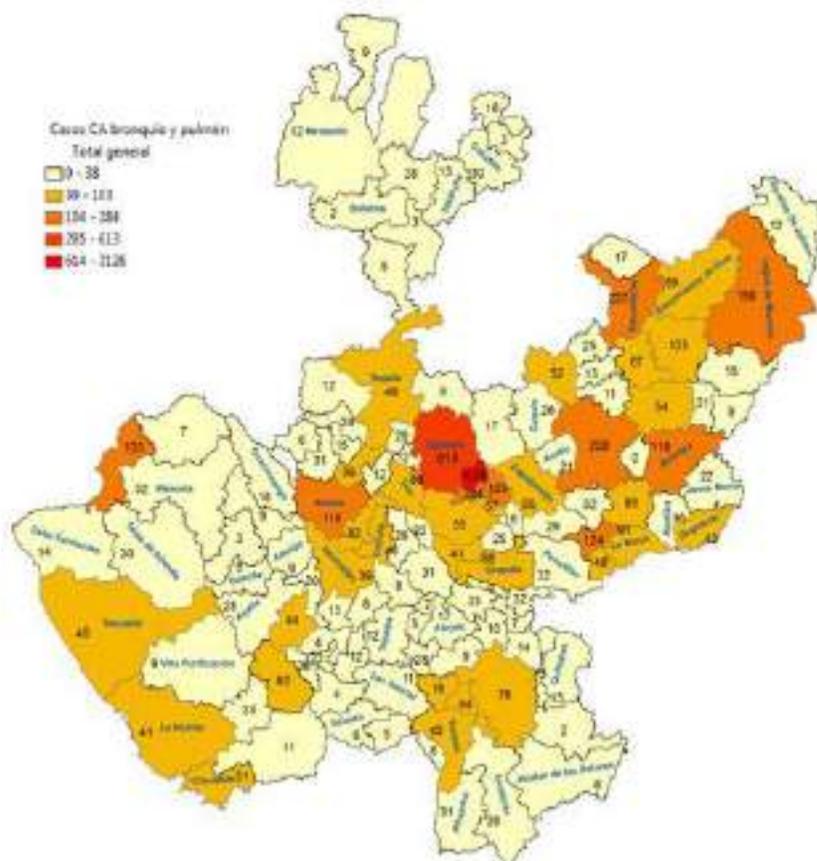


Figura 6. Defunciones totales a causa de tumor maligno de bronquios y pulmón, Estado de Jalisco de 1979 al 2015 (Adaptado de: INEGI 2017; Secretaría de Salud 2017)

En cuanto a los seis municipios que se consideraron para el presente estudio, se observó que las defunciones totales por tumor maligno de bronquios y pulmón suman 4,261; de ellas en Guadalajara hubo 3,126, Zapopan 613, San Pedro Tlaquepaque 284, Tonalá 126, El Salto 57, Tlajomulco de Zúñiga 55 (Figura 7) (INEGI, 2017; Secretaría de Salud, 2017).

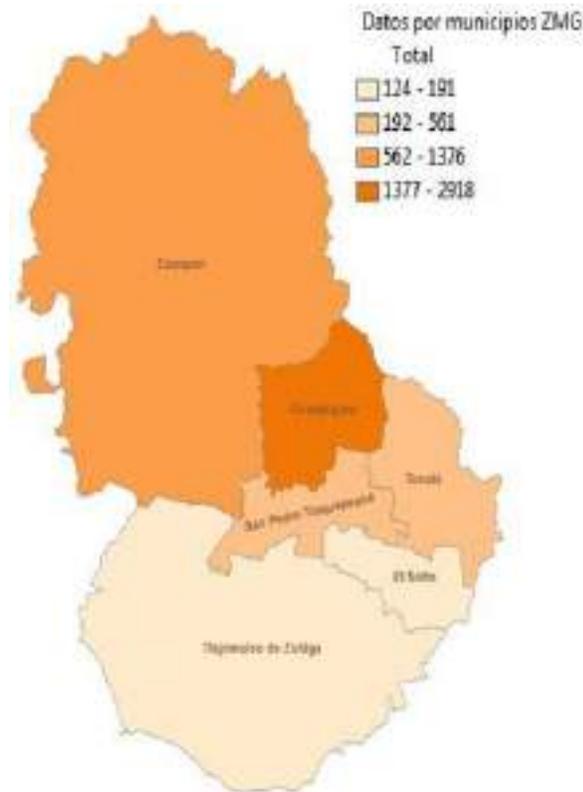


Figura 7. Descripción de las defunciones totales a causa de tumor maligno de bronquio y pulmón de 1979 al 2015. Datos por municipio (Adaptado de: INEGI, 2017c; Secretaría de Salud, 2017).

2.7 Afectaciones en la vegetación

La eliminación de contaminantes del aire es muy difícil en comparación con la descontaminación de los alimentos, el suelo y el agua. La vegetación con su follaje puede usarse como un filtro biológico de elementos traza, partículas gruesas, finas y nanopartículas. Las plantas son las primeras especies en ser afectadas por la contaminación del aire debido a su capacidad de filtración, por lo que el conocimiento de los parámetros que afectan su desempeño fisiológico es de fundamental importancia. Por ejemplo, cuando las partículas son depositadas en las hojas pueden cambiar las propiedades ópticas de las mismas, lo que provoca una alteración importante en la velocidad de transpiración, balance térmico y el

proceso fotosintético (Shi *et. al.*, 2001; Nair *et. al.*, 2010). En particular, se ha demostrado que cuando partículas ultrafinas son aplicadas en las hojas de las plantas, pueden ser absorbidas a través de la apertura de los estomas (aberturas regulables en la superficie de las hojas), un punto de entrada de partículas poco conocido (Eicher *et. al.*, 2008). Algunas partículas pueden ser absorbidas por las hojas a través de sus estomas, aunque la mayoría de ellas se conservan en la superficie. El proceso de filtración de partículas depende del tricoma (pelos de la hoja), la cutícula (formada por cutina y cera), el área foliar específica y la densidad de estomas. Por otra parte, las propiedades de filtrado de partículas ultrafinas, están determinadas por el diámetro del poro de la pared celular que varía de 5 a 20 nm. Por consiguiente, solo partículas menores a este tamaño podrían pasar y acceder a la membrana plasmática. Las alteraciones en los procesos fisiológicos de las hojas provocados por nanopartículas, dependen de varios factores, tales como la morfología y el tamaño de la partícula, el estado de aglomeración y su área superficial. En los últimos años, el estudio de las características biológicas, químicas y físicas de las hojas de las plantas, ha sido de gran relevancia para la toma de decisiones. En lo que respecta a las propiedades ópticas de las hojas, se relacionan con la cantidad de agua, los pigmentos fotosintéticos, la composición de la cutícula, la estructura interna de la hoja, así como la extensión del daño causado a las plantas sometidas a estrés (Peña *et.al.*, 2018). Por consiguiente, llevando a cabo un análisis e interpretación de las propiedades ópticas de hojas de plantas contaminadas con partículas, se podría conocer su estado fisiológico, por ejemplo, la detección espectral de daños a plantas bajo estrés por contaminación del aire, los cuales se manifiestan por necrosis y una pigmentación de color pardo en hojas, pueden ser estimados como un aumento en la absorción óptica en la región de 780 a 900 nm (Merzlyak *et.al.* 2002).

Entre los factores ambientales que afectan la vida vegetal en nuestro planeta se encuentra la radiación solar que consiste en un conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el sol. La radiación solar absorbida a una longitud de onda entre 490 y 660 nm produce en las plantas un proceso fundamental, la fotosíntesis. En condiciones de no estrés las hojas están protegidas de radiación UV por flavonoides, pero debido a partículas contaminantes, la radiación UV-A y UV-B es absorbida en menor grado, lo que genera alteraciones en la fisiología de la planta (Peña *et.al.* 2018). Por tanto, los cambios morfológicos y anatómicos que son inducidos por la radiación UV-A y UV-B en presencia de partículas contaminantes, pueden llegar a ser

determinantes en las respuestas de las distintas especies vegetales sometidas a un aumento de este tipo de estrés.

También, las partículas provenientes de la contaminación del aire afectan la densidad y el ancho de los estomas. Por ejemplo, partículas de hierro de tamaño $< 0.1 \mu\text{m}$ depositadas en la cara abaxial de hojas de *Quillaja saponaria* y *Melia azedarach* pueden tener un efecto negativo en el funcionamiento biológico de las hojas debido a la obstrucción de los estomas (Egas *et al.*, 2018).

Respecto a los contaminantes de tipo gaseoso como el dióxido de azufre (SO_2) y los posibles efectos que tienen sobre las plantas, según Aim (1991), producen efectos fitotóxicos a dosis altas, dado que pueden encontrarse en la cutícula o entrar a la planta a través de los estomas. El ácido fluorhídrico genera necrosis en las hojas, la que se muestra en bandas. Dicha afectación suele presentarse como lesiones que van del rojizo claro al rojizo, incluso negro. El ingreso a la planta también se da por los estomas y la lesión va a depender de la dosis y de la especie de la que se trate. Otro contaminante que genera daño a la planta es el ozono que puede afectar a las hojas o reducir el crecimiento de la planta (Universidad de Extremadura, 2007). Es claro que la presencia de partículas u otros contaminantes depositados en la superficie de las hojas o incorporado en los tejidos, afectará los parámetros bioquímicos de las plantas.

CAPÍTULO 3. Metodología

3.1 Área de estudio

El Estado de Jalisco se localiza en la zona occidente de la República Mexicana. Se encuentra limitado al Norte por los Estados de Durango, Zacatecas y Aguascalientes; al Noroeste con Nayarit; al Noreste con Guanajuato y San Luis Potosí; al Sur con Colima; al Sureste con Michoacán y al Suroeste con el Océano Pacífico (Figura 8) (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2006).



Figura 8. Localización del área de estudio (Elaboración propia)

El AMG se ubica en el centro del Estado de Jalisco, en la cuenca del Río Grande de Santiago, dentro de los Valles de Atemajac y la Planicie de Tonalá, entre las zonas montañosas de la Sierra Madre Occidental y la Faja Volcánica Mexicana. Las montañas que circundan la zona son: al Noroeste la Sierra de San Esteban, al Sureste los conjuntos montañosos Cerro Escondido-San Martín y El Tapatío-La Reyna; al sur, el Cerro del Cuatro- Gachupín-Santa María y al Oeste, la Sierra de la Primavera (Figura 9).

Tiene una extensión territorial de 2,734 km² distribuida en 8 municipios pertenecientes a la zona (Cuadro 7) (Gobierno del Estado de Jalisco, 2015).

Cuadro 7. Superficie por habitante en el AMG (Adaptado de: Gobierno del Estado de Jalisco 2015; CONAPO 2014)

No. de municipio	Municipio	Población	Superficie/ km ²	Habitantes/km ²
039	Guadalajara	1,495,189	187.91	7.818,3
120	Zapopan	1,243,756	893.15	1.371,5
098	Tlaquepaque	608,114	270.88	608,114
101	Tonalá	478,689	119.58	3.939,7
097	Tlajomulco de Zúñiga	416,626	636.93	634,6
070	El Salto	138,226	41.50	3.316,3
044	Ixtlahuacán de los Membrillos	41,060	184.25	222,7
051	Juanacatlán	13,218	89.08	14,9
	Total AMG	4,434,878	2,734.00	1.596,2

El municipio de Guadalajara es el que tiene el mayor número de actividades económicas, seguida por Zapopan, y el resto, según el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (Figura 11) (Gobierno del Estado de Jalisco, 2014).



Figura 11. Distribución por municipios de actividades económicas (Adaptado de: INEGI, 2015a)

En el AMG existen aproximadamente 31,265 negocios. De estos el 45% son empresas que participan en el comercio, el 27% en la fabricación de diversos productos, y el restante 27% se dedica a una amplia gama de actividades. Otra división de la categoría de industria revela que las principales actividades incluyen: actividades de herrería (20%), muebles (13%),

producción de ladrillos (9%), los productos de madera (4%), cerámica (4%), trabajos en cuero (3%), productos basados en roca (2%), el calzado de plástico (2%), cocinas integrales (2%), mobiliario de oficina y estanterías (2%) y diversificación de productos manufacturados (39%). Estas instalaciones de fabricación están situadas principalmente en Guadalajara, Zapopan y Tonalá (INEGI, 2018a). (Figura 12).



Figura 12. Principales actividades industriales en el AMG

Se consultó la información cartográfica y de uso de suelo del Gobierno del Estado de Jalisco (García *et al.*, 2014), para obtener la traza urbana, el uso del suelo y las vialidades. Con ello se hizo una clasificación y agrupación en 8 usos de suelo:

- 1) habitacional densidad baja (HB)
- 2) habitacional densidad alta (HA)
- 3) no urbanizable intraurbana (NUIU)
- 4) corredor urbano (CU)
- 5) equipamiento urbano (EU)
- 6) industrial (I)
- 7) mixto (M).

De igual manera se les clasificó por tipo de vialidad, se hizo una estimación del flujo vehicular (alto, medio, bajo y rural), y de las dimensiones de la vialidad obteniéndose 4 tipos:

- 1) vialidad primaria; 2) vialidad secundaria, 3) vialidad terciaria y 4) rural.

3.1.1 Condiciones meteorológicas regionales típicas

El AMG se encuentra afectada la mayor parte del año por la afluencia de aire marítimo tropical. Sin embargo, una gran variedad de fenómenos meteorológicos de escala regional (a nivel superficial y en la atmósfera superior), tienen influencia sobre las condiciones meteorológicas de la zona metropolitana (Instituto Nacional de Ecología, 2007; Ramírez-Sánchez *et al.*, 2006). Estos sistemas meteorológicos ocasionan estabilidad atmosférica inhibiendo el movimiento ascendente del aire y la formación de nubosidad, dando lugar a que una gran cantidad de radiación solar incida sobre la superficie terrestre (Instituto Nacional de Ecología, 2007).

Época de invierno

En esta época también llamada “época seca”, el anticiclón del Pacífico (que es una zona de alta presión con movimiento descendente del aire y vientos débiles en superficie) baja de latitud, trae vientos occidentales (que favorecen la entrada de aire marítimo tropical con un ligero contenido de humedad) y genera lluvias poco importantes. Sin embargo, de manera temporal, la presencia de la Corriente de Chorro (vientos máximos) en los niveles superiores de la atmósfera llega a reflejar una intensificación de los vientos occidentales en superficie y un aumento en el aporte de humedad, lo cual produce algunas precipitaciones. Durante la misma época se presentan intrusiones de masas de aire frío y seco que penetran por la región norte del país y avanzan hacia la región central, y llegan hasta el AMG, provocando descensos de temperatura, algunas heladas y estratificación de las capas atmosféricas, lo cual intensifica el fenómeno de la inversión térmica (Instituto Nacional de Ecología, 2007).

Época de verano

En esta época “o de lluvias” el AMG se ve afectada por la entrada de vientos cálidos y húmedos procedentes del Océano Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe, los que provocan altas temperaturas y favorecen el movimiento vertical ascendente del aire. Con ello disminuye la presencia, intensidad y espesor de las inversiones térmicas. Por otra parte, la influencia del Golfo de México y el Mar Caribe se presenta como un aumento de humedad en

el AMG, debido al constante avance de ondas tropicales, las que traen importantes cantidades de lluvia y vientos de componente oriental.

Por otra parte, se ha informado que los vientos dominantes medidos en el AMG provienen del Oeste-Noroeste, Oeste y Oeste-Suroeste con 13.17, 12.72 y 9.43 %, respectivamente (Figura 13) (García *et al.*, 2014). En menor grado, le siguen los vientos del Este-Noreste, Este y Este-Sureste con 5.62, 9.06 y 6.53 %. En ambos casos, con velocidades estimadas de 6 a 19 km/h. Este comportamiento tuvo una influencia acumulativa de los contaminantes atmosféricos en el AMG estimados durante un periodo de 9 años (García *et al.*, 2014). También, durante la misma época se desarrollan importantes sistemas tropicales sobre el Océano Pacífico Oriental, tales como perturbaciones, depresiones, tormentas tropicales y huracanes. Dichos sistemas llegan a provocar, de acuerdo con su circulación ciclónica y cercanía a tierra, la entrada de bandas nubosas y altas cantidades de precipitación con una intensificación de los vientos, los cuales llegan al AMG ligeramente degradados (García *et al.*, 2014).

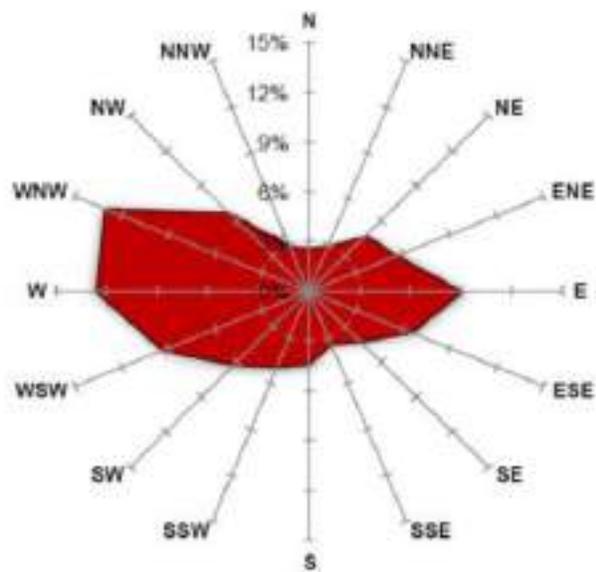


Figura 13. Vientos predominantes en el AMG (Adaptado de: García *et al.*, 2014)

3.2 Protocolo de muestreo

Para conocer los patrones de distribución de la contaminación en el AMG se diseñó una metodología para el levantamiento de muestras ambientales. Se analizaron las cartas topográficas Guadalajara Este y Guadalajara Oeste (INEGI, 2018), además de las dos cartas superiores y las dos inferiores para completar la zona urbana.

En función de esta información se definieron las vialidades de alta, media y baja circulación. Posteriormente sobre la imagen de satélite de la zona de estudio se elaboró una malla estadísticamente definida, con una distancia entre puntos a cada dos km, obteniéndose 196 sitios (Figura 14). En cada sitio se recolectaron muestras de polvo urbano, suelo y hojas de *Ficus benjamina*.

En el mapa se observaron los puntos de muestreo y en función de la ubicación del punto, se buscaron los cruces de las calles para llegar al lugar de muestreo. La escala del mapa fue 1:18,000. Para el desarrollo e implementación de la metodología se tuvo como base la propuesta por Bautista (Bautista *et. al*, 2011); de igual manera se consultaron varios autores, que desarrollaron o implementaron metodologías de acuerdo con las condiciones del área de estudio (Hernández *et al.*, 2002).

Se vigiló que hubiera un número significativo de cada tipo de vialidad, alta, media y baja circulación, para tener una representación homogénea de la contaminación por cada tipo de vialidad. El muestreo se realizó el 23 de marzo del 2013. Inició a las 8:00 am y concluyó a las 21:00 pm.

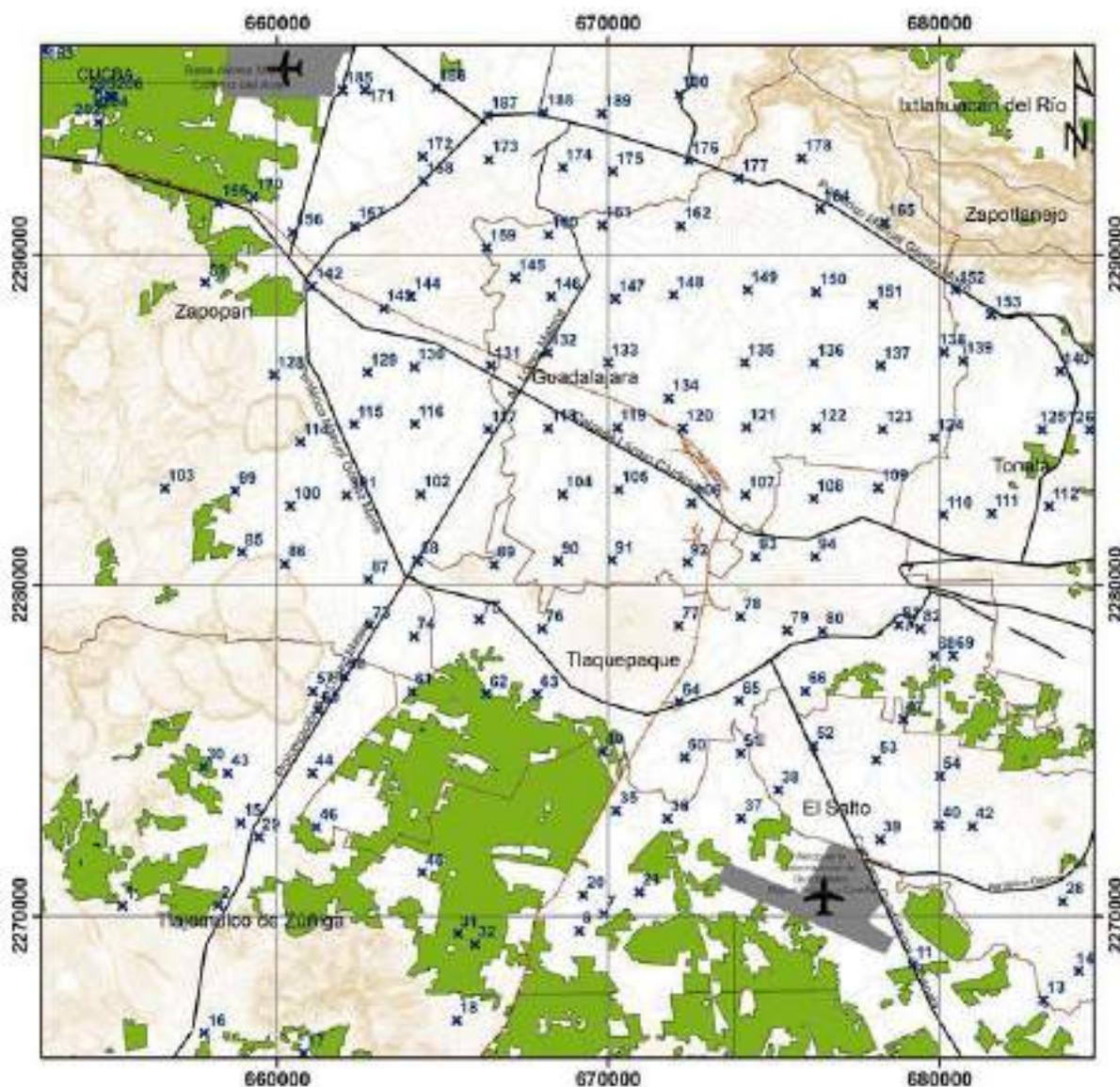


Figura 14. Localización de los puntos de muestreo en el AMG.

3.2.1 Hojas de *Ficus benjamina*

Para la selección de las muestras de hojas fue necesario descartar los árboles de *Ficus benjamina* jóvenes o recientemente sembrados. Para ello se tomaron muestras de árboles cuya estatura fuera entre 1.50 y 2 metros, que ya contaran con hojas “maduras” y ya hubiera una acumulación suficiente de polvo en ellas. Una vez seleccionado el árbol y con el equipo de protección puesto, se tomaron las tijeras de jardinero y se colectaron 30 hojas maduras las

cuales se depositaron directamente dentro de la primera bolsa resellable, evitando lo más posible manipular las hojas con las manos (para evitar perder el polvo). Se cerró la primera bolsa y esta, a su vez, se colocó dentro de una segunda bolsa. Entre ambas, se colocó una etiqueta de color verde con todos los datos de la colecta (Figura 15).

3.2.2 Suelo

Para el muestreo de suelo, se retiró la hojarasca o cualquier otro material que hubiera en el sitio y se procedió a coleccionar la muestra de suelo con ayuda del tubo de PVC. Se tomó suficiente cantidad de material. Para obtenerla se colocó la tabla de madera sobre el tubo y se golpeó con el mazo de hule (la toma de suelo con tubo de PVC, se realizó en dos ocasiones); posteriormente, con ayuda de la pala, se extrajo el tubo y la tierra del tubo se depositó dentro de la primera bolsa resellable. Se cerró y esta se colocó dentro de una segunda bolsa dentro de la cual se colocó una etiqueta color naranja (Figura 15) con el número de muestra, hora, nombre de la persona que tomó la muestra y coordenadas UTM (Unidades Transversales de Mercator). Se realizó un muestreo de control de suelo en el CUCBA y se tomaron 6 muestras, con la finalidad de observar los cambios en las concentraciones.

3.2.3 Polvo urbano

Se llegó a cada sitio de muestreo con apoyo del mapa. Se ubicó el mejor lugar para coleccionar las muestras. Posteriormente se delimitó sobre la banqueta con hilaza de un metro cuadrado. se barrió dentro del área el polvo suelto con una brocha y, con un recogedor de cartoncillo, se levantó y depositó dentro de una bolsa resellable. Se verificó en todos los casos que la cantidad muestreada fuera suficiente (30 g). Para ello se proporcionó una muestra con una cantidad aproximada a la que deberían tener como mínimo. Una vez confirmado lo anterior se selló la bolsa y se depositó en una segunda bolsa, colocándose entre ambas una etiqueta color lila con el número de muestra, la hora, nombre de la persona que tomó la muestra y las coordenadas UTM. Al terminar se limpió cuidadosamente la brocha y se desechó la hoja de cartoncillo con la que se levantó cada muestra. Finalmente, se elaboró un mapa de distribución de polvo urbano en el AMG.

Se realizó un muestreo de control en el CUCBA por ubicarse fuera de la zona urbana y porque en los alrededores no se realizaban actividades industriales. Se tomaron seis muestras de cada parámetro con la finalidad de observar los cambios en las concentraciones de contaminantes.

Muestras de Hojas de <i>Ficus</i>			
Número de punto de muestreo:			
Nombre de quien toma la muestra:			
Fecha:		Hora	
Coordenadas UTM:	N	E	
Observaciones:			

Muestras de Polvo Urbano			
Número de punto de muestreo:			
Nombre de quien toma la muestra:			
Fecha:		Hora	
Coordenadas UTM:	N	E	
Observaciones:			

Muestras de Suelo			
Número de punto de muestreo:			
Nombre de quien toma la muestra:			
Fecha:		Hora	
Coordenadas UTM:	N	E	
Observaciones:			

Figura 15. Etiquetas para la identificación de muestras

Tipo de muestras y caracterización

Se obtuvieron 150 muestras de suelo y 150 de hojas de *Ficus benjamina* y polvo urbano para un total de 450 muestras de los tres parámetros.

Se realizó un registro fotográfico, la bitácora y la toma de coordenadas en todos los casos, así como se ordenó la secuencia del muestreo y de los puntos del mismo.

Durante el muestreo se omitieron algunos puntos debido a que las condiciones no eran las adecuadas, ya fuera por suelo contaminado por basura, carencia del material a muestrear,

problemas de inseguridad o sitios inaccesibles. Las muestras se llevaron al laboratorio de Salud Ambiental del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

En la Figura 16 se describe la etapa de colecta, así como los análisis de caracterización que se aplicaron y también se indica el apartado de muestras de pulmón observadas en el microscopio electrónico. En las secciones 3.3 a 3.6 se describe en detalle el procedimiento de las técnicas de caracterización, equipo y método de preparación de las muestras para su análisis.

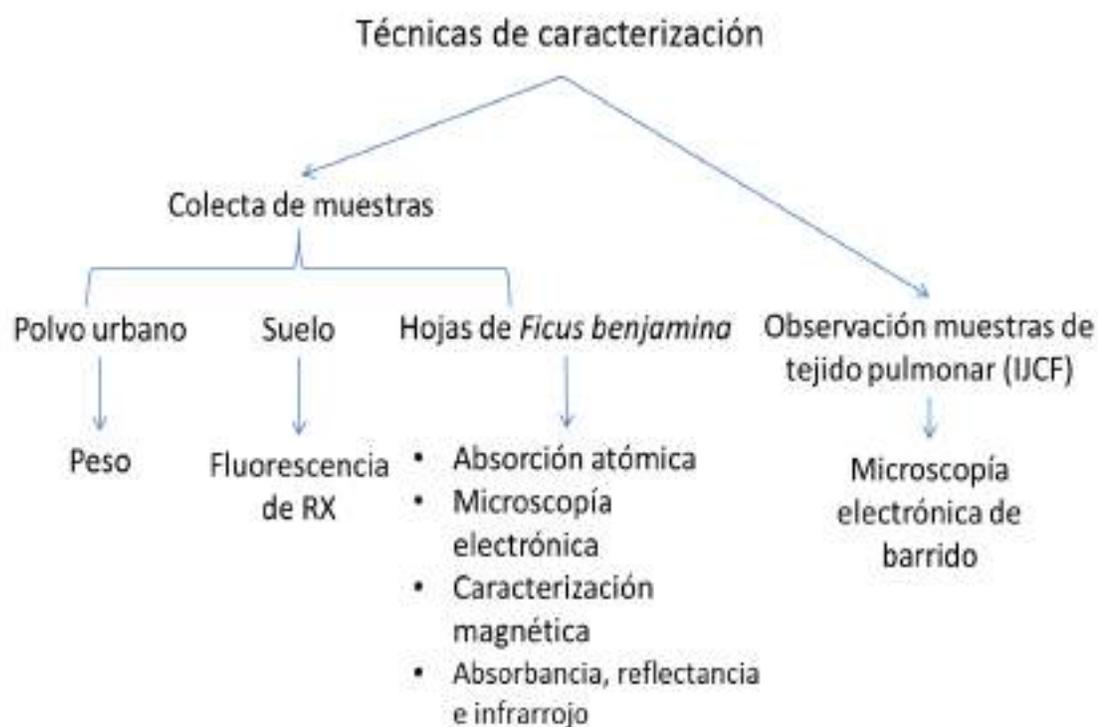


Figura 16. Diagrama de flujograma de muestreo y caracterización

3.3 Caracterización de polvo en hojas de *Ficus benjamina*

Para el análisis de las muestras en hojas de *Ficus benjamina* colectadas se acordó utilizar más de una técnica con la finalidad de corroborar la presencia de los elementos identificados. Primeramente, con imágenes SEM y su respectivo análisis de mapeo elemental por espectrometría de energía dispersiva de Rayos X (EDS, por sus siglas en inglés Energy-dispersive X-Ray spectroscopy) para conocer las características morfológicas y químicas de las partículas localizadas. A continuación, se realizó el análisis de AA para determinar la concentración de elementos como Cu, Cd, Co, Cr, Ni, Pb y Zn. También se analizaron las propiedades magnéticas, lo cual permitió elaborar un mapa de la distribución espacial de susceptibilidad magnética de metales pesados para determinar las zonas contaminadas.

3.3.1 Microscopía electrónica de barrido y EDS

El equipo utilizado para la caracterización morfológica de polvo depositado en las hojas de *Ficus benjamina* fue un Microscopio Electrónico de Barrido, marca JEOL JSM 6610LV que opera entre 10 y 30 kV (resolución de hasta 3 nm) con un detector EDS Oxford Xmax, acoplado al equipo para estimar la composición química.

Las hojas colectadas fueron llevadas a la sala de secado del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara, donde fueron colocadas individualmente en papel estraza. Posteriormente se colocaron en una prensa y se ubicaron sobre una estufa con un sistema de calor por convección. Este proceso duró entre 48 y 72 horas en dependencia de la humedad de las hojas, durante ese tiempo se les revisó periódicamente para re-acomodar las muestras y garantizar un secado homogéneo. Posteriormente se guardaron en bolsas con etiquetas. Se tomaron diferentes ampliaciones para obtener imágenes más claras de la superficie de las hojas. Durante la preparación de las muestras, estas fueron mantenidas a temperatura ambiente. Con un cuchillo de hoja fina se cortaron pequeños fragmentos de hojas y con unas pinzas curvas, se colocaron sobre el porta muestras de aluminio. Previamente fue necesario colocar un sustrato de cinta de doble cara adhesiva de carbón (Figura 17), al cual se le aplicó un recubrimiento con oro mediante pulverización catódica bajo los siguientes parámetros:

- Tiempo de recubrimiento: 60 segundos
- Voltaje utilizado: 25 μ A

El recubrimiento con un metal conductor garantiza la obtención de imágenes de mejor resolución y no interfiere con la búsqueda de los metales pesados en cuestión.

Cada muestra se midió a una escala de 250 o 100 μ m y para conocer la composición química de las partículas presentes en las hojas, se realizaron mapeos químicos a dichas escalas. Posteriormente, se realizaron acercamientos a las áreas de interés, por ejemplo, en donde se encontraba la mayor acumulación de partículas.



Figura 17. Porta muestras con ejemplares de hojas de *Ficus benjamina* numeradas y sobre cinta adhesiva de doble cara de carbón

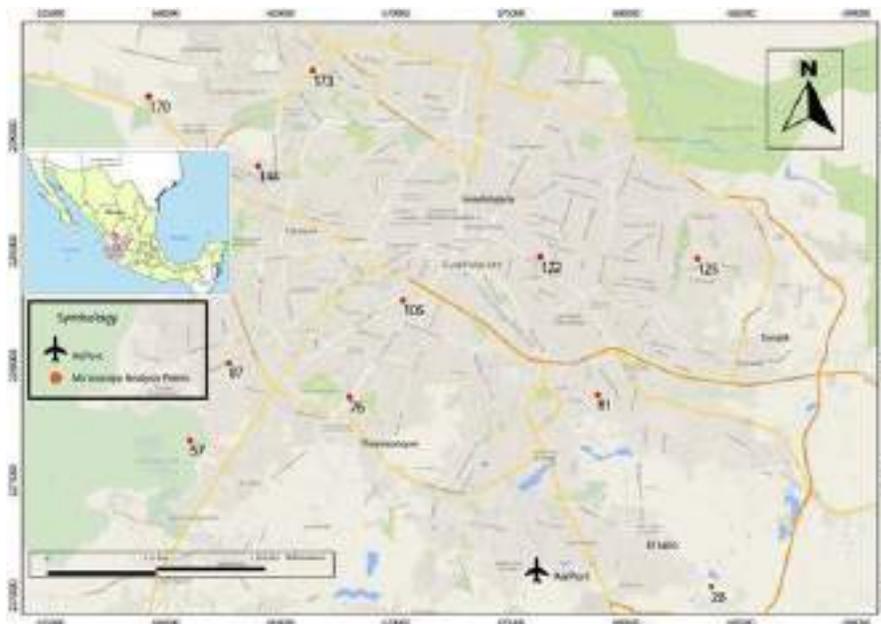


Figura 18. Localización de puntos de muestreo considerados para SEM en el AMG

En la Figura 18 se han registrado los sitios de muestreo de hojas de *Ficus benjamina* que se recolectaron en el AMG para estudios SEM.

3.3.2 Espectrofotometría de absorción atómica

Para la extracción de metales pesados se llevaron al laboratorio las muestras de hojas de *Ficus benjamina*, y se realizó una digestión ácida. Las muestras se homogenizaron previamente. La determinación se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica modelo Varian AA 240 FS, con un monocromador de diseño CZERNY-TURNER, panel de 4 lámparas y cámara de nebulización inerte y ajustable. La técnica empleada fue de flama (llama) y se utilizaron curvas de calibración. Todas las muestras se trataron por duplicado. Los elementos analizados fueron Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn con límites de detección en ppb. La curva empieza en el cero que es el agua destilada, con lo que se calibra el equipo en cada elemento. Los rangos representan la concentración que se usó en el primer y último estándar para formar la curva.

3.3.3 Susceptibilidad magnética

Los análisis de las propiedades magnéticas en hojas dan la posibilidad de interpretar la distribución espacial y temporal de la contaminación del aire en función de las partículas magnéticas que ahí se depositan (Cejudo *et al.*, 2013; Cejudo-Ruíz *et al.*, 2015). La medición

de la susceptibilidad magnética volumétrica (κ) fue obtenida a baja (κ_{lf}) y alta (κ_{hf}) frecuencia (465 Hz y 4.65 kHz), para ello se utilizó un medidor de susceptibilidad Bartington MS2B. Obtenidos dichos valores, se identificó el valor de la susceptibilidad magnética másica ($\chi = \kappa_{lf}/\rho$, donde ρ es la densidad de la muestra). Este parámetro está relacionado con la concentración y tipo de minerales magnéticos en la muestra y representa la respuesta conjunta de minerales diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos y ferrimagnéticos (Bautista *et.al* 2014).

Con los datos κ_{lf} y κ_{hf} se calculó el porcentaje de susceptibilidad magnética dependiente de la frecuencia $\chi_{fd}\%$:

$$(\chi_{fd}\% = [(\kappa_{lf} - \kappa_{hf})/\kappa_{lf}] \times 100)$$

Parámetro que permite identificar la presencia de minerales ferrimagnéticos de grano ultrafino $< 0.02 \mu\text{m}$ debido a su comportamiento superparamagnético (SP) (Cejudo-Ruiz *et. al.* 2007; Cejudo-Ruiz *et. al.* 2015). Se presenta escasa concentración de granos SP para $0 \leq \chi_{fd}\% \leq 2\%$, mezcla de granos SP ultrafinos y gruesos para $2 < \chi_{fd}\% \leq 10\%$ y alta concentración de granos SP para $\chi_{fd}\% > 75\%$ (Bautista *et. al.*, 2014).

A cada muestra se le aplicó un pulso electromagnético con un magnetizador de pulsos ASC IM-10 para elaborar curvas de magnetismo remanente isotermal (MRI) a temperatura ambiente. La magnetización de las muestras fue realizada con campos magnéticos continuos y graduales desde 200 a 700 mT. La MRI obtenida a 700 mT ($\text{MRI}_{0.7T}$) se consideró como la magnetización de saturación (MRIS). Magnetizaciones de saturación obtenidas para valores mayores a 900 mT indican comúnmente minerales antiferromagnéticos y para valores menores a 200 mT indican minerales ferrimagnéticos o ferromagnéticos (Bautista *et.al.* 2014). Posteriormente, las muestras se sometieron a un campo inverso a 200 mT ($\text{MRI}_{0.2T}$). Todas las magnetizaciones remanentes se midieron con un magnetómetro de giro AGICO JR5. Para identificar los minerales con mayor o menor coercitividad se calculó el cociente $S_{.200}$ a partir de la relación:

$$S_{.200} = \text{MRI}_{0.2T} / \text{MRIS}$$

Aquellos valores de S_{200} que fluctúan entre 0.7 a 1.0 indican presencia de minerales de baja coercitividad magnética o ferrimagnéticos, mientras que, por otro lado, aquellos valores de $S_{200} < 0.7$ indican presencia de minerales de alta coercitividad magnética o antiferromagnéticos (Sánchez-Duque *et al.*, 2015). Para el análisis magnético, las hojas se secaron en la estufa con un sistema de calor por convección, después se trituraron y colocaron en porta muestras cúbicos de plástico (Figura 19).



Figura 19. Cubos porta muestras para mediciones magnéticas. Con dimensiones interiores de $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}$ (8 cm^3)

En la Figura 20 se hace una descripción completa de la secuencia que llevó la muestra para hacer el análisis completo de propiedades magnéticas.



Figura 20. Diagrama de las técnicas empleadas para la caracterización magnética

3.4 Caracterización de suelo

3.4.1 Análisis multielemental por fluorescencia de rayos X

Mediante la técnica de XRF se hizo un análisis químico elemental cualitativo de elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U) en muestras de suelo recolectado. Para el análisis de XRF se utilizó un espectrómetro marca PHILIPS 2400, con intercambiador de tabletas automático PW2510. Las muestras se trabajaron en la modalidad de polvo prensado a temperatura ambiente. Para el análisis lo primero que se hizo fue prensar las muestras de manera individual por el molino de tres bolas (marca “Retsch”) para homogenizar la textura de las mismas. Esto permitió obtener un tamaño de partícula menor a 0.001 mm de diámetro, con el fin de evitar que, una vez prensadas las partículas, no se desprendieran de las tabletas.

El siguiente paso fue la elaboración de las tabletas. Para ello se utilizó una prensa manual marca “Specac”. Para la preparación de las tabletas, inicialmente se prensaron sobre los contenedores 10 g de ácido bórico a tres toneladas por tres minutos. Cada tableta tenía un hueco en el centro, en el que se depositaron 2 g de muestra de suelo para nuevamente prensarlos en la prensa manual. La preparación de tabletas se efectuó con ácido bórico, prensado. Posteriormente se empaquetaron con un material llamado “Mylard”, el cual se utiliza para la lectura de muestras que se caracterizan por tener polvo seco con tamaño de partícula muy fina. Por último, se procedió al etiquetado de las mismas.

El análisis elemental de XRF en muestras de suelo, se realizó utilizando rayos X provenientes de una lámpara de rodio que operó 24 KV. Se realizaron cinco procedimientos de barrido en cada muestra en los que se utilizaron diferentes cristales detectores de fluorescencia y colimador, así como la intensidad energética para cada barrido. Se consideraron las condiciones de análisis de los elementos de la tabla periódica. Una vez que se obtuvieron los resultados de composición elemental de las muestras de suelo, se utilizó el software SuperQ del espectrómetro y se realizó un análisis cualitativo de los elementos.

3.5 Muestras de tejido pulmonar

Se solicitó al Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (IJCF) la facilidad para observar mediante la técnica SEM muestras de bronquios principales, primeras ramificaciones o alveolos pulmonares para buscar la presencia de partículas. Dichas muestras pertenecieron a

individuos hallados en los municipios que conforman el área metropolitana de Guadalajara. Las muestras se encontraban almacenadas en sus instalaciones y fueron preservadas en glutaraldehído al 2% en tubos Eppendorf de 1.5 ml. La cantidad de muestra disponible era de medio centímetro cuadrado. Los ejemplares observados correspondían a individuos que no habían presentado lesiones en tórax y con bajo grado de descomposición. Todas las muestras observadas, un total de 12, correspondieron a individuos fallecidos en el año 2014. El objetivo de este análisis fue verificar si el tipo de partículas presentes en tejido pulmonar humano es similar a las partículas observadas por contaminación del aire.

Metodología para procesar tejidos humanos

Las muestras se fijaron por inmersión en glutaraldehído al 2% durante 2 horas, posteriormente se realizó un lavado con amortiguador de fosfatos 1x pH 7 y ligera agitación (x3) (1x, 2x y x3 se refiere al número de veces que se repitió el mismo paso).

A continuación, se aplicaron procesos de deshidratación con etanoles seriados:

1. *Etanol 40% 1 hora
2. *Etanol 50% 1 hora
3. *Etanol 60% 1 hora
4. *Etanol 70% 1 hora
5. *Etanol 80% 1 hora
6. *Etanol 90% 1 hora
7. *Etanol 100% 1 hora (2x)

Finalmente, las muestras se desecaron de punto crítico con un equipo Samdri 795 de Tousimis. Este fue el proceso al que se llevaron las muestras para realizar análisis EDS con un equipo Jeol JSM 6610LV, operándose a 10kV, con detector EDS Oxford Xmax y software AZtec de Oxford. La observación en el microscopio electrónico de barrido se realizó con detector de electrones secundarios. Para el montaje se utilizó un porta muestras para microscopia electrónica de barrido, sobre un sustrato de cinta doble cara de carbón. Se les dio a las muestras un recubrimiento con material conductor (oro 99.9%) mediante sputtering con el equipo Denton Vacuum V.

3.6 Muestras de hojas de *Ficus benjamina* contaminadas con NPs de plata.

Con el fin de simular la deposición de metales pesados ultrafinos en la hoja de *Ficus benjamina* y conocer el posible daño en superficie y estructura interna, se prepararon NPs de plata en agua, las cuales fueron depositadas en las hojas por inmersión. No se prepararon NPs de otros metales pesados tales como Fe, Pb, Cu, Co, Ni, etc. debido a su baja estabilidad a la oxidación y dificultades técnicas para su preparación. Además, varios desarrollos tecnológicos comerciales contienen NPs de plata, las cuales se incorporan a los diversos entornos ambientales donde su destino y comportamiento final son desconocidos, por lo que es interesante investigar el efecto de NPs de plata en la superficie del tejido vegetal.

Primero se lavó el material a utilizar con acetona para eliminar cualquier residuo y posteriormente se procedió a la preparación de las NPs de plata. Para tal fin se diluyeron en 100 ml de agua destilada y 0.0011 g de borohidruro de sodio. De manera independiente se pesaron en la balanza analítica 0.0026 g de sal de nitrato de plata, los cuales se agregaron a la solución de borohidruro de sodio. Dicha solución en cuanto estuvo en contacto con el nitrato de plata cambió de tonalidad transparente a amarillo, lo cual es un indicativo visual de la formación de NPs de plata. El tamaño está determinado por la cantidad agregada de nitrato de plata. La concentración molar de la solución de NPs de plata fue de 1.6×10^{-4} M.

La solución coloidal se dejó reposar durante 24 horas a temperatura ambiente para observar posibles cambios colorimétricos, e inferir la estabilidad morfológica de las NPs. Tales cambios fueron registrados con un espectrofotómetro UV-Vis Cary 300. El diámetro hidrodinámico y la distribución del tamaño de partícula fue determinado por dispersión de luz dinámica con un equipo Malvern Instruments. La estimación de la morfología de las NPs de plata dispersas en fase acuosa fue obtenida por microscopía electrónica de transmisión (TEM, por sus siglas en inglés transmission electronic microscopy) con un equipo JEOL 2100F, que operó a 200 KV. La distribución del tamaño de partícula fue bimodal y el diámetro promedio de las NPs fue de entre 2 y 44 nm. La forma de las mismas varía ligeramente de esféricas a cuasi-esféricas. El grosor de las hojas fue entre 0.30 a 0.35 mm. Se confirmó la estabilización de las nanopartículas midiendo el espectro UV-Vis cada 5 días por un mes y siempre fue idéntico. Como el espectro depende del tamaño de partícula, entonces se deduce que el tamaño no

cambió durante el envejecimiento. Las partículas de plata fueron estables porque estaban muy diluidas en el agua y cubiertas con aniones BH_4^- .

Para el estudio de daño estructural y oscurecimiento termoquímico se seleccionaron hojas de la especie *Ficus benjamina*, las que se lavaron varias veces con agua destilada y se dejaron secar sobre papel absorbente a temperatura ambiente.

Luego de registrar los espectros de absorbancia y reflectancia de las hojas control (sin contaminar) en su cara adaxial, se sumergieron en la solución acuosa de NPs de plata por 18 horas. Posteriormente se midieron de nuevo las propiedades ópticas sobre la superficie previamente analizada. Estas propiedades ópticas fueron evaluadas por medio de un espectrofotómetro UV-Vis-NIR Shimadzu UV-3600 equipado con una esfera de integración. Para ajustar el 100 % de reflectancia se utilizó sulfato de bario como referencia. Las hojas de *Ficus benjamina* fueron sumergidas en la solución coloidal por 18 horas y posteriormente se dejaron secar a 35 °C por 24 horas con la finalidad de descubrir si había oscurecimiento termoquímico y daño estructural. Para ello se empleó espectroscopia de reflectancia difusa con el equipo mencionado arriba e infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR por sus siglas en inglés) empleando un equipo Varian 660 con accesorio de reflectancia total atenuada.

Con la finalidad de observar la morfología y distribución de tamaño de las NPs sobre la superficie adaxial de las hojas, se obtuvieron imágenes con un equipo de microscopía electrónica de barrido JEOL 7800 F.

3.7 Elaboración de mapas de distribución de metales pesados

La elaboración de mapas se hizo por el método de interpolación. Para ello se trabajó con el software GS+ el cual utiliza geoestadística. Esta técnica permite analizar y predecir valores de una variable distribuida en el espacio o el tiempo. Comienza con un tipo de análisis de auto correlación llamado variografía o análisis semivarianza, en el que se muestra el grado de auto-similitud como un variograma. Dentro de la misma opción se tienen cuatro tipos de modelos: el esférico, exponencial, lineal y el gaussiano. El modelo de variograma se utiliza para predecir ubicaciones no muestreadas por interpolación kriging o simulación condicional, que produce las estimaciones de la variable a través de todo el dominio espacial o temporal (Giraldo, 2002).

Como cada muestra contaba con coordenadas espaciales X e Y, se tomaron los resultados de AA con los elementos analizados: Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, los cuales se emplearon para hacer la distribución espacial de los contaminantes, sustituyéndose el resultado de absorción atómica por Z. Un análisis similar fue realizado con los resultados obtenidos con las medidas magnéticas (χ y MRIS) para conocer el tipo y distribución de materiales magnéticos en la AMG.

A estos resultados se les agregó la información cartográfica, así como algunos de los giros comerciales, mismos que fueron localizados en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE, 2018a).

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) tiene disponible en su página web, la séptima edición del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas-INEGI (DENUE) con la información de identificación y ubicación de más de 5 millones de negocios. El Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2018 (SCIAN 2018) en México es la base para la generación, presentación y difusión de todas las estadísticas económicas del INEGI. Este clasificador permite organizar las actividades económicas en categorías (Cuadro 8) (actividades económicas clasificadas en cualquier nivel de agrupación).

Cuadro 8. Clasificador del SCIAN para las actividades del DENUE (INEGI, 2018)

Número de dígitos que identifican el nivel	Nombre del nivel
2	Sector
3	Subsector
4	Rama
5	Subrama
6	Clase

El análisis geostatístico de los datos de AA y datos magnéticos se realizó con el software GS+ versión 7. Se trabajó en Unidades Transversales de Mercator (UTM). El datum utilizado fue WGS84, en escala 1: 140,000. Los datos vectoriales empleados fueron de INEGI (2015), cartas topográficas F13D55, F13D56, F13D65, F13D66, F13D75 y F13D76. Posteriormente se agregaron datos del DENUE (INEGI, 2018b). Para la edición de los mapas se trabajó con dos softwares libres, Mapa Digital de México para escritorio versión 6.1.0 (Creative

Commons Attribution, 2017) y QGIS 2.12 (INEGI, 2018). En este último se elaboró la edición final de los mapas.

Clases consideradas del SCIAN MÉXICO 2018 para la edición de los mapas.

335910 Fabricación de acumuladores y pilas

325510 Fabricación de pinturas y recubrimientos

325310 Fabricación de fertilizantes

331510 Fundición de piezas de hierro y acero

325190 Fabricación de otros productos químicos a partir de material reciclado

811312 Sub productos de avión

212231 Minería de cobre

331111 Complejos siderúrgicos

325320 Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos, excepto fertilizantes

335910 Fabricación de acumuladores y pilas

334110 Fabricación de computadoras y equipo periférico

325180 Fabricación de otros productos químicos básicos inorgánicos

333991 Fabricación de equipo para soldar y soldaduras

21231 Minería de piedra caliza, mármol y otras piedras dimensionadas y

327121 Fabricación de ladrillos no refractarios

CAPÍTULO 4. Resultados y discusión

4.1 Hojas de *Ficus benjamina*

4.1.1 Microscopía electrónica de barrido

La técnica SEM para el análisis de partículas ambientales se ha empleado en una gran diversidad de estudios que involucran el aire urbano, los tipos de vialidad y los usos de suelo (Nakane, 2012). Ella ha facilitado la identificación de virus, bacterias, polen, esporas, tejido de plantas, entre otros (Dong *et al.*, 2014). La utilidad de las microfotografías o análisis de imagen por mapeo elemental utilizando la técnica EDS resulta de gran ayuda para la observación e identificación de partículas ambientales. Mediante imágenes SEM de las hojas, se observaron partículas con forma esférica y ovalada, así como aglomerados de partículas. El tamaño de las partículas es primordialmente menor de 10 μm . Estas se encuentran homogéneamente distribuidas dentro de los ostiolos y las áreas circundantes (Figura 21-23). Por ejemplo, en la muestra 170 (Figura 21a), se observaron partículas ultrafinas individuales de diferentes tamaños ($<1 \mu\text{m}$) así como partículas grandes individuales (de 5 a 10 μm) y agregados depositados alrededor de las aberturas del estoma. La muestra 76 se caracteriza principalmente por presentar partículas ultrafinas y finas ($\sim 0.5\text{-}2.5 \mu\text{m}$), que van desde formas sub-redondas a formas redondas, así como también algunos agregados localizados fuera de las aberturas de los estomas (Figura 21b). En esta muestra también se observaron partículas de más de 5 μm con bordes angulosos dentro de los ostiolos, típicos del suelo mineral. Pequeñas partículas individuales ($< 2 \mu\text{m}$) emitidas quizá por fuentes antropogénicas, son producto de procesos de combustión y se caracterizan por su forma esférica y superficies lisas, aunque también se pueden observar aglomerados de estas partículas en las superficies de las hojas. (Tomašević *et al.*, 2005). La presencia de estas partículas alrededor y sobre las aberturas del estoma provoca alteraciones fisiológicas (disminución de la conductancia estomática e intercambio gaseoso), lo que puede influir aún más en el régimen hídrico y la fotosíntesis (Tomašević *et al.*, 2005). El análisis elemental de partículas ha demostrado principalmente Si, Ca y K con diferentes concentraciones de elementos como As, W, Cr y Ta entre otros.

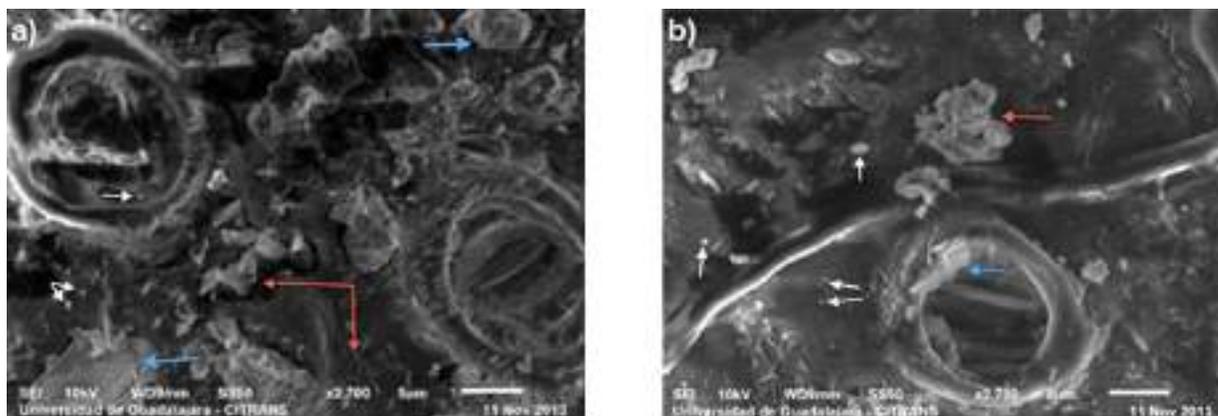


Figura 21. Imagen SEM de la cara abaxial de la hoja *Ficus benjamina* para las muestras (a) 170 y (b) 76. La variedad de partículas se indica con flechas. Partículas pequeñas individuales (blanco), partículas grandes individuales (azul) y agregados (rojo)

De acuerdo al análisis por mapeo elemental EDS, los elementos presentes en el lado abaxial de la hoja (muestra 76), fueron principalmente As, Co, Cr, W y Ta, los cuales son diferenciados por colores (Figura 22).

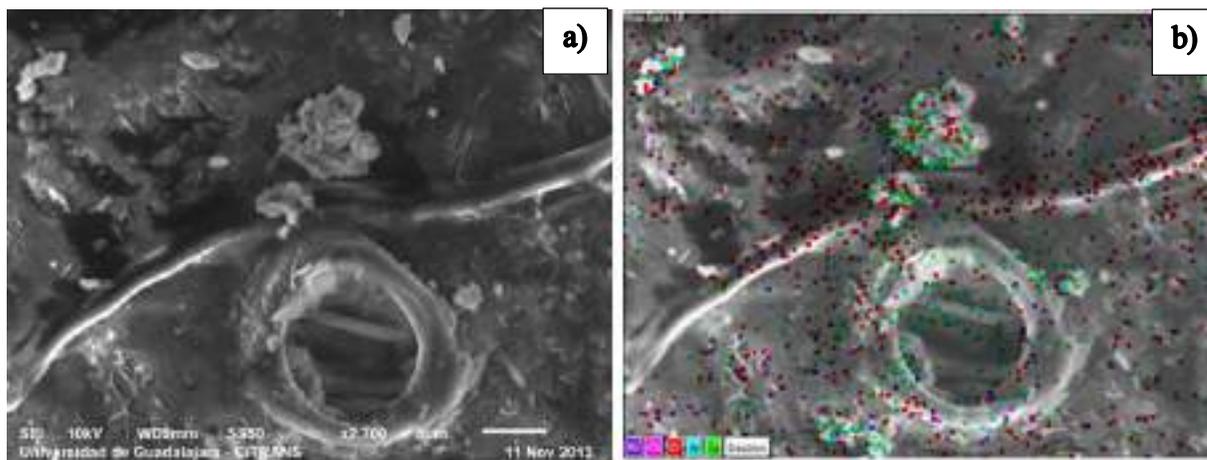


Figura 22. Imagen SEM de la cara abaxial de la hoja de *Ficus benjamina* (a). Mapeo elemental (b). Los elementos identificados fueron As, Co, Cr, W y Ta (muestra 76)

La muestra 125 presentó abundancia de partículas de tamaño medio a ultra-fino (Figura 23a), se observaron partículas sobre los estomas e incluso dentro del ostiolo. Un análisis EDS demostró que los elementos presentes en la hoja eran As, Ni, Cr, W y Ta (Figura 23b).

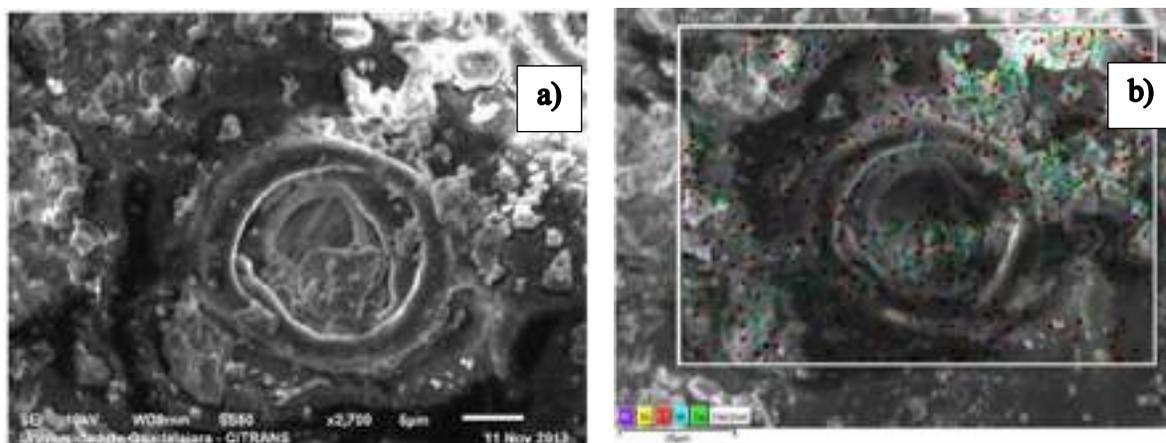


Figura 23. Imagen SEM de hoja Abaxial de *Ficus benjamina* (a). Mapeo elemental (b) Los elementos identificados fueron As, Ni, Cr, W y Ta (muestra 125)

En general, utilizando la técnica de SEM, fue posible determinar la sedimentación de polvo, tanto en las caras adaxial y abaxial de las hojas de *Ficus benjamina* que fueron sistemáticamente observadas en varias de las muestras, por lo que puede deducirse que se encuentra presente una cantidad significativa de PM flotando en la atmósfera que se conservan en las hojas de los árboles.

En las muestras colectadas en otros sitios también se observaron trazas de metales pesados como Cd, Co, Cu, Pb y Zn. En todos los casos se observaron pocas partículas finas y ultrafinas con forma ovalada y esférica, así como muchos agregados de gran tamaño. También, agregados de partículas de metales pesados de forma irregular y tamaño $< 1\mu\text{m}$ predominaron en hojas de *Ficus* recolectadas en zonas urbanas en México (Reyes *et al.*, 2012) y se ha informado de una gran variedad de metales pesados de tamaño micrométrico observados en hojas de plantas recolectadas en otros países (Tam *et al.*, 1988).

Las características de los sitios analizados se desglosan en el Cuadro 9. Se observa que la muestra 105, correspondiente a un tipo de vialidad secundaria y el uso de suelo mixto (actividades relacionadas con el comercio, los servicios y vivienda) es el que presenta un mayor número de los elementos analizados. Este ejemplo corresponde a una zona industrial. Las muestras con los niveles más altos cercanos, donde 21 elementos estaban presentes fueron las muestras 28, 125 y 122, que se tomaron de vialidades terciarias, es decir, cuando el volumen de tráfico es relativamente bajo. Sin embargo, los usos de suelo fueron clasificados

como urbanos (que contienen los servicios esenciales necesarios para las necesidades de la población), tipo I (que comprende una amplia gama de actividades de fabricación) y mixta. Para las muestras de 170, 173 y 57, se identificó la presencia de 19 elementos. En la muestra 170, el uso del suelo es mixto (M) y el tipo de vialidad, rural. En el caso de las otras dos muestras, las vialidades estaban clasificadas como terciaria, una muestra provenía de una zona de viviendas de baja densidad (HB) y la otra de un corredor urbano (CU). En las siguientes tres muestras; 76, 144 y 87, se identificaron de 14 a 17 elementos. En estos ejemplos, el uso de suelo y tipos de vialidad fueron diversas. Con respecto a la muestra 81, es interesante observar que, si bien corresponde a un tipo de vialidad principal, tiene una menor presencia de elementos. En la Figura 24 se muestra la localización de los sitios de colecta.

Cuadro 9. El uso de suelo para las muestras analizadas por la técnica de SEM

Muestra	Elementos presentes	Uso de suelo	Tipo de vialidad
105	26	M	Secundaria
28	21	EU	Terciaria
125	21	I	Terciaria
122	21	M	Terciaria
170	19	M	Rural
173	19	HB	Terciaria
57	19	CU	Terciaria
76	17	M	Rural
144	16	I	Terciaria
87	14	HA	Secundaria
81	14	NUI	Primaria

HB, habitacional densidad baja; HA, habitacional densidad alta; NUIU, no urbanizable intraurbana; CU corredor urbano; EU equipamiento urbano; I industrial; M mixto



Figura 24. Localización de los sitios de colecta de las muestras analizadas mediante la técnica SEM para hojas de *Ficus benjamina*

4.1.2 Espectroscopia de absorción atómica

Análisis descriptivos

Los valores medios de concentración para Cu, Zn, Co, Ni, Cd, Pb y Cr provenientes de todos los sitios, son registrados en la Figura 25. Los elementos más abundantes fueron Cu, Pb y Zn, (14.58-24.72 mg/Kg) y en menores concentraciones se encuentran el Cd, Cr, Co y Ni (3.46-5.93 mg/Kg). Estos valores medios y los valores de referencia para los niveles normales de metales pesados en plantas se han registrado en el Cuadro 10 con fines de comparación. La concentración promedio de todos los metales pesados (excepto Zn) fue más alta que el valor informado en la “planta de referencia” propuesta por Market (1992). Los valores de concentración para Cd, Co, Pb Ni, Cr y Cu fueron 69, 26, 20, 3.9, 3.6 y 2.47 veces más altos que los valores de referencia, respectivamente. Las elevadas concentraciones pueden atribuirse a la acumulación progresiva de los metales en las hojas a través del tiempo. Al comparar la concentración de los metales pesados en hojas de *Ficus benjamina* con el valor de concentración normal informado por otros autores, también se infiere contaminación (excepto Zn), aunque de forma más moderada. Resalta el caso para Ni y Cd, ya que los intervalos de

concentración que exceden a la referencia son entre 12 y 17 veces más altos que los valores normales, respectivamente (Cuadro 10). Las concentraciones medias para los metales pesados depositados en hojas de *Ficus benjamina* recolectadas en el AMG e informadas en el 2013 para Cu, Zn, Pb, Cd y Ni fueron 21.83, 19.50, 5.82, 1.60 y 0.97 mg/Kg, respectivamente (Gutiérrez, 2013). La comparación de estos datos con los obtenidos en este trabajo, indica que nuestros valores de concentración de metales fueron similares, excepto para Cd, Pb y Ni, los cuales fueron 2.1, 3.4 y 6 veces más altos. En ambos casos, se infirió contaminación por metales pesados en el AMG.

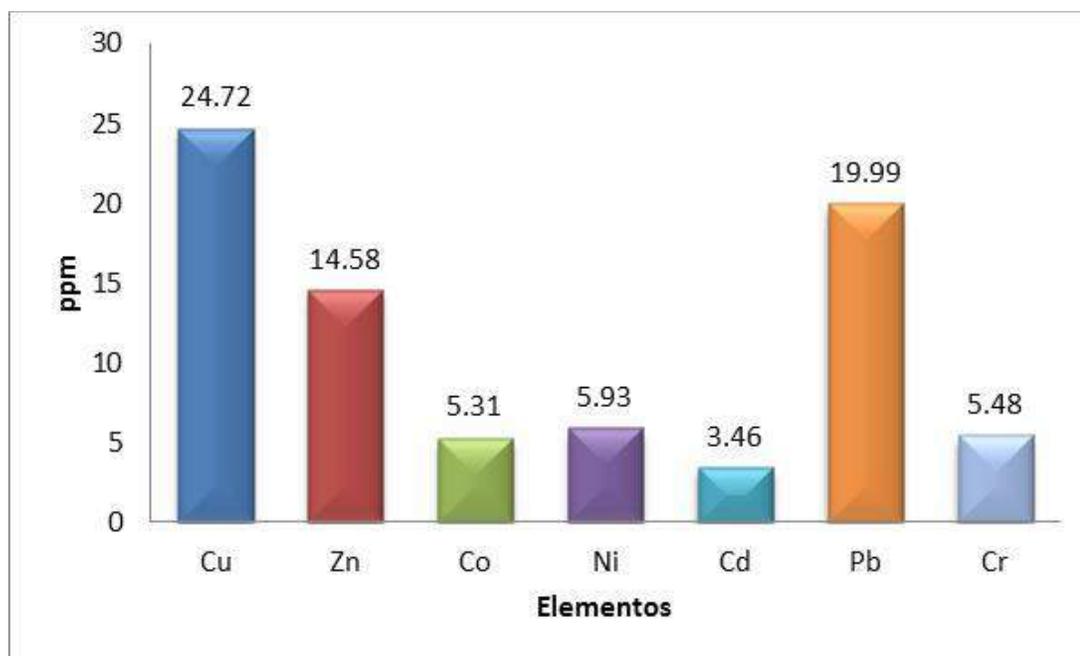


Figura 25. Valores medios estimados por AA de los elementos analizados

Cuadro 10. Concentración de elementos tóxicos identificados por AA para el AMG

Elemento	Media mg/Kg	Desviación estándar mg/Kg	Valores normales^a mg/Kg	Valores normales mg/Kg
Zn	14.58	13.93	50	8-400 ^b
Cd	3.46	2.08	0.05	0.2-0.8 ^b
Pb	19.99	25.97	1.0	0.1-10 ^b
Cu	24.72	23.28	10	4-15 ^c
Ni	5.93	5.47	1.5	0.5-5 ^c
Co	5.31	1.90	0.2	0.1-10 ^d
Cr	5.48	5.72	1.5	0.2-0.8 ^d

Markert, 1992^a; Akguc *et al.*, 2008^b; Akguc *et al.*, 2010^c; Kabata-Pendias, 2000^d

Correlaciones

En virtud de que el origen de los metales pesados puede ser de diversa índole, se realizó un análisis de la asociación lineal simple entre datos bivariantes (Cuadro 11). Al respecto, se observaron correlaciones de Pearson altamente significativas en orden decreciente entre Cd y Co ($r = 0.579$, $p = 0.000$); Zn y Cu ($r = 0.489$, $p = 0.000$); Cd y Ni ($r = 0.377$, $p = 0.000$); Cr y Cu ($r = 0.316$, $p = 0.000$); Pb y Co ($r = 0.286$, $p = 0.000$); e inversamente Cr y Cd ($r = -0.258$, $p = 0.001$). Estas correlaciones reflejan un origen antrópico de los contaminantes provenientes de fuentes comunes (Machado, *et al.* 2008). Por ejemplo, Cr y Cd están principalmente relacionados con emisiones provenientes de aceites de motor y el Zn y Cu se asocian a actividades industriales y al desgaste de partes metálicas provenientes de automóviles (Machado, *et al.* 2008; Akguc *et al.* 2008; Trujillo-González, *et al.* 2015).

Cuadro 11. Correlaciones de AA en hojas de *Ficus benjamina*

	Cobre	Zinc	Cobalto	Níquel	Cadmio	Plomo	Cromo
Cobre	1						
	171						
Zinc	.489**	1					
	.000						
	171	171					
Cobalto	.111	.061	1				
	.147	.432					
	171	171	171				
Níquel	-.072	.078	.189*	1			
	.347	.310	.013				
	171	171	171	171			
Cadmio	-.144	.052	.579**	.377**	1		
	.060	.503	.000	.000			
	171	171	171	171	171		
Plomo	.013	.149	.286**	.189*	.377**	1	
	.871	.052	.000	.013	.000		
	171	171	171	171	171	171	
Cromo	.316**	.157*	.191*	-.048	-.258**	-.031	1
	.000	.040	.012	.536	.001	.684	
	171	171	171	171	171	171	171
**. La correlación es altamente significativa en el nivel 0,01 (2 colas).							
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).							

La Figura 26 representa la dispersión de las muestras para cada elemento y valores atípicos observados.

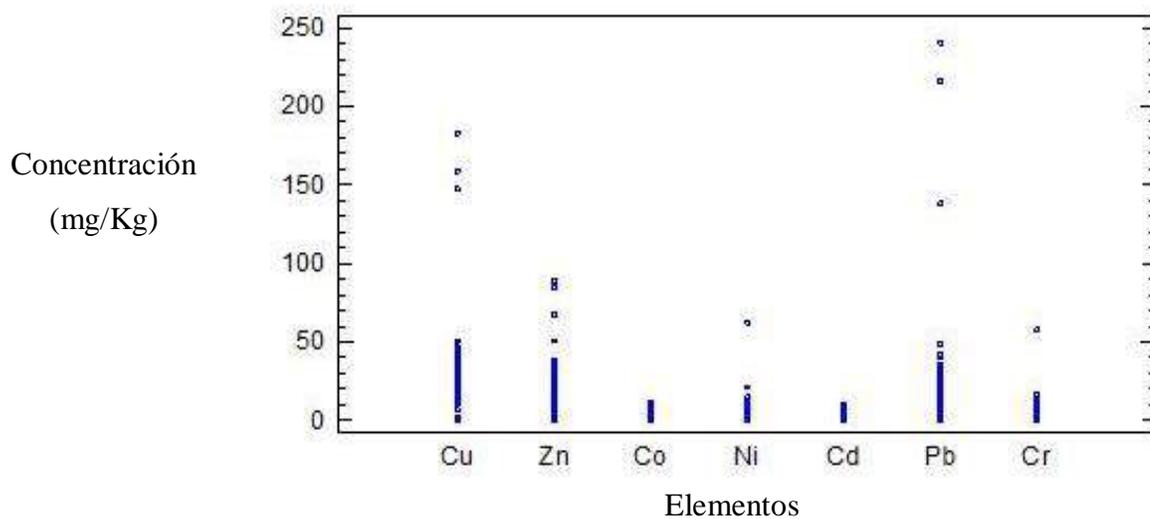


Figura 26. Dispersión según muestras de los elementos

Distribución de Metales pesados

A continuación, se esquematiza la distribución de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn para cada elemento analizado mediante la técnica de AA. Les fueron agregadas las actividades económicas (DENU) que se desarrollan en la ciudad y la ubicación de las mismas en el AMG.

Cadmio (Cd)

Este elemento se asocia a la fabricación de acumuladores, fabricación de fertilizantes, fundición de piezas y sitios de reciclado. La concentración mínima observada de Cd fue de 0.18 ppm y la máxima de 9.20 ppm. La zona donde se observó la concentración más alta fue a la altura del fraccionamiento Revolución, sobre la Avenida Lázaro Cárdenas y a lo largo de esta vía. En ella predominan actividades industriales relacionadas con el reciclado, fabricación de fertilizantes, fundición de piezas y fabricación de acumuladores. Otros puntos de interés son a la altura de la Cruz Verde Leonardo Oliva sobre la Avenida Cruz del Sur, la zona del Aeropuerto Internacional de Guadalajara “Miguel Hidalgo y Costilla” y a la altura del Fraccionamiento Bosques Vallarta Residencial (Figura 27).

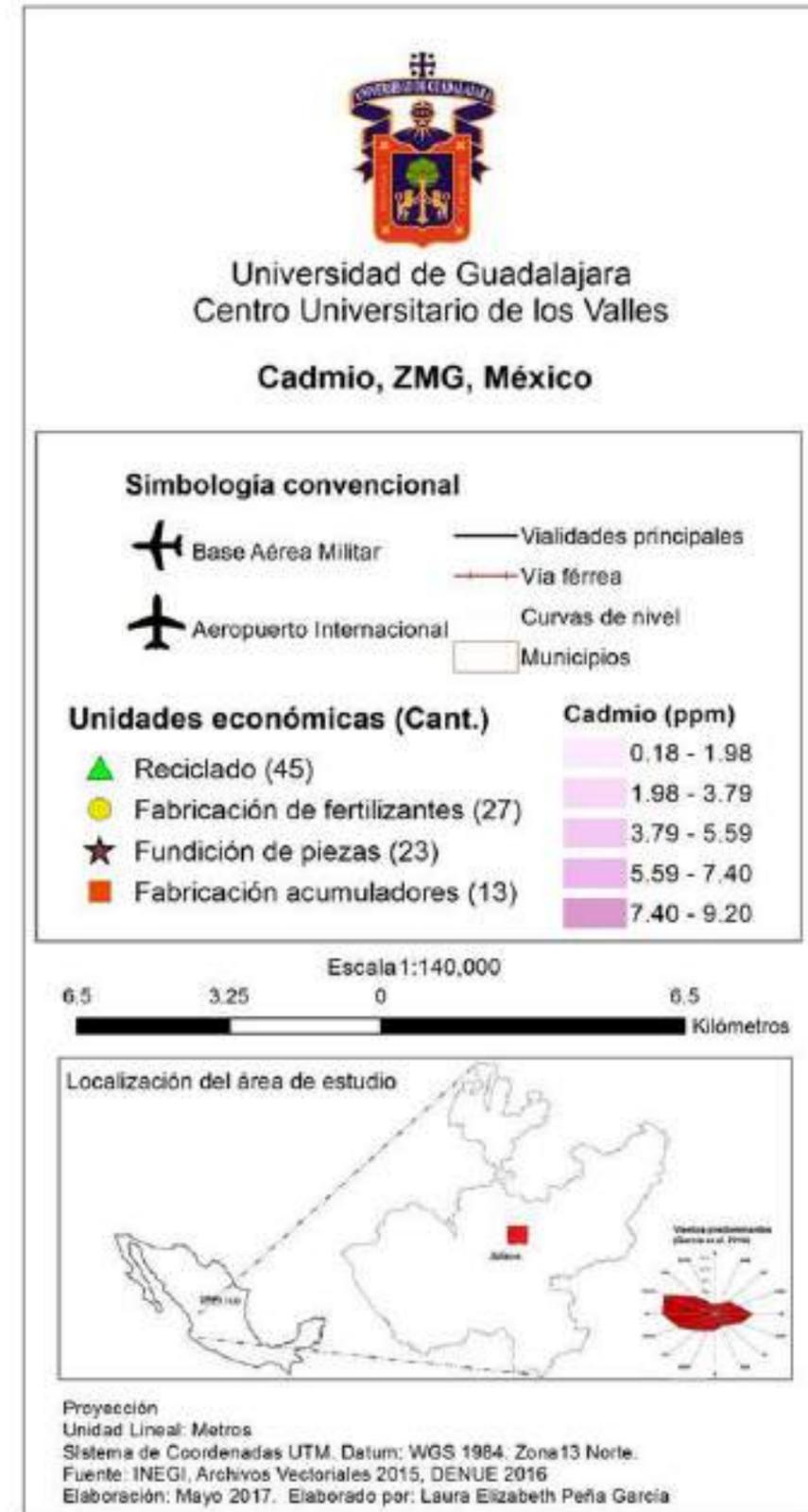
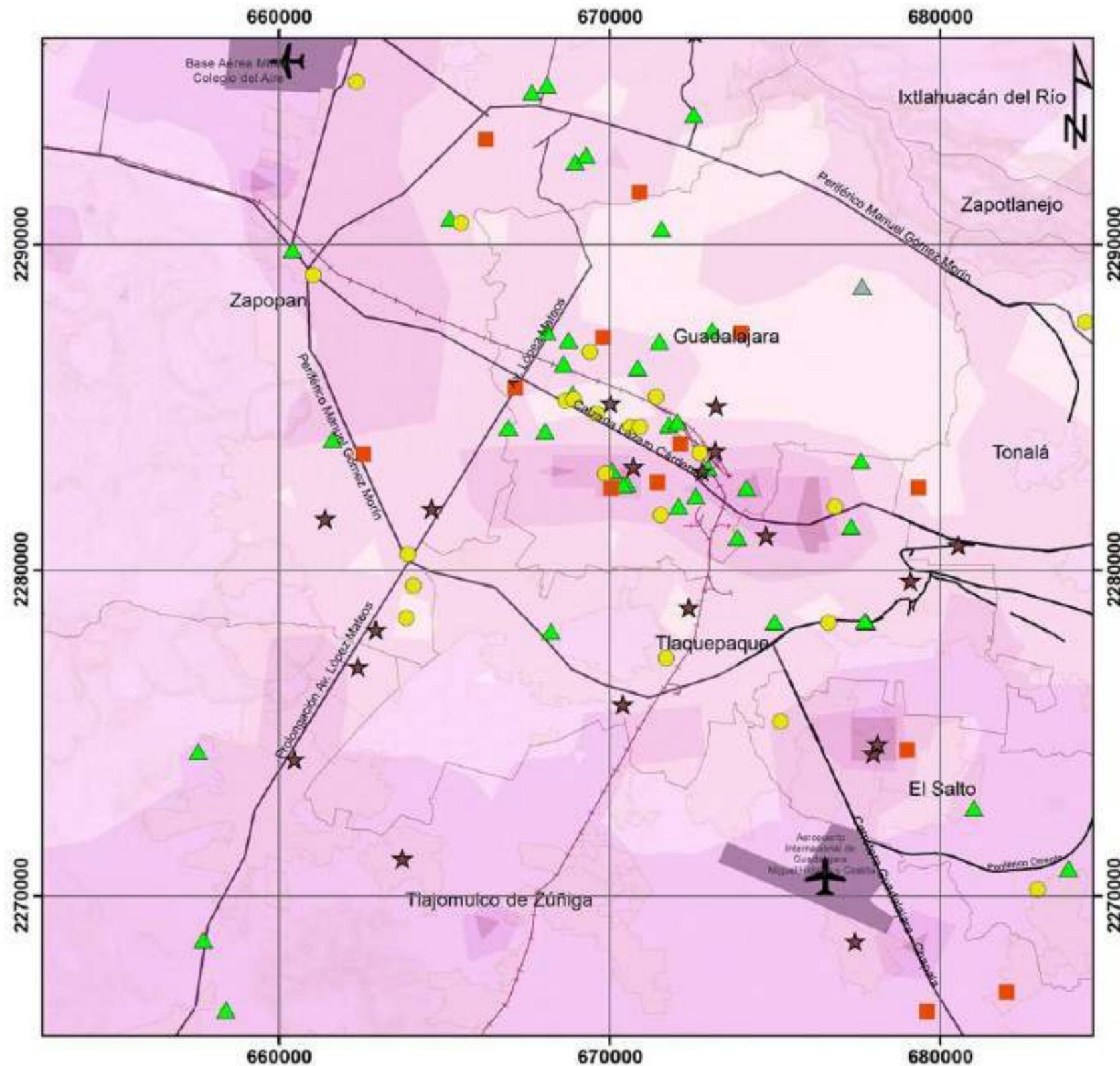
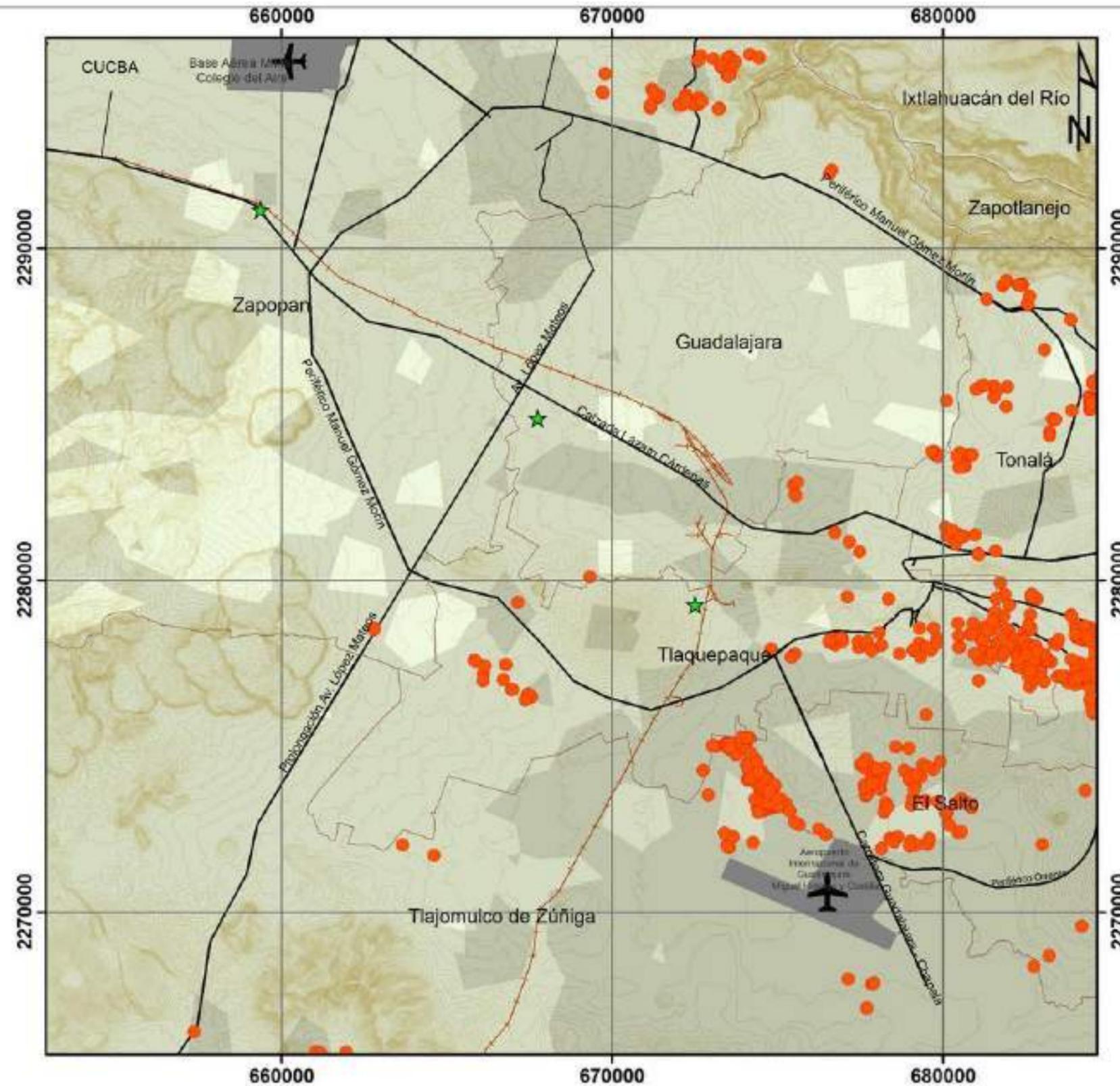


Figura 27. Mapa de distribución de Cadmio

Cobalto (Co)

Este elemento se asocia la fabricación de vidrio y los subproductos de aviones (reparación de motores). La concentración mínima de Co fue de 1.0 ppm y la máxima de 8.0 ppm. En general el AMG presenta una distribución homogénea entre 3.98 y 6.10 ppm. La zona Sur-Este de la ciudad es la que presenta mayores concentraciones de Co, así como algunas manchas dentro de la ciudad. En el primer caso predominan ladrilleras que pueden ser una fuente de contaminación por Co y en el segundo caso, el transporte de contaminantes por el viento podría explicar la presencia de este metal en la zona urbana. De igual manera la Avenida Lázaro Cárdenas y la zona Norte de la ciudad presentaron contaminación por Co (Figura 28).

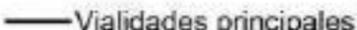
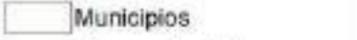
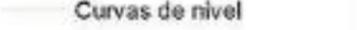




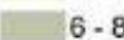
Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de los Valles

Cobalto, ZMG. Guadalajara

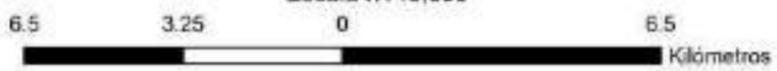
Simbología convencional

 Aeropuerto Internacional	 Vialidades principales
 Base Aérea Militar	 Via férrea
	 Municipios
	 Curvas de nivel

Simbología temática

Unidades económicas (Cant.)	Cobalto (ppm)
 Ladrilleras (831)	 1 - 3
 Cementeras (3)	 4 - 5
	 6 - 8

Escala 1:140,000



Localización del área de estudio



Proyección:
Unidad Lineal: Metros
Sistema de Coordenadas UTM. Datum: WGS 1984, Zona 13 Norte.
Fuente: INEGI, Archivos Vectoriales 2015, DENUE 2016
Elaboración: Mayo 2017. Elaborado por: Laura Elizabeth Peña García

Figura 28. Mapa de distribución de Cobalto

Cromo (Cr)

Este elemento se asocia a tenerías, tornos, fundición de piezas, productos de hierro y acero y sitios de reciclado. Los rangos de concentraciones mínimas de Cr fueron entre 0.01 a 1.43 ppm y máximos entre 5.69 y 7.11 ppm. La zona con concentración más alta es Tonalá, sobre el Nuevo Periférico Oriente, la zona Este de la ciudad, donde predominan tenerías. El resto del AMG presenta concentraciones entre 2.85 ppm y 4.27 ppm (Figura 29). En la zona Norte del AMG existen actividades de reciclado que pueden ser fuente de emisiones de Cr y Cd, confirmando un origen común.

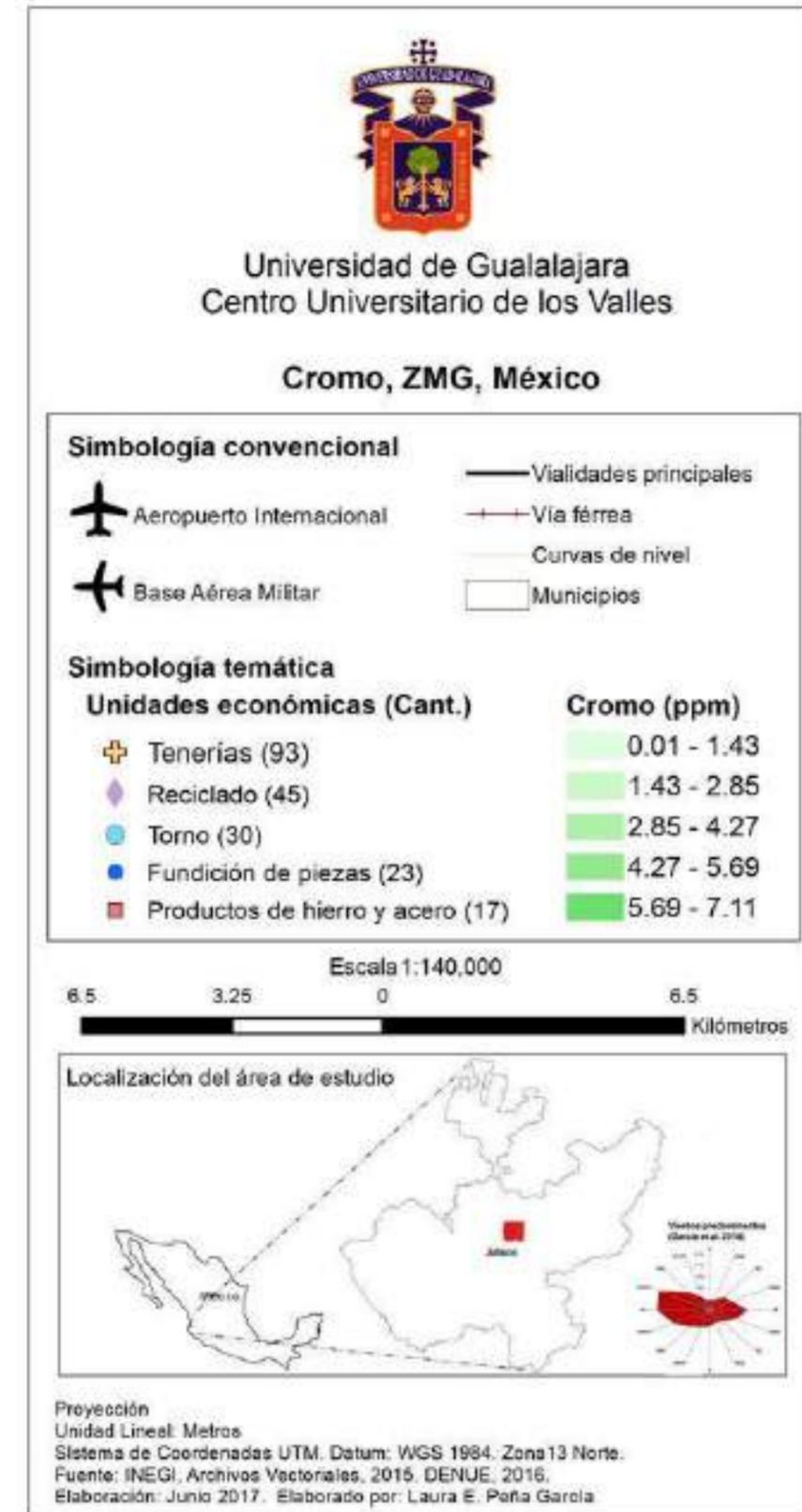
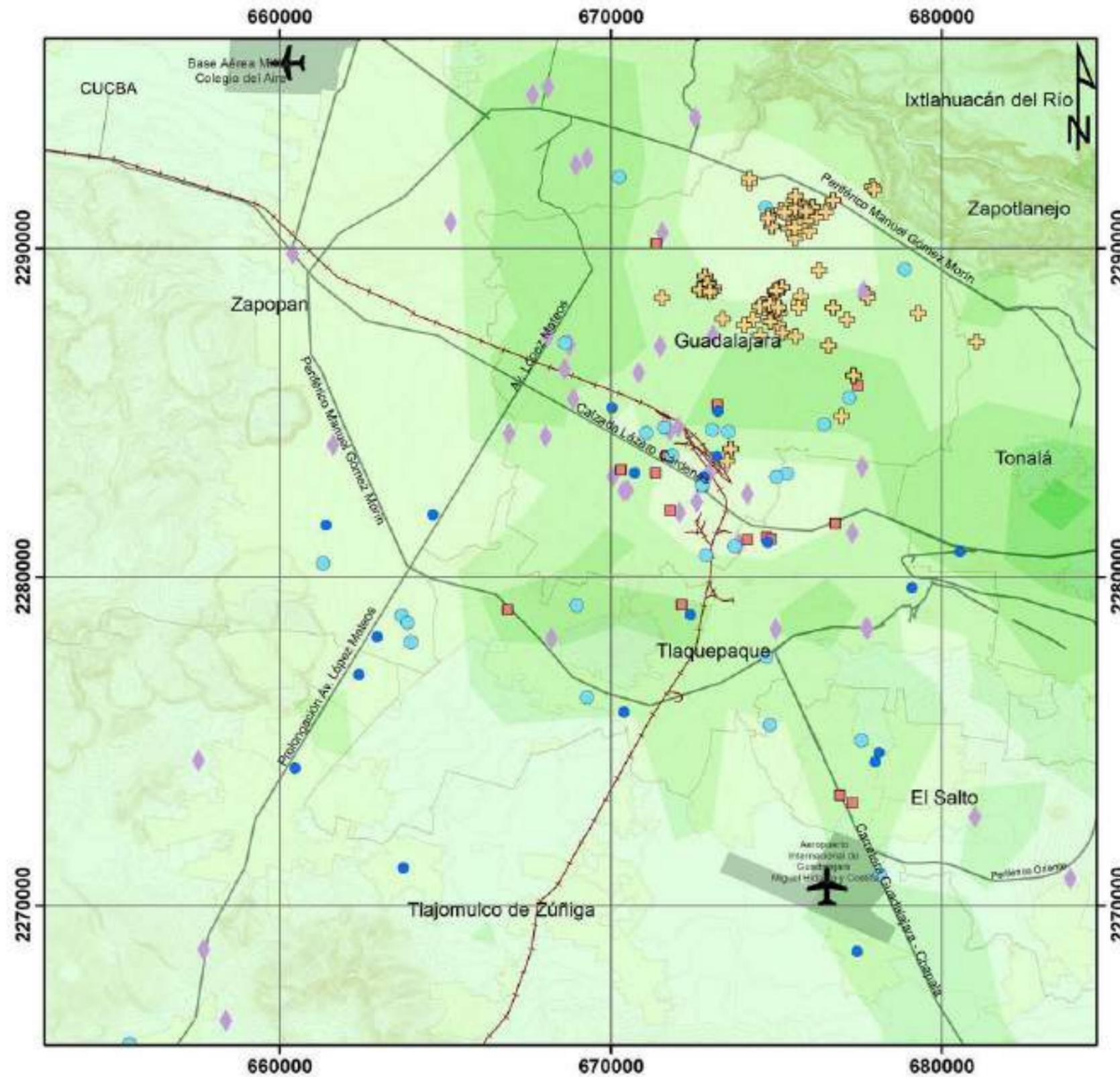


Figura 29. Mapa de distribución de Cromo

Cobre (Cu)

Este elemento se asocia a productos agrícolas, construcción de vehículos de transporte, líneas eléctricas, trenes y cables. La concentración mínima de Cu en el AMG fue de entre 1.6 y 9.2 ppm, la más alta fue entre 32.1 y 39.8 ppm. Las zonas donde se encuentra menor presencia de Cu en la zona de Zapopan (NW), la zona de Camichines y la zona de Tlajomulco de Zúñiga (Suroeste) de la ciudad (Figura 30). Las zonas de alta concentración comprenden Guadalajara, Tonalá, Tlaquepaque y el Salto. Entre las posibles fuentes de cobre predominan actividades inherentes a la fabricación y laminación de este metal.

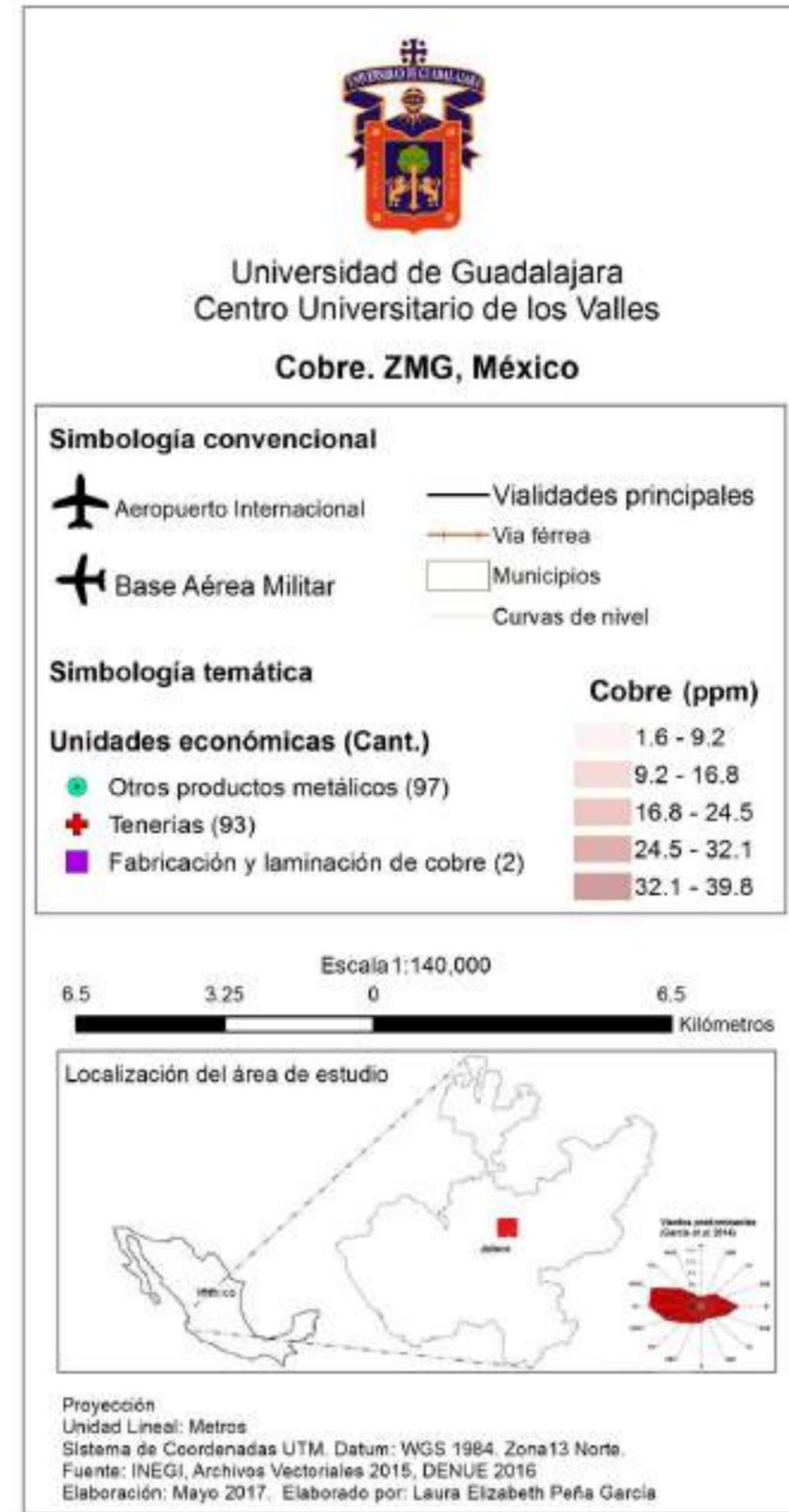
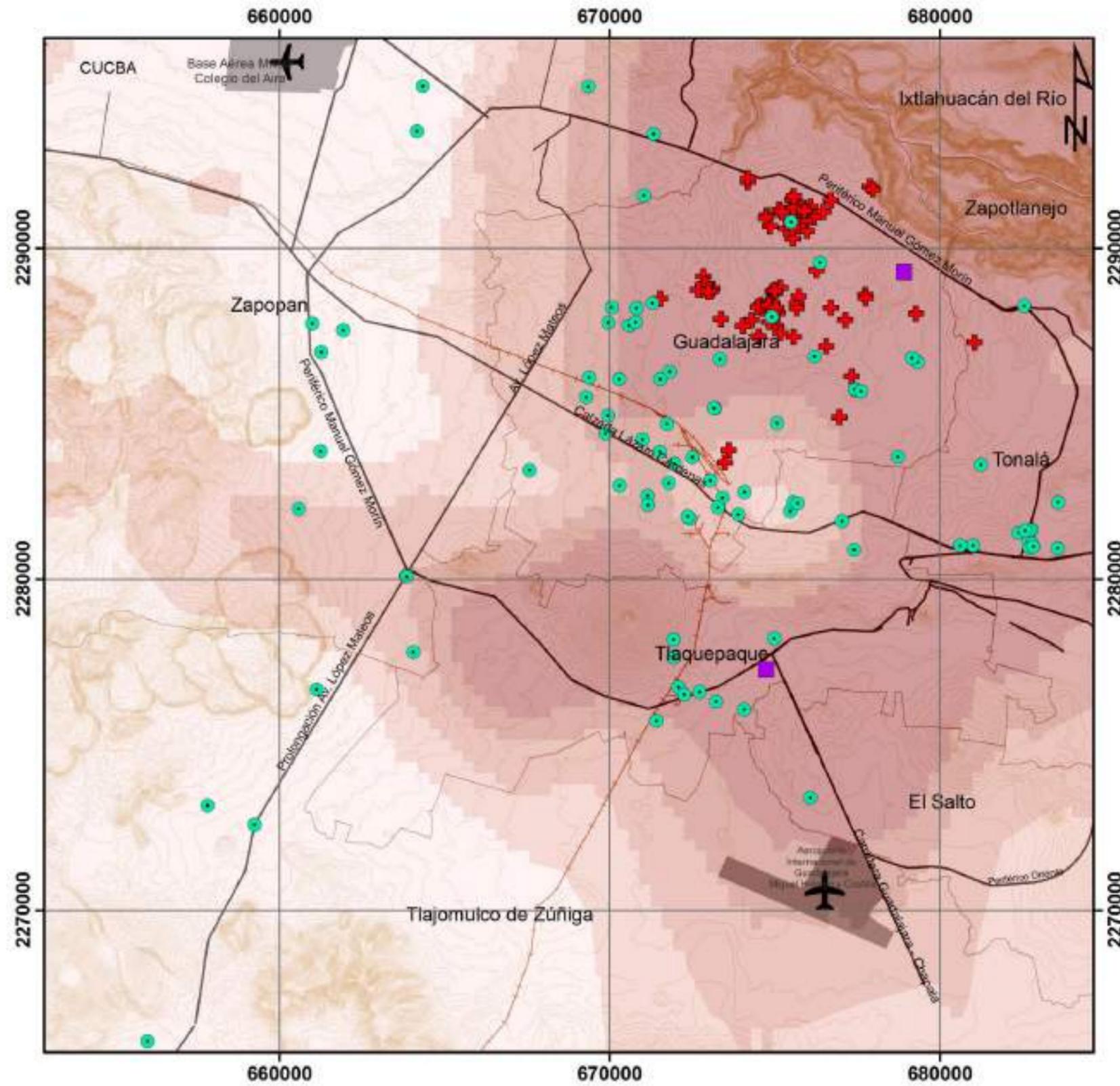


Figura 30. Mapa de distribución de Cobre

Níquel (Ni)

Este elemento es empleado en cromadoras, para la producción de baleros, fundición de piezas, productos de hierro y acero, generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. El valor mínimo observado fue entre 0.9 y 4.2 ppm y el máximo entre 14.1 y 17.4 ppm. Este último se ubicó en el Bosque de la Primavera, zona agrícola. Es probable que el uso de agroquímicos o Ni unido a minerales de hierro sea el origen de esta contaminación, ya que no se registraron actividades industriales en la zona. Los valores mínimos se observaron a partir de la Avenida Lázaro Cárdenas hacia el NE de la ciudad, así como puntos aislados dentro de la AMG (Figura 31).

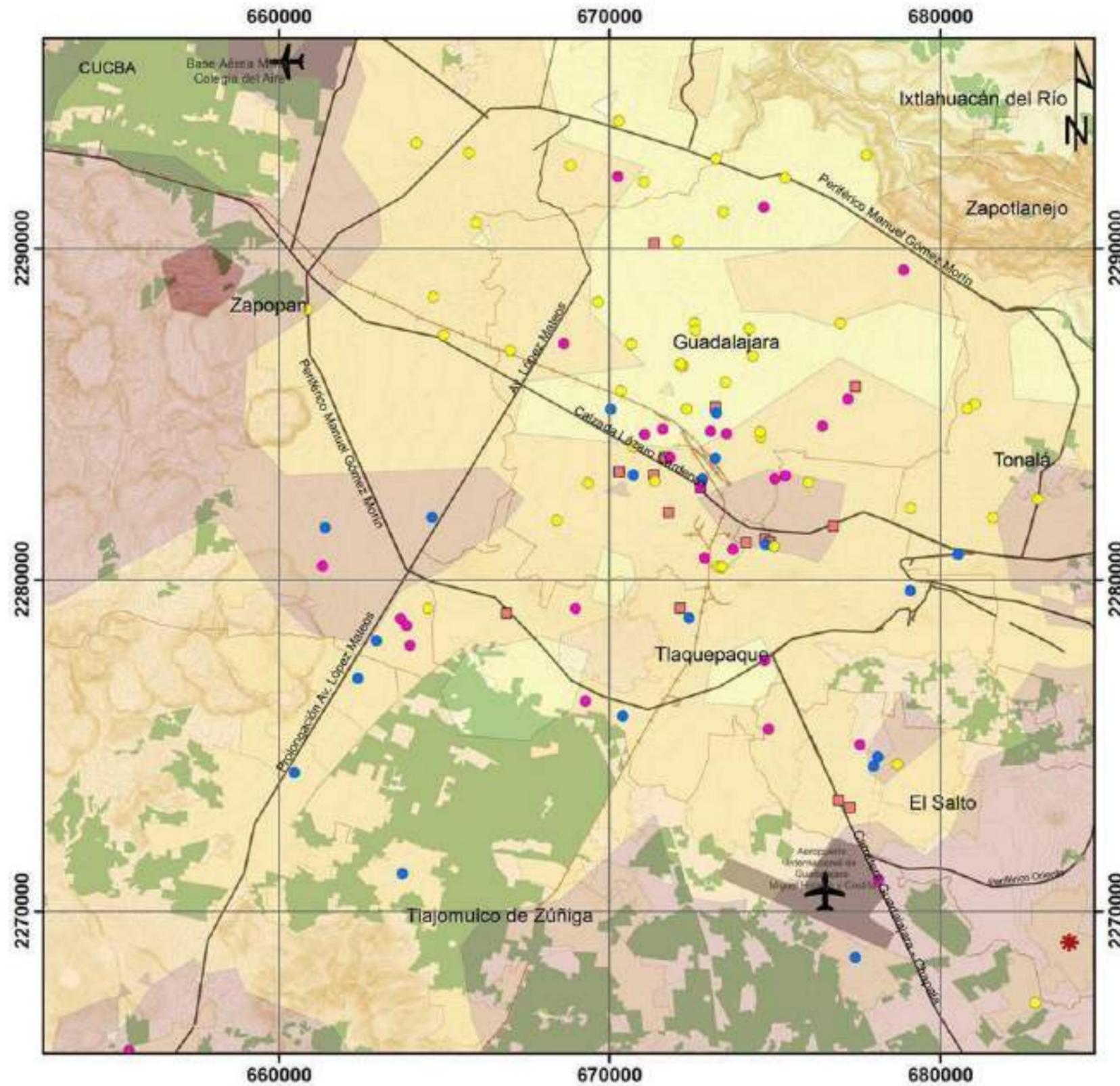
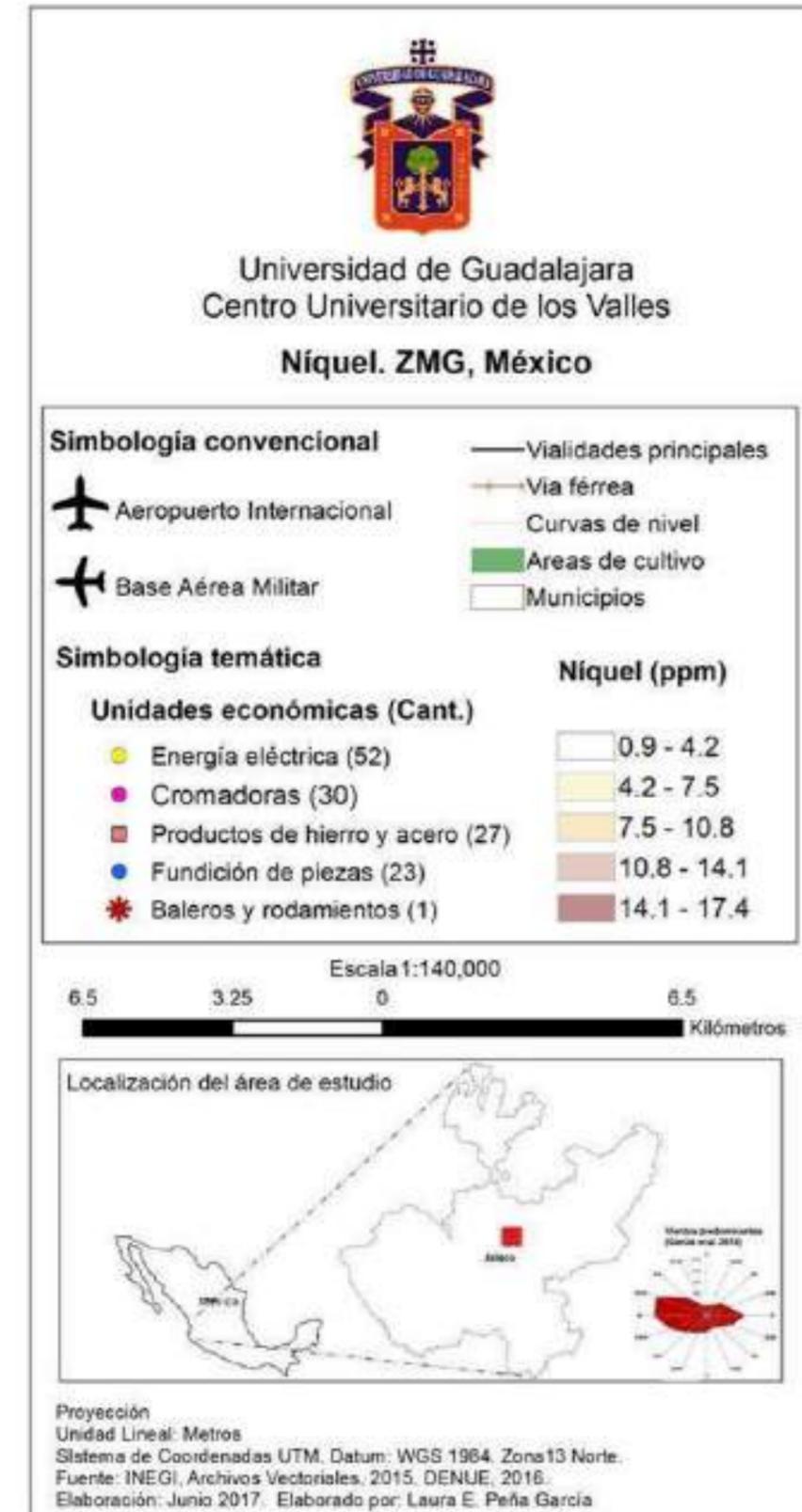


Figura 31. Mapa de distribución de Níquel



Plomo (Pb)

Para la elaboración del mapa se tomaron en cuenta los datos del DENUE de:

- fundición de piezas,
- productos de hierro y acero,
- fábricas de pintura,
- fábricas de acumuladores,
- cementeras,
- vitrales y emplomados y
- recicladoras.

Los valores mínimos de plomo fueron entre 4.9 y 15.6 ppm, las concentraciones más altas fueron entre 47.6 y 58.2 ppm. Uno de los puntos más altos se ubicó sobre la avenida Inglaterra a la altura de Parque Regency, cercano a Periférico Norte. La zona de la Base Aérea y el Aeropuerto Internacional de Guadalajara, además de ciertos puntos sobre la Avenida Lázaro Cárdenas (Figura 32).

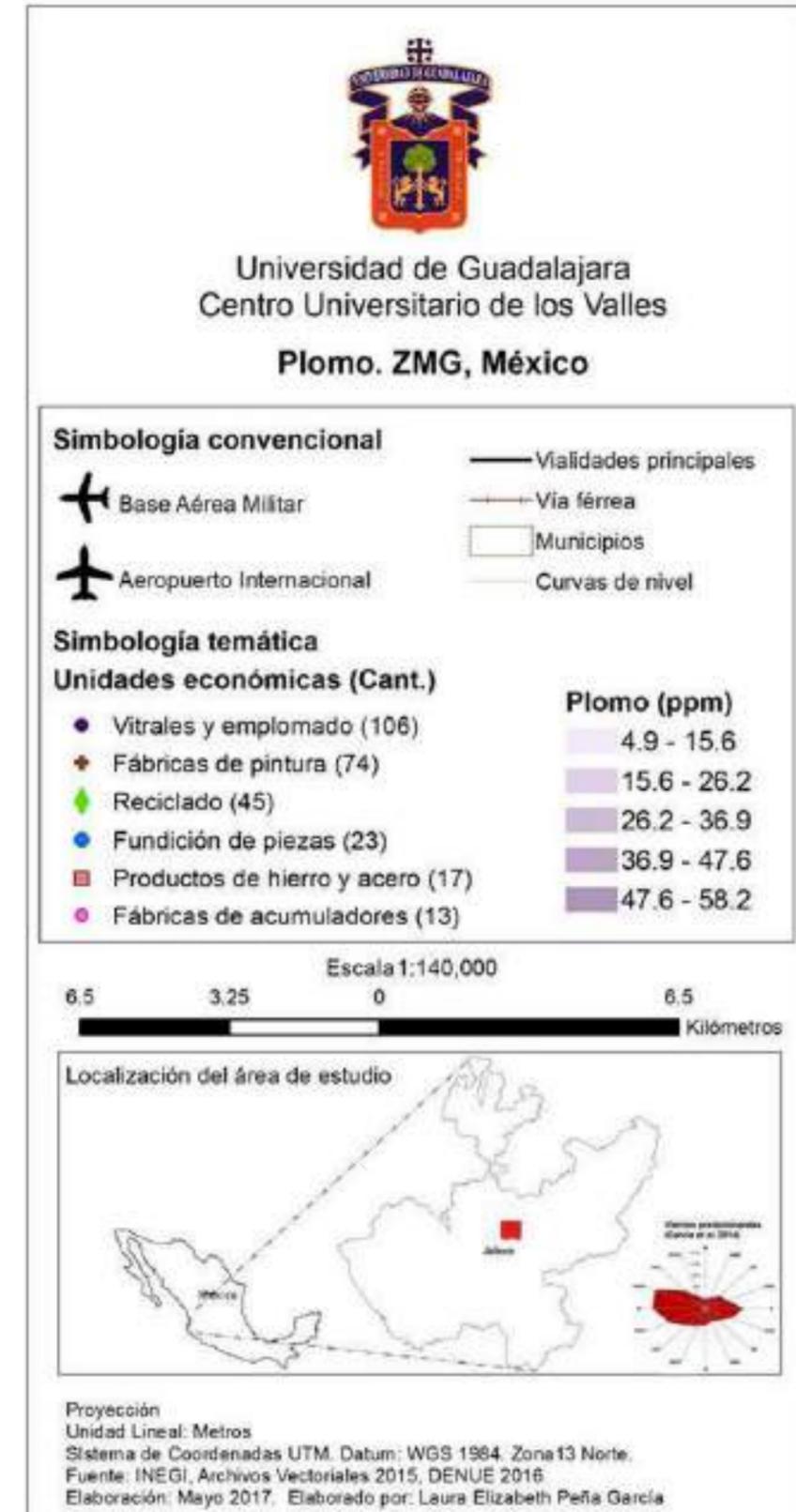
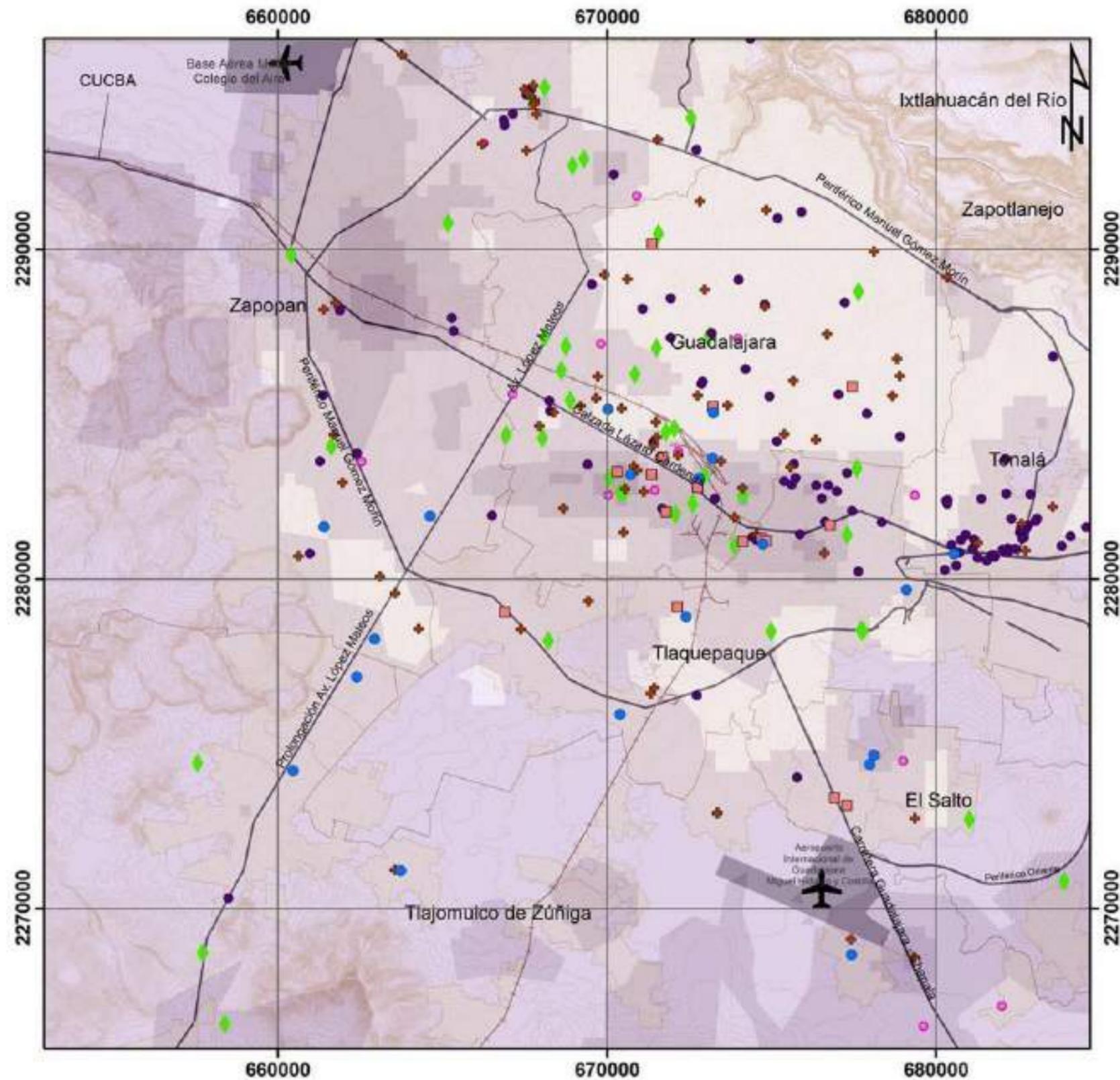


Figura 32. Mapa de distribución de Plomo

Zinc (Zn)

Para la elaboración del mapa se tomaron en cuenta los datos del DENUÉ de:

- moldeo de metales de grueso calibre,
- fundición,
- fabricación de vidrio,
- fabricación de acumuladores y
- fabricación de pinturas.

Las concentraciones mínimas de Zinc fueron entre 0.9 y 16.2 ppm y la máxima entre 62.2 y 77.5 ppm. Los puntos donde se presentaron los niveles más elevados fueron sobre las carreteras de Guadalajara- El Salto, a la altura de la empresa IBM y el otro punto Guadalajara-Chapala a la altura de la calle Revolución. En el resto de la ciudad la zona NE, N y NO presentaron concentraciones máximas de 46.9 ppm (Figura 33).

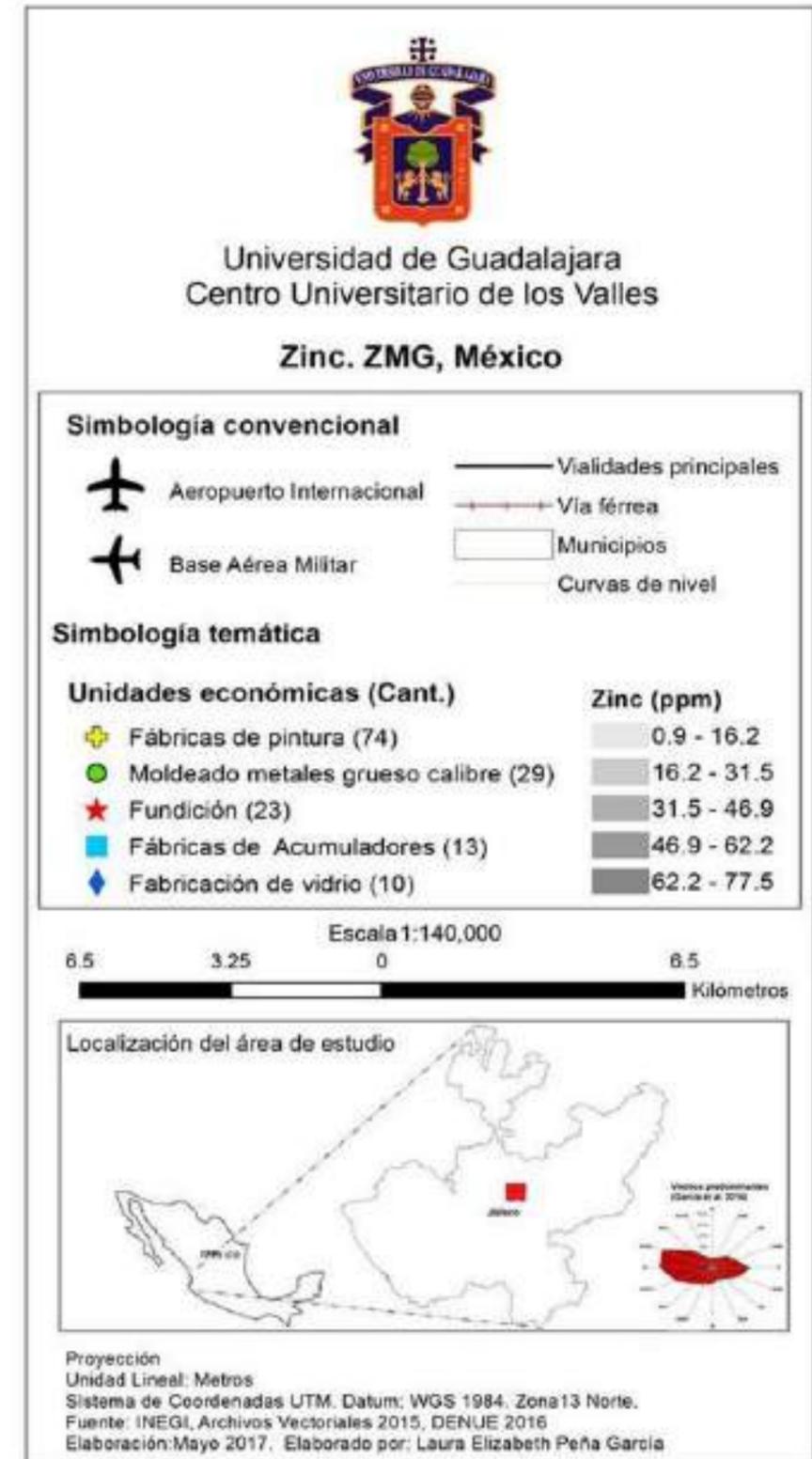
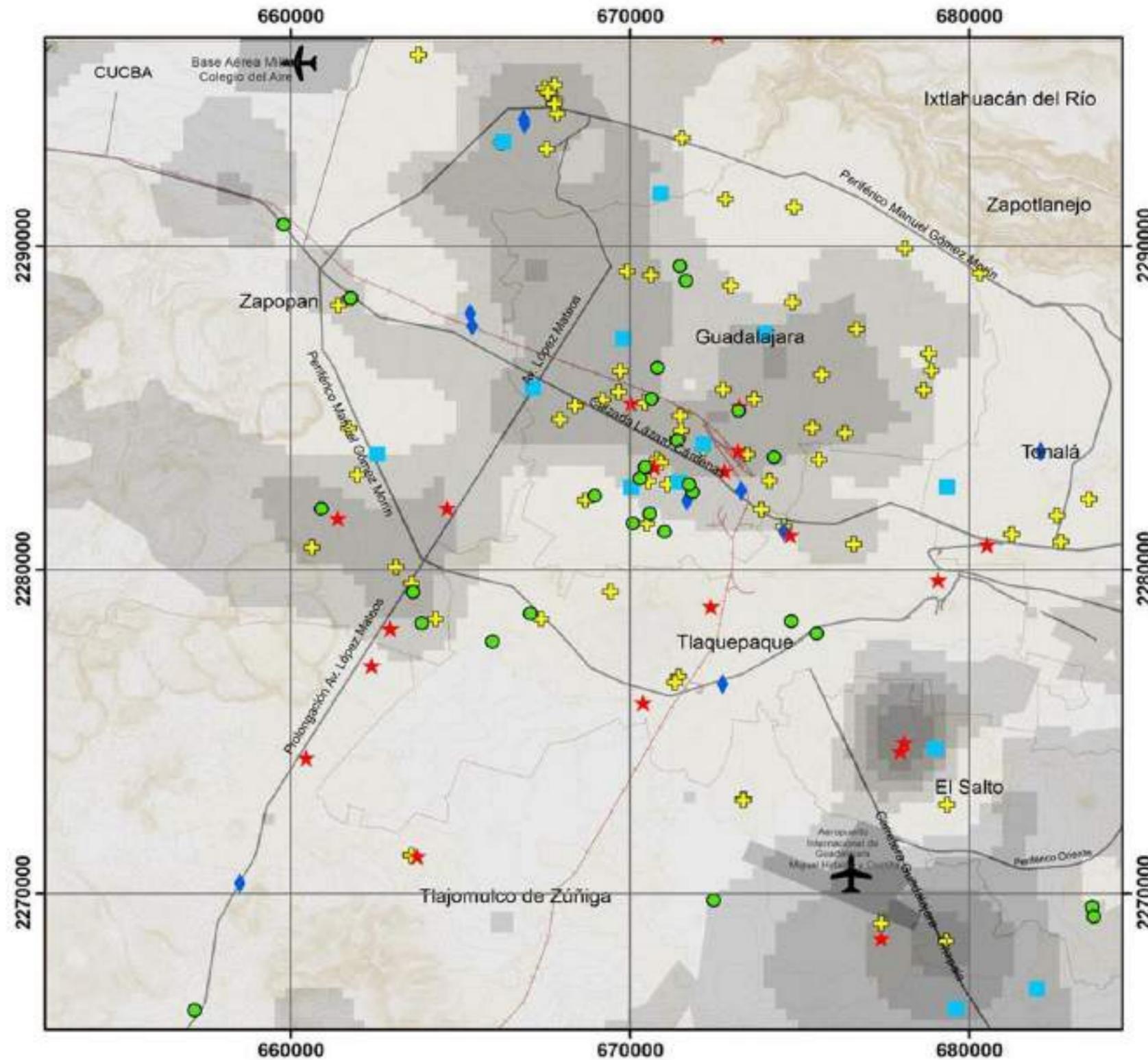


Figura 33. Mapa de distribución de Zinc

4.1.3 Caracterización magnética

Para este análisis seguimos el protocolo propuesto por (Bautista *et al.*, 2014); (Cortés, 2015); (Cejudo *et al.*, 2015) y (Sánchez-Duque *et al.*, 2015). La estadística básica descriptiva de los parámetros magnéticos de los minerales depositados en las hojas de *Ficus benjamina*, se han registrado en el Cuadro 12. El valor mínimo de χ fue de $0.05 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ y el máximo de $23.87 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ sugiriendo la presencia de una gran variedad de minerales magnéticos tales como hematita ($\chi = 1.19\text{-}1.69 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$), goethita ($\chi = 0.35\text{-}1.26 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$) y ferrihidrita ($\chi = 1.4\text{-}2.15 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$) (Bautista *et al.*, 2014). Esta variedad puede asociarse a las características geológicas de la zona que contribuyen a la contaminación ambiental del AMG.

El valor promedio de χ fue de $5.02 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, más alto que el valor obtenido en la Ciudad de México en hojas de plantas ($0.13 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$). El parámetro indica mayor concentración de minerales. Este valor bajo de susceptibilidad puede estar afectado por lluvia, viento o poco tráfico vehicular, entre otros factores que afectan la concentración del mineral (Cejudo *et al.*, 2015).

El valor promedio de $\chi_{\text{af}}\%$ de 8.66% (clase de aumento magnético medio) corresponde a una concentración intermedia de una mezcla de minerales ferrimagnéticos con comportamiento SP de tamaño ultrafino y/o minerales con granos de tamaño grueso ($> 1\mu\text{m}$). Se ha atribuido un origen natural a los granos SP ultrafinos que se aerotransportan por la acción del viento y los granos de tamaño grueso son probablemente originados por actividades humanas (Sánchez-Duque *et al.*, 2015).

La MRIS varió desde 15.12 a $775.04 \text{mAm}^2\text{Kg}^{-1}$, con valor promedio de $193.1 \text{mAm}^2\text{Kg}^{-1}$. Esto indica una gran variabilidad de la concentración de material magnético de baja coercitividad, es decir de minerales ferrimagnéticos. En la ciudad de Mexicali, el parámetro MRIS varió de 1.61 hasta $82.27 \text{mAm}^2\text{Kg}^{-1}$ en polvo urbano (Sánchez-Duque *et al.*, 2015). Los resultados de las medidas magnéticas efectuadas en este estudio son preliminares y las diferencias observadas en otras ciudades sugieren la realización de investigación adicional, para confirmar los datos magnéticos observados en la AMG.

Cuadro 12. Estadística descriptiva para los parámetros magnéticos de las muestras recolectadas

Variables	Unidades	Media	Des. Est.	Mínimo	Máximo
χ	$\mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	5.02	4.74	0.05	23.87
$\chi_{df}\%$	%	8.66	119.69	0.00	60.00
$\text{MRI}_{0.7\text{T}}$	$\text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$	193.31	157.02	15.12	775.04
$\text{MRI}_{0.2\text{T}}$	$\text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$	179.74	147.55	14.19	735.09

El resumen estadístico de los parámetros magnéticos en el que se divide por categorías, como uso de suelo y tipo de vialidad, se observa en el Cuadro 13. Los valores promedio más altos de susceptibilidad magnética másica se dan para uso de suelo industrial ($7.56 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$), mixto ($6.29 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$), y corredor urbano ($6.46 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$), así como en vialidades de zonas agrícolas ($7.20 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$) vías primarias ($6.04 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$) y secundarias ($6.07 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$). También se concluye que hay una diferencia significativa de los valores promedio de las diferentes categorías para uso de suelo y vialidades para $\chi_{df}\%$ y MRIS.

Cuadro 13. Resumen estadístico de los parámetros magnéticos discriminando por categorías de uso de suelo y tipo de vialidad

Factor Categórico							
Uso de suelo	N	χ ($\mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)		$\chi_{df}\%$ %		$\text{MRI}_{0.7\text{T}}$ ($\text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$)	
		ME	DE	ME	DE	ME	DE
Corredor urbano	16	6.46	5.59	-12.69	36.33	202.53	136.50
Equipamiento urbano	10	5.48	2.86	12.04	27.16	195.70	129.24
Habitacional densidad alta	17	5.11	8.65	29.82	252.73	165.40	123.77
Habitacional densidad baja	7	3.29	2.23	-61.54	113.26	145.86	69.32
Industrial	13	7.56	5.47	-3.08	98.18	337.48	280.61
Mixto	41	6.29	6.01	18.96	109.75	184.17	133.49
ND	5	1.86	1.54	73.00	71.73	157.24	140.47
No urbanizable intraurbana	29	5.14	6.11	5.20	40.20	165.80	144.65
Áreas verdes	2	3.25	3.27	-52.50	67.18	187.05	131.79

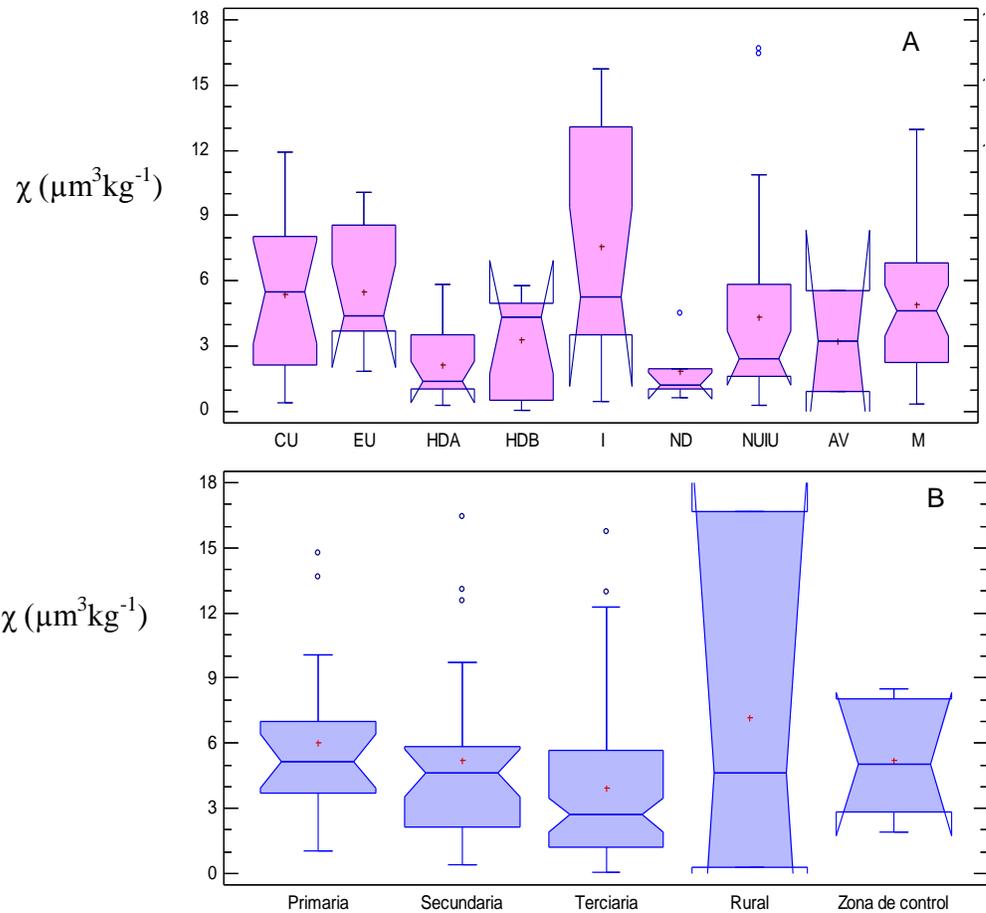
Factor Categórico		χ ($\mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)		$\chi_{d\%}$ %		MRI _{0.7T} ($\text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$)	
Tipo de vialidad	N	ME	DE	ME	DE	ME	DE
Primaria	17	6.04	3.99	11.24	51.65	323.33	196.96
Secundaria	29	6.67	6.65	-14.50	98.73	196.71	159.50
Terciaria	85	5.18	6.09	17.99	134.56	172.22	143.36
Zona agrícola	3	7.20	8.50	-35.42	56.02	141.52	80.81
Control	6	5.23	2.78	-8.64	27.47	142.46	69.92

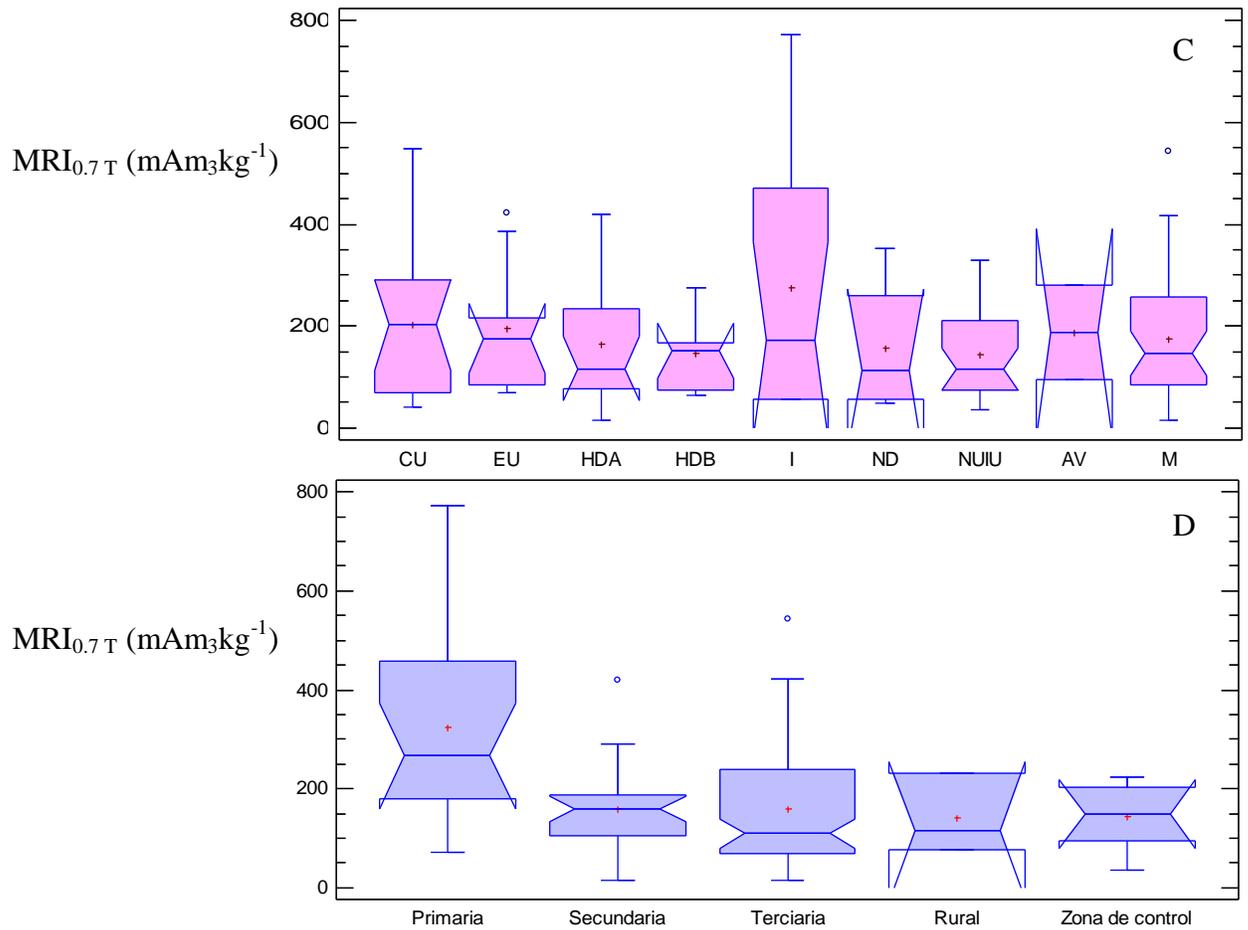
N, número de muestras; ME, media; DE, desviación estándar.

Para una visualización del análisis estadístico se elaboraron diagramas de cajas y bigotes con la finalidad de diferenciar el uso del suelo y tipo de vialidad. Estos presentan variación entre los valores máximos y mínimos de concentración magnética. En ellos se identifican las diferencias y similitudes entre categorías mediante la comparación de sus medianas (Figura 34). En las gráficas se pueden observar los parámetros de χ así como de MRI_{0.7 T}. El primer grupo corresponde al tipo de uso de suelo (A y C); corredor urbano, equipamiento urbano, habitacional densidad alta, habitacional densidad baja, industrial, ND, áreas verdes, no urbanizable intraurbana y mixto. El segundo grupo corresponde al tipo de vialidad (B y D).

Se puede confirmar que para ambos parámetros magnéticos existe una gran dispersión de datos y solo para MRI_{0.7 T}, en el caso de uso de suelo de tipo no definido y no urbanizable intraurbano así como vialidad terciaria y rural, las medianas fueron similares con un nivel de confianza del 95 %. Estas se identifican fácilmente por el estrechamiento de la caja. Resalta la gran dispersión de datos para χ y MRI_{0.7 T} para la zona industrial y vialidad primaria, terciaria y rural. En particular, la zona primaria comprende vialidades como Av. Periférico Manuel Gómez Morín, Av. Lázaro Cárdenas, Av. López Mateos, Carretera a Chapala, Carretera a Nogales, entre otras.

El parámetro magnético $MRI_{0.7T}$ refleja variabilidad de minerales magnéticos de tipo ferrimagnético de baja coercitividad (S_{-200} entre 0.8 y 0.9) producidos por actividades antrópicas, originadas tanto en el punto de muestreo como en sus alrededores cercanos, actividades que tienen una relación específica con el uso de suelo y el tipo de vialidad del sitio de recolección (Cejudo *et al.*, 2015; Garnica *et al.*, 2017).





Los usos de suelo corresponden a: CU (Corredor urbano), EU (Equipamiento urbano), HDA (Habitacional densidad alta), HDB (Habitacional densidad baja), I (Industrial), ND (No definido), NUIU (No urbanizable intraurbana), AV (Áreas verdes) y M (Mixto).

Figura 34. Diagramas de cajas y bigotes para χ y $MRI_{0.7T}$ en función del uso del suelo (A y C) y tipo de vialidad (B y D)

En la Figura 35 se analizaron $MRI_{0.7T}$ y χ para uso de suelo y tipo de vialidad. Se observa en ambas gráficas la baja dispersión de los valores. Ambos presentan una tendencia casi lineal, lo cual nos indica la presencia de portadores de tipo ferrimagnético, como ya se había comentado. También se observan patrones de agrupamiento de sitios según el uso de suelo y tipo de vialidad. Los valores más distantes del origen muestran sitios con mayor concentración magnética. Hay que recordar que en las muestras analizadas mediante SEM a vialidad primaria no mostró altos niveles de partículas. Este resultado pudiera estar determinado por la cantidad de ejemplares analizados con esa característica o bien debido a que la técnica de microscopía es local. Los valores cercanos al origen, de baja concentración magnética, pertenecen a un grupo de muestras que se asocian con: a) categorías de uso de suelo de áreas verdes, uno de ellos en la Sierra la Primavera, el otro en el Parque de la Liberación, b) no urbanizable intraurbana y c) la zona agrícola y de control. Los valores más altos de concentración magnética los observamos en uso de suelo a) industrial, mixto, corredor urbano y b) con vialidades primarias o secundarias.

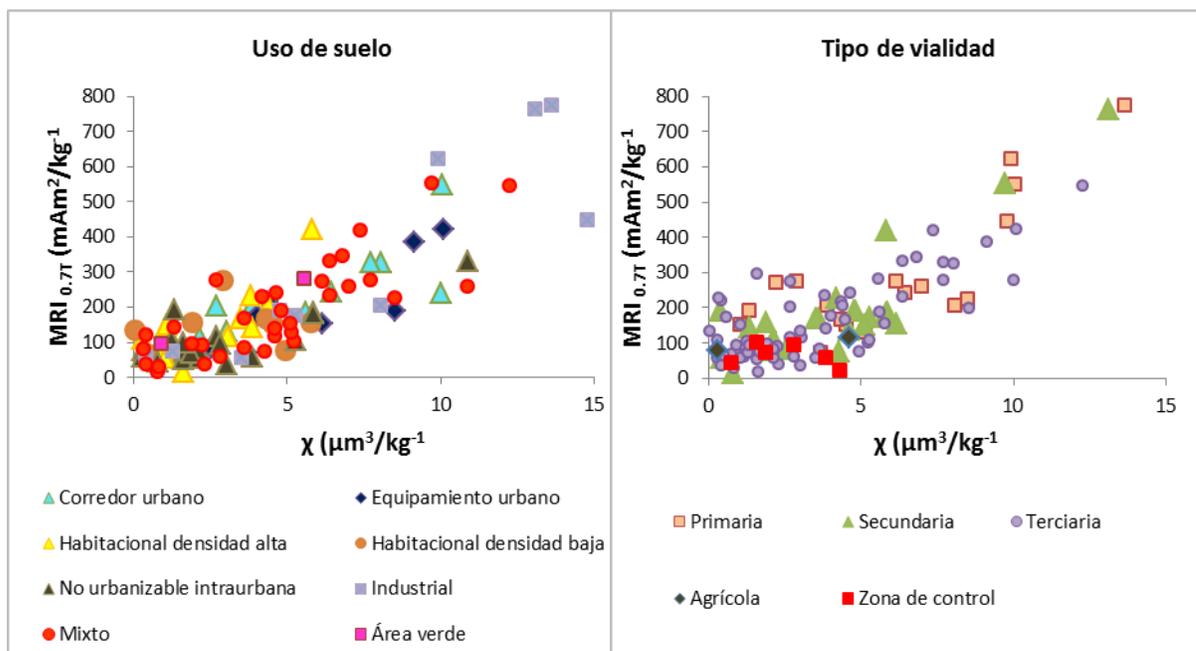


Figura 35. Diagramas de dispersión de $MRI_{0.7T}$ vs χ para tipo de vialidad y uso de suelo

El factor S_{200} permite evaluar el tipo de portador magnético, de baja o alta coercitividad, predominante en las muestras. En el caso de las muestras de hojas de *Ficus benjamina* se observó la presencia de un portador ferrimagnético de baja coercitividad, ya que el valor de

S_{-200} se ubica por arriba de 0.85 para las muestras colectadas (Figura 36). Esta situación ya había sido informada por Aguilar (Aguilar *et.al.*, 2011), donde identificó con algunas muestras la presencia de un portador magnético de menor coercitividad. La presencia de minerales ferrimagnéticos se puede asociar a una combinación de partículas magnéticas originadas por el alto tráfico vehicular (tanto de particulares, servicio público, vehículos de carga pesada) además de la actividad industrial, los cuales generan partículas magnéticas de mayor densidad que, debido a su peso y tamaño, se depositan de manera cercana a la fuente de emisión.

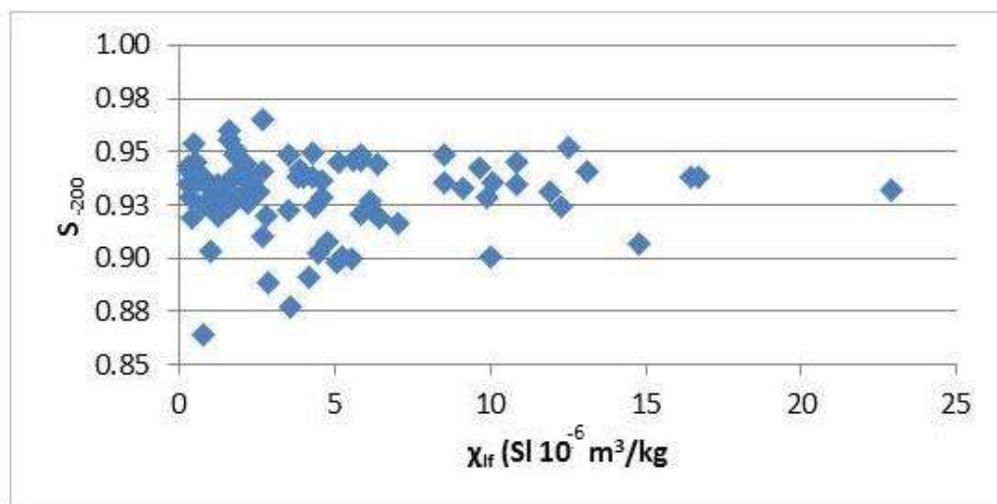


Figura 36. Valor del factor S_{-200} muy cercano a 1, lo cual es un indicador de tener la presencia de un portador magnético de baja coercitividad.

Mediante las técnicas de caracterización magnética y con los mapas geoestadísticos, se logró identificar que prácticamente en toda la superficie de la AMG existe algún nivel de contaminación. Dichos niveles se encuentran definidos mediante clases de aumento magnético (bajo, medio o alto). En las Figuras 37 y 38 se muestran los mapas de χ y $MRI_{0.7T}$ respectivamente, correspondientes con la distribución de partículas magnéticas del AMG. Los mapas con los polígonos de colonias y la población que se encuentra asentada se registran en las Figuras 39 y 40. La capa de colonias se sobrepuso a los mapas de χ y $MRI_{0.7T}$ y se analizaron los polígonos donde se presentó la mayor cantidad de mineral magnético.

En las Figura 37-38 se observan las zonas con mayor carga de minerales magnéticos, como la zona del aeropuerto internacional de Guadalajara Miguel Hidalgo que es la de mayor concentración de los mismos. De ahí continúa sobre carretera a Chapala-Guadalajara hasta

casi el entronque con el periférico, posteriormente, la zona del ferrocarril, la Av. Lázaro Cárdenas. A continuación la zona de la base aérea militar, así como la zona de Tonalá y Tlajomulco de Zúñiga.

A pesar de que los mapas de χ (Figura 37) y $MRI_{0.7T}$ (Figura 38) son parecidos, se encontraron diferencias en cuanto a las áreas de afectación, de tal manera que se elaboraron dos cuadros: en el primero, se encuentran las colonias afectadas por χ (Cuadro 14) y el segundo para $MRI_{0.7T}$ (Cuadro 15).

En el mapa de χ se observan extensas zonas de ingresos o salidas de la ciudad, así como la Av. Lázaro Cárdenas la cual atraviesa la ciudad de Sureste a Noroeste, y en una buena parte de la ciudad va acompañada de la vía férrea, sobre la cual se transporta una gran variedad de sustancias y materiales como alimentos, maquinaria, agroquímicos, productos automotrices, cemento, productos industriales, carbón mineral, coque, asfalto, parafina, diésel, combustóleo, mineral de hierro, concentrados de cobre, arena silícica, arcillas, fluorita y productos químicos, entre muchos otros.

El valor más bajo para χ (muestra 101), se ubicó en la zona Oeste, dentro de la zona urbana, y cercano a la Sierra de La Primavera. La media obtenida es alta si se compara con estudios magnéticos, por ejemplo: la media obtenida en Ciudad de México que es una ciudad de mayores dimensiones, es de $0.15 \mu\text{m}^3/\text{kg}$ (Cejudo *et al.*, 2013). En el caso de la Ciudad de Mexicali, una ciudad que transitó de la agricultura a la industria y el turismo, fue de $1.55 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ (Sánchez-Duque *et al.*, 2015).

El polígono que presentó mayor concentración de partículas magnéticas fue el que corresponde al Aeropuerto Internacional “Miguel Hidalgo y Costilla” y sus inmediaciones, así como el polígono donde se ubica la Base Aérea Militar.

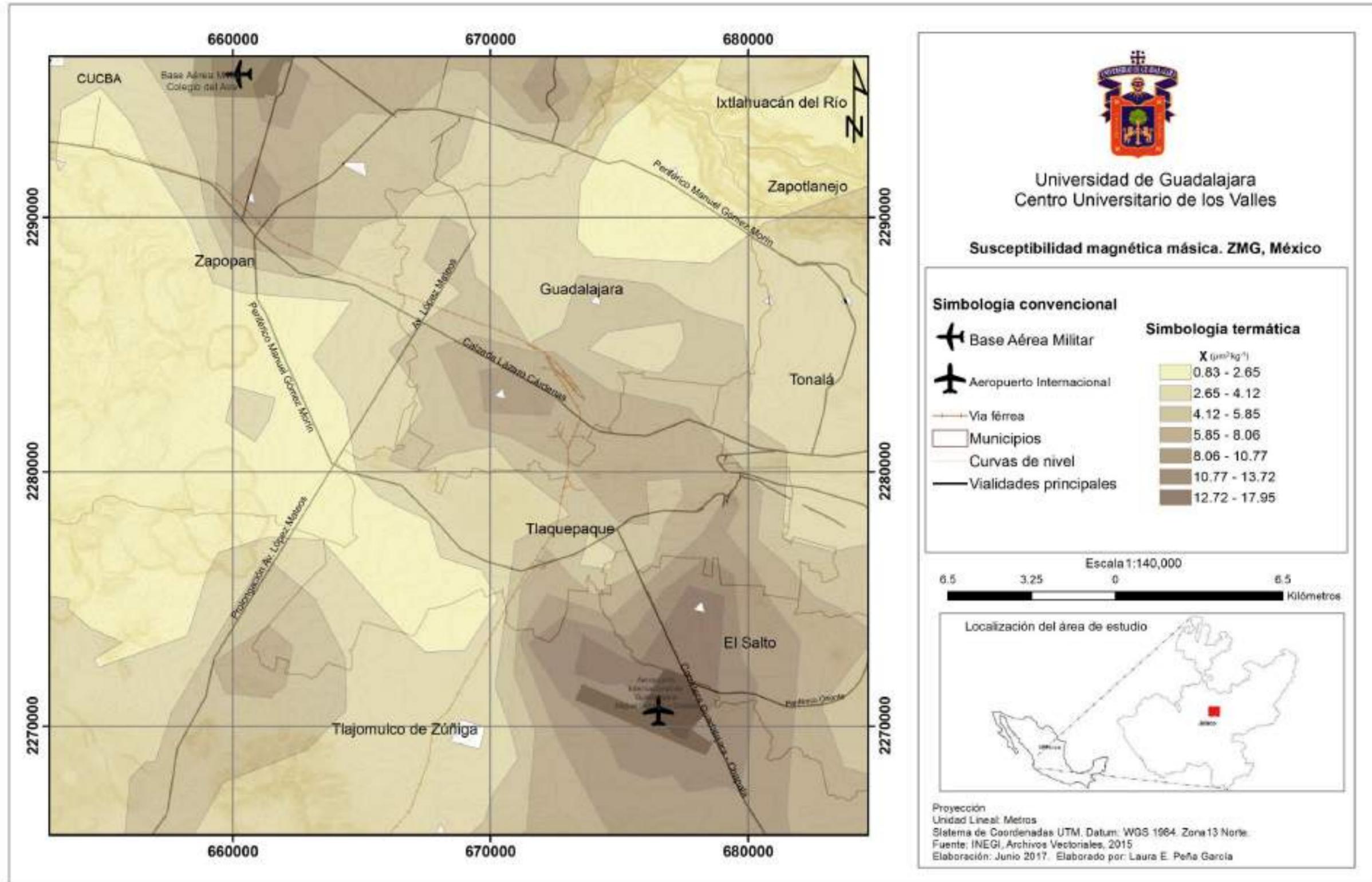


Figura 37. Mapa de χ que presenta las zonas del AMG con la distribución de las partículas magnéticas y las áreas con mayor presencia de las mismas

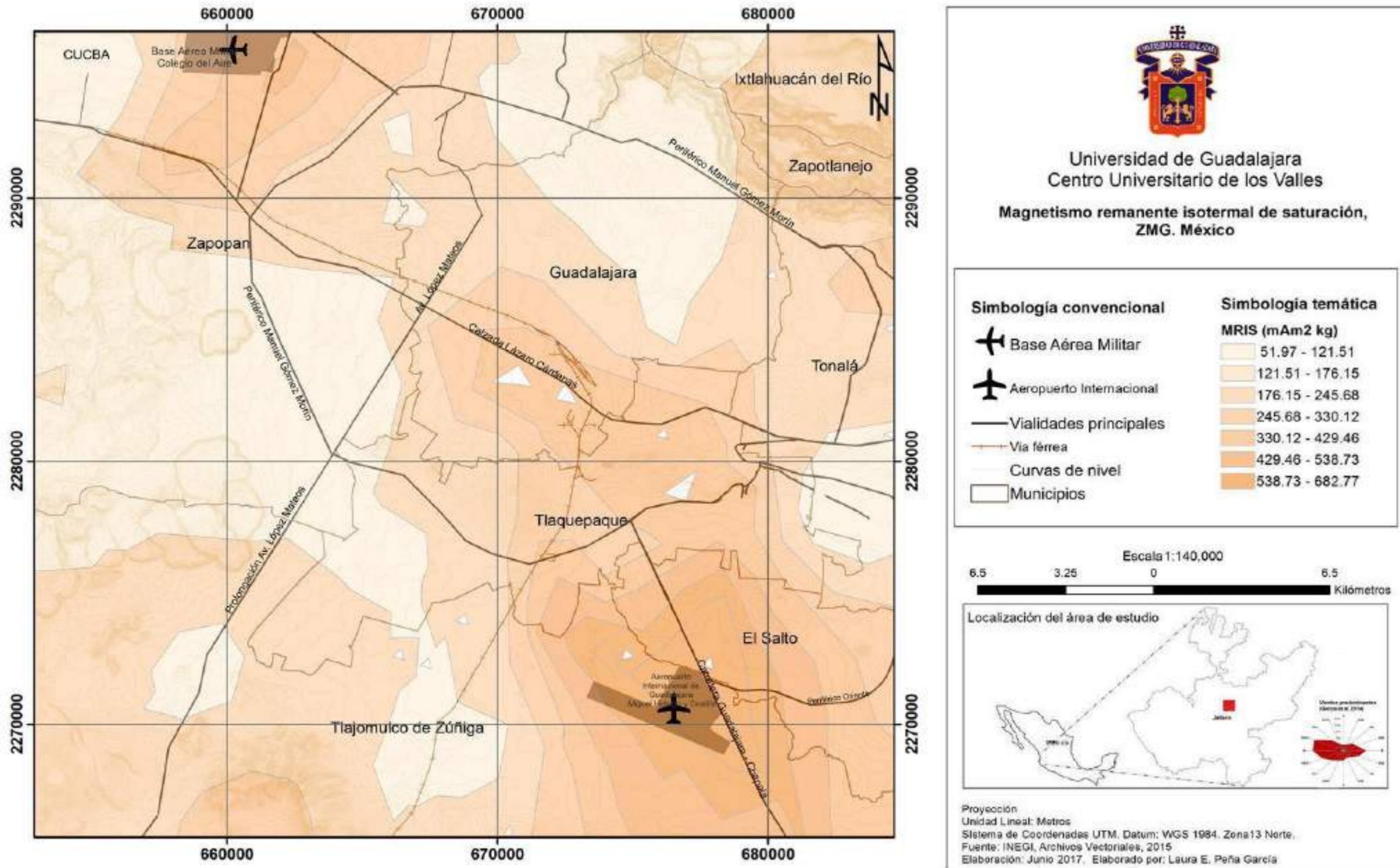


Figura 38. Mapa de MRIS que presenta las zonas del AMG con la distribución de las partículas magnéticas y las áreas con mayor presencia de las mismas

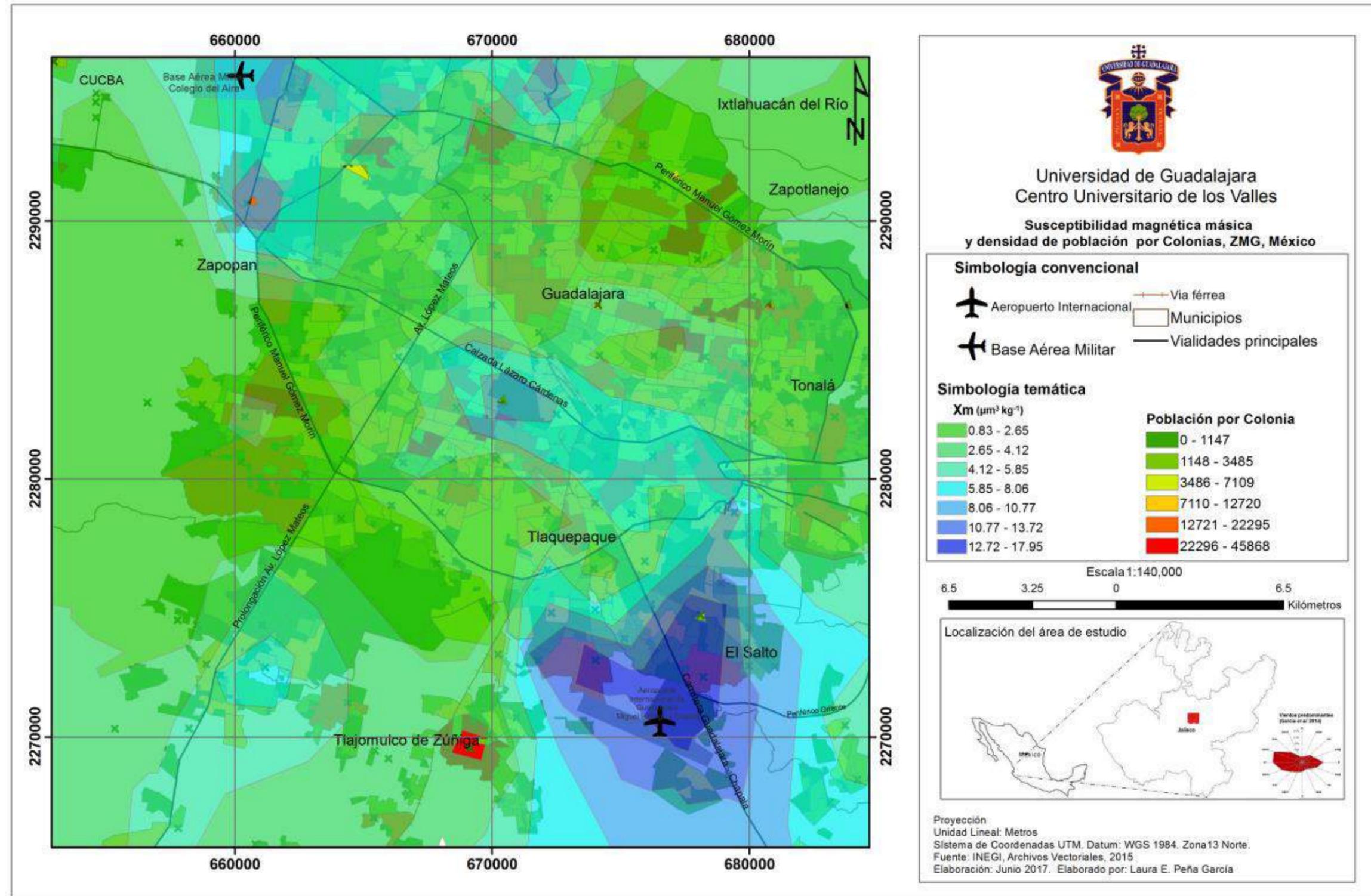


Figura 39. Mapa con el resultado obtenido de análisis de χ al cual se le sobrepuso la información de colonias y densidad de población de las mismas (INEGI 2017)

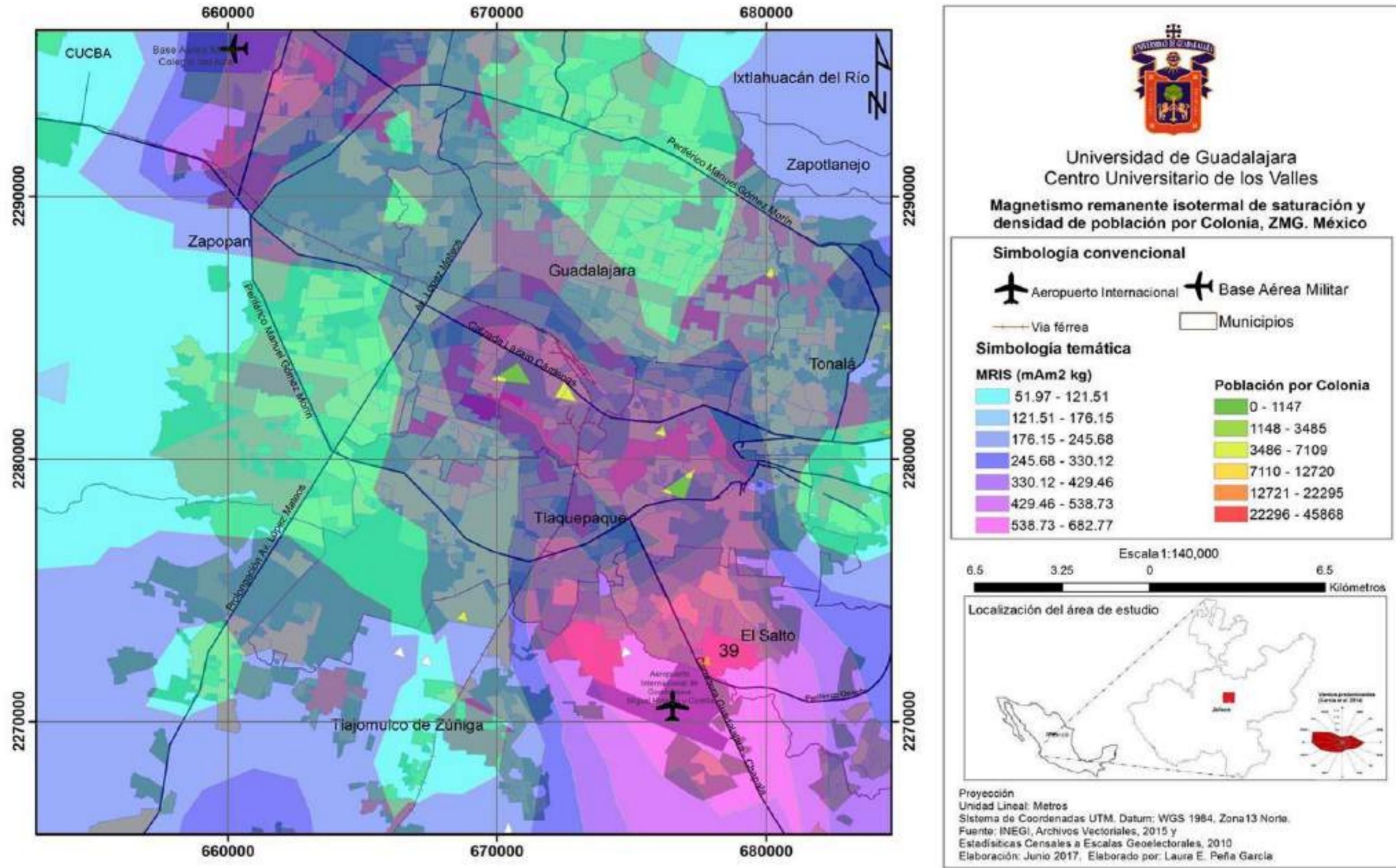


Figura 40. Mapa con el resultado obtenido del análisis de MRIS al cual se le sobrepuso la información de colonias y densidad de población de las mismas (INEGI 2017)

De acuerdo con el mapa de χ (Figura 39) y el Cuadro 14, observamos que fueron 122 colonias afectadas, las cuales cubren un área de 142 km². La población total que la habita es de 328,204 habitantes.

Cuadro 14. Densidad de población por colonia para χ

NOMBRE	COLONIAS	ÁREA km²	POBTOT	POBMAS	POBFEM
Polígono 1	62	43.2	136,717	67,981	67,326
Polígono 2	6	4.8	16,862	7,822	8,982
Polígono 3	4	6.1	20,622	10,208	10,378
Polígono 4	23	17.5	44,932	22,208	22,502
Polígono 5	9	58.7	72,773	36,217	36,485
Polígono 6	1	1.7	955	482	473
Polígono 7	17	10.1	35,343	17,412	17,776
TOTAL	122	142	328,204	162,330	163,922

Respecto al mapa de MRI_{0.7T} (Figura 40) la densidad de población afectada fue de 774,954 habitantes en 243 colonias, con una superficie de 146.9 km² (Cuadro 15).

Cuadro 15. Colonias afectadas por partículas magnéticas para MRI_{0.7T}

NOMBRE	COLONIAS	ÁREA	POBTOT	POBMAS	POBFEM
Polígono 1	74	46.7	136,717	67,981	67,326
Polígono 2	6	4.8	16,862	7,822	8,982
Polígono 3	98	53.7	423,778	206,340	216,633
Polígono 4	65	41.8	197,597	96,390	100,838
TOTAL	243	146.9	774,954	378,533	393,779

En el Cuadro 16 se presentan las colonias afectadas y los municipios a los que corresponden. Los municipios de El Salto y Zapopan son los que tienen la mayor cifra de asentamientos.

Cuadro 16. Colonias afectadas y municipios

Municipios	Colonias
El Salto	101
Zapopan	101
San Pedro Tlaquepaque	88
Guadalajara	44
Tlajomulco de Zúñiga	40
Tonalá	1
San Pedro Tlaquepaque - Tlajomulco de Zúñiga	4
San Pedro Tlaquepaque - El Salto	2
Tlajomulco de Zúñiga - San Pedro Tlaquepaque - El Salto	2
Guadalajara - San Pedro Tlaquepaque	2
Tlajomulco de Zúñiga - El Salto	1
Total de colonias	386

Además de que en el AMG se encuentran minerales ferrimagnéticos (FM) de manera antrópica, hay que agregar que ellos existen en forma natural. Esto se deduce de la geología de la zona (Figura 41).

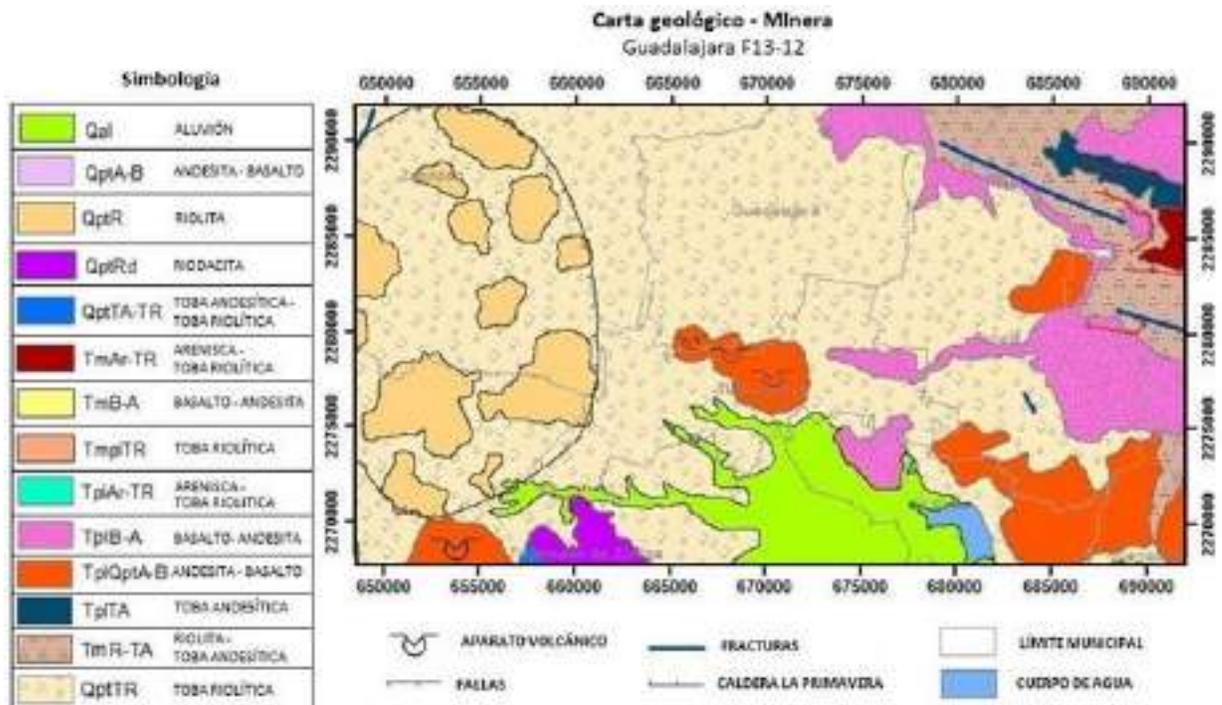


Figura 41. Geología de la zona de estudio (Adaptado de: Maciel *et al.*, 1992)

El área donde se ubica el AMG (Figura 41) tiene un tipo de roca y edad específica. Regionalmente el origen de las mismas está asociado principalmente a la actividad volcánica y tectónicamente, se considera activa. En menor proporción hay material que ha sido degradado de su sitio original y se ha quedado en el mismo sitio o ha sido transportado hacia partes más bajas y se han aglutinado como rocas aluviales (Qal).

Si analizamos la carta geológica del área veremos que, además de las rocas riolitas y tobas riolíticas que contienen minerales predominantemente paramagnéticos, encontraremos rocas con bajo contenido de minerales ferromagnesianos al Oeste de la ciudad, en la Sierra de La Primavera. En la parte central de la carta se pueden encontrar rocas con alto contenido de minerales ferromagnesianos, como al menos en tres pequeños aparatos volcánicos de origen andesita-basalto, así como en el Este y Sur de la carta cuyo material es basalto (B) o andesita (A). En la zona Noreste se ubica el Río Santiago con rocas FM. Lo anterior justifica la presencia natural de dichos minerales en la zona (Garnica *et al.*, 2017).

El AMG se ha edificado sobre rocas de origen volcánico de diferentes composiciones químicas. Las más recientes, asociadas a la emisión de tobas ácidas de caída aérea y flujo, provenientes de la Sierra de La Primavera (SLP), correspondiente al Cuaternario pleistoceno – holoceno (Qpt) y cuya edad varía de 140,000 a 27,000 años. Estas rocas cubren a otras más antiguas, de mayor espesor (las zonas cercanas a la SLP con un espesor aproximado de 300 m) (Maciel *et al.*, 2015) y con menor profundidad (hasta prácticamente desaparecer) hacia la zona de la barranca del Río Grande de Santiago. Proviene de edificios volcánicos más antiguos como los volcanes El Cuatro, Gachupín y El Tesoro. Son rocas emitidas hace aproximadamente un millón de años (Ma), es decir en el Terciario plioceno (Tpl), cerca de 8.7 a 13 Ma y corresponden principalmente a la andesita (A) el basalto (B) del mioceno (Tm) (B y A) emitidas por fisuras o calderas que no son apreciables en la actualidad (Maciel *et al.*, 2015).

Los diferentes volcanes y rocas que los conforman generan respuestas magnéticas diferentes. Hacia el occidente dan respuesta los domos de La Primavera (riolita (R) y tobas de caída aérea (QptR) material muy usado para la construcción. Estos centros volcánicos emitieron ceniza que se dispersó principalmente hacia la parte central del área de estudio, mientras que en la parte oriental y hacia el Sur existen rocas y edificios volcánicos, como el Cerro del Cuatro

(basalto (TplQptA-B) y sus volcanes asociados, Gachupín y C. el Tesoro (de respuesta ferromagnética, cuyo material es usado para la construcción), y el muy distante V. Colima (igualmente FM), que se considera activo y cuyas cenizas han llegado al AMG.

En la región, debido a la actividad volcánica se ha formado una corteza de gran espesor formada por rocas volcánicas FM (QptRD, Tpl B-A y TmR-TA) existente debajo de la capa más reciente, que son los productos de la Sierra de la Primavera (QptR). Basta con bajar al lecho del Río Grande de Santiago para ver que todo lo que aflora es volcánico, son rocas más antiguas FM, que ahora han quedado expuestas a la superficie, con una edad aproximada de 5 Ma (González de Buitrago, 2010; Bello, 2001).

Dentro de las rocas volcánicas, tenemos los basaltos y las andesitas que son lavas que al momento de su emisión son muy fluidas y forman edificios volcánicos en forma de conos, como lo es el cerro de El Cuatro y Gachupín entre otros, mientras que otras lavas como las R, son muy ácidas y viscosas y forman domos, como el C. Colli, El Chapulín y El Tule.

Considerando que la última emisión de tobas provenientes de la SLP cubrió toda la zona donde se ha expandido la mancha urbana, es poco factible apreciar superficialmente las rocas existentes en el subsuelo. Esto se da solo si la paleotopografía es abrupta, como en el caso del C. del Cuatro, Gachupín, Cofre de Tesoro y otros pequeños aparatos volcánicos mono genéticos, que no fueron cubiertas por esta emisión de cenizas, o bien si hay fallas en esta área, como las que se observan en Río Santiago o hacia la zona de Tesistán.

El último depósito de rocas volcánicas FM sobre la zona de estudio son las cenizas del volcán de Colima (andesitas básicas) que históricamente en 1913 y 1918 llegaron hasta Coahuila, y la Ciudad de México, pasando por el AMG y es posible que se muestren en algunas de las partículas encontradas en este estudio.

Es necesario considerar que todas las rocas mencionadas son usadas para la construcción de unidades habitacionales, fábricas y las vías terrestres de comunicación por lo que la disgregación y dispersión de los minerales que forman las rocas como pequeñas partículas seguramente también se ha registrado en el estudio.

4.2 Suelo

4.2.1 Análisis elemental por fluorescencia de rayos X

Para el análisis XRF se trabajó con 69 muestras. En total se detectaron 21 elementos, sin embargo, en ningún sitio se encontraron todos ellos. En el 100 % de las muestras se observó la presencia de K, Ca, Ti, Ni, Cr, Mn, Fe, Zn y Os (elementos representativos). En el 99 % se identificó la presencia de V (vanadio) y en el 97% de ellas Co, Re y Cu. Con menor frecuencia se encontraron elementos como Br (1%), Nd y La (4%), Ga (13%), As (22%) y metales pesados como Pb (26%). (Figura 42).

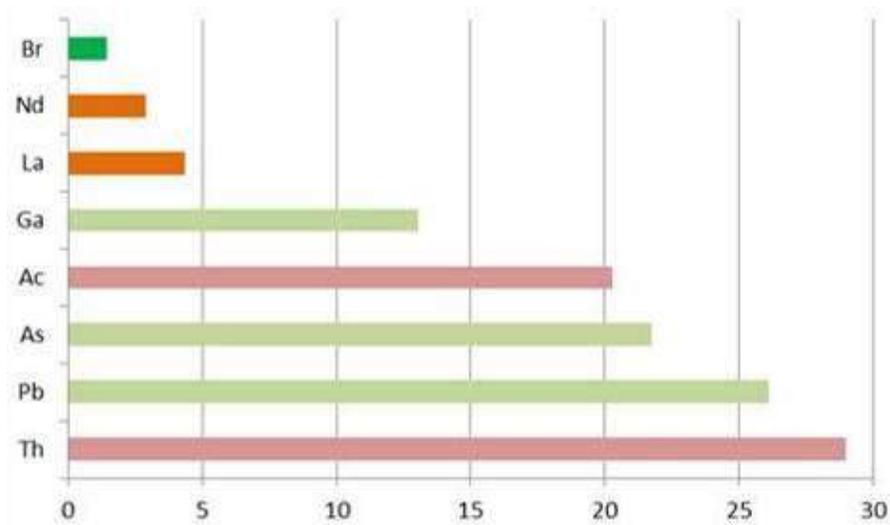


Figura 42. Elementos en menor proporción observados en muestras de XRF (%)

En la Figura 43 se han registrado los diferentes sitios de muestreo. El Br se identificó solo en la muestra 136. Las muestras 44, 57, 43, 30, 16, 15, 114, 186, 185, 171, 116, 143, 129, 130, CU1, CU5, 139, 62 y 76 además de los elementos representativos identificados, tuvieron presencia de Th, elemento de la serie de los actínidos, el cual pertenece a la familia de las sustancias radiactivas. En los puntos 157, 172, 142, 120, 121, 122, 150, 149, CU2, CU6, 109, 111, 123, 138, 152, 153, 63 y 66 se identificó Pb, además de los elementos representativos. En las muestras 185, 129, 120, 121, 122, 150, 149, CU2, CU6, 109, 111, 123, 152, 153 y 63 se identificó la presencia de As. En los lugares 59, 157, 172, 142, 120, 121, 122, 150, 123, 138, 139, 152, 153 y 63 se reveló el elemento metálico radiactivo Ac. Finalmente, en los sitios

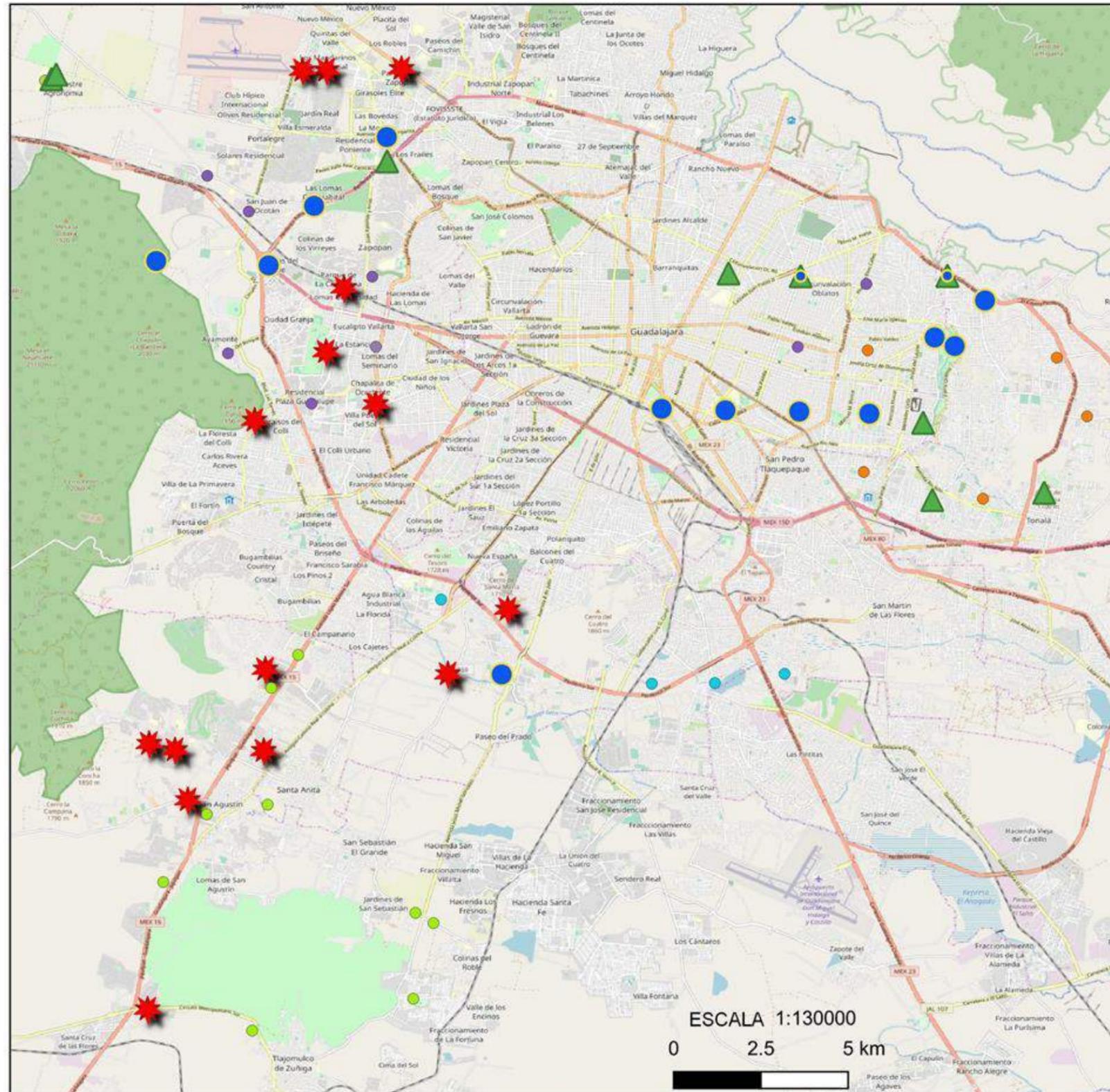
CU1, CU2 y 109 se detectó la presencia de La, del grupo de los lantánidos, también llamadas “tierras raras” ya que se encuentran en forma de óxidos y finalmente, en los sitios 109 y 126, se identificó Nd.

En el análisis de XRF destaca la presencia de elementos como Ga, La, Nd, así como Os, Re, Cr y As, los cuales son muy tóxicos, así como de los elementos radiactivos Th y Ac. El Ga se identificó principalmente al oriente del AMG. Se obtiene en pequeñas cantidades a partir de minerales como el Al y el Zn. Entre sus aplicaciones se encuentra la construcción de circuitos integrados y dispositivos optoelectrónicos (relacionados con la luz) como diodos láser y LED para fabricar las pantallas planas (EcuRed 2018b). El lantano fue identificado en tres sitios. Dentro de los usos que se le puede dar a este elemento están las lámparas fluorescentes, lámparas ahorradoras de energías, televisores y vidrios (EcuRed 2018b). El Nd fue identificado en dos sitios y entre sus aplicaciones se encuentra la elaboración anteojos protectores para soldar y sopladores de vidrio (EcuRed 2018b). El Os y Re se emplean comúnmente en aleaciones, pero sus óxidos son altamente tóxicos. Por ejemplo, el tetraóxido de osmio (OsO_4) es un compuesto muy venenoso, soluble en agua y en concentraciones en el aire tan bajas como 10^{-7} g/m^3 pueden provocar congestión pulmonar, daños cutáneos, y graves daños oculares (<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/os.htm>). Similarmente Cr y As son altamente tóxicos y pueden estar presentes en el agua, tierra y aire.

El elemento actinio fue identificado en 14 sitios al oriente y occidente del AMG. Su aplicación conocida es en medicina para la producción de radioterapia y como material semiconductor (EcuRed 2018a). Similarmente el Th fue identificado en 19 sitios al occidente y región Sur occidental del AMG. Algunas de las aplicaciones que tiene son en la fabricación de lámparas eléctricas y para la fabricación de electrodos especiales de soldadura, entre otros (EcuRed 2018b). También se ha informado de la presencia de elementos radiactivos como el Th de forma natural en la corteza terrestre, rocas, suelo, sedimentos, agua y algas (Isinkaye *et al.*, 2015; Omale *et al.*, 2014). Además, el decaimiento de Th puede dar origen a Ac. Su concentración en el medio ambiente depende de la geología y condiciones geográficas (Isinkaye *et al.*, 2015). En particular, los radionúclidos en la roca y el suelo pueden acumularse en los sedimentos y disolverse en el agua potable, lo que puede conducir a un riesgo elevado en la salud humana. En consecuencia, ya que las radiaciones emitidas por Th y

Ac encontradas en suelo pueden causar cáncer y defectos de nacimiento de las personas, es recomendable una investigación exhaustiva y periódica para comprobar la presencia de los elementos radiactivos, así como su distribución espacial, concentración y población en riesgo. De la misma forma, con otros metales poco comunes como Os, Re, Nd, La, entre otros.

En general, los elementos identificados por XRF se encuentran distribuidos en amplias zonas del AMG (Figura 43) y aunque probablemente muchos de ellos tienen un origen natural, la interferencia humana por actividades industriales, puede causar emisión de grandes cantidades de estos contaminantes que se dispersarán en el ambiente, provocando riesgos en la salud humana y en las plantas.



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de los Valles



Muestras de suelo analizadas por FRX

- | | | | |
|---------|---------|---------|--------|
| ● E-153 | ▲ CU-2 | ● B-130 | ● A-32 |
| ● E-152 | ● CU-1 | ★ B-129 | ● A-31 |
| ▲ E-152 | ● C-151 | ● B-128 | ★ A-30 |
| ● E-140 | ● C-150 | ★ B-116 | ● A-29 |
| ● E-139 | ▲ C-150 | ● B-115 | ● A-18 |
| ● E-138 | ▲ C-149 | ★ B-114 | ● A-17 |
| ● E-137 | ● C-136 | ● B-172 | ★ A-16 |
| ● E-126 | ● C-122 | ▲ B-158 | ★ A-15 |
| ▲ E-124 | ● C-121 | ● B-157 | ● A-2 |
| ● E-123 | ● C-120 | ● B-142 | ★ G-76 |
| ▲ E-112 | ★ B-186 | ● A-60 | ● G-75 |
| ● E-111 | ★ B-185 | ● A-59 | ● G-66 |
| ▲ E-110 | ★ B-171 | ● A-58 | ● G-65 |
| ● E-109 | ● B-170 | ★ A-57 | ● G-64 |
| ● E-100 | ● B-156 | ● A-46 | ● G-63 |
| ● E-153 | ● B-144 | ★ A-44 | ★ G-62 |
| ▲ E-152 | ★ B-143 | ★ A-43 | |
| ▲ CU-4 | | | |

Simbología

- | | |
|-----------|-----------|
| ★ Torio | ▲ Galio |
| ● Actinio | ● Muestra |

Elaborado por Laura Elizabeth Peña García
Enero 2018

Figura 43. Localización de los puntos de muestreo analizados por XRF. Se indica los puntos donde se detectó Torio, Actinio y Galio (La letra que se antepone al número de los sitios identifica el grupo que levantó las muestras)

4.3 Polvo urbano

Se levantaron 150 muestras de polvo urbano del AMG. Con los datos obtenidos se hizo la interpretación geoestadística y posteriormente se realizó el mapa donde se observan las zonas de la ciudad con mayor densidad de polvo urbano. En el Cuadro 17 se proporcionan los valores mínimo y máximo de polvo urbano recolectado en g/m^2 , así como el promedio.

Cuadro 17. Resumen estadístico de 150 puntos diferentes del AMG de polvo urbano

Descriptivos	Valores (g/m^2)
Promedio	6.79
Desviación estándar	± 4.80
Muestra con menor peso	1.7
Muestra de mayor peso	26.58

En la Figura 44 se presenta un histograma que muestra el peso de las 150 muestras de polvo que se colectaron en un área de 1 m^2 de los diferentes puntos del AMG. Se observa que aproximadamente el 58 % de las muestras tiene un peso alrededor de los 5 g/m^2 , continuando con las muestras que pesaron entre 1.7 y 7.5 g/m^2 , el valor promedio que se obtuvo fue de 6.79 g/m^2 .

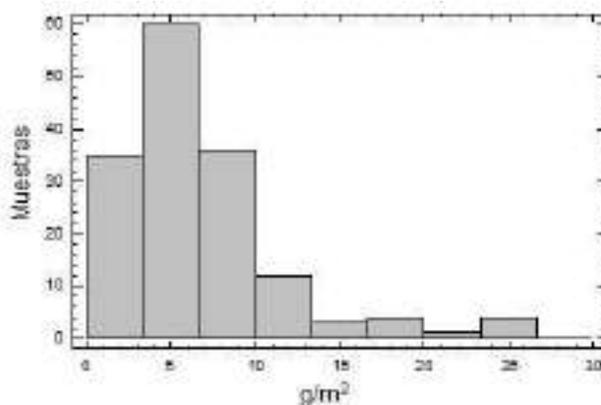


Figura 44. Peso de muestras de polvo urbano

Se sobrepuso al mapa de polvo urbano la capa de colonias y se analizaron los polígonos donde se presentó la mayor cantidad, identificándose por números (Figura 45). Esto nos permitió conocer el área y la población que se encuentra ahí asentada.

Se ubicaron tres zonas que destacan por la mayor concentración de polvo ($15\text{-}19 \text{ g/m}^2$). La primera se sitúa al Noroeste del municipio de Zapopan dentro del polígono 2, área en color

naranja (Figura 45). Dicha área se encuentra integrada por las colonias Colegio del Aire con 1,215 habitantes

Otras colonias dentro del polígono dos comprenden Viveros del Valle con 916 habitantes, Flores del Valle con 555 habitantes, Rinconada del Aire 676 habitantes, Jardín Real con 8,019 habitantes, la Base Aérea Militar No. 5 con 2,967 habitantes, estas, pertenecientes al municipio de Zapopan. En la segunda área (polígono 1, áreas en color naranja) se identificaron tres puntos críticos donde se encuentran asentadas las colonias Las Liebres. En ellas habita una población de 9,014 habitantes, en el municipio de San Pedro Tlaquepaque, al Sureste de la Av. Periférico Manuel Gómez Morín.

Otros sitios que se encuentran dentro del intervalo promedio de 15-19 g/m², abarcan 51 colonias (polígono 1); las cuales cubren un área de 31,565 km². Dichas colonias son: Artesanos con 7,838 habitantes, El Órgano con 3,686 habitantes, Alfredo Barba con 3,720 habitantes, La Piedrera con 426 habitantes, Arroyo Las Flores con 5,749 habitantes, Jardines de Santa María con 5,749, todas en el municipio de San Pedro Tlaquepaque. Las más densamente pobladas son: El Vergel con 20,300 habitantes, El Tapatío 15,426, FOVISSSTE Miravalle 13,635, Las Juntas 10,774, Lomas del Cuatro 9,436, El Campesino 8,551, Centro 8,059, Artesanos 7,838, Cerro del Cuatro 7,431, Miravalle 6,301, Lomas del Tapatío 6,234, Felipe Ángeles 5,745, La Duraznera 5,037 habitantes. El resto, con población menor a 4,578 habitantes. De las colonias antes mencionadas, 46 pertenecen al municipio de San Pedro Tlaquepaque, tres a El Salto, una que comparte San Pedro Tlaquepaque y Guadalajara y una que comparte San Pedro Tlaquepaque y El Salto.

En la zona aledaña al polígono uno (Figura 45), se encuentra el Aeropuerto Internacional “Miguel Hidalgo y Costilla” donde se encuentra la mayor cantidad de ladrilleras (831), tres cementeras, cinco bancos de material geológico (dos de ellos de roca caliza) (INEGI, 2018). Son 68 colonias, de las cuales 39 pertenecen a El Salto, 11 a San Pedro Tlaquepaque, 7 a Tonalá, seis a Tlajomulco de Zúñiga, cuatro a San Pedro Tlaquepaque y Tonalá y una a Tlajomulco de Zúñiga y El Salto. La superficie es de 37,305 km², la población total que ahí habita es de 147,437 habitantes. La zona centro de la ciudad también colinda con el polígono uno. Aquí se encuentran 48 colonias, con un área de 24,216 km², y 249,714 habitantes.

Cuarenta y nueve de estas colonias pertenecen al municipio de Guadalajara y 18 a San Pedro Tlaquepaque.

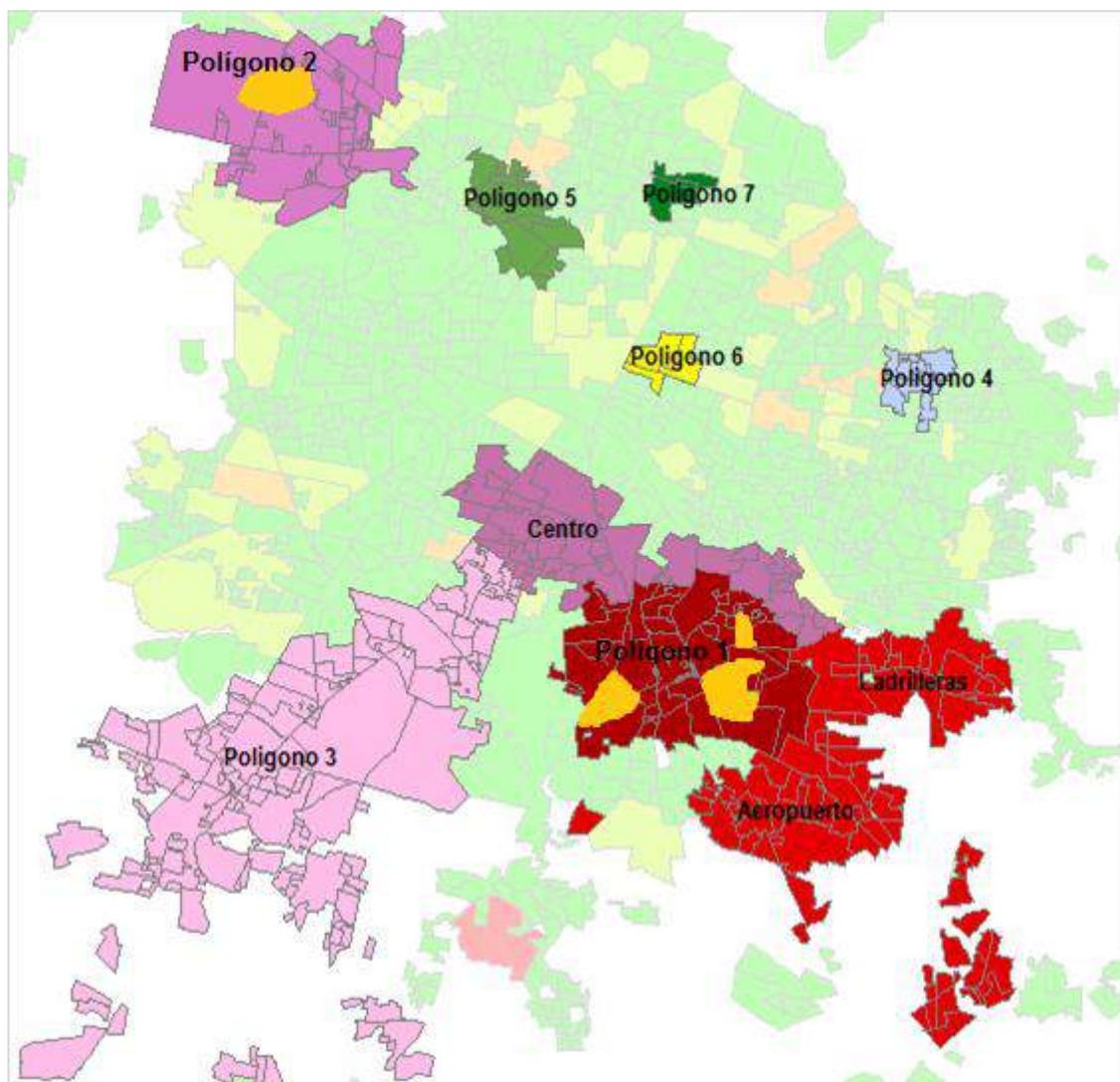


Figura 45. Polígonos de colonias afectadas por polvo urbano

Como ya se comentó, un área de alta densidad de polvo, entre 15 y 19 g/m^2 , se ubica al Noroeste de la ciudad (polígono 2, Figura 45), cerca de la Base Aérea Militar Colegio del Aire. En este polígono se ubican 49 colonias, con una población total de 110,551 habitantes. Las colonias con mayor densidad de población son: Santa Margarita 23,051, Jardines del Valle 19,423, Santa Margarita Residencial 8,200, Valle Real 6,869, Parques de Zapopan 5,073 habitantes, del municipio de Zapopan. Respecto a la zona Suroeste del AMG (polígono 3, Figura 45), dentro del municipio de Tlajomulco de Zúñiga se identificó densidad de polvo

entre 6 y 8 g/m². Las colonias mayormente pobladas son San Sebastián El Grande 16,079, Lomas del Sur 14,616, San Agustín 12,173, Lomas de San Agustín 11,836, Santa Anita 10,994, Lázaro Cárdenas 10,485, Santa Cruz de Las Flores 9,558, El Carmen 6,854, Palmira 6,793, Tulipanes 6,293 y Nueva Galicia con 5,045 habitantes. En la zona Este de la ciudad se encontró un pequeño punto (polígono 4, Figura 45) con peso estimado entre 12 y 14 g/m². En este sitio se encontraron nueve colonias con una población total de 24,095 habitantes. La colonia más densamente poblada fue Alamedas de Zalatitisán con 14,117 habitantes. Posteriormente se ubicó el polígono 5 (Figura 45) con peso entre 6 y 8 g/m², al Norte de la zona urbana. Aquí se encuentran 22 colonias, con una población total de 40,804 habitantes. Las colonias más densamente pobladas son Jardines Del Country 8,047, Lagos Del Country 6,571, Tepeyac 2,960, Lomas Del Country 2,848, Country Club 2,846, Zoquipan 2,674, Constituyentes 2,149, Los Maestros 1,689 y Seattle 1,617 habitantes.

En el Cuadro 18 se muestra al detalle la información de los polígonos y el número de colonias que se alojan en cada uno, así como la población total y el desglose por sexo (INEGI, 2018d).

Cuadro 18. Colonias con mayor densidad de polvo sobre sus banquetas

Polvo urbano						
NOMBRE	COLONIAS	ÁREA	POBTOT	POBMAS	POBFEM	g/m²
Polígono 1	51	31,565	182,464	90,308	91,666	15-19
Aeropuerto y ladrilleras	68	37,305	147,437	72,953	72,891	15-19
Centro	48	24,216	249,714	121,041	128,383	6-8
Polígono 2	49	30,429	110,551	54,004	56,253	15-19
Polígono 3	110	54,931	200,580	98,798	101,089	6-8
Polígono 4	9	3,044	24,095	12,152	11,911	12-14
Polígono 5	22	7,035	40,804	19,034	21,712	6-8
Polígono 6	3	2,500	25,124	11,931	13,136	6-8
Polígono 7	3	1,873	27,992	13,599	14,329	6-8
TOTAL	402	206,455	1,008,761	493,820	511,370	

Población total (POBTOT), Población masculina (POBMAS), Población femenina (POBFEM).

4.3.1 Mapa de distribución de polvo urbano

Lo anterior nos permitió obtener el mapa de distribución de polvo urbano (Figura 46) en el que se reflejan las actividades que pueden aportar a la mala calidad del aire: ladrilleras, cementeras, bancos de material geológico (Cuadro 19) mismas que se encuentran dentro o en la periferia del AMG. Prueba de ello son los altos índices de partículas que la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) reporta periódicamente en sus informes lo cual es principalmente significativo durante la temporada de estiaje. Entre los resultados observamos que el promedio de polvo urbano colectado en las banquetas fue mínimo de $\sim 2 \text{ g/m}^2$, y máximo de $\sim 20 \text{ g/m}^2$.

La contaminación del aire es un problema de salud en las grandes ciudades, ya sea de origen natural o antrópico (Lepeule *et al.*, 2012). El hecho de ubicarse a una distancia menor de 100 m de una vía de comunicación donde el tráfico vehicular es de aproximadamente 4,000 vehículos por día, se puede considerar como un factor de riesgo para el desarrollo del cáncer pulmonar (Riojas-Rodríguez *et al.*, 2014). Dado que nuestro país tiene una alta incidencia de tumores malignos de bronquios y pulmón que pudieran estar asociados a la contaminación del aire (Raaschou-Nielsen *et al.*, 2013; López-Cima *et al.*, 2011), es preocupante que el Estado de Jalisco ocupe el segundo lugar con 8,434 defunciones por este tipo de cáncer (INEGI, 2016). Se encontró que el tipo de cáncer de pulmón al que se han asociado los problemas de contaminación del aire por partículas, es el adenocarcinoma. Este es el único de cuatro subtipos que se asocia principalmente a individuos no fumadores pero que estuvieron expuestos a incrementos de contaminación por partículas. Si este incremento era del orden de $5 \mu\text{g/m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$, el riesgo de padecer cáncer pulmonar aumenta 18%, y por cada aumento de $10 \mu\text{g/m}^3$ de PM_{10} , el riesgo crece hasta en un 22%.

Otra situación preocupante es el hecho de no encontrar un valor umbral, ya que el riesgo de presentar cáncer pulmonar persiste, aun cuando los valores de la contaminación sean inferiores a los establecidos por la Unión Europea, para PM_{10} , 40 g/m^3 y para $\text{PM}_{2.5}$, 25 g/m^3 . Un dato interesante es que la incidencia de este tipo de cáncer de pulmón es mayor en individuos que no consumen frutas y su estatus socioeconómico es bajo (López-Cima *et al.*, 2011). En general el residir en áreas urbanas presenta un aumento estadísticamente significativo de riesgo de padecer adenocarcinoma (Bógalo *et al.*, 2012). En un estudio reciente desarrollado en la

Ciudad Mexicana de Ensenada, Baja California (Cortés *et al.*, 2015), comentaron que además de las técnicas de caracterización magnética como la susceptibilidad y el magnetismo remanente isotermal, es posible identificar, de manera preliminar, el tipo de metales pesados presentes de acuerdo a su color, y con base a las cartas de color Munsell, con lo cual identificaron que en suelos grises va a haber mayor presencia de Pb, Cu, Zn y Ni, cuyo origen será antrópico y varios de estos metales en exceso pueden producir cáncer.

A nivel nacional en cuanto a defunciones totales por causa de tumor maligno de bronquios y pulmón, Jalisco ocupa el segundo lugar con 8,385 muertes con un primer lugar ocupado por el Distrito Federal. A nivel municipal es importante destacar que entre los 10 municipios con mayor incidencia de este padecimiento se encuentran Guadalajara, Zapopan y Tlaquepaque (INEGI, 2016; Secretaría de Salud, 2017). Específicamente, la mayor cantidad de defunciones totales por tumores malignos de bronquio y pulmón se da en la Ciudad de Guadalajara (INEGI 2017c), donde se han identificado una gran variedad de industrias que emiten metales pesados y vías primarias donde el tráfico vehicular es con frecuencia muy alto.

Cuadro 19. Actividades económicas DENU

Actividad económica	Número de establecimientos
Bancos de material geológico (BMG)	3
Bancos de roca caliza	2
Cementeras	3
Ladrilleras	831
TOTAL	839

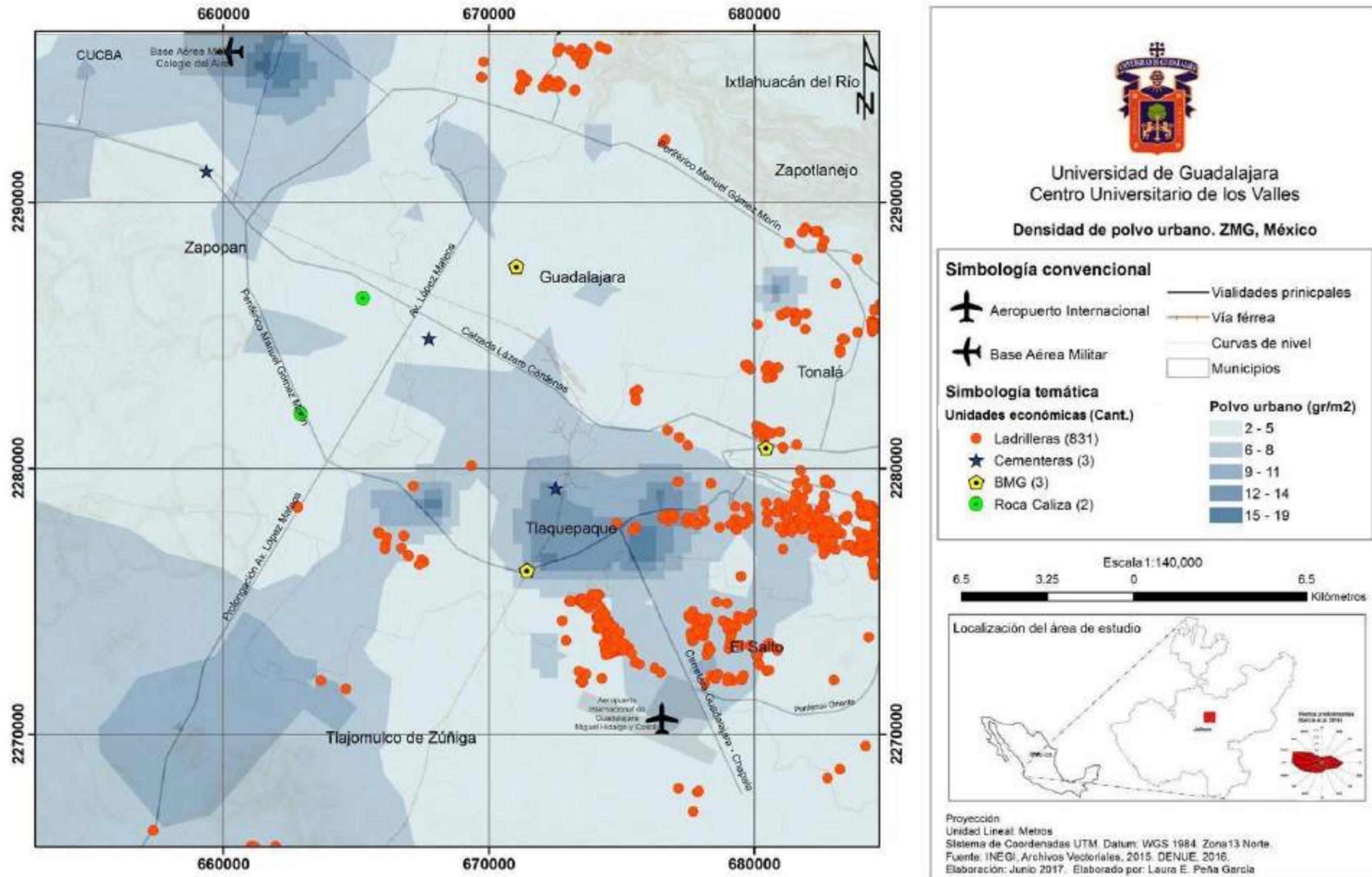


Figura 46. Mapa de distribución de polvo urbano en el área metropolitana de Guadalajara

4.4 Partículas en tejido pulmonar humano

En esta sección se pretende informar la correlación entre las partículas contaminantes identificadas en las muestras ambientales y las partículas que se encontraron en tejido pulmonar humano mediante la técnica SEM, para advertir sobre posibles riesgos en la salud de las personas. No obstante, son muy pocos los trabajos efectuados sobre los efectos tóxicos de partículas en estructuras celulares humanas (Paur *et al.*, 2011). Las principales células sanguíneas observadas en las muestras que analizamos fueron eritrocitos, leucocitos, macrófagos y plaquetas. Los eritrocitos son las células sanguíneas más abundantes en la sangre; tienen forma de discos bicóncavos, su diámetro es entre 6 y 8 μm , el grosor es de 2 μm (Jaime *et al.*, 2009). Los leucocitos son un conjunto de células que desempeñan diversas funciones, todas relacionadas con la defensa del organismo frente a las infecciones y a la presencia de sustancias ajenas. Son células grandes que se clasifican en granulocitos, linfocitos y monocitos. Los monocitos son células grandes de 15 a 20 μm de diámetro. Estas células viajan por la sangre y llegan al tejido conectivo, donde se convierten en macrófagos (González de Buitrago, 2010). Las plaquetas son discos finos de 2 a 4 μm de diámetro. Participan en la homeostasis, en el mantenimiento de la integridad vascular y en el proceso de coagulación de la sangre (Conny *et al.*, 2011).

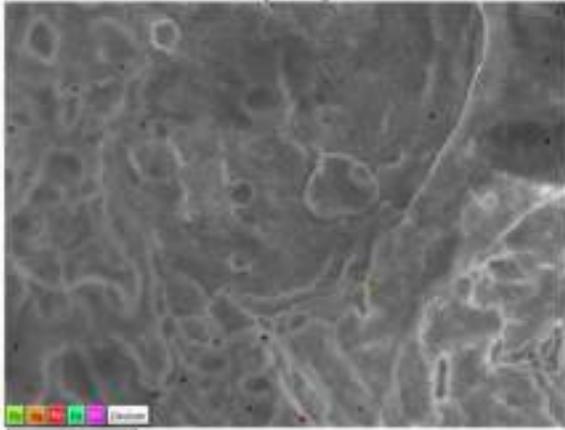
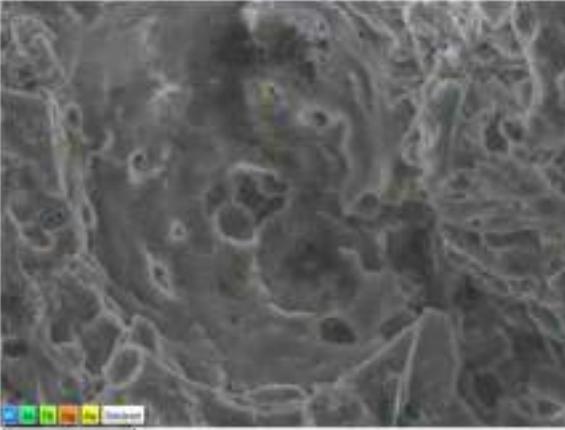
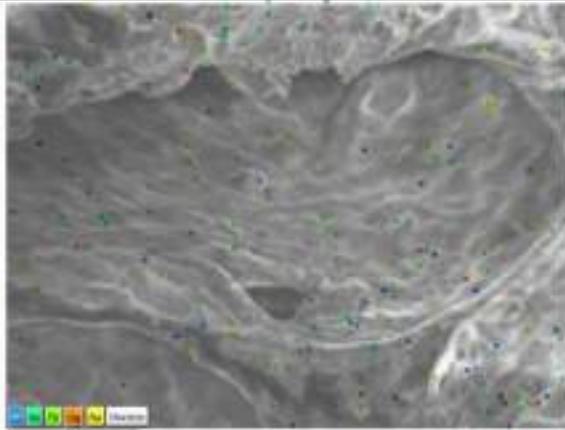
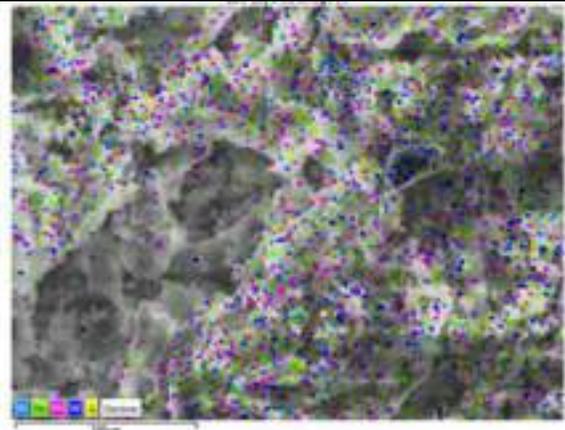
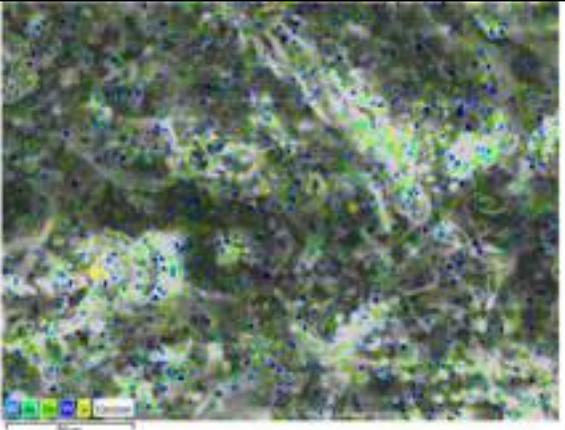
Por otra parte, en el Cuadro 20 se presentan los elementos que fueron identificados por individuo. Las muestras que tuvieron mayor número de elementos fueron los individuos 1 y 9 con 12 elementos, con 10 elementos fueron los individuos 4 y 11, posteriormente el 3 y 12 con 9 elementos, los individuos 5 y 6 presentaron 8 elementos cada uno, el 2 tuvo 7 elementos, el 7 y 10 cinco elementos. Los elementos más abundantes fueron Al, Pb, As, Hg y W. Los menos abundantes fueron Zn, Ta, Nb, Hf, Cu y Rh. El Cuadro 20 se encuentra organizado por colores, conforme a los elementos que aparecen en la parte inferior izquierda de las microfotografías de mapeo elemental (Cuadro 20). En especial, el Cr, Zn y Os fueron identificados en todas las muestras analizadas por XRF y también fue identificada su presencia en varias muestras de tejido pulmonar. De acuerdo con lo mencionado en secciones anteriores, los óxidos de osmio y compuestos de cromo pueden provocar congestión pulmonar y cáncer, respectivamente. Similarmente el Re fue identificado en el 97 % de las muestras analizadas

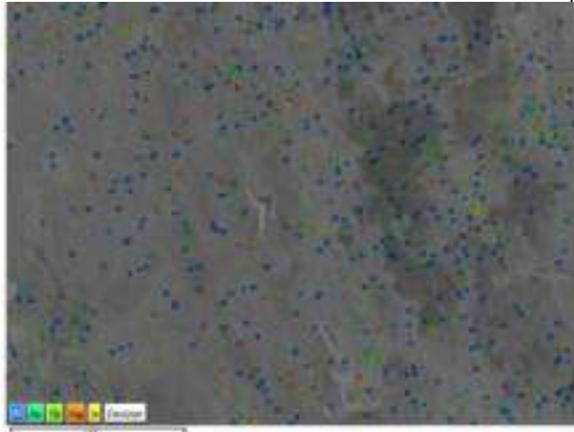
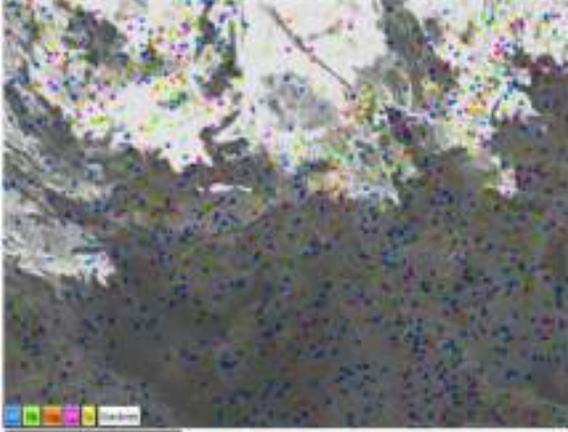
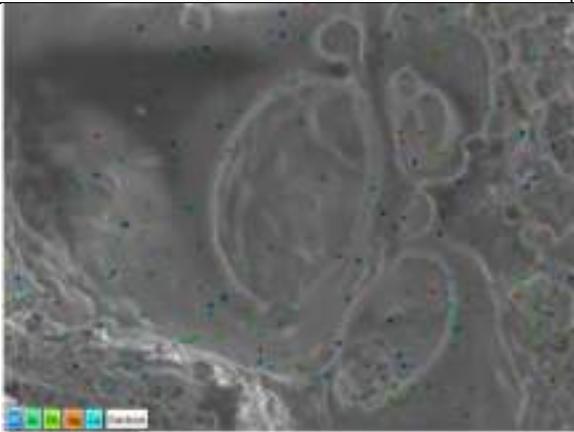
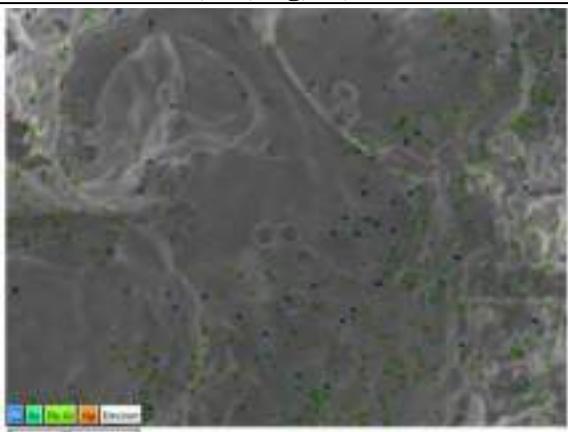
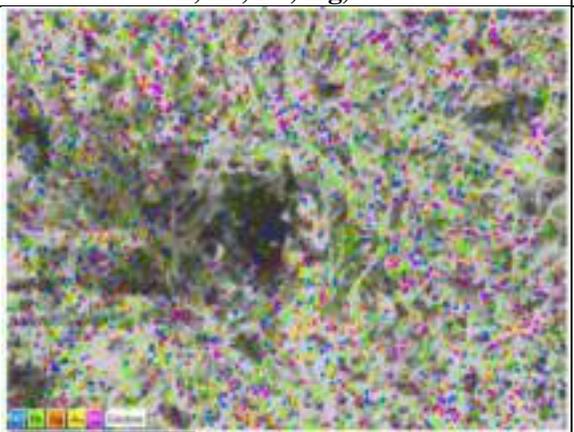
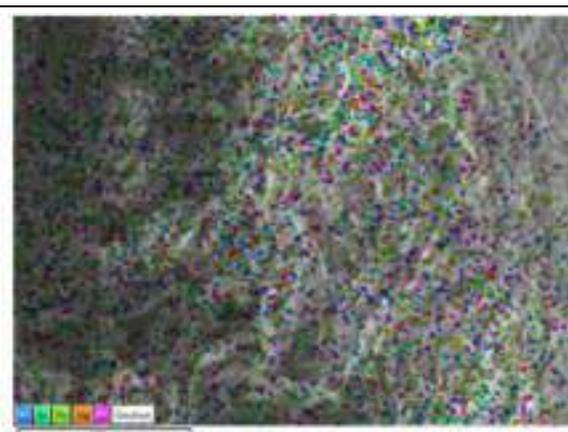
por XRF y encontrado en tejido pulmonar de tres individuos. Otros metales como Rh y Pt, los cuales son componentes fundamentales de convertidores catalíticos de los autos, también fueron identificados en tejido pulmonar (Cuadro 21) y son potencialmente cancerígenos. Es especialmente interesante la identificación del elemento metálico plata en cuatro individuos, cuya fuente de emisión puede ser antropogénica o natural. Es clara una correlación entre varios metales pesados identificados en el AMG y el tejido pulmonar humano.

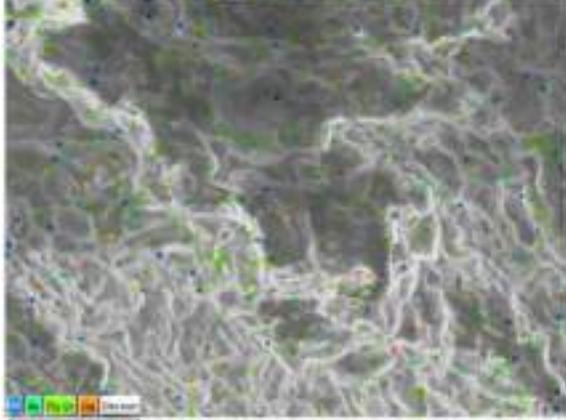
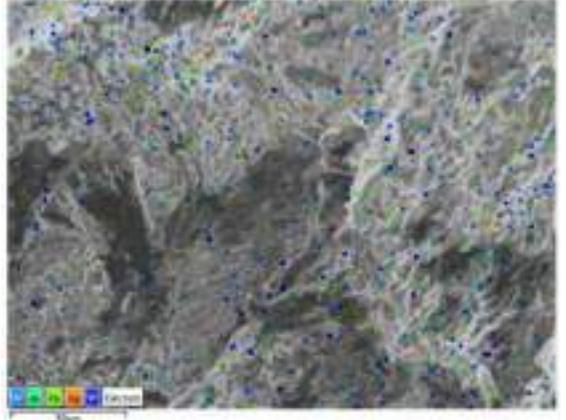
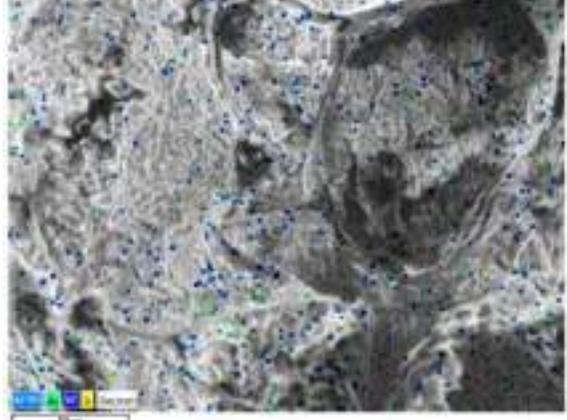
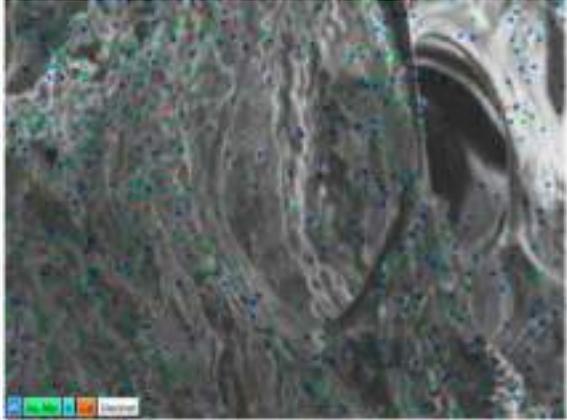
Cuadro 20. Elementos presentes en tejido pulmonar de individuos analizados

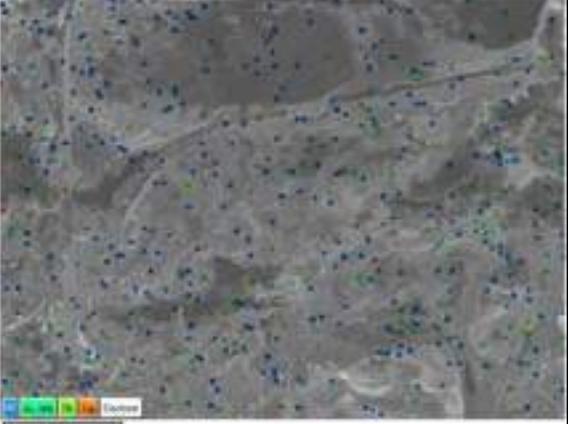
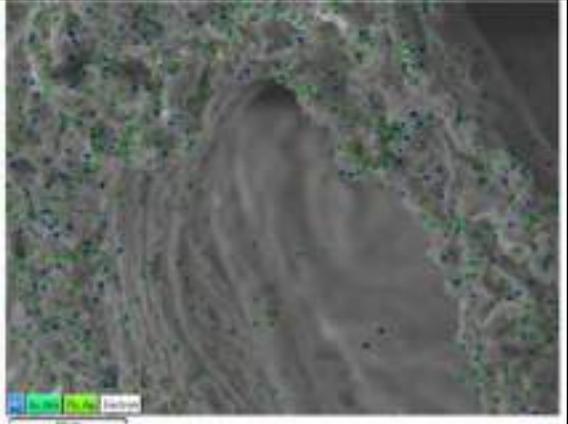
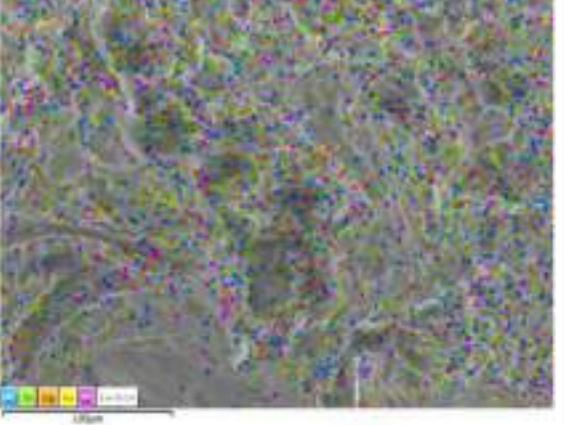
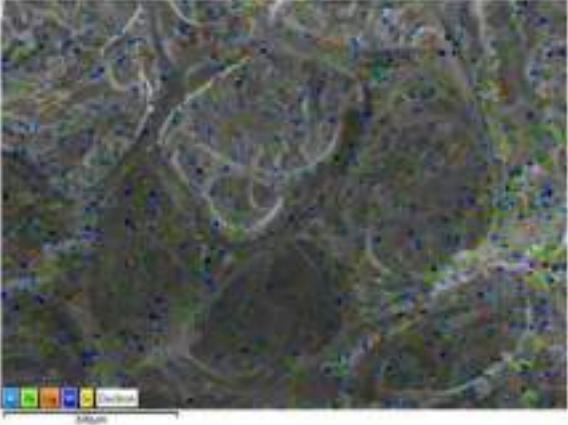
Elemento	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	Presencia por elemento
Ag		1	1								1	1	4
Al	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
As	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	11
Cd		1							1				2
Cr		1		1	1		1						4
Cu					1								1
Hg	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	10
Hf					1								1
Ir	1		1	1					1				4
Mo			1	1		1			1	1	1		6
Nb											1		1
Os	1			1					1		1		4
Pb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Pd	1								1				2
Pt	1		1	1		1			1			1	6
Re	1							1	1				3
Rh									1			1	2
Si			1	1		1		1			1	1	6
Ta	1												1
W	1		1	1	1	1		1	1		1	1	9
Zn	1												1
Por individuo	12	7	9	10	8	8	5	7	12	5	10	9	

Cuadro 21. Imágenes EDS de tejido pulmonar.

IMÁGENES DE MAPEO ELEMENTAL	
Elementos identificados en cada muestra	
Individuo 1	 <p style="text-align: center;">Pb, Hg, Re, Pd, Zn</p>
	 <p style="text-align: center;">Al, As, Pb, Hg</p>
Individuo 2	 <p style="text-align: center;">Al, As, Pb, Cr, Hg</p>
	 <p style="text-align: center;">Al, As, Pb, Hg</p>
Individuo 3	 <p style="text-align: center;">Al, Pb, Pt, W, Si</p>
	 <p style="text-align: center;">Al, As, Pb, W, Si</p>

Individuo 4	 <p data-bbox="500 640 722 674">Al, As, Pb, Hg, Si</p>	 <p data-bbox="1084 640 1307 674">Al, Pb, Hg, Pt, Si</p>
Individuo 5	 <p data-bbox="500 1121 722 1155">Al, As, Pb, Hg, Cu</p>	 <p data-bbox="1084 1121 1307 1155">Al, As Pb, Cr, Hg</p>
Individuo 6	 <p data-bbox="521 1602 701 1638">Al, Pb, Hg, Pt</p>	 <p data-bbox="1084 1602 1307 1638">Al, As, Pb, Hg, Pt</p>

Individuo 7	 <p>Al, As, Pb, Cr, Hg</p>	 <p>Al, AS, Pb, Cr, Hg</p>
Individuo 8	 <p>Al, As, Pb, Hg, W</p>	 <p>Al, Rh, As, W, Si</p>
Individuo 9	 <p>Al, As, Pb, Pt, W</p>	 <p>Al, As, Mo, Ir, Cd</p>

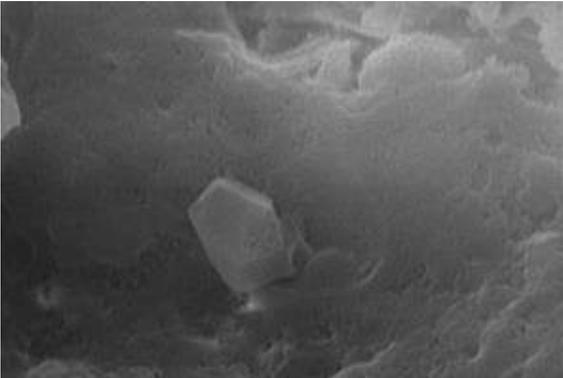
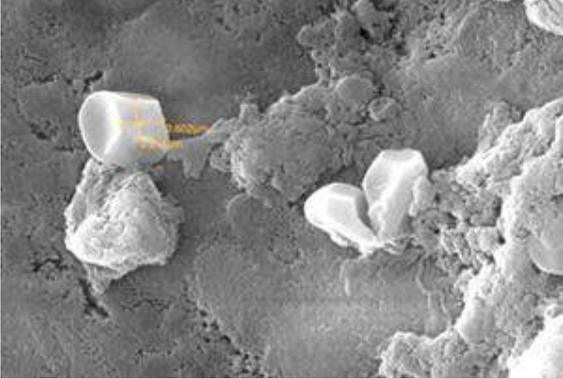
Individuo 10		
	Al, As, Pb, Hg	Al, As, Mo, Pb, Hg
Individuo 11		
	Pb, Hg, Os, W, Si	Al, As, Mo, Pb, Ag
Individuo 12		
	Al, Pb, Hg, Pt	Al, Pb, Hg, W, Si

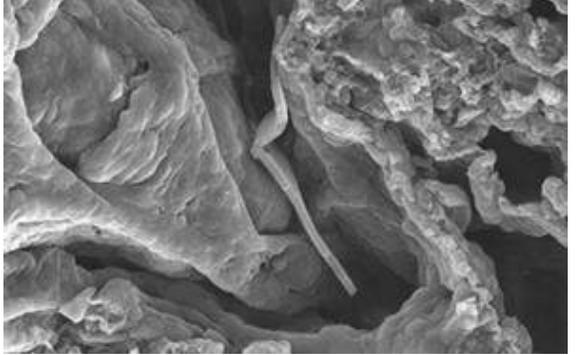
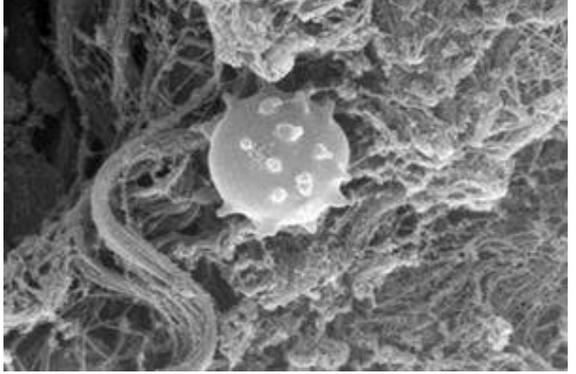
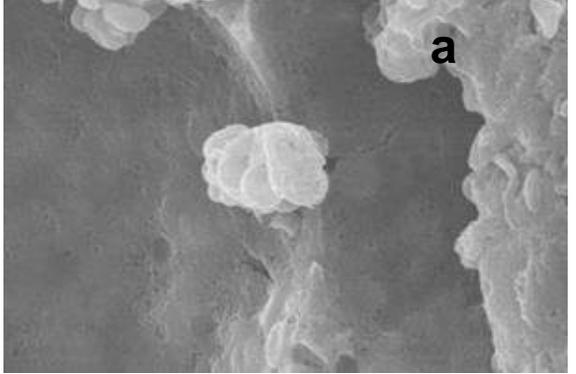
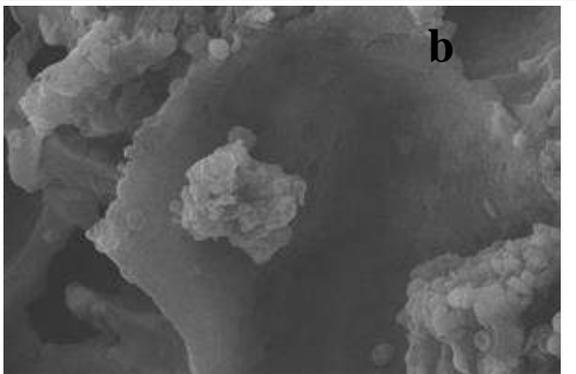
En el Cuadro 22 se describen las características observadas de manera general en las muestras de tejido pulmonar obtenidas y algunos detalles que se lograron identificar en algunos casos, como el tipo de exposición o posible actividad laboral que desarrollaron y estado de salud de la persona. En todos los casos se observó algún tipo de partículas ajenas a pulmón. Hay que recordar que Yu *et al.*, (2007) en su estudio identificó que las NPs tienden a tardar

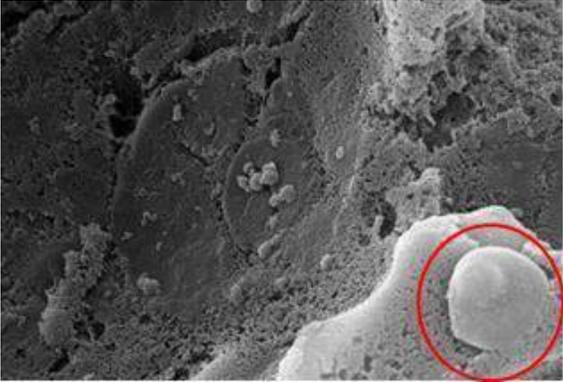
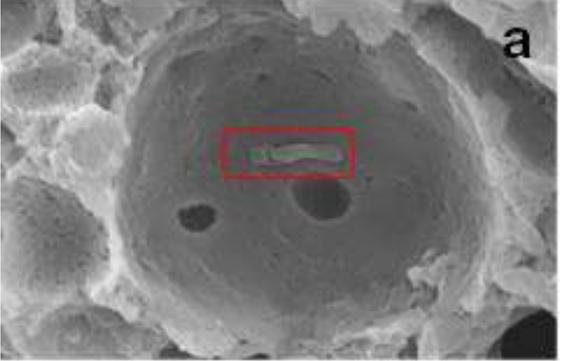
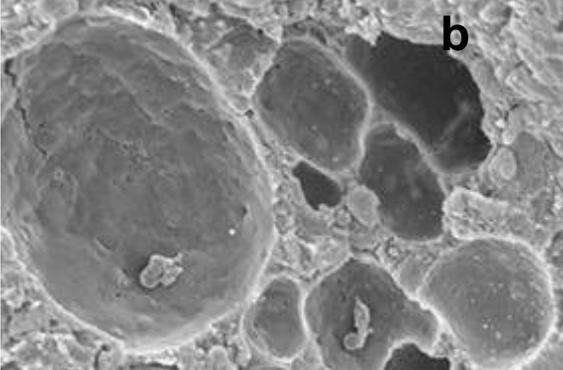
aproximadamente 15 días en acumularse en tejido pulmonar y Kreyling *et al.*, (2011) también refiere que nano-agregados de Ag tienen la capacidad de mantenerse en la región intratraqueal por siete días y aquellas NPs puras viajan rápidamente a otros órganos. Como ya se comentó en el presente trabajo se encontró que cuatro de los individuos tuvieron presencia de Ag en las regiones observadas.

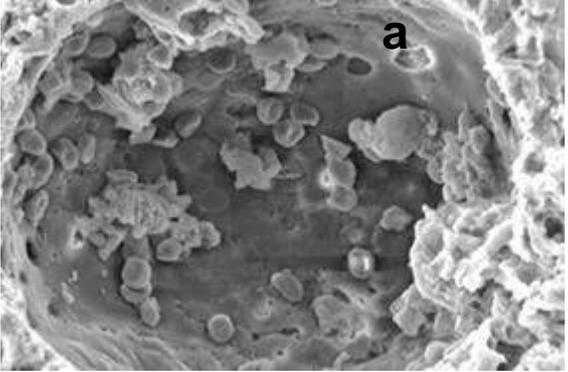
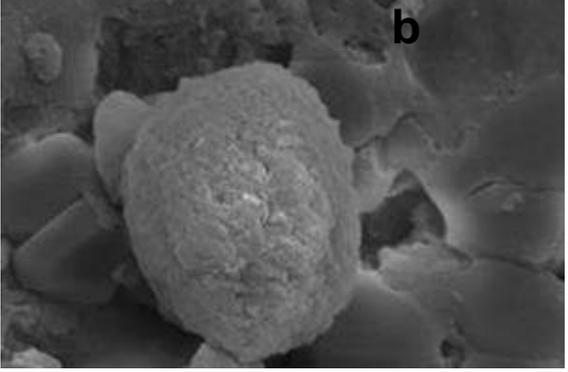
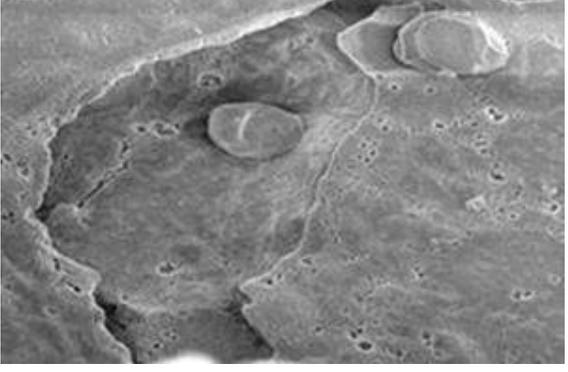
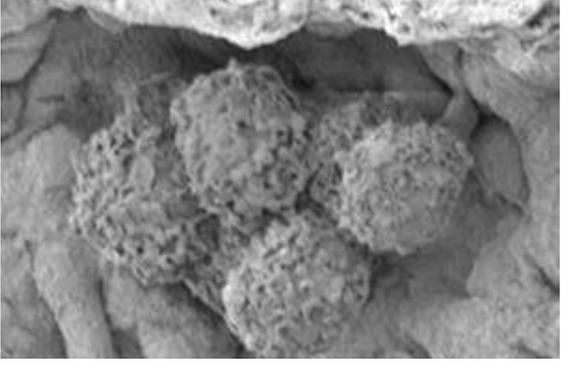
A continuación, se presentan las imágenes obtenidas de las muestras analizadas, en ellas se observa detalladamente el tejido pulmonar, así como sus estructuras. Posteriormente se muestran las partículas encontradas en las microfotografías.

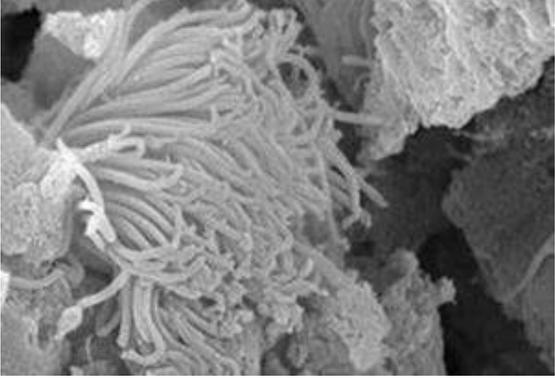
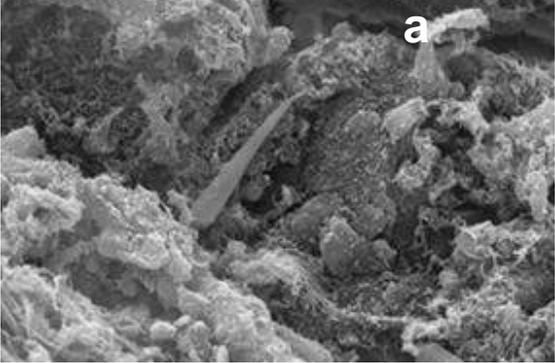
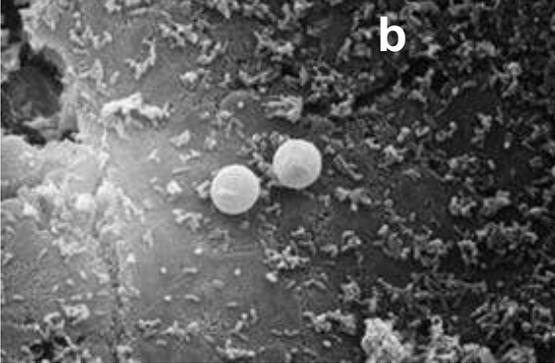
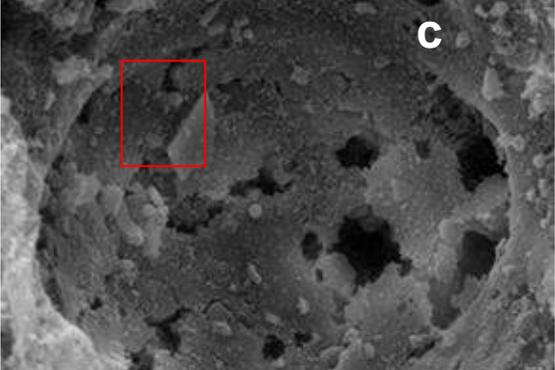
Cuadro 22. Descripción de características de tejidos pulmonares observados

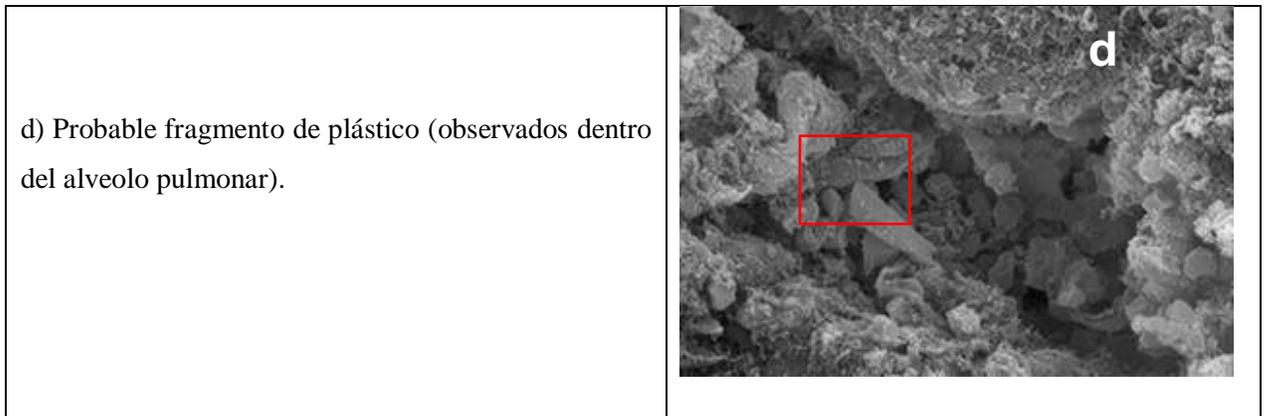
Observaciones	Partículas
<p>Partícula ajena al tejido pulmonar (observada en alveolo pulmonar), posible fragmento de cemento. Una partícula de características similares fue observada en una muestra de la ciudad de Atlanta, E. U. por Conny <i>et al.</i>, (2011) en muestras de aire urbano. Él identificó que dicha partícula tenía una composición elemental de C, Na, Mg, Al, K, Fe (Conny <i>et al.</i>, 2014).</p>	
<p>Presenta células gigantes, posible reacción a cuerpos extraños en el tejido (observada en alveolo pulmonar).</p>	

<p>Fragmento de algún mineral o de material plástico, mismo que en ocasiones se ha encontrado en estómago (observada en alveolo pulmonar).</p>	
<p>Grano de polen y fragmentos de fibras (sobre tejido conjuntivo y colágena).</p>	
<p>a) El individuo pudo haber estado asociado a actividades eléctricas, como focos ahorradores, empaque o desecho de los mismos; se dedujo por el contenido de Hg en la muestra. Partículas raras (observada sobre alveolo pulmonar).</p>	
<p>b) Partícula ajena a tejido pulmonar (observada dentro alveolo pulmonar), con características de partícula atmosférica, similar a la partícula observada en una muestra colectada cercana al centro de la ciudad de Los Ángeles, E. U. por Conny <i>et al.</i>, (2014), tomada en filtros de fibra de cuarzo purificados por calor en un impactador virtual dicotómico (Conny <i>et al.</i>, 2011),</p>	

<p>Posible individuo con inmunosupresión importante o VIH.</p> <p>Tejido muy deteriorado, con proceso inflamatorio significativo.</p> <p>Pudo haber estado asociado a adicciones por inhalación de alguna droga o también el individuo pudo ser fumador.</p> <p>Se observó levadura, posible moniliasis por <i>Candida</i> (observada dentro alveolo pulmonar).</p>	
<p>a) Partícula ajena a pulmón, aparentemente fragmento de material plástico (observada dentro alveolo pulmonar).</p>	
<p>b) Partícula ajenas al tejido pulmonar (observada sobre alveolo pulmonar), similar a la partícula observada en una muestra de la ciudad de Atlanta, E. U. por Conny <i>et al.</i>, (2011) en muestras de aire urbano (Conny <i>et al.</i>, 2014).</p>	

<p>a) Se observan partículas ajenas al tejido pulmonar (dentro alveolo pulmonar), como las observadas en una muestra de la ciudad de Atlanta, E. U. por Conny <i>et al.</i>, (2011), así como también se evidencia que el individuo presentó hemorragia.</p>	 <p>Micrograph 'a' shows a scanning electron micrograph of a lung alveolus. The alveolar wall is visible on the right, and the interior is filled with numerous small, irregular particles. A dark, irregular area on the right side of the alveolus indicates hemorrhage. The letter 'a' is in the top right corner.</p>
<p>b) Partícula ajena al tejido pulmonar (observada dentro alveolo pulmonar) similar a la partícula observada en una muestra de la ciudad de Atlanta, E. U. por Conny <i>et al.</i>, (2011) en muestras de aire urbano (Jaime <i>et al.</i>, 2009).</p>	 <p>Micrograph 'b' is a high-magnification SEM image of a single large, irregular, and somewhat spherical foreign particle located within a lung alveolus. The particle has a rough, textured surface. The letter 'b' is in the top right corner.</p>
<p>Partículas ajenas a pulmón (observada dentro alveolo pulmonar).</p>	 <p>Micrograph shows several small, circular foreign particles within a lung alveolus. The particles are scattered across the alveolar surface. The image is in grayscale and shows the texture of the alveolar wall.</p>
<p>Macrófagos alveolares cuya función consiste en fagocitar microorganismos y restos celulares (Junqueira <i>et al.</i>, 2005) (observados dentro del alveolo pulmonar).</p>	 <p>Micrograph shows alveolar macrophages within a lung alveolus. The macrophages are large, rounded cells with a granular appearance, situated within the alveolar space. The letter 'a' is in the top right corner.</p>

<p>Cilios respiratorios, encargados de la limpieza de vías respiratorias (observados sobre la parte terminal del bronquio principal).</p>	 Scanning electron micrograph showing a dense cluster of long, hair-like cilia. The cilia are arranged in a somewhat organized, overlapping pattern, typical of the respiratory tract's mucociliary escalator.
<p>a) Posible parte o fragmento de insecto (quitina), como antena o pata (observados dentro del alveolo pulmonar).</p> <p>Abundante cantidad de bacterias.</p>	 Scanning electron micrograph showing a rough, textured surface. A prominent, elongated, and slightly curved structure, likely an insect part, is visible. The surface is covered with numerous small, irregular particles, identified as bacteria in the text. A small white letter 'a' is in the top right corner.
<p>b) Gran cantidad de bacterias y micrococcus (observados dentro del alveolo pulmonar).</p> <p>El individuo pudo haber tenido un problema de inmunosupresión importante o VIH.</p>	 Scanning electron micrograph showing a dark, granular background. Two distinct, spherical micrococci are visible, appearing as bright, rounded structures. A small white letter 'b' is in the top right corner.
<p>c) Probable fragmentos de plástico (observados dentro del alveolo pulmonar).</p>	 Scanning electron micrograph showing a circular, porous structure, likely an alveolus. A red square highlights a specific area within the structure, indicating a probable plastic fragment. A small white letter 'c' is in the top right corner.



En las imágenes obtenidas de las muestras observadas en SEM se identifican estructuras anatómicas, células sanguíneas, así como cuerpos extraños o ajenos al tejido pulmonar.

En la Figura 47 (muestra 5) es una vista general del tejido pulmonar, pero se pueden identificar los alveolos y de manera muy evidente, un vaso sanguíneo grande o una arteria. Se observa la pared del mismo y al final el tejido perivascular.

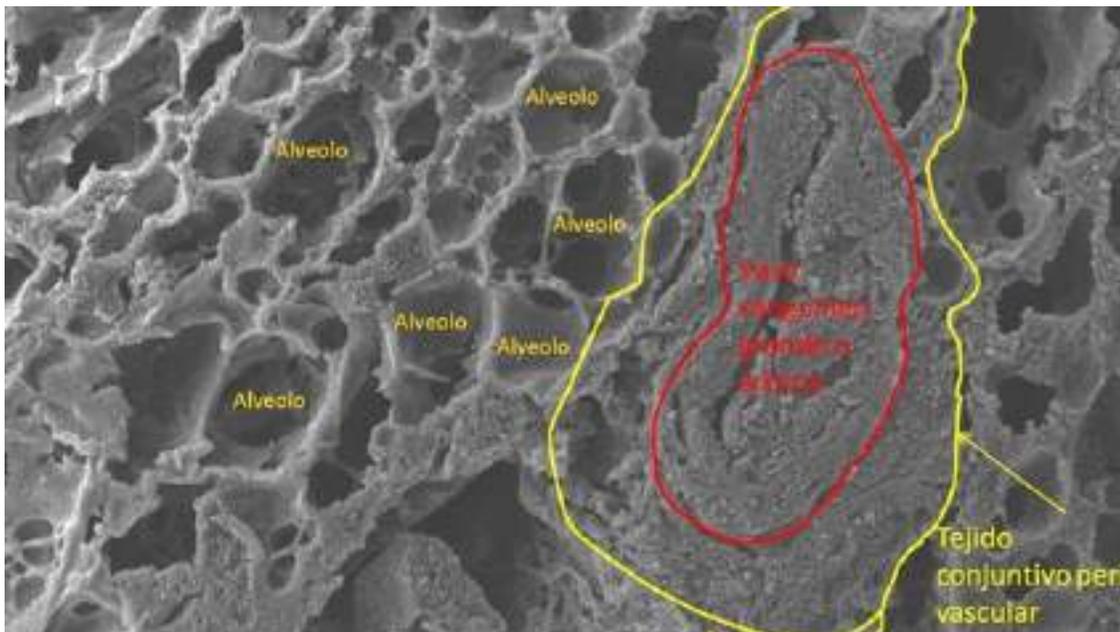


Figura 47. Microfotografía, vista general de tejido pulmonar, se observan los alveolos pulmonares (Muestra 5)

En la Figura 48 se observa un alveolo, con un diámetro aproximado de 200 μm de diámetro.

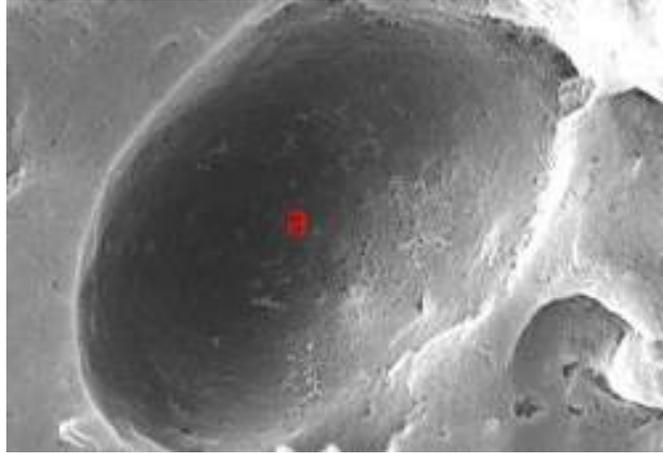


Figura 48. Fotomicrografía de barrido de pulmón, donde se observa un alveolo (a), el cual es una evaginación de unos 200 μm de diámetro (Muestra 1).

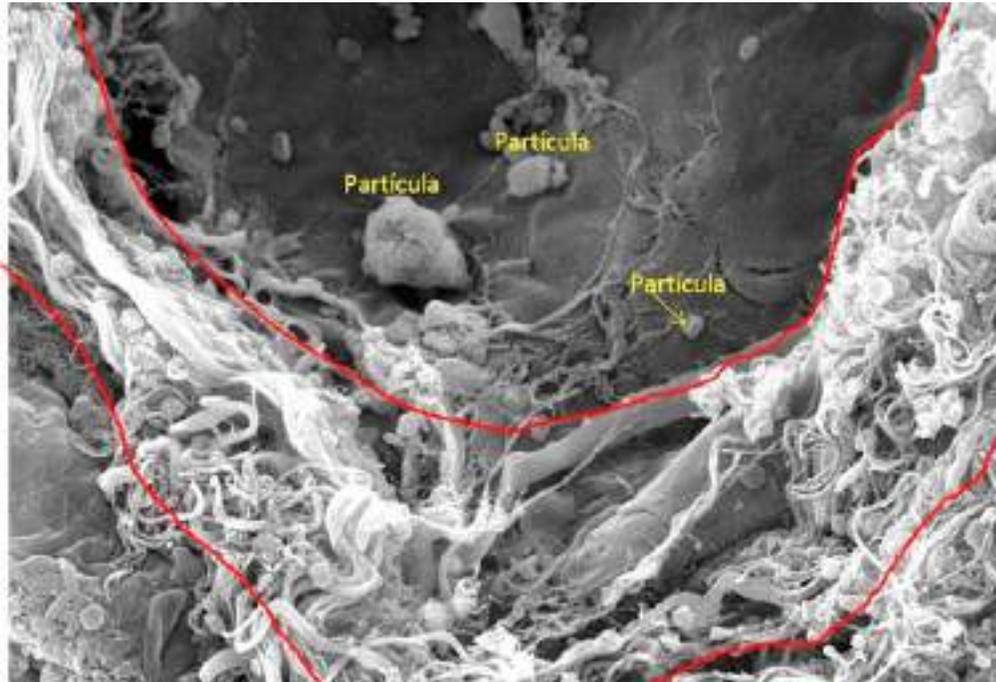


Figura 49. Colágeno entre los lobulillos pulmonares (línea roja). Partículas ambientales depositadas en alveolo (Muestra 6)

En la Figura 49 (muestra 6), además de observar la colágeno y los lobulillos pulmonares ya se empiezan a encontrar algunas partículas que son ajenas al pulmón o partículas ambientales..

La función de los cilios es expulsar el polvo, los microorganismos y residuos de vías respiratorias. Esparcidas por todos los cilios se encuentran las células caliciformes, las cuales

se encargan de producir moco para ayudar a proteger el revestimiento de los bronquios y facilitar la expulsión de las partículas ajenas al mismo. Las células ciliadas disminuyen hacia el bronquiolo respiratorio (Bello, 2001).

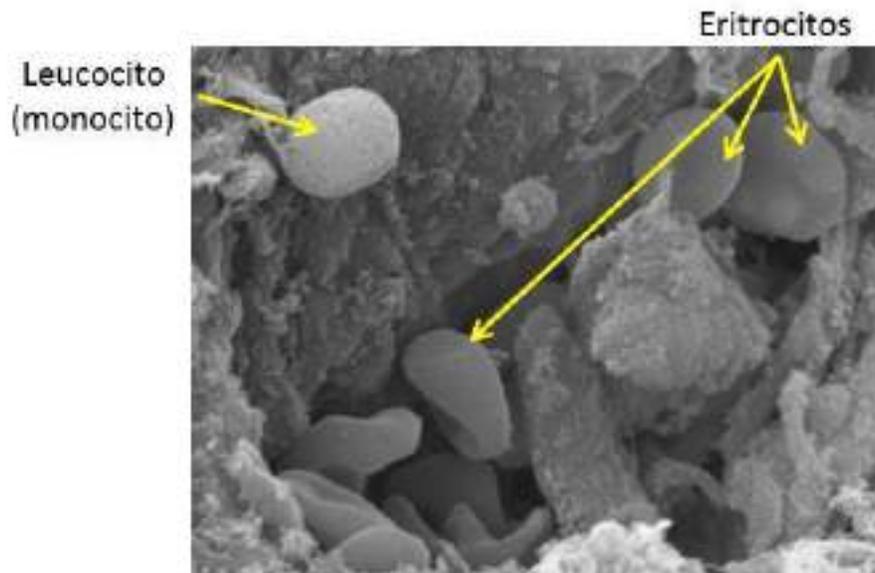


Figura 50. Eritrocitos, leucocitos (Muestra 4)

Los eritrocitos maduros que circulan en sangre son discos bicóncavos que tienen un diámetro promedio de 7 μm , el grosor es de 2 μm (Figura 50 (Muestra 4)). La superficie es de aproximadamente 140 micrómetros cuadrados. La forma bicóncava facilita el intercambio de gases por ser una superficie mayor que si fuera una esfera. Los leucocitos son células que carecen de pigmento propio (Borrego *et al.*, 2015).

Resumen de resultados encontrados por las diversas técnicas

En el Cuadro 23 se muestran los elementos identificados mediante diferentes técnicas, así como algunas de sus principales aplicaciones.

Cuadro 23. Composición química de las muestras analizadas por XRF, AA y SEM, usos y efectos a la salud (EPA 2017; ATSDR 2016e; Royal Society of Chemistry 2017; Lenntech 2016; QuimiNet.com 2011)

SUELO	HOJAS	HOJAS	PULMÓN	USOS	Efectos en la salud
XRF	AA	SEM	SEM		
Br				En productos químicos agrícolas, colorantes, insecticidas, productos farmacéuticos entre muchos otros usos ya que se siguen encontrando nuevos usos, a pesar de su toxicidad.	Tiene un efecto irritante en ojos y garganta y produce llagas dolorosas cuando entra en contacto con la piel.
			Ag	Para hacer espejos, es el mejor reflector de luz visible conocido. En aleaciones dentales, en soldadura, contactos eléctricos y baterías. Tiene propiedades antibacteriales y, las nanopartículas de plata se aplican en la ropa para evitar que las bacterias digieran el sudor y formen olores desagradables. Se tejen hilos de plata en las puntas de los dedos de los guantes para que puedan usarse en las pantallas táctiles.	La ingestión crónica o la inhalación de compuestos de plata puede llevar a una condición conocida como argiria, que produce una pigmentación grisácea de la piel y las membranas mucosas. La plata tiene propiedades antibacterianas y puede matar a los organismos inferiores con bastante eficacia.
			Al	En latas, láminas, utensilios de cocina, marcos de ventanas, barriles de cerveza y partes de aviones.	Puede acumularse en el organismo y se ha sugerido un vínculo con la enfermedad de Alzheimer, pero no se ha comprobado.

Ga				Se obtiene en pequeñas cantidades a partir de minerales como el Al y Zn. Se emplean en la construcción de circuitos integrados, tecnología Blu-ray, teléfonos móviles, LED azul y verde y sensores de presión para interruptores táctiles. Se produce principalmente como un subproducto de refinación de zinc.	No es tóxico aunque algunos compuestos del galio pueden ser muy peligrosos, por ejemplo, altas exposiciones al cloruro de galio pueden causar irritación de la garganta, dificultad respiratoria, dolor en el pecho y los vapores pueden causar edema pulmonar y parálisis parcial.
As			As	Preservación de madera, insecticida, herbicida, pigmentos y en pirotecnia y como decolorante, así como en la construcción de diodos láser y LED. Y como arseniuro de galio como material semiconductor empleado en circuitos.	En pequeñas dosis es tóxico y se sospecha que es carcinógeno. Algunos alimentos, como los langostinos, contienen una cantidad sorprendente de arsénico en forma orgánica poco dañina.
Ca		Ca		Como agente reductor en la preparación de metales como torio y uranio. Además de aleación con aluminio, berilio, cobre, plomo y magnesio. Hay grandes depósitos de roca caliza que se usan para la construcción y elaboración de cemento. Como mejorador de suelos y en el tratamiento de agua para reducir la acidez, en la industria química, en la fabricación de acero para eliminar las impurezas y en la medicina para inmovilizar.	Esencial para todos los seres vivos.
	Cd	Cd	Cd	En baterías recargables de níquel-cadmio, aunque gradualmente se reemplaza por baterías de hidruro de níquel metálico. Para galvanizar acero, proteger componentes de aviones y plataformas petroleras. El cadmio absorbe los neutrones por lo que se utiliza en barras en reactores nucleares.	Es tóxico, carcinógeno y teratogénico (perturba el desarrollo de un embrión o feto).
Co	Co	Co		Se puede magnetizar y se usa para hacer imanes, en aleaciones para turbinas a reacción y generadores de turbinas de gas (resistentes a	El cobalto 60 radiactivo es ampliamente utilizado en el tratamiento del cáncer.

				altas temperaturas), en galvanoplastia, para producir color azul brillante en pintura, porcelana, vidrio, cerámica y esmaltes.	
Cr	Cr	Cr	Cr	Partes de automóviles y camiones cromados, para endurecer el acero, fabricar acero inoxidable, curtido de piel, catalizadores industriales y pigmentos (en colores verde brillante, amarillo, rojo y naranja).	Es un oligoelemento esencial para el humano, ayuda a aprovechar la glucosa, aunque es venenoso en exceso.
Cu	Cu	Cu	Cu	Productos agrícolas, componentes de autos y camiones, principalmente radiadores (alta conductividad térmica y resistencia a la corrosión), frenos y cojinetes, además de cables y motores eléctricos. Un coche contiene entre de 20 a 45 kg; en trenes tradicionales entre una y dos toneladas, y hasta cuatro toneladas en los de alta velocidad. En las catenarias se utilizan hasta 10 toneladas de cobre por kilómetro en líneas de alta velocidad. En pruebas químicas para la detección de azúcar.	Es un elemento esencial aunque en exceso es tóxico.
Fe			Fe	Indispensable en construcción de automóviles, barcos y componentes estructurales de edificios. También en fabricación de imanes, tintes (pigmentos pulidores entre otros) y abrasivos. Obtención de aceros estructurales, hierro fundido y de hierro forjado.	Puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis y retinitis. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna (siderosis). La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón.
			Hf	Lámparas de gas e incandescentes, catalizadores, eliminación de oxígeno y nitrógeno de tubos de vacío. El óxido de hafnio se usa	No tiene un papel biológico conocido y tiene una baja toxicidad.

				como aislante eléctrico en microchips y los catalizadores de hafnio se han usado en reacciones de polimerización.	
			Hg	En la industria química como catalizadores. También se utiliza en algunos interruptores eléctricos y rectificadores. El resto de los usos se han eliminado por su toxicidad.	Daño al sistema nervioso, al ADN y cromosomas, reacciones alérgicas, degradación en las funciones cerebrales, cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera y puede llegar hasta la pérdida de la memoria.
			Ir	Muy resistente a la corrosión. En los contactos de bujías debido a su alto punto de fusión y baja reactividad; en aleaciones de osmio-iridio son usadas brújulas y balanzas, piezas de larga duración en motores de avión y crisoles de alta temperatura.	Irritación ocular o gastrointestinal con bajo peligro si se ingiere. Tiene una baja toxicidad.
K		K	K	La mayor demanda está en los fertilizantes. Muchas otras sales de potasio son de gran importancia, incluyendo el nitrato, carbonato, cloruro, bromuro, cianuro y sulfato. El carbonato se utiliza para la fabricación de vidrio. El hidróxido en productos farmacéuticos y en gotas salinas.	Es esencial para la vida. Es importante mantener el equilibrio de líquidos y electrolitos. El isótopo potasio-40 que se produce de forma natural es radioactivo y, aunque esta radioactividad es leve, puede ser una causa natural de mutación genética en los seres humanos.
Mn				Esencial para producción de acero y hierro, en la mayoría de las latas de aluminio para bebidas contienen entre el 0,8 % y el 1,5 %; vidrio y la cerámica se colorean con diversos compuestos de Mn.	Es uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, significa que no es sólo necesario para la supervivencia del humano, pero que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones.
			Mo	La mayor parte del molibdeno se utiliza para hacer aleaciones, con el acero se utiliza en partes de motores. Otras aleaciones se utilizan en elementos de	En animales, el molibdeno y sus compuestos son altamente tóxicos, hay evidencia de disfunción hepática con

				calefacción, taladros y hojas de sierra. El disulfuro de molibdeno se utiliza como aditivo lubricante. Otros usos para el molibdeno incluyen catalizadores para la industria del petróleo, tintas para placas de circuitos, pigmentos y electrodos.	hiperbilirubinemia.
Nb			Nb	Las aleaciones se utilizan en motores a reacción y cohetes, vigas para edificios, plataformas petrolíferas, en oleoductos y gasoductos. Tiene propiedades superconductoras. Se utiliza en imanes superconductores para aceleradores de partículas y en escáneres. Los compuestos de óxido de niobio se agregan al vidrio para aumentar el índice de refracción, lo que permite que los lentes correctores sean más delgados.	Cuando es inhalado, se retiene principalmente en los pulmones, pero secundariamente pasa a huesos. Interfiere con el calcio como activador del sistema enzimático.
Ni	Ni	Ni	Ni	En cromadoras ya que resiste la corrosión, se utiliza en tostadores y hornos eléctricos. En aleaciones de cobre-níquel en plantas desalinizadoras, acero y níquel para los blindajes. Otras aleaciones de níquel se usan en ejes de hélices de barcos y palas de turbinas. En baterías, incluidas las recargables de níquel-cadmio y las de hidruro de níquel-metal utilizadas en los vehículos híbridos. Como catalizador para hidrogenar aceites vegetales.	Algunos compuestos de níquel pueden causar cáncer si se inhala el polvo y algunas personas son alérgicas al contacto con el metal.
Os			Os	Se utiliza para producir aleaciones muy duras para puntas de plumas, pivotes de instrumentos, agujas y contactos eléctricos. También se utiliza en la industria química como catalizador.	Es un metal no tóxico, pero en óxido es volátil y altamente tóxico causando daños en los pulmones, la piel y los ojos.

			Pd	<p>En convertidores catalíticos, en joyería, odontología, relojería, en tiras reactivas para comprobar los niveles de azúcar en sangre, en bujías de aviones, en la producción de instrumentos quirúrgicos; también en la industria electrónica en condensadores de cerámica que se encuentran en computadoras portátiles y teléfonos móviles. Estos consisten en capas de paladio intercaladas entre capas de cerámica.</p>	<p>Puede provocar irritación o hipersensibilidad de la piel, los ojos o el tracto respiratorio. En caso de encontrarse líquido puede provocar quemaduras en la piel y ojos.</p>
			Pt	<p>En joyería, convertidores catalíticos, fabricación de fibras ópticas y LCD, palas de turbinas, bujías, marcapasos y empastes dentales., en medicamentos de quimioterapia. En la industria química como catalizador para la producción de ácido nítrico, silicona y benceno. La industria electrónica para discos duros y termopares.</p>	<p>El Platino como metal no es tóxico, pero las sales pueden causar alteración del ADN, cáncer, reacciones alérgicas de la piel y mucosas, daños en intestino, riñones y médula así como lesiones auditivas.</p>
Re			Re	<p>Como aditivo para aleaciones basadas en tungsteno y molibdeno, se utilizan para filamentos de horno y máquinas de rayos X. También se utiliza como material de contacto eléctrico. También en aleaciones de níquel para fabricar palas de turbina de cristal único.</p>	<p>Efectos potenciales sobre la salud: Irritación de los ojos, irritación a la piel. El líquido puede provocar quemaduras en piel y ojos. Ingestión: Puede causar irritación del tracto respiratorio.</p>
			Rh	<p>En convertidores catalíticos para automóviles. Catalizador en la industria química, para producir ácido nítrico, ácido acético y reacciones de hidrogenación. Se utiliza para recubrir fibras ópticas y espejos ópticos, y para crisoles, elementos de termopar y reflectores de faros, así como material de contacto eléctrico ya que tiene una baja resistencia eléctrica y es altamente resistente a la corrosión.</p>	<p>Todos los compuestos del rodio deben ser considerados como altamente tóxicos y carcinógenos.</p>

		Ta	Ta	<p>En la producción de componentes electrónicos, en dispositivos electrónicos portátiles como los teléfonos móviles. Las aleaciones pueden ser extremadamente fuertes y se han utilizado para álabes de turbinas (máquina de fluido rotodinámica), boquillas de cohetes y tapas nasales para aviones supersónicos.</p>	<p>No causa respuesta inmunitaria en los mamíferos, por lo que tiene un amplio uso en la fabricación de implantes quirúrgicos. Puede reemplazar al hueso, por ejemplo en placas de cráneo; como papel aluminio o alambre que conecta los nervios desgarrados, y como gasa tejida (se une al músculo abdominal).</p>
Ti			Ti	<p>Agente de aleación con metales como aluminio, molibdeno y hierro. Utilizadas principalmente en aviones, naves espaciales y misiles. También para elaboración de palos de golf, portátiles, bicicletas y muletas. Excelente resistencia a la corrosión en agua de mar, se usa en plantas desalinizadoras, para proteger cascos de barcos, submarinos y en general estructuras expuestas al agua de mar. En reemplazos articulares (de cadera) e implantes dentales. Como óxido de titanio, se utiliza como pigmento en pinturas de casa, pinturas de artistas, plásticos, esmaltes y papel. Buen reflector de radiación infrarroja, se utiliza en observatorios solares en donde el calor provoca mala visibilidad. También en filtros solares.</p>	<p>No es tóxico aunque el polvo fino de dióxido de titanio es carcinógeno.</p>
V				<p>Alrededor del 80% del vanadio producido se utiliza como un aditivo de acero. Las aleaciones de vanadio y acero son muy resistentes y se utilizan para placas de blindaje, ejes, herramientas, vástagos de pistón y cigüeñales. Menos del 1% de vanadio hace que el acero sea resistente a los</p>	<p>Solo causa efectos a la salud si se consume en exceso, pero cuando se encuentra en el aire puede causar bronquitis y neumonía.</p>

				golpes y vibraciones. Las aleaciones de vanadio se utilizan en reactores nucleares debido a las bajas propiedades de absorción de neutrones del vanadio. El óxido de vanadio se utiliza como pigmento para la cerámica y el vidrio, como catalizador y para producir imanes superconductores.	
			W	El tungsteno y sus aleaciones se utilizan como electrodos de soldadura y elementos de calefacción en hornos de alta temperatura. El carburo de tungsteno es considerablemente duro y muy importante para las industrias metalúrgicas, mineras y petroleras. En mezclas de polvo de tungsteno y de carbón soportan hasta 2200 ° C. Como herramientas de corte y perforación, en taladros dentales "indoloro" gira a velocidades ultra altas. Los tungstenos de calcio y magnesio son empleados en iluminación fluorescente.	En seres humanos, la exposición al tungsteno no se ha asociado con efectos específicos sobre la salud.
Zn	Zn	Zn	Zn	Galvanizar metales como el hierro. En carrocerías, postes de alumbrado público, barreras de seguridad y puentes colgantes. Para producir piezas fundidas a presión, importante en las industrias automotriz, eléctrica y de hardware. En aleaciones como el latón, la plata de níquel y la soldadura de aluminio. El óxido de zinc se usa ampliamente en la fabricación de pinturas, caucho, cosméticos, productos farmacéuticos, plásticos, tintas, jabones, baterías, textiles y equipos eléctricos. El sulfuro de zinc para hacer pinturas luminosas, luces fluorescentes y pantallas de rayos X.	El zinc puede ser cancerígeno en exceso.

		Si	Si	Fabricar aleaciones de aluminio-silicio y ferrosilicio. Para generadores eléctricos y transformadores, bloques de motor, culatas, máquinas, herramientas y para desoxidar acero. Como semiconductor en dispositivos de estado sólido en las industrias de computadoras y microelectrónica. La arena (dióxido de sílice) y la arcilla (silicato de aluminio) se utilizan para hacer concreto y cemento. La arena es también el ingrediente principal del vidrio. El silicio, como silicato, está presente en cerámica, esmaltes y cerámicas de alta temperatura. También se usa para hacer siliconas. El aceite de silicona se agrega a algunos cosméticos y acondicionadores para el cabello. Como sellador en baños, ventanas, tuberías y techos.	La inhalación del polvo de sílice cristalina puede provocar silicosis.
Pb	Pb	Pb	Pb	En baterías de automóviles, pigmentos, municiones, revestimientos de cables, levantamiento de pesas, cinturones de pesas para buceo, cristal de plomo (emplomados), protección contra la radiación y en algunas soldaduras. Otros usos son para almacenamiento de líquidos corrosivos. También se utiliza a veces en arquitectura, para techos y en vitrales.	El uso de este metal se ha prohibido en muchos casos por ser dañino a la salud. Puede acumularse en el cuerpo y causar graves problemas de salud. Es tóxico, teratogénico (perturba el desarrollo de un embrión o feto) y es carcinógeno.
La				Fabricación de lentes de gran calidad. En lámparas fluorescentes, lámparas ahorradoras de energías, televisores y vidrios. Para producir catalizadores.	Es peligroso en el lugar de trabajo debido a que se puede inhalar, lo que puede causar embolia pulmonar; también puede dañar al hígado cuando se acumula en el cuerpo humano.
Ac				El actinio es una fuente muy poderosa de rayos alfa, pero rara vez se utiliza fuera de la investigación. Se usa en medicina,	Por ser extremadamente radiactivo, la ingesta incluso en pequeñas cantidades, puede causar daños muy

				para la producción de radioterapia. Se encuentra en el uranio natural en una proporción del orden del 0,175% y también de manera natural.	severos. Es tan peligroso como el plutonio.
				Agente de aleación con magnesio. Como catalizador industrial, fuente de energía nuclear. Es aproximadamente tres veces más abundante que el uranio y tan abundante como el plomo.	Respirar torio en el trabajo puede incrementar las posibilidades de desarrollar enfermedades de pulmón, cáncer de pulmón o cáncer de páncreas, aunque puede ser muchos años después de la exposición. Las personas a las que les ha sido inyectado torio para algunos estudios de rayos X pueden desarrollar enfermedades del hígado. Es radiactivo y puede ser almacenado en los huesos.

Se encontraron 34 elementos en las muestras, cinco de ellos, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn fueron hallados en todos los análisis de las muestras. El uso que se les da a estos metales es muy representativo en la industria automotriz, el Cr es usado en algunos productos agrícolas, el Zn es importante en la industria eléctrica, farmacéutica y en la elaboración de lámparas. Cu y Cr en exceso son tóxicos y el Pb también es dañino para la salud, por lo que su uso ha disminuido, sin embargo, aún tiene aplicaciones en diversas áreas. El Zn en exceso se tiene catalogado como cancerígeno y el Ni en algunos casos puede generar cáncer o alergias.

El cadmio (Cd) fue encontrado en tejido pulmonar y hojas y sus compuestos son usados en la elaboración de diversos tipos de baterías, entre otros muchos usos. El Cd es cancerígeno y teratogénico. Los elementos As, Nb, Os y Re estuvieron presentes en suelo (XRF) y en pulmón (SEM). Las aplicaciones de estos elementos se relacionan con la industria eléctrica (en ámbitos diversos). El Os puede encontrarse como impureza en minerales de origen basáltico junto con Ir, Rh y Fe. Como ya se comentó antes, el Nb, Os y Re tienen la capacidad de generar problemas pulmonares, y los dos últimos también pueden generar daños en piel y ojos. Según Utsunomiya *et al.*, (2004) la presencia de As en las muestras, sugiere que viene de fuentes antropogénicas como la combustión de combustibles fósiles, como centrales eléctricas e incineradores de desechos.

El Ca y K se observaron por XRF en suelo y SEM en hojas, generalmente son constituyentes de minerales, y solo el K^{40} puede ser una causa natural de mutación genética.

En el caso del Si se identificó por SEM en hojas y pulmón (SEM). Y de manera común el Si y Nb (SEM) en pulmón (SEM), se emplean para la elaboración de vidrio (entre otros usos).

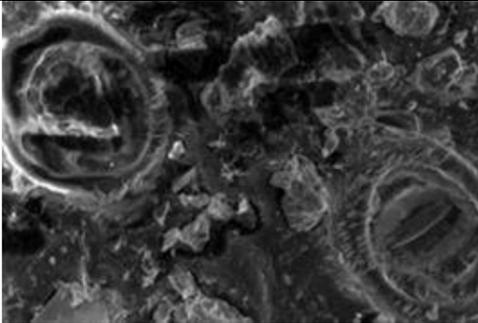
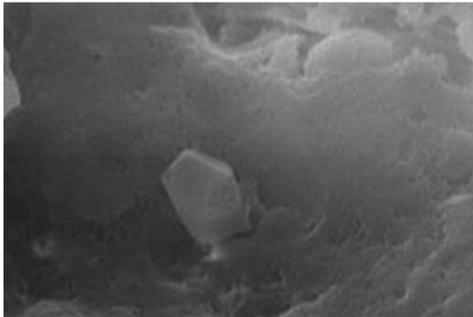
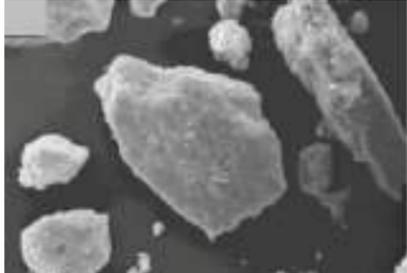
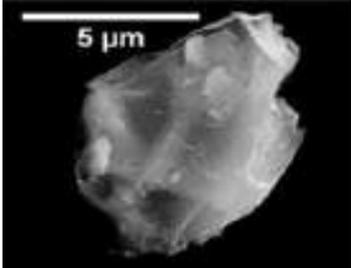
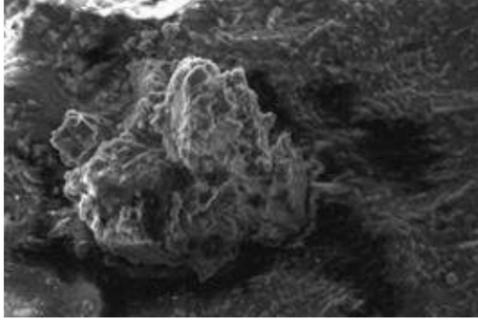
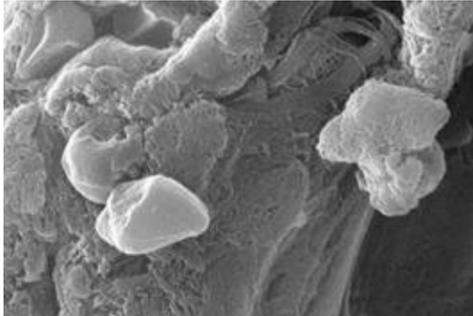
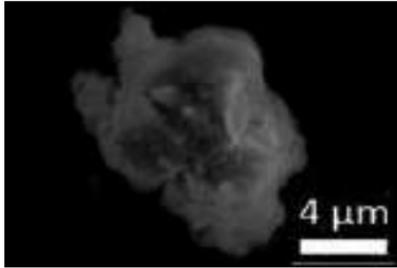
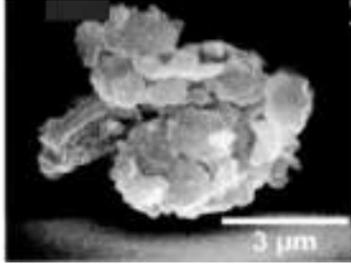
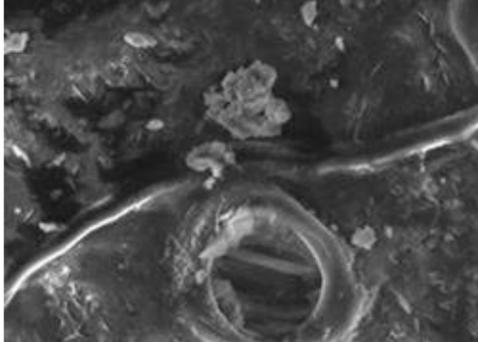
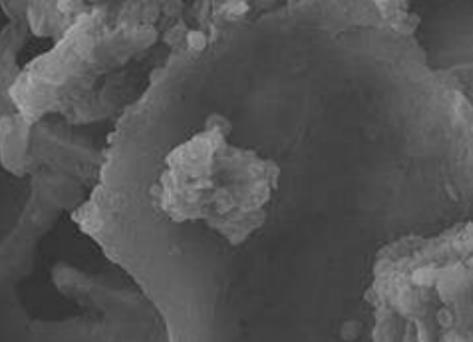
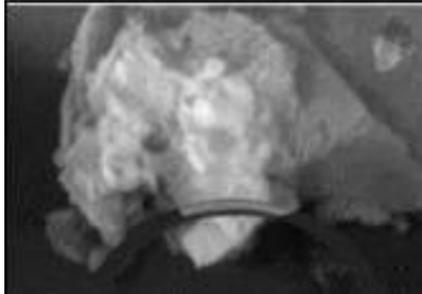
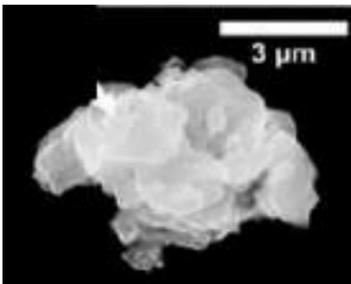
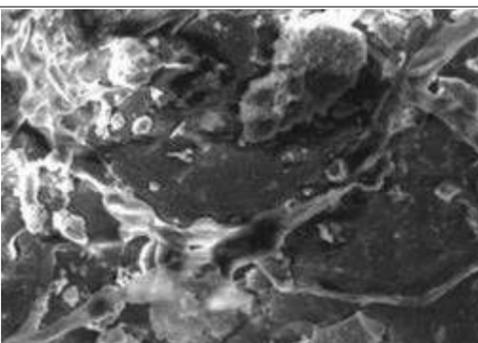
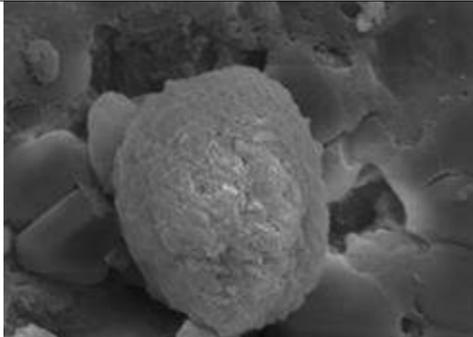
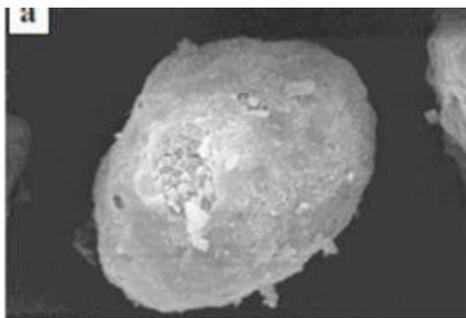
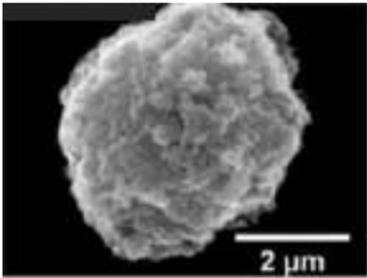
De manera individual Ir y Pt son empleados en la industria automotriz para la elaboración de bujías, así como el Pd, sin embargo, este último es usado para bujías, pero de aviones. Los elementos Pd, Pt y Rh tienen aplicaciones en la elaboración de convertidores catalíticos de vehículos.

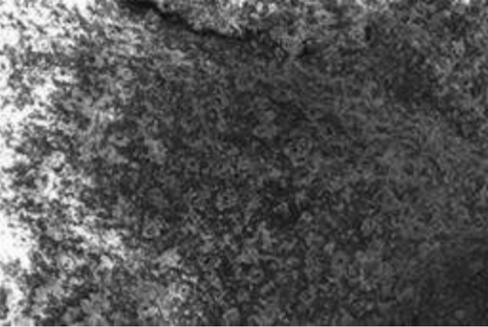
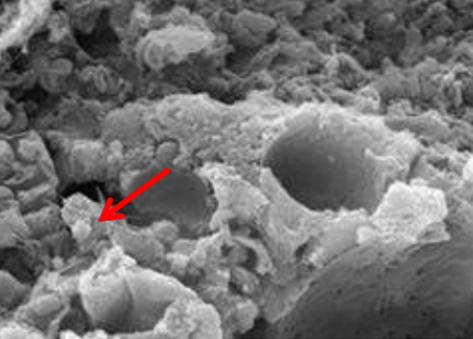
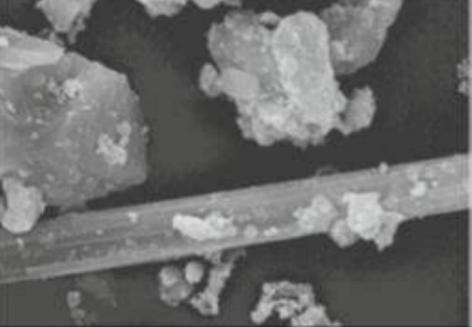
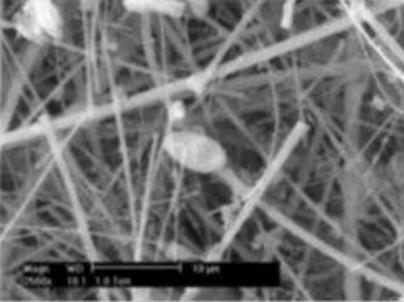
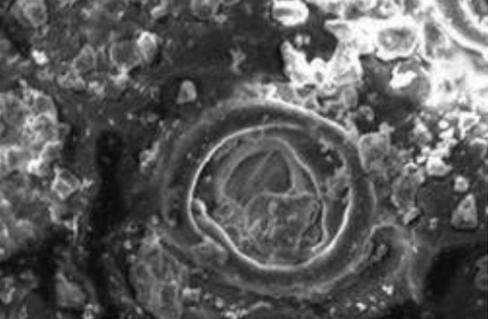
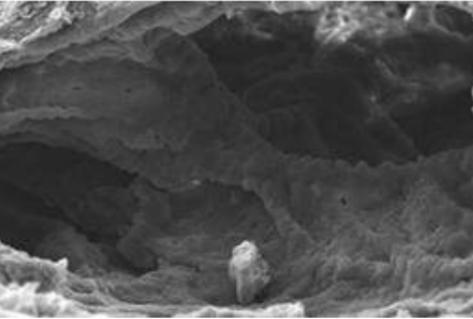
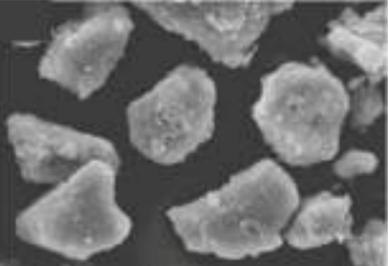
Respecto a elementos radiactivos se identificó la presencia de La, Ac y Th. El lantano (La) se emplea en lámparas fluorescentes y ahorradoras de energía, televisores, entre otros usos. El actinio (Ac) su uso principal es en medicina para radioterapia y en investigación. El torio (Th) se considera un catalizador industrial, se usa en medicina y como fuente de energía nuclear. Los tres son peligrosos para la salud, pueden causar diversos tipos de cáncer y problemas pulmonares entre otros.

En cuanto al número de fallecimientos registrados en el Estado de Jalisco en 2016, considerando las 20 principales causas de mortalidad y como base a los criterios que conforman la Lista Mexicana de Enfermedades, por lo menos se encuentran representados el 80% del total de defunciones registradas. Se encontró que las 3 (tres) primeras causas de defunción en Jalisco son: 1.-Enfermedades del corazón (Enfermedades isquémicas del corazón), 2.-Diabetes mellitus, 3.-Tumores malignos de: a) próstata, b) mama y c) de la tráquea, de los bronquios y del pulmón (SEM) (INEGI, 2016).

En el Cuadro 24 se muestran las partículas observadas en este trabajo, mediante la técnica SEM sobre hojas de *Ficus benjamina* y en pulmón.

Cuadro 24. Comparativa entre partículas ambientales observadas en hojas de *Ficus benjamina* y bronquios pulmonares con partículas del entorno urbano analizadas por Conny (2001, 2014); Conny *et al.*, (2011); Dong, (2014); Sielicki, (2011); Ault, (2012)

HOJAS <i>Ficus benjamina</i>		PULMÓN		ESTUDIOS PREVIOS		ESTUDIOS PREVIOS	
	Muestra 1 (adaxial) Escala 5 µm		Muestra 1 Escala 5 µm		(Ault <i>et al.</i> , 2012) Escala 30 µm		(Conny <i>et al.</i> , 2011) Escala 5 µm
	Muestra 3 (abaxial) Escala 5 µm		Muestra 2 Escala 5 µm		(Sielicki <i>et al.</i> , 2011) Escala 4 µm		(Conny <i>et al.</i> , 2011) Escala 3 µm
	Muestra 4 (adaxial) Escala 5 µm		Muestra 5 Escala 20 µm		(Dong <i>et al.</i> , 2014) Escala 5 µm		(Conny <i>et al.</i> , 2011) Escala 3 µm
	Muestra 9 (abaxial) Escala 5 µm		Muestras 2, 6, 8, 9 Escala 2 µm		(Dong <i>et al.</i> , 2014) Escala 3 µm		(Sielicki <i>et al.</i> , 2011) Escala 2 µm

 <p>Muestra (adaxial) Escala 100 µm</p>	 <p>Muestra 4 Escala 10 µm</p>	 <p>(Dong <i>et al.</i>, 2014) Escala 3 µm</p>	 <p>(Rosales- Castillo <i>et al.</i>, 2001; Romero- Placeres <i>et al.</i>, 2004; Ramírez- Sánchez <i>et al.</i>, 2006; Blanco-Becerra <i>et al.</i>, 2014; Hernández- Cadena <i>et al.</i>, 2000; Brugha <i>et al.</i>, 2014) Escala 10 µm</p>
 <p>Muestra 8 (adaxial) Escala 5 µm</p>	 <p>Muestra 3 Escala 50 µm</p>	 <p>(Utsunomiya <i>et al.</i>, 2004; Riojas- Rodríguez <i>et al.</i>, 2014) Escala 10 µm</p>	

4.5 Partículas ultrafinas en hojas de *Ficus benjamina*

Daño en la superficie de las hojas

La presencia de partículas ultrafinas depositadas en las hojas recolectadas en el AMG no fue muy abundante, a pesar de que se conoce que en áreas urbanas entre el 80 y 90 % del total de partículas presentes en el aire son ultrafinas (Fernández, 2011). Debido a que la morfología y tamaño de las partículas del aire depositadas en las hojas de las plantas depende de las condiciones hídricas es muy importante observar su morfología y tamaño bajo condiciones de exceso o déficit de agua. Sin embargo, es relativamente complicado conocer la influencia del agua en el comportamiento de la forma y el tamaño de partícula en entornos ambientales reales. También es fundamental conocer el efecto de estas partículas en el proceso fotosintético y el posible daño en superficie y estructura interna de las hojas de las plantas. En esta sección se propone una metodología que permita vislumbrar el potencial contaminante de partículas ultrafinas en zona urbanas, y que las plantas son las primeras especies vivientes en intentar mitigar a través de diferentes procesos de filtración. En particular, es poco conocido el efecto de nanometales depositados en las hojas de las plantas en el proceso fotosintético y/o daño estructural y en su superficie. Por tal razón, en este trabajo también se informa de la preparación de NPs de plata esféricas dispersas en agua con distribución de tamaño bimodal (diámetro promedio de 1.8 y 44 nm), las cuales son depositadas sobre la superficie de hojas de *Ficus benjamina* por el método de inmersión. Este procedimiento, permite explicar cómo el material nanoparticulado existente en el entorno atmosférico o terrestre, es depositado sobre las hojas de las plantas, e inferir los efectos de estrés por NPs en el proceso de la fotosíntesis, y los consiguientes daños estructurales o en superficie de la hoja.

En la Figura 51a, se muestra una imagen de microscopía electrónica de transmisión de las NPs preparadas en agua para 24 h de añejamiento. En la imagen se observan nanopartículas individuales esféricas y cuasi-esféricas, con diámetro desde 7 y hasta 30 nm así como agregados de gran tamaño. Según el análisis de dispersión de luz dinámica se encontró una distribución bimodal en el tamaño de las partículas con valor promedio de 1.8 y 44 nm, respectivamente (Figura 51b). Los espectros de absorción ópticos de la muestra coloidal en función del tiempo de añejamiento (Figura 52), corresponden a una resonancia plasmónica dipolar, la cual confirma que la absorbancia proviene de NPs de plata de forma esférica con

amplia distribución de tamaño (Liu *et al.*, 2007). Para tiempos de añejamiento mayores a 10 h, el espectro de absorción no cambió, sugiriendo estabilidad morfológica de las NPs metálicas después de este tiempo.

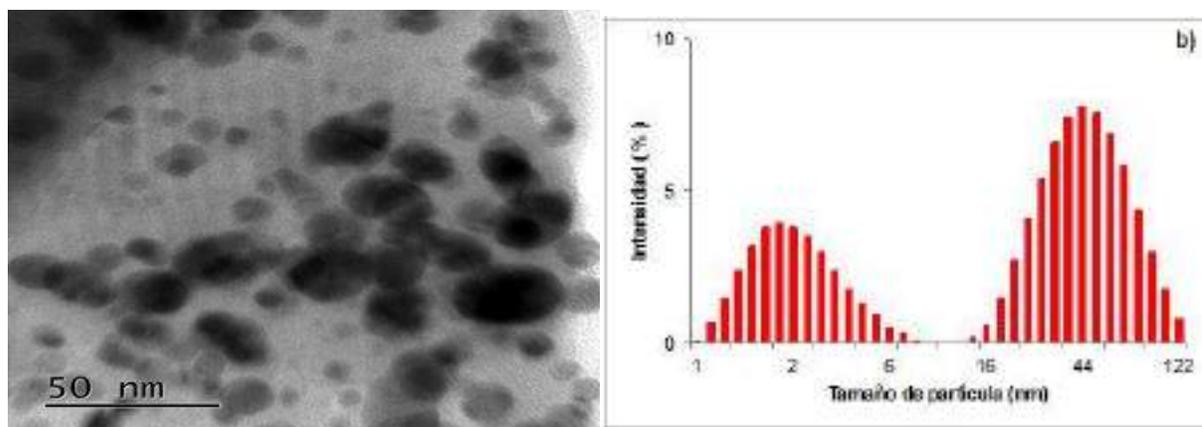


Figura 51. Microscopía electrónica de transmisión de NPs de plata (a). Distribución de tamaño de las NPs de plata para 24 h de añejamiento (b).

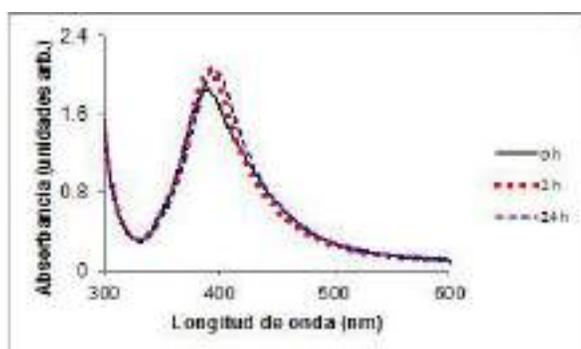


Figura 52. Espectro de absorción de NPs de plata preparadas en agua en función del tiempo de añejamiento.

En la Figura 53 se ha graficado el espectro FTIR de una hoja de *Ficus benjamina* impregnada con NPs de plata antes y después de secar por 24 h a 35 °C. Se observa una disminución de la absorbancia de muchos grupos funcionales asociados a compuestos orgánicos de naturaleza compleja que indican daño a la superficie de la hoja (Peña *et al.*, 2019). Por ejemplo, se puede observar la disminución de la banda ancha localizada en 3365 cm⁻¹ para la hoja seca, relacionada al modo de vibración de tensión del grupo –OH que comprende alcoholes, agua y flavonoides. También se observa la disminución de alifáticos que se encuentran en varias ceras de las plantas que se caracteriza por vibraciones de tensión de metileno localizado en 2917 y 2846 cm⁻¹, flexión en 1462 cm⁻¹, además de las vibraciones de balanceo en 719 cm⁻¹. Las absorciones en 1730 y 1157 cm⁻¹ están asociadas a vibraciones de tensión C=O en aldeídos alifáticos y a vibraciones de tensión C-H, C-C en anillos aromáticos, respectivamente. Otras absorciones predominantes que disminuyeron fueron observadas en 1612, 1244 y 1105 cm⁻¹ debido a agua, aminas aromáticas y vibraciones C=S.

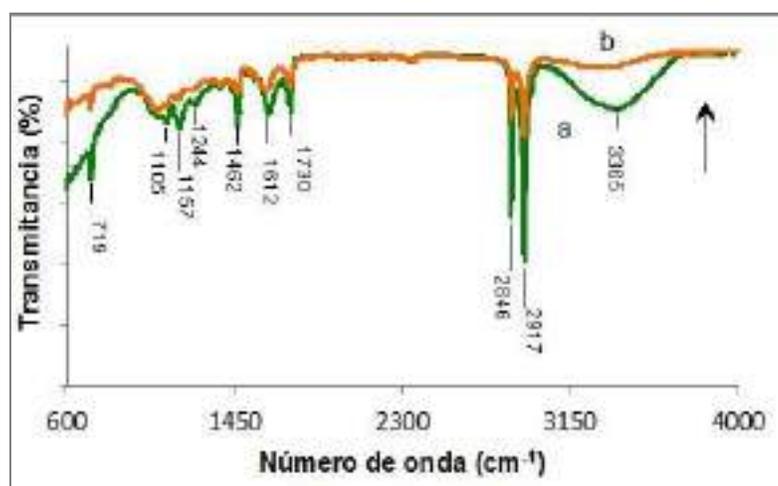


Figura 53. Espectro FTIR en la región de 600-4000 cm⁻¹ de una hoja de *Ficus benjamina* impregnada con nanopartículas a) y posteriormente secada a 35 °C por 24 h b). La flecha indica la evolución espectroscópica correspondiente.

Daño a pigmentos y estructura interna de las hojas

En la Figura 54 se muestran las propiedades ópticas en el intervalo de 200-2000 nm correspondientes a la hoja contaminada con NPs de plata antes y después de un proceso de secado. La absorbancia en la región UV-Vis debido a proteínas, flavonoides, carotenoides y clorofila (Cuadro 25), así como en la región del infrarrojo (1106-2000 nm) donde predomina agua, disminuyó respecto a la hoja impregnada (Figura 54a). Este efecto confirma la degradación de proteínas y compuestos aromáticos inducida por efecto de la temperatura, la cual se relaciona con pérdida de agua. También puede distinguirse la aparición de una fuerte absorción óptica en la región de 714 a 1106 nm para la hoja contaminada y calentada por 24 h (Figura 54a).

Las hojas de tabaco que sufren oscurecimiento enzimático o termoquímico exhiben un incremento de la absorción óptica en la región de 500-1380 nm (McClure, 1975). Con respecto al espectro de reflectancia, también se observaron varios cambios importantes (Figura 54b). La tendencia general en la región UV-Vis es a un incremento en la reflectancia. Por ejemplo, la reflectancia en 676 nm para la hoja seca fue mayor que en la hoja impregnada y sin secar, sugiriendo una disminución en la concentración de clorofila. También, ha sido informado que cuando la concentración de pigmentos fotosintéticos disminuye el espectro de reflectancia se ensancha (Peña *et al.*, 2019). De modo similar, la concentración de carotenoide también disminuye. Dado que la función de los carotenoides es la de evitar daños a las hojas por flujos excesivos de radiación visible, su disminución altera el balance térmico y compromete la eficiencia del proceso fotosintético. Adicionalmente, se puede afirmar que el daño causado a los pigmentos de la hoja secada y contaminada por nanopartículas compromete un proceso eficaz de disipación de calor.

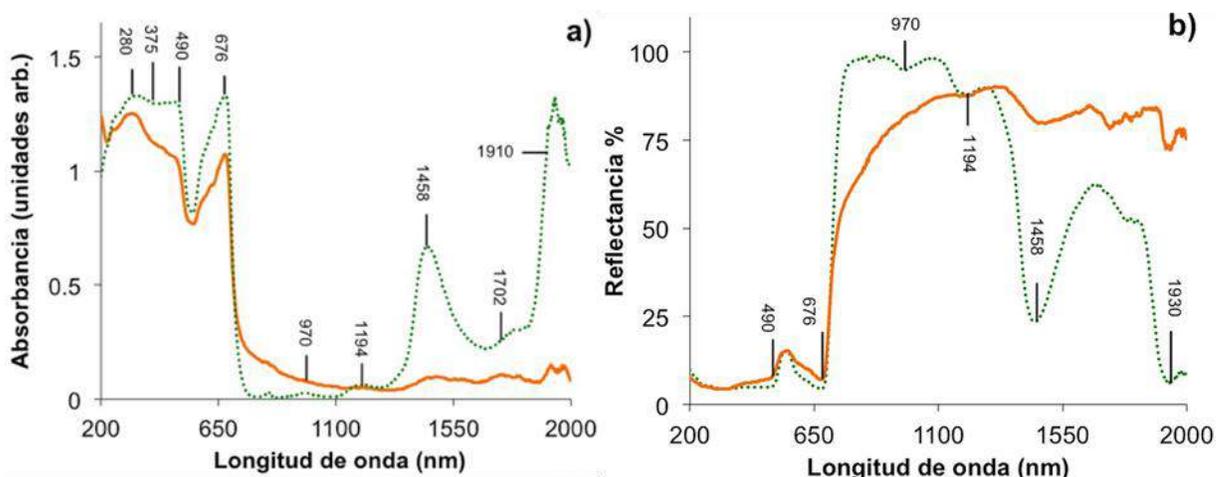


Figura 54. Absorbancia (a) y Reflectancia (b) en la región de 200-2000 nm para una hoja de *Ficus benjamina* en el área adaxial, impregnada con la solución coloidal (···) y después de secarla a 35 °C por 24 h (—)

Cuadro 25. Asignaciones de los principales máximos de absorción de compuestos en hojas de plantas (Peña *et al.*, 2019)

λ (nm)	Asignación
210	Péptidos
250	Quininas
260-270	Flavonoides
280	Residuos de proteínas
350-380	Flavonoides
400-500	Carotenoides
430, 490, 676	Clorofila a
460, 643	Clorofila b
970, 1194, 1458, 1940	Agua
1702, 1780, 1910, 1964	Almidón
1220, 1480, 1930	Celulosa

Por otra parte, ya que la radiación es difundida y esparcida a través de la cutícula y epidermis, hacia las células del mesófilo y cavidades de aire en el interior de una hoja sana, la radiación sufre múltiples reflexiones que causan una alta reflectancia en el intervalo de 800-1200 nm. Sin embargo, la reflectancia de la hoja calentada y contaminada disminuyó hasta 34 % a 810 nm con respecto a la hoja contaminada y sin calentar (Figura 54b). El resultado sugiere una alteración en la interfase pared celular-aire causada por la solución coloidal de partículas metálicas.

Los resultados de las hojas contaminadas con NPs y sometidas a un tratamiento térmico, sugieren que la falta de agua provoca degradación de compuestos aromáticos, daño en la superficie de la hoja, oscurecimiento termoquímico y alteración de su estructura interna. En consecuencia, se predice que, en hojas de árboles contaminadas con partículas metálicas ultrafinas y sometidas a déficit hídrico, se compromete la transpiración, se incrementa la temperatura de la hoja y se altera el proceso fotosintético.

Morfología de las NPs en la superficie de las hojas

En la Figura 55a, se muestra una imagen de microscopía electrónica de barrido de las partículas de plata depositadas sobre la hoja de *Ficus benjamina* en su lado adaxial. En la imagen se observan muchos agregados de gran tamaño ($> 1 \mu\text{m}$) y partículas de forma esférica con diámetros de $\sim 200 \text{ nm}$. Probablemente, las propiedades fisicoquímicas de la membrana cuticular, tales como la masa, solubilidad, composición química e intersticios, favorecen estados agregados (Peña *et al.*, 2019). Una explicación de cómo ocurre este proceso se presenta a continuación: se ha informado que la masa por unidad de área de la membrana cuticular en una hoja de *Ficus benjamina* es de $458 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, y de esta masa el 75 % ($343 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) es insoluble para la cara adaxial. El material insoluble es principalmente cutina, la cual está constituida de ácidos grasos saturados, predominantemente en la longitud de cadena C_{16} y C_{18} , portando grupos $-\text{OH}$ y epóxido, en la mitad de la cadena, o en el extremo opuesto. Ya que la cadena es apolar y es mucho más grande que el grupo polar proveniente del hidroxilo o epóxido, las moléculas de cadena larga no se disuelven fácilmente en agua. Consecuentemente, las nanopartículas de plata difícilmente podrían distribuirse homogéneamente sobre la cutícula, no obstante, algunas partículas podrían quedar atrapadas en la cera cuticular, tal y como se ha informado para otros metales depositados en hojas de plantas. Por otra parte, la matriz cuticular no es homogénea y puede contener numerosos intersticios, en diferentes proporciones, frecuentemente llenados con material granular grueso y depósitos de minerales de silicio. Los intersticios pueden estar interconectados y son burdos en la cara adaxial. Entonces, el proceso de agregación inicia debido a que una pequeña partícula de plata sin protección de su superficie (como en nuestro caso), puede ser fácilmente absorbida sobre una partícula más grande (plata o mineral de silicio) previamente atrapada en los intersticios o en la cera cuticular, causando un proceso continuo de crecimiento y

aglomeración de partículas. Es especialmente interesante informar que los estados aglomerados de partículas, también pueden ser promovidos por el material soluble de la cutícula. La aseveración se prueba indirectamente sobre la base de que el tamaño de las nanopartículas dispersas en la solución acuosa, se incrementó notablemente después de 18 horas de estar en contacto con la hoja de *Ficus benjamina* (Figura 55b). Adicionalmente, el ancho de banda de la resonancia plasmónica aumentó 38 nm con respecto a la resonancia original (67 nm) y se desplazó al rojo 5 nm. El resultado confirma que los compuestos extraídos de las hojas de este *Ficus* promueven un incremento del tamaño de la nanopartícula en fase líquida. El ensanchamiento y desplazamiento al rojo fue muy notable para soluciones coloidales mantenidas en contacto con la hoja varios días, mientras que el espectro óptico de la solución coloidal de plata original, no sufrió cambios en el mismo período.

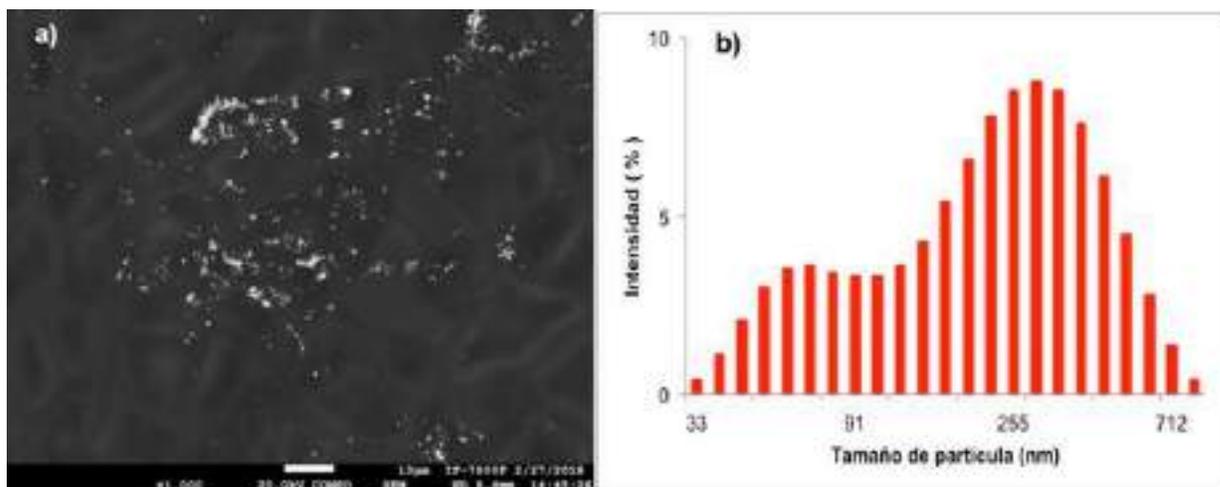


Figura 55. Imagen SEM de NPs de plata depositadas en una hoja de *Ficus benjamina* en su cara adaxial (a). Distribución del tamaño de las NPs de plata en agua después de la inmersión en hojas de *Ficus* por 18 h (b).

Se deduce que las hojas de las plantas en presencia de agua poseen un mecanismo eficiente de aglomeración de NPs en su superficie, evitando de esta manera que pasen a estructuras internas del tejido vegetal. En diferentes trabajos se ha informado que las partículas metálicas ultrafinas emitidas por fuentes industriales y móviles, forman estados aglomerados en la superficie de las hojas de las plantas (Tomašević *et al.*, 2011; Szönyi *et al.*, 2008). También, estos estados predominaron sobre las nanopartículas aisladas, de acuerdo con las microfotografías obtenidas en este trabajo y presentadas anteriormente.

Conclusiones

La diversidad de técnicas empleadas para el análisis de las muestras nos permitió primero observar, después identificar y finalmente corroborar la presencia de elementos metálicos en las muestras. Específicamente a través de mapas de distribución espacial de partículas ferrimagnéticas elaborados a partir de medidas de susceptibilidad magnética, se pudo inferir que estas partículas se encuentran prácticamente en toda el AMG. La técnica SEM nos dio la facilidad de observar la forma, tamaño y composición de las partículas. Por medio de XRF se determinó la presencia de 21 elementos, un no metal Br y dos elementos radioactivos Ac y Th.

Los mapas de distribución con la cantidad de polvo urbano depositado sobre las banquetas nos permitieron identificar las zonas con mayor cantidad de polvo, tales como la zona del Aeropuerto Internacional de Guadalajara “Miguel Hidalgo y Costilla”, el entronque entre la carretera a Chapala y el anillo periférico Manuel Gómez Morín en el municipio de Tlaquepaque, así como sobre la prolongación Av. López Mateos en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, y el área de la XV zona militar, al Norte de la ciudad. Es importante resaltar la gran cantidad de ladrilleras en los alrededores del AMG, 831 las cuales queman cualquier clase de residuos para abastecer los hornos.

Mediante AA se identificaron las concentraciones de los siete metales analizados, de los cuales los más abundantes fueron el Cu y el Pb. Los mapas de metales pesados permitieron conocer que se tienen algunos patrones de distribución de la contaminación. Tal fue el caso del Cd, Pb y Zn que se distribuyen muy homogéneamente sobre la avenida Lázaro Cárdenas hasta llegar a la zona del Mercado de abastos. Lo anterior se correlaciona con el mapa de distribución de metales pesados obtenido por AA, polvo urbano y con los mapas de caracterización magnética. Los valores de concentración de Cd, Co, Cr, Cu, Ni y Pb depositados en hojas, superaron los valores de referencia.

En pulmón se identificaron 21 elementos, además de observar la forma y tamaño de las partículas. Dichas imágenes se compararon con algunas otras partículas medioambientales presentadas por autores diversos. Se consultaron los usos de estos elementos y se identificó que algunos de ellos se utilizan en la industria automotriz, eléctrica y en medicina, además de que en la alimentación también tienen gran influencia. Se demostró que las partículas

ambientales son capaces de pasar las barreras naturales del cuerpo y llegar a sitios muy distantes siendo su tamaño fundamental para que esto suceda: mientras más finas van a viajar más lejos tanto dentro como fuera del organismo.

Recoger hojas de *Ficus benjamina* nos permitió conocer la contaminación específica que ocurre durante un período corto de tiempo (las hojas se regeneran constantemente). Todos los tipos de partículas se adhieren a las hojas (no es selectivo) debido al látex de la superficie. Las muestras de polvo recolectadas de esta manera representan el aire existente a nivel respirable por la población, por lo que se puede analizar cuantitativa y cualitativamente el tipo de partículas suspendidas. Los costos de este estudio son bajos en comparación con la instalación y operación de las estaciones de monitoreo existentes en el AMG.

La alta concentración de metales pesados encontrados, muestra que la calidad del aire ambiental en el AMG es insalubre. De ello se desprende que debe haber una correlación entre dicho aspecto y la salud de la población. Es importante destacar que el diámetro de las partículas presentes en las hojas del *Ficus benjamina* son fundamentalmente menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) y estados agregados, y que los problemas de salud de la población del AMG están asociados a PM fino.

Los resultados obtenidos entre los estudios de microscopía, absorción atómica, fluorescencia de rayos X y magnetismo, dieron la pauta para buscar el porqué, mediante SEM, eran poco abundantes las NPs observadas. Es por ello que se tomó la decisión de identificar la causa y por tal motivo, se realizaron análisis de absorbancia y reflectancia en hojas de *Ficus benjamina* contaminadas con NPs de plata, de forma controlada. Esto permitió observar que dichas partículas se aglutinan y se transforman en micropartículas dañando en menor medida al individuo, lo que pudiera considerarse como un mecanismo de defensa ante agresiones al medio ambiente. De igual manera se identificó la necesidad de observar si las micro y nano partículas se encontraban presentes en tejido pulmonar. Este aspecto se confirmó con las observaciones realizadas con el SEM, además de identificarse la presencia de metales pesados, bacterias y materiales totalmente ajenos al tejido.

Perspectivas

De los resultados preliminares analizados en hojas, polvo y suelo del AMG se resume que la mayor concentración de metales pesados se localiza en zonas densamente pobladas e incluyen una gran variedad de elementos tales como el osmio, que en forma de óxido es altamente tóxico, metales pesados típicos como Cd, Pb y Co, que superan varias veces los niveles de referencia, elementos radiactivos como Th, diversos minerales ferrimagnéticos de tamaño de grano ultrafino ($< 0.02 \mu\text{m}$) y grueso ($> 1 \mu\text{m}$) presentes en prácticamente toda el AMG, e incluso no metales como Br y metaloides como As. Esta información sugiere que la composición de contaminantes y su distribución en el AMG es extremadamente compleja e influyen en él múltiples factores de origen antropogénico y natural, pero que en definitiva pueden tener un gran impacto en la salud de las personas y en la vegetación. En consecuencia, es fundamentalmente importante verificar la presencia, origen, concentración y distribución de los diferentes metales encontrados y en particular los que pueden causar elevada toxicidad en la salud y en la vegetación. Por ejemplo, la identificación de elementos radioactivos como el Th y Ac, los cuales pueden causar daños a la salud, sugiere que es necesario identificar el origen de dichos elementos y cuantificar a qué nivel de concentración se encuentran en el AMG. Respecto a las medidas de susceptibilidad magnética y MRIS se encontraron valores más altos que los informados para otras ciudades, por lo que también se sugiere realizar la recolección de muestras de hojas y verificar los datos estimados en este trabajo, así como la evolución de la distribución de minerales ferrimagnéticos en el AMG.

En virtud de que se encontraron elementos metálicos en el AMG y también en tejido pulmonar, se requiere un estudio para determinar una correlación entre estas partículas contaminantes y el riesgo de presentar cáncer pulmonar, particularmente en áreas densamente pobladas y tomar las medidas necesarias para proteger a la población. Finalmente, debido a que se demostró que la presencia de metales pesados ultrafinos (plata en este caso) afecta la superficie y estructura interna de la hoja, es necesaria una investigación sobre los efectos de otras partículas metálicas más comunes y potencialmente tóxicas como Co, Pb o Cd.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea de Medio Ambiente. 2013. “Señales de la AEMA 2013. Cada vez que respiramos. Mejorar la calidad del aire en Europa.” Copenhague.
- Aguilar, Bertha, Francisco Bautista, Avto Goguitchaichvili, and Ofelia Morton. 2011. “Magnetic Monitoring of Top Soils of Merida (Southern Mexico).” *Studia Geophysica et Geodaetica* 55: 377–88. <https://doi.org/10.1007/s11200-011-0021-6>.
- Aguilar, Bertha, Rubén Cejudo, Juan Martínez-Cruz, Francisco Bautista, Avto Goguitchaichvili, Claire Carvallo, and Juan Morales. 2012. “*Ficus Benjamina* Leaves as Indicator of Atmospheric Pollution: A Reconnaissance Study.” *Studia Geophysica et Geodaetica* 56: 879–87. <https://doi.org/10.1007/s11200-011-0265-1>.
- Aguilar, Bertha, Victoria Mejía, Avto Goguitchaichvili, Jaime Escobar, Germán Bayona, Francisco Bautista, Juan Morales, and Thomas Ihl. 2013. “Reconnaissance Environmental Magnetic Study of Urban Soils, Dust and Leaves from Bogotá, Colombia.” *Studia Geophysica et Geodaetica* 57: 741–54. <https://doi.org/10.1007/s11200-012-0682-9>.
- Air Now, United States Environmental Protection Agency. 2015. “Understanding Particle Pollution.” <https://airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.particle>.
- Air Now, United States Environmental Protection Agency 2016. “Particulate Matter (PM) Pollution.” <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- Akguc, N., Ozyigit, I. I., & Yarci, C. (2008). *Pyracantha coccinea* Roem.(Rosaceae) as a biomonitor for Cd, Pb and Zn in Mugla province (Turkey). *Pak. J. Bot*, 40(4), 1767-1776.
- Alley, Roberts, and Associates Inc. 2009. “Manual de control de la calidad del aire.” In *Calidad de aire en America Latina*, 2–5.
- Arden, Pope C, Ezzati Majid, and Dockery Douglas W. 2009. “Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States.” *New England Journal of Medicine* 360 (4): 376–86. <https://doi.org/10.1056/NEJMsa0805646>.
- ATSDR. 2001. “RESUMEN DE SALUD PÚBLICA Cobalto (Cobalt).” *División de Toxicología y Ciencias de La Salud*, 1–9. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs33.html.
- . 2012a. “Resumen de Salud Pública Cadmio (Cadmium).” *División de Toxicología y Ciencias de la salud*, 8. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html.
- . 2012b. “Resumen de Salud Pública Cromo (Chromium).” *División de Toxicología y Ciencias de la salud*, 8. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html.
- . 2016a. “Resumen de Salud Pública: Cinc (Zinc) | PHS | ATSDR.” Resúmenes de Salud Pública - Cinc (Zinc). 2016. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs60.html.
- . 2016b. “Resumen de Salud Pública: Cobre (Copper) | PHS | ATSDR.” División de

- Toxicología y ciencias de la salud. 2016. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs132.html.
- . 2016c. “Resumen de Salud Pública: Níquel (Nickel) | PHS | ATSDR.” División de Toxicología y ciencias de la salud. 2016. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.html.
- . 2016d. “Resumen de Salud Pública: Plomo (Lead)| PHS | ATSDR.” *Resúmenes de Salud Pública - Plomo (Lead)*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html.
- . 2016e. “Tungsteno (Tungsten) | ToxFAQ | ATSDR.” 2016. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts186.html.
- Ault, Andrew P., Thomas M. Peters, Eric J. Sawvel, Gary S. Casuccio, and Robert D. Willis. 2012. “Single Particle SEM-EDS Analysis of Iron-Containing Coarse Particulate Matter in an Urban Environment: Sources and Distribution of Iron within Cleveland, Ohio.”
- Ávalos A., Haza A.I., Mateo D., Morales P. 2013. Nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos para la salud humana y medio ambiente. *Revista complutense de Ciencias Veterinarias*, 7(2), 1.
- Barkay, Zahava, Amit Teller, Eliezer Ganor, Zev Levin, and Yoram Shapira. 2005. “Atomic Force and Scanning Electron Microscopy of Atmospheric Particles.” *Microscopy Research and Technique* 68 (2): 107–14. <https://doi.org/10.1002/jemt.20241>.
- Barnés Regueiro, Francisco. 2011. “Presentación Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en veinte ciudades mexicanas.” México, D. F. http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/cuarto_almanaque_pres_fbr.pdf.
- Bartel, Andrea A., Juan Carlos Bidegain, and Ana María Sinito. 2005. “Propiedades magnéticas de diferentes suelos del partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires.” *Revista de La Asociacion Geológica Argentina* 60 (3): 591–98. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222005000300014.
- Bautista, Francisco, José Luis Palacio, Hugo Delfín, Rosaura Pérez, Estela Carmona, and María del Carmen Delgado. 2011. *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/tmuestreo.pdf.
- Bautista, F., Cejudo-Ruiz, R., Aguilar-Reyes, B., & Gogichaishvili, A. (2014). El potencial del magnetismo en la clasificación de suelos: una revisión. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 365-376.
- Beck-Speier, Ingrid, Niru Dayal, Erwin Karg, Konrad L. Maier, Gabriele Schumann, Holger Schulz, Manuela Semmler, et al. 2005. “Oxidative Stress and Lipid Mediators Induced in Alveolar Macrophages by Ultrafine Particles.” *Free Radical Biology and Medicine* 38 (8): 1080–92. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2005.01.004>.
- Bello, Abel. 2001. *Hematología Básica*. Edited by Editorial Prado. 3a. México, D. F.: Editorial Prado.

- Bhattacharya, Tanushree, Sukalyan Chakraborty, Dhara Tuteja, and Mitul Patel. 2013. "Zinc and Chromium Load in Road Dust, Suspended Particulate Matter and Foliar Dust Deposits of Anand City, Gujarat." *Open Journal of Metal* 03 (July): 42–50. <https://doi.org/10.4236/ojmetal.2013.32A1006>.
- Bi, Xiang Yang, Si Yuan Liang, and XiangDong Li. 2012. "Trace Metals in Soil, Dust, and Tree Leaves of the Urban Environment, Guangzhou, China." *Chinese Science Bulletin* 58 (2): 222–30. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5398-2>.
- Blanco-Becerra, Luis Camilo, Victor Miranda-Soberanis, Leticia Hernandez-Cadena, Albino Barraza-Villarreal, Washington Junger, Magali Hurtado-Diaz, and Isabelle Romieu. 2014. "Effect of Particulate Matter Less than 10 μm (PM10) on Mortality in Bogota, Colombia: A Time-Series Analysis, 1998-2006." *Salud Publica De Mexico* 56 (4): 363–70.
- Bógalo, María Felicidad, Bertha Aguilar, Manuel Calvo, and N. Vegas. 2012. "Estudio preliminar de las propiedades magnéticas de hojas de árboles y polvo urbano en la Ciudad de Bilbao." *Geo-Temas* 13: 1120–23.
- Borrego, C., M. Coutinho, A. M. Costa, J. Ginja, C. Ribeiro, A. Monteiro, I. Ribeiro, et al. 2015. "Challenges for a New Air Quality Directive: The Role of Monitoring and Modelling Techniques." *Urban Climate* 14: 328–41. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.06.007>.
- Brugha, Rossa, and Jonathan Grigg. 2014. "Urban Air Pollution and Respiratory Infections." *Paediatric Respiratory Reviews* 15 (2): 194–99. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2014.03.001>.
- Carrasco-Ríos, Libertad. 2009. "Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas." *IDESIA* 27 (3): 59–76. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292009000300009>.
- Castañeda Miranda, A. G. (2014). Caracterización y monitoreo magnético ambiental de partículas suspendidas en el aire urbano.
- Cazimir, Robert, Robert Sylvestre, and Servando Carvajal. 2001. "Las especies ornamentales de *Ficus* L. (Moraceae) de la zona metropolitana de Guadalajara." *Scientia-CUCBA* 23 (2): 59–84.
- Cejudo-Ruiz, Lirio, J. M., Chaparro, M. A. E., Gogorza, C. S., Yermolin, E., Silva, A., & Cuchí Oterino, J. A. (2007). Características sedimentológicas y magnéticas de un depósito cenozoico en una terraza en Cabo Lamb, Isla Vega, Península Antártica. In *Actas del VI Simposio Argentino y* (Vol. 3, p. 4).
- Cejudo, Rubén, Francisco Bautista, and Carmen Delgado. 2013. "Propiedades magnéticas de polvo urbano adsorbido en hojas de *Ficus Benjamina* y su relación con los metales pesados." *Geofisica.Unam.Mx* 3: OB4, 1–6. <http://www.geofisica.unam.mx/LatinmagLetters/LL13-03-SP/B/OB04.pdf>.
- Cejudo-Ruíz, Rubén, Francisco Bautista, Patricia Quintana, María del Carmen Delgado-Carranza, Daniel Aguilar, Avto Goguitchaichvili, and Juan Julio Morales-Contreras.

2015. “Correlación entre elementos potencialmente tóxicos y propiedades magnéticas en suelos de la Ciudad de México para la identificación de sitios contaminados: Definición de umbrales magnéticos.” *Revista mexicana de Ciencias Geológicas* 32 (1): 50–61.
- Cejudo R., Goguitchaichvili A., Bautista F., Delgado C., Quintana P., Aguilar D., Ramos S., Morales J., Soler A., Cossio_Pérez C., Hernández A., López-Loera H., Caracterización magnética de polvo urbano y plantas de la Zona Metropolitana del Valle de México. *Latinmag Letters*, 5, (2015), 1-16.
- CFATA-UNAM. n.d. “Laboratorio de dispersión de luz.” Introduction to Dynamic Light Scattering by Macromolecules. Elsevier. Accessed April 22, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-627260-4.50006-5>.
- Chen, Hong, and Mark S Goldberg. 2009. “The Effects of Outdoor Air Pollution on Chronic Illnesses.” *McGill Journal of Medicine: MJM: An International Forum for the Advancement of Medical Sciences by Students* 12 (1): 58–64. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19753290> <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC2687917>.
- CONAPO. 2014. “Proyecciones de la Población 2010-2050.” 2014. <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>.
- Congreso del Estado de Jalisco. 1986. “LEY DE SALUD DEL ESTADO DE JALISCO.” Guadalajara. http://cedhj.org.mx/transparencia/II/II_C/leyes_estatales/Ley de Salud del Estado de Jalisco.pdf.
- Conny, Joseph M., Sean M. Collins, and Andrew A. Herzing. 2014. “Qualitative Multiplatform Microanalysis of Individual Heterogeneous Atmospheric Particles from High-Volume Air Samples.” *Analytical Chemistry* 86 (19): 9709–16. <https://doi.org/10.1021/ac5022612>.
- Conny, Joseph M., and Gary A. Norris. 2011. “Scanning Electron Microanalysis and Analytical Challenges of Mapping Elements in Urban Atmospheric Particles.” *Environmental Science and Technology* 45 (17): 7380–86. <https://doi.org/10.1021/es2009049>.
- Cortés, José L., Patricia Quintana, Daniel Aguilar, and Avto Goguichaishvili. 2015. “El color del polvo urbano como indicador de contaminación potencialmente tóxicos: El caso de Ensenada, Baja California, México.” *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 21 (3): 255–66. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.02.003>
- Cornejo, Laureano. 2015. “Resonancia del plasmón de la superficie (RPS); Propiedades optoelectrónicas.” *Nuevas Tecnologías y Materiales*, 2015. <http://nuevastecnologiasymateriales.com/resonancia-del-plasmon-de-la-superficie-rps-propiedades-optoelectronicas/>.
- Creative Commons Attribution. 2017. “Bienvenido al Proyecto QGIS!” 2017. <https://www.qgis.org/es/site/index.html>.
- Cruz, Daniel A, Miriam C Rodríguez, Juan M López, Virginia M Herrera, Alejandro G Orive,

- and Alberto H Creus. 2012. "Metallic Nanoparticles and Surface Plasmon: A Deep Relationship." *Avances En Ciencia e Ingeniería* 3 (2): 67–78.
- David, Alois, and Gregory Wagner. 1989. *Aparato respiratorio*. Edited by Organización Internacional del Trabajo. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Tercera ed. Madrid: Organización Internacional del Trabajo. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/sumario.pdf>.
- Dearing, John A. 1999. "Environmental Magnetic Susceptibility Using the Bartington MS2 System." *Interpretation A Journal Of Bible And Theology*, 52.
- Dong, Fa Qin, Wu Chen, Qun Wei Dai, Yue Quan Deng, Ping He, Xiao Chun He, Jun Tang, Li Zhu Liu, and Hua He. 2014. "Characterization of Mineralogy and Surface Zeta Potential of Atmospheric Dust Fall in Northwest China." *Mineralogy and Petrology* 109: 387–95. <https://doi.org/10.1007/s00710-014-0347-1>.
- Dreisbach, R.H. et al. 1984. *Manual de toxicología clínica: prevención, diagnóstico y tratamiento*. Ed. El Manual Moderno, México.
- Duffin, R., C-L. Tran, A. Clouter, D. M. Brown, W. MacNee, V. Stone, and K. Donaldson. 2002. "The Importance of Surface Area and Specific Reactivity in the Acute Pulmonary Inflammatory Response to Particles." *Annals of Occupational Hygiene* 46 (i): 242–45. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mef684>.
- EcuRed. 2018a. "Actinio." 2018. <https://www.ecured.cu/Actinio>.
- . 2018b. "Galio." 2018. <https://www.ecured.cu/Galio>.
- . 2018c. "Lantano." 2018. <https://www.ecured.cu/Lantano>.
- Egas, Claudia, P.I. Naulin, and Margarita Préndez. 2018. "Urban Pollution by Particulate Matter and Its Effect on Morpho-Anatomical Characteristics of Four Tree Species in Santiago, Chile | Contaminación urbana por material particulado y su efecto sobre las características morfo-anatómicas de cuatro especies arb." *Informacion Tecnologica* 29 (4): 111–19. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000400111>.
- Eichert T., Kurtz A., Steiner U., and Goldbach H.E., *Physiol. Plant* 13, (2008) 151
Colombiano S.A. & CIA. S.C.A., El. 2019. "Estas son las diez ciudades más contaminadas del mundo." 2019. <https://www.elcolombiano.com/medio-ambiente/ciudades-mas-contaminadas-del-mundo-JE6237319>.
- EPA. 2017. "Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications." Hazardous Air Pollutants. 2017. <https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications#mods>.
- Euyin. 2016. "Resultado de imágenes de Google para [Http://Www.Euyinservicios.Com/Wp-Content/Uploads/2016/01/Euyin_HP-Latex-3500.Png](http://Www.Euyinservicios.Com/Wp-Content/Uploads/2016/01/Euyin_HP-Latex-3500.Png)." 2016. <https://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.puntosobrelai.net%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F06%2Fescala->

nanom%25C3%25A9trica.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.puntosobrelai.net%2Fnanotecnologia-contra-el-cancer%2Fescala-nanometrica%2F&docid=gj.

- Ferin, J, G Oberdörster, and D Penney. 1992. "Pulmonary Retention of Ultrafine and Fine Particles in Rats." *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology* 6 (5): 535–42.
- Fernández-Camacho, R. (2011). Origen y características de las partículas finas y ultrafinas en el aire ambiente de Huelva. Tesis Doctoral.
- Ferreira, F., P. Gomes, H. Tente, A.C. Carvalho, P. Pereira, and J. Monjardino. 2015. "Air Quality Improvements Following Implementation of Lisbon's Low Emission Zone." *Atmospheric Environment*, September. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.064>.
- Ferreira, Lopes. 2005. "Evaluación geoquímica de las propiedades del material particulado o polvo, suelos y sedimentos de la Ciudad de Luanda (Angola) y su entorno: implicaciones ambientales." *Universidad Politécnica de Madrid..* <http://oa.upm.es/1072/1/06200507.pdf>.
- Flores, Julio, Mabel Vaca, Raymundo López, Abelardo González, Raúl Hachec, and Maricela Hernández. 2013. "Evaluación de la movilidad de plomo y zinc en depósitos secos atmosféricos en el Norte de la Ciudad de México." *Journal of Chemical Information and Modeling* 53 (9): 1689–99. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Frejo, M. T., M^a J. Díaz, M. Lobo, J. García, and M. Capó. 2011. "Nanotoxicología ambiental: retos actuales." *Medicina Balear* 26 (2): 36–46. <http://www.medicinabalea.org/pdfs/Vol26n2.pdf>.
- Fundación Chile y el Ministerio de Educación de Chile. 2018. "Estructura de una hoja." <Http://Recursos.Cnice.Mec.Es>. 2018. <http://centroderecursos.educarchile.cl/handle/20.500.12246/39660>.
- García-Rico, Leticia, Ma Del Refugio Robles-Burgueño, and Elisa M. Valenzuela-Soto. 1999. "Las metalotioneínas y su relación con la toxicidad del cadmio en los mamíferos." *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* 15 (2): 113–20. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- García, Mario, Héctor Ulloa, Hermes Ramírez, Miguel Fuentes, Silvia Arias, and Martha Espinosa. 2014. "Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México." *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1: 97–116. <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200120.pdf>.
- García Porrero J.A. Hurlé J.M. 2005. *Anatomía Humana*. Edited by Mc Graw Hill-Interamericana. McGraw-Hill. Vol. 1. España. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Garnica Ibarra, Lucía Guadalupe, Roberto Maciel Flores, Edith Xio Mara García García, Miguel Ángel Alatorre Zamora, and Laura Elizabeth Peña García. 2017. "Análisis geológico - geofísico para delimitar zonas de recarga de acuíferos, Aplicación: Zona

- Perimetral de Guadalajara.” Universidad de Guadalajara.
- Gasser, Michael, Michael Riediker, Loretta Mueller, Alain Perrenoud, Fabian Blank, Peter Gehr, and Barbara Rothen-Rutishauser. 2009. “Toxic Effects of Brake Wear Particles on Epithelial Lung Cells in Vitro.” *Particle and Fibre Toxicology* 6: 30. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-6-30>.
- Gilmour, Peter S, David Brown, T Gordon Lindsay, Paul H Beswick, William MacNee, and Kenneth Donaldson. 1996. “Adverse Health Effects of PM10 Particles: Involvement of Iron in Generation of Hydroxyl Radical.” *Occupational and Environmental Medicine* 53 (12): 817–22. <https://doi.org/10.1136/oem.53.12.817>.
- Giraldo R. "Introducción a la geoestadística: Teoría y aplicación. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia (2002).
- Glencore. n.d. “Asturiana de zinc.” Accessed April 12, 2017. <http://www.azsa.es/ES/Paginas/default.aspx>.
- Gobierno del Estado de Jalisco. 2015. “Zona Metropolitana de Guadalajara.” 2015. <http://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/guadalajara>.
- Goienaga, Naiara, Alfredo Sarmiento, Maitane Olivares, Jose Antonio Carrero, Luis A. Fernández, and Juan M. Madariaga. 2013. “Emerging Application of a Structural and Chemical Analyzer for the Complete Characterization of Metal-Rich Particulate Matter.” *Analytical Chemistry* 85 (15): 7173–81. <https://doi.org/10.1021/ac400878y>.
- González de Buitrago, José Manuel. 2010. *Técnicas y métodos de laboratorio clínico*. 3a edición. Barcelona: Elsevier Masson.
- Green, Joanne, and Sergio Sánchez. 2012. “La calidad del aire en América Latina: Una visión panorámica,” 36. <http://www.cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/cai-report-spanish.pdf>.
- Gutiérrez, (2013). Acumulación de contaminantes en especies vegetales de la zona metropolitana de Guadalajara. Tesis
- Gutiérrez, 2015. Biomonitorio de metales pesados en hojas y frutos de guayabo (*Psidium guajava* L.) y de guamúchil (*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth.) en el Área Metropolitana de Guadalajara. Tesis
- Harada, H., & Hatanaka, T. (1998). Natural background levels of trace elements in wild plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 44(3), 443-452.
- Harada, H., & Hatanaka, T. (2000). Natural background levels of trace elements in wild plants: variation and distribution in plant species. *Soil science and plant nutrition*, 46(1), 117-125.
- Hernández-Cadena, Leticia, M C, Martha Ma Téllez-Rojo, and M C. 2000. “Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua.” *Salud Pública de México* 42 (4): 288–97.

- <https://doi.org/10.1590/S0036-36342000000400003>.
- Hernández Hernández, Lucas; González Pérez, Claudio. 2002. *Introducción al análisis instrumental*. 1a. edición. Barcelona: Ariel.
- Herrera Torres, Verónica. 2009. “Contaminación atmosférica y cáncer de pulmón en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco.” Universidad de Guadalajara. http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5334/Herrera_Torres_Veronica.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Hoet, Peter Hm, Irene Brüske-Hohlfeld, and Oleg V Salata. 2004. “Nanoparticles – Known and Unknown Health Risks.” *Journal of Nanobiotechnology* 2: 12. <https://doi.org/10.1186/1477-3155-2-12>.
- IDEAM. 2005. “4. Calidad del aire y salud.” World Health Organization. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.
- Ilundain Suquía, José Javier. 2009. *Libro electrónico de toxicología clínica*. Edited by Servicio Navarro de Salud. 1st ed. Navarra: Servicio Navarro de Salud. <https://www.navarra.es/appsext/DescargarFichero/default.aspx?codigoAcceso=PortalDeSalud&fichero=Toxicologia%5CMetales.pdf>.
- Industria Alimenticia. 2007. “Metales pesados y la salud.” <https://www.industriaalimenticia.com/articles/85587-metales-pesados-y-la-salud-humana>.
- INEGI. 2014. “Directorio Nacional de Unidades Económicas. DENUÉ.” *Censos Económicos 2014*. INEGI. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>.
- . 2015. “Archivos Vectoriales.” INEGI. México. 2015. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/topografia/>.
- . 2016. “Principales causas de mortalidad por residencia habitual, grupos de edad y sexo del fallecido.” 2016. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/vitales/mortalidad/tabulados/ConsultaMortalidad.asp>.
- . 2017. “Mortalidad. Consulta interactiva de datos.” 2017. http://www.inegi.org.mx/est/lista_cubos/consulta.aspx?p=adm&c=4.
- . 2018a. “CIU--SCIAN-2018.” <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/scian/tablixiv.pdf>.
- . 2018b. “Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas.” 2018. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx>.
- . 2018c. “Mapa digital de México para escritorio Versión 6.3.0.” 2018. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/default.aspx>.
- . 2018d. “Marco geoestadístico nacional.” 2018.

- http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx.
- Instituto Nacional de Ecología. 2007. “4. Condiciones físicas y calidad del aire.” Instituto Nacional de Ecología. 2007. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/235/cap4.html>.
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. 2010. “ISTAS: Compuestos orgánicos volátiles (COV).” Julio. 2010. <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=621>.
- International Agency for Research on Cancer. 2012. “Occupational Exposure as a Painter.” *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans* 100 F. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol98/mono98-6A.pdf>.
- . 2016. *Outdoor Air Pollution. IARC Monograph 109*. Vol. 109. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol109/mono109.pdf>.
- International Agency for Research on Cancer WHO. n.d. “IARC Publications Website - Breast Cancer Screening.” Accessed April 23, 2017. <http://publications.iarc.fr/>.
- International Zinc Association. n.d. “ZINC. International Zinc Association | HomeHome - ZINC. International Zinc Association.” Accessed April 12, 2017. <http://www.zinc.org/>.
- Inzunza, Oscar, Guillermo Salgado, and Jovita Besa. 2011. “Aparato respiratorio. Anatomía microscópica del aparato respiratorio.” Pontificia Universidad Católica de Chile. 2011. http://escuela.med.puc.cl/paginas/Departamentos/Anatomia/PortalKineNut/html/respiratorio/anat_micros.html.
- Isinkaye, Omoniyi Matthew, Nnamdi N Jibiri, and Adebawale A Olomide. 2015. “Radiological Health Assessment of Natural Radioactivity in the Vicinity of Obajana Cement Factory, North Central Nigeria.” *Journal of Medical Physics* 40 (1): 52–59. <https://doi.org/10.4103/0971-6203.152256>.
- Jackson, Petra; Vogel Ulla; Wallin Håkan and Hougaard Karin. 2011. “World ’ s Largest Science , Technology & Medicine Open Access Book Publisher Maternal Exposure to Particulate Air Pollution and Engineered Nanoparticles: Reproductive and Developmental Effects.” In *Air Pollution - New Developments*, edited by Anca Moldoveanu, 1st ed., 59–84. Croatia: Publisher InTech.
- Jaime, José Carlos, and David Gómez. 2009. *Hematología. la sangre y sus enfermedades*. Segunda ed. México, D. F.: McGraw Hill.
- Jia, Jasmine, Sindu Muralikrishnan, Cheng-teng Ng, Lin-Yue Lanry Yung, Boon-Huat Bay, Jasmine Jia'en Li, Sindu Muralikrishnan, Cheng-teng Ng, Lin-Yue Lanry Yung, and Boon-Huat Bay. 2010. “Minireview Nanoparticle-Induced Pulmonary Toxicity.” *Experimental Biology and Medicine* 235 (1535–3702): 1025–33. <https://doi.org/10.1258/ebm.2010.010021>.
- Jose David. 2017. “ANÁLISIS DE OBJETOS TECNOLÓGICOS: EL SMOG FOTOQUÍMICO.” 2017. <http://analisisdeobjet.blogspot.com/2017/11/el-smog-fotoquimico.html>.

- Joshi, S. R. 2008. "Influence of Roadside Pollution on the Phylloplane Microbial Community of *Alnus Nepalensis* (Betulaceae)." *Revista de Biología Tropical* 56 (September): 1521–29.
- Juárez, Fernando Jaramillo, Ana Rosa Rincón Sánchez, and Roberto Rico Martínez. 2009. *Toxicología Ambiental*. Aguascalientes, MEXICO: Universidad Autónoma de Aguascalientes.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/guadalajarasp/detail.action?docID=3221575>.
- Junqueira, Luis, and Jose Carneiro. 2005. *Histología Básic Texto y Atlas (+CD-ROM)*. Edited by ELSEVIER - MASSON.
- Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. CRC press.
- Kowdley, Kris. 2006. "Enfermedad de Wilson." In *Netter. Gastroenterología*, 792–94. National Library of Medicine. <https://doi.org/10.1016/B978-84-458-1567-0.50248-4>.
- Kreyling, W G, M Semmler, F Erbe, P Mayer, S Takenaka, H Schulz, and A Ziesenis. 2011. "Translocation of Ultrafine Insoluble Iridium Particles from Extrapulmonary Organs Is Size Dependent but Very Low." *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A: Current Issues*, no. March 2012: 1513–30.
- Kreyling, Wolfgang, M Semmler, F Erbe, P Mayer, S Takenaka, H Schulz, and A Ziesenis. 2011. "Journal of Toxicology and Environmental Health , Part A: Current Issues . Translocation of Ultrafine Insoluble Iridium Particles from Extrapulmonary Organs Is Size Dependent but Very." *Environment*, no. March 2012: 1513–30. <https://doi.org/10.1080/00984100290071649>.
- Kreyling, Wolfgang, Thomas Tuch, Annette Peters, Mike Pitz, Joachim Heinrich, Matthias St?lzel, Josef Cyrus, Joachim Heyder, and H. Erich Wichmann. 2003. "Diverging Long-Term Trends in Ambient Urban Particle Mass and Number Concentrations Associated with Emission Changes Caused by the German Unification." *Atmospheric Environment* 37 (27): 3841–48. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00457-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00457-6).
- Laboratorio de técnicas instrumentales UVA. 2017. "Espectroscopia de absorción atómica." <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopa-de-absorcin-atmica>.
- Lenntech. n.d. "Cromo (Cr) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente." Accessed April 22, 2019. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>.
- . 2008. "Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente." 2008. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>.
- . 2016. "Cobre (Cu) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio Ambiente." *Water Treatment*. 2016. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(18\)30138-6](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(18)30138-6).
- . 2019. "Osmio (Os) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente." 2019. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/os.htm>.

- Lepeule, Johanna, Francine Laden, Douglas Dockery, and Joel Schwartz. 2012. "Chronic Exposure to Fine Particles and Mortality: An Extended Follow-up of the Harvard Six Cities Study from 1974 to 2009." *Environmental Health Perspectives* 120 (7): 965–70. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104660>.
- Liu, Jie, Jung-Baek Lee, Dong-Hwan Kim, and Youhyuk Kim. 2007. *Preparation of High Concentration of Silver Colloidal Nanoparticles in Layered Laponite Sol. Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects - COLLOID SURFACE A*. Vol. 302. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.02.040>.
- López-Cima, María Felicitas, Javier García-pérez, Beatriz Pérez-gómez, Nuria Aragonés, Gonzalo López-Abente, Adonina Tardón, and Marina Pollán. 2011. "Lung Cancer Risk and Pollution in an Industrial Region of Northern Spain: A Hospital-Based Case-Control Study." *International Journal of Health Geographics* 10 (1): 10. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-10-10>.
- Maciel Flores, Roberto. 1981. "Geological Mapping in Geothermal Exploration with Special Reference to Tephrochronology and Paleomagnetic Techniques." Iceland. <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-report/UNU-GTP-1981-04.pdf>.
- Maciel Flores, Roberto, and José Rosas Elguera. 1992. "Modelo geológico y evaluación del campo geotérmico La Primavera, Jal., México." *Geofísica Internacional* 31 (4): 359–70. <http://biblat.unam.mx/es/revista/geofisica-internacional/43>.
- Machado, A. García, N. García, C., Acosta, L., Córdova, A., Linares, M., & Velázquez, H. (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 24(4), 171-182.
- MacKinnon, G., a. B. MacKenzie, G. T. Cook, I. D. Pulford, H. J. Duncan, and E. M. Scott. 2011. "Spatial and Temporal Variations in Pb Concentrations and Isotopic Composition in Road Dust, Farmland Soil and Vegetation in Proximity to Roads since Cessation of Use of Leaded Petrol in the UK." *Science of the Total Environment* 409 (23): 5010–19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.010>.
- Manquían-Tejos, Adelaida, Luis Tovar-Gálvez, and Gabriel Yáñez-Canal. 2008. "Aluminio en el tracto respiratorio bajo de residentes de la Ciudad de México." *Rev Salud Publica (Bogota)* 10 (3): 452–61. <https://doi.org/10.1590/S0124-00642008000300010>.
- Marieb, Elaine. 2008. *Anatomía Humana*. Edited by Miguel Martín-Romo. Madrid: Pearson. <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookRead.aspx>.
- Markert, B. (1992). Establishing of 'Reference Plant' for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting. *Water, Air, and Soil Pollution*, 64(3-4), 533-538.
- Marguí, E., Queralt, I., & Hidalgo, M. (2009). Application of X-ray fluorescence spectrometry to determination and quantitation of metals in vegetal material. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 28(3), 362-372.

- Martínez Pichardo, Erick Eduardo. 2009. "Propiedades magnéticas y sus relaciones con metales pesados y elementos mayores en suelos superficiales del valle de México." Universidad Autónoma de México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1175/Tesis.pdf?sequence=1>.
- McClure, WF. 1975. "A Spectrophotometry Technique for Study Browning Reaction in Tobacco." *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 18: 380.
- Merzlyak M.N., Chivkunova O.B., Melø T.B., and Naqvi K.R., *Photosynth. Res.* 72 (2002) 263
- Miguel, Eduardo De, Juan Llamas, Enrique Chacón, C Fernández, Almudena Ordóñez, A Callaba, s Larssen, and Susan Charlesworth. 2002. "Elementos traza en ambientes urbanos." *Boletín Geológico y Minero* 113 (1): 35–43. http://www.igme.es/Boletin/2002/113_1_2002/6-ARTICULO CARACTERIZACION1.pdf.
- Mondragón Cortez, Pedro. 2015. *Espectroscopia de infrarrojo para todos ...y 51 espectros de alimentos consumidos en México. Neural Regeneration Research.* https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf.
- Mulrone, Susan, and Adam Myers. 2011. *Netter. Fundamentos de Fisiología.* https://books.google.com.mx/books?id=sotLDAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Muñoz, David, Bertha Aguilar, Raul Fuentealba, and Margarita Préndez. 2017. "Environmental Studies in Two Communes of Santiago de Chile by the Analysis of Magnetic Properties of Particulate Matter Deposited on Leaves of Roadside Trees." *Atmospheric Environment* 152 (March): 617–27. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.12.047>.
- Nair, Remya, Saino Hanna Varghese, Baiju G. Nair, T. Maekawa, Y. Yoshida, and D. Sakthi Kumar. 2010. "Nanoparticulate Material Delivery to Plants." *Plant Science.* Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.012>.
- Nakane, Hideo. 2012. "Translocation of Particles Deposited in the Respiratory System: A Systematic Review and Statistical Analysis." *Environmental Health and Preventive Medicine* 17 (4): 263–74. <https://doi.org/10.1007/s12199-011-0252-8>.
- Noji, Eric K. 2000. "Impacto de los desastres en la salud pública |. - Academia.Edu." 2000.
- Nordberg, G. 1999. "Metales: propiedades químicas y toxicidad." In *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo*, 63.1-63.75. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>.
- Oberdorster, Günter, Juraj Ferin, Robert Gelein, Sidney C Soderholm, and Jacob Finkelstein. 1992. "Role of the Alveolar Macrophage in Lung Injury: Studies with Ultrafine Particles." *Environmental Health Perspectives* 97: 193–99.

<https://doi.org/10.1289/ehp.9297193>.

- Observatorio de Salud y Medio Ambiente. n.d. “Diámetro aerodinámico de las partículas.” Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. Accessed December 18, 2017. <http://old.osman.es/ficha/12251>.
- Omale, PE, SO Okeniyi, MD Faruruwa, and AB Ngokat. 2014. “Determination for Levels of Radionuclides of Uranium, Thorium and Potassium in Water, Sediments and Algae Samples from Selected Coastal Areas of Lagos, Nigeria; Using Energy Dispersive x-Ray Fluorescence.” *Global Journal of Pure and Applied Chemistry Research* 2 (1): 1–24. www.ea-journals.org.
- Oyarzún, Manuel. 2010. “Contaminación aérea y sus efectos en la salud.” *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias* 26 (1): 16–25. <https://doi.org/10.4067/S0717-73482010000100004>.
- Padgett, Pamela E., Dexter Meadows, Ellen Eubanks, and William E. Ryan. 2008. “Monitoring Fugitive Dust Emissions from Off-Highway Vehicles Traveling on Unpaved Roads and Trails Using Passive Samplers.” *Environmental Monitoring and Assessment* 144: 93–103. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9948-z>.
- Peña, Laura, Víctor Rentería, Celso Velásquez, María Luisa Ojeda, and Enrique Barrera. 2019. “Absorbancia y reflectancia de hojas de *Ficus* contaminadas con nanopartículas de plata.” *Revista Mexicana de Física* 65 (February): 95–105. <https://rmf.smf.mx/ojs/rmf/article/view/212/439>.
- Perez Fadul, L. F., & Hernández Hernández, L. (2006). Determinación de metales pesados en partículas respirables e identificación de fuentes de emisión, a partir de un muestreo atmosférico en la localidad de Puente Aranda en la ciudad. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria_/673.
- Peters, Annette, Bellina Veronesi, Lilian Calderón-Garcidueñas, Peter Gehr, Lung Chi Chen, Marianne Geiser, William Reed, Barbara Rothen-Rutishauser, Samuel Schürch, and Holger Schulz. 2006. “Translocation and Potential Neurological Effects of Fine and Ultrafine Particles a Critical Update.” *Particle and Fibre Toxicology* 3: 13. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-3-13>.
- Politécnica de Valencia. 2019. “Microscopía Electrónica de Transmisión: Servicio de Microscopía Electrónica: UPV.” 2019. <http://www.upv.es/entidades/SME/info/753329normalc.html>.
- Qian, Peng, Xiangmin Zheng, Limin Zhou, Qingfeng Jiang, Guoyu Zhang, and Jian'er Yang. 2011. “Magnetic Properties as Indicator of Heavy Metal Contaminations in Roadside Soil and Dust along G312 Highways.” *Procedia Environmental Sciences* 10 (PART B): 1370–75. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.219>.
- Querol, Xavier. 2008. “Calidad del aire, partículas en suspensión y metales.” *Revista Española de Salud Pública* 82 (5): 447–53. <https://doi.org/10.1590/S1135-57272008000500001>.
- QuimiNet.com. 2011. “Usos y aplicaciones del mercurio y sus compuestos.” QuimiNet.Com.

2011. <https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-del-mercurio-y-sus-compuestos-2640468.htm>.
- Raaschou-Nielsen, Ole, Zorana J Andersen, Rob Beelen, Evangelia Samoli, Massimo Stafoggia, Gudrun Weinmayr, Barbara Hoffmann, et al. 2013. “Air Pollution and Lung Cancer Incidence in 17 European Cohorts: Prospective Analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE).” *The Lancet Oncology* 14 (9): 813–22. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(13\)70279-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70279-1).
- Ram, S S, S Majumder, P Chaudhuri, and S Chanda. 2014. “Plant Canopies : Bio-Monitor and Trap for Re-Suspended Dust Particulates Contaminated with Heavy Metals.” *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 19 (5): 499–508. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9445-8>.
- Ramírez-Sánchez, Hermes Ulises, María Dolores Andrade-García, Miguel Ernesto González-Castañeda, and Alfredo De Jesús Celis-De La Rosa. 2006. “Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco.” *Salud Publica de Mexico* 48 (5): 385–94. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342006000500005>.
- Reichl, Franz-Xaver. 2010. *Guide Pratique de Toxicologie*. 2e édition. Belgique: de Boeck. <http://www.deboecksuperieur.com/ouvrage/9782804135201-guide-pratique-de-toxicologie>.
- Remon, E., Bouchardon, J. L., Le Guédard, M., Bessoule, J. J., Conord, C., & Faure, O. (2013). Are plants useful as accumulation indicators of metal bioavailability?. *Environmental Pollution*, 175, 1-7.
- Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. 2014. “Espectroscopia de emisión y absorción atómica.” <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>.
- Reyes, B. A., Bautista, F., Rosas-Elguera, J., Gogichaishvilli, A., Cejudo, R., & Morales, J. 2011. Evaluación de la contaminación ambiental por métodos magnéticos en las ciudades de Morelia y Guadalajara, México.
- Reyes, B. A., Ruiz, R. C., Martínez-Cruz, J., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Carvallo, C., & Morales, J. (2012). *Ficus benjamina* leaves as indicator of atmospheric pollution: a reconnaissance study. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 56(3), 879-887.
- Riojas-Rodríguez, Horacio, D en CSP, Astrid Schilman, M CS En, Lizbeth López-Carrillo, D SP En, and Jacobo Finkelman. 2013. “La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras.” *Salud Pública México* 55 (6).
- Riojas-Rodríguez, Horacio, and Urinda Álamo-Hernández. 2014. “Health Impact Assessment of Decreases in PM 10 and Ozone Concentrations in the Mexico City Metropolitan Area . A Basis for a New Air Quality Management Program.” *Salud Pública de México* 56 (6): 579–91.
- Rocha Castro, E. 2000. “Espectrometría de absorción atómica.” *Facultad de Ciencias*

- Quimicas*, 123–203. http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcio_atmica.
- Romero-Placeres, Manuel, Pedro Más-Bermejo, Marina Lacasaña-Navarro, Martha María Téllez Rojo-Solís, Juan Aguilar-Valdés, and Isabelle Romieu. 2004. “Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana.” *Salud Pública de México* 46 (3): 222–33. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342004000300012>.
- Rosales-Castillo, José Alberto, M C, Víctor Manuel Torres-meza, Gustavo Olaiz-fernández, Víctor H Borja-aburto, and D Ph. 2001. “Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: Evidencias de estudios epidemiológicos.” *Revista de Salud Pública de México* 43 (6): 544–55. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342001000600005>.
- Rosell Farràs, Maria Gràcia, and Lluís Pujol Senovilla. 2008. “NTP 797 Riesgos asociados a la nanotecnología.” *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 1–6. <http://www.fan.org.ar/wp-content/uploads/2014/05/Riesgos-asociados-nanotecnologia.pdf>.
- Royal Society of Chemistry. 2017. “Periodic Table.” Royal Society of Chemistry. 2017. <http://www.rsc.org/periodic-table>.
- Sánchez-Duque, A., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Cejudo-Ruiz, R., Reyes-López, J. A., Solís-Domínguez, F. A., & Morales-Contreras, J. J. (2015). Evaluación de la contaminación ambiental a partir del aumento magnético en polvos urbanos. Caso de estudio en la ciudad de Mexicali, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 32(3), 501-513.
- Sangi, M. R., Shahmoradi, A., Zolgharnein, J., Azimi, G. H., & Ghorbandoost, M. (2008). Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using *Ulmus carpinifolia* and *Fraxinus excelsior* tree leaves. *Journal of hazardous materials*, 155(3), 513-522.
- Sawidis, T., Marnasidis, A., Zachariadis, G., & Stratis, J. (1995). A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using trees as biological indicators. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 28(1), 118-124.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. 2011. *Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM 2.5*. Edited by Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1st ed. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=695.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011. “Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009).” In *Zona Metropolitana de Guadalajara, Jal.*, Primera, 117–27. México. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/652/guadalajara.pdf>.
- Secretaría de Salud. 2014. “NOM-025-SSA1-2014.” Ciudad de México. <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/normas/NOM-025-SSA1-2014.pdf>.
- . 2017. “Cubos dinámicos.” Dirección General de Información en Salud. 2017.

- http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/BD_Cubos_gobmx.html.
- Shi, Ji Ping, Douglas E Evans, A. A. Khan, and Roy M Harrison. 2001. "Sources and Concentration of Nanoparticles (<10nm Diameter) in the Urban Atmosphere." *Atmospheric Environment* 35 (7): 1193–1202. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00418-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00418-0).
- Sielicki, Przemysław, Helena Janik, Agnieszka Guzman, and Namiesnik Jacek. 2011. "The Progress in Electron Microscopy Studies of Particulate Matters to Be Us...: EBSCOhost." *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 41: :314–334. <http://web.b.ebscohost.com.wdg.biblio.udg.mx:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=1be53055-a062-4829-a69b-15e43fa0e0b1%40sessionmgr102>.
- Szönyi, Michael, Leonardo Sagnotti, and Ann M. Hirt. 2008. "A Refined Biomonitoring Study of Airborne Particulate Matter Pollution in Rome, with Magnetic Measurements on Quercus Ilex Tree Leaves." *Geophysical Journal International* 173 (1): 127–41. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03715.x>.
- Tafolla-Arellano, Julio C., Alberto González-León, Martín E. Tiznado-Hernández, Lorenzo Zacarías García, and Reginaldo Báez-Sañudo. 2013. "Revista Fitotecnia Mexicana Publicada por la Sociedad Mexicana de Fitogenética." *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (1): 3–12. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000100001.
- Tam, N. F. Y., Wong, Y. S., & Wong, M. H. (1988). Heavy metal contamination by Al-fabrication plants in Hong Kong. *Environment international*, 14(6), 485-494.
- Tintinalli, Judith E, J Stephan Stapczynski, and David M Cline. 2013. *Tintinalli: Medicina de Urgencias*. México, D.F., MEXICO: McGraw-Hill Interamericana. Tomašević, M., Rajšić, S., Đorđević, D., Tasić, M., Krstić, J., & Novaković, V. (2004). Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. *Environmental Chemistry Letters*, 2(3), 151-154. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/wdgbibliomhe/detail.action?docID=3217953>.
- Tomašević, M., Rajšić, S., Đorđević, D., Tasić, M., Krstić, J., & Novaković, V. (2004). Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. *Environmental Chemistry Letters*, 2(3), 151-154
- Tomašević, M., Z. Vukmirović, S. Rajšić, M. Tasić, and B. Stevanović. 2005. "Characterization of Trace Metal Particles Deposited on Some Deciduous Tree Leaves in an Urban Area." *Chemosphere* 61 (6): 753–60. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2005.03.077>.
- Tomasevic, Milica, and Mira Anicic. 2011. "Trace Element Content in Urban Tree Leaves and SEM-EDAX Characterization of Deposited Particles." *Facta Universitatis - Series: Physics, Chemistry and Technology* 8 (1): 1–13. <https://doi.org/10.2298/fupct1001001t>.

- Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2015). Evaluación de metales pesados acumulados en polvo vial en tres sectores de la ciudad de Villavicencio, Colombia. *Revista Luna Azul*, (41).
- Universidad de Alicante. 2014. “ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X.” Servicios Técnicos de Investigación. 2014. <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x/espectroscopia-de-fluorescencia-de-rayos-x.html>.
- Universidad de Extremadura. 2007. “The Clean Air Act.” *Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios Del Agua*. Vol. 25. <https://doi.org/10.1021/es00015a601>.
- Universidad de Granada. n.d. “Quiored - Tutorial de Espectroscopía. Elucidación Estructural: Espectroscopía Ultravioleta-Visible (UV/Vis).” Accessed April 22, 2019. <http://www.ugr.es/~quiored/espec/uv.htm>.
- Universidad de Valencia. 2018. “Espectroscopia.” Valencia, España. https://www.uv.es/qflab/2018_19/descargas/cuadernillos/qf1/castellano/Teoria/Absorbancia.pdf.
- Utell, Mark J. 2002. “The Urban Air: To the Respiratory Tract— And Beyond?” *Environmental Health Perspectives* 110 (8): 2001–2. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240959/pdf/ehp0110-a00440.pdf>.
- Utsunomiya, Satoshi, Keld A. Jensen, Gerald J. Keeler, and Rodney C. Ewing. 2004. “Direct Identification of Trace Metals in Fine and Ultrafine Particles in the Detroit Urban Atmosphere.” *Environmental Science and Technology* 38 (8): 2289–97. <https://doi.org/10.1021/es035010p>.
- Vargas, Francisco. 2005. “La contaminación ambiental como factor determinante de la salud.” *Revista Española de Salud Pública* 79 (2): 117–27. <https://doi.org/10.1590/S1135-57272005000200001>.
- Verschakelen, J.A. 2010. *Computed Tomography of the Lung*. Edited by Springer. Belgium. <http://download.springer.com.wdg.biblio.udg.mx:2048/static/pdf/346/bok%253A978-3-540-68260-8.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fbook%2F10.1007%2F978-3-540-68260-8&token2=exp=1487652816~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F346%2Fbok%25253A978-3-540-68260-8.pd>.
- Virtual, Sena. 2011. “Propiedades de los metales.” *Revista Digital Para Profesionales de La Enseñanza* 16: 1–14. <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesMetales.asp>.
- Walker, Shaun C., Stephanie. Allen, Gordon Bell, and Clive J. Roberts. 2015. “Analysis of Leaf Surfaces Using Scanning Ion Conductance Microscopy.” *Journal of Microscopy* 258 (2): 119–26. <https://doi.org/10.1111/jmi.12225>.
- WHO. 2006. “Ambientes saludables y prevención de enfermedades, hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente.” *Organización Mundial de La Salud*

- 1: 16.
http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/prevdisexecsumsp.pdf?ua=1.
- . 2011. “Cánceres de origen ambiental y ocupacional.” Julio. World Health Organization. 2011. <https://doi.org/http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs350/es/>.
- . 2012. “La buena salud añade vida a los años. Información general para El Día Mundial de La Salud 2012.” *Ediciones de La OMS* http://www.who.int/apps.who.int/iris/bitstream/10665/75254/1/WHO_DCO_WHD_2012.2_spa.pdf.
- . 2014. “7 Millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica.” Comunicado de Prensa. Ginebra: World Health Organization. 2014. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>.
- . 2016a. “Cada año mueren 12,6 millones de personas a causa de la insalubridad del medio ambiente.” *Organización Mundial de La Salud*, 1–16. <http://www.who.int/es/news-room/detail/15-03-2016-an-estimated-12-6-million-deaths-each-year-are-attributable-to-unhealthy-environments>.
- . 2016b. “Mortality and Burden of Disease from Ambient Air Pollution.” http://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/.
- . 2017. “OMS | Respira la vida. Aire limpio, futuro saludable.” *WHO*. <http://www.who.int/phe/breathe-life/es/>.
- . 2018. “Intoxicación por plomo y salud.” Nota Descriptiva N°379. 2018. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.87.115106>.
- Yu, Liya E., Lin-Yue Lanry Yung, Choon-Nam Ong, Yueh-Li Tan, Kumar Suresh Balasubramaniam, Deny Hartono, Guanghou Shui, Markus R. Wenk, and Wei-Yi Ong. 2007. “Translocation and Effects of Gold Nanoparticles after Inhalation Exposure in Rats.” *Nanotoxicology* 1 (3): 235–42. <https://doi.org/10.1080/17435390701763108>.
- Zaitseva, Galina P. 2014. *Inmunidad y Ambiente*. 2a. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Zhang, Xinghua, Yangmei Zhang, Junying Sun, Xuejin Zheng, Gang Li, and Zuqing Deng. 2017. “Characterization of Particle Number Size Distribution and New Particle Formation in an Urban Environment in Lanzhou, China.” *Journal of Aerosol Science* 103: 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2016.10.010>.
- Zheng, Yanming, Quanzhou Gao, Xiaohao Wen, Ming Yang, Haidong Chen, Zhaoqiang Wu, and Xiaohong Lin. 2013. “Multivariate Statistical Analysis of Heavy Metals in Foliage Dust near Pedestrian Bridges in Guangzhou, South China in 2009.” *Environmental Earth Sciences* 70: 107–13. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2107-z>.

ANEXOS

ANEXO I TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microscopía electrónica de barrido consiste en realizar un barrido con un haz de electrones sobre la superficie de la muestra. Ello permite caracterizar superficies de muestras orgánicas e inorgánicas. Las muestras no conductoras deberán ser recubiertas con una capa muy fina de oro o carbón, lo que le otorgará propiedades conductoras y facilitará la observación. Estos equipos se encuentran provistos con diferentes detectores que facilitan la recolección de energía para ser transformada en imágenes y datos. También, un detector acoplado al microscopio de energía dispersiva (Energy Dispersive Spectrometer (EDS), el cual detecta los rayos X generados, permite hacer un análisis espectrográfico de la composición de la muestra (Padgett *et al.*, 2008; MacKinnon *et al.*, 2011; Aguilar *et al.*, 2012; Bi *et al.*, 2012; Aguilar *et al.*, 2013; Aguilar *et al.*, 2011).

Absorción atómica (AA)

Esta técnica permite determinar la concentración de elementos metálicos presentes en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una misma solución. Este método se basa en atomizar la muestra con el uso de una llama, aunque pueden usarse atomizadores como el horno de grafito o los plasmas, principalmente los plasmas de acoplamiento inductivo. Cuando se usa una llama, se ajusta de tal manera que pase lateralmente a lo largo de 10 cm y no a profundidad. La altura de la llama sobre la cabeza del quemador se regula mediante el ajuste del controlador de combustible. Un haz de luz atraviesa la llama en el lado más largo del eje lateral e impacta en un detector (Rocha, 2000; Laboratorio de técnicas instrumentales UVA, 2017).

Existen algunos tipos de interferencias. Básicamente, la influencia que ejercen uno o más elementos presentes en la muestra sobre el elemento que se pretende analizar. Algunas de estas interferencias pueden ser físicas, es decir, causadas por las propiedades físicas de las disoluciones; espectrales, causadas por radiaciones que alcanzan al detector a una longitud de onda muy próxima, y químicas, por la influencia que ejercen unos elementos sobre otros para formar entre sí, compuestos estables (Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante, 2014).

Susceptibilidad Magnética

“La susceptibilidad magnética (χ) es uno de los parámetros más frecuentemente utilizados para mostrar la concentración de los minerales ferrimagnéticos (magnetita-maghemita), siendo estos los que fundamentalmente aportan a la χ , con una señal fuerte y positiva” (Bartel *et al.*, 2005). La χ es el grado de magnetización de un material en respuesta a la presencia de un campo magnético (Martínez, 2009). De tal manera que χ se asocia a cambios en la concentración de estos minerales. La magnetización remanente isotérmica de saturación (MRIS) también es un parámetro dependiente de la concentración de minerales ferrimagnéticos, aunque, a diferencia de la susceptibilidad, no se encuentra fuertemente afectada por los minerales paramagnéticos y diamagnéticos (Bartel *et al.*, 2005).

Dispersión de luz dinámica (DLS)

Esta técnica mide el movimiento browniano de las partículas (es el movimiento de las partículas debido a la colisión al azar con las moléculas que están en el líquido y que se encuentran rodeando a las partículas). Las partículas pequeñas se mueven más rápido que las grandes y se relacionan con su tamaño. Lo anterior se hace iluminando las partículas con un láser y analizando la intensidad de las fluctuaciones de la luz dispersada; esto es, una partícula o muchas, iluminadas por la fuente de luz, la cual va a dispersar esa luz en todas direcciones iluminando una pantalla que va a mostrar un patrón (puntos) de luz o destellos y de sombras. Si las partículas se mueven, ese patrón de luces y sombras también va a fluctuar en intensidad. El equipo mide la velocidad de esa fluctuación y la usa para calcular el tamaño de las partículas (CFATA-UNAM. 2019).

En la técnica de dispersión de luz dinámica se hace incidir un haz de luz láser (normalmente roja) sobre una fase líquida por un cierto tiempo (5 min aproximadamente). En esta fase están disueltas las partículas de las que se pretende estudiar su tamaño. Al incidir la luz sobre ellas, esparcen luz en todas las direcciones y dependiendo del tamaño de la partícula, se esparce luz de cierta intensidad. Un detector mide esta distribución de luz esparcida. Para partículas grandes la intensidad no varía mucho. De esta forma, se distingue el tamaño de partícula porque se esparce luz de diferente intensidad.

Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier es una técnica que se utiliza para determinar la composición de los elementos presentes en una muestra. A través de la técnica de FTIR se hacen vibrar grupos funcionales de una muestra con una fuente de calor. Los modos de vibración de los grupos funcionales son "huellas digitales" de identificación de sustancias. De nuevo un fotodetector mide la luz absorbida por la muestra y el espectro puede ser de absorción o de transmisión con respecto a las unidades de energía en cm^{-1} .

Espectroscopia ultravioleta visible (UV-VIS)

La espectroscopia UV-VIS permite determinar la absorbancia, es decir, la proporción de luz absorbida por una molécula con respecto a la luz incidente. Al pasar la energía adecuada por la muestra ésta absorbe la radiación y causa la promoción de un electrón a un estado excitado. Si la energía de la radiación coincide con la diferencia de energía, entre el último estado ocupado y el primer estado vacío, se produce la transición de un electrón a un estado de energía superior. La longitud de onda a la que absorbe determina el color, lo cual implica que parte de la radiación electromagnética es transmitida a través de ella, lo que permite que sea captada por el ojo humano; es decir, es el color que se observa en la muestra. Otra propiedad óptica de gran importancia que puede medir el espectrofotómetro es la reflectancia, es decir, la proporción de luz reflejada en una superficie con respecto a la luz incidente. La absorbancia y reflectancia están relacionadas y las muestras opacas a la luz se miden con un equipo UV-Vis-NIR para amplios intervalos de longitud de onda, utilizando una esfera de integración, como en el caso de las hojas de *Ficus benjamina*.

Microscopía electrónica de transmisión (TEM)

Esta microscopía aprovecha los fenómenos físico-atómicos que se generan a partir del haz de electrones que chocan sobre la superficie de una muestra ultra-fina. La imagen resultante muestra distintas intensidades de gris que corresponden al grado de dispersión de los electrones. A diferencia de la técnica SEM, la microscopía electrónica de transmisión permite

observar los resultados con un alto poder de resolución de las imágenes. El aumento puede alcanzar hasta 500,000 veces su tamaño original (Politécnica de Valencia, 2019).

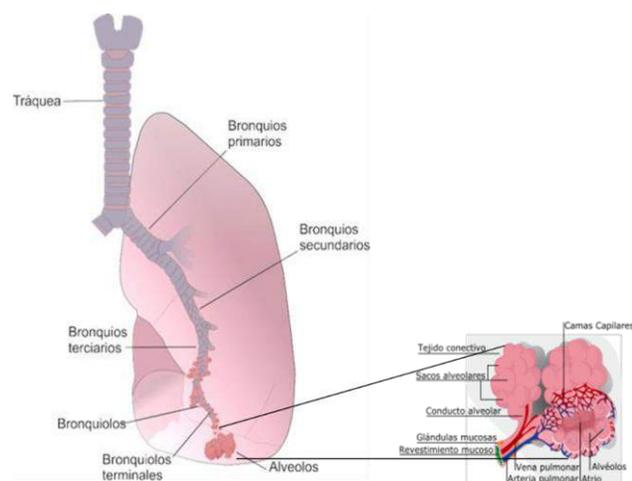
Fluorescencia de rayos X (XRF)

La espectrometría de fluorescencia de rayos X es una técnica que ha sido aplicada en diversas áreas como la farmacéutica, geológica, de materiales, forense, arqueología y en análisis ambientales, entre otros (CIMAV, 2016; Patología y Rehabilitación en Construcción, 2017). “Es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares desocupados, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, y radiación X fluorescente, con una longitud de onda característica que depende de la caída energética entre los orbitales electrónicos implicados y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento analizado” (Universidad de Alicante, 2014).

ANEXO II Aparato respiratorio

El sistema respiratorio está formado por estructuras que realizan intercambio de gases entre la atmósfera y la sangre. Una vez que el oxígeno ingresa al organismo, es distribuido por el sistema circulatorio a todo el organismo de manera que todas las células reciben el oxígeno que necesitan para su metabolismo y liberación del dióxido de carbono que se produce en ellas (García *et al.*, 2005). El aparato respiratorio está compuesto por la nariz, faringe, laringe, tráquea, bronquios primarios, bronquiolos y dos pulmones. A su vez los pulmones contienen los bronquios secundarios y terciarios, bronquíolos y finalmente los conductos alveolares y alveolos. (Inzunza *et al.*, 2011). Algunas de las funciones respiratorias son calentar, humidificar y retener partículas de polvo del aire inspirado. Las partículas captadas son desplazadas por los cilios celulares hasta la faringe para ser deglutidas (García *et al.*, 2005).

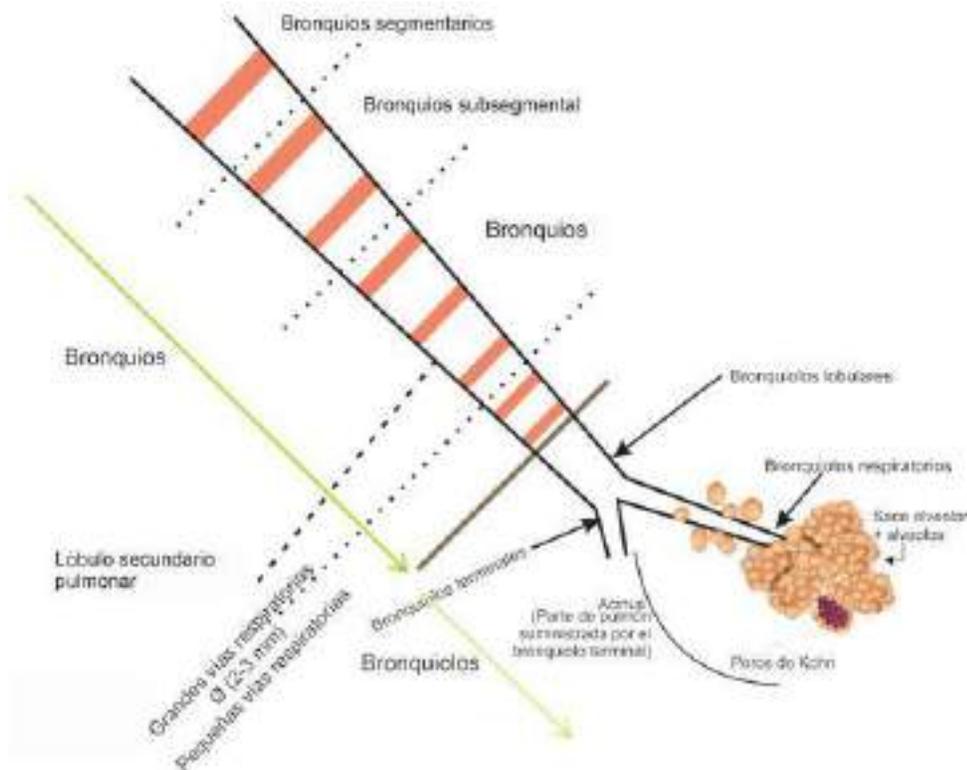
Los bronquios principales se dividen sucesivamente como las ramas de un árbol. La primera división da lugar a los bronquios secundarios o lobares, y éstos a su vez se van sub dividiendo en bronquios terciarios o segmentarios, y así progresivamente. Dentro de las funciones pulmonares también se encuentra el fagocitar partículas de polvo y producir sustancias para mantener abiertos los sacos alveolares (García *et al.*, 2005).



Esquema de parte del aparato respiratorio (Adaptado de: Mulroney (2011))

El bronquíolo lobulillar o lobular se ubica entre los últimos grupos de bronquíolos que ventila al lobulillo pulmonar. Cada lobulillo funcional es estructuralmente independiente y se encuentra dividido por el tabique conectivo. En el interior del lobulillo se encuentran los bronquiolos y las arterias, y por los tabiques interlobulillares, corren las venas. Los

bronquiólos lobulillares se ramifican hasta terminar formando los bronquiólos terminales. Regionalmente el acino respiratorio depende de un bronquiólo terminal, siendo este la unidad funcional principal del pulmón, porque en ella se da el intercambio de gases. El acino se encuentra formado por los bronquiólos respiratorios, los conductos alveolares, los sacos alveolares y finalmente, los alvéolos (Verschakelen, 2010).

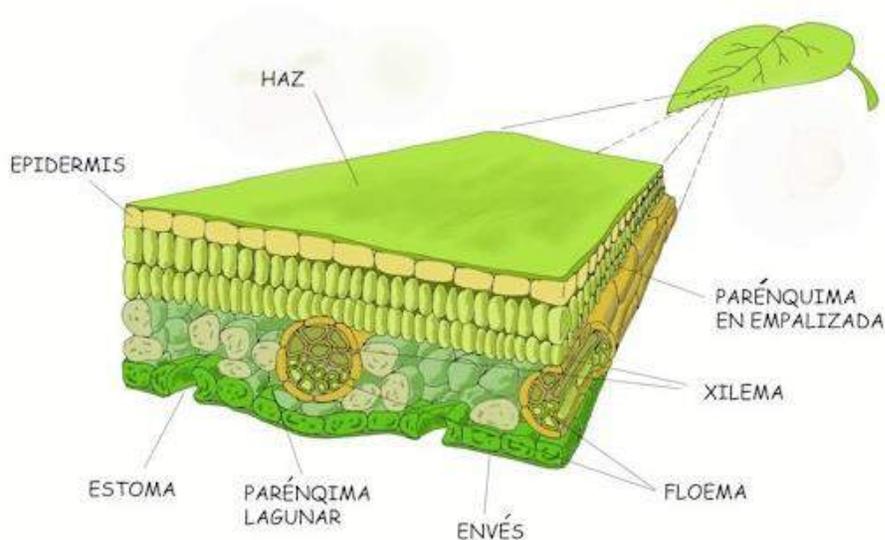


Organización anatómica del árbol traqueo bronquial. (Adaptado de: WHO, 2017a) y modificado por L. Peña)

ANEXO III La especie *Ficus benjamina* L. Familia moraceae

Son árboles que dan una gran sombra, poseen copas inmensas, además poseen látex en las hojas. Es una especie representativa de los bosques tropicales y subtropicales por su follaje siempre verde, por ello son árboles de tamaño pequeño o mediano, entre 3 y 8 metros de altura, sin embargo, en el AMG algunos poseen una altura de entre 3-15 m. La corteza es lisa y de color gris, ocasionalmente se presenta arrugada y algunas veces fisurada. Tiene ramas glabras, colgantes, con ramillas delgadas que al inicio son de color verde, posteriormente el color cambia a castaño-grisáceo. Posee hojas alternas simétricas de hasta 10.5 cm de largo y de 4.3 cm de ancho. Su forma es oval-elíptica, de color verde claro cuando son tiernas y color verde oscuro cuando son mayores. Ambas caras de la hoja son lustrosas. Los individuos jóvenes tienen hojas más grandes que los adultos. Estas plantas tienen látex en las hojas, una sustancia de color blanco lechoso, amarilla o incluso verde claro que rara vez es acuosa. Este látex facilita que el polvo se adhiera a las hojas. En el AMG el *Ficus benjamina* L. (Moraceae) es una especie ampliamente distribuida.

Otra estructura de las plantas es la cutícula (formada por cutina y cera), la cual tiene un papel termorregulador en la interacción de las plantas con el ambiente y las protege contra rayos UV. También reduce la pérdida de agua y difusión de gases, actúa como una eficaz barrera física protectora de polvo y provee soporte mecánico (Tafolla-Arellano *et al.*, 2013). La cutícula es una membrana permeable, tanto a compuestos polares como no polares y su composición química comprende ácidos grasos hidroxilados de cadena media y glicerol. La cutina es el principal componente de la cutícula y constituye del 40 al 80 % en peso y su grosor varía de 1 a 10 μm o más (Tafolla-Arellano *et al.*, 2013). Las ceras cuticulares reducen la permeabilidad de agua y regulan la capacidad de la superficie para la transpiración, además de que reflejan luz evitando el recalentamiento. Las ceras consisten en una mezcla compleja de compuestos alifáticos de cadenas lineales con una variedad de grupos funcionales sustituidos. También se han identificado ésteres, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos grasos de cadena larga en ceras epicuticulares y ácidos grasos de cadena corta en ceras intercuticulares (Tafolla-Arellano *et al.*, 2013). Entre las ceras se han identificado algunos metabolitos secundarios como flavonoides, polisacáridos (celulosa y pectina) y algunos polipéptidos (Tafolla-Arellano *et al.*, 2013).



Estructura de una hoja (Adaptado de: Fundación Chile y el Ministerio de Educación de Chile, 2018)

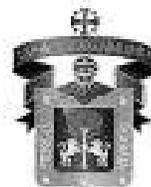
La especie *Ficus benjamina* se encuentra abundantemente representada en el AMG en jardines interiores y exteriores, banquetas, glorietas, camellones, orillas de carreteras y parques. Su sistema radicular es extenso, llega a ser capaz de fijar el suelo e impedir la erosión.

Su elevada presencia fue lo que facilitó la decisión de coleccionar las hojas en los puntos predefinidos e identificar las partículas ambientales que se encontraban a nivel respirable.

Los estomas son grupos de dos o más células epidérmicas especializadas cuya función es regular el intercambio gaseoso y la transpiración. Se encuentran en las partes aéreas de las plantas, especialmente en las hojas. Cada estoma está formado por 2 células oclusivas que dejan entre sí una abertura llamada ostiolo (poro) (Ferreira, 2006).

Habrá que recordar que la cobertura vegetal ayuda a reducir los niveles de contaminación ambiental y en particular los *Ficus* también se consideran como resistentes a la polución (Cazimir *et al.*, 2001).

ANEXO IV Convenio de colaboración



CONVENIO ESPECIFICO DE COLABORACIÓN QUE CELEBRAN, POR UNA PARTE, EL INSTITUTO JALISCIENSE DE CIENCIAS FORENSES QUIEN EN LO SUCESIVO SE DENOMINARÁ "EL IJCF", REPRESENTADO POR ESTE ACTO POR EL DIRECTOR GENERAL, EL LIC. CARLOS DANIEL BARBA RODRIGUEZ, EN COMPAÑIA DEL DIRECTOR DE LA DIRECCION DE INVESTIGACION Y CAPACITACION EL LIC. J. JESUS FRANCISCO DURAN JUAREZ Y LA ENCARGADA DE LA COORDINACION DE INVESTIGACION LA MTRA. ANGELICA JESUS GECEÑA ALTAMIRANO; Y POR LA OTRA PARTE, EL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, A QUIEN EN LO SUCESIVO SE DENOMINARÁ "CUCBA", REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR EL DR. CARLOS BEAS ZARATE, EN SU CARÁCTER DE RECTOR, EN COMPAÑIA DE LA DRA. BLANCA CATALINA RAMÍREZ HERNÁNDEZ, EN SU CARACTER DE COORDINADORA DE INVESTIGACION, Y CUANDO DE MANERA CONJUNTA SE HAGA REFERENCIA A "EL IJCF" Y AL "CUCBA" SE LES DENOMINARA "LAS PARTES", QUIENES TIENEN CONCERTADO EL PRESENTE CONVENIO DE CONFORMIDAD CON LOS ANTECEDENTES, DECLARACIONES Y CLÁUSULAS SIGUIENTES:

ARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, A QUIEN EN LO SUCESIVO SE DENOMINARÁ "CUCBA", REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR EL DR. CARLOS BEAS ZARATE, EN SU CARÁCTER DE RECTOR, EN COMPAÑIA DE LA DRA. BLANCA CATALINA RAMÍREZ HERNÁNDEZ, EN SU CARACTER DE COORDINADORA DE INVESTIGACION, Y CUANDO DE MANERA CONJUNTA SE HAGA REFERENCIA A "EL IJCF" Y AL "CUCBA" SE LES DENOMINARA "LAS PARTES", QUIENES TIENEN CONCERTADO EL PRESENTE CONVENIO DE CONFORMIDAD CON LOS ANTECEDENTES, DECLARACIONES Y CLÁUSULAS SIGUIENTES:

DECLARACIONES

A. Declara "EL IJCF" a través de su Representante Legal:

- I. Que es un Organismo Público Descentralizado del Poder Ejecutivo del Estado de Jalisco, con personalidad jurídica y patrimonio propios, creado mediante decreto número 17,152 publicado en el periódico oficial "EL ESTADO DE JALISCO" con fecha 7 de febrero de 1998, emitido por el Congreso del Estado de Jalisco, con el objeto entre otros, de auxiliar a las autoridades en la procuración y administración de justicia, mediante el establecimiento y operación de una metodología de ciencias forenses, así como mediante la elaboración de dictámenes periciales especializados conforme a los avances de la ciencia y la técnica, de manera imparcial y con autonomía técnica de las autoridades a las que auxilian, en beneficio de los habitantes del estado, sin perjuicio de colaborar en calidad de peritos con otras instituciones públicas o privadas, de conformidad con el Reglamento;
- II. Que su Director General, el Lic. Carlos Daniel Barba Rodríguez, fue nombrado por acuerdo del Gobernador del Estado de Jalisco de fecha 18 de septiembre de 2018 con efectos a partir del día 18 de mismo mes y año, cuenta con facultad para

1



suscribir el presente convenio conforme al artículo 14 fracción I de la Ley Orgánica del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses;

- III. Que es parte de su objeto establecer y operar un sistema de ciencias forenses, siendo su atribución proponer programas de intercambio de experiencias, conocimientos y avances tecnológicos con sus similares nacionales y extranjeros e instituciones educativas que logren el mejoramiento y la modernización de sus funciones, conforme a lo establecido en el artículo 5º fracción XIV de la Ley Orgánica del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses;
- IV. Que la Dirección de Investigación y Capacitación es una unidad de trabajo que auxilia a la Dirección General en el ejercicio de sus funciones, de conformidad a lo establecido en el artículo 15 fracción V de la Ley Orgánica del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses; y
- V. Que señala como su domicilio para los efectos del presente convenio el ubicado en la calle Batalla de Zacatecas, número 2395, Fraccionamiento Revolución, Código Postal 45580, en el Municipio de San Pedro Tlaquepaque, Jalisco.

B. Declara "EL CUCBA":

- I. Que es un Centro Universitario de la Universidad de Guadalajara, encargado de cumplir en su área de conocimiento y del ejercicio profesional, los fines que en el orden de la cultura y la educación superior corresponden a esta Casa de Estudios conforme a lo establecido en el artículo 5º. de su Ley Orgánica, siendo su rector actual el DR. CARLOS BEAS ZARATE;
- II. Que el Rector General y Secretario General de esta Casa de Estudios emitieron el 13 de Septiembre del 2000 el acuerdo número 05/2000 por el que autoriza a los Rectores de los Centros Universitarios a suscribir convenios de prácticas profesionales; y
- III. Que para efectos del presente convenio el CUCBA señala como su domicilio el inmueble ubicado Avenida Nuevo Periférico número Camino Ramón Padilla Sánchez 2100, Nextipac, 44600 Zapopan, Jal.

C. Declaran "LAS PARTES":

- I. Que se reconocen ampliamente la personalidad y las atribuciones con las que se ostentan;



- II. Que se reconozcan en forma recíproca la personalidad con la que ostentan y comparecen a la suscripción del presente Convenio General de Colaboración y están de acuerdo con las declaraciones que anteceden, por lo que manifiestan su voluntad de manera libre para suscribir el presente instrumento;
- III. Que están en la mejor disposición de apoyarse para cumplir cabalmente con el objeto del presente instrumento jurídico.

Expuesto lo anterior, las partes convienen en sujetar sus compromisos en los términos y condiciones previstos en las siguientes:

CLÁUSULAS

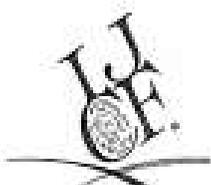
PRIMERA. El objeto del presente Convenio en Específico, consiste en el establecimiento de las bases y mecanismos operativos entre "EL CUCBA" y "EL IJCF" para coordinar la ejecución de la Investigación Científica, Académica.

Asimismo, buscarán desarrollar Investigación en forma conjunta y vinculante con el fin de la cooperación y colaboración científica tendiente a los siguientes rubros: divulgación institucional, retroalimentación curricular, elaboración de artículos, capítulos libros, y demás apoyos mutuos que así convengan.

SEGUNDA. "LAS PARTES" acuerdan que podrán realizar acciones de cooperación en las siguientes áreas:

- I. Apoyar en la elaboración de proyectos de investigación, artículos, propuestas de programas académicos, en específico con el
Proyecto de Investigación: "PARTÍCULAS ULTRAFINAS AMBIENTALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, MEXICO"
- II. Coadyuvar en la producción y reproducción del material didáctico para los diplomados, cursos, talleres, seminarios, certámenes, congresos, entre otros eventos que sean

UJCF



- III. Promover y difundir entre el personal de "LAS PARTES" los programas y eventos que sean organizados, así como el material generado por "CUCBA" y "EL IJCF" relativo al objeto del presente Convenio, así como también la difusión a la sociedad a través de los medios de comunicación con los que cuente.
- IV. Intercambiar experiencias y retroalimentarse en temas y análisis en torno a a la Investigación, especialidades, posgrados, diplomado, curso, taller, seminario, que se imparta.
- V. Proporcionar, en la medida de sus posibilidades, la infraestructura, el material didáctico y el apoyo profesional, técnico y documental para el diseño, formulación, desarrollo y evaluación de las distintas publicaciones, cursos y contenidos de los programas antes señalados.
- VI. Las demás que acuerde "LAS PARTES" para la ejecución del presente Convenio en específico.

TERCERA LAS PARTES ponen a disposición sus instalaciones y equipo con el que cuentan para apoyar el desarrollo de la Investigación, capacitación de académico y Investigación objeto de este convenio.

CUARTA. Las declaraciones y cláusulas del presente Convenio celebrado con la Universidad de Guadalajara se entenderán como aplicables al presente Convenio Específico, salvo estipulación expresa en contrario.

QUINTA. Para el adecuado desarrollo de las actividades de Investigación que se generan con motivo del cumplimiento del objeto de este Convenio en Específico, "LAS PARTES" están de acuerdo en integrar una Comisión Técnica, misma que estará formada por uno o más representantes de cada institución, quienes podrán ser sustituidos en cualquier tiempo previa notificación a la otra parte:

- I. Por parte de "CUCBA", se designa al **DR. CARLOS BEAS ZARATE**, EN SU CARÁCTER DE RECTOR, EN COMPAÑÍA DE LA **DRA. BLANCA CATALINA RAMÍREZ HERNÁNDEZ**, EN SU CARACTER DE COORDINADORA DE INVESTIGACION.

Handwritten signatures and initials, including a large signature and the letters 'UP' at the bottom right.



- II. Por parte de "EL IJCF", se designa a MTR. J. JESUS FRANCISCO DURAN JUAREZ, MTRA. ANGELICA JESUS CÉCEÑA ALTAMIRANO.

SEXTA. Derivado de este acuerdo de voluntades, cualquiera de "LAS PARTES" podrá presentar protocolos y proyectos de investigación propuestas de acciones particulares de trabajo, a través de la Comisión Técnica, quienes a su vez someterán la propuesta a la consideración de la otra parte y, en caso de ser aprobadas, serán elevadas a la categoría de Convenio. Una vez suscritos pasarán a formar parte de este documento legal.

SEPTIMA. "LAS PARTES" convienen utilizar en forma adecuada los materiales didácticos y el equipo de apoyo técnico proporcionados por las mismas, por lo que en caso de que sufrirán algún daño por el uso negligente que se haga de ellos durante el desarrollo de la investigación, se comprometen a realizar su reparación o reposición, según convenga. "LAS PARTES" quedan relevadas de toda responsabilidad por el deterioro derivado del uso natural del material y equipo señalado.

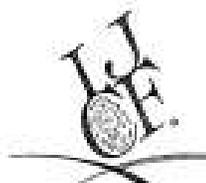
OCTAVA. "LAS PARTES" convienen en lo relativo a la propiedad de los derechos de autor de los materiales que elaboren como resultado de las actividades conjuntas que se desarrollen, así como lo correspondiente a los derechos de propiedad intelectual e industrial que pudieran llegar a derivarse de los trabajos de investigación, que corresponderá a cada una el 50% de los derechos relativos a la autoría o a la propiedad intelectual, y acordaran sobre el particular cuando sea necesario la manera de operar y distribuir en su caso utilidades.

NOVENA. "LAS PARTES" buscarán, en forma conjunta o separada, entre otras instituciones, dependencias gubernamentales y organismos de carácter nacional e internacional, la obtención de publicaciones y recursos necesarios para el desarrollo de las acciones de INVESTIGACION, INSTANCIAS ACADEMICAS, REDES DE INVESTIGADORES, PUBLICACION DE ARTICULOS, etc. relativos al Convenio en Especifico.

DÉCIMA. En el desarrollo de las acciones, "LAS PARTES" se comprometen a respetar la normatividad vigente y aplicable a cada una de las mismas.

DÉCIMA PRIMERA. "LAS PARTES" no tendrán responsabilidad por daños y perjuicios ocasionados por causas de fuerza mayor o caso fortuito que pudieran impedir la continuación del presente Convenio específico. Una vez superados dichos eventos se podrán reanudar las actividades en forma y términos que determinen "LAS PARTES".

5



DÉCIMA SEGUNDA. El personal de cada una de "LAS PARTES" que sea designado para la realización conjunta de cualquier acción con motivo de la ejecución del presente Convenio Específico, continuará en forma absoluta bajo la dirección y dependencia de la parte con la cual tiene establecida su relación laboral o lo haya contratado, por lo que no existirá relación alguna para con la otra parte, por lo que en ningún caso podrá considerarse a los patrones sustitutos y por tanto, cada una de ellas asume las responsabilidades que por dicha relación les corresponda.

DÉCIMA TERCERA. El presente Convenio específico entrará en vigor a partir de que el mismo se encuentre firmado por ambas partes; tendrá una vigencia de cinco años y dejará de surtir sus efectos legales cuando así lo determinen "LAS PARTES", por mutuo acuerdo o cuando una de ellas comunique, con un mes de anticipación y por escrito, a la otra su deseo de darlo por concluido. Si hubiera acciones de colaboración en curso, el convenio se dará por terminado hasta el cumplimiento de aquellas.

DÉCIMA CUARTA. Este acuerdo de voluntades es producto de la buena fe, por lo que todo conflicto que se llegase a presentar por cuanto a su interpretación, aplicación, formalización y cumplimiento, será resuelto de común acuerdo y de buena fe entre "LAS PARTES".

DÉCIMA QUINTA. El presente Convenio específico de Colaboración, podrá ser renovado o modificado por voluntad de "LAS PARTES", durante su vigencia, apegándose a la normalidad aplicable y a través de los instrumentos jurídicos correspondientes, obligándose "LAS PARTES", a las nuevas estipulaciones a partir de la fecha de su firma.

DÉCIMA SEXTA. A partir de la firma del presente instrumento, quedan sin efecto todo y cuantos pronunciamientos y cláusulas que hayan sido acordadas en anteriores convenios celebrados entre "LAS PARTES", que contravengan lo aquí acordado.

Leído el presente instrumento, enteradas las partes del contenido y alcance de cada una de las cláusulas e indicando que en su celebración no existe dolo, mala fe o cualquier otro motivo que vicie su consentimiento lo firman por triplicado, en Tonalá, Jalisco a los 01 días del mes de Octubre de 2018 dos mil dieciocho.

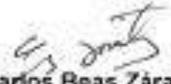


"EL IJCF"
INSTITUTO JALISCIENSE DE CIENCIAS FORENSES



"EL CUCBA"
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS


Lic. Carlos Daniel Barba Rodríguez
Director del Servicio Médico Forense


Dr. Carlos Beas Zárate
Rector del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

TESTIGO


Lic. J. Jesús Francisco Duran Juárez

TESTIGO


Mtra. Angélica Jesús Cedeña Altamirano

NOTA: La presente hoja de firmas corresponde al Convenio Específico que celebra el Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses "EL IJCF" y el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias "CUCBA" 01 de Octubre del 2018 dos mil dieciocho.

ANEXO V Artículo

RESEARCH

Revista Mexicana de Física 65 (2019) 95–105

JANUARY-FEBRUARY 2019

Absorbancia y reflectancia de hojas de *Ficus* contaminadas con nanopartículas de plata

L. Peña^{a,b}, V. Rentería^{a,*}, C. Velázquez^a, M.L. Ojeda^a, y E. Barrera^c^aDepartamento de Ciencias Naturales y Exactas,

Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de los Valles, Ameca, Jalisco, 46600, México.

^bDepartamento de Ciencias Naturales y Exactas Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara
Carretera Guadalajara-Ameca Km. 45.3, 46600, Ameca, Jalisco, México.

Phone: +523757180500

e-mail: victor.renteria@profesores.valles.udg.mx

^cCentro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara,

Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez No. 2100, Poblado de la Venta del Astillero, Nexripac, Zapopan, Jal. México.

^dDepartamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa,
Ciudad de México, 09340, México.

Received 17 April 2018; accepted 28 September 2018

En este trabajo se informa la preparación de nanopartículas de plata esféricas dispersadas en agua con distribución de tamaño bimodal (diámetro promedio de 1.8 y 44 nm), las cuales son depositadas sobre la superficie de hojas de *Ficus benjamina* por el método de inmersión. El efecto de las nanopartículas en la absorbancia y la reflectancia en la superficie adaxial de las hojas es investigado con respecto a las hojas sin contaminar, en la región de 200 a 2000 nm. La absorbancia de la hoja contaminada disminuyó en la región del UV, donde predominan absorciones de péptidos, quininas y flavonoides. La absorbancia relacionada con pigmentos fotosintéticos fue prácticamente constante en la región del visible (< 700 nm). En la región de 730 a 780 nm aparece un pequeño incremento en la absorción óptica relacionada con la aparición de un color pardo en la hoja estresada. Para longitudes de onda del infrarrojo cercano, las absorciones ópticas debido a agua (máximos en 970, 1194, 1458 y 1940) se incrementaron, sugiriendo un proceso de infiltración de esta molécula en la estructura interna de la hoja. Por otra parte, las hojas reflejan muy poca luz en la región UV-Vis debido a que sus pigmentos absorben luz en esta región. Una débil disminución de la reflectancia en el verde (554 nm) proviene de oxidación de polifenoles. El daño causado a las hojas por el estrés inducido, se confirmó por una disminución evidente de la reflectancia para longitudes de onda entre 730 y 820 nm. Mientras que la reflectancia en el intervalo de 840 a 1070 nm alcanzó valores tan altos como 96% en la hoja contaminada. La baja reflectancia observada en la región de 1190 a 2000 nm se relacionó con la absorción de radiación por agua. Adicionalmente, se muestra daño en la superficie de hojas contaminadas y con déficit hídrico utilizando espectroscopía infrarroja. Respecto a la morfología de las nanopartículas de plata, se observó que tienden a formar agregados sobre la superficie adaxial de la hoja de *Ficus*. La metodología propuesta podría explicar cómo el material nanoparticulado existente en el entorno atmosférico o terrestre, es depositado sobre las hojas de las plantas e inferir los efectos de estrés por nanopartículas en los procesos de la transpiración, el balance térmico y la fotosíntesis.

Descriptores: Propiedades ópticas; hojas de *Ficus*; material nanoparticulado; estados agregados.

In this document, it is reported the preparation of spherical silver nanoparticles dispersed in water with bimodal size distribution (average diameter of 1.8 and 44 nm), which are deposited on the surface of *Ficus benjamina* leaves by the immersion method. The effect of nanoparticles on absorbance and reflectance on the adaxial surface of the leaves is investigated with regards to the leaves without contamination, in the region from 200 to 2000 nm. The absorbance of the contaminated leaf decreased with respect to the absorbance of the control leaf in the UV region, where absorptions of peptides, quinines and flavonoids predominate. The absorbance related to photosynthetic pigment was practically constant in the visible region (< 700 nm). In the region from 730 to 780 nm, a small increase in optical absorption appears related to a weak browning of the stressed leaf. For near-infrared wavelengths, optical absorptions due to water (maximum at 970, 1194, 1458 and 1940) were increased, suggesting an infiltration process of this molecule in the internal structure of the leaf. On the other hand, the leaves reflect very little light in the UV-Vis region because their pigments absorb light in this region. A weak decrease in reflectance in green (554 nm) comes from polyphenols oxidation. The damage caused to the leaves by the induced stress was confirmed by an evident decrease of the reflectance for wavelengths in the near-infrared between 730 and 820 nm. While in the range from 840 to 1070 nm, the reflectance reached values as high as 96% in the contaminated leaf. The low reflectance observed in the region from 1190 to 2000 nm was related with the absorption of radiation by water. Additionally, damage on the surface of contaminated leaves and with water deficit was showed by using infrared spectroscopy. Regarding the morphology of the silver nanoparticles, it was observed that these tend to form aggregates on the adaxial surface of the *Ficus* leaf. The proposed methodology could explain how the nanoparticulate material existing in the atmospheric or terrestrial environment, is deposited on the leaves of the plants and could infer the effects of nanoparticles-stress on the transpiration processes, thermal balance and photosynthesis.

Keywords: Optical properties; Ficus leaves; nanoparticulate material; aggregated shapes

PACS: 78.40-q; 78.68+m