

CARACTERIZACIÓN DE AEROSOLÉS ATMOSFÉRICOS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA Y SU RELACIÓN CON DIFERENTES FUENTES EMISORAS

E. T. Romero Guzmán^{1*} y L. R. Reyes Gutiérrez²

¹ Departamento de Química, Gerencia de Ciencias Básicas. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Carretera México-Toluca S/N km 36.5. C.P. 52750. A.P. 18-1027. La Marquesa Ocoyoacac México. Teléfono: +52 55 53297200, ext. 2266, Fax: +52 55 53297301. E-mail: *elizabeth.romero@inin.gob.mx

² División de Geociencias Aplicadas. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). Camino a la Presa San José 2055. Col. Lomas 4 sección. C.P. 78216. San Luis Potosí S.L.P. México. Teléfono: +52 444 8342000 ext 7281, Fax: +52 444 8342010. E-mail: raymundo.reyes@ipicyt.edu.mx

Resumen

Existe una gama de contaminantes atmosféricos criterio, entre los que destacan partículas y gases. Los aerosoles atmosféricos, siendo un problema global, tiene consecuencias graves principalmente en la salud de la población. Muchos por su fracción microscópica, penetran fácilmente al cuerpo a través de las vías respiratorias, causando alergias y enfermedades respiratorias que pueden llevar hasta la muerte efectos en la visibilidad e incluso malos olores. Las partículas de diámetro aerodinámico inferior a 10 μm son llamadas aerosoles, éstos no sólo son de tipo inorgánico y orgánico, también de origen biológico. El proyecto de investigación tuvo como objetivos, identificar las fuentes emisoras, caracterizar morfología, composición química elemental por MEB el material particulado (vía seca y húmeda), determinar los Compuestos Orgánico Volátiles (COV) y analizar la distribución y transporte de contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Los resultados indicaron que las fuentes emisoras generan partículas con Si-Al, C-S, Fe y COV que se dispersan y transportan principalmente hacia la zona noroeste de ZMVT.

Presentación Oral.

Palabras clave: PM_{10} , material particulado, ZMVT, COV, Dinámica

¹ *Corresponding autor:* Elizabeth Teresita Romero Guzmán. Departamento de Química, Gerencia de Ciencias Básicas. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Carretera México-Toluca S/N km 36.5. C.P. 52750. A.P. 18-1027. La Marquesa Ocoyoacac México. Phone: +52 55 53297200, ext. 2266, Fax: +52 55 53297301. E-mail address: elizabeth.romero@inin.gob.mx

1. Introducción

Una de las estrategias del *Programa Aire Limpio 2007-2011* del Valle de Toluca [1], es la continua caracterización fisicoquímica de los contaminantes atmosféricos, con la finalidad de contribuir a la disminución de la contaminación atmosférica. La caracterización del material particulado, PST, por diferentes técnicas, es necesaria para monitorear, identificar, regular y modelar los niveles de contaminación atmosférica. Los tamaños de las partículas son de especial interés puesto que determinan las propiedades de transporte, tóxicas, ópticas, químicas y de deposición. La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) presentó en 2004 al material particulado como su principal contaminante atmosférico, debido a que tiene el mayor número de días fuera de norma. El proyecto de investigación tuvo como objetivos, identificar *in situ* las fuentes emisoras al aire, la caracterización morfológica-química del material particulado por MEB y COV recolectado y proporcionado por la Red Automática de Monitoreo Ambiental de Toluca (RAMAT), así como analizar la distribución y transporte de contaminantes en la ZMVT [2]. En las áreas en que se dé una fuerte concentración de focos emisores de contaminantes, pueden producirse episodios de fuerte contaminación local, como consecuencia de la persistencia de situaciones meteorológicas adversas para la dispersión de los contaminantes. Estos episodios se manifiestan con grandes aumentos de la concentración de contaminantes en un área más o menos extensa alrededor de los focos contaminantes y pueden verse forzados por las especiales condiciones topográficas de la zona, o por la localización de barreras artificiales (edificios), donde se crea un microclima propio, que pueden favorecer la acumulación de contaminantes. En otros casos los contaminantes pueden alcanzar bastante altura e introducirse en las masas de aire que forman las corrientes preferenciales de vientos sobre el terreno, siendo arrastrados a muchos kilómetros de las fuentes de emisión y generando riesgos de contaminación a la población [3-6].

2. Desarrollo Experimental

2.1. Localización de la zona de estudio

La ZMVT se localiza a 2660 msnm y comprende 7 municipios, sin embargo, solo Lerma,

Metepec, San Mateo Atenco, Toluca y Zinacantepec interactúan y contribuyen al problema de la contaminación atmosférica. El área de la zona de estudio comprendió las estaciones de monitoreo establecidas por la RAMAT, las cuales se muestran en la Figura 1.

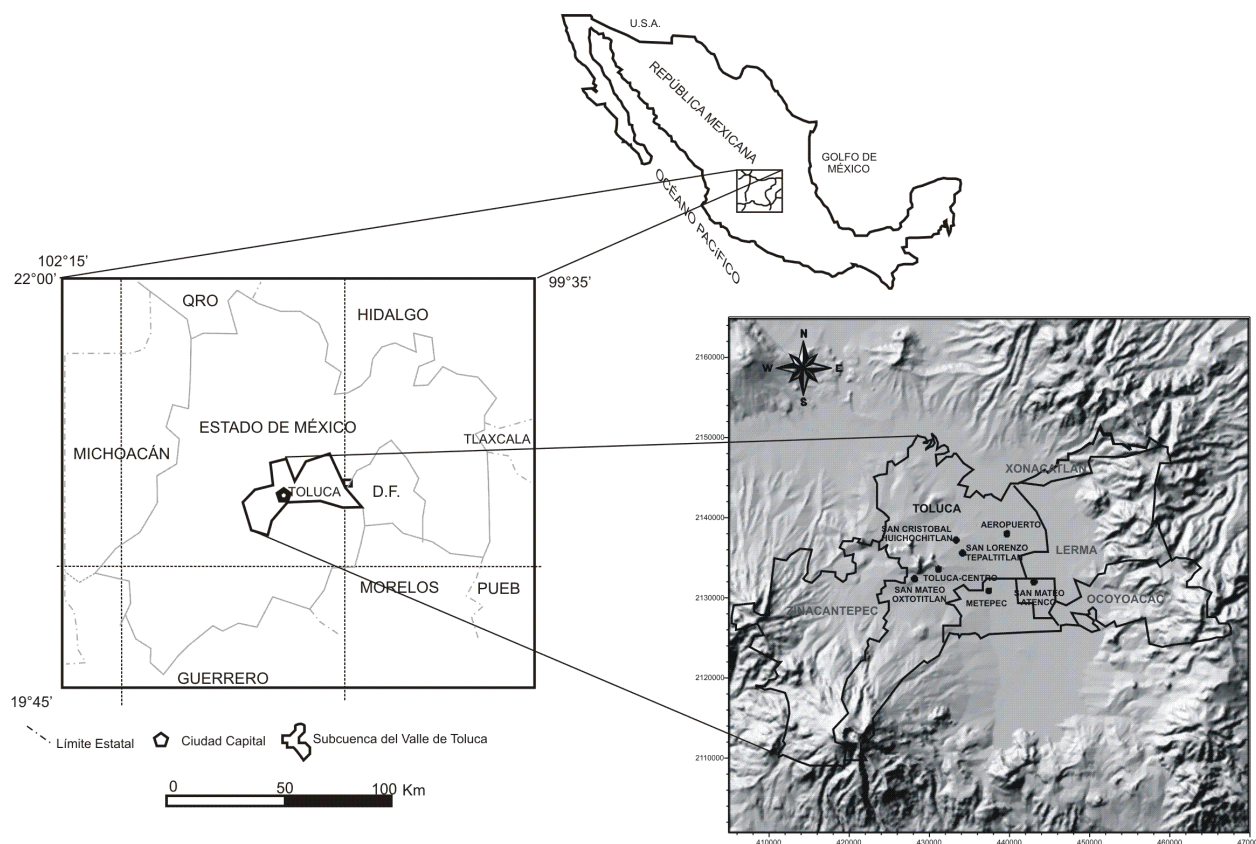


Figura 1. Mapa de localización de las estaciones de monitoreo en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

2.2. Identificación in situ de fuentes emisoras

Las fuentes emisoras más importantes se identificaron en campo en la ZMVT como industrias, vialidades, terminales de autobuses, zonas de cultivo y bancos de material [7].

2.3. Caracterización por vía seca y húmeda de aeropartículas en la ZMVT

El material particulado que se encuentra suspendido en el aire fue analizado por vía seca con filtros para PM₁₀ obtenidos de la Red Automática de Monitoreo Ambiental de Toluca [8] (RAMAT) y se analizó por vía húmeda recolectado con pluviómetros marca *all*

wheather. Se han analizado aproximadamente 5,000 partículas [9,10]. La morfología, tamaño y composición química elemental fue obtenida por MEB y EDS.

2.4. Identificación de COV por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas

De los filtros instalados en equipos de alto volumen para muestreo de 24 hr, fue extraída vía soxhlet la fracción orgánica durante 24 hr. Se empleó como mezcla extractora una combinación de hexano-diclorometano (4:1) con cartuchos marca *whatman* con un diámetro interno de 33 mm y una longitud exterior de 80 mm. La determinación de los COV se realizó con la ayuda de un cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas. Los compuestos se identificaron por comparación a partir de los espectros de masas e índices de retención, disponibles en la literatura y la base de datos del equipo [11].

2.5. Distribución y transporte del material particulado

Tras la obtención de datos, se procedió a obtener la distribución y tendencia de las partículas PM₁₀ mediante técnicas geoestadísticas, como el kriging ordinario, y modelos de series de tiempo, haciendo uso de procedimientos estadísticos tradicionales y de manera alterna modelos de simulación de tendencia de tipo *ARIMA* (*Autorregresive Integrated Moving Average*) [12].

3. Resultados y Discusión

3.1. Identificación in situ de fuentes emisoras de contaminantes del aire

Las fuentes naturales emiten sustancias hacia la atmósfera sin intervención directa del hombre y las fuentes antropogénicas son causadas por la influencia directa de él. En la Figura 2 se presentan fuentes naturales, móviles y fijas representativas de la zona. Si bien, el impacto de las emisiones de fuentes naturales es mucho mayor que el de cualquier proceso industrial típico o flujo vehicular intenso, cabe aclarar que en la ZMVT ciertas áreas específicas emiten emisiones antropogénicas localizadas, que podrían superar a las emisiones naturales.



Figura 2. Fuentes emisoras de contaminantes al aire, naturales, móviles y fijas de la ZMVT.

3.2. Caracterización por vía seca y húmeda de material particulado en la ZMVT

En años recientes se ha incrementado el estudio y caracterización del material particulado suspendido en el aire de ciudades con intensa actividad industrial, donde la concentración generalmente sobrepasa las normas ambientales en vigor, la ZMVT no es la excepción, de 2004 a la fecha los valores de partículas aerotransportadas han sobrepasados los límites vigentes. Aunque existen muchos esfuerzos por cuantificar el tipo de contaminantes, poco se ha hecho por identificar las características individuales de las partículas que componen el material atmosférico en la ZMVT, y que en numerosas ocasiones proporcionan información de la naturaleza de las partículas[13-19]. En la Figura 3 se presentan las partículas más representativas de la ZMVT, recolectadas por vía seca y húmeda. Dentro de los grupos más representativos se tienen aluminosilicatos de partículas del suelo, material derivado de procesos de combustión incompleta C-S, y una alta incidencia de partículas de Fe, hollín y material rico en materia orgánica de origen biológico con tamaños desde $0.08\ \mu\text{m}$ hasta $100\ \mu\text{m}$. La composición química elemental generalmente se basa en carbono y azufre para todas aquellas partículas porosas, debido a una combustión incompleta que impide la total transformación del combustible a bióxido de carbono y vapor de agua, como origen potencial de éstas. El origen potencial de estos elementos dadas las características de la zona en estudio puede deberse a la emisión del sector transporte e industrial ya que utilizan los combustibles convencionales y por causas de mal mantenimiento de unidades, así como el uso de diesel, gas doméstico y probablemente un aporte por la gasolina en el sector industrial, la emisión puede presentarse. En el caso del Fe su origen está asociado principalmente al desgaste de los escapes, ya que cuando se lleva a cabo el proceso de combustión en la etapa de escape se arrastran, junto con los vapores, metales componentes de la estructura del escape.

Los análisis realizados por MEB muestran partículas de distintos orígenes. Los elementos característicos de los bioaerosoles son el C y O. La forma de las partículas son rugosas en su superficie, en otras se observan formas esféricas y esponjosas, como también lo ha reportado Moreno, 2007. La figura 6 muestra la variedad de bioaerosoles encontrados en las diferentes estaciones de monitoreo. En algunos otros se observó la presencia de Si, Al, con C, O [13-19] como elementos principales.

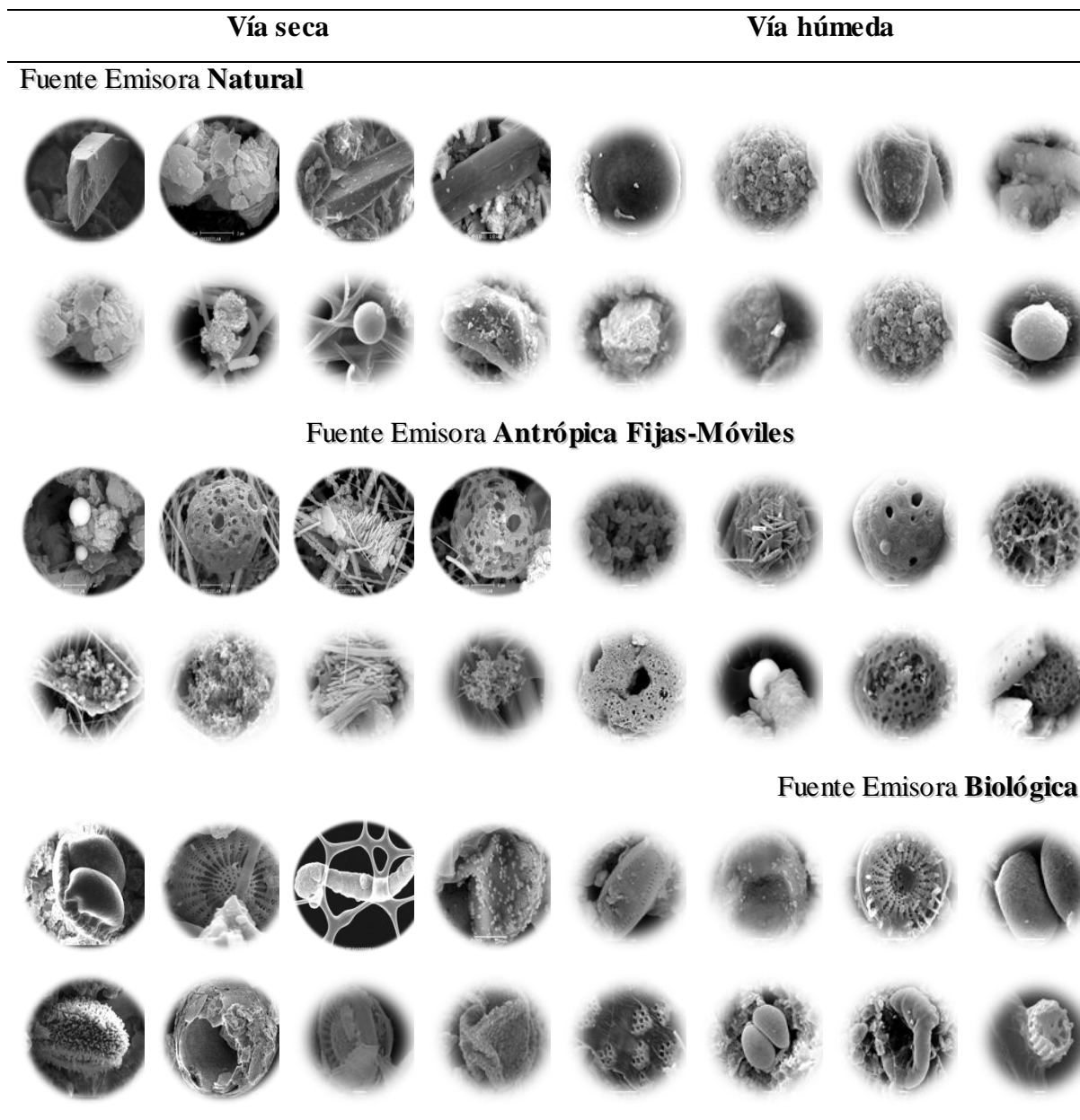


Figura 3. Imágenes MEB de partículas aerotransportadas por diferentes fuentes emisoras en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca

3.3. Clasificación de las partículas aerotransportadas del Valle de Toluca según su morfología y su relación con las principales fuentes emisoras de la ZMVT

Las partículas fueron clasificadas en grupos de acuerdo a su morfología y composición química elemental: principalmente en fuentes naturales y de origen antrópico: dentro del primer grupo están las corticales y biológicas, en el segundo grupo se presentan partículas provenientes de fuentes fijas y móviles, Figura 4.

Las partículas corticales, que son parte de las fuentes naturales, generalmente tienen formas irregulares y se originan por tolveneras y resuspensión de polvos de las carreteras y calles, están formadas principalmente por aluminio, silicio y hierro. El grupo de partículas corticales es abundante en todas las áreas alrededor de las estaciones de monitoreo de la ZMVT. Las partículas biológicas encontradas en la zona incluyen polen, esporas y brocosomas. Los granos de polen son producidos en grandes cantidades por los estambres y son dispersados libremente por el viento, animales e insectos. Las esporas son un importante elemento en los ciclos biológicos de plantas, hongos y algas. Las partículas denominadas brocosomas se encuentran principalmente en verano en diferentes partes del mundo provienen de los desechos de los saltamontes o cigarras. Las partículas de fuentes fijas tienen su origen en actividades industriales, de construcción o domésticas. Se encontró una gran diversidad en las estructuras morfológicas de partículas que contienen hierro, muestran formas irregulares y esféricas que sugieren que el origen antropogénico es diferente debido a la transformación experimentada por el hierro durante su uso [13-19], Figura 5.

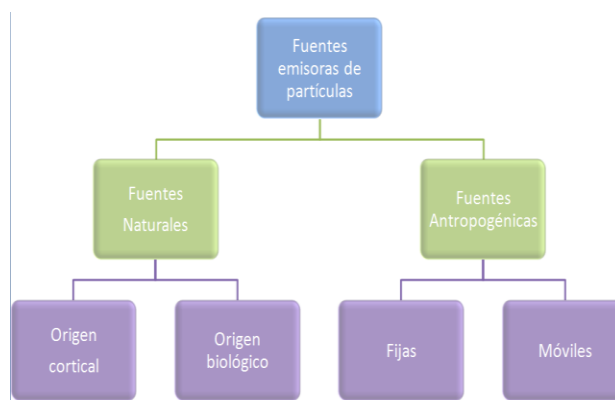


Figura 4. Clasificación de partículas de acuerdo a fuente emisora

Las partículas que tiene su origen en fuentes móviles están constituidas principalmente por carbono, pero también contienen calcio, silicio, hierro, magnesio, aluminio, zinc, cloro y potasio, su forma característica es de esferas agregadas. Las partículas de combustión incompleta, pueden tener origen en fuentes fijas o móviles, todas presentan formas esféricas espongiiformes debido a que los gases de combustión pasan a través de ellas, provocando así sus huecos característicos y contienen principalmente los siguientes elementos: carbono, azufre, y vanadio elemento que es fuertemente asociado a la combustión de petróleo y a la industria del hierro y acero [13-19].

3.3. Determinación de Compuestos Orgánico Volátiles (COV) en la ZMVT

Los principales COV identificados en la ZMVT fueron: el tetracloroetileno, el 3-metil hexano, en cuatro zonas de las estaciones de monitoreo Toluca-Centro, Metepec, San Mateo Atenco y San Cristóbal Huichochitlán; el etilbenceno en tres estaciones de monitoreo San Mateo Oxtotitlán, Aeropuerto e ISSEMYM y el metil ciclohexano en la zona de San Cristóbal Huichochitlán, Figura 4. Se constató que otros COV identificados, derivados de familias aromáticas, organohalogenados, nitrogenados, entre otros, deben estudiarse con mayor profundidad, debido a que si se encuentran por encima del límite máximo permisible pueden causar efectos perjudiciales a la salud del ser humano. Cabe señalar, que algunos compuestos son iguales a los reportados en la literatura. En la ZMVT se comprobó que los COV se aerotransportan junto con el material particulado[11].

3.5. Distribución de contaminantes en el aire de la ZMVT

Los resultados obtenidos a partir de las concentraciones medidas en las estaciones de monitoreo indicando la distribución y tendencia de las partículas PM_{10} , Figura 5. Con los modelos *ARIMA* se identificó el proceso estocástico que generan los datos y se estimaron los parámetros que caracterizan dicho proceso. Los modelos se generaron con el análisis de los máximos diarios de PM_{10} , considerando los datos del periodo de 1998-2005. En general, las PM_{10} presentan un ligero ascenso durante el periodo evaluado[12].

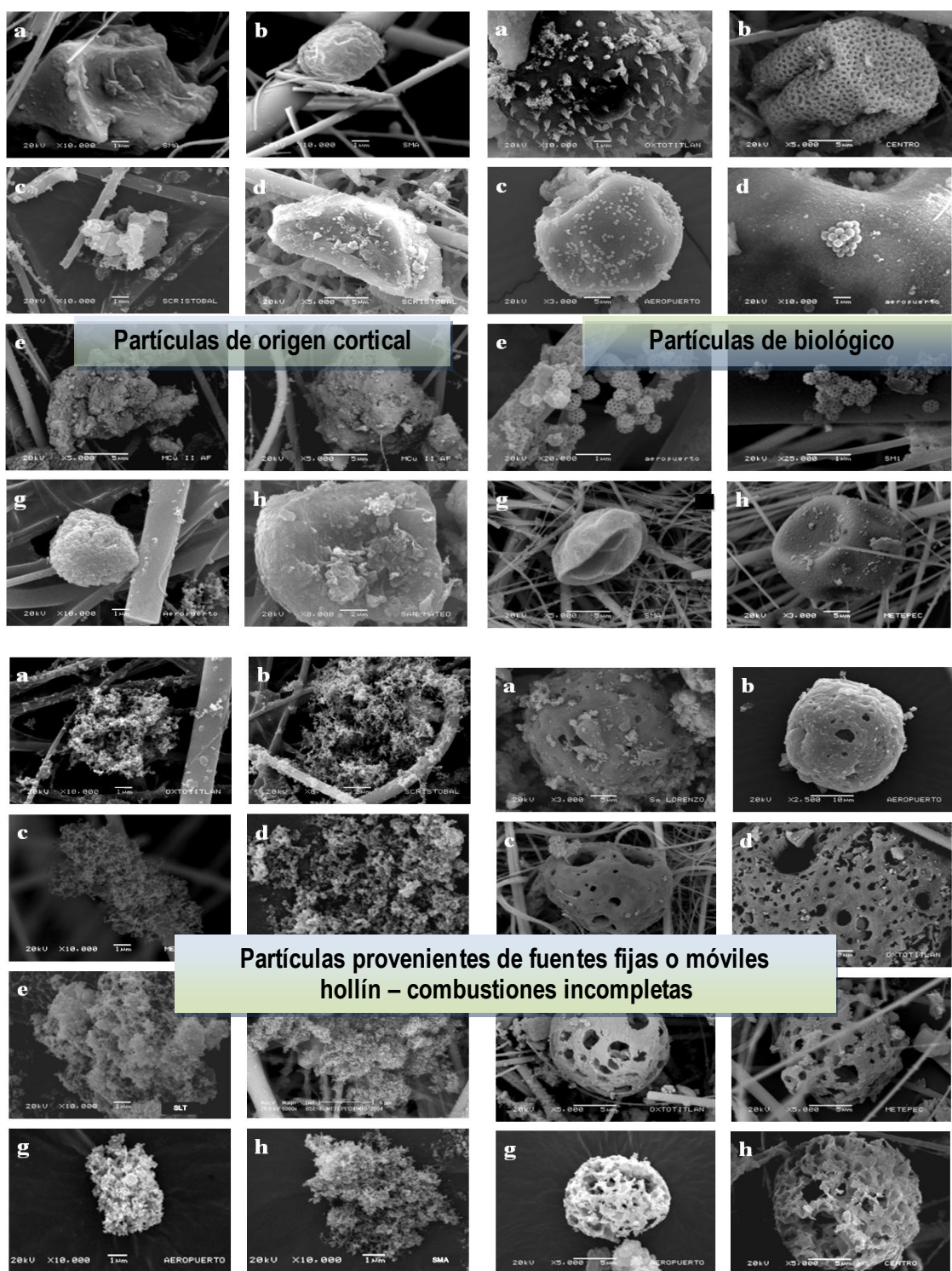


Figura 5. Material particulado de diversas fuentes emisoras de la ZMVT

5. Agradecimientos

Al financiamiento de este trabajo a través del proyecto *COMECyT EDOMEX-2005-CO1-09*. A los integrantes de la RAMAT. Finalmente, a los entusiastas estudiantes integrantes del proyecto que desarrollaron su trabajos de investigación en esta área de estudio: *Vidal Morales Mercado, Anabel Sandoval Pérez, Barbra Caballero Segura, Carlos Augusto González González, José Morelos Martínez, Joel Gutiérrez Reyes y Anabel Rojas Villa*. Al Dr. Miguel José Yacamán de la Universidad de San Antonio Texas, USA, Dr. Hilario López González, Q. Leticia Carapia, T. Jorge Pérez del Prado del departamento de química y de materiales respectivamente, por el apoyo recibido.

6. Referencias

- [1] Aire Limpio: Programa para el Valle de Toluca 2007-2011. Gobierno del Estado de México Secretaría del Medio Ambiente. Tlalnepantla, Estado de México Primera edición, 2007.
- [2] Proyecto *COMECyT EDOMEX-2005-CO1-09*.
- [3] AMBIOTEC S. A. de C. V. y SAINCOMEX (1992). Diseño de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de Toluca. Gobierno del Estado de México. Secretaría de Ecología, 206 pp.
- [4] Organización Mundial de la Salud. (2008). Calidad del aire y salud. WHO.
- [5] Gaytan I. J., Wojcik A. R., Arroyo L. P. E. Conditions and trends of air pollution levels in the metropolitan zone in the city of Toluca. 1995; 3: 99-106.
- [6a] Díaz R. P., García S. I., Iturbe G. J. L., Granados C. F., Sánchez M. J. C. Air pollution in the atmosphere of the Toluca Valley, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 1999; 15(1):13-17.
- [6b] López M. B. E., Iturbe G. J. L., López C. R., Olea C. O. Physicochemical analysis of rainwater and suspended matter from Toluca city and Salazar, State of Mexico. International Journal of Environment and Pollution 2006; 26(1-3):187-200.
- [7] Morales M. V. (2008). Diagnóstico de la calidad del aire del Valle de Toluca por medio de los inventarios físicos de emisiones a la atmósfera. Tesis de Licenciatura. Toluca México. Instituto Tecnológico de Toluca, 132 pp.

- [8] Sandoval P. A. (2008). Caracterización Morfológica y química elemental de PM₁₀ aerotransportadas en el Valle de Toluca. Tesis de Licenciatura. Toluca México. Instituto Tecnológico de Toluca, 160 pp.
- [9] Caballero S. B. (2009). Estudio de aeropartículas del Valle de Toluca mediante la recolección de agua de lluvia en las estaciones de monitoreo de la RAMAT por microscopía electrónica de barrido. Tesis de Licenciatura. Toluca México. Facultad de Química Universidad Autónoma del Estado de México, 180 pp.
- [10] Gutiérrez Reyes J. (2010). Evaluación de bioaerosoles mediante depósito vía húmeda en el Valle de Toluca. Tesis de Licenciatura. Toluca México. Instituto Tecnológico de Toluca, 160 pp.
- [11] González G. C. A. (2009). Análisis de PST por microscopía electrónica de barrido y COV por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas en el Valle de Toluca. Tesis de Licenciatura. Toluca México. Facultad de Química Universidad Autónoma del Estado de México, 180 pp.
- [12] Morelos M. J. 2009. Análisis univariante del comportamiento de las PM₁₀ del aire del Valle de Toluca. Tesis de Maestría. Toluca México. Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, 100 pp.
- [17] Colbeck I. (2008). *Environmental Chemistry of Aerosols*. Blackwell Publishing. U.K. 255 pp.
- [18] Heard. D. E. (2006). *Analytical Techniques for Atmospheric Measurement*. Blackwell Publishing, U.K. 510 pp.
- [19] Romero G. E. T y Reyes G. L. R. Influencia de emisiones naturales y antropogénicas en el material aerotransportado del Valle de Toluca. *Contacto Nuclear*, **54**, 12-17, 2009