



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

T E S I S

**APLICACIÓN DE MICROSCOPIA DE FUERZA
ATÓMICA EN CARACTERIZACIÓN DE
MATERIAL PARTICULADO**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

QUÍMICO INDUSTRIAL

PRESENTA

ABELARDO ALCARAZ SANTILLAN

Tijuana, B. C.

Octubre de 2013

INDICE

	<i>Página</i>
<i>Introducción</i>	
<i>Antecedentes</i>	
1.1 <i>Definición de Atmósfera y Subdivisión</i>	3
1.2 <i>Aire</i>	5
1.3 <i>Contaminación Atmosférica</i>	8
1.4 <i>Fuentes de Contaminación Atmosférica</i>	11
1.4.1 <i>Fuentes Fijas</i>	13
1.4.2 <i>Fuentes Móviles</i>	14
1.5 <i>Alteraciones Ecológicas</i>	16
1.6 <i>Contaminación de la Atmósfera</i>	17
1.6.1 <i>Gases</i>	17
1.6.2 <i>Líquidos</i>	28
1.6.3 <i>Sólidos</i>	29
1.7 <i>Normas de Calidad de Aire</i>	30
1.7.1 <i>Índice Metropolitano de la Calidad de Aire</i>	32
1.7.2 <i>Efecto de los contaminantes en la salud</i>	37
<i>Objetivos y Metas</i>	
2.1 <i>Objetivo principal.</i>	42
2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	42
2.2.1 <i>De orden Inmediato</i>	42
2.2.2 <i>De orden mediato</i>	43
2.3 <i>Metas</i>	44
<i>Materiales y Métodos</i>	
3.1 <i>Materiales</i>	45
3.1.1 <i>Área de estudio y sitio de muestreo</i>	45
3.1.2 <i>Muestreo</i>	47
3.2 <i>Métodos</i>	48
3.2.1 <i>Caracterización Microestructural</i>	48
3.2.1.1 <i>Microscopio Electrónico de Barrido</i>	48
3.2.1.1.1 <i>Microanálisis de Rayos X por Dispersión de Energías</i>	49
3.2.1.1.2 <i>Preparación de la muestra</i>	51
3.2.1.2 <i>Microscopio de Fuerza Atómica</i>	51
<i>Resultados y Discusiones.</i>	
4.1 <i>Análisis morfológico aplicando Microscopia Electrónica de Barrido</i>	54
4.1 <i>Análisis morfológico aplicando Microscopia de Fuerza Atómica</i>	57
<i>Conclusiones</i>	66
<i>Referencias</i>	68

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

En el mes de Diciembre de 2004 dentro del programa apoyos del Sistema de Investigación de Fondo Sectorial SEMARNATMAC a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), se aprobó el apoyo financiero al proyecto que lleva como título: ***"Monitoreo de los niveles de contaminación de material particulado en zonas rurales y urbanas del estado de Baja California."***, clave de proyecto: **FOSEMARNAT-2004-01-241** el cual tiene como objetivo primordial el determinar las características fisicoquímicas de las partículas suspendidas en la atmósfera, aplicando técnicas instrumentales que permitan evaluar las posibles interacciones con la salud de los habitantes de la región.

Se contó con ***apoyo financiero paralelo*** del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y la ***Universidad Autónoma de Baja California a través de la Dirección de Investigación y Postgrado*** mediante una ***Beca***, dentro de programa de apoyo para investigación, específicamente en ***9na. Convocatoria*** de UABC, por lo cual se desea expresar agradecimiento a ambas instituciones.

Para lograr hacer efectivo el ***Objetivo General***, plantearon una serie de objetivos específicos dentro de los cuales se encuentran:

- Dar ***continuidad*** en el ámbito regional la evaluación de la calidad del aire mediante la colaboración de instituciones Federales, Estatales y Municipales a nivel gobierno y educativo,
 - ***Promover*** la colaboración entre instituciones educativas en el campo de la investigación,
 - Generar grupo de investigadores multidisciplinarios dentro del ***Cuerpo Académico de Química de Materiales*** a fin de logran un avance mas acelerado en el proceso de caracterización aplicando técnicas utilizadas dentro del proceso de análisis de materiales y,
-
-

-
-
- Justificar la investigación a escala regional de partículas suspendidas, a fin de mantener un control ambiental.

A raíz de estos objetivos, se genera una serie de proyectos de tesis a nivel Licenciatura dentro del cual se encuentra uno en la carrera de Químico Industrial que lleva como título: "***Aplicación de Microscopia de Fuerza Atómica en Caracterización de Material Particulado***" que permite ofrecer el presente trabajo de investigación dentro de la ***labor experimental*** que se esta realizando en la Universidad Autónoma de Baja California en colaboración con el ***Instituto de Investigaciones en Materiales***, institución incluida dentro del grupo de colaboradores con apoyo va agradecimiento a el ***Dr. Jose Chávez Carvayar, Ing. Qco. Carlos Flores Morales y Dr. Jaime Santoyo*** por el apoyo durante el proceso de caracterización aplicando Microscopia de Fuerza Atómica, y el Ing. Israel Gradilla del Centro de Ciencias de la Materia Condensada, ambas instituciones de la ***Universidad Nacional Autónoma de México***.

De igual forma, al ***Centro de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) del Instituto Nacional de Ecología***, de tal forma que el presente trabajo es producto de un apoyo en todo momento de profesionales e investigadores de CENICA que han brindado su asesoría y apoyo técnico, de tal forma que por este medio se *desea hacer patente nuestro agradecimiento en especial* al ***Biol. Salvador Blanco Jiménez, Dr. José Sepúlveda e Ing. Felipe Ángeles***.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

Tijuana, Baja California
Septiembre/13

C. ABELARDO ALCARAZ SANTILLAN

Pasante de Químico Industrial

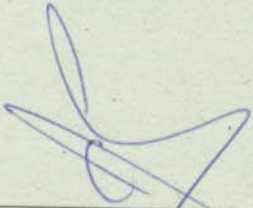
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la Opción: **TESIS**

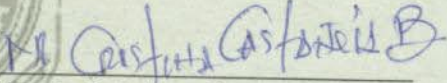
Es propuesto por el **DR. GERARDO CESAR DIAZ TRUJILLO** y por la **DRA. MARIA CRISTINA CASTAÑÓN BAUTISTA** quién serán responsables de la calidad de trabajo que usted presenta, referido al tema: "**Aplicación de microscopía de Fuerza atómica en caracterización de material particulado**", el cual deberá desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCION
- II.- ANTECEDENTES
- III.- PARTE EXPERIMENTAL
- IV.- DISCUSION DE RESULTADOS
- V.- CONCLUSIONES
- VI.- BIBLIOGRAFIA

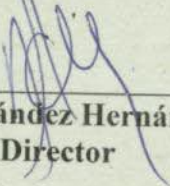




Dr. Gerardo Cesar Díaz Trujillo
Asesor



Dra. María Cristina Castañón Bautista
Co- Asesor



Q. Noemí Hernández Hernández
Sub- Director



Dr. Luis Enrique Palafox Maestre
Director

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire tiene una larga historia, que ya habla del uso de los combustibles fósiles como su causa. Así, los romanos se quejaban del humo que llenaba el aire de su ciudad; en la edad media, el rey Eduardo I de Inglaterra, para proteger la salud de sus ciudadanos, prohibió que se quemara carbón durante las sesiones del parlamento. Posteriormente, el invento de la máquina de vapor marcó el inicio de la revolución industrial, y en los años siguientes habría de llenar, primero Londres y después otros lugares de Europa y América, de fábricas que arrojaban humo (6).

Existen también antecedentes históricos de los graves efectos de la contaminación atmosférica sobre los seres humanos:

Diciembre de 1930, en Mosa Bélgica, provoca 60 muertos y miles de enfermos. Fue la primera tragedia causada por la contaminación atmosférica.

Diciembre de 1944, los Ángeles California, EUA, primeras observaciones sobre neblumo.

Octubre de 1948, en Donora, Pennsylvania, EUA, la mitad de la población enfermo y hubo por lo menos 20 víctimas.

Diciembre de 1950 Poza Rica Veracruz, México, se debió a ácido sulfúrico afecto varias especies animales y enfermó a cientos de hombres.

Diciembre de 1952 Londres Inglaterra produjo 4000 muertes. Se le conoció como la "niebla mortal".

Diciembre de 1962 Londres Inglaterra, similar a la anterior. Causo que se actuara firmemente para controlar y reducir la contaminación del aire de Londres.

Existen actualmente, muchos centros urbanos e industriales que tienen problemas importantes de contaminación atmosférica, entre ellos están México, Los Angeles, etc.

Se sabe que la contaminación del aire afecta la salud de los seres humanos, de otras especies animales y de las plantas; además, los días con neblumo (smog) tienen efectos psicológicos adversos en los humanos, por ejemplo, irritabilidad, olvidos y otros trastornos de la conducta.

Para poder controlar, reducir y, de ser posible, eliminar del aire los principales contaminantes, es necesario conocer cuáles son sus principales fuentes de producción, los mecanismos naturales de protección de la atmósfera, las condiciones climatológicas y geográficas que aumentan o disminuyen el riesgo, así como la interacción de los diversos componentes de la atmósfera (6).

1. ANTECEDENTES

1.1. Definición de Atmósfera y subdivisión

La **atmósfera** es una capa gaseosa que envuelve a la tierra que es proporcionalmente muy delgada con respecto a las dimensiones de nuestro planeta. Dicha capa, conformada de aire, se extiende cientos de kilómetros por arriba de la superficie de la tierra, la cual se enrarece rápidamente con la altura hasta que eventualmente se confunde con el medio estelar. Dada la **magnitud de la distancia** que guarda su extensión partiendo de la superficie terrestre, la atmósfera se limita mediante la subdivisión en capas, aplicando un criterio que relaciona; altura, temperatura y función, principalmente, siendo ellas: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera y Termosfera o Ionosfera. La Figura 1 ofrece un par de imágenes que permite ubicar la subdivisión de las capas presentes en la atmósfera, asimismo, la variación térmica en cada una de ellas.

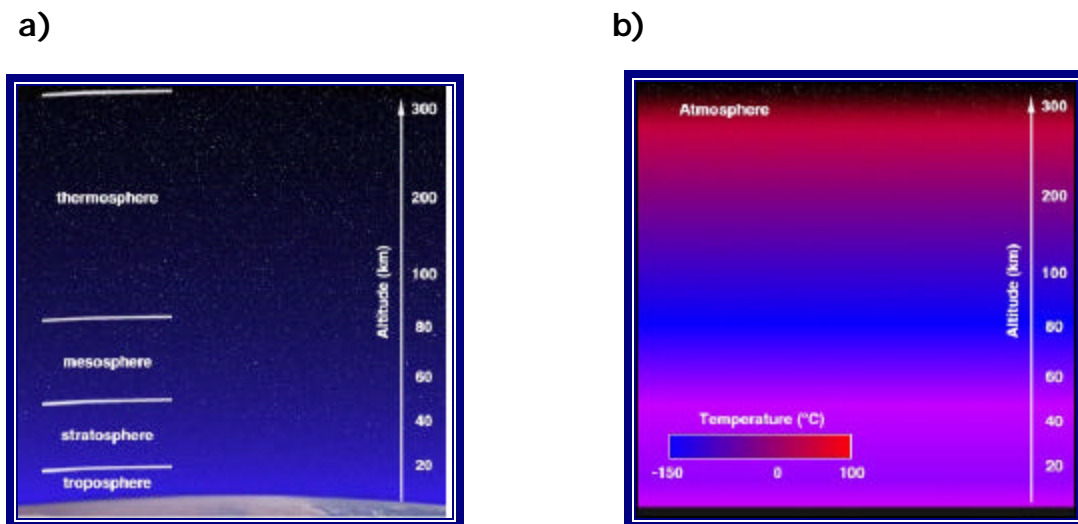


Figura 1. Distancia de capas de la atmósfera (a) y su gradiente térmico (b).

Troposfera, capa que se encuentra en contacto con la superficie terrestre y que comprende aproximadamente los primeros 11 kilómetros de altura, es en donde se

desarrolla nuestra vida y la que recibe directamente los contaminantes atmosféricos, disminuyendo la temperatura ambiente de una media de 25 °C conforme aumenta la altura. En la Figura 2 se puede apreciar un par de imágenes que permiten ubicar el dominio dimensional.

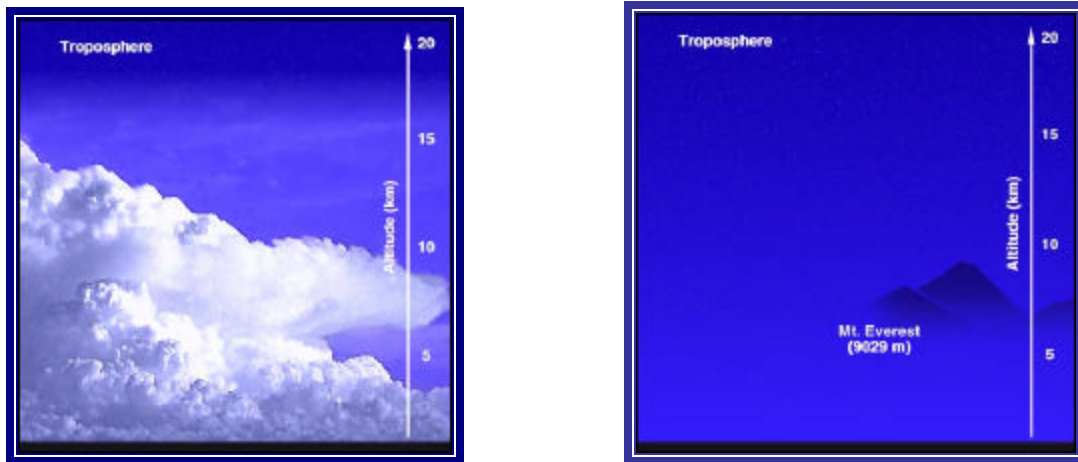


Figura 2. Altura de la Troposfera

Estratosfera, se extiende desde el límite superior de la Troposfera hasta los 50 kilómetros y su temperatura tiende a aumentar con la altura (Figura 3). La importancia vital de esta radica en que en ella se encuentra el ozono en mayor concentración, gas que a nivel del suelo es un fuerte irritante respiratorio, pero aquí se encuentra formando una delgada capa que filtra los rayos ultravioletas, protegiendo a los seres humanos, plantas y animales de las graves consecuencias que traen consigo sobre la superficie de tejidos.

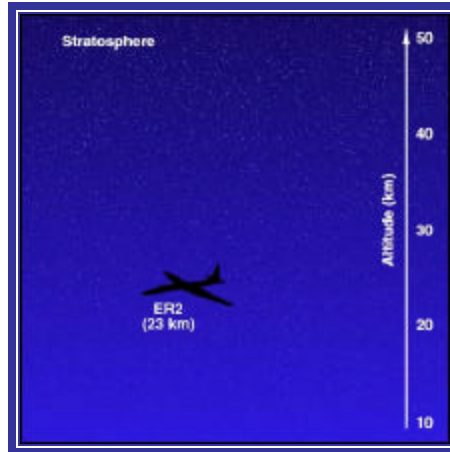


Figura 3. Ubicación de la Estratosfera

La **Mesosfera**, la cual se ubica dentro de los 50 y 80 km, y tiende a ver una disminución de temperatura hasta llegar a los 70 °C y del ozono. Finalmente, la **Termósfera ó Ionosfera**, es la ultima capa de la atmósfera que se conoce, en ella la temperatura aumenta con la altura y a los 200 km sobrepasa los 500°C. debido a la absorción de la radiación solar ultravioleta que promueve la ionización del oxígeno y el nitrógeno. En la Figura 4, se presentan dos imágenes de ambas capas.

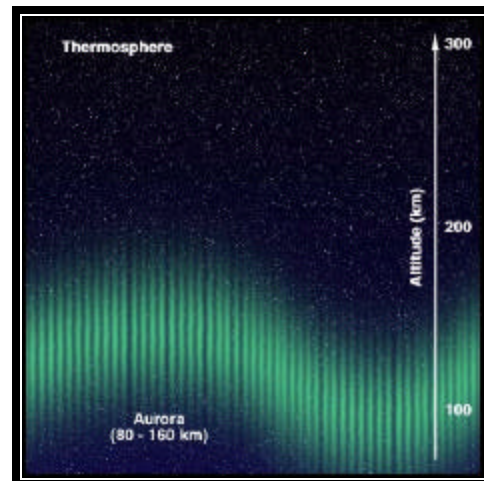
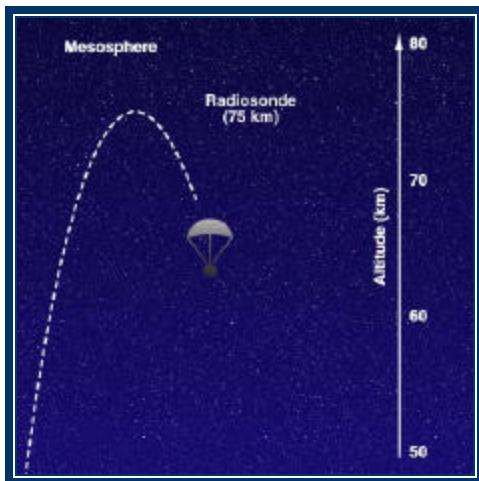


Figura 4. Capas: Mesosfera (a) y Termosfera (b)

1.2. AIRE

El aire es una mezcla de gases invisibles que constituye la capa que rodea a nuestro planeta, a la que llamamos atmósfera. Esta capa de gases está compuesta principalmente de Oxígeno (20.9 %), Nitrógeno (78.1 %) y otros elementos o compuestos tales como Argón, Neón, vapor de agua, metano, CO₂ y O₃ en muy pequeña cantidad para lo cual se describe en la siguiente Tabla 1.

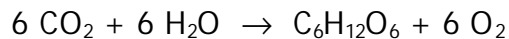
Tabla 1. Composición Química del aire

Constituyente	Formula	concentración (%p)
Nitrógeno	N ₂	78.1
Oxígeno	O ₂	20.9
Argón	Ar	0.93
Dióxido de Carbono	CO ₂	3.5 X 10 ⁻²
Neón	Ne	1.8 X 10 ⁻³
Helio	He	5 X 10 ⁻⁴
Metano	CH ₄	1.7 X 10 ⁻⁴
Kriptón	Kr	1.1 X 10 ⁻⁴
Hidrogeno	H ₂	5 X 10 ⁻⁵
Ozono	O ₃	1 X 10 ⁻⁶ - 4 X 10 ⁻⁶

El llamado "**aire puro**" en realidad no existe puesto que hay un intercambio constante de materia entre los seres vivos, la hidrosfera, la atmósfera y la litosfera.

El **oxígeno (O₂)** es un componente activo de la atmósfera e interviene en los siguientes procesos: oxidación de hidratos de carbono, combustión y descomposición de materia orgánica.

Las plantas emiten grandes cantidades de oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis:



El **Nitrógeno (N₂)** es inerte y reduce la actividad del oxígeno. En resumen, los componentes naturales del aire son esenciales para llevar a cabo los diferentes procesos biológicos, físicos y químicos necesarios para mantener la vida en el planeta.

La principal protección de la atmósfera a las radiaciones solares la constituyen el oxígeno y el ozono, posteriormente contribuye a esta función el vapor de agua

Existen algunos **gases en la atmósfera que son esenciales** para regular el oxígeno, siendo estos:

Metano(CH₄), aireador de la producción anaeróbica del planeta y regulador del oxígeno. Si no se produjera metano, la concentración de oxígeno se elevaría cerca de 1 % en 2,500 años, lo cual llevaría a grandes desastres.

Dióxido de Nitrógeno(NO₂), Regulador del oxígeno, Regulador del ozono. Este compuesto secuestra al oxígeno no sólo para llevar a cabo funciones biológicas, sino como regulador del ozono estratosférico.

La composición de la tabla anterior es prácticamente constante desde nivel de piso hasta alrededor de 80 km, independientemente de la localización geográfica y del tiempo, esta región de la atmósfera donde los gases están relativamente bien mezclados se conoce como "homósfera" (0 - 80 Km de altura). Arriba de 80 Km la radiación

ultravioleta fragmenta y ioniza las moléculas atmosféricas y la composición cambia sustancialmente con la altura. Esta capa se denomina "heterósfera" (>80 Km de altura).

Los gases que se listan en la tabla 1 son los más abundantes y dado que sus proporciones se mantienen prácticamente constantes se conocen como los componentes "permanentes" del aire. El vapor de agua y el Ozono no tienen una composición uniforme en la homósfera; varían de un lugar a otro y temporalmente por lo cual se les conoce como gases "no permanentes". La cantidad de vapor de agua en la atmósfera es extremadamente variable en espacio y tiempo y es por esta razón que no se le asigna un valor.

Además de los gases permanentes y no permanentes, el aire contiene muchos otros *compuestos químicos en concentraciones mucho muy pequeñas* los cuales se conocen como **gases traza**. Las abundancias de estos gases pueden variar apreciablemente de un lugar a otro y de un instante al otro. Generalmente varían también con la altitud, latitud, longitud y con las estaciones del año (1).

1.3. CONTAMINACION ATMOSFERICA

Se puede definir la contaminación atmosférica como: *"la presencia en el aire de compuestos gaseosos o partículas, formas de energía, calor o vibraciones, en cantidades tales, que producen efectos nocivos para la salud del hombre, animales, plantas, materiales o el clima"*

La contaminación del aire también puede definirse como la presencia de uno o más contaminantes en la atmósfera exterior, en cantidades y duración tal que pueden ser (o tienden a ser), nocivos para la vida del hombre, plantas o animales, para la propiedad (materiales), o que pueden interferir con el uso y disfrute de la vida o propiedad o con la realización del trabajo. Esta definición se refiere al aire exterior o ambiente en comparación con el aire interior o ambiente de trabajo.

La contaminación del aire puede producirse por la presencia de uno o más contaminantes. Ejemplos de algunos contaminantes tradicionales son el dióxido de

azufre, óxidos de nitrógeno, monóxidos de carbono, hidrocarburos, ozono, oxidantes, sulfuro de hidrógeno, partículas en suspensión, humos y neblina. Esta lista puede dividirse en dos categorías: gases y partículas. Los gases, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, presentan propiedades de difusión y normalmente son fluidos amorfos que pueden cambiar al estado sólido o líquido por un efecto combinado de aumento de presión y descenso de temperatura. Las partículas representan cualquier materia dispersa, sólida o líquida, en la cual los agregados individuales son más grandes que las moléculas simples (alrededor de $0.0002 \mu\text{m}$ de diámetro) pero más pequeños de $500 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m}$ es 10^{-4}).

La materia particulada con un tamaño menor o igual de $10 \mu\text{m}$ tiene un interés particular, ya que puede producir efectos sobre la salud humana. Además, las partículas pueden permanecer en la atmósfera desde unos pocos minutos hasta varios meses; las partículas más grandes sedimentan más rápidamente que las pequeñas.

Recientemente han adquirido importancia los **tóxicos del aire** o los contaminantes peligrosos del aire. Son un tipo de compuestos que pueden estar presentes en la atmósfera y resultar potencialmente tóxicos no sólo para el hombre sino también para todo el ecosistema. En la ley del aire limpio de 1990, la categoría de los tóxicos del aire incluye 189 compuestos químicos específicos que pueden resultar importantes al estudiar los impactos sobre la calidad del aire (Quarles y Lewis, 1990). Este grupo de compuestos representa sustancias típicas del medio ambiente industrial, y tanto ellos como sus estándares de calidad están ajustados a las condiciones atmosféricas externas.

La definición anterior también menciona la cantidad o concentración de contaminante en la atmósfera, y su duración o periodo de aparición asociado. Este es un concepto importante, ya que los contaminantes que están presentes a concentraciones extremadamente bajas y durante cortos periodos de tiempo pueden resultar insignificantes al planificar y realizar un estudio de impacto.

Otros contaminantes y efectos atmosféricos que han adquirido importancia son el smog fotoquímico, la lluvia ácida y el calentamiento global. El **gas (smog) fotoquímico** se

refiere a la formación de constituyentes oxidantes en la atmósfera, como el ozono, debido a la reacción fotoinducida de los hidrocarburos (o compuestos químicos orgánicos volátiles) y óxidos de nitrógeno. Este fenómeno se observó por primera vez en Los Ángeles (California) después de la segunda Guerra Mundial, y se ha convertido en un importante problema de contaminación atmosférica en Estados Unidos.

La **lluvia ácida** se refiere a las reacciones atmosféricas que pueden ocasionar una precipitación con un valor de pH menor que el de las precipitaciones normales (que es aproximadamente 5.7 cuando se considera que el dióxido de carbono está en equilibrio). En los últimos años, en Europa central y en algunos países de escandinava, así como en Canadá y en el noroeste de Estados Unidos, se ha prestado especial atención a las posibles consecuencias de la lluvia ácida sobre el ambiente. Los agentes causantes de la formación de la lluvia ácida están asociados con las emisiones de dióxido de azufre y posiblemente con las emisiones de óxidos de nitrógeno, junto con el ácido clorhídrico gaseoso. Desde una perspectiva mundial, las emisiones de dióxido de azufre son los principales precursores de la lluvia ácida.

Las Figuras 5 y 6 presentan un par de ilustraciones en donde se puede apreciar una zona que ha sido afectada por el efecto de lluvia ácida al transcurrir el tiempo y la regeneración de la zona durante el proceso de tratamiento.

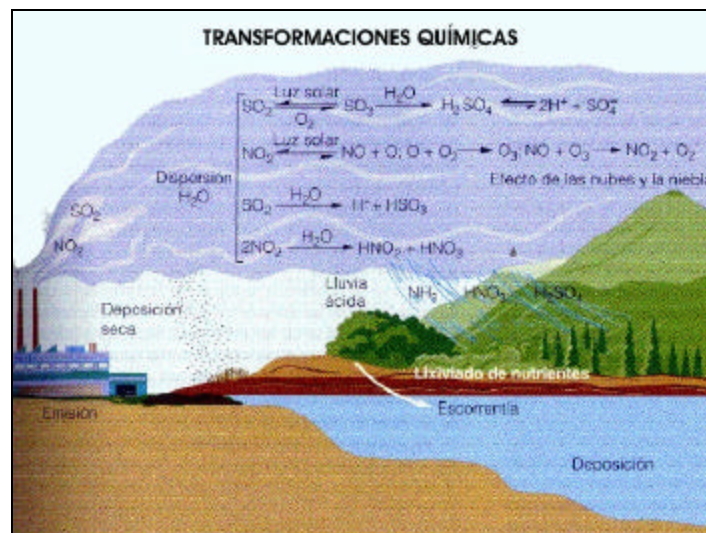


Figura 5. Esquema de reacción química en la generación de Lluvia ácida

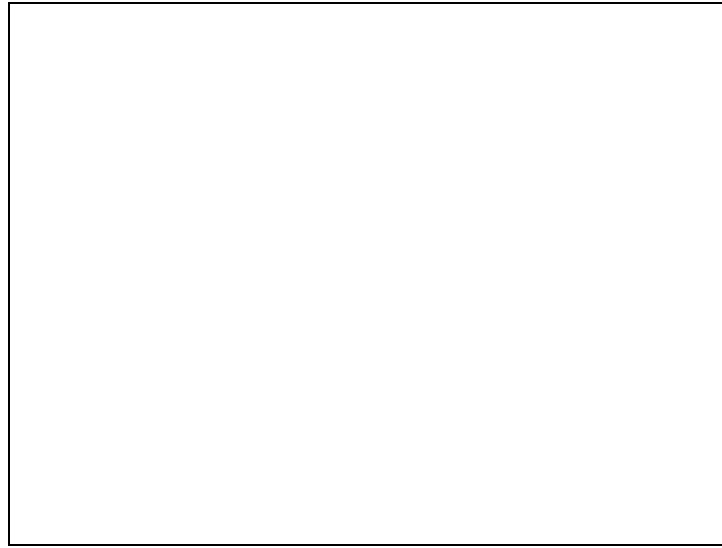


Figura 6. Efecto de la Lluvia ácida

Otro tema de importancia mundial es la influencia de la contaminación del aire sobre los balances caloríficos de la atmósfera y sobre la absorción o reflexión de la radiación solar incidente. Debido al aumento del nivel de dióxido de carbono y otros compuestos carbonados en la atmósfera, la superficie de la tierra ha empezado a mostrar mayores temperaturas, y esto, a su vez, puede implicar el cambio de las condiciones climáticas en todo el mundo.

1.4. FUENTES DE CONTAMINACION ATMOSFERICA

Las fuentes de contaminantes atmosféricos pueden clasificarse desde distintas perspectivas, incluyendo el tipo de fuente, su frecuencia de aparición y distribución espacial, y los tipos de emisiones.

La caracterización del tipo de fuente puede realizarse de acuerdo a su origen natural o por la actividad del hombre.

Las **fuentes naturales** las cuales se originan por procesos biológicos y geológicos, como por ejemplo el desprendimiento de polen de las plantas, polvo generado por el

viento en la superficie terrestre, cenizas y gases volcánicos, partículas de sal producidas durante el oleaje marino e incendios forestales originados por rayos, principalmente.

Las **fuentes de origen humano** incluyen los vehículos de transporte, procesos industriales, centrales térmicas y eléctricas, actividades de la construcción y actividades de adiestramiento militar, el uso de automóviles y otros medios de transporte, los diferentes procesos de manufactura y la combustión de la basura. En la Figura 7 se ofrece un par de fotografías que permite identificar dichas fuentes de contaminación.



Figura 7. Fuentes de contaminación Natural y antropogénica; a) Volcán y b) Chimenea

Se cuenta con dos tipos de contaminantes, los **primarios** que son los generados directamente por la fuente, y se encuentran en el medio ambiente y son identificados tal y como se emitieron y los **secundarios** que son el producto de la interacción entre dos o más contaminantes para originar un efecto de reacción de tipo fotoquímica, por hidrólisis o por oxidación (ozono, nitrato de peroxiacetilo, etc.).

Dada la diversidad de criterios de **clasificación de los contaminantes**, se puede resumir en términos generales una identificación conforme a sus características físicas y químicas, otra de acuerdo a sus fuentes de emisión y la última que se basa en los efectos que originan.

La caracterización de las fuentes según el número y distribución espacial incluye categorías como fuentes sencillas o puntuales (estacionarias), fuentes zonales o múltiples (estacionarias o móviles) y fuentes lineales. Las **fuentes puntuales** son características de las emisiones de contaminantes de chimeneas de procesos industriales, así como de chimeneas de instalaciones de combustión. Las **fuentes zonales** incluyen el tráfico de vehículos, emisiones de polvo pasajero procedentes de pilas de material de reserva o de la construcción, o de actividades de adiestramiento militar en amplias zonas geográficas en la siguiente figura se describen las categorías que pueden usarse para analizar las fuentes de contaminantes atmosféricos en una zona geográfica determinada.

1.4.1. Fuentes Fijas

La dinámica mundial ha causado como efecto derivado, el desequilibrio del medio ambiente con los desperdicios, desechos y residuos de la actividad industrial, que no se han podido ni sabido manejar adecuadamente. Se comprende que dichas actividades productivas, conllevan la generación de ciertos elementos que, al no controlarse, inficionan el entorno humano degradando la calidad del aire, suelo y agua, alterando el medio ambiente, con lo que se afectan la salud, la flora, la fauna.

Las fuentes más dañinas son las fijas; estas **actúan sobre todas las áreas de la biosfera**, y producen tanto emisiones de humos, polvos, gases, ruido, radiaciones, etc., como descargas de aguas residuales o desechos sólidos que afectan, por igual, al aire, a los diversos cuerpos receptores de agua o a la tierra, por deterioro superficial, filtración o acarreo. La acción humana, aparece como elemento común de la más visible de las contaminaciones, que es la originada por humos y polvos, hecho que motivo aquella primera aproximación en el análisis del concepto de contaminación del aire. Si las chimeneas enviaban hasta las nubes el hollín, si coloreaban o ennegrecían el paisaje, la causa primera estaba en la actividad industrial o en la vida doméstica. Luego, algunas actividades comerciales emergieron como causantes de alteración atmosférica, por el simple manejo de ciertas cargas de las que emanaban polvos, y olores de extensa

gama, igual que ciertos servicios y las actividades agropecuarias. La combustión, cualquiera que fuese el energético empleado, fue evidenciándose como la más habitual de las causas de los humos; la molienda de piedras y calizas, de los polvos; los desechos orgánicos, humanos y animales, principalmente. En la Figura 8 se ofrece un par de fotografías de dichas fuentes de contaminación.



Figura 8. Fuente Fija de contaminación.

1.4.2. Fuentes Móviles

Los transportes son los causantes del mayor porcentaje de contaminación atmosférica en las áreas urbanas de todo el mundo, el uso de hidrocarburos conlleva a grandes emisiones de humos y gases, en términos generales puede decirse que los **contaminantes emitidos por motores** de gasolina varían en cuanto a su contenido de carbono, en los automóviles, las fuentes de emisiones son el escape, el respirador del cárter, el tanque de combustible y el carburador; en estos últimos es la ventilación en el tanque y la elevación de la temperatura del carburador, después de estacionar el auto, lo que provoca las emisiones contaminantes. Los autos diesel emiten solamente por el escape, son más ricos en hidrocarburos, por lo que son más detectables por el sentido del olfato.

El buen servicio, la limpieza y el óptimo mantenimiento del transporte colectivo son necesarios para frenar el individualismo en la transportación; hoy en día, es absurdo que en las horas difíciles- de entrada y salida de labores- cada automóvil traslade solo a su conductor, incrementando así el problema del tráfico, los niveles de contaminación aérea y por supuesto de ruido.

Otro tipo de fuente móvil contaminante en humos, gases y polvos son los aviones que hacen su corredor de aterrizaje y despegue. No se conoce cuantitativamente el daño pero la impresión general indica que los aviones molestan más por el ruido que producen y por la interferencia que provocan en aparatos electrónicos; televisores y radios, que por su aportación a la contaminación del aire. Se han realizado muestreos al respecto en otros lugares y se ha descubierto cantidades de monóxido de carbono e hidrocarburos arrojados al ambiente. (en aeropuertos de México, Nueva York). En la Figura 9 se presentan un par de principales fuentes de contaminación móvil.



Figura 9. Fuente de contaminación móvil

En México se realizan estudios que formulen las normas o estándares para hidrocarburos, óxidos de azufre, oxidantes fotoquímicos, monóxido de carbono (CO), partículas y óxidos de nitrógeno (NO_x). Con especial empeño en el caso de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, se estudian las fuentes emisoras, los efectos en la salud y otros renglones que permitirán crear los documentos de criterio necesarios para

diseñar normas propias de calidad del aire; para ello habrá que perfeccionar nuestras redes de muestreo, revisar los métodos de muestreo y análisis, integrar sistemas de reconocimiento atmosférico, controlar permanentemente las fuentes emisoras, clasificarlas, definir planes de evaluación y, con esto, realizar las estimaciones de reducción para cumplir las normas requeridas.

En general los **contaminantes** sean naturales o antropogénicos se pueden agrupar en tres clases; **sólidos** compuesto por partículas sólidas, polvo generado en las procesos de extracción en minas, automóviles, plantas industriales, aeronaves y todo contaminante potencial que produzca material particulado de PM-10, son las que mas causan estragos en los humanos, **líquidos** como las minúsculas gotas de gases condensados y **gases** como los compuestos químicos de CO, CO₂, SO₂, NO, NO₂ e hidrocarburos. A diferencia de las partículas, los gases no se sedimentan sino que tienden a permanecer en la atmósfera, y a transformarse en compuestos más simples o más complejos o a formar parte de los ciclos biogeoquímicos. Tanto los sólidos como los líquidos finamente divididos, **tienden a sedimentar** mientras que los gases son invisibles y en ciertos casos no se detectan con el olfato, no tienden a sedimentarse, **se mantienen en la atmósfera** y a transformarse en compuestos más simples o más complejos. Diversos autores han clasificado a los diferentes tipos de contaminantes atmosféricos de distintas maneras, sin llegar a un acuerdo, por lo cual se presentan los cuatro criterios que enmarcan por sus: Características químicas y físicas, sus efectos y las fuentes de producción o de emisión principalmente.

1.5. ALTERACIONES ECOLÓGICAS

Dentro de las alteraciones ecológicas, y dada su magnitud, se clasifican en la llamada global, de escala planetaria o **macroecológico** y otra local o **microecológico**. Ambas obedecen a las mismas causas, puesto que las alteraciones macroecológicas son consecuencia de las microecológicas.

Los principales problemas macroecológicos son:

- ◆ Posibles alteraciones del clima en la tierra debido al incremento de la concentración del CO₂ en la atmósfera.
- ◆ Alteración o rompimiento de la capa de ozono debido a la actuación de los compuestos organohalogenados (clorofluorocarbonos).
- ◆ Efectos de la lluvia ácida sobre la tierra.
- ◆ Efectos de las radiaciones ionizantes procedentes de las operaciones correspondientes al ciclo de combustible nuclear que se emplea en las centrales eléctricas termonucleares.

En cuanto a los problemas microecológicos, éstos incluyen:

- ◆ Destrucción de especies animales que normalmente se encuentran en equilibrio ecológico.
- ◆ Alteración del proceso fotosintético de la vegetación existente en áreas urbanas.(6)

1.6. CONTAMINANTES DE LA ATMÓSFERA

Dentro del conjunto de contaminantes presentes en la atmósfera, se tienen identificados plenamente tres tipos, los cuales se clasifican conforme al estado de agregación: gas, líquido y sólido.

1.6.1. Gases.

Los contaminantes gaseosos son compuestos químicos tales como: CO, CO₂, SO_x, NO_x, hidrocarburos, etc. ⁽²⁾.

Óxidos de azufre (SO_x):

Son quizás, los productos más agresivos contra la salud, los bienes, la vegetación y la fauna. Generalmente provienen de la combustión de los energéticos fósiles, ya que todos ellos comprenden azufre en su composición, en cantidades que llegan hasta el 10% en peso. Durante la combustión, un porcentaje variable del azufre, del carbón o

de otro tipo de combustible se oxida, formando dióxido o trióxido de azufre. Una parte de estos óxidos se combina con las cenizas y con otros residuos, pero el mayor porcentaje se escapa en forma gaseosa; si los procesos de combustión son muy diferentes, puede llegar a formarse sulfuro de hidrógeno. Ciertas características atmosféricas, principalmente la humedad y la insolación, propician la transformación de los óxidos de azufre en ácido sulfuroso.

Las fuentes de emisión de óxidos de azufre, la mayor parte de estos antropogénicos proviene de la combustión de carbón y petróleo en las plantas generadoras de electricidad (carboeléctricas y termoeléctricas).

Los procesos industriales que más contribuyen a la presencia de óxidos de azufre en la atmósfera son la calcinación de los minerales de sulfuro, la refinación del petróleo, la producción de óxido sulfúrico y la de coque a partir del carbón.

Los óxidos de azufre se eliminan del aire mediante su conversión en ácido sulfúrico y sulfatos. En esta forma terminan depositándose sobre la tierra o en el mar, ya sea con la precipitación pluvial o sedimentándose en forma de partículas.

Los efectos de los óxidos de azufre del aire pueden inhibir el crecimiento de las plantas y ser letales para algunas de ellas

Sulfuro de hidrógeno (H₂S):

Tiene un doble origen: algunas fermentaciones anaerobias de carácter reductor, transforman el azufre de la materia orgánica putrefacta, en sulfuro de hidrógeno. Este compuesto, por otra parte, es producido por la combustión deficitaria de oxígeno de los combustibles fósiles, lo que produce cantidades importantes de monóxido de carbono; comúnmente ambos contaminantes se encuentran asociados.

Mercaptanos:

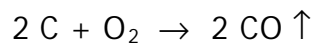
Originados en el proceso de elaboración de papel, los más frecuentes en el aire son el **disulfuro de dimetilo, sulfuro de dimetilo y metilmercaptano**. Estos

compuestos, además de ser tóxicos en diversos grados, deprimen el sistema nervioso central; por desgracia, este tipo de contaminantes ha venido siendo notorio por su olor fétido.

Monóxido de carbono (CO):

Es el resultado de la mayor parte de las combustiones de materia orgánica, realizadas en presencia de cantidades deficitarias de oxígeno. Es producido tanto por fuentes fijas: industrias, calefacción, motores, incineración, etc.- como por fuentes móviles: autotransportes, aviones.- y fuentes naturales como la acción volcánica; los escapes de las minas y hasta el metabolismo de los sifonóforos integrantes del plancton marino, producen también cantidades variables de monóxido de carbono. Este contaminante es, quizás él más abundante en el ambiente, principalmente en el urbano. Como su difusión es alta, su presencia a nivel de la calle es particularmente peligrosa ya que, entre otros efectos, posee el bioquímico de reaccionar con la hemoglobina, en competencia con él oxígeno, para formar un compuesto estable denominado **carboxihemoglobina**. Desgraciadamente, la hemoglobina no es la única ferroproteína capaz de fijar el monóxido de carbono, pues se han descubierto algunas anomalías producidas por ese gas, en la mioglobina del tejido muscular.

Es un producto del uso de combustibles fósiles. Se forma por la combustión incompleta de carbono o de sus compuestos.



En los vehículos con motores de combustión interna es común que se forme Monóxido de carbono, en consecuencia, este producto se acumula en las zonas urbanas, cerca de las vías rápidas y de las calles de gran movimiento y su concentración varía conforme aumenta o disminuye el tránsito.

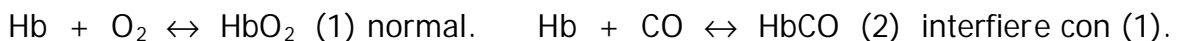
Las fuentes de emisión principales de Monóxido de carbono son los medios de transporte. Más del 90% de este producto proviene de los automóviles y el resto de vehículos como aviones, camiones y ferrocarriles a diesel.

Los gases que entran a la atmósfera como contaminantes se pueden dispersar y diluir en el aire. Los problemas de la contaminación del aire se presentan cuando los contaminantes quedan atrapados dentro de masas de aire inmóviles. La mayoría de los contaminantes primarios se mantienen en el aire durante cierto período pero, después, se eliminan debido a reacciones químicas y bioquímicas. La última región a la que llega un contaminante se conoce como depósito final.

Por ejemplo, al parecer el Monóxido de carbono se elimina del aire por acción de algunos microorganismos del suelo, por esto se dice que el destino o depósito final del Monóxido de carbono es el suelo. Es de gran importancia la existencia de un depósito final para un contaminante ya que, a falta de él, el contaminante se acumularía peligrosamente en la atmósfera.

Los efectos del Monóxido de carbono a los niveles de concentración en que se encuentra en el aire urbano, no parece afectar a las plantas pero es venenoso para los seres humanos, ya que interfiere con el transporte de oxígeno en la sangre.

La hemoglobina (Hb) es el compuesto de la sangre que transporta el oxígeno en el cuerpo, para esto, se combina con el oxígeno en los pulmones y forma la oxihemoglobina (HbO₂), que lleva el oxígeno a todas las células del cuerpo. El Monóxido de carbono (CO), que llega a los pulmones junto con el aire contaminado o el humo del cigarrillo, se combina con la hemoglobina para formar carboxihemoglobina (HbCO). El CO se une firmemente con la hemoglobina y evita el transporte normal del oxígeno



La cantidad de Monóxido de carbono que se absorbe en la sangre depende de la cantidad de éste en el aire.

Tabla 2. Efectos del monóxido de carbono en la salud

<i>HBco (%)</i>	<i>EFFECTOS</i>
-----------------	-----------------

Menos de 1,0	Ningún efecto aparente.
1.0 a 2.0	Efectos en la conducta
2.0 a 5.0	Efectos en el sistema nervioso central: incapacidad para determinar o distinguir intervalos de tiempo, fallas en la agudeza visual, en la discriminación de la brillantez y algunas otras funciones motoras.
Más de 5.0	Cambios funcionales cardiacos y pulmonares.
10.0 a 80	Dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, falla respiratoria, muerte.

Los efectos en la salud se hacen más graves, conforme aumentan los niveles de concentración de HbCO o el tiempo de la exposición.

Hidrocarburos

Se consideran hidrocarburos como contaminantes primarios y actualmente tienen importancia por la gran cantidad de fuentes y el volumen de sus emisiones al aire. Aquí solamente se consideran a los que más se vierten al aire.

Las fuentes de emisión: Los hidrocarburos entran al aire por evaporación de los productos de combustibles fósiles, como la gasolina. Los hidrocarburos que no se queman totalmente durante la combustión de la gasolina, el petróleo, el carbón y la madera se escapan también a la atmósfera.

Los vehículos de transporte son la principal fuente de hidrocarburos. Sin duda, la mayor producción de hidrocarburos se debe a las actividades de la industria petrolera. Los automóviles emiten hidrocarburos por evaporación del combustible y, en forma de hidrocarburos no quemados a través del tubo de escape.

Las fuentes principales emisoras de hidrocarburos son los vehículos de motor a gasolina y diesel, la combustión de productos energéticos, los procesos industriales, la eliminación de desechos sólidos, así como la evaporación de disolventes orgánicos, incendios forestales, la quema agrícola, transferencia y venta de gasolina, combustión de desechos del carbón, e incendios urbanos, etc.

Los efectos de algunos hidrocarburos son tóxicos para las plantas y animales a concentraciones relativamente altas (500 ppm ó más); pero no se ha demostrado que tengan efectos significativos en los humanos a las concentraciones existentes en el aire. Los hidrocarburos no saturados y los aromáticos tienen mayor toxicidad que los saturados.(6)

Son peligrosos contaminantes del aire, comprendiendo los ligeros, los acíclicos, los alicíclicos y los aromáticos; los hidrocarburos policondensados y poliaromáticos se originan también en fuentes naturales, como las minas de carbón, las chapopoterías y algunos vegetales. Las fuentes derivadas de la tecnología del petróleo son numerosas: procesos de producción, de almacenamiento, de transporte, petroquímica, así como las fuentes móviles ya citadas.

En la atmósfera existen hidrocarburos producidos por fermentación anaerobia-gas de los pantanos, así como algunos terpenos sintetizados por las plantas; esta contaminación de fondo no alcanza valores de trascendencia o de peligro. Los hidrocarburos procedentes de las fuentes fijas y móviles son los que intervienen en la formación de la niebla fotoquímica, tan característica de las ciudades de los Ángeles y México, han sido detectados 56 hidrocarburos diferentes en algunas atmósferas urbanas. Es de recordar el efecto cancerígeno y teratogénico que se achaca a algunos hidrocarburos; también se ha mencionado su efecto fototóxico e inhibidor del crecimiento vegetal.

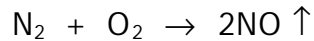
Aldehídos

Producen una serie de irritaciones en las mucosas humanas; se han detectado edemas y hemorragias en los animales y algunas agresiones en los vegetales. Empero, al profundizar en su conocimiento como contaminantes, se comprueba que se forman por oxidación incompleta de los hidrocarburos, siendo los vehículos automotores los que mayormente los producen. Parece ser que los contaminantes atmosféricos más incisivos son los formaldehídos y la acroleína.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

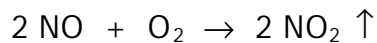
El monóxido (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) son contaminantes primarios del aire. El NO, también llamado Oxido nitroso es un gas incoloro e inodoro, en tanto que el NO₂ es un gas de color rojizo, de olor fuerte y asfixiante parecido al del cloro.

El óxido nitroso se forma en el aire mediante la reacción de oxígeno con el nitrógeno.



Esta reacción ocurre a altas temperaturas durante el uso de combustibles fósiles.

El NO₂ se forma por la reacción del NO con el O₂ del aire:



Las fuentes: ciertas bacterias emiten una gran cantidad de óxido nítrico hacia la atmósfera, por lo que constituye una fuente natural que no es posible controlar.

La mayor parte de los óxidos de nitrógeno producidos por fuentes artificiales se deriva de las plantas generadoras de energía eléctrica, en las que la alta temperatura de la combustión de los energéticos facilita la formación de estos óxidos.

Los óxidos de nitrógeno participan en la formación de contaminantes secundarios del aire, lo que tiende a eliminar una pequeña porción de la atmósfera. La mayoría de los NO_x se convierten finalmente en ácido nítrico, (HNO₃) y nitratos, (NO₃⁻).

En esta forma se depositan sobre la tierra o en el mar, como consecuencia de las lluvias o se sedimentan como macropartículas. Por tanto la tierra y el mar son el depósito final de los óxidos de nitrógeno, una vez que éstos se han convertido en nitratos.

Los efectos primarios no se conocen con certeza los efectos de los NO_x en las plantas. Sin embargo, algunos contaminantes secundarios que se forman a partir de los óxidos de nitrógeno son mortales para las plantas.

El dióxido de nitrógeno afecta los pulmones y es tóxico. Actualmente se investiga si produce daño en la población humana que está expuesta durante largos períodos a bajas concentraciones de estos óxidos.

Son importantes contaminantes debido a su gran toxicidad; estudios en animales de laboratorio han mostrado que el dióxido de nitrógeno es diez veces más tóxico que el monóxido de carbono y que produce lesiones mortales en el sistema nervioso central, en la estructura pulmonar y en el epitelio bronquial. En los vegetales produce necrosis en los tejidos; en los bienes, ataca pigmentos y pinturas. Existen varios óxidos de nitrógeno. Como contaminantes, hay que enumerar el monóxido, el protóxido, el dióxido, el anhídrido nitroso y el pentóxido o anhídrido nítrico, aunque en realidad los más importantes son el monóxido u óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno. El monóxido se emite en grandes cantidades como resultado de numerosos procesos biológicos, principalmente bacterianos.

Según EPA - US (Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos), las fuentes naturales producen diez veces más Monóxido de nitrógeno que las industriales, excepto que las primeras están repartidas en todo el globo terrestre, de tal suerte que la contaminación que producen se diluye rápidamente, en tanto que la originada en las zonas urbanas e industriales sí llega a ser agresiva. La variación diurna de la concentración de óxidos de nitrógeno es provocada por el tráfico de los automotores, aunque se produce también en las combustiones industriales y domésticas.

Los llamados contaminantes oxidantes son el Ozono y el Nitrato de Paracetilo (PAN); este último agrupa bajo su nombre una serie de sustancias de la misma estructura, tales como el Nitrato de Perbenzoilo (PBZN); nitrato de perbutirilo (**PBN** y el **PP(PBN N**, o nitrato de perpropionilo. El ozono se forma en las descargas eléctricas de las tormentas y es un constituyente normal de la atmósfera en alturas del orden de los 20 kilómetros; pero el ozono que se forma en las reacciones fotoquímicas en que intervienen los hidrocarburos, es el que se considera como contaminante; exposiciones largas de 1 ppm de ozono provocan modificaciones en la función pulmonar, fatiga

general y falta de coordinación motora, así como irritación de la mucosa ocular. tanto el ozono como el **PAN**, son agresivos a los tejidos vegetales.

Plomo (Pb)

Como contaminante, tiene su fuente en la combustión de gasolina y otros derivados del petróleo a los que se añade generalmente tetraetilo de plomo como antidetonante.

Varias operaciones industriales ejecutadas en las fundiciones, en la fabricación de tubos y canales, en diversas aleaciones y en la incineración de algunas basuras, también son fuentes de plomo como contaminantes atmosféricos, aunque se considera de mayor importancia el que se forma en la evaporación de la gasolina almacenada o el que está en el carburador de los automóviles.

El tetraetilo y el tetrametilo de plomo son bien conocidos en medicina de trabajo, como venenos para el sistema nervioso, aunque en realidad no existen todavía estudios exhaustivos sobre sus efectos. el caso del plomo no orgánico es diferente; se conoce el saturnismo o intoxicación debida a la ingestión de este metal, y se cree que el plomo atmosférico puede depositarse en los cultivos y otros alimentos y, por esa vía, agredir al hombre; otros estudios muestran que es mayor la plumbemia y la plumburia en personas que viven en áreas urbanas que las que habitan en áreas rurales.

Se ha teorizado mucho sobre el papel del plomo en anemias y otras anomalías de los tejidos sanguíneo y nervioso, pero estas conjeturas todavía están, desafortunadamente, a nivel de investigación; empero, no es deleznable sospechar una acción a largo plazo del comportamiento de este y de otros metales pesados, en el organismo humano y en otros seres vivos.

En animales se ha observado que la impregnación de plomo llega a ser importante si este es ingerido por la vía digestiva. esto ocurre frecuentemente en los herbívoros y forrajeros que devoran vegetales llenos de polvo sedimentable de plomo. Se le ha detectado en la leche y se ha comprobado una determinada disminución en la actividad de algunas enzimas.

Cloro (Cl_2)

Es un enemigo público reciente, cuyo papel como contaminante atmosférico ha crecido en circunstancias especiales de humedad e interacción con otras sustancias; puede generar ácido clorhídrico que procede de la incineración de desechos plásticos como el cloruro de vinilo y es francamente agresivo a las mucosas humanas.

Cadmio (Cd)

Parece estar relacionado con la arteriosclerosis, la hipertensión y otras afecciones cardíacas, y el cáncer broncopulmonar; es también un nuevo enemigo público detectado en cantidades crecientes en ciudades americanas.

Flúor (F^-):

El ácido fluorhídrico y los fluoruros son contaminantes industriales que se generan principalmente en la elaboración de hidrocarburos fluorados, en la producción de aluminio a partir de la bauxita y en la preparación del ácido fosfórico, así como en la elaboración de fertilizantes fosfatados, como el superfosfato y el fosfato de amonio. Parece que estos contaminantes causan anomalías en el tejido óseo y en los riñones; en animales se han descubierto fluorosis y calcificaciones anormales, disminución de la producción de leche y pérdida de peso y apetito.

Amoníaco (NH_3)

En trazas, es un constituyente normal en el aire y el problema de fondo no es de tomarse en cuenta; empero, la contaminación industrial por amoníaco, aunque por causas accidentales ha sido sumamente peligrosa.

A pesar de contar con un catálogo de más de 500 contaminantes químicos industriales, se pueden citar como muy importantes en la atmósfera a las partículas, entendiendo como tales el hollín, los alquitranes, la brea, el humo, la arena y hasta algunas

substancias químicas, como las partículas de ácido sulfúrico formadas por la oxidación del dióxido de azufre. Las partículas en suspensión difieren de las sedimentables en que las primeras son aerosoles que no se precipitan al suelo sino por acción de las lluvias o del viento, y las segundas caen al suelo mas o menos lejos de su fuente de emisión, dependiendo de su talla.

Generalmente se acepta que las partículas en suspensión son menores de 5 micras y que las partículas sedimentables tienen mas de 6 micras de diámetro. Las fuentes naturales de emisión son los volcanes, cuando estos se encuentran en actividad; cabe mencionar que este tipo de contaminación no es despreciable, las áreas deforestadas, que están desprotegidas al ser atacadas por los vientos, propician la volatilización de polvos y partículas y en general, los polvos de las calles, carreteras y suelos que pueden ser levantados por la acción eólica. (4)

Ozono (O_3)

La capa de ozono se localiza en la estratosfera también denominada capa de Ozono, aproximadamente de 15 a 50 Km. sobre la superficie del planeta. El ozono es un compuesto inestable de tres átomos de oxígeno, el cual actúa como un potente filtro solar evitando el paso de una pequeña parte de la radiación ultravioleta (UV) llamada B que se extiende desde los 280 hasta los 320 nm. La radiación UV-B puede producir daño en los seres vivos, dependiendo de su intensidad y tiempo de exposición; estos daños pueden abarcar desde eritemas a la piel, conjuntivitis y deterioro en el sistema de defensas, hasta llegar a afectar el crecimiento de las plantas y dañando el fitoplancton, con las con las posteriores consecuencias que esto ocasiona para el normal desarrollo de la fauna marina, de esta forma se puede decir que el Ozono, ubicado a alta altura es beneficioso para la vida terrestre ya que absorbe la radiación Ultravioleta. La Figura 10 presenta un par de fotos que permite observar la molécula de ozono y su proceso de generación.

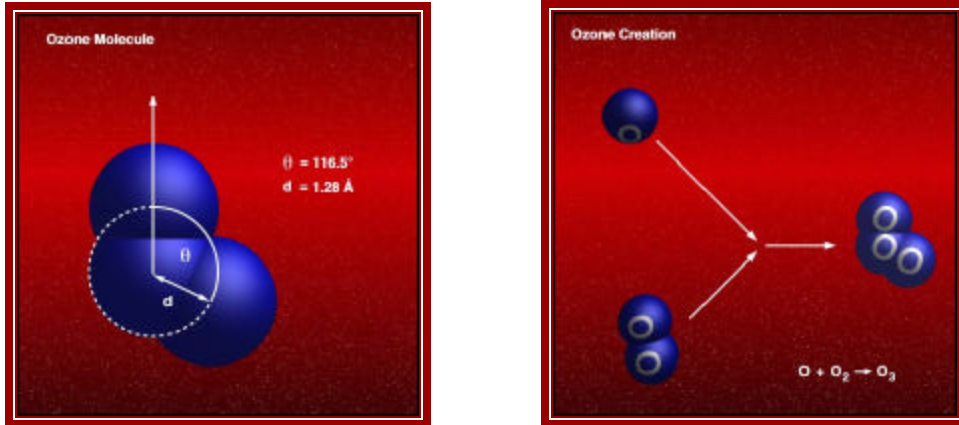


Figura 10. Molécula de Ozono

La manera de ayudar a preservar el ozono en nuestra atmósfera es: asegurarse de arreglar filtraciones en refrigeradores y sistemas de aire climatizado, no consumir aerosoles que no tengan un sello que garantice que no daña la capa de ozono, una sugerencia es utilizar productos que funcionan con bombilla, los cuales no contienen químicos para propulsar el producto y por lo tanto son menos dañinos para nuestra atmósfera, de igual manera el mantener el automóvil en buen estado (revisando los gases emitidos), cuidando que no se rebase gasolina al llenar el depósito, mantener solventes y químicos perfectamente sellados para evitar que se evaporen químicos volátiles a la atmósfera.

1.6.2. Líquidos

Las partículas líquidas, son las minúsculas gotas de gases condensados que se encuentran presentes como suspensiones coloidales en las que la fase dispersante (disolvente), en este caso el aire es el gas y la fase dispersa (solute) es un líquido, constituyendo lo que se conoce como aerosoles, los que se manifiestan en forma de vapores, niebla o vahos.

Las pequeñas gotitas esféricas se llaman micelas líquidas y pueden tener diversos tamaños lo que determina su velocidad de precipitación; por lo general alcanzan 10 micras de diámetro. También tiene importancia la carga eléctrica de la capa monomolecular que sirve de cubierta a estas pequeñas esferas líquidas. Estas micelas

líquidas pueden absorber moléculas de gases tóxicos como el anhídrido sulfuroso y los óxidos de nitrógeno, con lo que una neblina inofensiva se puede transformar en un agente letal, como sucedió en Londres en 1940, 1950 y 1952, años en que se produjeron miles de muertes debido a la presencia de estas nieblas tóxicas en la ciudad.

Los efectos: la actividad agresora de las partículas contaminantes depende en gran parte de su tamaño. En los procesos industriales de pulverización se produce un aumento extraordinario de la superficie de contacto. Por ejemplo, un cubo de mineral que tenga 1 cm de arista, tendrá 6 caras de 1 cm^2 cada una y, por tanto, su superficie será de 6 cm^2 ; si se pulveriza este dado hasta obtener partículas de 1 micra cúbica, se obtendrán mil millones de partículas que, extendidas, ocuparán una superficie de 6 cm^2 . Si este dato se asocia a lo ya mencionado, que la superficie alveolar del pulmón humano abarca la increíble área de 64 m^2 , esto tendrá particular importancia en la génesis del daño pulmonar por estos contaminantes.

Por su parte, los aerosoles son verdaderas nebulizaciones y, por su tamaño tan pequeño, penetran en los bronquios y los irritan. Las partículas o micelas mayores son detenidas por la mucosa nasal y la laringe, y causan síntomas irritativos en dichos sitios.

1.6.3. Sólidos

Además de los contaminantes gaseosos y líquidos, el aire puede tener partículas sólidas y líquidas suspendidas y dispersas. A ellas se debe el aspecto nebuloso y brumoso del aire contaminado. Las partículas se estudian de acuerdo a su tamaño, el cual a su vez está relacionado con su capacidad de sedimentar. El material particulado está compuesto por partículas sólidas, como el polvo generado en las faenas mineras, automóviles, plantas industriales, aeronaves y todo contaminante potencial que produzca material particulado de PM-10, que son las partículas que más causan estragos en los humanos. Las principales clases de partículas sólidas o también conocido como material particulado, se subclasifican conforme a su tamaño, de tal forma que se pueden obtener las siguientes dimensiones promedio de diámetro:

Menor de 5 micras, correspondiendo a polvo en suspensión; del tipo orgánicos como del polen, polvillo de habitación y/o procedentes de fábricas de alimentos, asimismo de composición inorgánica tal como el plomo, cromo, arsénico, etc.

Mayor a 5 micras, corresponde a polvos sedimentables como: Sílice, Berilio, Asbesto, Talco, Fibras vegetales. Las fuentes principales se producen junto con los contaminantes gaseosos del aire, debido a diferentes actividades. Los principales emisores industriales son la fabricación de hierro y acero, la producción de cemento, la extracción de rocas y minerales, el almacenamiento y la manipulación de granos y la elaboración de pulpa y papel (6).

En la Figura 11 se presenta un par de micrografías que permiten observar la morfología que presentan tanto partículas suspendidas como aisladas, aglomerados y la generadas por procesos de combustión.

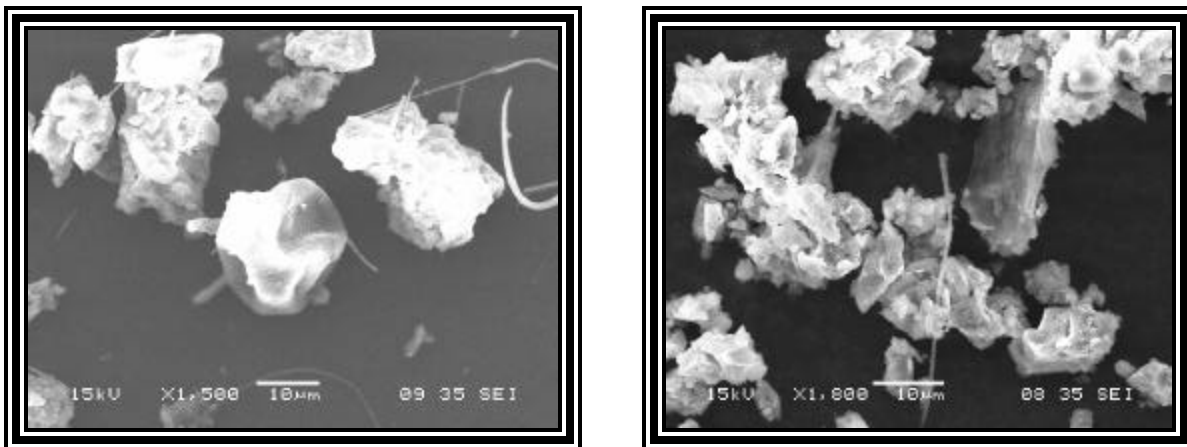


Figura 11. Micrografías de partículas suspendidas.

1.7. Normas de calidad del aire

En el año de 1994, el gobierno federal estableció normas de concentraciones de los contaminantes atmosféricos, con el objeto de proporcionar un margen adecuado de seguridad en la protección de la salud de la población en general y de los grupos de mayor susceptibilidad en particular. En su diseño no se tomaron en cuenta como factores determinantes los aspectos económicos y tecnológicos. Las **normas vigentes**

de calidad del aire fueron publicadas por la Secretaría de Salud, en el **Diario Oficial de la Federación** del 23 de diciembre de 1994. Las normas de calidad del aire fijan valores máximos permisibles de concentración de los contaminantes comúnmente presentes en las áreas urbanas. Cuando se elaboraron las normas, en México no existían los recursos ni la infraestructura para realizar estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición, ni en animales, ni en seres humanos, por lo que las normas se establecieron fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países del mundo. Actualmente la Secretaría de Salud realiza estudios epidemiológicos que valoran la relación dosis / respuesta entre los diferentes contaminantes y la salud de la población en algunas zonas del país, y se revisan las normas de ozono y partículas suspendidas; para el primero, tiene elaborado un proyecto de actualización de su norma que contempla un nuevo límite de exposición de 8 horas, adicional al vigente de 1 hora.

Los *contaminantes* presentes en el aire de la *zona fronteriza* se miden a través de *procedimientos estandarizados en el ámbito internacional*, los cuales permiten obtener información que proporciona valores representativos de la calidad del aire que se respira en la región. El avance en la tecnología y en el conocimiento científico sobre los efectos de la contaminación en la salud, marca una tendencia a equipar las estaciones de análisis continuo con sensores remotos de largo alcance y con instrumentos de medición de otros compuestos tóxicos. En la Tabla 3, se resumen las *Normas Oficiales Mexicanas* vigentes para evaluar la calidad del aire ambiente.

Tabla 3. Valores normados para los contaminantes del aire en México

CONTAMINANTE	VALORES LÍMITE		NORMAS OFICIALES MEXICANAS
	Exposición aguda	Exposición crónica	
	ppm/tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	Para protección de la salud de la población susceptible

Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 Hora)	1 vez cada 3 años	-	NOM-020-SSA1- 1993
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 Horas)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1- 1993
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 Horas)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)	NOM-022-SSA1- 1993
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1 Hora)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1- 1993
Partículas totales (PST)	suspendidas 260 µg/m ³ (24 Horas)	1 vez al año	75 µg/m ³ (media aritmética anual)	NOM-024-SSA1- 1993
Partículas menores a 10µm (PM10)	150 µg/m ³ (24 Horas)	1 vez al año	50 µg/m ³ (media aritmética anual)	NOM-025-SSA1- 1993
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m ³ (prom. Arit. en 3 meses)	NOM-026-SSA1- 1993

Fuente: Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994

Por estar ubicado Baja California en frontera con los Estados Unidos de América, a continuación se describe brevemente la normatividad de calidad del aire existente en ese país.

1.7.1. Índice Metropolitano de la Calidad del Aire

Un índice de calidad del aire pondera y transforma las concentraciones de un conjunto de contaminantes a un número adimensional, el cual indica el nivel de contaminación presente en una localidad determinada y puede ser fácilmente entendido por el público.

En México, basados en la revisión bibliográfica previa de los índices de calidad del aire, se decidió por un enfoque que incluyera tanto las normas de calidad del aire como los niveles de daño significativo, como bases para ponderar los efectos de los contaminantes. Más que un enfoque basado únicamente en las normas de calidad del aire, toma en consideración un enfoque más realista puesto que permite utilizar factores

de ponderación que cambian con los diferentes niveles de contaminación y que además permite elaborar los reportes diarios de calidad del aire.

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (**IMECA**) se basa en la utilización de funciones lineales segmentadas, similares a las utilizadas en el Pollutant Standard Index (PSI), por lo que no se debe olvidar que las funciones lineales segmentadas de éste corresponden a los estándares primarios norteamericanos de calidad del aire, los criterios de episodios y los niveles de daño significativo.

Cuando se elaboró el IMECA en México no existían Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire, ni criterios de episodios, ni de daño significativo; sin embargo, esta dificultad fue superada a través del desarrollo de puntos de quiebre basados en información local, utilizando la misma filosofía con la que se definió el PSI.

Las **variables seleccionadas** para su inclusión en el índice de calidad del aire fueron las **mismas que** las del **PSI** y se consideró la información disponible en México, seleccionándose CO, O₃, NO₂, PST, PM-10 y SO₂. En la Tabla 4 se ofrecen los puntos de niveles de contaminantes según múltiplos de 100 de IMECA. que en la actualidad están vigentes.

Tabla 4. Niveles de Contaminantes

<i>IMECA</i>	<i>PST</i>	<i>PM-10</i>	<i>SO₂</i>	<i>NO₂</i>	<i>CO</i>	<i>O₃</i>
	<i>µg/m³/24hs</i>	<i>µg/m³/24hs</i>	<i>ppm/24hs</i>	<i>ppm/1hr</i>	<i>ppm/8hs</i>	<i>ppm/1hr</i>
100	260	150	0.13	0.21	11	0.11
200	546	350	0.35	0.66	22	0.23
300	627	420	0.56	1.1	31	0.35
400	864	510	0.78	1.6	41	0.48
500	1000	600	1.00	2.00	50	0.60

Fuente: INE, 1997

La calidad del aire se considera **no satisfactoria** si el valor del IMECA se sitúa entre 101 y 200, mala entre 201 y 300; muy mala cuando se encuentra por arriba de 300. La Tabla 5 presenta los niveles de calidad del aire de acuerdo al índice de IMECA.

Tabla 5. Niveles de calidad del aire conforme a IMECA

PUNTOS IMECA	CALIDAD DEL AIRE
100	Satisfactoria
101 a 200	No satisfactoria
201 a 300	Mala
301 a 400	Muy Mala

El **IMECA** informa el modo máximo y sus términos descriptivos están basados en los efectos umbrales a corto plazo y en los niveles de daño significativo. Cuando se elaboró el IMECA por primera vez, para fijar el valor 100 del índice se utilizaron los valores de los Criterios de Calidad del Aire publicados el 29 de noviembre de 1982.

Las concentraciones para los valores de 200, 300 y 400 del índice se determinaron dividiendo el intervalo entre el criterio de calidad del aire y el nivel de daño significativo (valor 500 del IMECA), en 4 partes iguales. Para el subíndice correspondiente a PM-10 se llevaron a cabo estudios de correlación para determinar los puntos de quiebre de las mediciones de partículas.

La sustitución de los criterios de calidad del aire de 1982 por las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire, el 23 de diciembre de 1994, hizo que se actualizara el índice mexicano de la calidad del aire con los nuevos valores. Dado que la estructura del IMECA es muy similar al PSI, se recomendó que en la **cuenca atmosférica binacional** se informe a la población de ambas zonas con los índices de calidad del aire establecidos para cada país.

La **Agencia de Protección Ambiental** de Estados Unidos de América (EPA) a través del Congreso de ese país, emitió las primeras enmiendas al Acta del Aire Limpio en 1970, para establecer dentro de un período de tiempo corto los Estándares federales de Calidad del Aire Ambiente (NAAQS, por sus siglas en inglés) y los Estándares Nacionales de Emisión para contaminantes peligrosos del aire; los datos que permitieron desarrollar estas enmiendas fueron el resultado de estudios de exposición ocupacional y de estudios en laboratorio y no necesariamente de exposición ambiental a los contaminantes.

Durante 1997 la EPA revisó sus estándares para ozono y PM10, modificando el primero a un valor de 0.08 ppm en un promedio móvil de 8 horas, en lugar de una hora y propuso el uso de un nuevo estándar para las partículas de diámetro menor a 2.5 micrómetros (PM2.5). El 18 de julio de 1997 la EPA publicó las reformas a estos dos estándares; la revisión de las concentraciones fijadas en ellos obedeció principalmente a los efectos importantes que tienen sobre la salud de la población. Los estándares federales estadounidenses son en su mayoría similares a los de México y se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Estándares primarios de calidad del aire ambiente de los E.U.A

<i>CONTAMINANTE</i>	<i>VALORES LÍMITE (PPM/TIEMPO PROMEDIO)</i>	<i>CRITERIO DE CUMPLIMIENTO</i>
Ozono (O ₃)	0.12 ppm* (1 hora)	1 excedencia en promedio sobre 3 años
	0.08 ppm (8 horas)	La 4 ^a mayor excedencia diaria, promedio sobre tres años
Monóxido de carbono (CO)	9 ppm (8 horas)	1 vez al año
	35 ppm (1 hora)	1 vez al año
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.14 ppm (24 horas)	1 vez al año
	0.03 ppm (Promedio anual)	

Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.053 ppm (Promedio anual)	
Plomo (Pb)	1.5 µg/m ³ (Promedio trimestral)	1 vez al año
Partículas menores a 10 µm (PM10)	150 µg/m ³ (24 horas)	98% percentil de la distribución anual, promedio sobre 3 años
	50 µg/m ³ (Promedio anual)	Promedio sobre 3 años
Partículas menores a 2.5 µm (PM2.5)	65 µg/m ³ (24 horas)	98% percentil de la distribución anual, promedio sobre 3 años
	15 µg/m ³ (Promedio anual)	Promedio sobre 3 años

Fuente: National Ambient Air Quality Standards

* Continúa vigente en las áreas de "no-cumplimiento", hasta que cumplan con este estándar.

La EPA estima que con el cambio en los valores de estos contaminantes se estará protegiendo de los efectos en la salud a 125 millones de habitantes, producto de la contaminación del aire, incluyendo la prevención de aproximadamente 15 mil muertes prematuras y 350 mil casos de asma por año. Como ya se mencionó anteriormente, en nuestro país la Secretaría de Salud se encuentra actualmente revisando la normatividad sobre ozono y partículas para determinar la conveniencia de modificar las normas actuales y/o de introducir nuevos estándares para PM 2.5 en México.

Estudios epidemiológicos realizados en la década de los años 80´s en la ciudad de Los Ángeles, mostraron consistentemente que la salud de la población era afectada significativamente por la contaminación del aire ambiente en esa cuenca atmosférica, por lo que el Estado de California, procedió a establecer estándares de calidad del aire para algunos parámetros, más estrictos que los federales.

Este cambio en la normatividad y los grandes esfuerzos que se realizaron, para establecer programas de monitoreo y métodos de control de la contaminación del aire, implantando medidas más estrictas, principalmente para disminuir la contaminación producto de las emisiones vehiculares, han permitido disminuir los episodios

importantes de contaminación del aire en las zonas urbanas de ese estado. En la Tabla 7 se muestran los valores de los estándares de calidad del aire vigentes en California.

Tabla 7. Estándares de calidad del aire ambiente en el Estado de California, E.U.A.

<i>CONTAMINANTE</i>	<i>VALORES LÍMITE (CONCENTRACIÓN Y TIEMPO PROMEDIO)</i>	<i>CRITERIO DE CUMPLIMIENTO</i>
Ozono (O ₃)	0.09 ppm (1 hora)	A no excederse
Monóxido de carbono (CO)	9 ppm (8 horas)	A no excederse
	20 ppm (1 hora)	A no excederse
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.25 ppm (1 hora)	A no excederse
	0.04 ppm (24 horas)	A no excederse
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.25 ppm (1 hora)	A no excederse
Plomo (Pb)	1.5 µg/m ³ (Promedio mensual)	A no igualarse ni excederse
Partículas menores a 10µm (PM10)	50 µg/m ³ (24 horas)	A no excederse
	30 µg/m ³ (Promedio geométrico anual)	A no excederse
Partículas menores a 2.5µm (PM2.5)	65 µg/m ³ (24 horas)	A no igualarse ni excederse
	15 µg/m ³ (Promedio anual)	A no igualarse ni excederse

Fuente: California Air Resources Board (1999)

1.7.2. Efectos de los contaminantes en la salud

Los efectos que los contaminantes causan en la salud humana son diferentes y el grado de afectación puede variar dependiendo de la edad de las personas. En la Tablas 8 y 9 se resumen los efectos que causan algunos contaminantes como el O₃, CO, NO₂, SO₂, PM10, los aerosoles y Pb, según estratos de edad y los grupos en riesgo.

Tabla 8. Efectos a la salud por contaminantes atmosféricos

CONTAMINANTE	POBLACIÓN EXPUESTA Y GRUPOS EN RIESGO	EFFECTOS A LA SALUD
O ₃ Ozono	Adultos y niños sanos	Disminución de la función pulmonar. Incremento de la reactividad aérea. Inflamación pulmonar.
	Atletas, trabajadores al aire libre	Incremento de los síntomas respiratorios (efectos que se incrementan con el ejercicio).
	Asmáticos y personas con otras enfermedades respiratorias	Disminución de la capacidad para realizar ejercicio (Efectos ocurridos en combinación con partículas y aerosoles ácidos). Incremento en el número de hospitalizaciones.
CO Monóxido de Carbono	Adultos sanos	Disminución de la capacidad para realizar ejercicio.
	Pacientes con enfermedad isquémica	Disminución de la capacidad para realizar ejercicio. (Se incrementan los efectos con anemia o enfermedad pulmonar crónica). Angina de pecho.
NO ₂ Bióxido de Nitrógeno	Adultos sanos	Incremento de la reactividad aérea.
	Niños sanos	Disminución de la función pulmonar. Incremento de síntomas respiratorios (incremento en el número de infecciones respiratorias). (Efectos encontrados dentro de las casas con uso de fuentes de combustión).
SO ₂ Dióxido de azufre	Adultos y pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica	Incremento en síntomas respiratorios (gas altamente soluble con poca penetración aérea a distancia). Incremento de mortalidad y hospitalización por enfermedades respiratorias. Disminución de la función respiratoria (Observaciones hechas a poca exposición).

PM ₁₀	Niños	Incremento de síntomas respiratorios.
Partículas menores de 10 micras		Incremento de enfermedades respiratorias.
		Disminución de la función pulmonar (efectos vistos en combinación con SO ₂).
	Efectos crónicos	Exceso de mortalidad.
	Asmáticos	Incremento de la exacerbación del asma.
Aerosoles ácidos	Adultos sanos	Alteración mucosilar.
	Niños	Incremento de enfermedades respiratorias (efectos vistos en combinación con ozono y partículas).
	Asmáticos y otros	Disminución de la función pulmonar (incremento de hospitalizaciones).
Pb	Niños	Alteración de la función neuroconductual.
Plomo		
	Adultos	Incremento de la presión sanguínea (asociado con los niveles de plomo en gasolina).

Fuente: Dirección General de Salud Ambiental, SSA, 1999

Tabla 9. Clasificación toxicológica de los agentes químicos industriales

<i>CLASIFICACIÓN</i>	<i>AGENTE QUÍMICO</i>
Irritantes respiratorios	Acido sulfúrico, amoníaco.
Asfixiantes simples	Propano, butano.
Asfixiantes químicos	Acido clorhídrico y sulfhídrico
Anestésicos y narcóticos	Xileno, cumeno
Neurotóxicos	N-hexano, tolueno, mercurio y manganeso
Nefrotóxicos	Cadmio, plata
Hematotóxicos	Nitrobenceno, anilina, benceno

Osteotóxicos	Acido fluorhídrico, cadmio
Hepatotóxicos	Tetracloruro de carbono, berilio
Dermatotóxicos	Cromo, níquel
Cancerígenos	Asbesto, benceno
Teratogénicos	Metilmercurio, plomo
Espermatotóxicos	Dibromocloropropano, clordecona
Inmunotóxicos	Dioxinas, bifenilos policlorados

La Tabla 10 presenta una lista de los **efectos en la salud** a diferentes niveles **IMECA** junto con algunas recomendaciones que se sugieren para evitar un mayor daño. Se destaca de esta tabla que tanto los ancianos como los niños son los más afectados por los episodios de la contaminación.

Tabla 10. Efectos en la salud a diferentes niveles de IMECA y algunas recomendaciones para prevenirlos

NIVEL IMECA	POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD	MEDIDAS DE TIPO PREVENTIVO
0 a 100	<p>No se presentan efectos negativos en la salud de la población.</p> <p>Es posible realizar todo tipo de actividad física por todos los grupos humanos.</p>	<p>En este nivel, no es necesaria ninguna medida de tipo preventivo.</p>

<p>101 a 250</p>	<p>Se presenta irritación conjuntival o dolor de cabeza en cualquier grupo de la población.</p> <p>Los enfermos del corazón o de los pulmones reactivan los síntomas de sus padecimientos.</p> <p>Los niños lactantes, los ancianos y los fumadores, presentan trastornos funcionales del aparato respiratorio y cardiovascular como aumento de su frecuencia respiratoria, sensación de falta de aire y palpitaciones.</p> <p>La población general sana, presenta molestias como ardor de ojos, dolor de cabeza, aumento de su frecuencia respiratoria, sensación de falta de aire y palpitaciones, sobre todo al realizar alguna actividad intensa.</p>	<p>En este nivel, deben adoptarse conductas generales que disminuyan la exposición a la atmósfera contaminada, especialmente por parte de la población que presenta características de riesgo o mayor susceptibilidad, como los niños, ancianos, embarazadas y los enfermos crónicos del corazón o los pulmones; es recomendable para toda la población la adopción de las siguientes recomendaciones:</p> <p>Evitar la exposición a la atmósfera contaminada.</p> <p>No realizar ejercicio o actividad física intensa al aire libre.</p> <p>Permanecer en ambientes cerrados mientras dure el episodio de contaminación elevada.</p>
<p>251 a 350</p>	<p>Los niños lactantes, los ancianos y los fumadores, pueden presentar las molestias descritas para el nivel anterior además de alteraciones de tipo inflamatorio (tos, expectoración y espasmo bronquial) en su sistema respiratorio.</p> <p>La población general sana, puede ser que presente trastornos funcionales del aparato respiratorio y cardiovascular, como aumento de su frecuencia cardíaca y respiratoria, sensación de falta de aire y palpitaciones, sobre todo si realiza ejercicio o actividad física al aire libre.</p>	<p>A partir de este nivel de contaminación, es recomendable para todos los grupos de población y especialmente para los grupos con mayor susceptibilidad, adoptar las siguientes medidas:</p> <p>Evitar la exposición a la atmósfera contaminada.</p> <p>No realizar ejercicio o actividad física intensa al aire libre.</p> <p>Permanecer en ambientes cerrados mientras dure el episodio de contaminación.</p> <p>Evitar agresiones adicionales del aparato respiratorio.</p> <p>Evitar fumar y la exposición al humo de tabaco.</p> <p>Evitar los cambios bruscos de temperatura.</p> <p>Disminuir el contacto con personas que presenten infecciones de las vías respiratorias.</p>

<p>351 en adelante</p>	<p>A partir de estos niveles de contaminación, algunos reportes de investigación señalan la posibilidad de que:</p> <p>Los enfermos crónicos de los pulmones o del corazón, reactiven su padecimiento de base.</p> <p>Los niños lactantes, los ancianos y los fumadores, pueden presentar alteraciones de tipo inflamatorio en su aparato respiratorio (tos, expectoración y espasmo bronquial).</p> <p>La población general sana está en riesgo de presentar alteraciones de tipo inflamatorio en su aparato respiratorio, aún sin realizar ejercicio o actividad física intensa, si se encuentran al aire libre.</p>	<p>Reforzar los mecanismos naturales de defensa del organismo, mediante:</p> <p>Ingesta abundante de líquidos, preferentemente de jugos naturales de frutas.</p> <p>Consumir abundantes frutas y legumbres.</p> <p>Atención médica oportuna.</p> <p>Las personas susceptibles deben acudir al médico si presentan reactivación de sus padecimientos.</p> <p>Las mascarillas, purificadores de aire o inhalación de oxígeno, no constituyen medidas científicamente comprobadas de protección ante la elevación de los niveles de contaminación atmosférica y su empleo indiscriminado, se puede presentar incremento en el riesgo para los grupos susceptibles.</p> <p>Mantenerse atento a las recomendaciones de las Instituciones del Sistema Nacional de Salud, a través de los medios de comunicación.</p>
------------------------	---	--

2. OBJETIVOS Y METAS

2.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Caracterización microestructural de partículas sólidas suspendidas en la atmósfera de Baja California, aplicando las técnicas de; tradicional de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y la introducción de Microscopia de Fuerza Atómica (MFA). Dado que en la actualidad se carece de información al respecto, con los resultados obtenidos se podrá trabajar y evaluar la posibilidad de utilizarse como técnica complementaria para caracterización de morfología.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

La información con la que se cuenta en el Estado de Baja California en lo concerniente a calidad de aire, es proporcionada por un programa conjunto en el cual participan los Estados Unidos Americanos mediante la dependencia de California Air Resources Board (CARB) y México a través del Instituto Nacional de Ecología.

El presente proyecto de tesis, pretende, dar continuidad a nivel local la caracterización microestructural de las partículas suspendidas en la atmósfera del estado de Baja California para poder evaluar su efecto sobre la salud, así como el conocer la situación actual a fin de implementar programas preventivos mediante el diseño de actividades encaminadas a Educación Ambiental. El proceso de investigación es amplio y diverso, ya que se estima el de primeramente realizar la caracterización en una zona del Estado de Baja California y posteriormente extender su aplicación hacia el estado en las regiones urbanas y rurales existentes. Por la extensión del proyecto, se traza una serie de objetivos específicos; de orden inmediato y mediato, los cuales se subdividen considerando el tiempo de ejecución.

2.2.1. De orden inmediato

Se consideran aquellos objetivos que se realizan en el transcurso de un año de investigación, y que permiten el presentar una tesis de Licenciatura. Se involucra primeramente el obtener un equipo de monitoreo, su ubicación y continuo proceso de toma de muestras durante una etapa en la cual se observa un problema de visibilidad en una zona determinada, para lo cual se colabora estrechamente con la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT-México) y California Air Resources Board (CARB-EPA-Estados Unidos Americanos).

Posteriormente, llevar a cabo la caracterización microestructural específicamente con apoyo de técnicas para observar y analizar la morfología por medio de la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y se introduce la Microscopia de Fuerza Atómica (MFA) y evaluar los resultados. Considerar implementar ambas técnicas dentro del proceso de caracterización de material particulado para en un futuro mediato, relacionarlo directamente en la medida de potencial toxicológico. Paralelamente estimar la elaboración de los respectivas técnicas a fin de generar un manual para laboratorio de análisis de partículas.

2.2.2. De orden mediato

Se incluyen los objetivos que se pretende cumplir en un lapso de tiempo mayor de un año, se indican en Futuras Líneas de Investigación, y son la aplicación directa de las técnicas y procesos de evaluación en muestras que sean generadas en distintas regiones del estado por lo que es indispensable contar con el apoyo institucional de dependencias oficiales a nivel local, estatal y nacional.

Aquí es donde es posible dar un diagnóstico para promover la continuidad a la investigación iniciada, ya se contará con técnicas, recursos humanos con formación, laboratorios disponibles a nivel regional por la colaboración existente y la experiencia, siendo la limitante los equipos de muestreo, ya que la acción dependerá de su existencia.

2.3. METAS

1. Obtener el apoyo de instituciones encargadas del monitoreo atmosférico en el estado para el muestreo y posterior análisis.
2. Seleccionar zona representativa para el muestreo.
3. Implementar una metodología de caracterización de partículas presentes en la atmósfera utilizando técnicas utilizadas en proceso de caracterización de materiales dentro del proyecto enmarcado del Cuerpo Académico de Química de Materiales.
4. Identificar las características estructurales, dimensionales y composición química de las partículas sólidas suspendidas.
5. Interpretación y análisis de resultados.
6. Obtener una tesis de Licenciatura en Ciencias Químicas, así como el de involucrar a mínimo a un par estudiantes por medio de la implementación de Servicio Social Comunitario y Profesional y generar en futuro mediato en colaboración con autoridades municipales, estatales y federales un banco de

información sobre calidad de la contaminación regional en lo concerniente específicamente a partículas suspendidas.

7. Proponer a la autoridad competente, la instalación en una serie de sitios (red) de monitoréo atmosférico permanente para cada una de las ciudades de nuestro Estado.
8. Llevar a cabo la divulgación de la información obtenida a nivel Estatal e Internacional por medio de Congresos y Publicaciones Científicas.
9. Justificar la importancia de dar continuidad a la investigación en la caracterización de partículas atmosféricas ante Autoridades Oficiales, a nivel Estatal y Federal.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1. Área de estudio y sitio de muestreo.

El estado de Baja California se encuentra ubicado en el noroeste de México y ocupa la porción norte de la península del mismo nombre. Sus coordenadas extremas son: 32°43´ y 28°00´ de latitud norte, 112°47´ y 117°07´ de longitud oeste. Limita al norte con los Estados Unidos de América (U. S. A.) Sonora y el Golfo de California; al este con el Golfo de California; al sur con Baja California Sur y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico. El Estado de Baja California esta integrado por cinco municipios y representa el 3.7% de la superficie del país (Figura 12).

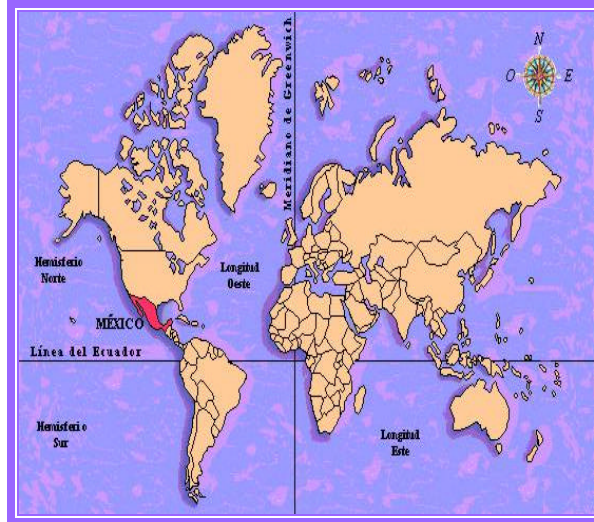


Figura 12. Ubicación de México en el mundo. INEGI, 2006

Los climas predominantes en la entidad son secos y extremos. Las lluvias son escasas en la mayor parte del estado. En las costas del Golfo de California se presenta la menor incidencia de precipitación del país, en particular en la zona del delta del río Colorado, con registros medios anuales cercanos a los 40 mm. La presencia de altitudes importantes a lo largo de la cadena montañosa de Juárez y San Pedro Mártir condiciona climas templados y semifríos, ambos subhúmedos en las cimas y mesetas altas.

Una característica relevante de la climatología peninsular es la presencia en toda su porción central y occidental y al oeste de las laderas orientales de las mencionadas sierras, de climas secos cuyos regímenes de lluvias son invernales. Tal distribución de lluvias afecta también a los climas templados y de las cumbres serranas y a los muy secos, excepto los de la costa del Golfo de California (INEGI, 2006). Un aspecto importante de mencionar, es la condición Santa Ana, la cual se caracteriza por vientos provenientes de regiones desérticas durante los meses entre octubre y marzo con intensidades de hasta 80Km/h, asimismo; se presentan altas temperaturas, extremadamente baja humedad y condiciones de cielo completamente despejado. El promedio anual de la componente principal del viento frente a las costas de California y Baja California en el Pacífico es predominantemente hacia el sureste (Castro et al., 2003)

Los factores geográficos, en especial la topografía y los parámetros meteorológicos tales como las condiciones del viento: velocidad, dirección, temperatura, variación de la temperatura con la altura; son principalmente los factores que condicionan la dispersión de la contaminación atmosférica. Esta situación puede ser más compleja si el sitio de interés es una zona costera, debido a los contrastes de temperatura tierra/océano generados por la brisa marina (Jonsson et al; 2004, Querol et al; 2004). En este sentido, es importante mencionar que en el caso de la ciudad de Tijuana, de acuerdo a Jáuregui (1981) señala que una vez que anochece (brisa-viento es débil) y en las primeras horas de la mañana los contaminantes arrojados en la atmósfera de Tijuana tienden a ser acarreados hacia el noroeste de la ciudad, en dirección a San Isidro, California; después del mediodía, una vez que se establece el movimiento de brisas del oeste, los contaminantes comienzan a ser transportados por el flujo inverso, en dirección a Tijuana.

El sitio de estudio se encuentra localizado en la parte sureste del municipio de Tijuana, en la Col. Mariano Matamoros en una zona con uso de suelo predominante (Figura 13); habitacional y comercial. El área de estudio se ubica a aproximadamente a 20 kilómetros de la línea internacional con Estados Unidos, específicamente con el condado de San Diego CA. De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el sitio de estudio ocupa el octavo lugar en población con 17, 439 habitantes de un total de 600 colonias en la ciudad.



Fig. 13. Mapa área de Mariano Matamoros, Tijuana, B. C.

3.1.2. Muestreo

El equipo utilizado para la toma de muestras es por un periodo consecutivo de 7 días, en una etapa en la cual se apreció en la zona, una neblina producto de una acumulación de gases y/o partículas. Se estudiaron 7 muestras provenientes de filtros de microfibra de teflón de 37mm, obtenidos con muestreador de tipo dicotómico de volumen medio y mediante un flujo de 16.67 l/min., todas ellas presentaron un color oscuro, en menor o mayor intensidad. En la Figura 14 se presentan un par de fotografías de aspecto que presentaron dos muestras en cuanto a la intensidad de color oscuro.

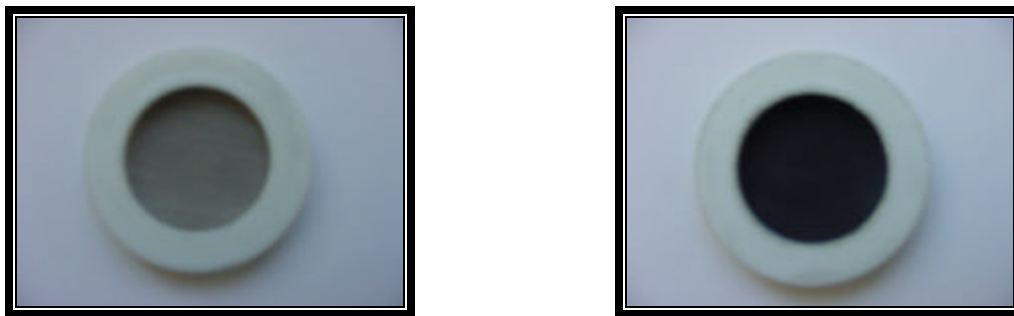


Figura 14. Fotografías de aspecto de material particulado muestreado.

Para realizar la determinación cuantitativa de elementos químicos se aplicó la técnica de PIXE. La caracterización morfológica se realizó aplicando las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido acoplada con Energía de Dispersión de Rayos X, (SEM/EDX) para lo cual se seleccionó una sección circular de cada filtro, de aproximadamente 10 mm de diámetro, y se realizó además, en cada caso, una muestra por contacto. En todos los casos, se utilizó un voltaje de aceleración de 20 kV. En lo que respecta a Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) se llevó a cabo la selección de una muestra de 1 cm² del mismo papel filtro y se coloca en portamuestras de cobre de doble pegamento, para realizar el análisis de manera de contacto directo.

3.2. METODOS

3.2.1. Caracterización Microestructural

3.2.1.1. Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)

En el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) es necesario acelerar los electrones en un campo eléctrico, para aprovechar de esta manera su comportamiento ondulatorio, lo cual se lleva a cabo en el cañón del microscopio, donde se aceleran por una diferencia de potencial de 1,000 a 30,000 Volts.

Los electrones acelerados por un voltaje pequeño son utilizados para muestras muy sensibles, como podrían ser las muestras biológicas sin preparación adicional, o muestras muy aislantes. Los altos voltajes se utilizan para muestras metálicas, ya que éstas en general no sufren daños como las biológicas, y de esta manera se aprovecha la menor longitud de onda para tener una mejor resolución. Los electrones acelerados salen del cañón, y son enfocados por las lentes condensadora y objetiva, cuya función es reducir la imagen del filamento, de manera que incida en la muestra un haz de electrones lo más pequeño posible (para así tener una mejor resolución). Con las bobinas deflectoras se barre este fino haz de electrones sobre la muestra, punto por punto y línea por línea.

3.2.1.1.1 Microanálisis de Rayos X por Dispersión de Energías

Cuando el haz incide sobre la muestra, se producen muchas interacciones entre los electrones del mismo haz, y entre los átomos de la muestra; puede haber por ejemplo, electrones rebotados como las bolas de billar. Por otra parte, la energía que pierden los electrones al "chocar" contra la muestra puede hacer que otros electrones salgan despedidos (electrones secundarios), y producir rayos X, electrones Auger, etc. Para poder ver cada uno de estos "productos", se necesita un detector apropiado. El más común de éstos es el que detecta electrones secundarios, y es con el que se hacen la mayoría de las imágenes de microscopios de barrido. Si el laboratorio cuenta con suficientes recursos, se puede adquirir un detector que "vea" electrones rebotados (llamados retrodispersados). Se puede adquirir también un detector de rayos X, y aprovechar la característica de que los rayos X tienen la "firma" del elemento que los produjo, y por lo tanto podemos hacer un análisis químico en áreas de la resolución del instrumento, esto es, del orden de 1 nm; además, con la ventaja de no tener que deshacer la muestra.

En el método de formación de imagen, como ya se mencionó, se hace barrer el haz sobre la muestra. Para ejemplificar el método, se supone que se comienza con la esquina superior izquierda, esto define la posición x, y ; al mismo tiempo, nos fijamos en cuántos electrones secundarios recibe nuestro detector, y esto se registra como intensidad. Por lo tanto, en un tubo de rayos catódicos (monitor), "escribimos" en la esquina superior izquierda la intensidad que nos dio el detector. Ahora movemos el haz un poco hacia la derecha del primer punto, y se lee cuánta "intensidad" da el detector, esto lo "escribe" el monitor como intensidad en la posición derecha de la anterior. Así sucesivamente se barre toda el área de interés punto por punto y se escriben las intensidades, también punto por punto en el monitor de despliegue de imagen.

Cuando se termina el proceso, se vuelve a empezar, así podemos estar generando imágenes continuamente. La calidad de imagen que obtengamos va a depender de varios factores, entre ellos la rapidez con que hagamos el barrido, no damos tiempo a que haya una buena producción de electrones secundarios y por lo tanto la razón de

señal a ruido es baja (esto es, poca señal en comparación al ruido); si por el contrario se hace el barrido muy lentamente, damos tiempo a que haya una buena cantidad de señal, y por lo tanto tenemos una imagen de mejor calidad.

La amplificación de la imagen en estos casos va a estar dada simplemente por la razón entre el tamaño de la imagen (en el monitor, o en la placa fotográfica) y el tamaño del área barrida en la muestra. En los microscopios modernos, también existe la facilidad de guardar imágenes en memoria de circuitos integrados (memoria RAM), y por lo tanto, desplegarla y reproducirla a voluntad. Para aplicaciones más específicas, también se pueden guardar imágenes en discos flexibles, discos compactos, cinta, etc. De cualquier manera, siempre debe existir algún medio de reproducirlas en papel (como polaroid, impresión basada en negativo, etc.) para su eventual publicación.

El hecho de que la muestra a observar esté al vacío (para que los electrones no se pierdan por colisiones con las moléculas del aire), y además sea barrida con electrones nos limita a que las mismas deban estar secas y ser buenas conductoras de la electricidad. Lo anterior no es crítico cuando se observan metales, pero cuando se observan materiales aislantes o biológicos es necesario, a veces, cubrirlos con una capa conductora (por ejemplo de oro), si se desea tener imágenes de mejor calidad.

3.2.1.1.2 Preparación de las muestras

En un soporte que cuenta con un diámetro de 1 cm, se coloca una cinta adhesiva de grafito, sobre la cual se deposita la muestra (lo necesario para cubrir la superficie de la cinta de grafito). posteriormente, se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido JEOL JSM 5300 con resolución máxima de 4 nm. A un voltaje de 15 kV y una distancia de 15 mm. Acoplado con un detector para analizar elementos a partir del Carbono.

3.2.1.2. Microscopia de Fuerza Atómica.

La Microscopía de Fuerza Atómica (MFA) es una técnica relativamente nueva dentro del campo de caracterización de materiales cerámicos, su principio se basa en proceso mecano-óptico que detecta fuerzas a nivel atómico (del orden de los nanoNewton) a través de la medición óptica del movimiento de un *cantilever* (una pequeña punta con un cristal de forma piramidal, usualmente duro con un sensible terminado en una punta) sobre la superficie de la muestra y midiendo luego la fuerza atómica entre ambas. Permite visualizar con gran detalle las características de la superficie (Figura 15).

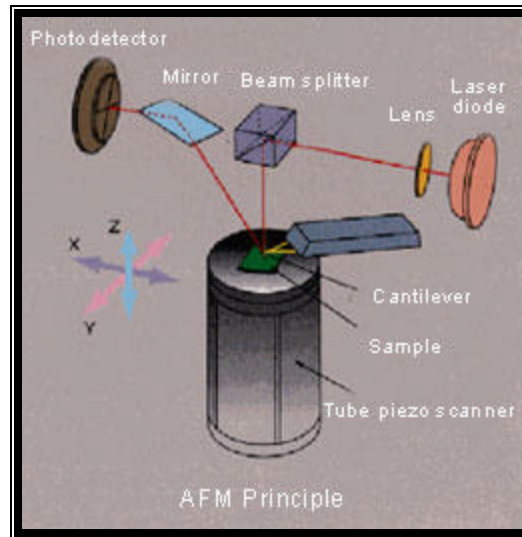


Figura 15. Principio de Microscopio de Fuerza Atómica

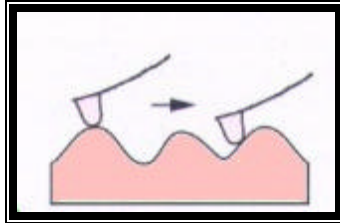
La fuerza atómica, evidente cuando el cantilever está muy próximo a la superficie de la muestra, se detecta a través de la torsión de aquél. La dirección del haz láser reflejado por la parte posterior del cantilever cambia con la torsión del mismo.

La longitud del cantilever es de 200 μm , y tiene una punta muy aguda de cristal en el extremo. La muestra es movida en el barrido en las tres direcciones, mientras el cantilever traza la superficie de la muestra en detalle. Todos los movimientos son controlados por una computadora.

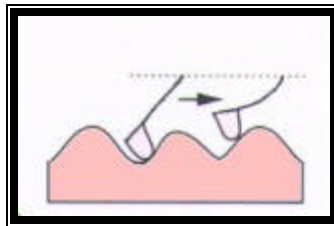
La resolución del instrumento es de menos de 1 nm, y la pantalla de visualización permite distinguir detalles en la superficie de la muestra con una amplificación de varios millones.

Hay varias técnicas de trabajo posibles:

- a) Técnica de contacto : Este modo de barrido provee retroalimentación, en tanto que la repulsión entre el cantilever y la muestra permanece constante. De la intensidad de la retro-alimentación se mide la altura. Este es el modo más común de barrido.



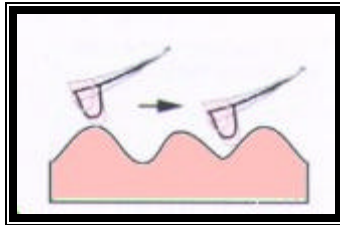
- b) Técnica de altura constante : En este modo de barrido la altura del cantilever se mantiene constante durante el barrido. Se mide la torsión del cantilever. Al no haber retroalimentación, es posible barrer a alta velocidad.



- c) Técnica sin contacto : Este modo de barrido provee retroalimentación, y la atracción entre la muestra y el cantilever (que vibra cerca del punto de resonancia) permanece constante. De la intensidad de la retro-alimentación se mide la altura. La resolución es un poco menor debido a la distancia entre el cantilever y la muestra.



d) Técnica dinámico : Este modo provee retroalimentación, en tanto que la repulsión entre la muestra y el cantilever (que vibra cerca del punto de resonancia) permanece constante. De la intensidad de la retroalimentación se mide la altura. Dado que hay poco "rozamiento" de la superficie, este modo es ideal para muestras que se mueven con facilidad.



Se pueden observar metales, semiconductores, cerámicos, materiales orgánicos, polímeros de alto Peso Molecular muestras biológicas sin necesidad de un revestimiento previo, y la imagen de la superficie se puede obtener con una magnificación de varios millones de veces. La resolución es de menos de 1 nm en los tres ejes.

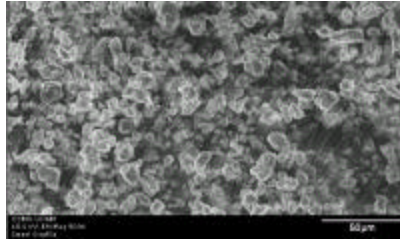
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Análisis morfológico aplicando Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

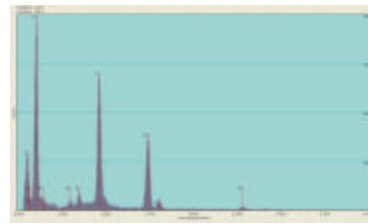
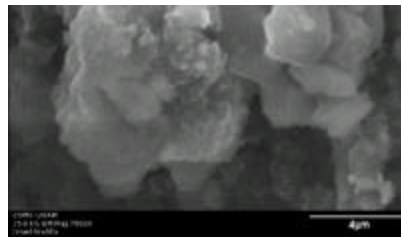
El análisis morfológico realizado por contacto, permitió en principio el llevar a cabo un análisis químico cualitativo y aspecto general del material particulado como se puede observar en la Figura 16, se aprecia una variedad de partículas aisladas y en forma de aglomerados compuestos principalmente por Carbono, Calcio, Oxígeno, Hierro,

Aluminio, Silicio, Azufre, Cloro y Potasio, identificación que es similar en todas las muestras analizadas.

(a)



(b)



(c)

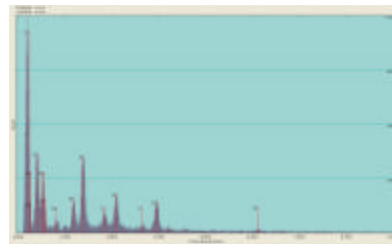
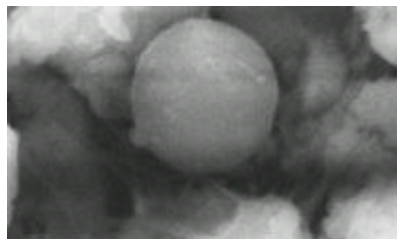


Figura 16. Micrografías (SEM) y espectros EDX, de muestras de partículas colectada en Col. Mariano Matamoros de la ciudad de Tijuana, B. C., México; a) general, b) acercamiento a zona de aglomerado, c) identificación de partícula en forma esférica (2 micras).

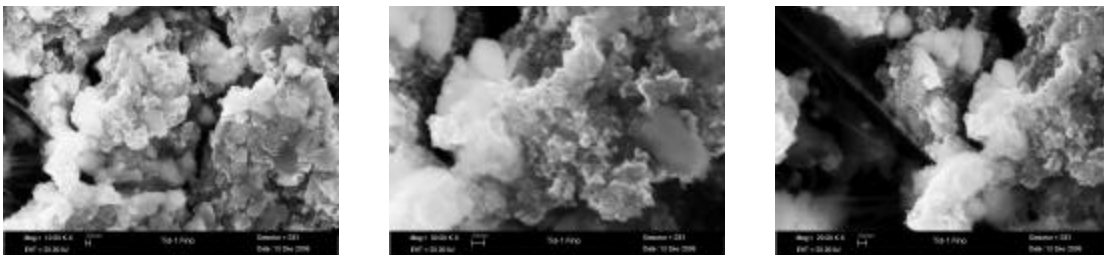
Prosiguiendo con el proceso de caracterización morfológica, se aprecia de manera constante en la serie de muestras áreas de aglomerados que tienen un hábito que asemejan a material fundido, que interconecta aglomerados de micropartículas.

El análisis espectrométrico mediante EDX permitió apreciar, en las partículas multiporosas, la presencia constante de Carbono, Azufre, Oxígeno, Vanadio y Aluminio.

En las partículas esféricas homogéneas, los elementos principales fueron el Carbono y el Oxígeno, con muy escasa cantidad de elementos tales como el Cloro, Sodio, Magnesio, Aluminio, Silicio, Azufre, Calcio y Hierro. En los agregados de nanopartículas se pudo apreciar fundamentalmente Carbono, Oxígeno, Azufre, Sodio, Magnesio y Silicio, y en las partículas resultantes de la unión heterogénea de cristales y otras micropartículas, se pudo apreciar la presencia de Carbono, Oxígeno, Sodio, Magnesio, Silicio, Cloro, Potasio, Hierro, Bromo, Zirconio y Molibdeno.

El estudio de las porciones de filtros de manera directa, no fue satisfactorio, ya que la matriz de microfibras de teflón es muy inestable al bombardeo electrónico, aunque en algunos casos se pudieron realizar análisis microespectrométricos, encontrando en agregados de nano y micropartículas, principalmente Carbono, Oxígeno, Azufre, y escasa cantidad de Cobre. En todos los casos, siempre se apreció la presencia de Flúor correspondiente a la composición química del teflón. Se puede indicar, que conforme a resultados morfológicos obtenidos, se prestan fundamentalmente partículas de 2 grupos: uno probablemente de origen de incendios forestales, y otro de las características del suelo de esa región de la zona.

En la Figura 17, se presentan una serie de micrografías que permiten observar la diversidad de aspectos del material particulado, se pueden distinguir aquellas de origen biológico, principalmente esqueletos de diatomeas y escamas de lepidópteros y pólenes, así como partículas esféricas multiporosas y esféricas homogéneas. Además, la ocurrencia frecuente de agregados de nanopartículas y conglomerados de partículas de diversos tamaños y formas.



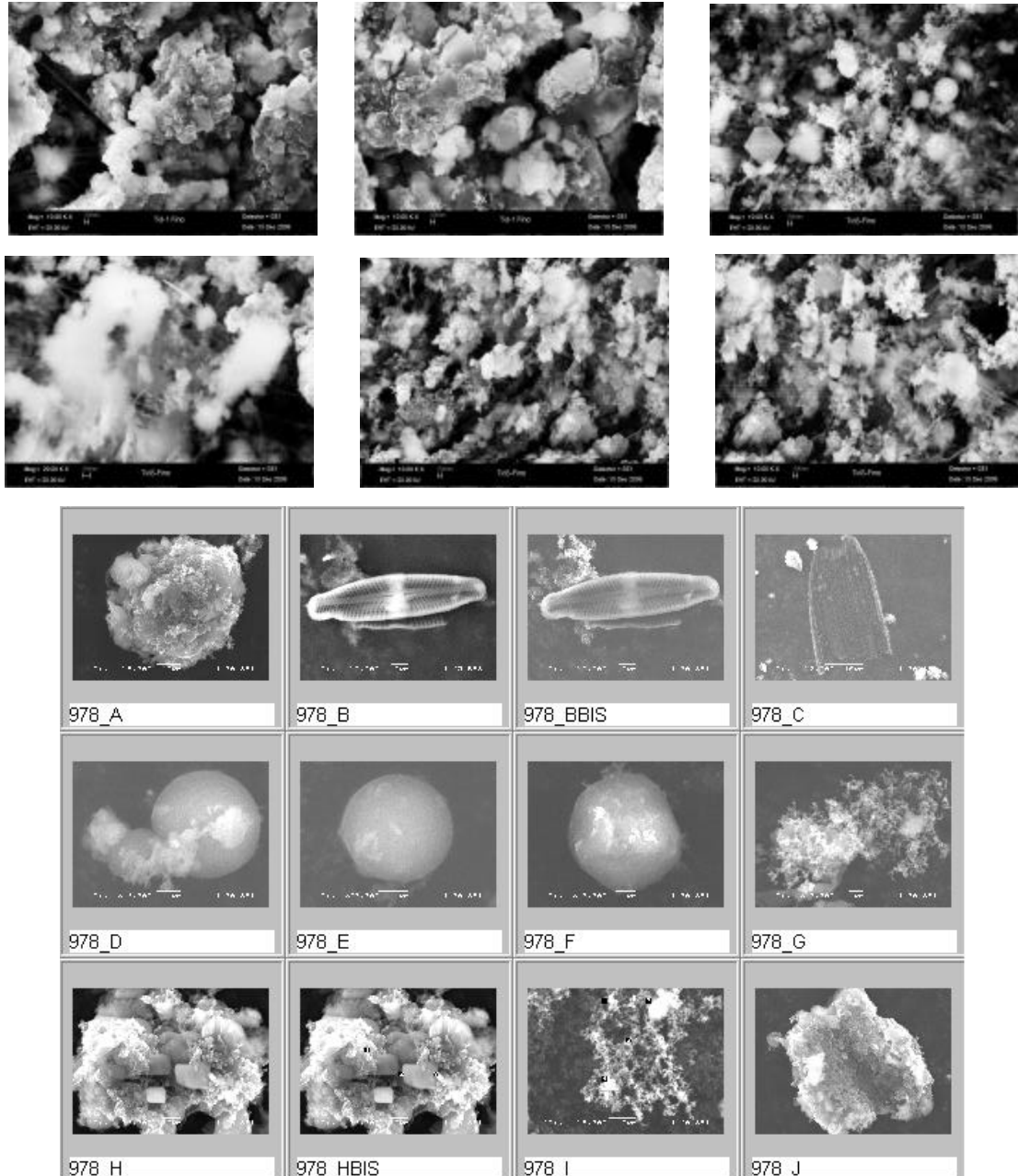


Figura 17. Serie de micrografías que permiten visualizar la variedad de formas de partículas.

4.2 Análisis morfológico aplicando Microscopia de Fuerza Atómica (MFA).

La aplicación de la técnica de Microscopía de Fuerza Atómica dentro del proceso de caracterización de material particulado es relativamente nueva, adquiere vital importancia por un mayor poder de resolución, el principal problema que se presenta

es el que se debe trabajar con muestras colocadas en superficie planoparalela a la base, con el cuidado de no modificar la superficie que va a ser analizada. Es posible el lograr observar la conformación granular de los aglomerados a escala de nanómetros, visualizar la forma de dichas partículas que conforman los aglomerados en dos y tres dimensiones y el de evaluar su tamaño promedio de diámetro mediante un tratamiento de imagen recibida para delimitar las fronteras de grano y de esta forma observar las nanopartículas que conforman los aglomerados. Asimismo es posible el poder realizar un análisis superficial que permite el distribuir las nanopartículas conforme al tamaño.

Dentro de proceso de caracterización realizado, se llevo a cabo el análisis puntual de aglomerados, es posible apreciar en la Figura 18 una serie de micrografías que permiten el visualizar la conformación del aglomerado por nanopartículas de hábito circular predominante, el tamaño medio oscila entre 0.029 y 0.070 micrómetros y a su vez, es posible observar el que dichos aglomerados están conformados a su vez por fracciones de material particulado, lo cual permite el ratificar el que un aglomerado es producto de la unión de nanopartículas las cuales se van uniendo conforme a las condiciones que se encuentren en su alrededor tal como humedad, temperatura, tipo de nanopartícula y velocidad de viento, principalmente y que si bien se inicia en una zona, al ir haciendo su recorrido en el aire, se van anexando nanopartículas o aglomerados ya conformados en la zona de transporte. Mediante un tratamiento de imagen, es posible poder visualizar a la zona analizada en tercera dimensión, girar la imagen y observar el aspecto que presenta a diferentes ángulos lo cual es permite el poder simular la conformación o disgregación del aglomerado.

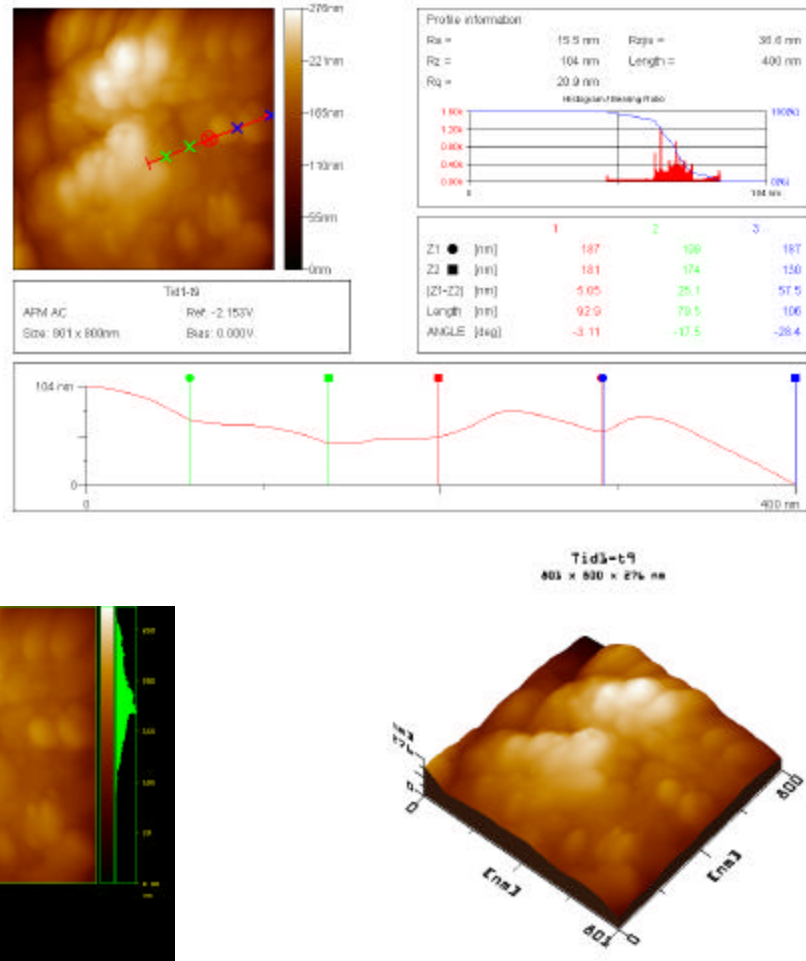


Figura18. Serie Micrografías AFM en perfil de distribución de tamaño, en plano vertical y rotacional del material particulado analizado.

Se puede observar el grado de compactación de las nanopartículas, y en cierta medida el predecir la conformación de dicho aglomerado, analizando las secciones que lo conforman y de esta forma, mediante análisis químico microelemental alterno de las diferentes zonas de trayectoria, poder estimar las posibles fuentes de aportación de nanocontaminantes, de igual forma es posible el poder estimar de manera cualitativa el grado de disgregación de aglomerado en función de la visualización de cementación o adhesión de las nanopartículas. En la Figura 19 se presenta un material particulado con

mayor grado de acercamiento que permite analizar el grado de resolución que la técnica alcanza.

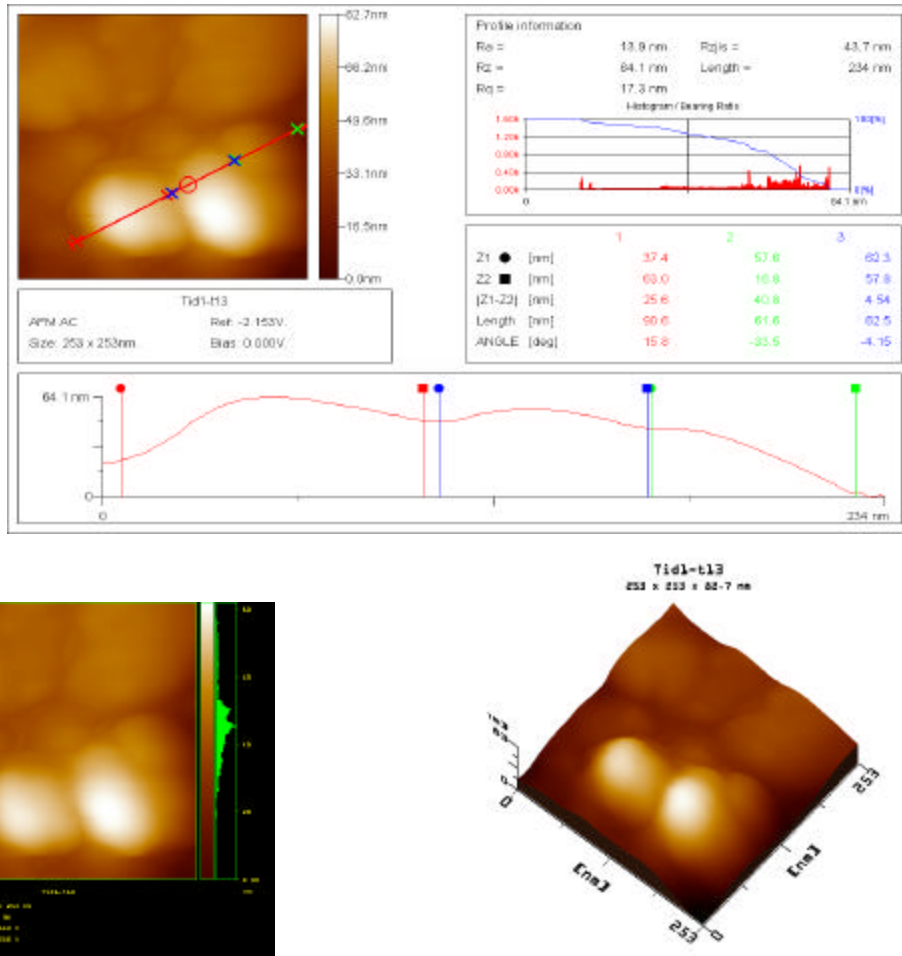


Figura 19. Serie Micrografías AFM a mayor grado de acercamiento de material particulado analizado.

Prosiguiendo con el proceso de caracterización, es posible apreciar en un material particulado el grado de resolución de la técnica ya que es posible identificar zonas de hábito circular oscuras que se atribuye a áreas de huecos incluidas dentro de los nanocontaminates, como se puede observar en la Figura 20.

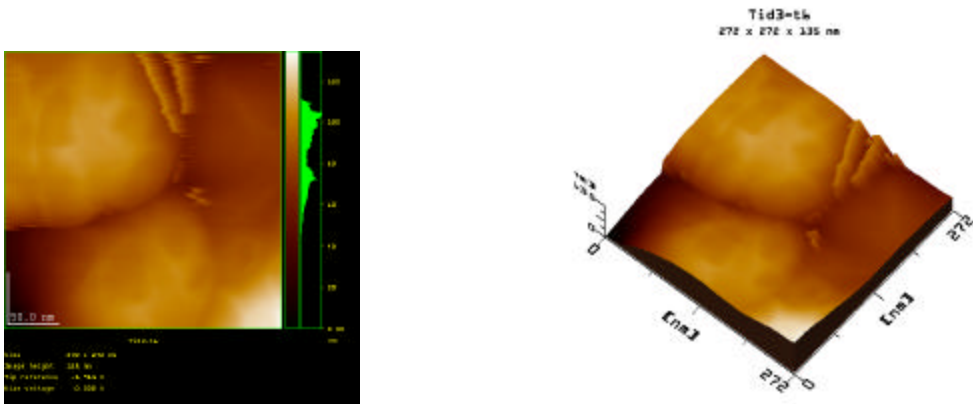
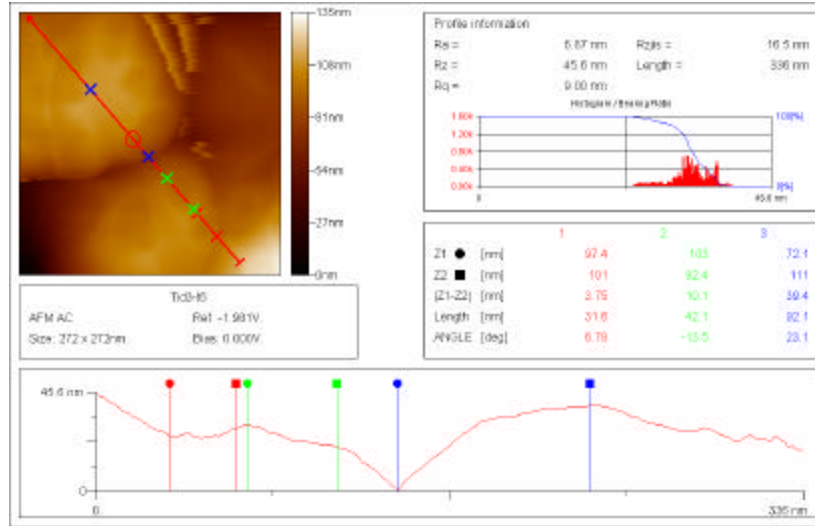
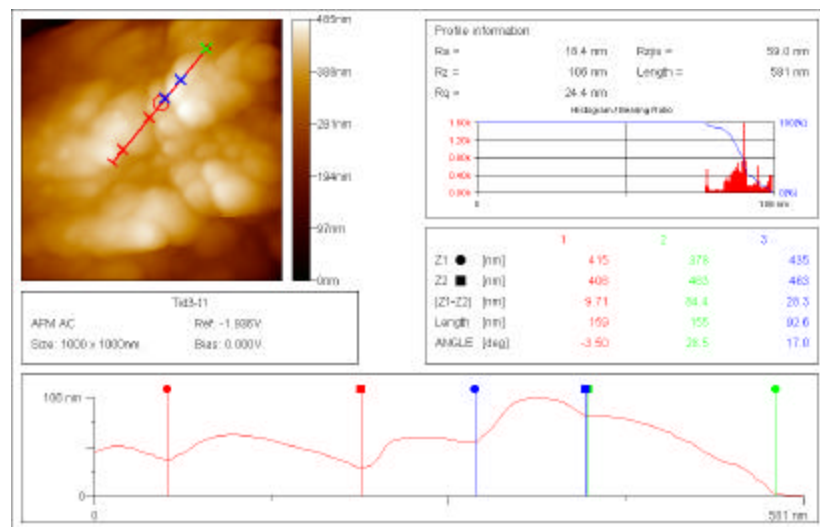
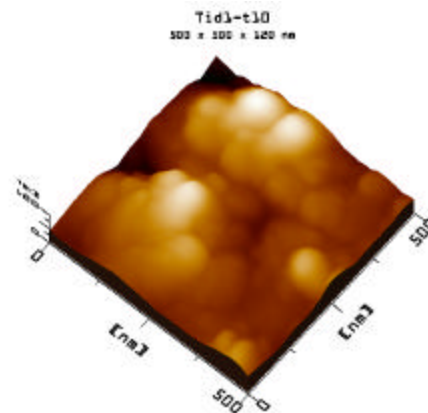
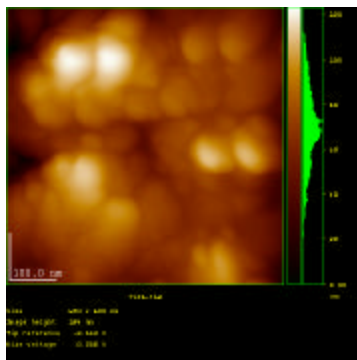
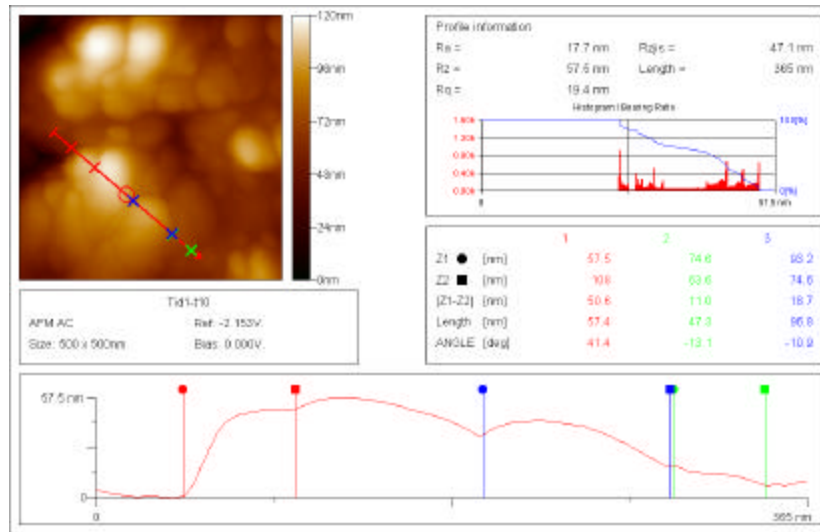


Figura 20. Serie Micrografías AFM en nanopartículas y área de huecos .

En la Figura 21, se incorporan una serie de micrografías que presentan el análisis morfológico del material particulado muestreado en su totalidad, se puede apreciar una homogeneidad en criterio de análisis; hábito de aglomerado similar, distribución de tamaño de nanopartícula dentro del intervalo mencionado inicialmente



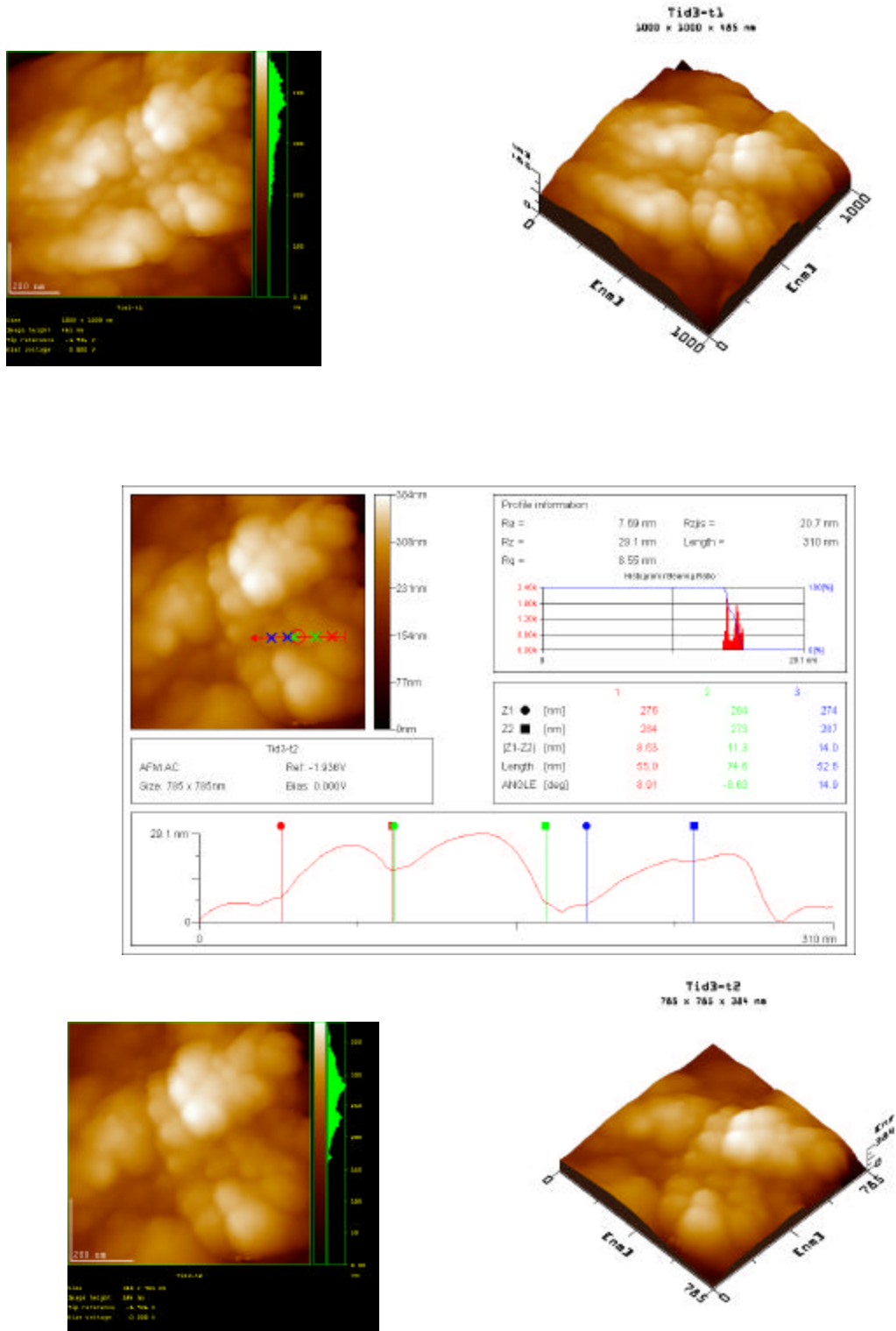
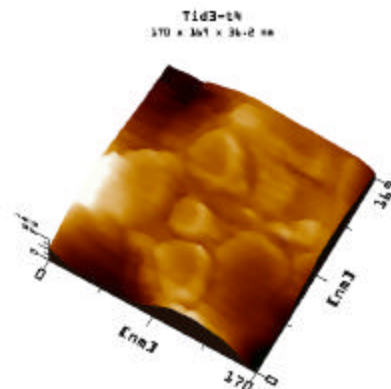
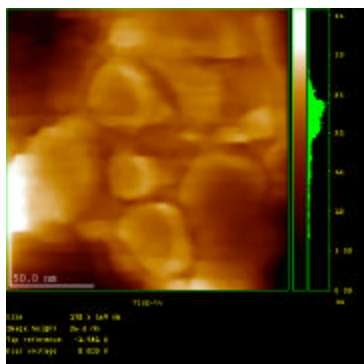
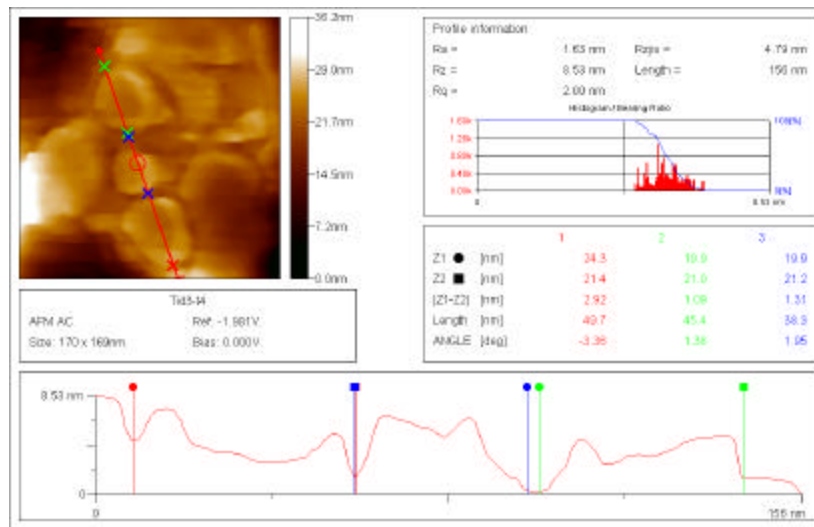
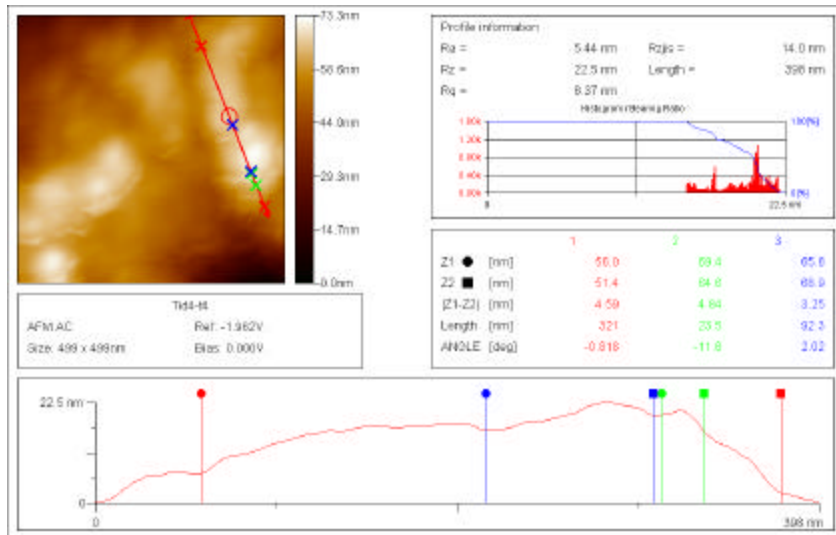
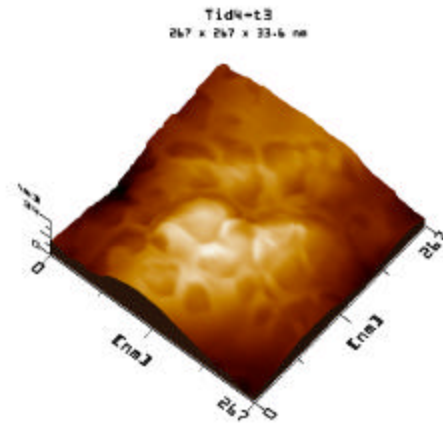
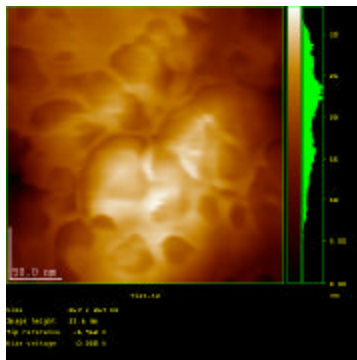
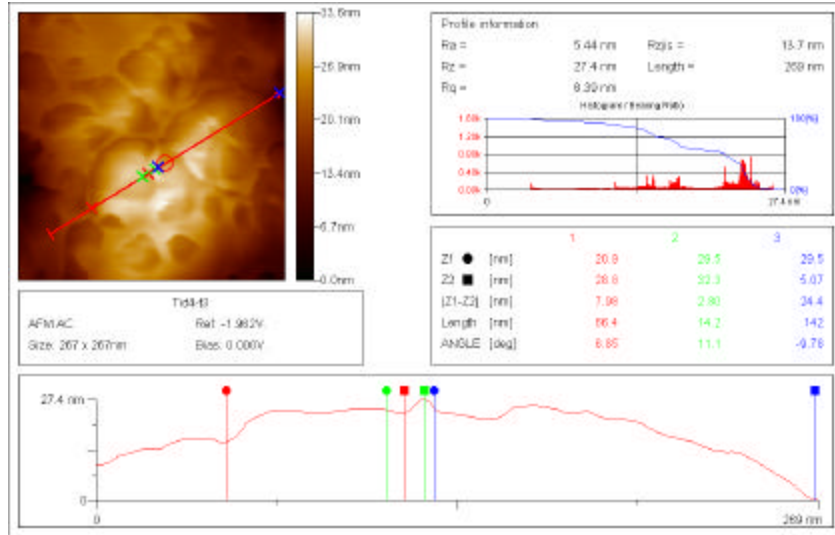


Figura 21. Serie Micrografías AFM en nanoparticulas presentes en material particulado analizado.

Durante el proceso de caracterización, se analizaron siete muestras, producto de siete días de muestreo, la composición elemental fue similar, la variante fue la presencia de mayor cantidad de material con carbón en dos de ellas, cinco de ellas presentan un aspecto similar en cuanto a morfología, la variante fue que se observó en dos muestras obtenidas, un aspecto superficial rugoso, conformado por aglomerado de nanopartículas poliédricas interconectados por otro tipo de fase. En la Figura 22, se presentan una serie de micrografías que permiten visualizar el aspecto de dichos aglomerados, la distribución de nanopartícula la cual no es tan homogénea como las muestras anteriores, lo cual permite estimar la presencia de material particulado de diferentes composición morfológica y que debe ser analizada por técnicas complementarias, ya que Microscopía de Fuerza Atómica, permite el análisis superficial exclusivamente, excluyendo identificación química elemental.





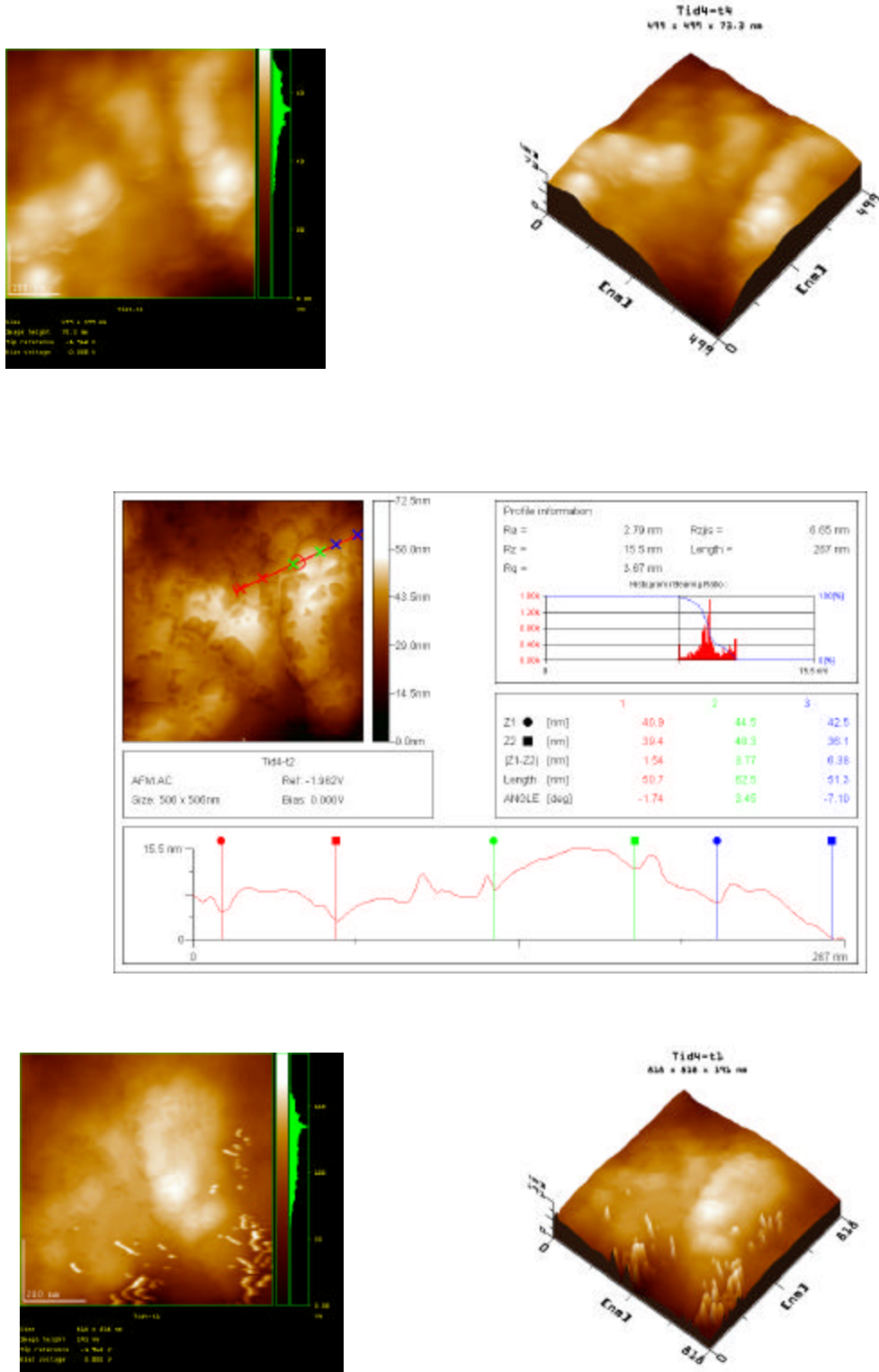


Figura 22. Serie Micrografías AFM de material particulado con superficie rugosa.

5. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, en primer término se puede concluir que el material particulado muestreado está conformado por una composición química microelemental, ninguno de los elementos se identifica como contaminante que se encuentra fuera de intervalos de concentraciones reguladas a nivel internacional.

Los resultados obtenidos en lo concerniente a su morfología aplicando SEM/EDX, se identificó un par de grupos, de tal forma que se puede considerar que uno de ellos se puede atribuir a material particulado generado por polvo del mismo suelo, que ha sido transportado por las corrientes de viento y/o movimiento vehicular dado que es una zona existe un constante movimiento y en la cual se carece de un recubrimiento superficial apropiado y el otro grupo, se puede considerar que es aportado por material generada en incendios tanto forestales como aquellos no forestales.

La aplicación de AFM aporta una información complementaria, la cual permite el poder llevar a cabo un estudio morfológico con mayor poder de resolución, si bien se tiene la limitante de que no es posible llevar a cabo la determinación química, si es factible el poder llegar observar en primer lugar, con mayor claridad las partículas y su el grado de compactación, de tal forma que se puede introducir el término de nanopartícula, y el como éstas, en su gran mayoría conforman al aglomerado y el de predecir el comportamiento en cuanto a su disgregación o desaglomeración durante su transporte, así se puede apreciar que al identificarse la zona de contacto con una frontera de grano definida, clara, se presume de que se cuenta con nanopartículas de relativa fácil desaglomeración y el que si las condiciones climatológicas lo permiten; velocidad de viento, humedad, temperatura, es posible que se presenten nanopartículas de manera aislada, y que conforme a su composición pueden llevar a cabo un efecto nocivo en la salud ya que será mas factible su asimilación por el organismo. Se presenta el caso de que se observan aglomerados con un alto grado de cementación o compactación, la cual puede ser producto del mismo proceso de formación del aglomerado, si es

generado durante un incendio, la alta temperatura tiende a fundir una mezcla de material actuando uno de ellos como cemento que permite incrementar el aglomerado, existiendo caso de que el aglomerado tiende a caer por sedimentación por el elevado peso, tendiendo a ser transportados aquellos de menor tamaño pero que presentan una estructura más compacta que no fácilmente se desintegrarán.

Con apoyo de AFM, es posible el poder llevar a cabo un análisis dimensional del material particulado en general, se puede citar que el intervalo de diámetro medio de nanopartícula está entre 0.029 y 0.070 micrómetros, de igual forma, la técnica permite el dar un tratamiento rotacional de imagen que permite el visualizar el aspecto que guardan las partículas, fortalece el conocimiento del estado que guardan los aglomerados y estimar la facilidad para ser desintegrados.

Relacionado los valores de microanálisis elemental, con la morfología y el tamaño medio de diámetro de partículas, es posible el poder llegar a estimar con mayor precisión el grado de afección a la salud de los contaminantes presentes, de su posible origen y en su caso el sugerir una medida correctiva.

6. REFERENCIAS

1. El aire, "la contaminación Atmosférica". Ed. Comisión Nacional del Medio Ambiente.
2. L. W. Canter, Manual de evaluación de impacto ambiental, Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto, Ed. McGraw-Hill, España, 1999.
3. T.G. Lesworth, La crisis de ambiente, Ed. Fondo de cultura Económica, México D.F 1974.
4. A. Turk, J. Turk, J. T. Wittes, Ecología-Contaminación-Medio Ambiente, Ed. Nueva Editorial Interamericana, México D.F 1973.
5. O. Novaro, Contaminación, Ed. El Colegio Nacional, México 1998.
6. V. Brodine, Air Pollution, Ed. Harcourt Brace Jovanovich, Inc., U.S.A. 1973.
7. A. Adame, D. A. Salín Pascual, Contaminación Ambiental, Ed. Trillas, México D.F 1995.
8. J. Calvin, M. B. Monroe, Our Chemical Environment, Ed. Canfield Press, San Francisco Cal. 1977.
9. S. Edmunds, J. Letey, Ordenación y Gestión del Medio Ambiente Ed. Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid España. 1975.
10. H. M. Freeman, Manual de prevención de la contaminación ambiental, Ed. McGraw-Hill.
11. M. Frankel, Manual de Anticontaminación, México D.F. 1982.
12. V. Conesa Fernández-Vitora, Guía Metodológica para la evaluación del impacto ambiental, Ed. Mundi-Prensa, Madrid España 1995.
13. J. M. Ramírez S., Turismo y medio ambiente, Cuaderno divisional 4, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
14. Genotoxic and Carcinogenic Metals: Environmental and Occupational occurrence and exposure. Advances in modern environmental toxicology, vol 11, Princeton, N.J: Princeton Scientific Publishing.
15. WHO. Air Quality Guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 1987.

16. London: Monitoring and Assessment Research Centre, King's college, University of London, 1986.

17. United States. CFR (Code of Federal Regulations). Washington, D. C.: Government printing office.

18. WHO (World Health Organization). 1987. Air Quality Guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

19. WHO, Guidelines for Drinking water Quality vol 1, no. 15: Recommendations 2d ed. Geneva, 1993.

20. WHO, Inorganic Lead. International Programme on chemical safety. Geneva, 1995.