

38
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**LIQUENES FOLIOSOS COMO BIOMONITORES DE
CONTAMINACION ATMOSFERICA POR METALES
PESADOS EN LOS ALREDEDORES DE LA ZONA
METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO
(ZMCM)**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

VICTOR HUGO CARRILLO PADRON

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

1.- INTRODUCCION	1
2.- ANTECEDENTES	7
3.- OBJETIVOS	10
4.- CARACTERISTICAS DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO	11
5.- DESARROLLO DEL ESTUDIO	15
5.1 AREA DE ESTUDIO	15
5.2 TRABAJO DE CAMPO	17
5.2.1 Estructura del bosque	17
5.2.2 Cobertura de líquenes	18
5.2.3 Muestreo	19
5.3 TRABAJO DE LABORATORIO	20
5.4 PROCESAMIENTO ANALITICO DE LA INFORMACION	21
6.- RESULTADOS Y DISCUSION	22
6.1 DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA DEL BOSQUE	22
6.1.1 Bosque de Encino	22
6.1.2 Bosque de Oyamel	23
6.2 IDENTIFICACION TAXONOMICA	24
6.3 COBERTURA DE LIQUENES	25
6.4 COMPORTAMIENTO GLOBAL DE LOS PARAMETROS METEOROLOGICOS	29
6.4.1 Temperatura	29
6.4.2 Humedad Relativa	31
6.4.3 Precipitacion	31
6.4.4 Vientos	31
6.5 CLASIFICACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN BASE AL ANALISIS INTERSITIOS DE CUMULOS	33
6.6 CARACTERIZACION DE ZONAS DE ACUERDO A LA PRESENCIA DE METALES	41
6.6.1 Zona de Referencia y zona Este	41
6.6.2 Zona Norte y zona Oeste	49
6.6.3 Zona Sur	50
6.7 COMPORTAMIENTO DEL PLOMO EVALUADO CON MONITORES DE ALTOS VOLUMENES	53
7.- CONCLUSIONES	64
8.- REFERENCIAS	67
ANEXO 1: DIAGNOSIS DE ESPECIES	
ANEXO 2: REGISTROS METEOROLOGICOS	
ANEXO 3: VALORES NOMINALES DE CONCENTRACION DE METALES	

RESUMEN

Se eligieron 4 zonas boscosas alrededor de la Ciudad de México: al Norte, el Pico Tres Padres; al Suroeste, el Desierto de los Leones; al Este, Zoquiapan y al Oeste, San Francisco Chimalpa. También se consideró "El Chico", en el estado de Hidalgo, como zona de referencia o control.

Se analizó la estructura de los bosques, así como su cobertura arbórea y líquénica.

Se cuantificaron las concentraciones de los metales: Pb, Cu, Zn, Cd, Cr, Fe, Ca y K, contenidas en 6 especies de líquenes foliosos epifitos de los géneros *Parmelia* y *Parmotrema*, durante 4 periodos trimestrales: en mayo, agosto y noviembre de 1970, y en febrero de 1971. Con esto, se realizó un análisis multivariado de cúmulos: interelementos (entre metales) e intersitios (entre zonas).

Se compararon los niveles de plomo en los líquenes, con los registros de la concentración de este metal en algunas estaciones de SEDUE-SEDESOL.

Los líquenes foliosos pertenecientes al género *Parmotrema*, son los más apropiados para realizar estudios de biomonitorio en la ZMCM, debido a su abundancia y a su distribución.

A partir del análisis intersitios, se establecieron 3 regiones en la ZMCM, bien diferenciadas estadísticamente, en cuanto a la ocurrencia de metales pesados: la zona Este, sin contaminación; la zona Norte-Oeste, semicontaminada y la zona Sur-Oeste, muy contaminada.

El plomo, el cobre, el zinc y el cromo son los metales que alcanzan grados contaminantes en la ZMCM, de acuerdo a las concentraciones encontradas en el talo de los líquenes.

El patrón anual de vientos predominantes en el Valle de México y la precipitación pluvial, son los factores principales en la distribución de los metales pesados en la Ciudad de México.

Aunque los monitores de SEDUE-SEDESOL registran los niveles de plomo, derivados de emisiones locales, ya sea móviles o puntuales, los líquenes presentan una distribución regional del metal y su grado de afectación, en condiciones naturales. Así, si su ocurrencia temporal obedece, más bien a factores meteorológicos y a factores intrínsecos de la fisiología de los líquenes, su uso es recomendable debido a su amplia capacidad para acumular iones metálicos en sus paredes celulares.

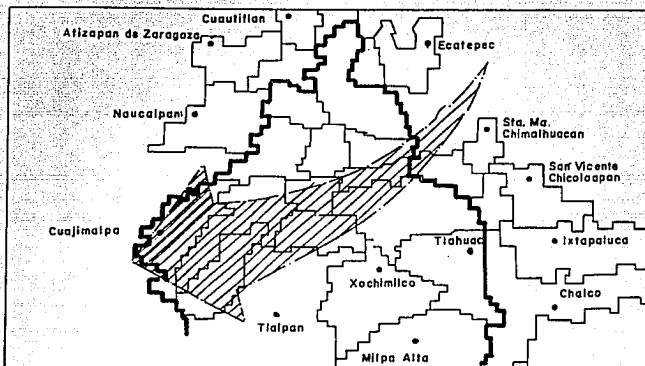
1. INTRODUCCION

El problema de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México es consecuencia de un crecimiento acelerado, durante el cual, no ha sido posible una planificación social y estructural adecuada, lo cual, ha conducido a una excesiva concentración de todo tipo de actividades urbano-industriales y por lo tanto, al fomento de un asentamiento humano superior al que puede soportar una región cuya geografía la hace poco propicia para asimilar los impactos que se originan de la diaria interacción ecosistema-antroposistema, dando origen a una zona que crece principalmente hacia el norte del Valle de México y que se conoce como la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), la cual se extiende unos 1250 Km² y soporta una población de alrededor de 19 millones de habitantes (Ward, 1987), ocupando primordialmente el Distrito Federal y parte del Estado de México.

Existen 30 mil industrias y 3 millones de automóviles aproximadamente, que generan anualmente casi 5 millones de toneladas de contaminantes atmosféricos; entre los que se pueden mencionar los óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, monóxido de carbono, metales pesados y otros productos nocivos resultantes de los procesos industriales y de la deficiente combustión de hidrocarburos; 570 mil toneladas provienen de la industria, 4 millones son causadas por fuentes móviles y el resto corresponde a fenómenos naturales (SEDUE, 1988), lo cual indica que, supuestamente, los vehículos automotores contribuyen con 70% al total de la contaminación, sin embargo, la industria concentrada en la zona metropolitana, también genera altísimas concentraciones de contaminantes.

Las fuentes fijas de emisión son, principalmente, las industrias: química, fundición del hierro y acero, textil, minera, hulera, papelera, alimenticia, vidriera, de plásticos, metalmecánica, de asfalto, de grasas y aceites, cementera, petroquímica y de refinación (SEDUE, 1985).

Estas emisiones son relativamente constantes a lo largo del año, por lo que las variaciones de concentraciones de contaminantes en el aire son importantes y directamente relacionadas con las condiciones meteorológicas prevalecientes. Así, la región se ve afectada por un patrón común de movimiento de masas de aire durante la mayor parte del año (Figura 1), cuya resultante es marcadamente desfavorable al Distrito Federal (SEDUE, 1988).



**Fig 1. PATRON ANUAL DE VIENTOS PREDOMINANTES
EN EL VALLE DE MEXICO**
(TOMADO DE SEDUE, 1988)

La importancia de la evaluación de la contaminación atmosférica radica, en el hecho de que ésta no sólo significa un deterioro de las condiciones naturales del entorno, sino una amenaza a la salud humana y a la calidad de vida de la población; además, de la cancelación de opciones productivas.

Para conocer la calidad del aire en la ZMCM, se inició en 1972, la medición sistemática de contaminantes, al establecerse una red manual de monitoreo ambiental, que medía los niveles de bióxido de azufre, ozono y el material particulado. A partir de 1985, se puso en operación la red automática de monitoreo ambiental, integrada por 25 estaciones que miden el contenido en el aire de bióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y partículas suspendidas (entre éstas últimas se consideran las partículas metálicas) (SEDUE, 1988).

Así, para lograr un correcto monitoreo de las condiciones atmosféricas, se requiere de una extensa red de estaciones que proporcionen datos confiables, y esto implica la utilización de equipos sofisticados y costosos; además, de un gran número de muestras y períodos prolongados de evaluación, lo cual justifica en gran medida el uso de fuentes alternativas para la medición de la calidad del aire.

Una alternativa viable para el monitoreo de la calidad del aire en la ZMCM la constituye el monitoreo biológico, mediante la utilización de líquenes como biomonitores de metales pesados. Estos son reconocidos por su capacidad para captar y acumular iones metálicos de la atmósfera, por lo que son valiosos indicadores geológicos y biológicos de diferentes tipos y grados de contaminación ambiental (Hale, 1973; Fuchs y Garty, 1983; Coutiño, 1986; Schwartzman et al, 1987; Laurey y Hale, 1988; Muir y McCune, 1988). Esto se debe a sus características metabólicas, a su lenta tasa de crecimiento y a su longevidad, lo cual les permite incorporar el agua, los minerales disueltos y las micropartículas metálicas, aunque no de forma exclusiva, de la atmósfera (Tuominen y Jaakkola, 1973).

Los líquenes se deben clasificar dentro del Reino Fungi. Son 2 organismos, un hongo y un alga, que viven en una simbiosis mutualista, en la cual, ambos se benefician. Al componente fúngico se le llama micobionte (Gr. mykes = hongo + bios = vida) y el componente algal es llamado ficobionte (Gr. phykos = alga + bios = vida). La mayoría de los micobiontes son hongos Ascomicetos, y unos pocos Basidiomicetos o Deuteromicetos. El ficobionte en la mayoría de los líquenes es una alga verde (clorofita) del género *Trebouxia*, aunque también se han encontrado *Pseudotrebouxia*, *Chlorococcus* y *Pleurococcus*, entre otras, y en algunos casos, algas verde-azules (cianofitas) de los géneros *Nostoc*, *Scytonema*, *Stigonema* y *Calotrix* (Alexopoulos, 1979; Bold, 1980; Ulloa y Hanlin, 1978).

Basándose en su forma de crecimiento, los líquenes son agrupados en: gelatinosos, foliosos, costrosos y fruticosos; estos últimos pueden separarse en arbustivos y pendulares.

Los líquenes de aspecto gelatinoso y blando (debido a una especie de mucilago que secretan las algas) presentan una distribución homogénea de los componentes algal y fúngico, es decir, que se mezclan entre sí sin un orden aparente; son especies muy dependientes de la humedad e incapaces de soportar condiciones de fuerte desecación. En los otros 3 tipos de líquenes se distingue una distribución heterogénea o estratificada de los componentes algal y fúngico; poseen una corteza superior formada por tejido fúngico y células algales, una médula formada por hifas del hongo, y una corteza inferior provista de rizinas con las que se sujetan al sustrato.

Los líquenes foliosos tienen aspecto de láminas aplanadas semejando hojas, están adheridos al sustrato de forma laxa mediante pequeñas prolongaciones de la corteza inferior llamadas rizinas, y se les encuentran generalmente sobre la corteza de los árboles y sobre el

suelo. Los costrosos se encuentran estrechamente adheridos al sustrato; los fruticosos poseen un talo ramificado que puede ser aplanado o cilíndrico, viven colgando de la corteza de los árboles, sujetándose, a veces, mediante un órgano de fijación basal (Cantoral, 1986).

La reproducción sexual de los líquenes se realiza mediante esporas que son expelidas sin células algales, por lo que al germinar deberán encontrar un alga a corto plazo para poder formar el líquen. La reproducción asexual se lleva a cabo mediante la liberación de pequeños propágulos vegetativos únicos en los líquenes, que pueden ser de 2 tipos diferentes: isidios (protuberancias en forma de dedos), o soredios (en forma de polvo); ambos son pequeñas estructuras que contienen unas cuantas células algales en el centro y están rodeadas por una masa de hifas del hongo.

La importancia que tienen los líquenes como indicadores de contaminación ambiental ha sido bien documentada en los últimos años, pero además, desempeñan un importante papel ecológico en la naturaleza: son productores primarios debido a que poseen un componente fotosintético (ficobionte), por lo que pueden crecer sobre áreas improductivas (en las rocas, por ejemplo) (Bold, 1980), y también, intervienen en un proceso de sucesión ecológica como formadores de suelos (Syers e Iskandar, 1973).

Han demostrado su utilidad antibiótica y medicinal por diversos grupos étnicos del mundo. En México son empleados por indígenas y mestizos en Chihuahua, Oaxaca y Chiapas para remediar varios padecimientos, así como para teñir lanas. También son responsables de la destrucción lenta pero efectiva de las construcciones consideradas como bienes culturales, por ejemplo, las ruinas arqueológicas del sureste de México y de Centroamérica (Coutino, 1986).

Lounamaa (1956) afirma que los líquenes difieren considerablemente de las plantas superiores y de los musgos en las concentraciones de elementos traza que acumulan, pues en sus trabajos encontró que las concentraciones de Zn, Cd, Sn y Pb fueron mucho más altas en algunas especies de líquenes; Jaakkola et al., (1967) y Jaakkola, (1969) reportaron resultados muy similares con respecto al Fe; y Lange y Ziegler, (1963) para el Fe y Cu (Tuominen y Jaakkola, 1973).

Los líquenes absorben nutrientes minerales, aún por encima de sus necesidades fisiológicas, principalmente de la precipitación húmeda y seca que cae sobre la superficie del talo líquénico, sin embargo, el sustrato también puede participar, a nivel traza y dependiendo de las

condiciones del sustrato, como fuente de iones metálicos (Herrera, 1970; Nash III y Sommerfeld, 1981).

Debido a esto los líquenes epífitos son un grupo ecológico muy sensible a la contaminación atmosférica, pues al parecer, poseen una mejor capacidad de captación de contaminantes que las especies que crecen sobre el suelo u otros sustratos (Tuominen y Jaakkola *op.cit.*). Además, a diferencia de las plantas superiores las cuales presentan diversos síntomas foliares que aparecen a causa de la contaminación, los líquenes integran el resultado de largos periodos de exposición a los contaminantes, y por lo tanto, reflejan el impacto que tienen en la naturaleza a través de los años (Muir y McCune, 1988).

De esta manera la flora líquénica responde evidentemente a los altos niveles de contaminantes gaseosos como el bióxido de azufre (SO_2) entre otros, pues a largo plazo inhiben parcial o totalmente el desarrollo de comunidades líquénicas, de acuerdo principalmente, a su sensibilidad y a su ubicación dentro del área afectada por la contaminación. Esto provoca un fenómeno que se conoce como "desierto líquénico", es decir, la ausencia total de especies líquénicas en lugares muy urbanizados y expuestos a la constante depositación de partículas atmosféricas (Gilbert, 1973). Por ello los "desiertos de líquenes", propios de las urbes, pueden ser un índice del impacto de la contaminación en las ciudades.

Un biomonitor puede definirse como un organismo que funciona como reservorio de partículas atmosféricas, así, los líquenes y los musgos tienen paredes celulares con una alta afinidad a los cationes metálicos, lo cual los mantiene por fuera de los procesos metabólicos del organismo y por lo tanto son almacenados como tales en su talo. Además, poseen la característica de tener una alta relación de superficie/volumen, que los convierte en excelentes áreas de impactación de aeropartículas.

Considerando que en los últimos años el uso de líquenes como biomonitores de contaminación ambiental se ha desarrollado ampliamente en países como Canadá, Inglaterra e Israel, los alcances a los que pretende llegar este trabajo son, en primer término, ofrecer un panorama regional de la presencia y el desplazamiento de los metales pesados en la atmósfera de la Ciudad de México por este medio, y en segundo término, inferir sobre la confiabilidad de este método en comparación con los equipos de muestreo convencionales usados en la Red de Monitoreo de SEDUE-SEDESOL.

De acuerdo a la definición y a las características de los biomonitores que presenta Zambrano (1991), este estudio puede ubicarse

dentro de la categoría de biomonitoreo espacial regional con especies locales, ya que pretende explicar en un periodo breve y reciente las diferencias de concentración y tipos de contaminantes en organismos de distintas localidades como función de las fuentes emisoras y las condiciones meteorológicas.

Debido a que los bosques donde se pueden encontrar los líquenes están ubicados en la periferia de la ZMCM, el estudio se orientó hacia estas zonas, considerando que los líquenes foliosos con mayor abundancia y distribución, que mejor se apegaron a las necesidades de este estudio fueron de los géneros *Parmelia* y *Parmotrema*.

2. ANTECEDENTES

7

Gilbert (1973) menciona que Nylander (1866), fue el primero en sugerir, hace más de 100 años, que la ausencia de líquenes en los jardines de Luxemburgo, en París, se debió a la contaminación del aire; en Escandinavia, Serander (1912,1926), parece ser el primero en reconocer un desierto de líquenes haciendo un mapeo de zonas con especies epífitas en Estocolmo; Haugsja (1930) lo hizo en Oslo y Vaarna (1934) en Helsinki. También en Europa se hicieron estudios similares entre 1930 y 1960 como los de Vareschi (1936,1953), Mattick (1937), Felföldy (1942), Almborn (1943), Sauberer (1951), Jones (1952) y Barbalic (1953).

En la década de los sesentas Tallis (1964), Fenton (1964), Skye (1964) y Gilbert (1965) esclarecieron que el SO_2 (bióxido de azufre) es el contaminante involucrado en la formación de desiertos líquénicos en Inglaterra, mientras que Brodo (1961) y Schönbeck (1969) desarrollaron estudios experimentales con trasplantes de líquenes para estimar la contaminación atmosférica (Gilbert *op cit.*).

Hawksworth y Ross en 1970, describieron 5 tipos de estudios con líquenes para evaluar la contaminación ambiental:

1. Mapeo de distribución de especies seleccionadas.
2. Trasplantes de líquenes para biomonitoreo.
3. Índices de Pureza Atmosférica (IAP) representados por la riqueza de la flora líquénica.
4. Escalas del número total de especies y vitalidad para determinar niveles de contaminación regional.
5. Estudios del daño a la flora líquénica y de procesos de absorción de contaminantes (Herrera, 1990).

Gilbert (1973) afirma que el tamaño y la forma de un área afectada por la contaminación puede ser evidenciada rápida y económicamente por mapeo de especies indicadoras. El SO_2 afecta los mecanismos de propagación de los líquenes, la eficiencia para incorporar substancias de la atmósfera y acelera la senescencia (envejecimiento). En áreas contaminadas se ha observado una acidificación de las cortezas de los árboles, lo cual impide que se desarrollen comunidades epífitas. Propone que la resistencia de los líquenes es diferencial y gradual de acuerdo a la forma de crecimiento de la siguiente manera: de mayor a menor,

fruticosos > foliosos > costrosos

Se han realizado otros estudios para determinar el efecto del ozono y la lluvia ácida sobre la fotosíntesis en líquenes, como los de Moser et al., (1983) con *Lobaria oregana* y *Peltigera aphthosa*; Ross y Nash III (1983) con *Pseudoparmelia caperata* y *Ramalina menziesii*; Sigal y Johnston Jr. (1986) con *Lobaria pulmonaria*.

Addison (1984) evaluó el impacto de las actividades de extracción petrolífera en varias especies líquénicas en Alberta, Canadá; se determinó la cobertura y la frecuencia de las especies utilizando una técnica fotográfica para comparar el impacto de los contaminantes en un periodo de 3 años.

Los 2 tipos de estudios que se han usado principalmente para el análisis del contenido elemental en líquenes son: los trasplantes para biomonitoreo de zonas específicas donde existen fuentes puntuales de contaminación, y la cuantificación de las concentraciones acumuladas por los líquenes colectados *in situ* directamente de zonas en donde se desea conocer la calidad del aire a nivel regional.

Con respecto a los estudios con trasplantes, se encuentran los de Gailey y Lloyd (1983) en Escocia con el líquen *Lecanora conizaeoides* y Gailey et al., (1985) con *Hypogymnia physodes* que establecieron patrones de depósito (deposición) de metales atmosféricos con el fin de hacer un mapeo de la concentración de los contaminantes. Estos autores evaluaron las cantidades de Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni y Cd.

Las diferencias en el contenido de metales, según Gailey et al. (1985), puede deberse a características inherentes a los líquenes, como son su tasa metabólica y de crecimiento, y a otros factores como la edad, la incorporación preferencial de diferentes metales y el estado de salud del líquen. También las condiciones meteorológicas, principalmente la lluvia y los vientos, pueden alterar las concentraciones de metales.

Fuchs y Garty (1983) y Garty (1987) también hicieron trasplantes en Israel, usando *Ramalina duriaei* para evaluar las cantidades elementales y hacer comparaciones estadísticas entre elementos, entre periodos y entre sitios en el primero, y análisis de cúmulos en el segundo.

Thompson et al., (1987) analizaron, también en Israel, 16 elementos con la misma especie y además utilizaron *Parmelia praesorediosa*. Las pruebas estadísticas incluyeron un análisis multivariado (ANOVA) y un análisis de discriminación, los cuales mostraron una diferencia significativa entre el contenido elemental y las 2 especies.

Para los estudios de acumulación de contaminantes *in situ*, se puede mencionar el trabajo de Nash III y Sommerfeld (1981), que compararon las concentraciones de B, Ba, Cu, F, Li, Mn y Mo en 6 especies diferentes de líquenes cerca de una planta de energía en Nuevo México. Establecieron que hay una variación en la composición elemental con respecto a la forma de crecimiento de los líquenes, por esto, es necesario considerar, si no la misma especie, por lo menos la misma forma de crecimiento en estos estudios.

Garty y Ammann (1987) midieron las cantidades de Ni, Cr, Zn, Pb, Cu, Fe y Mn en 7 especies diferentes de líquenes en Suiza e hicieron comparaciones estadísticas entre elementos, entre sitios y entre especies para determinar las relaciones que existen entre ellos. Al hacer comparaciones "intersitios" encontraron que puede haber una alta variabilidad de las cantidades elementales entre dos poblaciones de la misma especie creciendo en el mismo hábitat. También concluyeron que el obtener altos coeficientes de variación, significa que puede haber una baja dispersión de las partículas metálicas en el aire.

Mueller et al., (1987) midieron la variación espacial y temporal de Al, V y Mn en el líquen *Ramalina stenospora* en los alrededores de un complejo industrial en Louisiana, E.U., reportando el rango de las concentraciones de acuerdo a la distancia, y concluyeron que la concentración de metales decrece exponencialmente con la misma.

Schwartzman et al., (1987) midieron los niveles de Po^{210} , Pb, Cd, Zn y V en el crecimiento secuencial de *Pseudoparmelia baltimorensis* en Washington D.C. y encontraron que la eficiencia de captación del plomo atmosférico, por ejemplo, varía de acuerdo a la edad de la colonia y se puede calcular según la tasa de deposición atmosférica de isótopos como el Po^{210} .

En México, el estudio de los líquenes en este aspecto, comenzó hace pocos años con los trabajos de Cantoral (1986) en el Desierto de los Leones; Vilaclara y Cantoral (1986) en el Valle de México y recientemente el de Herrera (1990) en el Volcán Ajusco.

Por otro lado, Durán y Rivera (1982) y Zambrano (1991), han utilizado musgos como biomonitores de contaminación atmosférica en el Valle de México.

3. OBJETIVOS

- 3.1 Identificar las áreas con mayor presencia de metales pesados alrededor de la ZMCM, utilizando líquenes foliosos epifitos.**
- 3.2 Comparar los niveles de plomo evaluados en los líquenes y las concentraciones encontradas en filtros muestreados con monitores de altos volúmenes PST y PM10 de SEDUE-SEDESOL.**

4. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO

La ZMCM se sitúa dentro de la cuenca del Valle de México que se localiza en la parte central de la República Mexicana, en el extremo meridional de la provincia fisiográfica llamada Altiplanicie Mexicana y sus coordenadas geográficas son: $19^{\circ}03'53''$ y $20^{\circ}11'09''$ de latitud norte, y $98^{\circ}11'24''$ de longitud oeste.

Geográficamente forma parte de la faja neovolcánica transmexicana, que es una cadena montañosa discontinua alineada de E-W y las sierras principales que rodean la cuenca, en donde se encuentran mejor representados los bosques de oyamel, son: al Este, la Sierra Nevada y la Sierra de Río Frío; al Oeste, la Sierra de las Cruces y las serranías de Monte Alto y Monte Bajo; al Sur, la Sierra del Chichinautzin y al Norte, las Sierras de Guadalupe y Patlachique (Figura 2) (Zambrano, 1991).

La cuenca de México, tiene forma elipsoide alargada con orientación NE-SW, con una extensión amplia hacia el noreste. Presenta un eje N-S de 125 Km. y otro eje E-W de 80 Km. aproximadamente ocupando una superficie de 9600 Km^2 (Pérez-Silva, 1989).

Dentro de la Cuenca de México queda incluido prácticamente todo el Distrito Federal, cerca de la cuarta parte del Estado de México, 7% del Estado de Hidalgo y pequeñas extensiones de los estados de Tlaxcala, Puebla y Morelos (Figura 3 B) (Rzedowsky y Rzedowsky, 1979).

Segun el sistema de Köppen (1936) que se basa tanto en la precipitación como en la temperatura, el clima de gran parte de la cuenca de México es templado subhúmedo (Cw). Sin embargo debido al decrecimiento de las lluvias hacia el centro del Valle, el clima de los alrededores del Este de la Ciudad de México, tiene ya características semiáridas, es decir, entra en la categoría de clima seco BS (Figura 3) (Reyna, 1989).

Por su posición geográfica y su particular topografía, la cuenca se ve afectada por sistemas de circulación atmosférica que definen claramente 2 épocas: la húmeda y la seca. La temporada de lluvias abarca los meses de mayo a octubre, en los demás, sólo se registran lluvias aisladas; y el período seco comprende de noviembre a abril. Los meses con promedios de humedad relativa más baja son: de enero a abril y parte de mayo. En cuanto a los vientos, durante febrero y marzo presentan sus máximas velocidades con una dirección anual NE-SW (Rosales, 1985).



Fig. 2. UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO
 A : REPUBLICA MEXICANA
 B : CUENCA DEL VALLE DE MEXICO
 C : AREA DE ESTUDIO

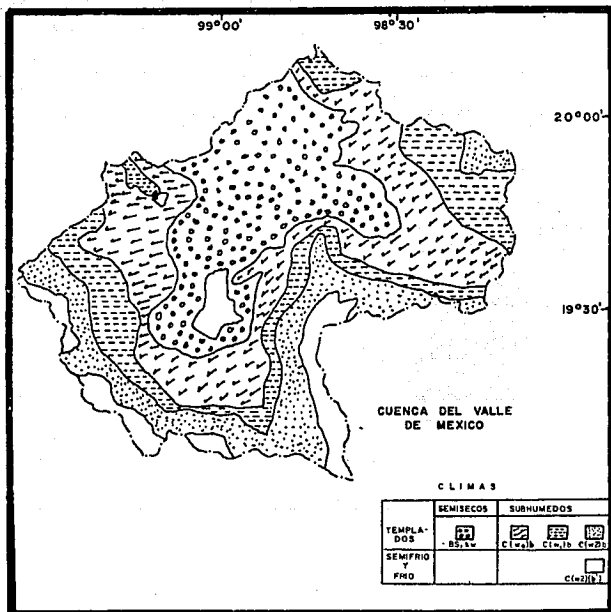


Fig 3 TIPOS DE CLIMA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO (TOMADO DE REYNA, 1989)

En base al análisis horario de la dirección y velocidad del viento superficial, durante 2 meses de lluvias y 2 de secas, Herrera (1970) encontró que el viento dominante en la porción Sur de la cuenca tiene una componente NE-SW con velocidades promedio entre 0.14 y 5.14 m/s.

Rzedowsky (1979) consideró para el Valle de México 11 tipos de vegetación, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Bosque de *Abies* (oyamel)
- Bosque mesófilo de montaña (caducifolias)
- Bosque de *Pinus* (ocote)
- Bosque de *Quercus* (encino; en zonas montañosas de la cuenca)
- Bosque de *Juniperus* (enebro)
- Matorral de *Quercus* (encino de 40-80 cm.)
- Pastizales
- Matorrales espinosos (xerófitas)

La presencia de bosques de oyamel en la cuenca del Valle de México, está determinada por el tipo de suelo y el clima, sobre todo por la precipitación y la temperatura; por lo tanto, sus características son más bien templadas que tropicales. De acuerdo a Cardoso y García (1982) les corresponde el tipo climático Cw₂b, templado con lluvias en verano y temperatura media del mes más caliente menor a 22°C (Zambrano, 1991).

5. DESARROLLO DEL ESTUDIO

5.1 AREA DE ESTUDIO

Los lugares de muestreo, corresponden a zonas boscosas localizadas en la periferia de la Cd. de México donde se conoce la presencia de líquenes foliosos epífitos. Estas zonas, se seleccionaron de acuerdo a los cuatro puntos cardinales y se les denominará en base a este criterio: al Oeste, San Francisco Chimalpa en la Sierra de Monte Alto; al Norte, el Pico Tres Padres en la Sierra de Guadalupe; al Este, Parque Nacional de Zoquiapan en la Sierra de Río Frío y al Suroeste, el Parque Nacional del Desierto de los Leones en la Sierra de las Cruces (Tabla 1, Figura 4). Como Zona de Referencia o Control, se eligió el Parque Nacional "El Chico", Hgo., lugar donde no se conoce la presencia de contaminantes atmosféricos y existe una gran abundancia de flora líquénica.

Es necesario indicar, que para fines prácticos en la distribución de las zonas elegidas de acuerdo a los puntos cardinales, el Desierto de los Leones, que se localiza al Suroeste de la Ciudad de México, en este trabajo se le considerará como Zona Sur.

TABLA 1. DESCRIPCION DE LAS ZONAS DE MUESTREO

LOCALIDAD	UBICACION GEOGRAFICA	ALTITUD (m.s.n.m.)	TIPO DE VEGETACION
ZONA REFERENCIA (EL CHICO, HGO.)	98°43' - 98°44' 20°10' - 20°11'	2,950	BOSQUE DE ABIES
ZONA NORTE (PICO 3 PADRES)	99°06' - 99°07' 19°35' - 19°36'	2,900	BOSQUE DE QUERCOS
ZONA SUR (DES. DE LEONES)	99°20' - 99°17' 19°20' - 19°15'	3,200	BOSQUE DE ABIES
ZONA ESTE (ZOQUIAPAN)	98°43' - 98°46' 19°21' - 19°23'	3,300	BOSQUE DE ABIES
ZONA OESTE (S. F. CHIMALPA)	99°23' - 97°21' 19°25' - 19°28'	3,050	BOSQUE DE ABIES

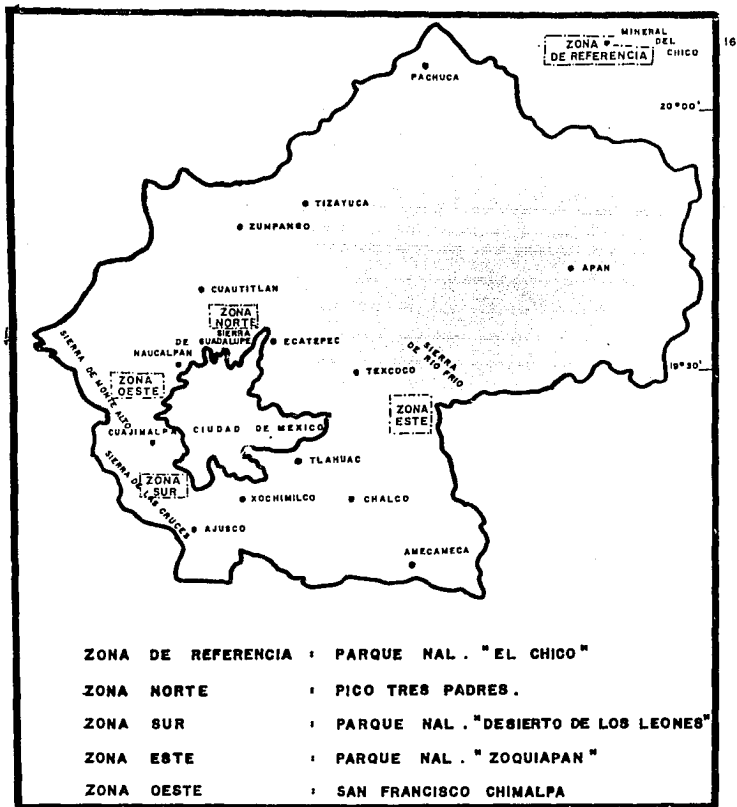


Fig 4. MAPA DE LOCALIZACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Por lo que toca al tipo de sustrato, las muestras fueron tomadas, a excepción de la Zona Norte, de comunidades de Oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schl.) por ser éstas, las mejor representadas en la periferia de la ZMCM. Al Norte, la vegetación boscosa más próxima a la mancha urbana es la de Encino (*Quercus sp.*) ubicada en la Sierra de Guadalupe.

La selección del organismo biomonitor se llevó a cabo siguiendo las características mencionadas por Nash III y Sommerfeld (1981) relacionadas con una amplia distribución, misma especie, género o por lo menos forma de crecimiento entre las zonas de estudio, considerándose que los organismos que mejor se apegaban a estas condiciones, fueron los ejemplares de los géneros *Parmelia* y *Parmotrema*.

5.2 TRABAJO DE CAMPO

5.2.1 Estructura del bosque

Con el fin de trabajar con una muestra estadísticamente significativa, se definió el Área mínima de muestreo que representara adecuadamente, la composición específica de la comunidad (Franco et al., 1985).

La estructura del bosque se caracterizó de acuerdo al método del cuadrado o cuadrantes (Franco et al., 1985). Estos tuvieron un Área de 15×15 m. (225 m^2), con tres réplicas al azar, siguiendo las recomendaciones de Müller-Dombois y Ellenberg (1974), para bosques templados. Las características de la comunidad definidas por este método fueron: Densidad, Cobertura, Alturas y Perímetros (Zambrano, 1991).

La densidad se definió como el número de individuos por hectárea, para obtener estos valores, se hizo un conteo de los individuos en cada uno de los 3 cuadrantes, es decir, en un Área de 225 m^2 , para luego extrapolarlo al tamaño de una hectárea:

$$d = i/225$$

donde: d es la densidad en los 3 cuadrantes; i el número de individuos en dichos cuadrantes y 225 el Área de éstos. Así, el número de individuos en dicha Área de 225 m^2 , se extrapoló luego, al tamaño de una hectárea ($10\ 000 \text{ m}^2$).

La cobertura arborea total por localidad, se obtuvo de la siguiente manera: se midieron los diámetros cruzados de la base de la copa y se calculó con esta fórmula:

$$cc = [(D_1 + D_2) / 4]^2$$

donde: cc es la cobertura y D_1 y D_2 son los diámetros de la base de la copa. Con esto, se calculó la cobertura en cada cuadro:

$$CC = (\sum cc / 225) 100$$

donde: CC es la cobertura por cuadro; cc la cobertura de cada individuo y 225 es la superficie del cuadro en m^2 , y finalmente, se promediaron los 3 cuadros.

La altura de los árboles se midió por triangulación, con ayuda de un clinómetro, mediante la siguiente fórmula:

$$h = \tan \theta (a)$$

donde: h es la altura del árbol; θ el valor del ángulo opuesto a h y (a) es el cateto adyacente al ángulo. El valor de este cateto, es igual a la distancia de la base del árbol al punto donde se mide el ángulo.

Los perímetros se midieron con una cinta métrica a una altura de 1.50 m., y con esto, se calculó el diámetro de los troncos mediante esta fórmula:

$$D = P / \pi$$

donde: D es el diámetro del tronco y P es el perímetro medido. El diámetro de un tronco nos puede hablar sobre la edad del árbol y así, inferir sobre la edad aproximada del bosque.

5.2.2 Cobertura de líquenes

En cada árbol muestreado y con la ayuda de una cinta métrica y una brújula se evaluó la cobertura y orientación de líquenes del mismo taxón en cada una de las zonas, utilizando el método de Intercepción en Línea (Line-Intercept Method) desarrollado por Canfield en 1941 (modificado al perímetro de un árbol) (Franco et al., 1985), el cual, es comparable al utilizado por Muir y Mc Cune en 1988 para evaluar la

cobertura por clases de líquenes epífitos. Este método se basa en establecer, a una altura de 1.50 m., una línea de longitud determinada alrededor del árbol con la cinta métrica, a través de la cual se registra la presencia por taxa, sin importar si se trata de líquenes individuales o agrupaciones, orientando el cero de la cinta métrica siempre hacia el norte.

5.2.3 Muestreo

Se realizaron 4 campañas de muestreo trimestrales, durante un año, de tal forma que: 2 corresponden a la temporada de lluvias y otras 2 a la temporada seca, con lo que se pretende detectar las posibles diferencias que se presentan en ambas épocas del año.

Los primeros 3 muestreos se hicieron en mayo, julio-agosto y noviembre de 1990 respectivamente, y el último en enero-febrero de 1991 (Tabla 2).

TABLA 2. CALENDARIO DE LOS PERIODOS DE MUESTREO

LOCALIDAD	PERIODOS DE MUESTREO			
	1	2	3	4
ZONA REFERENCIA (EL CRICO, EGO.)	5-MAYO-1990	2-AGOSTO-1990	8-NOVIEMBRE-1990	29-ENERO-1991
ZONA NORTE (PICO 3 PADRES)	30-MAYO-1990	6-AGOSTO-1990	9-NOVIEMBRE-1990	1-FEBRERO-1991
ZONA SUR (DES. DE LEONES)	6-MAYO-1990	30-JULIO-1990	5-NOVIEMBRE-1990	28-ENERO-1991
ZONA NESTE (COQUIAPAN)	15-MAYO-1990	31-JULIO-1990	7-NOVIEMBRE-1990	30-ENERO-1991
ZONA OESTE (S. F. CHINALPA)	17-MAYO-1990	1-AGOSTO-1990	6-NOVIEMBRE-1990	31-ENERO-1991

Para el muestreo de líquenes, se marcaron 100 árboles al azar en cada localidad. El número de árboles por muestra fue de 5 para asegurar un volumen de 3 gr. (peso húmedo) de líquen en cada uno de los periodos de muestreo, lo que hace un total de 20 muestras por zona.

La colecta de organismos siguió las recomendaciones de Coutinho (1986), y para su identificación se utilizaron las claves de Hale, (1979) y Hale y Cole, (1988).

5.3 TRABAJO DE LABORATORIO

Los metales que se analizaron a partir de los líquenes, fueron: plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), cadmio (Cd), cromo (Cr), hierro (Fe), calcio (Ca) y potasio (K). Los 5 primeros se consideraron como metales pesados, que pueden llegar a ser contaminantes en altos niveles, y los 3 últimos se consideraron por ser elementos activos en los procesos fisiológicos de los líquenes (Tuominen y Jaakkola, 1973).

Las muestras de líquenes fueron limpiadas minuciosamente, removiendo todo material ajeno al talo, como residuos de sustrato, tierra, musgos e insectos.

Estas no se lavaron con el objeto de considerar, tanto los metales asociados químicamente al talo (adsorbidos), como los atrapados físicamente por el mismo (adsorbidos) (Gailey et al., 1985).

Después, fueron secadas a temperatura ambiente y pesadas a peso constante a 100°C, durante una hora (APHA, 1985), obteniéndose muestras de 2.5 gr. aproximadamente; posteriormente, fueron calcinadas a 530°C, durante una hora.

Las cenizas obtenidas fueron digeridas con agua regia: solución concentrada de HClO₄, H₂SO₄ y HNO₃ en proporción (1:4:10) (Perkin Elmer, 1976) para ser sometidas al análisis espectrofotométrico.

Los metales Pb, Cu, Cd, Cr, Fe y Ca, fueron evaluados por el método de espectrofotometría de absorción atómica, en un equipo Perkin Elmer 5000 (Perkin Elmer, 1976). El Zn y K fueron analizados por absorción atómica, durante el primer muestreo; pero, por emisión de plasma a partir del segundo, utilizando un equipo ARL-35000-ICP (Barnes, 1978; Lawrey y Hale, 1988).

Lo anterior, se realizó con el fin de reducir el tiempo de análisis, para lo cual se llevaron a cabo pruebas estadísticas para evaluar la similitud en los resultados obtenidos, utilizando ambas técnicas (Hunt y Wilson, 1986), encontrándose que sólo en el caso del potasio y del zinc, las evaluaciones eran comparables.

Las concentraciones fueron reportadas en ppm (partes por millón) de peso seco, que es una referencia que refleja las condiciones fisiológicas naturales de los organismos (Tuominen y Jaakkola, 1973).

Por otro lado, se obtuvieron los registros diarios de temperatura, humedad relativa y precipitación existentes en la estación Tacubaya del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), durante el año que duró el estudio, esto es, de mayo de 1970 a mayo de 1971. Los datos de dirección y velocidad del viento a los que se tuvo acceso, proceden de las mediciones efectuadas por la Red Automática de

Monitoreo Atmosférico de SEDUE-SEDESOL en las estaciones de Tlalnepantla (F), Merced (X) y Pedregal (T).

También, se llevaron a cabo promedios trimestrales de las concentraciones de plomo obtenidas en 9 estaciones de la Red Manual de Monitoreo Ambiental de SEDUE-SEDESOL: Cerro de la Estrella, Comisión Federal de Electricidad, Felipe Angeles, La Villa, Merced, Museo de la Cd. de México, Pedregal, Tlalnepantla y Xalostoc, durante los cuatro periodos trimestrales del estudio, pretendiendo abarcar las zonas más cercanas a los bosques circundantes a la ZMCM. Esto, con el fin de comparar espacialmente los niveles de plomo obtenidos con los métodos estándar de monitoreo, o sea, monitores de alto volumen PST (Partículas Suspendidas Totales) y PM10 (Fracción respirable), con los niveles de plomo evaluados en los líquenes.

5.4 PROCESAMIENTO ANALITICO DE LA INFORMACION.

Se realizó un análisis multivariado de cúmulos "Cluster Analysis" con los resultados de las concentraciones de metales (ppm) en las 20 muestras evaluadas en cada una de las 5 zonas para cada período de muestreo. Con el fin de caracterizar las zonas mediante correlaciones intersitios (entre zonas) e interelementos (entre metales) (Fuchs y Garty,1983), utilizando el método "Mean link" (enlace promedio) de agrupación por distancias Euclidianas, entre pares de muestras y entre los 8 metales.

Se calculó la estadística descriptiva de los datos obtenidos, a partir del análisis de cúmulos con base en su similitud con el contenido elemental, calculándose para todos los casos: media aritmética, desviación estandar, coeficiente de variación, intervalo de confianza y valor máximo y mínimo.

Mediante mapeo de líneas de isoconcentraciones, se compararon trimestralmente los niveles de plomo, en monitores de alto volumen PST y PM10, con las concentraciones de este metal en los líquenes de las 4 zonas circundantes a la ZMCM, considerando que la Norma para Estados Unidos es de 1.5 µg/m³ (promedio de 3 meses; SEDUE,1987).

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA DEL BOSQUE

De acuerdo a las características fisiográficas de la Cuenca del Valle de México, en la porción meridional, las regiones boscosas que rodean la mancha urbana son en su mayoría bosques de oyamel, los cuales se hallan circunscritos principalmente hacia el Este, Sur y Oeste de la misma. En la región Norte, el tipo de vegetación boscosa más cercana a la influencia urbana es el bosque de encino. En el sitio de Referencia existe un bosque de oyamel similar a los de la Cuenca del Valle de México (Tabla 1).

6.1.1 Bosque de Encino.

El bosque de encino del Pico Tres Padres que se localiza al Norte del Valle de México, en la Sierra de Guadalupe a una altitud de 2,900 m.s.n.m., presentó una densidad de 696 ind/ha con promedios de altura y diámetro de los troncos de 7.5 m. y 0.18 m. respectivamente, y una cobertura del 54.4%. Los resultados en la Tabla 3 concuerdan con las descripciones de esta comunidad para el Valle de México (Rzedowski et al. 1964). Estas características en conjunto, aseguran la poca influencia de la mancha urbana que se observó sobre la comunidad del Pico Tres Padres (Tabla 3 y 4).

TABLA 3. CARACTERIZACION DE LA ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD BOSCOSEA EN LAS ZONAS DE MUESTREO

LOCALIDAD	DENSIDAD (Ind/ha)	ALTOZA (m) X ± D.E.	DIAMETRO (m) X ± D.E.	COBERTURA ARBOREA (%)	COBERTURA LIQUORICA (%)
REFERENCIA (EL CHICO, BGO.)	237	15.0 ± 4.8	0.41 ± 0.16	113.94	36.50
ZONA NORTE (PICO 3 PADRES)	696	7.5 ± 2.4	0.18 ± 0.05	54.44	8.14
ZONA SUR (DMS. DE LEONES)	215	33.5 ± 7.3	0.72 ± 0.23	132.2	4.09
ZONA ESTE (ZOQUIAPAN)	511	8.7 ± 3.0	0.21 ± 0.16	89.47	4.92
ZONA OESTE (S. F. CHIMALPA)	341	32.9 ± 7.8	0.42 ± 0.10	105.91	13.08

TABLA 4. DESCRIPCION DE LA COBERTURA LIQUENICA DE ACUERDO A SU ORIENTACION

LOCALIDAD	PERIMETRO ARBORICO TOTAL (ca)	COBERTURA LIQUENICA TOTAL (ca)	COBERTURA DE ACUERDO A LA ORIENTACION			
			ORIENTACION	COBERTURA (ca)	COBERTURA DE ACUERDO AL BOSQUE (%)	COBERTURA DE ACUERDO A LIQUENOS (%)
ZONA REFERENCIA (EL CRICO, EGO.)	11,728	4,280	NW	1,364	11.60	31.87
			SW	774	6.60	18.10
			SE	831	7.10	19.40
			NE	1,311	11.20	30.60
ZONA NORTE (PICO 3 PADRES)	6,178	503	NW	239	3.87	47.51
			SW	101	1.63	20.08
			SE	63	1.02	12.52
			NE	100	1.62	19.88
ZONA SUR (DES. DE LEONES)	18,060	890	NW	322	1.78	36.18
			SW	130	0.71	14.50
			SE	197	1.09	22.10
			NE	241	1.33	27.58
ZONA ESTE (ZOQUIAPAN)	10,543	824	NW	228	2.16	27.67
			SW	153	1.50	19.30
			SE	175	1.63	21.24
			NE	268	2.42	31.67
ZONA OESTE (S.F. CHIHUALPA)	13,165	1,722	NW	555	4.22	32.23
			SW	466	3.54	27.36
			SE	392	2.98	22.59
			NE	309	2.30	17.82

6.1.2 Bosque de Oyamel.

La estructura del bosque de las comunidades de oyamel estudiadas, comunidad vegetal más conspicua de todas las que habitan en el Valle de México (Rzedowski et al., 1964), mostró las siguientes características: el bosque más cercano a la mancha urbana con la densidad más alta fue el Parque Nacional de Zoquiapan (Zona Este) con 511 ind/ha. el cual, además, presentó los promedios de altura, diámetro del tronco y cobertura arbórea más bajas de todas las zonas muestreadas (Tabla 3), concluyendo que la zona en cuestión tiene poco tiempo de establecida. Rzedowski et al. (1964), consideran que esta condición en una comunidad vegetal, se debe a que en alguna época fue perturbada y se encuentra en periodo de recuperación.

Por otro lado, la densidad más baja se encontró en el Desierto de los Leones (Zona Sur) con 215 ind/ha, este último valor coincide con las condiciones de esta zona, reconocida por su grave deterioro ecológico debido a la contaminación y a la tala inmoderada de la que es objeto (Cantoral, 1986). Sin embargo, se observó que los valores de altura, diámetro del tronco y cobertura arbórea resultaron ser los más altos, lo cual indica que es una comunidad establecida hace mucho tiempo. En cambio, en el Parque Nacional Zoquiapan (Zona Este), se

hallaron los valores más bajos de los reportados en este estudio (Tabla 3), para el bosque de oyamel.

En cuanto a lo encontrado en San Francisco Chimalpa (Zona Oeste), en la Tabla 3, se observa que los valores de densidad, altura, y diámetro del tronco ocupan el segundo lugar, de mayor a menor, de los valores reportados para cada una de las zonas; y la cobertura arborea, ocupa el tercer lugar.

El Parque Nacional "El Chico", Hgo. (Zona de Referencia), es un bosque alejado de toda contaminación urbana conocida, el cual presentó a excepción de la Zona Sur, la densidad más baja. En cuanto a la altura y el diámetro del tronco, presenta valores intermedios entre los sitios localizados en la periferia de la Ciudad, lo que podría interpretarse como una zona que se halla actualmente, en período de maduración. El diámetro promedio es aproximadamente 50% menor a lo encontrado en la zona de mayor valor (Desierto de los Leones), lo que confirma la condición antes mencionada.

6.2 IDENTIFICACION TAXONOMICA

Durante el primer muestreo los organismos fueron colectados considerando su abundancia en el área y su forma de crecimiento; además de llevar a cabo un reconocimiento preliminar de los caracteres morfológicos más conspicuos, con el fin de tratar de obtener los mismos géneros para todos los sitios.

Para la identificación de las especies de líquenes colectados, se siguieron las claves y las descripciones de Coutiño y Mojica (1982); Hale (1979) y Hale y Cole (1988), que se basan fundamentalmente, en los caracteres morfológicos observados directamente al microscopio estereoscópico. Además, en este estudio se realizaron únicamente pruebas químicas de color y pruebas de microcristalización, debido a los recursos con los que se contaban, lo cual según Hale (1979), es suficientemente válido para evidenciar la presencia de sustancias propias de las especies conocidas, y con esto, apoyar la identificación de los ejemplares.

Sin embargo, se sabe que actualmente existen otros métodos de análisis para identificar las sustancias contenidas en el talo líquénico, que son más precisos y facilitan la labor taxonómica: cromatografía en papel y en capa fina, así como, análisis de fluorescencia, los cuales no se pudieron realizar por la limitación de recursos.

Se identificaron 6 especies de líquenes pertenecientes a la familia Parmeliaceae. Su diagnosis se incluye en el anexo 1 y su presencia en los sitios estudiados, es la siguiente:

	REFERENCIA	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
<i>Parmelia rudecta</i>		*			
<i>Parmelia subrudecta</i>					*
<i>Parmotrema arnoldii</i>	*		*		
<i>Parmotrema periatum</i>		*			
<i>Parmotrema reticulatum</i>	*		*	*	
<i>Parmotrema stuppeum</i>	*			*	

Para la selección del organismo biomonitor, se siguió el criterio de misma forma de crecimiento (Nash III y Sommerfeld, 1980), ya que no pudo encontrarse el mismo género en los 5 sitios. Se utilizaron 2 géneros: *Parmelia* en las zonas Norte y Oeste, y *Parmotrema* en las zonas Norte, Sur, Este y en la zona de Referencia.

De hecho, *Parmotrema arnoldii*, fué utilizada como organismo biomonitor en el Desierto de los Leones por Cantoral (1986), obteniendo resultados congruentes con respecto a su comportamiento como indicador de contaminación atmosférica por plomo y por ser una especie resistente, de acuerdo a sus resultados.

6.3 COBERTURA DE LIQUENES

La cobertura de líquenes sobre la corteza de *Abies religiosa* y *Quercus sp.* en cada una de las localidades se muestra en las Tablas 3 y 4 y en la Figura 5. En las 4 regiones boscosas elegidas que rodean la mancha urbana, la cobertura presentó un intervalo de 4.09 a 13.08%; la mejor representada es la zona Oeste, donde los vientos y la acumulación de contaminantes son mas bajos, sin embargo, en la Zona Sur, se observó la menor cobertura. Los líquenes observados, a excepción de Zoquiapan, fueron en su mayoría del tipo foliar, lo que de acuerdo al criterio de "desierto líquénico" de Serander (Gilbert, 1983), corresponden al círculo interior de la "zona conflicto".

En la zona de Referencia o Control, la cobertura líquénica correspondiente a *Parmotrema sp.* fue de 36.5%, encontrándose además, líquenes de los tipos filamentosos, gelatinosos y costrosos, los que también se presentaron abundantemente, en Zoquiapan. En ambos casos,

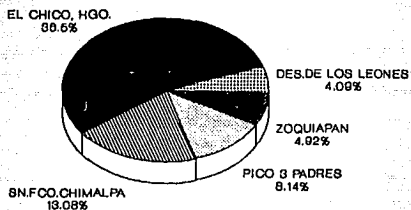


FIG.5 COBERTURA DE LIQUENES POR LOCALIDAD

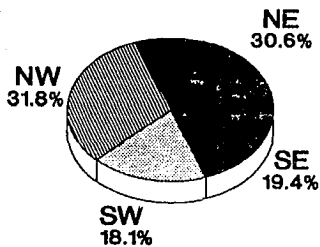


FIG.6 COBERTURA DE LIQUENES POR ORIENTACION EN EL CHICO,HGO.

la cobertura global de líquenes fue mayor al 50%. Siguiendo el criterio de Serander, esto implica que el Parque Nacional "El Chico" y Zoquiapan corresponden a la "zona normal" (Tabla 3, Figura 5).

Por lo que respecta a la orientación de los líquenes, tanto en la Zona de Referencia como en la zona Este (Tabla 4, Figuras 6 y 7) éstos se orientan principalmente en dirección NW-NE (noroeste-noreste) correspondiendo aproximadamente, al 60% de la cobertura total para esas zonas. La tendencia presentada en las zonas restantes; fue en dirección NW (noroeste) con porcentajes de cobertura entre el 32.23% y el 47.51% (Tabla 4, Figura 7).

Las características del sustrato y los factores ambientales en conjunto, son responsables de la distribución preferencial de los líquenes en las zonas estudiadas, esto coincide además, con los estudios realizados en los bosques de Finlandia, en los que se comprobó, que en condiciones naturales, los líquenes presentaban una tendencia a crecer en dirección Norte (Hale, 1973).

Para muchos autores, la humedad derivada del sustrato es la principal fuente de agua para los líquenes; por lo tanto, en el caso particular de los que crecen en la corteza de los árboles, la capacidad de los troncos y ramas para retener y liberar humedad, es un factor importante que determina la cobertura de los mismos. En este sentido, las diferencias entre la densidad, porosidad, textura y estructuras internas, entre *Abies religiosa* y *Quercus sp.* permite que los últimos, retengan más humedad y la liberen a intervalos regulares, estableciéndose comunidades liquénicas más conspicuas (Brodo, 1973).

A partir de los datos anteriores, se observa que la Zona Sur, localizada al Suroeste de la Ciudad, es la que se encuentra más afectada, debido a que los contaminantes generados en el Norte de la ZMCM son acarreados por la tendencia NE-SW (noreste-suroeste) que presenta la dirección predominante de los vientos (Velasco, 1983), y son detenidos por los montes del Desierto de los Leones, que por su altitud, impiden el flujo del viento hacia fuera del Valle de México, y por lo tanto promueven el depósito de partículas contaminantes en esta zona, por lo tanto, la acumulación de éstas últimas, puede ser en gran medida, la responsable de las condiciones que imperan en la región.

De tal forma que, independientemente de la evidencia que pueda desprenderse de la evaluación de los metales pesados, la caracterización de la estructura y las condiciones de las comunidades liquénicas y arbóreas presentada hasta el momento, es de por sí, un importante indicador de la contaminación atmosférica en la ZMCM.

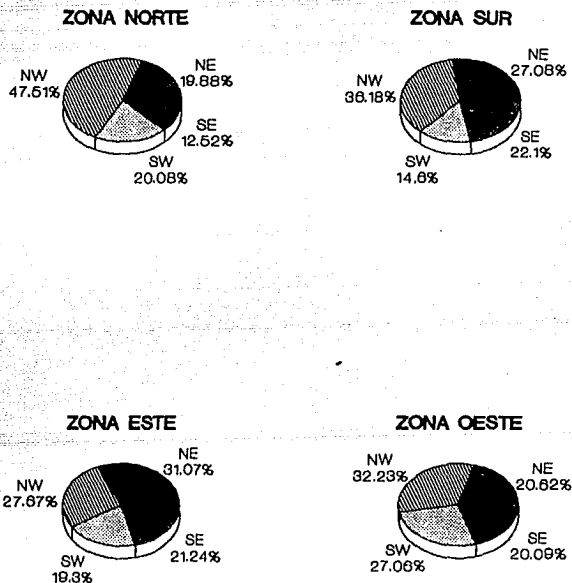


FIG. 7 COBERTURA DE LIQUENES POR ZONA SEGUN SU ORIENTACION

6.4 COMPORTAMIENTO GLOBAL DE LOS PARAMETROS METEOROLOGICOS

El grado de contaminación atmosférica depende de la cantidad y los tipos de contaminantes emitidos en una región, así como de sus condiciones geográficas y meteorológicas; estas últimas, debido a la altitud de la cuenca de México, presentan características particulares que rigen condiciones climáticas bien definidas.

Los parámetros meteorológicos que tienen mayor influencia en la estacionalidad y el transporte de partículas en la atmósfera, son: la temperatura ambiente, que interviene en el transporte de las partículas atmosféricas elevando su velocidad de desplazamiento y su altitud debido al calentamiento del aire; la humedad relativa, pues una gran mayoría de las partículas suspendidas son higroscópicas y esto provoca un aumento de peso por absorción, lo que dificulta su transporte y promueve una depositación más rápida y por lo tanto más cercana a la fuente de emisión; la precipitación, que acarrea y deposita todo tipo de partículas que hay en el aire; y por último el viento, pues su velocidad y dirección condicionan el transporte de partículas en la atmósfera.

6.4.1 Temperatura

A lo largo del año de estudio, el intervalo de temperatura promedio mensual fue de 14.46 a 20.64 °C para diciembre y abril respectivamente (Tabla 5). Desde mayo a diciembre se presentó un decremento paulatino para luego aumentar progresivamente hasta alcanzar su máximo en abril (Figura 8). La temperatura en la temporada de lluvias, fue homogénea con los valores promedio mensuales entre 16.21 a 19.68 °C, mientras que en secas (noviembre-abril), las fluctuaciones fueron mayores con un intervalo de 14.46 a 20.64 °C.

TABLA 5. PROMEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA, Y PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN LA TENCH DURANTE EL AÑO DE ESTUDIO

PARAMETROS	1990								1991				
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
TEMPERATURA (°C)	19.51	17.73	16.61	16.9	16.76	15.21	15.82	14.46	14.9	16.48	20.15	20.64	19.68
HUMEDAD RELATIVA (%)	50.19	66.73	70.71	68.84	70.53	70	55.7	45.45	47	45.07	28.87	31.9	45.13
PRECIPITACION (mm)	70.9	154.3	247.5	163.8	169.8	66.5	0.4	4.7	21.9	3.1	0	10.9	82.5

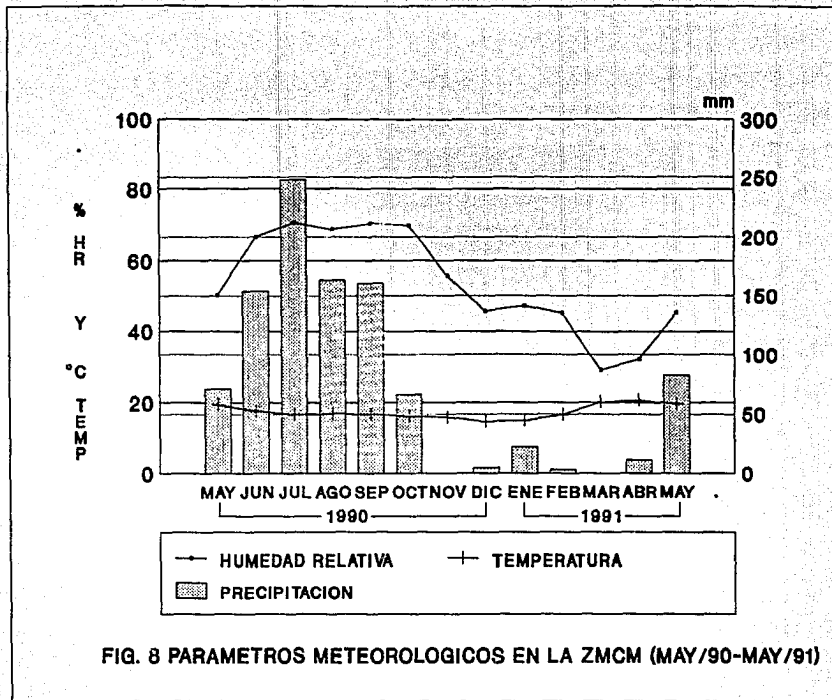


FIG. 8 PARAMETROS METEOROLOGICOS EN LA ZMCM (MAY/90-MAY/91)

6.4.2 Humedad Relativa

Al igual que la temperatura, éste parámetro presenta variación estacional. Según se observa en la Figura 8 con porcentajes más elevados en los meses de junio a octubre y los más bajos en marzo y abril (Tabla 5). El porcentaje máximo, se presentó a mediados de la temporada de lluvias (julio) con un 70.71 %, manteniéndose ligeramente abajo de éste, durante los tres meses siguientes. El valor mínimo se reportó en el mes de marzo, casi a la mitad de la época de secas con un 28.87 % de humedad. Los valores observados representan un ciclo típico para la Ciudad de México (JICA, 1988; en IMP, 1970).

Como se puede observar en la Figura 8, el comportamiento de ambos parámetros, temperatura y humedad relativa, es inversamente proporcional, con las menores diferencias, para los meses de diciembre y enero.

6.4.3 Precipitación

Durante el ciclo mayo 90-mayo 91, la precipitación total (Tabla 5) fue de 987 mm anuales, concentrada en el período de mayo a octubre con la máxima en julio (247.5 mm) y las menores en noviembre y marzo (0.4 y 0 respectivamente) (Figura 8). Esto demuestra también, un ciclo típico para la Ciudad de México, en cuanto al período de lluvias.

Comparando los 3 parámetros, en la Figura 8 se observa que en la temporada de lluvias (mayo a octubre), la temperatura presentó pocas fluctuaciones entre los 16 y 20 °C y la humedad relativa se mantuvo entre 50 y 70 %. Mientras que en la temporada de secas (noviembre a abril), la temperatura presentó un intervalo promedio mayor y la humedad relativa se encontró entre 30 y 50 %.

6.4.4 Vientos

En la Tabla 6, se observa que de acuerdo al análisis de resultantes, los vientos en la Cuenca del Valle de México para la temporada de lluvias procedieron predominantemente del NNW (nornoroeste), con velocidades entre 1.4 y 8.0 m/seg., es decir que las velocidades más altas durante el año, ocurrieron en agosto y las más bajas en octubre, manteniéndose constante (3.2-5.3 m/seg.) para los demás meses. En secas el comportamiento fue variable, ocurriendo vientos con procedencia NNW (nornoroeste) y SW (suroeste), principalmente.

Esto manifiesta de manera general, que los vientos que entran al Valle de México proceden principalmente del norte; sin embargo se considera, que existen fenómenos meteorológicos locales (como en el W y SW) que afectan regionalmente, las condiciones en la Ciudad de

TABLA 6. DIRECCION Y VELOCIDAD DEL VIENTO EN TRES REGIONES DE LA ZMCM DURANTE UNA AÑO (MAY/1990-ABR/1991)

		MAYO/1990				JUNIO/1990				JULIO/1990			
		DIRECCION		VELOCIDAD		DIRECCION		VELOCIDAD		DIRECCION		VELOCIDAD	
ZONA	EST	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)
NW	F	NNW	19.68	3.2 - 5.3	37.34	NNW	33.80	3.2 - 5.3	37.89	NNW	29.61	3.2 - 5.3	37.05
SW	F	SW	14.28	1.4 - 3.1	27.60	NNW	13.92	3.2 - 5.3	42.61	NNW	10.29	1.4 - 3.1	37.71
C	X	E	12.36	1.4 - 3.1	34.60	NN	21.67	1.4 - 3.1	36.41	NN	18.15	1.4 - 3.1	30.95

		AGOSTO/1990				SEPTIEMBRE/1990				OCTUBRE/1990			
		DIRECCION		VELOCIDAD		DIRECCION		VELOCIDAD		DIRECCION		VELOCIDAD	
ZONA	EST	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)
NW	F	NNW	37.27	5.4 - 8	37.60	NNW	38.06	3.2 - 5.3	35.64	NNW	37.44	1.4 - 3.1	30.61
SW	F	NNW	16.40	3.2 - 5.3	37.22	NNW	17.38	1.4 - 3.1	34.95	NNW	12.46	1.4 - 3.1	36.54
C	X	NN	16.98	3.2 - 5.3	43.21	NNE	17.16	1.4 - 3.1	42.81	---	---	---	---

		NOVIEMBRE/1990				DICIEMBRE/1990				ENERO/1991			
		DIRECCION		VELOCIDAD		DIRECCION		VELOCIDAD		DIRECCION		VELOCIDAD	
ZONA	EST	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)
NW	F	NNW	33.80	1.4 - 3.1	31.37	N	21.40	3.2 - 5.3	42.25	N	19.65	1.4 - 3.1	35.34
SW	F	SW	14.41	1.4 - 3.1	43.52	SW	19.21	1.4 - 3.1	55.07	SW	19.68	1.4 - 3.1	50.00
C	X	NN	19.90	0.0 - 1.3	73.03	ESE	19.32	0.0 - 1.3	92.52	ESE	13.72	1.4 - 3.1	45.10

		FEBRERO/1991				MARZO/1991				ABRIL/1991			
		DIRECCION		VELOCIDAD		DIRECCION		VELOCIDAD		DIRECCION		VELOCIDAD	
ZONA	EST	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)	MAYOR FRECUENCIA	FRECUENCIA TOTAL (°)
NW	F	NNW	23.77	3.4 - 5.3	35.90	N	15.44	1.4 - 3.1	27.51	N	15.68	3.4 - 5.3	31.36
SW	F	SW	18.32	3.4 - 5.3	41.37	SW	21.00	3.4 - 5.3	42.00	WSW	19.46	1.4 - 3.1	36.00
C	X	E	14.91	3.4 - 5.3	39.29	S	11.88	1.4 - 3.1	39.70	S	10.93		36.26

6.5 CLASIFICACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN BASE AL ANALISIS INTERSITIOS DE CUMULOS

El objetivo del análisis multivariado de cúmulos "Cluster Analysis", es la clasificación de un conjunto de "n" casos de acuerdo con las características dadas simultáneamente por "m" variables (García de León, 1988).

Para realizar esta clasificación se debe disponer de conjuntos alternativos de variables con diferentes niveles de agregación para tener más posibilidades de producir una clasificación relevante (Espinosa y López, 1980).

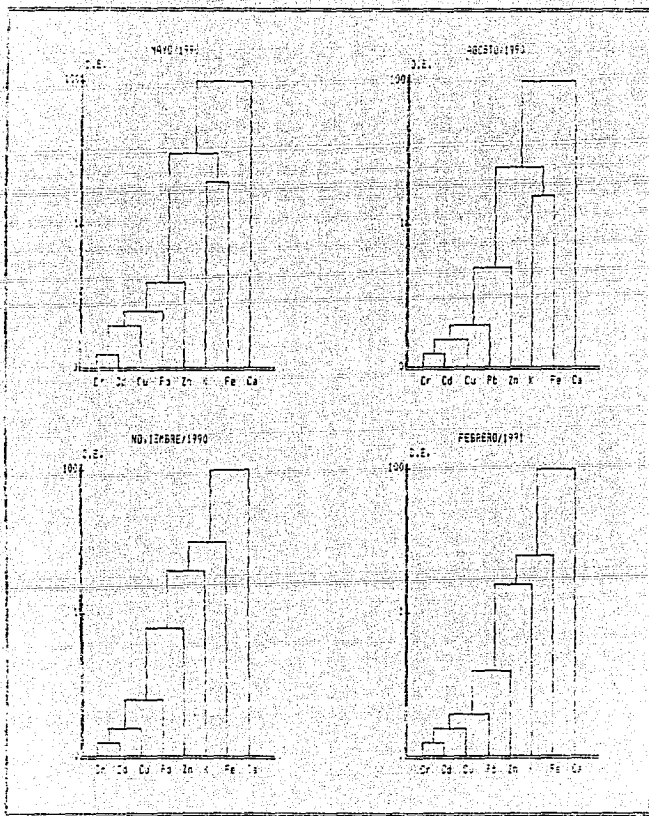
Para las comparaciones intersitios (entre zonas) las variables fueron los 8 metales contenidos en los líquenes y los casos, las 100 muestras tomadas en los diferentes sitios de colecta (20 por zona), con la finalidad de clasificar los sitios de acuerdo a la presencia de los metales formando "particiones" (caracterizaciones) del conjunto de casos; estas particiones como premisa, deben coincidir con las localidades especificadas. Para las comparaciones interelementos (entre metales), las variables fueron las 100 muestras por periodo y los casos, los 8 metales.

A partir de ésto, se crearon dendogramas de partición para establecer cuales muestras son las que por su similitud elemental pueden caracterizar apropiadamente cada una de las zonas de estudio.

Usando distancias Euclidianas como medida de agregación, los dendogramas representan de manera inversamente proporcional la similitud entre el contenido elemental de las muestras, es decir, que a menor distancia Euclidiana, existe una mayor similitud entre ellas.

En la Figura 9, se presentan los dendogramas de similitud de la acumulación de metales en el tejido de los líquenes en todos los sitios muestreados, observando claramente 2 grupos ajenos en los 4 periodos: Cr, Cd, Cu, Pb y Zn por un lado y K, Fe y Ca por otro.

En ambas temporadas (lluvias y secas), el calcio, por sus concentraciones muy altas, es un elemento que se presenta aislado del comportamiento general de los demás. El potasio y el hierro se encuentran en intervalos muy semejantes, y por lo tanto parece que su ocurrencia está muy relacionada entre sí, mientras que los metales propiamente contaminantes o en ocasiones considerados como traza, se agrupan con mayor similitud de ocurrencia y representan un grupo



D.E. = DISTANCIAS EUCLIDEANAS

P. 3. - DENSIGRAMA DEL ANALISIS INTERFERENCIAS EN/FR *ESTEEL* DURANTE LOS 4 PERIODOS DE MUESTREO

aislado que se agrega escalonado de la siguiente manera: Cr + Cd + Cu + Pb + Zn, con una distancia Euclidiana menor a 1, o sea, un porcentaje de similitud muy alto.

La clasificación muestra la secuencia de acumulación de los metales evaluados: Zn > Pb > Cu > Cd > Cr. El Ca, el K y el Fe, se encuentran en altas cantidades, pero estos elementos se consideran normalmente dentro del metabolismo de los líquenes. Si se incluye al hierro, en la secuencia de acumulación, ésta coincide con las observaciones hechas por Garty y Amman (1987) para el caso de: Fe > Zn > Pb, la cual de acuerdo a estos autores, es constante para las 9 especies en los 12 sitios de su estudio.

En las Figuras 10 a la 13, se presentan los dendogramas de similitud entre las zonas estudiadas, de acuerdo a la presencia de los metales pesados acumulados por los líquenes, durante los 4 periodos de muestreo, en las temporadas de secas y de lluvias.

En la partición se observa que la zona sur por su clasificación, se comporta de manera particular, pues es la única que se caracteriza independientemente en todos los casos; las zonas Norte y Oeste son semejantes entre sí, ya que se caracterizan juntas en todos los casos (Figuras 10, 11 y 13) excepto en el tercer y cuarto periodos, donde la zona Oeste no se clasifica (Figura 12), mientras que la zona de Referencia presenta un comportamiento errático en el primer periodo (Figura 10) pues no se agrupa en el análisis. Sin embargo, el segundo periodo (Figura 11) aparece casi completamente y en el tercer y el cuarto periodos se caracteriza junto con la zona Este (Figuras 12 y 13), la cual se clasifica en los 4 periodos, e independiente en los dos primeros (Figuras 10 y 11).

Los resultados anteriores implican que de acuerdo a las características, meteorológicas, climáticas, geológicas y de uso del suelo; las regiones N y W de la ZMCM se ven influenciadas por los mismos fenómenos y representan de manera similar el evento de contaminación atmosférica por metales pesados. Por otro lado, el Desierto de los Leones presenta las concentraciones más altas, debido a que los vientos, con dirección anual predominante NE - SW, acarrearán los contaminantes hacia esta zona, en donde se depositan finalmente.

El Parque Nacional "El Chico", que por principio debe representar las características propias de un sitio sin influencia de contaminación, ya sea por su distancia del Distrito Federal, o por sus condiciones históricas en el uso del suelo, las concentraciones de metales, así como, su clasificación temporal errática; indican las particularidades de un sitio alejado de la ZMCM, pero no es hasta el

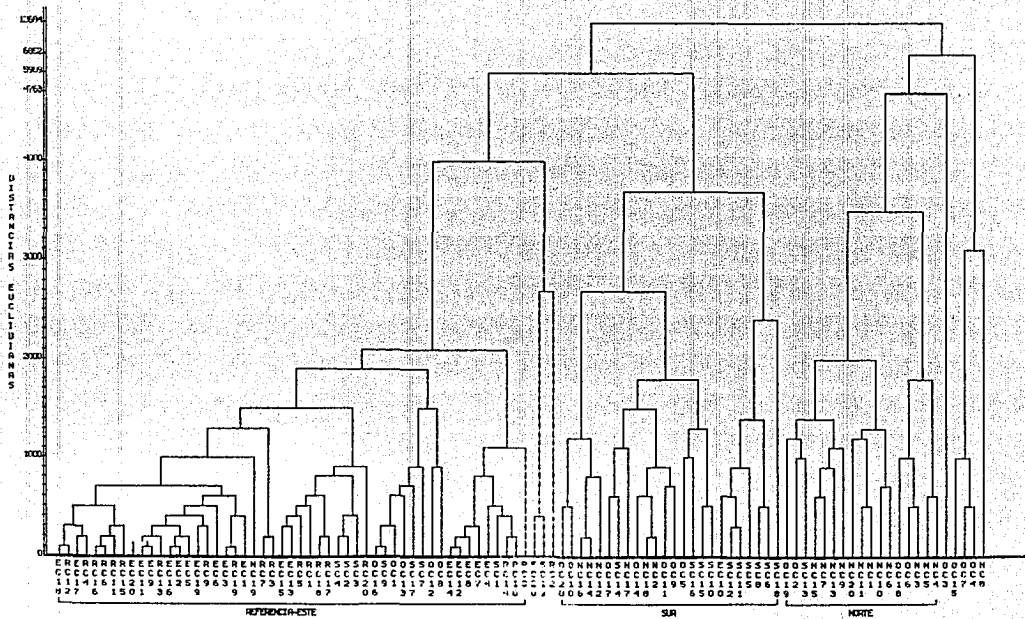


FIG. 12 DISTRIBUCION DEL ANALISIS INTENSIVO SOBRE ZONAS DENTRO DEL TERCER PERIODO DE MUESTREO (NOVIEMBRE/1990)

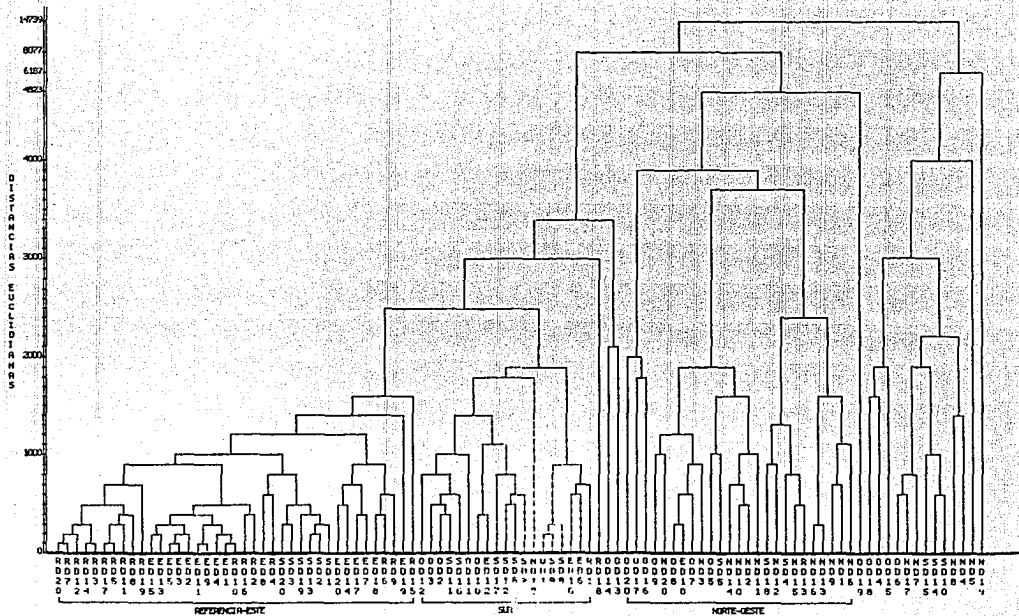


FIG. 13 DICCIONARIO DE ANALISIS INTERSITOS ENTRE ZONAS URBANAS EN CUARTO PERIODO DE MUESTRO (FEBRERO/1990)

momento, la zona control más apropiada para las intenciones de este estudio.

La zona Este, debido al patrón general de vientos se ve poco influenciada por la atmósfera de la Ciudad de México y de acuerdo a su clasificación se puede considerar similar a la zona de Referencia, ya que además, es un sitio estadísticamente resistente con bajo contenido de los metales evaluados y altos niveles de calcio y potasio.

Por otro lado, debido a su ubicación geográfica, Zoquiapan presenta características geológicas, climatológicas y meteorológicas comparables a las de otros sitios en la ZMCM ya que pertenece al sistema de la Cuenca de México.

A partir de este análisis, donde se consideró que se clasificaran por lo menos un 40% del total de muestras por zona, se establecieron 3 zonas, que son las que mejor representan estadísticamente la presencia de metales en la ZMCM.

Tanto las zonas de Referencia y Este, como Norte y Oeste, se manejaron como dos zonas comunes, debido a su similitud estadística, ya que son zonas que se comportan de igual manera en la ZMCM, y para entender mejor su comportamiento, las zonas que se establecieron, son:

- 1) Zona Referencia-Este,
- 2) Zona Norte-Oeste,
- 3) Zona Sur.

8.6 CARACTERIZACION DE ZONAS DE ACUERDO A LA PRESENCIA DE METALES

Considerando ahora las 3 zonas derivadas del análisis de cúmulos, el comportamiento de los metales en dichas zonas durante los 4 periodos de muestreo se presenta en las Tablas 7 a la 10 y en las Figuras 14 a la 17. (Los resultados nominales de las concentraciones de metales evaluados en las 5 localidades para los cuatro periodos de muestreo, se incluyen en el anexo 3).

8.6.1 Zona de Referencia y Zona Este

Los niveles promedio de los metales Pb, Cu, Zn y Cd encontrados en la zona referencia-este, concuerdan con los valores reportados por otros autores para sitios no contaminados.

De esta manera, los niveles de plomo (8.3 ± 3.56 a 18.78 ± 9.97 ppm) durante los cuatro periodos (Tablas 7-10), se consideran típicos de la composición elemental de los organismos con fluctuaciones propias de su respuesta fisiológica a las condiciones ambientales, ya que, se mantuvieron por debajo del los intervalos promedio de plomo en líquenes, reportados para sitios contaminados 25.1-44.1 ppm (Nash III y Sommerfeld, 1980); 22-594 ppm (Schwartzman et al., 1987); 35-246 ppm (Garty y Amman, 1987) 30.8-43.8 ppm (Garty et al., 1985); 30.7-222.1 ppm (Garty, 1986).

Los niveles de cobre y zinc reportados para sitios no contaminados en *Hypogymnia enteromorpha* son de: 1.33-9.99 ppm (Gough et al., 1988) y 37-43 ppm (Fuchs y Garty, 1983) respectivamente, éstos coinciden, a excepción del segundo periodo, con los valores encontrados en esta zona (Tablas 7, 9 y 10).

En cuanto al cadmio, Schwartzman (1987) reporta un intervalo de 0.05-0.46 ppm, dentro del cual queda incluida la concentración media encontrada en esta zona: 0.3 ppm, esto indica que no existe contaminación por este metal.

Aunque Garty y Ammann (1987) reportan que, en líquenes de Suiza, los niveles de cromo varían enormemente sin un patrón aparente, en cuanto a fuentes de emisión, los niveles encontrados en la zona referencia-este son menores a los señalados para sitios contaminados: 9.0-14.0 ppm (Nash III y Sommerfeld, 1981); 4.1 ppm (Fuchs y Garty, 1983); 23.7 ppm (Gailey et al., 1985); 2.4-8.5 ppm y 5.4-14.5 ppm (Garty, 1987); 4.9 ppm (Gough et al., 1988).

Por otro lado, los valores de hierro reportados por Gough et al. en 1988 como característicos del contenido elemental de *Hypogymnia*

TABLA 9. RESUMEN ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE METALES EN LAS 3 ZONAS DERIVADAS DEL ANÁLISIS INTERSITIOS DE CONULOS DURANTE EL TERCER MONITOREO (NOVIEMBRE, 1990)

ZONAS		Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Cs	K
REFERENCIA ESTE	n	30	38	38	38	38	38	38	38
	H ± D ± E	15.71 ± 3.89	7.32 ± 1.54	41.61 ± 8.32	0.19 ± 0.12	2.73 ± 2.06	1399 ± 275	1649 ± 392	3686 ± 610
	C.V.	24.77	20.95	19.88	63.1	75.28	19.28	23.78	16.56
	I.C.	1.86	0.42	2.3	0.63	0.56	0.23	106.97	168.58
NORTE OESTE	n	12	12	12	12	12	12	12	12
	H ± D ± E	36.54 ± 7.91	9.64 ± 3.32	86.37 ± 19.1	0.42 ± 0.13	3.53 ± 3.15	1406 ± 510	12842 ± 1830	4011 ± 489
	C.V.	21.64	34.45	26.11	32.24	89.23	36.31	14.25	12.2
	I.C.	4.12	1.73	9.93	0.07	1.64	265.84	952.73	254.85
SUR	n	10	10	10	10	10	10	10	10
	H ± D ± E	42.47 ± 8.47	13.36 ± 2.24	103.1 ± 21.34	0.68 ± 0.15	2.62 ± 0.68	1975 ± 419	5922 ± 1363	2363 ± 725
	C.V.	19.34	16.77	20.69	21.4	25.97	21.22	23.36	30.67
	I.C.	4.33	1.3	12.43	0.08	0.4	241.09	805.74	422.21
REFERENCIA ESTE	n	30	38	38	38	38	38	38	38
	H ± D ± E	10.07 ± 32.6	4.17 ± 11.37	28.67 ± 35	0.02 ± 0.49	0.48 ± 11.76	789 ± 1960	919 ± 2807	2282 ± 5241
	C.V.	1.86	0.42	2.3	0.63	0.56	0.23	106.97	168.58
	I.C.	1.86	0.42	2.3	0.63	0.56	0.23	106.97	168.58

n=No. de datos

H=media

D.E.=desviación estándar

C.V.=coeficiente de variación

I.C.=intervalo de confianza

MIN-MAX=valor mínimo-valor máximo

(Todos los valores son reportados

en partes por millón de peso seco)

TABLA 10. RESUMEN ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE METALES EN LAS 3 ZONAS DERIVADAS DEL ANÁLISIS INTERSITIOS DE CONULOS DURANTE EL CUARTO MONITOREO (FEBRERO, 1991)

ZONAS		Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Cs	K
REFERENCIA ESTE	n	33	33	33	33	33	33	33	33
	H ± D ± E	18.78 ± 9.97	7.96 ± 2.49	20.77 ± 17.0	0.38 ± 0.16	3.88 ± 1.68	1589 ± 494	1178 ± 311	3692 ± 465
	C.V.	51.2	31.1	81.96	41.03	34.68	31.12	26.47	12.61
	I.C.	2.33	0.73	5.01	0.05	0.49	145.46	31.78	136.98
NORTE OESTE	n	20	20	20	20	20	20	20	20
	H ± D ± E	28.98 ± 5.71	10.8 ± 2.39	67.14 ± 16.1	0.56 ± 0.17	2.81 ± 2.18	1452 ± 643	8452 ± 1903	3436 ± 1318
	C.V.	19.71	22.09	24.04	30.84	77.55	41.27	23.46	38.36
	I.C.	2.28	0.95	6.43	0.07	0.67	246.76	767.43	510.13
SUR	n	8	8	8	8	8	8	8	8
	H ± D ± E	33.06 ± 4.31	14.34 ± 1.41	88.35 ± 8.21	0.39 ± 0.15	9.21 ± 9.03	1650 ± 274	4082 ± 812	2681 ± 179
	C.V.	13.05	9.85	9.22	39.29	94.98	16.61	19.89	6.88
	I.C.	2.9	0.95	5.52	0.1	6.08	181.38	516.13	120.54
REFERENCIA ESTE	n	33	33	33	33	33	33	33	33
	H ± D ± E	8.68 ± 35.08	4.8 ± 17.87	0.45 ± 60.17	0.24 ± 0.71	0.28 ± 7.61	855 ± 2772	611 ± 2053	2690 ± 4924
	C.V.	1.86	0.42	2.3	0.63	0.56	0.23	106.97	168.58
	I.C.	1.86	0.42	2.3	0.63	0.56	0.23	106.97	168.58

n=No. de datos

H=media

D.E.=desviación estándar

C.V.=coeficiente de variación

I.C.=intervalo de confianza

MIN-MAX=valor mínimo-valor máximo

(Todos los valores son reportados

en partes por millón de peso seco)

TABLA 7. RESUMEN ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE METALES EN LAS 3 ZONAS DERIVADAS DEL ANÁLISIS INTERSITIOS DE CORDOLOS DURANTE EL PRIMER MONITOREO (MAYO, 1990)

ZONAS		Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
REFERENCIA Y ESTE	n	11	11	11	11	11	11	11	11
	H ± D.K.	8.3 ± 3.56	9.89 ± 1.81	24.32 ± 2.5	0.34 ± 0.04	0.76 ± 0.27	2109 ± 423	1638 ± 515	3391 ± 364
	C.V.	42.86	18.31	10.28	11.34	75.62	20.09	31.46	9.11
	I.C.	1.95	0.99	1.57	0.32	1.51	232.6	282.97	199.11
H1A-H1A1	2.16-14.86	5.3-12.75	20.94-27.81	0.29-0.4	0.29-2.09	1608-3084	1146-2601	3682-4440	
NORTE Y OESTE	n	20	20	20	20	20	20	20	20
	H ± D.K.	34.1 ± 8.8	18.93 ± 3.88	51.24 ± 13.98	1.27 ± 0.31	2.27 ± 1.88	2588 ± 551	6198 ± 1893	3528 ± 178
	C.V.	25.8	19.47	27.26	71.78	82.73	21.31	30.55	22.06
	I.C.	2.94	1.23	4.68	0.31	0.63	124.55	633.79	260.64
H1A-H1A1	17.67-55.29	11.34-27.59	27.49-78.15	0.43-1.94	0.26-6.62	1207-4007	3033-9479	1914-5462	
SUR	n	15	15	15	15	15	15	15	15
	H ± D.K.	39.85 ± 8.7	16.39 ± 1.38	64.63 ± 8.51	1.64 ± 5.16	3.84 ± 0.79	1766 ± 423	1526 ± 375	2553 ± 223
	C.V.	21.83	8.39	13.17	314.32	20.59	23.98	24.57	8.74
	I.C.	3.97	0.63	3.88	2.35	0.56	193.26	171.07	101.9
H1A-H1A1	27.6-57.76	14.3-18.6	51.3-83.6	0.24-20.3	2.5-5.2	1300-2600	1160-2700	2100-2900	

n=No. de datos

H=media

D.K.=desviación estándar

C.V.=coeficiente de variación

I.C.=intervalo de confianza

H1A-H1A1=valor mínimo-valor máximo

(Todos los valores son reportados en partes por millón de peso seco)

TABLA 8. RESUMEN ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE METALES EN LAS 3 ZONAS DERIVADAS DEL ANÁLISIS INTERSITIOS DE CORDOLOS DURANTE EL SEGUNDO MONITOREO (AGOSTO, 1990)

ZONAS		Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
REFERENCIA Y ESTE	n	30	30	30	30	30	30	30	30
	H ± D.K.	11.74 ± 3.94	12.54 ± 8.22	45.86 ± 8.38	0.3 ± 0.07	0.97 ± 0.97	1844 ± 506	2180 ± 398	3344 ± 561
	C.V.	33.58	65.59	18.28	23.32	100.73	27.46	45.8	16.77
	I.C.	1.22	2.55	2.6	0.32	0.3	156.86	309.14	173.63
H1A-H1A1	5.98-24.99	5.48-30.34	33.39-66.84	0.15-0.5	0.23-4.83	1130-2955	714-3391	2526-4810	
NORTE Y OESTE	n	18	18	18	18	18	18	18	18
	H ± D.K.	25.79 ± 8.22	13.44 ± 6.24	76.47 ± 20.7	0.69 ± 0.32	0.66 ± 0.55	1851 ± 719	9460 ± 1635	2931 ± 469
	C.V.	31.86	46.41	27.05	45.88	82.95	38.95	17.29	16
	I.C.	3.38	3.96	8.51	0.13	0.23	295.37	611.65	192.63
H1A-H1A1	12.65-41.04	6.7-25.91	46.8-121.24	0.38-1.53	0.28-2.19	984-2935	6938-12032	2227-3901	
SUR	n	9	9	9	9	9	9	9	9
	H ± D.K.	36.11 ± 7.72	17.87 ± 1.89	63.67 ± 13.4	0.53 ± 0.14	0.83 ± 0.45	1715 ± 365	1396 ± 561	2199 ± 273
	C.V.	21.38	10.59	16.07	26.81	54.78	21.31	40.19	12.42
	I.C.	4.11	1.18	8.35	0.99	0.28	227.7	349.49	179.12
H1A-H1A1	24.81-51.47	15.17-20.98	63-103	0.29-0.66	0.28-1.31	1250-2267	867-2337	1769-2657	

n=No. de datos

H=media

D.K.=desviación estándar

C.V.=coeficiente de variación

I.C.=intervalo de confianza

H1A-H1A1=valor mínimo-valor máximo

(Todos los valores son reportados en partes por millón de peso seco)

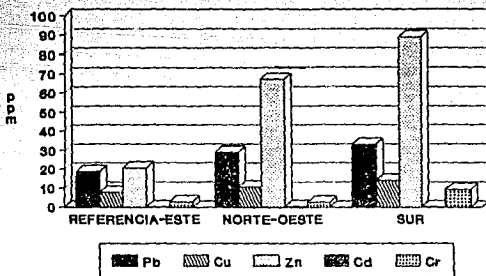


FIG. 17a CONCENTRACION PROMEDIO DE LOS METALES EN LAS 3 ZONAS (FEBRERO, 1991)

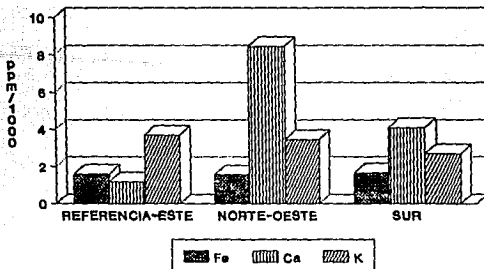


FIG. 17b CONCENTRACION PROMEDIO DE LOS METALES EN LAS 3 ZONAS (FEBRERO, 1991)

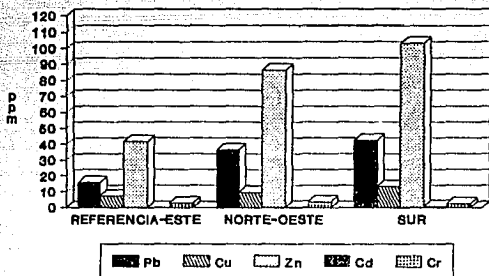


FIG. 16a CONCENTRACION PROMEDIO DE LOS METALES EN LAS 3 ZONAS (NOVIEMBRE, 1990)

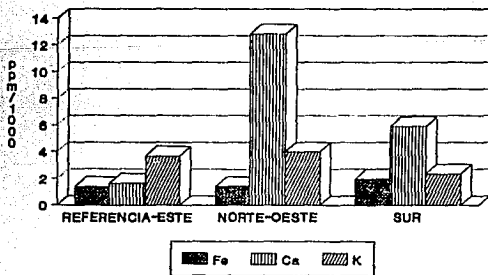


FIG. 16b CONCENTRACION PROMEDIO DE LOS METALES EN LAS 3 ZONAS (NOVIEMBRE, 1990)

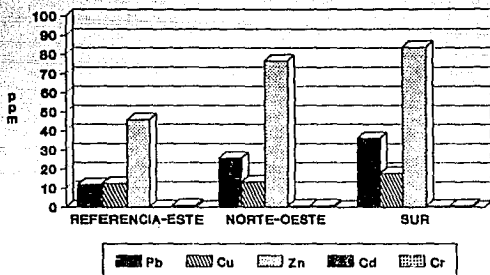


FIG. 15a CONCENTRACION PROMEDIO DE LOS METALES EN LAS 3 ZONAS (AGOSTO, 1990)

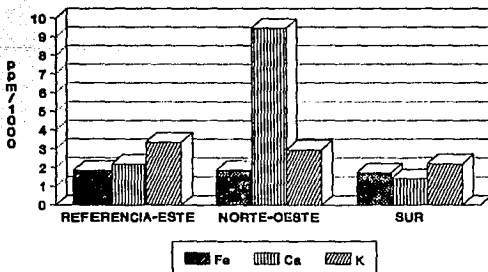


FIG. 15b CONCENTRACION PROMEDIO DE LOS METALES EN LAS 3 ZONAS (AGOSTO, 1990)

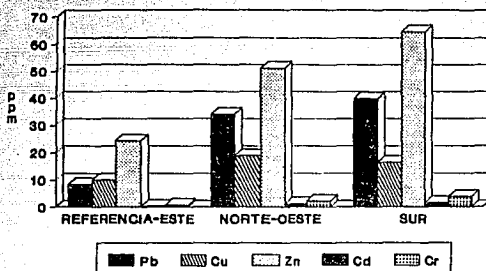


FIG. 14a CONCENTRACION PROMEDIO DE LOS METALES EN LAS 3 ZONAS (MAYO, 1990)

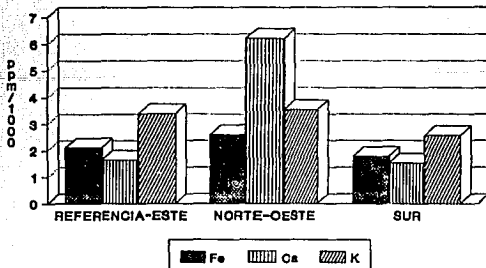


FIG. 14b CONCENTRACION PROMEDIO DE LOS METALES EN LAS 3 ZONAS (MAYO, 1990)

enteromorpha, son en promedio de 360 a 1900 ppm, otros autores han reportado para diferentes especies y sitios las siguientes concentraciones promedio: en *Pseudoveria furfuracea* colectada en la región de Davos, Suiza; el intervalo de promedios va de 156 a 1097 ppm, mientras que para la misma especie en regiones rurales el intervalo se presenta de 648 a 3221 ppm, en semiurbanos, de 559 a 2785 ppm., y en urbanos de 10504 ppm (Garty y Amman, 1987). Para *Hypogymnia physodes* Gailey et al., (1985), encuentra valores promedio en ejemplares no expuestos a contaminación de 850 ppm, considerando que estas especies poseen una forma de crecimiento fruticosa.

En esta zona se encontró un intervalo de 789-3084 ppm, por lo cual se puede ubicar como un sitio rural o semiurbano y basándose en las observaciones anteriores Garty y Amman (1987), mencionan que algunas especies líquénicas tienden a acumular grandes cantidades de hierro y pueden presentarse tanto en sitios con características urbanas como rurales.

En las Figuras 14-17 se observa que las concentraciones más bajas de calcio corresponden a la zona Referencia-Este donde el intervalo de promedios fue de: 1178 ± 311 a 2180 ± 998 ppm, estos son menores al promedio de la composición elemental básica de *Hypogymnia enteromorpha* (3800 ppm; Gough et al., 1988).

El potasio observó un intervalo promedio de 3344 ± 561 a 3692 ± 465 ppm, lo cual muestra una variación mínima durante los 4 periodos del estudio.

De acuerdo a Tuominen y Jaakkola (1973), el contenido elemental de potasio en los líquenes varía entre 1,000 y 8,000 ppm presentando una gran deficiencia para su captura a partir del substrato, por lo que sus concentraciones y comportamiento están regulados principalmente por la atmósfera. Además, se ha observado que el potasio en ejemplares de la especie *Cladonia rangiformis* se encuentra intracelularmente en forma libre por lo que es de fácil difusión.

Los estudios de laboratorio han comprobado que existe un flujo de potasio al exterior de la célula en presencia de metales como el cobre y plomo, mientras que, en el caso de Ca, Mg, Sr y Zn, este flujo no es tan importante.

Entonces la zona Referencia-Este posee las características de un sitio sin contaminación, además de que físicamente, se pueden apreciar por simple observación, las condiciones naturales en las que se encuentran el Parque Nacional "El Chico" y el Parque Nacional de Zoquiapan.

6.6.2 Zona Norte y Zona Oeste

En la zona Norte-Oeste se presentaron niveles de plomo más o menos constantes con valores ligeramente bajos en el segundo y cuarto periodos (25.79 ± 8.22 y 28.98 ± 5.71 respectivamente), y más altos (comparables a los de la zona Sur) en el primero y tercer periodos (34.1 ± 8.8 y 36.54 ± 7.91 respectivamente); estos niveles fueron en todos los casos mayores a los reportados en la zona Referencia-Este (Tablas 7-10, Figuras 14-17), y por lo tanto caen dentro de los intervalos reportados para sitios contaminados por los autores mencionados anteriormente.

Si se toma en cuenta que hay fuentes constantes de emisión de plomo, la disminución que se presenta durante el segundo periodo se debe al lavado del metal adsorbido, que se encuentra sobre el talo líquénico, mientras que los incrementos se pueden atribuir a que la absorción del metal, es mucho más veloz que el lavado de las partículas adsorbidas en el talo.

Se encontró un intervalo de cobre de 5.2 a 27.59 ppm y promedios de 9.64 ± 3.32 a 18.93 ± 3.68 ppm, con los niveles más altos en el primer periodo, lo cual indica que los niveles en esta zona fueron semejantes a los que otros autores consideran para líquenes de sitios contaminados: 9.5-20.5 ppm (Nash III y Sommerfeld, 1981), 18.1 ppm (Fuchs y Garty, 1983), 10-15.6 ppm (Gailey et al., 1985) y 13.4-17 ppm (Garty, 1987).

El zinc presentó un intervalo de 27.49 a 121.24 ppm con promedios que no llegaron a alcanzar el nivel de un sitio contaminado, aunque algunos valores sí llegaron a este nivel.

El comportamiento estacional de cadmio en los líquenes no mostró un patrón característico, los altos coeficientes de variación que se encuentran en la zona Norte-Oeste (Tablas 7-10) nos hablan de una baja dispersión de las partículas (Garty y Ammann, 1987), esto aunado a una tendencia a presentar las mayores concentraciones de cadmio indican que éstas se hallan influenciadas por aportes locales de este elemento con una alta eficiencia de deposición probablemente como partículas de gran tamaño en la que los patrones generales de vientos y las condiciones meteorológicas tienen poca influencia.

Muchas industrias que utilizan cadmio como aditivo, sobre todo las que fabrican pinturas, se localizan principalmente en las regiones al norte del Valle de México.

Las concentraciones de calcio en esta zona fueron las mayores observadas en todo el estudio, con un comportamiento temporal relacionado con la presencia de lluvias aumentando sus valores debido

a la remoción de calcio de origen edáfico provocada por la precipitación, por lo tanto, las altas concentraciones que se presentan en esta zona, se pueden asociar a un mayor contenido de calcio en los suelos, así como a una mayor erosión de éstos, por los vientos.

El potasio presentó un intervalo promedio de 2931 ± 469 a 4011 ± 489 ppm, esto significa que, junto con la zona Referencia-Este, quedan dentro un intervalo relativamente estable de 3,000-4,000 ppm, que en ningún caso es alcanzado por las concentraciones promedio de la zona Sur.

6.6.3 Zona Sur

En la zona Sur se presentaron las mayores concentraciones de Pb, Cu, Zn, Cd y Cr (Tablas 7-10, Figuras 14-17), sin embargo el Fe, Ca y K fueron los que presentaron los niveles más bajos en los primeros 2 periodos y un comportamiento aleatorio en los 2 últimos, lo cual se debe a diferencias estacionales similares a las de la zona Norte-Oeste.

El plomo y el cobre presentaron niveles promedio que corresponden a lugares contaminados, de acuerdo a Nash III y Sommerfeld (1980); Schwartzman et al. (1987); Garty y Ammann (1987); Garty et al. (1985) y Garty (1986).

En el Desierto de los Leones, una mayor precipitación (Zambrano, 1991), permite que la absorción de plomo sea mayor que el lavado del metal adsorbido, lo que provoca una constancia de las concentraciones del metal en los líquenes.

El zinc tuvo valores muy similares a los de un sitio con contaminación, excepto durante el primer periodo, lo cual indica que esta zona presenta contaminación por zinc de acuerdo a Schwartzman et al. (1987).

El único punto que se puede considerar como ajeno al comportamiento general del cromo en este estudio, es el de la zona sur en el cuarto periodo, donde el promedio de sus concentraciones se disparó considerablemente sin razón aparente.

Las concentraciones de hierro también corresponden a los intervalos promedio de sitios suburbanos y en ninguno de los casos alcanzan los niveles propios de sitios con contaminación.

En cuanto al calcio, los valores encontrados fueron menores a los de la zona Norte-Oeste, esto puede ser un índice de la actividad metabólica de los líquenes bajo la influencia de los metales pesados absorbidos por los mismos.

El calcio es un elemento involucrado en la estabilidad funcional de la membrana celular, en estudios de laboratorio ha mostrado relaciones directas con la acumulación de plomo y cobre en líquenes (Fuch y Garty, 1983), además, se reconoce como uno de los mayores elementos inorgánicos que constituyen a estos organismos, tanto en zonas urbanas como rurales. Por otro lado, se ha observado que en sitios urbanos contaminados, existe una tendencia de los líquenes a presentar concentraciones de calcio mayores a las de los sitios no contaminados.

Los niveles de calcio en los líquenes incluidos en este estudio, así como su comportamiento espacial a través de los muestreos, son indicativos de los procesos de contaminación por metales pesados que ocurren en la ZMCM así como de las características geológicas de las regiones de estudio.

Los bajos niveles de potasio observados son indicadores, también, de una acumulación constante de metales como el plomo, el cobre y el zinc, ya que, se ha observado que cuando los líquenes son expuestos en sitios relativamente contaminados los niveles de potasio disminuyen (Fuchs y Garty, 1983).

El aumento en las concentraciones de los metales durante la temporada de secas puede deberse también, a las inversiones térmicas que se presentan en esta época, limitando la dispersión vertical de los contaminantes.

Entonces, en la zona Sur, además de presentarse los valores más altos de metales pesados, la densidad del bosque y la cobertura líquénica muestran, de por sí, que esta zona es la más afectada por el grave deterioro que provoca la contaminación generada por la ZMCM.

Un factor importante en la distribución de los metales en la atmósfera es la distancia de las zonas evaluadas a la ZMCM, por ello, se debe considerar que la zona de Referencia y Este tienen poca influencia debido a que son las más alejadas, en cambio las zonas Norte y Oeste, y más aún la zona Sur, se encuentran muy cerca de la Ciudad y por lo tanto, presentan un distintos grados de contaminación.

De manera general, el plomo, el cobre y el zinc presentaron en las 3 zonas, un gradiente de concentraciones promedio durante los cuatro periodos, encontrándose los niveles más bajos en la zona referencia-este, niveles medios en la zona norte-oeste y niveles altos en la zona sur (Tablas 7-10). El hierro, es el que presentó los niveles más estables en este estudio, excepto en la zona norte-oeste.

El incremento gradual del plomo puede explicarse como un fenómeno de absorción promovido por la lluvia, ya que los metales en la

atmósfera actúan como núcleos de condensación de agua que al precipitarse son captados por los tejidos de los líquenes (Zambrano, 1991); por otro lado, la precipitación seca que induce la eliminación activa de los metales, debido a un incremento en el metabolismo (Herrera, 1990), que solo puede apreciarse en el primer periodo cuando se presenta un aumento de la temperatura, mientras que en el cuarto periodo las condiciones climáticas a pesar de la escasa lluvia aún no son lo suficientemente cálidas como para inducir la eliminación de plomo.

El comportamiento estacional del zinc fue similar en todas las regiones con aumentos significativos durante la temporada de lluvias y una máxima ocurrencia hacia el final de la temporada, lo cual hace al agua de lluvia la principal fuente de este elemento e indica que su presencia en los líquenes de la ZMCM no es un fenómeno local sino producto del transporte atmosférico. Por otro lado, su disminución en la temporada de secas indica una eliminación activa de zinc al desaparecer los aportes de este metal.

Se encontraron, en todos los casos, valores de zinc muy similares a los de un sitio con contaminación, excepto durante el primer periodo, lo cual indica que las zonas norte-oeste y sur presentan contaminación por zinc de acuerdo a Schwartzman *et al.* (1987).

De acuerdo a Fuchs y Garty (1983) las concentraciones de promedio de cadmio no llegan, ni siquiera en la zona Sur, al nivel propuesto para sitios contaminados (2.7 ± 2 ppm).

El cromo presentó altos coeficientes de variación en las 3 zonas, lo cual indica que su dispersión es baja y está asociado a partículas de gran tamaño que se depositan a corta distancia de la fuente emisora.

Las concentraciones de hierro encontradas en los líquenes de las zonas Referencia-Este y Norte-Oeste corresponden al intervalo observado para los líquenes de zonas rurales, cabe recordar que el Pico Tres Padres es un sitio de difícil acceso en donde las características de la comunidad boscosa indican que el área no ha sido alterada por las actividades antropogénicas.

Los niveles de calcio encontrados en las zonas Referencia-Este y sur fueron similares con pequeñas diferencias entre ellas, sin embargo, la zona Norte-Oeste presentó niveles de calcio muy altos en comparación con las demás.

En resumen se observó que los metales Pb, Cu, Zn, Cd y Cr presentan un gradiente regional de concentraciones en las 3 zonas descritas, así, la zona de Referencia-Este se apega a las

características de un sitio que no tiene influencia de contaminación, encontrándose niveles propios de la composición elemental de los líquenes. La zona Norte-Deste presentó niveles que se consideran ya, como los de un sitio contaminado, en la mayoría de los casos; mientras que la zona Sur es evidentemente la región más contaminada durante el año, con niveles que en todos los casos son notablemente más altos en comparación con las demás zonas.

De acuerdo al trabajo de Zambrano (*op cit.*) valores de plomo en musgos de la especie *Leptodontium viticulosoides* de alrededor de 20 ppm reflejan el nivel de "fondo" de este metal en el aire de la cuenca de México, éstos, coinciden con las observaciones en este estudio y permiten considerar que promedios mayores a 20 ppm de plomo en líquenes muestran procesos de contaminación en la atmósfera. De tal forma que la zona Referencia-Este se haya fuera del Área de influencia de la contaminación que se genera en la ZMCM, mientras los líquenes en las zonas restantes son fieles indicadores de estas condiciones.

6.7 COMPORTAMIENTO DEL PLOMO EVALUADO CON MONITORES DE ALTOS VOLUMENES

En las Figuras 22 a 29 se representa, mediante líneas de isoconcentraciones de plomo, el comportamiento espacial de este metal contenido en filtros de monitores de altos volúmenes (PST) y con cabezal para fracción respirable (PM10).

Los resultados obtenidos con los monitores PST muestran que los valores promedio de plomo más altos se localizaron, durante los 4 periodos trimestrales, al NE de la ZMCM (Figuras 22-25), lo cual coincide con lo reportado por Herrera (1990). Sobrepasando en todos los casos, la norma trimestral de los Estados Unidos que es de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SEDUE, 1988). En la estación Xalostoc, se registraron los niveles más altos, llegando en algunos casos hasta $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los cuales corresponden a la época más fría del año, y pueden atribuirse a las inversiones térmicas que ocurren en la Ciudad.

En los primeros 2 trimestres, los niveles promedio de plomo alcanzaron los $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en el tercero y cuarto trimestre se registraron niveles promedio máximos de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hacia el norte de la ZMCM, en donde se encuentra concentrada la actividad industrial de la Ciudad de México.

De acuerdo con este método, considerando los registros de la estación Cerro de la Estrella, que es la más cercana a la zona Este,

1er. TRIMESTRE (MAR-MAY/1990)

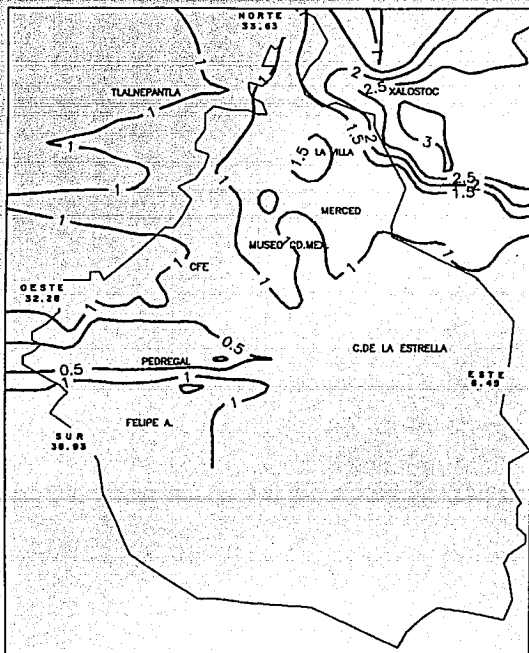


FIG.22 NIVELES DE PLOMO EN LA ZMCM CON MONITORES PST

CONCENTRACION MEDIA TRIMESTRAL DE PLOMO EN LIQUENES (ppm)
 (Esta indicación corresponde a los mapas 22 al 29)

2do. TRIMESTRE (JUN-AGO/1990)

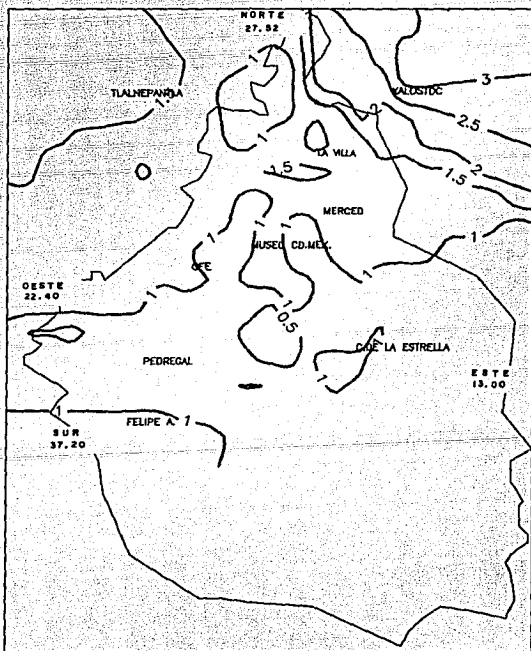


FIG.23 NIVELES DE PLOMO EN LA ZMCM CON MONITORES PST

3er. TRIMESTRE (SEP-NOV/1990)

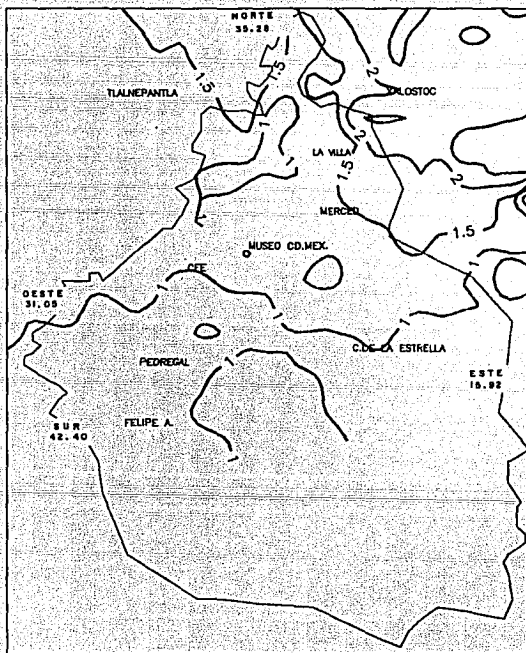


FIG 24 NIVELES DE PLOMO EN LA ZMCM CON MONITORES PST

4to. TRIMESTRE (DIC/1990-FEB/1991)

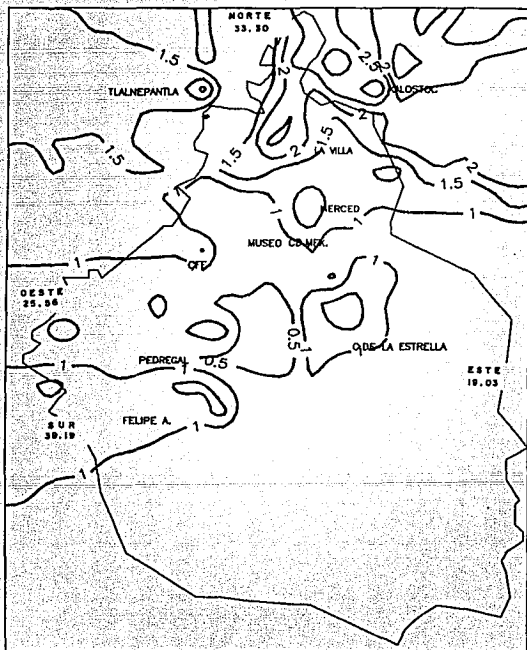


FIG. 25 NIVELES DE PLOMO EN LA ZMCM CON MONITORES PST

se observan niveles que apenas llegan $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir, menores a la norma, desplazando un aumento hacia el final de la temporada de lluvias, y una reducción en la ocurrencia del plomo hacia el final de la temporada de secas, aunque las tolvaneras que se generan en esta época, participan en la remoción de las partículas depositadas.

Para las zonas Sur y Oeste (considerando las estaciones CFE, Pedregal y Felipe Angeles) se aprecian niveles promedio constantes alrededor de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las 2 temporadas, con algunas variaciones locales que pueden deberse al desplazamiento de las partículas desde el NE a través del Área metropolitana.

El comportamiento del plomo, observa un gradiente de concentraciones del NE hacia el SW, que obedece a la depositación inmediata de las partículas grandes y más pesadas en el norte, y al transporte de las de menor tamaño y peso hacia el sur, debido a la dirección predominante del viento NE-SW durante la mayor parte del año.

Por lo que respecta a los niveles encontrados en monitores PM10, el comportamiento espacial del plomo es similar al observado para monitores PST (Figuras 26-29).

En este caso, en las 2 temporadas también se excedió la norma de los Estados Unidos hacia en noreste de la Ciudad, excepto en el segundo trimestre donde se registraron los niveles más bajos de plomo en este estudio por estos métodos. Como se observa en la Figura 27, sólo en la zona Norte apenas alcanzó $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, en los demás periodos correspondientes a marzo-mayo y septiembre-noviembre de 1990, y diciembre/90-febrero/91 (Figuras 26, 28 y 29), llegó a $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona NE, manteniéndose entre 0 y $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el resto de la ZMCM.

Cabe señalar, que en los 3 periodos anteriores se observa también un desplazamiento considerable del metal hacia el Sureste (SE), sobrepasando la norma en el primer trimestre, mientras que en la estación Pedregal se llegaron a registrar valores puntuales de hasta $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De aquí podemos notar que este desplazamiento de debe a que el tamaño de las partículas captadas por estos monitores (>10 micras) es tan pequeño (en comparación con las partículas atrapadas por los monitores PST), que su peso les permite viajar distancias mucho mayores dentro de la ZMCM.

Al contrario de lo que ocurre con los monitores PST, en la temporada de lluvias parece que estas partículas, por ser más pequeñas, no se depositan inmediatamente, por ello en el tercero y cuarto periodos aumenta su desplazamiento hacia el centro y oeste de

1er. TRIMESTRE (MAR-MAY/1990)

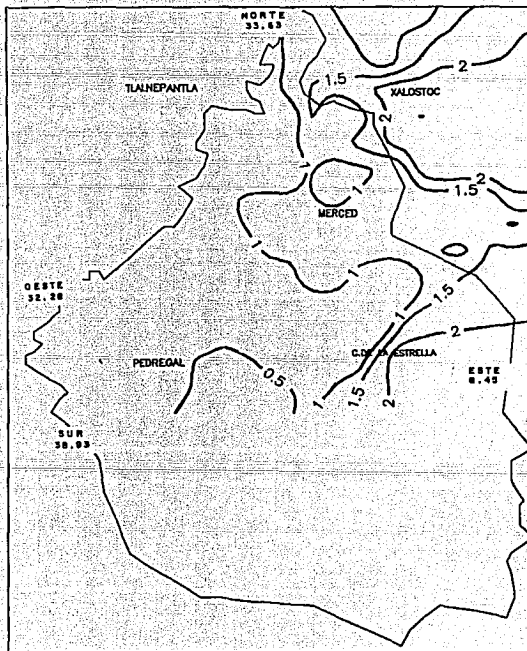


FIG.26 NIVELES DE PLOMO EN LA ZMCM CON MONITORES PM10

2do. TRIMESTRE (JUN-AGO/1990)

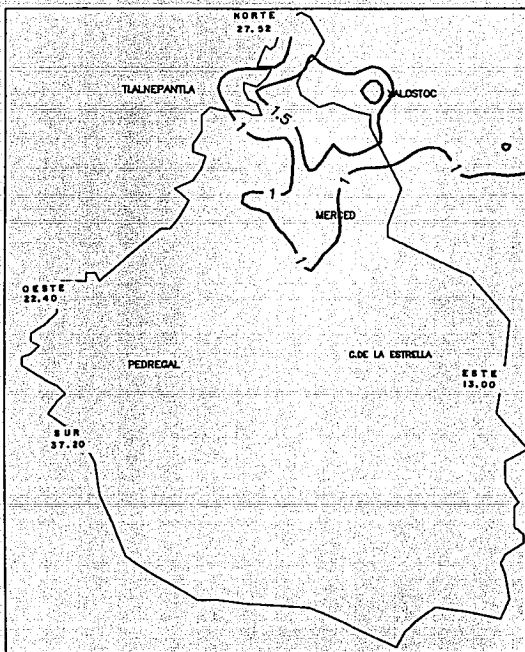


FIG.27 NIVELES DE PLOMO EN LA ZMCM CON MONITORES PM10

3er. TRIMESTRE (SEP-NOV/1990)

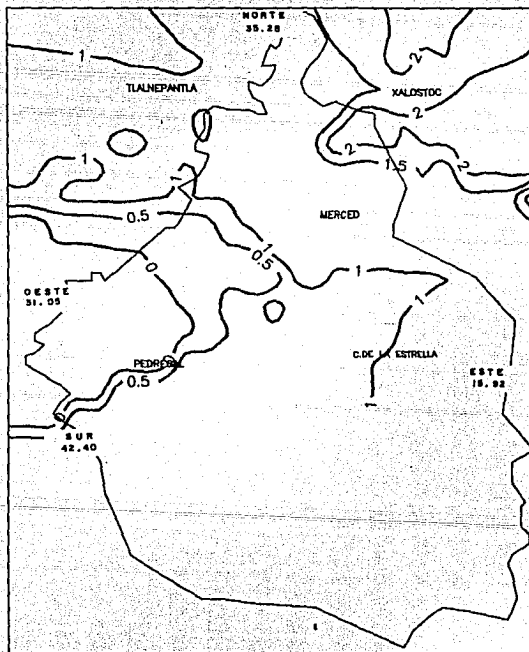


FIG.28 NIVELES DE PLOMO EN LA ZMCM CON MONITORES PM10

4to. TRIMESTRE (DIC/1990-FEB/1991)

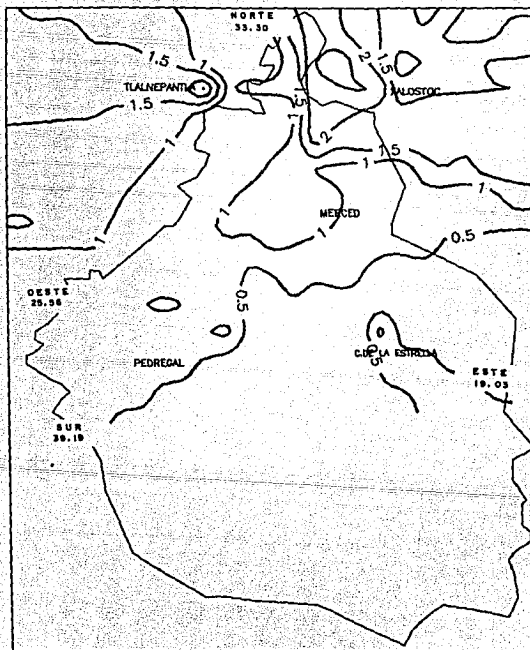


FIG.29 NIVELES DE PLOMO EN LA 2MCM CON MONITORES PM10

la Ciudad, en tanto que en el segundo trimestre, durante la mayor precipitación pluvial se reduce casi totalmente la ocurrencia de plomo en la ZMCM.

Aunque la comparación entre las concentraciones de plomo de los monitores de alto volumen y las concentraciones de los líquenes, no es relación lineal, ambos nos muestran los niveles del metal con respecto al tiempo, y para observar sus diferencias, se compararon espacialmente.

Finalmente, comparando los niveles de plomo encontrados en estos monitores y en los líquenes, se puede decir lo siguiente:

Los líquenes reflejan los niveles de las partículas de plomo que se desplazan a lo largo de la ZMCM y nos indican en qué regiones se depositan finalmente debido a las condiciones meteorológicas locales, en cambio, los monitores de alto volumen reflejan solamente el efecto de emisiones puntuales que promueven una deposición casi inmediata, además de que estas evaluaciones no son hechas de manera continua; mientras que los líquenes permanecen durante los periodos de muestreo.

El análisis de la estructura del bosque y la cobertura de líquenes en las comunidades estudiadas, permitió concluir que, independientemente del grado de afectación que presentan debido a la ocurrencia de metales pesados, el Parque Nacional "Desierto de los Leones" es la zona que presenta una menor densidad arbórea y un menor porcentaje de cobertura líquénica, lo cual es de por sí, una evidencia de las graves condiciones en las que se encuentra. Esto se debe a que la altitud del Parque Nacional impide que el flujo de los vientos predominantes con dirección NE-SW, salga del Valle de México, deteniendo finalmente, el transporte de partículas contaminantes, lo cual provoca un depósito en esta zona y por lo tanto una mayor acumulación de metales pesados.

Como consecuencia del análisis de cúmulos que se efectuó en este estudio se pueden establecer 3 regiones estadísticamente bien diferenciadas en la ZMCM, con base en los niveles de metales que ocurren en la atmósfera, encontrados en los líquenes: el Parque Nacional "Zoquiapan", con niveles bajos de metales y que se presume sin contaminación aparente; El Pico Tres Padres y San Francisco Chimalpa, con un comportamiento espacial muy similar y con niveles intermedios de metales, que se pueden considerar como semicontaminados; y el Parque Nacional "Desierto de los Leones", con niveles altos de metales y que evidentemente presenta un notable grado de contaminación.

De la presencia de metales acumulados por los líquenes en los bosques circundantes a la ZMCM se concluye que el plomo, el cobre, el zinc y el cromo son los metales más importantes por su distribución y por los niveles contaminantes que alcanzan en la atmósfera de la ZMCM. El cadmio no presentó niveles contaminantes y por ello no se le puede considerar como tal; mientras que el hierro presentó valores muy estables (con poca variación temporal) propios del contenido elemental de los líquenes, las diferencias de calcio y potasio se deben al metabolismo diferencial de los líquenes bajo presiones ambientales diferentes.

Los parámetros meteorológicos que mayor influencia tienen sobre la presencia de los metales son: el patrón anual de vientos predominantes, la temperatura ambiente en la temporada de secas y la precipitación pluvial.

El comportamiento de los líquenes en los alrededores de la ZMCM, demostró que la zona urbana tiene también, un impacto ambiental provocado por gases contaminantes, según el concepto de "desierto líquénico".

Respecto al plomo, los líquenes presentaron ventajas como un método alternativo de evaluación, al ser comparados con los monitores de alto volumen PST y PM10:

1. Resultan mejores indicadores regionales que los monitores de alto volumen, ya que presentan coeficientes de variación bajos con un menor número de muestras, además, en las mediciones con los monitores de alto volumen existe una falta de constancia en sus registros mensuales, y esto interrumpe el análisis sistemático de los niveles de plomo.
2. Ambos métodos reflejan la ocurrencia espacial del plomo de manera similar, considerando las mismas variables meteorológicas y antropogénicas que suceden en la ZMCM.
3. Los niveles de plomo detectado en líquenes representan la expresión de la acumulación de los contaminantes y los efectos de las condiciones ambientales sobre los mismos, de tal forma que, mientras los monitores de alto volumen muestran localmente procesos de contaminación provocados por fuentes puntuales, los líquenes son indicadores de la modificación global de la calidad del aire debida a la contaminación.

Las concentraciones de plomo cuantificadas en los líquenes del Parque Nacional "El Chico", Hgo. y del Parque Nacional "Zoquiapan", comparados con los valores encontrados en las zonas restantes y en el estudio con musgos, hecho por Zambrano (1991), indican que 20 ppm es el nivel de "fondo" de plomo en la atmósfera de la cuenca del Valle de México.

Se puede proponer el uso de líquenes foliosos como monitores de contaminación atmosférica en la ZMCM, ya que es un método con un costo bastante bajo que permite hacer evaluaciones regionales y temporales confiables de la ocurrencia del plomo, entre otros metales, derivado de fuentes móviles y puntuales. Por otro lado, se debe considerar que poseen una desventaja para su utilización en masa: la lenta tasa de crecimiento en los líquenes foliosos, que es de 1-2 cm. al año aproximadamente (Hale, 1973). Por esto, se debe planear bien su uso para este tipo de estudios.

Con base en los resultados de las evaluaciones realizadas en este estudio, se considera que los líquenes foliosos del género *Parmotrema*, gracias a su abundancia, a su amplia distribución y a su facilidad de colecta, en las zonas boscosas circundantes a la ZMCM, pueden utilizarse como monitores de la contaminación atmosférica por metales pesados, demostrando ser efectivos indicadores en el caso del plomo, del cobre y del zinc, debido a 3 razones primordiales: a) son una alternativa confiable en cuanto a resultados, b) se les encuentra con relativa abundancia en los bosques mencionados, y c) son una opción técnica de evaluación ambiental con un costo muy bajo.

Addison, P.A. 1984. Quantification of Branch dwelling lichens for the detection of air pollution impact. *The Lichenologist*. 16:297-304.

Ahmadjian, V. y M. E. HALE (Eds.). 1973. *The Lichens*. Academic Press. London, England.

Alexopoulos, C.J. & C.W. Mims. 1979. *Introductory Mycology*. Third ed. John Wiley & Sons, U.S.A.

APHA, AWWA, WPCF. 1985. (15th Ed.). *Standar Methods for the examination of water and wastewater*. Donelly and Sons. USA.

Barnes, R.M. (Ed.). 1978. *Applications of Inductively Coupled Plasma to Emission Spectroscopy*. The Franklin Institute Press. USA.

Boileau, L.V.R., P.V. Beckett, P. Lavoie y D.H.S. Richardson. 1982. Lichens and mosses as monitors of industrial activity associated with uranium mining in northern Ontario, Canada. Part 1: Field procedures, chemical analysis and interspecies comparisons. *Environmental Pollution Ser. B*. 4:69-84.

Bold, H.C., C.J. Alexopoulos and T. Delevoryas. 1980. (4th Ed.) *Morphology of Plants and Fungi*. Harper & Row Publishers. USA.

Brodo, I.M. 1973. Substrate Ecology: 401-441. En: Ahmadjian, V. y M.E. Hale (Eds.) *The Lichens*. Academic Press. USA.

Cantoral, H. 1986. Comunidades líquénicas epífitas en *Abies religiosa* como indicadores de contaminación atmosférica en el Parque cultural y recreativo del Desierto de los Leones. Tesis de Licenciatura (Biología). ENEP-Iztacala. UNAM. México.

Cardoso, M.D. & E. García. 1982. Vegetation and climate in the basin of Mexico. In: Inst. Geog. UNAM (ed.). *Geographical Topics of Mexico City and its Environs: 19-25*. UNAM. México.

Castorena, C.F.J. 1981. Contribución al conocimiento de los líquenes del Estado de Puebla. Tesis profesional. Escuela de Ciencias Químicas, Univ. Aut. de Puebla. México.

Coutiño, B. y A. 1982. Mojica. Estudio de líquenes cortícolas del bosque mesófilo de montaña y de coníferas del Estado de Hidalgo. Bol. Soc. Mex. Micol. 17:166-180.

Coutiño, B. 1986. Líquenes: 65-75. En: Lot, A. y F. Chiang. (Comp.) Manual del herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Consejo Nacional de la Flora de México, A.C. México.

Daniel, W.W. 1982. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa. México.

Davalos de Guzman, L. y G. Guzman. 1969. Clave para identificar algunos líquenes mexicanos. Bol. Inform. Soc. Mex. Micol. 3:13-18.

Dobson, F. 1979. Lichens. An illustrated guide. Richmond Publishing Co. Ltd. Great Britain.

Duran, A.D. y V.M.A. Rivera. 1982. Los musgos epífitos y la contaminación atmosférica en el Área urbana de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura (Biología). ENEP-Iztacala. UNAM. México.

Espinosa, G. y A. López. 1980. (2 da. reimpresión). Introducción a los métodos jerárquicos de análisis de cúmulos. Comunicaciones Técnicas. Serie Verde: Notas. IIMAS. UNAM. México.

Folkesson, L. 1978. Interspecies calibration of heavy metal concentration in nine mosses and lichens, applicability to deposition measurement. Water and soil pollution. 11:253-260.

Folkesson, L. 1984. Deterioration of the moss and lichen vegetation in a forest polluted by heavy metals. Ambio. 13(1):37-39

Franco, J., G. de la Cruz, A. Rocha, N. Navarrete, G. Flores, E. Kato, S. Sánchez, L. G. Abarca, C.M. Bedia y I.W. Aguilar. 1985. Manual de Ecología. Trillas. México.

Fuchs, C. y J. Garty. 1983. Elemental content in the lichen *Ramalina duriaei* (de not.) Jatta at air quality biomonitoring stations. Environmental and experimental botany. 23(1):29-43.

Galley, F.A.Y. & O.L.L. Lloyd. 1983. The use of *Lecanora conizaeoides* as a monitor of distribution of atmospheric pollution by metals. Ecology disease. 2(3):215-224.

Galley, F.A.Y., G.H. Smith, L.J. Rintoul y O.L.L. Lloyd. 1985. Metal deposition patterns in Central Scotland, as determined by lichen transplants. Environmental monitoring and assessment. 5:291-309.

García de León, L.A. 1988. Generalidades del análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales. Divulgación geográfica. Instituto de Geografía. UNAM. 8:7-18.

Garty, J. 1987. Metal amounts in the lichen *Ramalina duriaei* (de not.) Bagl. transplanted at biomonitoring sites around a new Coal-Fired Power station after 1 year of operation. Environmental research. 43:104-116.

Garty, J. y K. Ammann. 1987. The amounts of Ni, Cr, Zn, Pb, Cu, Fe and Mn in some lichens growing in Switzerland. Environmental and experimental botany. 27(2):127-138.

Gilbert, O.L. 1973. Lichens and air pollution: 443-471. En: Ahmadjian, V. y M.E. Hale. (Eds.) The Lichens. Academic Press. USA.

Godbeer, W.C., N.C. Morgan y D.J. Swaine. 1981. The use of moss to monitor trace elements. Proceedings, 7th International clean air conference. Adelaide. Ann Arbor Science Publishers. USA. pp. 789-798.

Gough, L.P., L.L. Jackson. y J.A. Sacklin. 1988. Determining baseline elements composition of lichens II. *Hypogymnia enteromorpha* and *Usnea* spp. at Redwood National Park, California. Water, air, and Soil Pollution. 38:169-180.

Grodsinsky, W. y T.P. Yorks. 1981. Species and ecosystem level bioindicators of airborne pollution: An analysis of two major studies. Water, Air and Soil Pollution. 16:33-53.

Hale, M.E. 1973. Growth: 473-492. En: Ahmadjian, V. y M.E. Hale. (Eds.) The Lichens. Academic Press. USA.

Hale, M.E. 1979. (2nd. Ed.). How to know the lichens. Wm. C. Brown Company Publishers. USA.

Hale, M.E. Jr. y M.Cole. 1988. Lichens of California. California natural history guides: 54. University of California Press. USA.

Henderson-Sellers, A. y M.R.D. Seaward. 1979. Monitoring lichen reinvasion of ameliorating environments. Environmental pollution. 207-213.

Herrera, M.A. 1990. Evaluación del contenido de plomo en *Ramalina farinacea* (L.). Ach. en el Volcán Ajusco D.F. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Hunt, D.T.E. y A.L. Wilson. 1986. (2a. Ed.). The chemical analysis of water: general principles and techniques. The Royal Society of Chemistry. The Alden Press. England.

IMP. 1990. Evaluación de la contaminación atmosférica por ozono en la ZMCM: Informe Correspondiente al periodo 86-91. Div. Prot. Ambiental. México, D.F. México.

IMP. 1991. Biomonitorio de metales pesados utilizando líquenes en la ZMCM (Informe Preliminar). SGTII. STAEDP. Estudios Ecológicos. México, D.F. México.

James, P.W., B.L. Hawksworth y F. Rose. 1977. Lichen communities in the British Islands. En: Seaward, M.R.D. (Ed.) Lichen Ecology. Academic Press. London.

Jáuregui, O.A. 1975. Las zonas climáticas de la Ciudad de México. Bol. Inst. Geog. No. 6: 47-58. UNAM. México.

Lawrey, J.P. y M.E. Hale Jr. 1988. Lichen evidence for change in atmospheric pollution in Shenandoah National Park, Virginia. The Bryologist. 91(1):21-23.

Le Blanc, F., G. Comeau y D. N. Rao. 1971. Fluoride injury symptoms in epiphytic lichens and mosses. Canadian Journal of Botany. 49:1691-1698.

Lechowicz, M. 1982. The effects of simulated acid precipitation on photosynthesis in the caribou lichen. *Water, air and soil pollution*. 18:421-430.

Mueller-Dombois y Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley and Sons. New York.

Muller, C.S., R.L. Thompson, G.J. Ramelow, V.N. Beck, M.P. Langley, V.C. Young, D.M. Casserly. 1987. Distribution of Al, V and Mn in lichens across Calcasieu Parish, Louisiana. *Water, Air and Soil Pollution*. 33:155-164.

Muir, P.S. y B. Mc Cune. 1988. Lichens, tree growth, and foliar symptoms of air pollution: Are the Stories consistent?. *J. Environ. Qual.* 17(3):361-370.

Nash III, H.T. 1971. Lichen sensitivity to hydrogen fluoride. *Bulletin of the Torrey Botanical club*. 98(2):103-106.

Nash III, H.T y M.R. Sommerfeld. 1981. Elemental concentrations in lichens in the area of the Four Corners Power Plant, New Mexico. *Environmental and Experimental Botany*. 21(2):153-162.

Nygard, S. y L. Harju. 1983. A study of the short range pollution around a power plant using heavy fuel oil by analysing vanadium in lichens. *Lichenologist*. 15(1):89-93.

Perez-Silva, E. 1989. La micobiota del Valle de México: 71-79. En: Gío-Argáez, R., I. Hernández-Ruiz y E. Sáinz-Hernández (Eds.) *Ecología Urbana*. Sociedad Mexicana de Historia Natural.

Perkin Elmer. 1976. *Analytical methods for Atomic Absorption Spectrophotometry*.

Pilegaard, K. 1978. Heavy metals in bulk precipitation and transplanted *Hypogymnia physodes* and *Dicranomesia cirrata* in the vicinity of Danisk steelworks. *Water, air and soil pollution*. 11:77-91.

Reyna, T.T. 1989. Aspectos climáticos de la Cuenca del Valle de México: 25-39. En: Bio-Argáez, R, I. Hernández-Ruiz y E. Sáinz-Hernández (Eds.) Ecología Urbana. Sociedad Mexicana de Historia Natural.

Rosales, L.J. 1985. Análisis aeropalinológico anual del norte de la Ciudad de México, implicaciones en la contaminación ambiental y en la alergología. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Rzedowski, J., G. Guzmán, A.C. Hernández y R. Muñiz. 1964. Cartografía de los principales tipos de vegetación de la mitad septentrional del Valle de México. An. Esc. Nac. Cienc. Biol. 13(1-4):31-56.

Rzedowski, J. & G.C. de Rzedowsky. 1979. Flora fanerogámica del Valle de México. Ed. Continental. México.

Schwartzman, D., M. Kasim, L. Stieff, J.H. Johnson Jr. 1987. Quantitative monitoring of airborne lead pollution by foliose lichen. Water, air and soil pollution. 32:363-378.

SEDUE. 1985. Informe sobre el estado del medio ambiente en México. México.

SEDUE. 1987. Políticas y Estrategias de abatimiento de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Metepec, Puebla. México.

SEDUE. 1988. La contaminación atmosférica en el Valle de México. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. México.

Swinscow, T.D.V. & H. Krog. 1988. Macrolichens of East Africa. British Museum (Natural History). London. England.

Syers, J.K. y I.K. Iskandar. 1973. Pedogenic significance of lichens: 225-244. En: Ahmadjian, V. y M.E. Hale (Eds.) The lichens. Academic Press. USA.

Thompson, R.L., G.J. Ramelow & J.N. Beck. 1987. A study of airborne metals in Calcasieu Parish, Louisiana using the lichens, *Parmelia praesorediosa* and *Ramalina stenospora*. Water, air and soil pollution. 36:295-309.

Tuominen, Y. y T. Jaakkola. 1973. Absorption and accumulation of mineral elements and radioactive nuclides: 185-223. En: Ahmadjian, V. y M.E., Hale. (Eds). The lichens. Academic Press. USA.

Ulloa, M. y R.T. Hanlin. 1978. Atlas de micología básica. 1a. ed. Edit. Concepto. México.

Velasco, J.W. 1983. La contaminación atmosférica en la Ciudad de México. Ciencia y Desarrollo. 52:59-63.

Vilaclara, G. y T. Cantoral. 1986. Avances de la investigación de líquenes epífitos como indicadores de contaminación atmosférica en el Valle de México. Memorias del IV Curso y simposio sobre biología de la contaminación.

Ward, P.M. 1991. México: una megaciudad. Producción y reproducción de un medio ambiente urbano. 1a. ed. Edit. Patria. México.

Zambrano, G.A. 1991. Evaluación del contenido de plomo en el musgo *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Marg. de los bosques de oyamel de la Cuenca de México. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Zimdahl, R.L. 1976. Entry and movement in vegetation of lead derived from air and soil sources. Journal of the Air Pollution Control Association 26(7):655-660.

ANEXO 1

DIAGNOSIS DE ESPECIES

DIAGNOSIS DE ESPECIES

Clasificación taxonómica de las especies (Cantoral, 1986):

Reino Mycetozoa (Fungi); división Ascolichens; subdivisión Hymenoascolichens; clase Ascomicetae; subclase Ascomicetidae; orden Lecanorales; suborden Lecanorinae; familia Parmeliaceae.

1.- *Parmelia rudecta* (Ach.) Hale

Talo verdoso a gris azulado, estrechamente adherido; superficie superior densamente isidiada, isidios cilíndricos y lobulares; superficie inferior densamente rizada hacia los márgenes de color café claro, algunos apotecios presentes.

Pruebas de color: Corteza K+ amarillento (atranorina); médula K-, C+ rojo, P- (ácido lecanórico).

Microcristalización: atranorina con G.A.O-T.

Se le encuentra sobre la corteza de *Quercus*. Los ejemplares colectados proceden del Pico Tres Padres en la Sierra de Guadalupe al Norte del Distrito Federal.

2.- *Parmelia subrudecta* (Ach.) Hale

Talo gris mineral verdoso, adherido a muy adherido; soralios laminares y marginales; superficie inferior café claro, rizada hacia los márgenes; apotecios muy raros.

Pruebas de color: Corteza K+ amarillo (atranorina); médula C+, KC+ rojo (ácido lecanórico).

Microcristalización: atranorina con G.A.O-T.; ácido lecanórico con G.A.W.

Se le encuentra sobre la corteza de *Abies* y *Pinus*. Los ejemplares colectados proceden de San Francisco Chimalpa, en la Sierra de Monte Alto, al Oeste del Distrito Federal.

3.- *Parmotrema arnoldii* DR.

Talo gris mineral ligeramente adherido; soredios principalmente submarginales en lóbulos cortos; superficie inferior negra con una zona angosta desnuda de color café a beige; márgenes ciliados; carace de apotecios.

Pruebas de color: Corteza K+ amarillo (atranorina); médula K-, KC+ rojo, C-, P- (ácido alectorónico).

Microcristalización: ácido alectorónico con G.A.W.

Esta especie se puede confundir con *Parmotrema perlatum*, diferenciándose únicamente por la prueba K en la médula (Hale, 1979). Se le encuentra sobre la corteza de *Abies*. Los ejemplares colectados proceden del Parque Nacional "El Chico", en el estado de Hidalgo, y del Parque Nacional "Desierto de los Leones", en el Distrito Federal.

4.- *Parmotrema reticulatum* (Tayl.) Choisy

Talo gris mineral, adherido a ligeramente adherido, regularmente lobulado; superficie superior finamente reticulada; soredios laminares a submarginales; márgenes ciliados; médula blanca; superficie inferior negra con los márgenes de color café; rizinada, rizinas negras simples; apotecios no observados.

Pruebas de color: Corteza K+ amarillo (atranorina); médula K+ amarillo → rojo, P+ naranja (ácido salizínico).

Microcristalización: atranorina y ácido salizínico con B.A.O-T.

Se le encuentra sobre la corteza de *Abies* y *Pinus*. Los ejemplares colectados proceden del Parque Nacional "El Chico", en Hidalgo; del Parque Nacional "Zoquepán", en Puebla y del Parque Nacional "Desierto de los Leones", en el Distrito Federal.

Castorena (1981) registró *P. reticulatum* en el Distrito Federal, Hidalgo y el Valle de México; Hale (1969) la registró para el noreste de México.

5.- *Parmotrema stuppeum* (Tayl.) Hale

Talo gris mineral, ligeramente adherido; superficie inferior negra rizinada con una zona marginal ancha y desnuda de color café a beige; médula blanca; soredios marginales en soralios angostos; apotecios no observados.

Pruebas de color: Cortex K+ amarillo (atranorina); médula K+ amarillo → rojo, P+ naranja (ácido salizínico).

Microcristalización: ácido salizínico con B.A.O-T.

Se le encuentra sobre la corteza *Abies* y *Pinus*. Los ejemplares colectados proceden del Parque Nacional "El Chico", Hidalgo, y del Parque Nacional "Zoquepán", Puebla.

6.- *Parmotrema perlatum* (Huds.) Choisy

Talo gris mineral, ligeramente adherido; lóbulos poco anchos con soredios en las puntas; márgenes con cilios cortos; médula blanca; superficie inferior negra regularmente rizinada con una zona marginal angosta y desnuda color café; carece de apotecios.

Pruebas de color: Cortex K+ amarillo (atranorina); médula K+ amarillo, P+ naranja (Ácido esteólico).

Microcristalización: atranorina con G.A.O-T.

Se le encuentra sobre la corteza de *Quercus*. Los ejemplares colectados proceden del Pico Tres Padres en la Sierra de Guadalupe en el Norte del Distrito Federal.

ANEXO 2

REGISTROS METEOROLOGICOS

ANEXO 2A. REGISTROS DE TEMPERATURAS PROMEDIO DIARIAS DURANTE UN AÑO (MAYO/1990-MAYO/1991)

DIA	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
1	20.9	17.4	15.2	16.2	16.1	17.1	14	14.8	14.6	13.8	18.8	16.8	20.2
2	21.4	20.8	15.6	17.6	15.3	18.7	15.2	16.3	14.2	14.1	20	19.5	19.8
3	21.2	18.3	17.1	17.5	16	19.2	16.9	15.9	13.5	14.7	15.6	21.2	20.1
4	17.6	18.1	17.2	17.5	16.6	17.8	15.7	10.6	13.1	14.6	15.6	18.9	21.5
5	15.8	19.2	16.8	17.4	16.1	17.1	16.9	14.7	13.8	14.9	16.4	17.8	21.4
6	13.7	19.7	15.9	15.4	17.2	16	18.1	14.5	14.1	14.5	20.5	18.7	16.4
7	13.9	19.4	16.3	13.4	15.1	17.1	17.6	12	14.1	12.1	22.1	19.1	16.7
8	17.2	19.4	15.3	15.9	16.4	17.7	18.2	9.8	14.5	12.7	21.8	19.8	15.4
9	19.8	19	15.6	16.8	15.2	16	16.7	11	14.6	14.5	19.4	20.5	16.9
10	20.2	19	16.2	16.6	17.5	17.1	25.2	11.4	15.6	16.3	16.5	20.3	15.7
11	19.7	17	15.5	16.4	17	19.8	15.4	15.4	15.6	16.2	19	20.4	18.9
12	18.7	17.7	16.4	16.9	15.7	17	11.4	14.7	13	16.2	20.9	21	19.1
13	17.5	17.7	16.4	17.1	16.5	16.6	11.4	14.3	12.2	16.5	20.7	21.7	18.3
14	19.6	18.3	16.6	17	16.9	17.6	13.3	13.6	13.8	16.8	21.2	21.3	17.9
15	20.6	18.6	17.6	17.1	17.8	18.8	15.2	15.2	14.2	16.3	21	19.6	20.1
16	21.1	19	17.9	17.5	17.1	16.5	15.4	15.1	14.6	17	21.5	18.9	19.8
17	20.1	18.9	17.9	17.9	16	16.1	14.5	16.2	14.9	18.4	21.9	20	21
18	20.6	17.4	16.4	17.4	16.2	15.4	15.9	15.8	15.7	18.1	21.4	22	19.6
19	26.4	17.3	16	17.9	17.2	15.4	16.1	15.5	16.4	18.2	21.7	22.8	19.6
20	19.7	17.2	16.8	18.2	16.5	16.6	17.3	16.1	16.7	17.3	21.1	20.4	20.7
21	17.1	16.6	17.1	17.4	18.2	16.8	17.5	17	16.3	17.7	20.6	20.1	21.5
22	14.8	15.8	16.5	17.1	17.8	16.5	18.2	16.6	16.7	16.8	21	21.9	22.4
23	16.6	16.7	15.8	16.7	16.2	16.9	16.7	16.6	16.6	16	20.8	23	22.9
24	18.3	16.1	16.9	17.7	16.2	16.6	16.1	13.6	15.3	17.5	19.9	22.1	25.2
25	20.5	15.2	17.6	17.4	16.5	14.2	17.4	14.1	15.8	18.5	20.5	21.9	21.3
26	21.5	16.4	17.7	17.9	17.2	15.2	17.5	14.7	15.2	18.1	20.8	22.5	17.7
27	22.2	16.3	17.5	16.7	18.6	12.3	18.3	14.9	14.7	18.5	21.7	22.3	19
28	23.1	16.2	16.3	15.9	17.8	11.5	18	15.3	16.3	19.2	21.6	22.2	16.5
29	21.7	15.5	16.4	16.9	17.7	11.7	11.5	15.9	17		20.4	21.7	19.2
30	21.3	15.6	16.6	16.2	17.1	13.6	11.9	14.8	17.1		20.3	20.8	20.9
31	21.9		15.8	16.2		13.6		13.9	12.4		16		21.4

ANEXO 2B. REGISTROS DE HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO DIARIA DURANTE UN AÑO (MAYO/1990-MAYO/1991)

DIA	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
1	43	39	83	76	66	58	60	57	55	50	37	36	42
2	40	60	84	86	82	81	53	53	51	69	27	22	46
3	41	56	77	72	75	58	47	55	52	62	27	22	44
4	71	66	76	64	73	67	50	78	64	51	34	35	42
5	77	53	67	76	73	63	59	66	47	45	25	44	32
6	74	58	71	68	63	65	50	57	56	58	25	44	54
7	79	57	67	88	74	70	55	61	56	66	19	26	52
8	67	53	83	70	85	67	59	56	59	60	22	21	53
9	61	68	71	71	79	59	65	45	55	53	34	22	50
10	39	65	68	67	66	68	76	28	55	32	39	28	68
11	52	66	69	79	68	71	55	33	37	39	28	21	46
12	57	66	73	56	77	74	39	31	54	35	31	25	64
13	71	69	66	60	74	77	55	35	52	37	38	26	39
14	52	66	71	64	76	64	59	22	40	36	28	32	46
15	49	62	71	76	75	75	62	33	33	53	28	43	40
16	33	64	75	64	76	74	60	35	34	55	23	43	47
17	33	64	67	70	79	76	64	43	26	39	25	34	31
18	54	67	71	78	78	79	52	38	40	37	30	32	40
19	47	68	64	69	71	75	52	47	41	30	32	28	52
20	55	71	69	50	58	74	45	40	37	35	25	44	41
21	56	79	63	68	56	74	49	43	37	37	27	41	41
22	54	84	79	61	75	79	45	35	45	38	21	41	44
23	49	71	71	69	64	74	56	34	44	56	24	25	34
24	43	79	72	65	72	74	55	52	54	39	32	30	36
25	41	76	61	72	68	83	50	46	50	41	38	31	52
26	29	75	60	69	70	69	49	49	56	39	30	31	48
27	34	75	59	69	57	76	57	43	51	38	30	29	46
28	31	77	69	71	61	68	50	41	45	30	29	27	51
29	41	70	72	69	69	72	78	47	37	37	25	26	44
30	42	77	75	67	56	64	65	52	36	25	25	37	45
31	41		68	70		59		53	58		37		38

ANEXO 3

VALORES NOMINALES DE CONCENTRACION DE METALES

ANEXO 3R. VALORES NOMINALES DE METALES EVALUADOS EN LIQUENES DEL PARQUE NACIONAL "EL CHICO", HGO. (ZONA DE REFERENCIA)

MAYO/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cr	Cr	Fe	Ca	K
R-A-1	7.14	4.64	41.41	1.45	3.57	1400	1500	2700
R-A-2	6.83	5.47	45.13	1.37	3.42	1800	2700	3200
R-A-3	4.96	4.46	37.67	1.24	2.48	1600	50	3100
R-A-4	5.72	4.57	36.59	1.14	2.86	1200	1700	2800
R-A-5	7.08	5.31	48.14	1.42	3.54	1600	2100	3300
R-A-6	5.41	4.87	42.48	1.08	3.79	1500	2300	1900
R-A-7	5.19	4.67	35.32	1.04	2.60	1300	2100	3200
R-A-8	5.89	5.12	34.42	1.14	1.71	90	1700	3200
R-A-9	11.48	5.74	40.74	1.15	4.59	1600	2800	3500
R-A-10	12.40	5.27	40.93	1.24	3.10	200	1700	300
R-A-11	10.56	6.34	42.25	0.70	3.52	2300	2100	300
R-A-12	9.48	6.95	41.38	0.53	3.16	1800	200	3300
R-A-13	3.20	8.32	45.74	1.28	3.20	1300	700	3700
R-A-14	8.14	7.32	36.34	1.08	3.80	1700	1600	2800
R-A-15	8.31	6.92	39.87	1.11	3.88	1800	1900	3100
R-A-16	7.60	7.02	37.45	0.78	3.54	1400	1800	3100
R-A-17	8.53	6.26	42.94	0.85	2.84	1800	200	3400
R-A-18	13.93	7.29	40.09	1.46	3.64	1600	9100	3300
R-A-19	0	7.35	35.33	1.13	2.83	1700	1500	2900
R-A-20	8.58	6.67	42.35	1.14	2.86	1900	200	3200

AGOSTO/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cr	Cr	Fe	Ca	K
R-B-1	13.22	6.61	50.22	0.33	0.33	2113	3106	2635
R-B-2	10.68	7.71	68.84	0.30	0.89	1494	3991	4810
R-B-3	11.18	6.71	49.18	0.28	0.84	1451	2896	3612
R-B-4	10.06	7.41	51.37	0	0.33	1407	3204	3256
R-B-5	7.42	6.85	53.62	0.29	0.29	1550	3166	3717
R-B-6	9.39	5.52	41.42	0.28	0.28	1213	2458	3312
R-B-7	9.15	7.09	40.36	0.27	0.27	1624	2795	3077
R-B-8	6.36	6.04	35.77	0.23	0.23	1130	2067	3616
R-B-9	7.55	6.02	40.66	0.25	0.25	1181	2786	2744
R-B-10	11.42	7.62	52.55	0.38	0.38	2526	3294	3299
R-B-11	8.76	7.30	39.70	0.24	1.46	1468	3167	2629
R-B-12	8.27	5.84	35.53	0.24	0.24	1342	2184	2402
R-B-13	11.99	6.13	41.81	0.29	0.28	1604	3512	3033
R-B-14	11.73	6.60	40.93	0.27	0.43	1614	3507	2961
R-B-15	10.47	6.06	33.68	0.28	2.76	1630	2900	2577
R-B-16	5.98	5.48	35.39	0.50	0.50	1299	2342	3025
R-B-17	9.25	6.17	37.37	0.26	0.26	1531	3367	2637
R-B-18	12.13	3.77	3.31	1.12	0.38	1224	2644	2144
R-B-19	5.69	5.67	31.17	0.24	0.74	1102	2455	2131
R-B-20	11.68	5.2	3.35	0.21	0.28	1743	2615	531

NOVIEMBRE/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cr	Cr	Fe	Ca	K
R-C-1	16.70	5.64	35.65	0.23	4.06	1227	1935	2738
R-C-2	1.42	0.51	3.30	0.04	0.49	95	115	309
R-C-3	10.07	4.17	34.39	0.17	3.13	909	919	2911
R-C-4	15.14	6.15	41.15	0.24	5.88	1371	1644	3336
R-C-5	13.84	5.41	36.77	0.43	1.73	1226	1491	2843
R-C-6	12.07	5.80	39.00	0.46	3.25	1123	1154	3717
R-C-7	12.60	4.53	29.55	0.20	3.15	789	944	2774
R-C-8	17.55	6.34	0	0.49	6.82	1048	1717	5241
R-C-9	13.09	5.79	46.32	0.25	3.02	1328	1908	3859
R-C-10	17.92	7.28	49.83	0.28	11.76	1538	2296	4196
R-C-11	16.05	6.36	52.09	0.28	1.46	1352	1293	3609
R-C-12	13.66	6.57	45.79	0.26	2.10	1184	1490	3518
R-C-13	18.07	8.20	49.74	0.28	4.52	1576	1750	4036
R-C-14	17.65	8.06	59.01	0.28	3.51	1543	2503	4285
R-C-15	15.12	6.85	42.99	0.24	3.78	1185	1123	3374
R-C-16	13.04	7.02	50.66	0.25	3.51	1993	1197	3618
R-C-17	12.39	5.96	40.03	0.24	1.43	1119	1849	3221
R-C-18	14.71	7.23	45.73	0.25	2.60	1014	2042	3272
R-C-19	16.47	9.01	54.57	0.26	3.60	1620	1385	3379
R-C-20	32.60	11.37	67.35	0.21	4.25	1419	2226	2282

FEBRERO/1991

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cr	Cr	Fe	Ca	K
R-D-1	13.99	7.90	50.54	0.23	6.77	1321	2499	3176
R-D-2	14.83	9.11	37.30	0.26	2.08	1610	1110	3233
R-D-3	15.82	9.70	6.88	0.25	6.13	1219	913	3362
R-D-4	20.21	8.81	28.83	0.26	1.07	1152	1789	3619
R-D-5	12.21	7.95	27.82	0.25	0.28	984	1041	2980
R-D-6	12.92	7.31	29.25	0.24	1.95	1184	1634	4474
R-D-7	35.08	7.01	2.60	0.26	5.97	1072	915	3144
R-D-8	12.07	5.41	0.64	0.32	2.54	956	1277	2442
R-D-9	14.17	4.80	0.93	0.24	1.44	1128	1025	4236
R-D-10	14.11	6.24	0.54	0.27	2.17	1697	1191	3752
R-D-11	8.69	6.90	0.51	0.51	3.58	855	899	3375
R-D-12	53.00	4.96	0.49	0.49	1.94	1196	852	2065
R-D-13	19.43	4.85	0.25	0.65	1.94	1379	10005	2981
R-D-14	15.36	5.57	0.45	0.44	1.11	1108	750	3364
R-D-15	21.44	17.87	60.17	0.71	2.86	2591	1801	4924
R-D-16	13.35	12.92	40.46	0.40	0.81	1525	1336	3423
R-D-17	10.52	5.55	1.11	0.24	1.93	981	945	3684
R-D-18	9.52	3.51	0.50	0.22	0.25	678	771	2120
R-D-19	13.42	5.50	6.54	0.27	1.61	1193	1051	2650
R-D-20	15.29	5.05	0.64	0.64	0.64	1069	940	3080

Todos los valores están dados en partes por millón de peso seco (ppm)

ANEXO 3N. VALORES NOMINALES DE METALES EVALUADOS EN LIQUENES DEL PICO TRES PADRES (ZONA NORTE)

MAYO/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
M-A-1	36.51	26.16	64.50	1.09	5.45	2696	8746	3459
M-A-2	46.19	24.42	71.14	2.12	1.06	3432	4166	3046
M-A-3	37.02	19.89	46.42	2.21	0.56	2682	12325	3116
M-A-4	23.43	19.94	42.87	1.99	3.51	2689	7242	4091
M-A-5	27.46	18.70	29.80	3.51	80.5	2521	19310	3055
M-A-6	60.62	23.09	91.54	2.47	2.47	2439	2536	4135
M-A-7	33.24	17.84	42.67	4.84	0.95	2349	7070	3593
M-A-8	40.58	18.80	55.43	1.94	0.47	2572	6676	4073
M-A-9	18.72	60.73	9.93	0.48	2625	3533	5462	
M-A-10	40.59	18.21	78.15	2.28	0.38	1811	7663	3751
M-A-11	24.80	14.06	44.41	1.46	0.74	1871	8179	3223
M-A-12	27.95	14.60	71.76	1.07	0.63	2251	4446	3525
M-A-13	33.58	15.54	37.09	0.60	1.00	2623	12120	2525
M-A-14	29.07	16.05	59.00	0.87	0.87	2388	3232	5218
M-A-15	30.77	15.16	35.37	0.92	0.92	2487	8818	3246
M-A-16	26.96	15.49	32.12	1.15	0.57	2486	1970	3647
M-A-17	32.46	17.53	71.62	1.49	2.24	2050	2587	3659
M-A-18	35.04	20.40	50.73	1.05	1.14	3166	3132	3877
M-A-19	26.38	14.25	57.36	1.21	1.21	1678	2935	4553
M-A-20	17.67	11.35	57.29	1.65	0.26	1207	5329	3901

AGOSTO/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
M-B-1	33.61	9.20	109.96	0.71	0.35	1406	7730	3791
M-B-2	25.54	10.35	121.24	1.42	1.62	1731	6962	3327
M-B-3	22.30	7.61	108.22	3.76	0.54	1122	24051	3869
M-B-4	23.37	7.13	119.63	0.95	0.40	1142	17567	3388
M-B-5	32.55	7.42	93.93	0.99	0.41	1341	17241	3126
M-B-6	39.17	7.93	85.20	0.50	0.50	1518	21424	2725
M-B-7	26.10	7.01	92.70	0.55	0.39	1205	15035	3428
M-B-8	34.38	5.18	79.34	0.60	0.43	1143	22582	3507
M-B-9	29.40	6.98	97.32	0.47	0.34	976	13466	3455
M-B-10	26.47	6.70	77.73	0.80	0.34	1047	11744	3405
M-B-11	26.54	8.06	89.38	0.81	0.34	1557	6854	3129
M-B-12	25.75	7.38	73.16	0.74	0.31	1166	8523	2236
M-B-13	22.30	8.94	73.31	1.66	0.38	8434	13594	2119
M-B-14	40.10	10.46	103.21	1.53	0.35	1435	10975	3038
M-B-15	21.28	7.22	66.66	0.87	0.36	1095	15594	2897
M-B-16	27.05	6.83	63.21	0.68	0.28	1171	7419	3115
M-B-17	19.65	9.32	66.60	0.80	0.30	3277	8941	2825
M-B-18	17.95	10.72	69.98	0.73	0.30	984	10983	2724
M-B-19	21.75	7.14	66.57	0.25	0.20	1210	5995	3180
M-B-20	34.39	9.57	93.31	0.42	0.30	1278	7192	2656

NOVIEMBRE/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
M-C-1	32.23	7.91	88.48	0.29	0.53	953	11120	4016
M-C-2	45.32	10.73	107.95	0.35	3.11	1777	6990	4195
M-C-3	38.09	10.02	97.04	0.40	3.61	1578	14818	3352
M-C-4	42.32	11.02	87.28	0.44	5.73	1801	16069	3941
M-C-5	53.13	11.92	110.65	0.48	2.86	2116	15717	4261
M-C-6	41.84	12.22	119.40	0.47	6.11	2179	11542	3873
M-C-7	30.88	7.88	57.52	0.33	9.59	955	12632	4206
M-C-8	55.54	8.53	75.50	0.54	1.62	1745	20305	5603
M-C-9	42.29	8.32	82.14	0.38	2.55	1754	12845	4224
M-C-10	39.74	9.72	98.55	0.65	11.46	1714	11272	4375
M-C-11	23.65	6.50	82.65	0.26	4.68	777	10695	4010
M-C-12	25.58	5.65	77.86	0.30	4.46	678	9941	3700
M-C-13	31.47	17.79	85.01	0.63	0.94	1066	13210	3170
M-C-14	26.34	6.86	84.40	0.24	1.22	985	9219	4224
M-C-15	29.93	5.20	52.46	0.30	1.83	805	12974	2659
M-C-16	24.24	4.69	45.58	0.20	1.64	857	9204	4050
M-C-17	32.96	6.59	77.28	0.22	1.81	986	5900	3755
M-C-18	31.67	8.91	61.75	0.39	3.38	1610	6858	4176
M-C-19	23.22	7.54	63.61	0.20	2.12	822	1382	4139
M-C-20	31.6	7.39	77.33	0.32	1.34	1206	11315	5043

FEBRERO/1991

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
M-D-1	37.79	9.54	116.80	0.76	4.20	1521	11605	3971
M-D-2	36.72	12.35	82.79	0.57	2.67	1481	8261	4675
M-D-3	31.10	9.16	68.87	0.67	1.38	1183	8013	4154
M-D-4	29.98	18.32	70.11	1.12	0.40	1169	16473	3369
M-D-5	33.23	12.33	61.79	1.26	0.90	1487	20162	3353
M-D-6	26.42	9.52	64.52	0.68	0.92	683	12274	3779
M-D-7	28.05	6.19	59.75	0.58	1.82	1015	14538	3658
M-D-8	41.08	6.64	72.13	0.31	2.92	1223	16475	4618
M-D-9	30.03	5.31	59.42	0.67	1.67	1222	11164	4417
M-D-10	33.53	7.51	87.35	0.56	1.41	1236	6347	4239
M-D-11	23.79	9.36	82.45	0.77	0.27	981	5950	3755
M-D-12	22.88	5.46	60.68	0.80	0.25	773	6829	2706
M-D-13	30.05	9.77	67.51	0.40	2.53	1489	10266	4460
M-D-14	19.16	15.07	58.30	0.40	1.08	1072	5770	4907
M-D-15	24.41	7.10	56.70	0.32	0.78	981	10213	3162
M-D-16	39.31	10.23	57.25	0.38	1.24	1196	15315	4526
M-D-17	38.10	11.31	78.42	0.51	1.51	1237	13743	3661
M-D-18	35.64	11.41	59.27	1.22	2.65	2225	2592	4488
M-D-19	70.48	32.43	52	0.66	0.83	4387	22452	4124
M-D-20	34.67	14.22	68.45	0.53	2.22	2057	7747	4558

Todos los valores están dados en partes por millón de peso seco (ppm)

ANEXO 35. VALORES NOMINALES DE METALES EVALUADOS EN LIQUENES DEL PARQUE NACIONAL "DESIERTO DE LOS LEONES" (ZONA SUR)

MAYO/1990

AGOSTO/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
S-A-1	51.5	16.5	60.9	0.38	4.8	2400	1500	2900
S-A-2	47.0	18.8	83.6	0.30	3.9	1700	2700	2500
S-A-3	50.0	17.9	67.9	0.37	4.7	2300	1400	2500
S-A-4	42.1	18.9	74.7	0.36	4.3	2100	1700	3000
S-A-5	27.6	15.6	70.5	0.28	3.4	1400	1100	2500
S-A-6	33.5	16.9	62.4	0.39	4.5	2300	1500	2600
S-A-7	29.7	15.0	54.6	0.34	4.4	2100	200	2200
S-A-8	43.0	15.9	70.0	0.29	4.4	1800	2300	700
S-A-9	29.0	15.4	57.4	0.29	3.5	1400	1700	700
S-A-10	33.5	15.3	68.9	0.24	4.1	1500	1400	2100
S-A-11	37.1	14.9	69.3	0.35	3.4	200	2700	2500
S-A-12	37.3	16.4	68.0	0.30	3.6	1700	1400	2700
S-A-13	39.5	15.7	58.0	0.30	2.9	1400	1300	2600
S-A-14	33.0	14.9	54.3	0.24	3.6	1700	1600	2300
S-A-15	57.7	19.6	74.2	0.35	5.2	2600	1700	2800
S-A-16	36.1	16.0	70.4	0.31	4.0	1600	1500	2800
S-A-17	29.8	15.5	57.0	0.20	3.2	1300	1200	2500
S-A-18	34.6	15.8	57.6	0.28	2.5	1300	1200	2400
S-A-19	43.7	15.0	64.4	0.26	4.0	1600	1700	2300
S-A-20	42.8	01.6	51.3	0.29	3.7	1700	1700	2800

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
S-B-1	40.20	17.32	103	0.65	1.31	2175	2337	2039
S-B-2	35.39	18.49	79	0.53	1.06	1674	1165	2657
S-B-3	35.92	18.54	78	0.62	0.62	2074	2154	1767
S-B-4	30.33	19.08	78	0.70	0.35	1709	10449	2893
S-B-5	25.24	13.28	114	0.66	0.33	1433	11474	2854
S-B-6	27.56	19.65	73	0.55	1.09	1614	1815	2349
S-B-7	32.11	18.33	90	0.59	1.19	1538	1023	2335
S-B-8	24.51	16.93	63	0.29	0.29	1592	1022	1963
S-B-9	27.23	13.61	72	0.61	0.30	1230	11149	2455
S-B-10	28.49	15.08	7	0.67	0.34	1647	11246	2290
S-B-11	56.62	13.83	116	0.43	0.43	2124	11389	2745
S-B-12	34.47	15.79	107	0.37	1.29	2002	1386	2031
S-B-13	52.47	11.66	101	0.59	0.49	1486	19304	2760
S-B-14	36.24	15.37	99	0.29	0.29	1230	884	2364
S-B-15	43.22	17.74	87	0.83	0.42	2234	6510	2163
S-B-16	32.23	12.12	84	0.52	0.26	1315	4745	2901
S-B-17	35.11	15.31	69	0	0.29	1537	595	2861
S-B-18	47.66	12.19	73	0.11	0.36	1462	11325	2072
S-B-19	37.79	15.17	33	0.65	0.28	1265	505	2302
S-B-20	51.47	20.93	94	0.15	0.31	2269	1276	2306

NOVIEMBRE/1990

FEBRERO/1991

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
S-C-1	17.01	7.92	65	0.29	2.35	1436	2494	4588
S-C-2	58.69	16.38	102	0.46	3.17	1733	2089	2879
S-C-3	38.56	12.60	48	0.50	2.52	1910	1671	2807
S-C-4	31.57	13.17	98	0.49	2.49	1665	1890	2835
S-C-5	25.37	11.57	97	0.49	2.76	1499	4059	2818
S-C-6	33.89	11.86	64	0.48	2.42	1524	5219	2248
S-C-7	42.27	15.57	95	0.05	3.70	2653	2874	2349
S-C-8	36.18	9.74	90	0.55	2.50	1541	5435	1776
S-C-9	44.37	12.39	139	0.04	3.19	2237	3264	2892
S-C-10	49.03	14.07	129	0.90	1.36	2159	8197	2804
S-C-11	45.48	14.16	110	0.74	1.86	2139	4527	2945
S-C-12	47.78	13.98	130	0.77	3.10	1918	4790	2854
S-C-13	63.70	13.98	130	1.09	3.29	2359	13055	2751
S-C-14	39.37	14.14	104	0.76	3.44	1956	4443	2822
S-C-15	50.90	12.82	127	0.77	2.33	2412	7929	2394
S-C-16	50.51	16.28	91	0.77	3.49	2912	6374	2387
S-C-17	41.69	14.55	92	0.52	3.64	1345	3163	2375
S-C-18	46.23	12.96	89	0.56	3.10	1688	9245	581
S-C-19	49.20	15.23	97	0.51	3.35	1994	1976	993
S-C-20	37.11	21.47	96	0.54	3.57	2369	1816	684

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
S-D-1	35.89	15.24	73.25	0.19	5.90	1828	1678	3019
S-D-2	41.73	17.07	98.64	0.47	23.24	1645	1749	3184
S-D-3	44.81	16.35	90.23	0.30	31.49	2082	1954	2811
S-D-4	45.54	15.06	99.48	0.70	20.31	1813	10142	2495
S-D-5	31.05	11.92	99.28	0.55	3.05	1435	6836	2661
S-D-6	31.37	14.16	84.47	0.25	31.26	1588	4035	2712
S-D-7	27.80	14.40	100.69	0.50	6.06	1323	4530	2567
S-D-8	51.03	13.30	92.20	0.22	5.76	1293	2092	2792
S-D-9	35.12	14.39	60.00	0.24	4.39	1472	2915	2469
S-D-10	48.09	13.66	86.41	0.37	11.98	1692	15862	2260
S-D-11	30.46	12.69	81.24	0.28	6.20	1674	5064	2011
S-D-12	40.41	14.65	100.74	0.53	4.79	1956	4412	2849
S-D-13	36.03	15.16	85.83	0.26	4.11	1654	1690	3416
S-D-14	54.21	18.26	96.76	0.83	27.52	1912	16453	2412
S-D-15	55.23	12.89	93.74	0.74	11.05	1689	13080	2385
S-D-16	30.03	13.70	88.52	0.53	6.85	1748	4993	2562
S-D-17	37.48	17.44	83.81	0.56	10.68	2035	3643	2882
S-D-18	44.33	14.59	72.76	0.56	3.37	1508	9307	2329
S-D-19	37.33	17.45	76.06	0.55	6.65	1561	1514	2789
S-D-20	40.23	18.31	74.27	0.51	0.83	1917	2019	3122

Todos los valores están dados en partes por millón de peso seco (ppm)

ANEXO 3E. VALORES NOMINALES DE METALES EVALUADOS EN LIOUENES DEL PARRQUE NACIONAL "ZODUIAPAN" : ZONA ESTE)

MAYO/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
E-A-1	9.36	7.38	21.49	0.35	0.35	2071	2132	4232
E-A-2	2.05	7.90	16.43	0.29	0.58	1584	1594	3312
E-A-3	9.43	8.03	23.74	0.25	2.09	3079	2621	7254
E-A-4	2.37	10.65	27.81	0.34	0.24	2006	1390	4262
E-A-5	7.67	11.07	26.23	0.29	0.58	1753	1821	3989
E-A-6	9.40	12.16	20.19	0.32	0.79	2258	2001	3093
E-A-7	9.30	12.75	25.56	0.34	0.34	2175	1206	4440
E-A-8	11.12	11.53	22.23	0.41	0.41	2579	2367	5998
E-A-9	2.16	9.56	22.33	0.31	0.52	1732	2360	3791
E-A-10	10.21	10.57	26.86	0.38	0.76	3684	1267	3982
E-A-11	9.76	10.29	22.16	0.26	0.79	1862	963	2829
E-A-12	7.74	9.45	22.92	0.29	1.43	1608	1146	4993
E-A-13	1.17	4.35	1.24	0.31	0.31	785	629	1767
E-A-14	20.01	10.01	21.86	0.37	1.11	2245	1537	4185
E-A-15	12.52	8.65	27.25	0.26	0.26	1474	1742	3115
E-A-16	14.86	11.25	27.31	0.40	0.40	2584	1406	3811
E-A-17	12.05	3.14	17.59	0.33	0.33	2044	1303	3481
E-A-18	11.16	7.84	17.50	0.30	0.30	1851	1267	3285
E-A-19	7.95	5.96	20.24	0.29	0.29	1859	1150	4155
E-A-20	7.75	7.47	20.69	0.29	0.29	1733	1111	3069

AGOSTO/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
E-B-1	16.30	23.90	60.00	0.15	1.45	2482	1510	4132
E-B-2	12.65	20.99	48.00	0.27	1.08	1656	888	4024
E-B-3	11.07	19.74	41.00	0.28	1.42	1736	1888	3428
E-B-4	17.36	23.15	53.00	0.34	1.36	2333	1300	3368
E-B-5	13.15	30.54	53.00	0.42	2.12	2780	1345	4235
E-B-6	20.95	28.95	47.00	0.38	0.78	2497	1252	3743
E-B-7	11.99	26.29	55.00	0.39	1.16	2596	1102	4054
E-B-8	9.54	24.29	60.00	0.37	1.10	2214	2816	4197
E-B-9	24.99	26.22	57.00	0.41	0.82	2955	1229	3866
E-B-10	11.28	19.41	43.00	0.26	0.52	1683	1041	3135
E-B-11	9.70	10.54	40.48	0.28	0.65	1517	2177	3531
E-B-12	8.55	12.71	37.75	0.24	0.47	1655	714	3244
E-B-13	9.86	14.16	37.42	0.25	0.51	1748	809	3045
E-B-14	8.65	14.68	37.75	0.26	0.26	1629	1796	3503
E-B-15	10.78	14.20	39.44	0.26	0.35	1844	1054	2635
E-B-16	11.60	12.65	40.07	0.35	1.65	1973	5958	3110
E-B-17	13.09	19.40	44.62	0.48	1.94	2984	3716	3623
E-B-18	15.09	11.92	45.29	0.31	2.25	2106	1710	3732
E-B-19	12.58	12.92	42.35	0.34	2.04	2419	1360	3173
E-B-20	12.30	9.84	40.46	0.27	0.27	1590	2392	3437

NOVIEMBRE/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
E-C-1	23.43	7.81	37.00	0.29	2.96	1866	1456	3659
E-C-2	14.49	7.13	34.00	0.09	2.30	1462	1502	3606
E-C-3	15.77	7.48	39.00	0.10	2.67	1678	1458	3334
E-C-4	14.33	9.47	40.00	0.10	1.62	1672	2997	4652
E-C-5	14.00	7.97	34.00	0.12	0.48	1491	1594	3673
E-C-6	17.70	9.42	42.00	0.22	1.14	1968	1774	3899
E-C-7	19.90	7.26	49.00	0.19	1.60	0	2011	4422
E-C-8	15.33	5.94	34.00	0.10	1.53	1570	1705	4606
E-C-9	15.52	5.68	41.00	0.08	1.58	1475	1566	4002
E-C-10	18.50	9.40	34.00	0.06	1.17	1890	4656	3486
E-C-11	17.10	7.57	35.00	0.02	2.19	1569	1613	3997
E-C-12	14.04	8.58	45.00	0.10	2.60	1742	1633	4449
E-C-13	15.89	6.09	28.20	0.05	1.59	1472	1392	3070
E-C-14	15.76	9.22	40.00	0.25	2.24	1781	1794	4451
E-C-15	14.81	6.66	34.00	0.02	1.23	1513	1699	3078
E-C-16	13.26	6.86	28.00	0.02	1.50	1414	1394	3889
E-C-17	12.29	5.69	28.00	0.02	0.68	1211	1675	3399
E-C-18	10.59	6.28	33.00	0.04	0.45	1199	1529	3543
E-C-19	16.34	9.42	37.00	0.09	0.76	1610	1852	3659
E-C-20	16.77	8.89	42.00	0.05	1.01	1437	1474	4081

FEBRERO/1991

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
E-D-1	16.81	7.50	53.44	0.30	3.40	1719	1157	3848
E-D-2	16.41	6.93	41.93	0.61	3.64	1858	1184	3666
E-D-3	18.70	8.68	19.40	0.35	2.08	2098	1179	3665
E-D-4	18.23	7.39	20.34	0.70	4.21	1587	1158	3849
E-D-5	21.62	8.56	20.35	0.32	4.45	1996	1066	2658
E-D-6	16.28	6.98	19.77	0.58	3.49	1923	2857	3107
E-D-7	16.70	7.45	22.02	0.32	2.69	1527	811	4235
E-D-8	14.21	7.99	34.39	0.59	4.14	1645	2059	3516
E-D-9	16.05	9.71	27.76	0.25	4.16	1856	851	3877
E-D-10	45.15	8.66	21.66	0.60	4.13	1594	7813	3513
E-D-11	16.70	7.96	51.92	0.25	7.61	1778	1022	3761
E-D-12	13.66	7.70	29.60	0.57	2.84	1735	4256	3879
E-D-13	21.31	8.46	21.31	0.31	4.40	2067	879	3561
E-D-14	16.89	9.63	17.46	0.30	4.21	2323	1356	4140
E-D-15	23.20	8.32	24.97	0.30	3.56	2026	1041	4403
E-D-16	16.32	8.16	16.32	0.30	5.62	1675	2730	3726
E-D-17	16.01	8.34	20.69	0.67	2.67	1947	1102	4361
E-D-18	18.05	6.77	14.72	0.32	2.22	1450	1484	4176
E-D-19	20.16	9.22	28.36	0.31	4.41	2772	1182	5480
E-D-20	15.00	9.22	27.35	0.63	4.45	1789	1632	4206

Todos los valores están dados en partes por millón de peso seco (ppm)

ANEXO 30. VALORES NOMINALES DE METALES EVALUADOS EN LIOUVENOS DE SRA FCO. CHIMALPA (ZONA CESTE)

MAYO/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
0-A-1	37.90	20.75	72.71	1.25	4.15	2489	4023	4862
0-A-2	35.25	17.93	45.59	1.23	6.15	2686	9479	3477
0-A-3	29.77	19.85	42.53	0.47	5.62	2927	4418	2829
0-A-4	37.71	16.86	46.13	0.44	1.77	2743	5523	2878
0-A-5	32.93	17.36	52.96	0.45	1.76	2338	4339	2763
0-A-6	55.29	21.93	68.23	0.48	3.91	3239	4314	2807
0-A-7	38.70	20.42	61.27	0.54	4.30	3259	7659	3132
0-A-8	29.12	15.35	33.41	0.42	1.71	2550	7003	1914
0-A-9	31.15	12.22	32.04	1.13	0.47	1423	17630	2671
0-A-10	31.18	18.34	44.01	1.10	1.93	2593	6115	3396
0-A-11	34.99	19.60	37.79	1.12	2.60	2582	4456	3074
0-A-12	26.13	21.26	56.69	1.05	2.66	2761	2741	3291
0-A-13	24.64	19.79	31.50	0.97	3.23	2574	2686	2560
0-A-14	25.26	17.13	27.40	1.03	1.71	2027	11292	2615
0-A-15	51.81	27.59	47.78	1.62	2.69	4007	5821	3437
0-A-16	24.26	12.79	14.12	1.05	0.98	1682	17027	1671
0-A-17	31.15	22.47	42.90	0.51	4.09	2995	4132	4029
0-A-18	24.28	16.35	27.49	1.06	1.77	2116	7235	2710
0-A-19	20.55	18.27	28.77	1.10	3.91	2134	1419	2675
0-A-20	23.27	21.37	31.35	1.14	2.85	2391	8004	3024

AGOSTO/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
0-B-1	26.11	19.09	110.35	0.53	3.71	3423	5324	3602
0-B-2	34.17	26.09	95.67	3.62	4.97	5003	1472	2875
0-B-3	41.04	19.70	74.41	0.55	2.19	2667	11053	2596
0-B-4	21.92	18.35	89.73	0.51	0.51	2862	11904	2630
0-B-5	36.70	19.57	75.52	0.44	3.10	2943	2056	2049
0-B-6	14.97	13.82	55.27	0.38	0.38	1709	12032	3545
0-B-7	17.09	17.45	61.99	0.40	0.40	2009	8882	2547
0-B-8	17.82	19.99	64.22	0.43	1.39	2613	6345	3148
0-B-9	21.19	20.74	59.51	0.45	0.90	2937	2818	2394
0-B-10	18.36	25.81	69.08	0.50	0.99	2935	9221	3894
0-B-11	16.11	16.11	55.34	0.35	2.10	1945	3012	2895
0-B-12	30.42	21.66	50.57	0.52	1.03	2995	6075	2227
0-B-13	25.01	24.01	59.49	0.50	2.50	3559	1776	2317
0-B-14	29.78	22.34	46.80	0.53	1.06	2933	9414	3712
0-B-15	19.67	16.99	75.94	0.45	6.26	1647	18050	3009
0-B-16	12.27	15.56	64.57	0.32	1.29	1748	5360	2761
0-B-17	12.65	17.89	91.87	0.47	1.47	2256	9387	3522
0-B-19	16.77	20.62	72.55	1.43	2.58	1767	3669	747
0-B-19	13.72	4.96	6.00	1.79	1.69	1808	576	1392
0-B-20	18.59	6.2	17.6	1.9	1.24	257	45	1392

NOVIEMBRE/1990

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
0-C-1	20.48	30.88	78.07	0.32	5.52	2184	2984	2953
0-C-2	31.95	32.70	65.79	1.50	5.25	2927	12236	3393
0-C-3	45.70	38.20	83.19	0.68	8.16	4416	13470	294
0-C-4	65.40	31.16	83.79	1.63	3.06	2067	18778	2844
0-C-5	28.37	24.68	61.12	0.43	5.67	2635	7162	2935
0-C-6	33.01	22.88	59.86	0.62	5.28	1869	14138	3443
0-C-7	33.30	16.13	58.49	0.65	3.02	1917	19237	3096
0-C-8	21.10	14.76	37.36	0.36	3.01	1907	7311	3691
0-C-9	17.91	15.25	62.06	0.32	3.20	1402	8015	3647
0-C-10	28.50	17.23	55.66	0.33	2.65	1715	9162	2985
0-C-11	23.76	16.66	53.57	0.60	2.01	1698	7412	3695
0-C-12	22.17	17.74	68.05	0.28	1.66	1413	2461	3705
0-C-13	19.75	17.41	60.26	0.32	4.02	2148	3759	2898
0-C-14	20.32	19.25	66.19	0.55	4.13	1696	7501	4356
0-C-15	30.9E	19.49	63.96	0.60	2.00	2212	1811E	3192
0-C-16	19.84	29.76	78.04	0.65	3.96	2200	3264	2959
0-C-17	86.54	15.16	64.43	0.37	3.15	1635	6192	3278
0-C-18	24.76	14.28	52.77	0.42	1.42	1340	14622	2544
0-C-19	21.22	12.66	54.56	0.57	1.36	1302	12341	2660
0-C-20	25.63	11.51	57.89	0.49	3.48	1559	7273	3070

FEBRERO/1991

MUESTRA	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Ca	K
0-D-1	20.10	14.00	69.73	0.29	7.38	1526	2645	2699
0-D-2	19.87	14.16	58.13	0.49	3.48	2041	5158	2255
0-D-3	20.50	14.68	62.14	0.70	6.83	2168	5447	2892
0-D-4	27.11	12.68	45.48	0.87	3.50	1691	17802	2378
0-D-5	24.22	13.75	52.36	0.65	7.20	2012	6161	3187
0-D-6	29.67	15.66	49.20	0.78	3.90	1482	14126	2336
0-D-7	28.93	11.76	63.43	0.25	3.89	1523	7966	2042
0-D-8	25.66	11.77	56.21	0.31	3.75	1826	8044	3622
0-D-9	23.63	11.60	55.50	0.69	5.55	2402	7244	2674
0-D-10	17.19	12.26	57.65	0.26	4.69	1562	4313	2543
0-D-11	25.62	16.01	59.07	0.35	9.25	2557	5285	3137
0-D-12	20.13	10.84	46.01	0.51	3.10	1297	5227	3276
0-D-13	12.10	1.52	22.25	0.47	3.27	1756	2691	511
0-D-14	35.45	17.41	64.68	0.62	6.60	2297	4691	1097
0-D-15	40.50	15.00	65.80	1.11	6.56	2261	16451	750
0-D-16	33.11	13.60	57.43	0.85	5.94	2168	9299	1016
0-D-17	0	13.44	0	0.34	3	3413	8175	630
0-D-18	35.61	21.65	60.37	0.77	3.67	1256	17882	759
0-D-19	20.00	11.46	42.15	0.37	5.17	1470	12462	491
0-D-20	22.25	12.42	47.43	0.36	6.40	1831	7275	549

Todos los valores están dados en partes por millón de peso seco (ppm)