

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Los musgos epifetos y la contaminación atmosférica en el  
área urbana de la Ciudad de México

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

Durán Díaz, Angel

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

A: Cristina y Armando

7.20000 100  
B...

A: Juan Armando, Armando y Mario

A: Noemi

*"Por la misma férrea necesidad con que un día desaparecerá de la faz de la tierra su floración más alta, el espíritu pensante, volverá a brotar en otro lugar y en otro tiempo".*

*F. Engels (Dialéctica de la Naturaleza)*

## AGRADECIMIENTOS

*Deseamos agradecer al Dr. Claudio Delgadillo M. la supervisión de este trabajo y al Instituto de Biología de la U.N.A.M. por el apoyo brindado para su realización. Asimismo manifestamos nuestro agradecimiento por sus valiosos comentarios a las siguientes personas:*

*Dr. Ernesto Jáuregui (Instituto de Geografía, Laboratorio de Climatología)*

*Dr. Humberto Bravo (Instituto de Geofísica, Centro de Ciencias de la Atmósfera)*

*Dr. Rodolfo Dirzo (Instituto de Biología, Laboratorio de Ecología)*

*M. en C. Patricia Moreno (Facultad de Ciencias, Laboratorio de Ecología)*

*Ing. Ind. Moises Orozco (Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente)*

*En forma muy especial hacemos llegar nuestro reconocimiento a la Biol. Ma. de los Angeles Cárdenas, al Biol. Gustavo de la Cruz y a todos aquellos que de alguna forma contribuyeron a la elaboración del presente trabajo.*

## INDICE

	<i>Página</i>
<i>INTRODUCCION</i> .....	<i>1</i>
<i>LOCALIZACION GEOGRAFICA</i> .....	<i>3</i>
<i>CLIMATOLOGIA</i> .....	<i>3</i>
<i>SITUACION DE LA CONTAMINACION</i>	
<i>ATMOSFERICA EN LA CIUDAD DE MEXICO</i> ....	<i>7</i>
<i>METODOLOGIA</i> .....	<i>23</i>
<i>RESULTADOS</i> .....	<i>25</i>
<i>DISCUSION</i> .....	<i>32</i>
<i>APENDICE 1</i> .....	<i>45</i>
<i>APENDICE 2</i> .....	<i>53</i>
<i>BIBLIOGRAFIA</i> .....	<i>55</i>

## INTRODUCCION

La contaminación atmosférica es un fenómeno que acompaña a la explosión demográfica y al desarrollo industrial. Consiste en la adición de impurezas al aire en forma de compuestos y sustancias (óxidos de azufre, monóxido de carbono, aldehídos y partículas en suspensión) que provocan daños a objetos, edificios, vegetales y animales (Bravo, 1968).

La sensibilidad de musgos y líquenes a la contaminación atmosférica ha sido estudiada desde la década de los sesentas tratando de relacionarlos con los niveles de contaminación de las ciudades. Con este propósito se han utilizado tres métodos:

1) El mapeo de un área contaminada por medio del Índice de Pureza Atmosférica (I.P.A.) que está basado en datos fitosociológicos de musgos y líquenes (Rao & LeBlanc, 1967; Gilbert, 1968, 1970a; LeBlanc, *et al.*, 1972a, 1972b; Haksworth & Rose, 1970; LeBlanc & Rao, 1974; Johnsen & Sochting, 1976). En estudios de este tipo se reporta ausencia de epífitas al centro de las ciudades; solo en la periferia de estas las plantas reaparecen con vitalidad reducida. Fuera de estas zonas las epífitas son abundantes y bien desarrolladas. También, a través de estos estudios se reportan otros efectos sobre las epífitas. Por ejemplo, LeBlanc & Rao (1970) encuentran un decremento de la fertilidad como consecuencia del efecto de la contaminación atmosférica; Nash (1972) y Showman (1978), encuentran una reducción en la diversidad en áreas cercanas a fuentes de contaminación.

2) El trasplante de vegetación epífita de musgos y líquenes de zonas sin contaminación a sitios cercanos a factorías. Los resultados indican cambios morfológicos, decoloración, ausencia de estructuras, plasmólisis celular y cambios en los picos de absorción de la clorofila a niveles mayores de 0.03 ppm de  $SO_2$  (LeBlanc & Rao, 1966; Rao & LeBlanc, 1966; Nash, 1976).

3) La comparación morfológica de musgos y líquenes epífitos en condiciones ambientales normales y de contaminación simulada (Rao & LeBlanc, 1966, 1967; Coker, 1967). Se ha encontrado

*plasmólisis, destrucción celular, disminución en la fijación de carbono y decremento en las tasas de respiración (Puckett, 1973b; Inglis & Hill, 1974; Malhortra & Hocking, 1976; Eversman, 1978).*

*Es claro que el medio ambiente en muchas ciudades se ha deteriorado; no se observa el establecimiento y crecimiento de la vegetación epífita y los árboles muestran signos de decadencia como resultado de la multiplicidad de fuentes de emisión y de la naturaleza de los contaminantes en áreas urbanas.*

*En México hasta la fecha no hay ningún trabajo de investigación que utilice musgos como indicadores, por lo cual en el presente se hace una evaluación preliminar utilizando el primero de los tres métodos citados. Sin embargo, también esperamos que el trabajo sirva para estimular otras investigaciones que conduzcan a un mayor y más exacto conocimiento de los efectos de la contaminación en la vegetación y sobre otros organismos.*

*En el Distrito Federal la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente (S.M.A.) ha propuesto un Índice de Calidad del Aire (IMEXCA) (S.M.A. 02-1978) que indica el nivel de contaminación presente en una localidad dada. Aunque este índice permite ciertas evaluaciones -sujetas a discusión- es difícil interpretar para ponderar los efectos de la contaminación sobre la vida vegetal y animal.*

*Por esta razón los objetivos de este estudio son:*

- 1.- Contribuir al conocimiento de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la vegetación epífita de musgos establecida en el área urbana de la Ciudad de México.*
- 2.- Introducir criterios secundarios de calidad del aire a partir de los cuales se puedan establecer normas de calidad del aire que en la ciudad de México no existen en la actualidad.*

## LOCALIZACION GEOGRAFICA

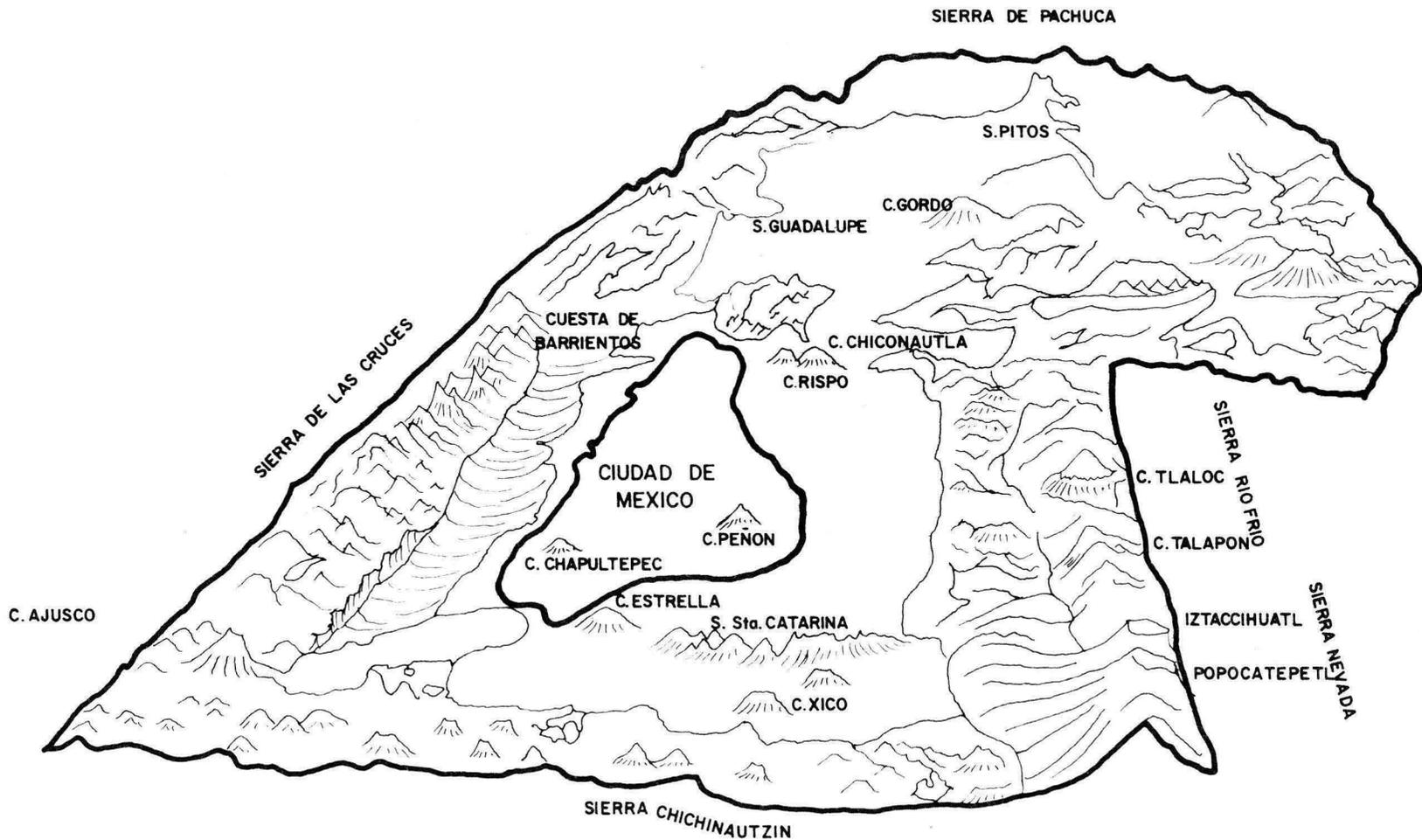
La Ciudad de México está localizada según Schlaepfer (1968) entre los 19°00' y 19°30' Lat. N y los 98°55' y 90°20' Long. W, al Sur de la Cuenca del Valle de México con una altura de 2240 m.s.n.m. La Ciudad de México limita al Norte con la Sierra de Guadalupe que tiene una extensión de 16 km de Norte a Sur y 17 km de Este a Oeste; al Oeste se une con la Sierra Madre Occidental a través de la cuesta de Barrientos; al NE se abre una llanura con una altura promedio de 2200 m ocupada en parte por el actual Lago de Texcoco. Al Sur de la Ciudad de México se localiza una gran extensión cubierta por derrames de lava sobrepuestos, con numerosos aparatos volcánicos de formación reciente (Schlaepfer, 1968), donde se encuentra el Cerro Chichinautzin cuya altura llega a los 3450 m. Al Este el Valle de México limita con la Sierra Nevada cuyos picos más elevados son el Popocatepetl (5450 m) y el Iztaccíhuatl (5286 m); en la parte Oeste de la Ciudad de México se encuentra la Sierra de las Cruces con alturas superiores a 3500 m, que incluye además al Sur el Cerro del Ajusco (3940 m) y parte de la Sierra de Zempoala (Figura 1).

El Distrito Federal abarca 1347 km<sup>2</sup> divididos en 16 delegaciones políticas (Secretaría de Programación y Presupuestos, 1978).

## CLIMATOLOGIA

El área donde se localiza la Ciudad de México, al Sur de la Altiplanicie Mexicana, se encuentra al Oeste del anticiclón semipermanente del Atlántico Norte (Bermuda Azores) cuyos desplazamientos estacionales determinan en gran medida el clima de la misma ciudad; gran parte de esta presenta un clima templado subhúmedo (Cw). Sin embargo, debido al decremento de la precipitación pluvial hacia el centro del

Fig.1 OROGRAFIA DEL VALLE DE MEXICO. TOMADO DE BRAVO (1968)



Valle, el clima de los suburbios del Este de la capital (al Norte de Iztapalapa) tiene características semiáridas (BS). Esta zona recibe en promedio menos de 600 mm anuales que es el límite entre los climas Cw y BS cuando la temperatura media anual es de 16°C. En años lluviosos el borde Este de la Ciudad adquiere características de clima templado subhúmedo, Cw, mientras que en años de lluvias escasas prevalecen rasgos de clima BS. Según la clasificación climática de García (1970), el área urbana de la capital queda comprendida en tres zonas de humedad ambiental que se pueden caracterizar como sigue:

La zona Oeste y Sur se caracteriza por precipitación abundante en la estación lluviosa, de 700 a 1300 mm. En esta zona quedan comprendidas: Atzacapotzalco, Chapultepec, Tlalpan, Tacubaya, Mixcoac, Villa Obregón, San Jerónimo, Coyoacán y Xochimilco. La zona Norte y Centro es una zona de transición entre la seca del Norte y Este y la húmeda del Oeste y Sur; ahí la precipitación media anual varía de 600 a 700 mm. Comprende los sectores: Politécnico, Lindavista, Vallejo y el área central de la Ciudad entre Nonoalco y Avenida Río Churubusco. La zona Norte y Este se caracteriza por precipitaciones menos abundantes que en las otras dos zonas, la lluvia anual fluctúa entre 400 y 600 mm, es decir, menos de la mitad de la lluvia que recibe la zona Sur y Oeste. Dentro de esta zona quedan comprendidas la zona industrial de Santa Clara, Villa de Guadalupe, San Juan de Aragón, Peralvillo, el área entre el Zócalo y el borde Norte de Iztapalapa, así como Ciudad Netzahualcóyotl del Estado de México.

En la Ciudad de México la precipitación media anual varía entre los 400 (Estación Aeropuerto) y los 1300 mm (Estación Dinamo 3) según Jáuregui (1971). Los días nublados varían de 40 a 100 por año observándose el máximo en el Oeste y Sur del área urbana donde son más frecuentes los aguaceros; la otra área con nublados frecuentes aparece

entre el Zócalo y Parque San Juan de Aragón. Hacia el Este de la Ciudad los días nublados decrecen a 40-60.

Las fuentes de humedad, como parques y jardines públicos son escasos en la Ciudad de México, y las grandes áreas verdes como Chapultepec, San Juan de Aragón, Villa Olímpica, Magdalena Mixhuca, se localizan fuera del centro del área urbana. La ausencia relativa de fuentes de evaporación y la escasa disipación del calor ("Isla de Calor") en el núcleo central del área urbana con temperaturas más elevadas, contribuyen a que el aire sea más seco que en los suburbios de la capital con diferencias significativas de 25% entre estas dos zonas (S.M.A. 03-1978).

Las temperaturas varían en la Ciudad entre superficies con cubierta vegetal y las que presentan piedra, concreto, tabique, pavimento, etc.; la temperatura del aire aumenta de la periferia hacia el centro de la Ciudad de México. "La Isla de Calor" se localiza en general al SW del Centro, mostrando en algunos casos indentaciones frías en áreas de parques o zonas abiertas. La elevada capacidad térmica de la Ciudad retarda la ocurrencia de temperaturas máximas dentro de esta, a diferencia de las mínimas registradas hacia la periferia; la elevación de la temperatura es tan marcada que en el centro de la ciudad no se registran heladas, mientras en la periferia tienen una frecuencia de 40-60 días al año. La fluctuación de la temperatura media anual en la Ciudad de México es de tan solo 2°C correspondiente al intervalo 15-17°C (Jáuregui, 1971).

Al efecto de la reducción en la intensidad del viento en la capital, por su ubicación al abrigo de las montañas del Valle, se agrega un debilitamiento adicional por la mayor rugosidad del tejido urbano en comparación con el campo abierto circundante.

La mayor temperatura en el centro de la Ciudad actúa como un depósito de calor que induce un déficit de presión. La zona centro con su elevada densidad de edificios altos hace que esta región sea la menos ventilada del área urbana;

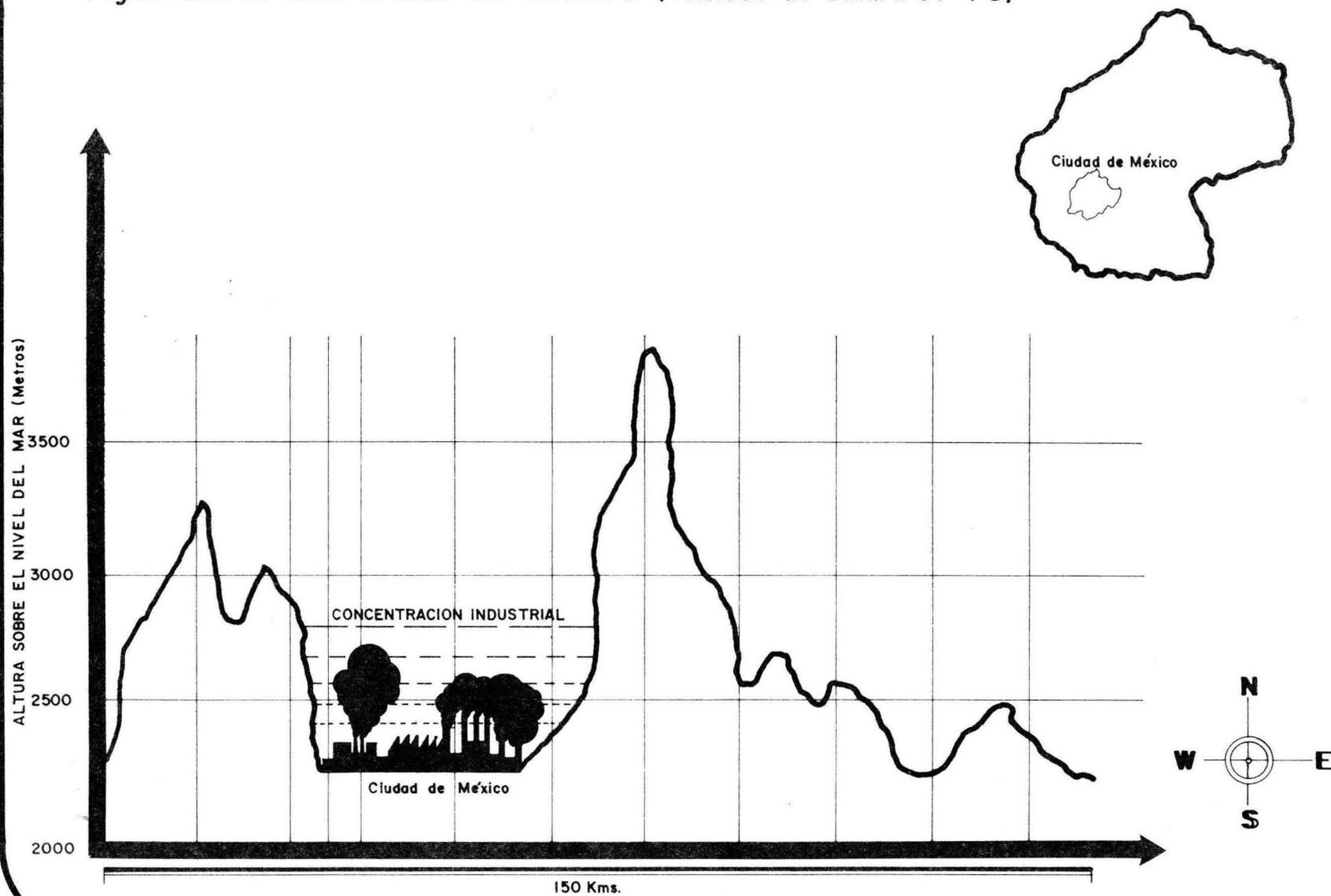
en comparación la zona Este que corresponde a los suburbios del NE ubicada sobre los suelos del antiguo Lago de Texcoco, presenta ventilaciones considerables; las zonas Sur y SW tienen ventilación adecuada, al igual que las del Norte, NW y Oeste. Los períodos de aire estacionario en la Ciudad tienen una duración hasta de 10-11 hrs. Los períodos de más de 7 hrs de aire en calma ocurren en la noche con más frecuencia, pero también se observan en el día durante casi todo el año, según Jáuregui (1971).

#### SITUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA CIUDAD DE MEXICO

El área metropolitana de la Ciudad de México ocupa una superficie de 1347 km<sup>2</sup>, con una población estimada de 15 millones de habitantes y una producción industrial que en términos económicos representa la mitad de la producción industrial total del país. Según datos presentados en el Primer Simposium sobre la Contaminación del Aire en la Ciudad de México (Baez, 1968; Bravo, 1968), del 60 al 80% de la industria pesada del Estado de México se encuentra situada dentro del propio Valle y colindando con la Ciudad de México.

Debido a su situación geográfica particular y a su gran densidad demográfica e industrial, en años recientes se han presentado niveles muy altos y peligrosos de contaminación del aire en el área urbana. Este problema sigue agudizándose particularmente por las condiciones topográficas de la Ciudad que impiden su adecuada ventilación. Debido a su altitud existe una mayor actividad fotoquímica (Smog) que se extiende sobre la Ciudad (Figura 2). Además, como la Ciudad de México se encuentra dentro de la porción del territorio nacional que presenta largas temporadas de sequía y alto grado de erosión, a la contaminación atmosférica se agrega el efecto del fenómeno eólico conocido como "tolvaneras" (S.M.A. 04-1978).

Fig.2 PERFIL DEL VALLE DE MEXICO (Tomado de S.M.A. 01-78)



Por estas condiciones en la década de los sesentas, la Ciudad de México fue considerada internacionalmente como una de las urbes más contaminadas del planeta (Bravo, 1968; Mayaudón, 1973; Ortega, 1974).

#### Fuentes de Contaminación Atmosférica

Fuentes Estacionarias. - Uno de los factores más significativos que afectan la calidad del aire son las emisiones a partir de fuentes estacionarias (refinería de petróleo, fábricas de cemento, industria siderúrgica, industria del papel, industria química, etc.); en menor grado es importante la contaminación derivada de fuentes domésticas y naturales. La localización de las zonas industriales y de las principales industrias en la Ciudad de México se muestran en la figura 3. Estas fuentes en 1976 emitieron cerca de 600000 ton. de contaminantes en el área metropolitana; aproximadamente el 50% de ellas en forma de óxidos de azufre, 20% en material particulado, 20% como precursores de ozono y el 10% restante es una mezcla de otros gases (S.M.A. 04-1978; García, 1973).

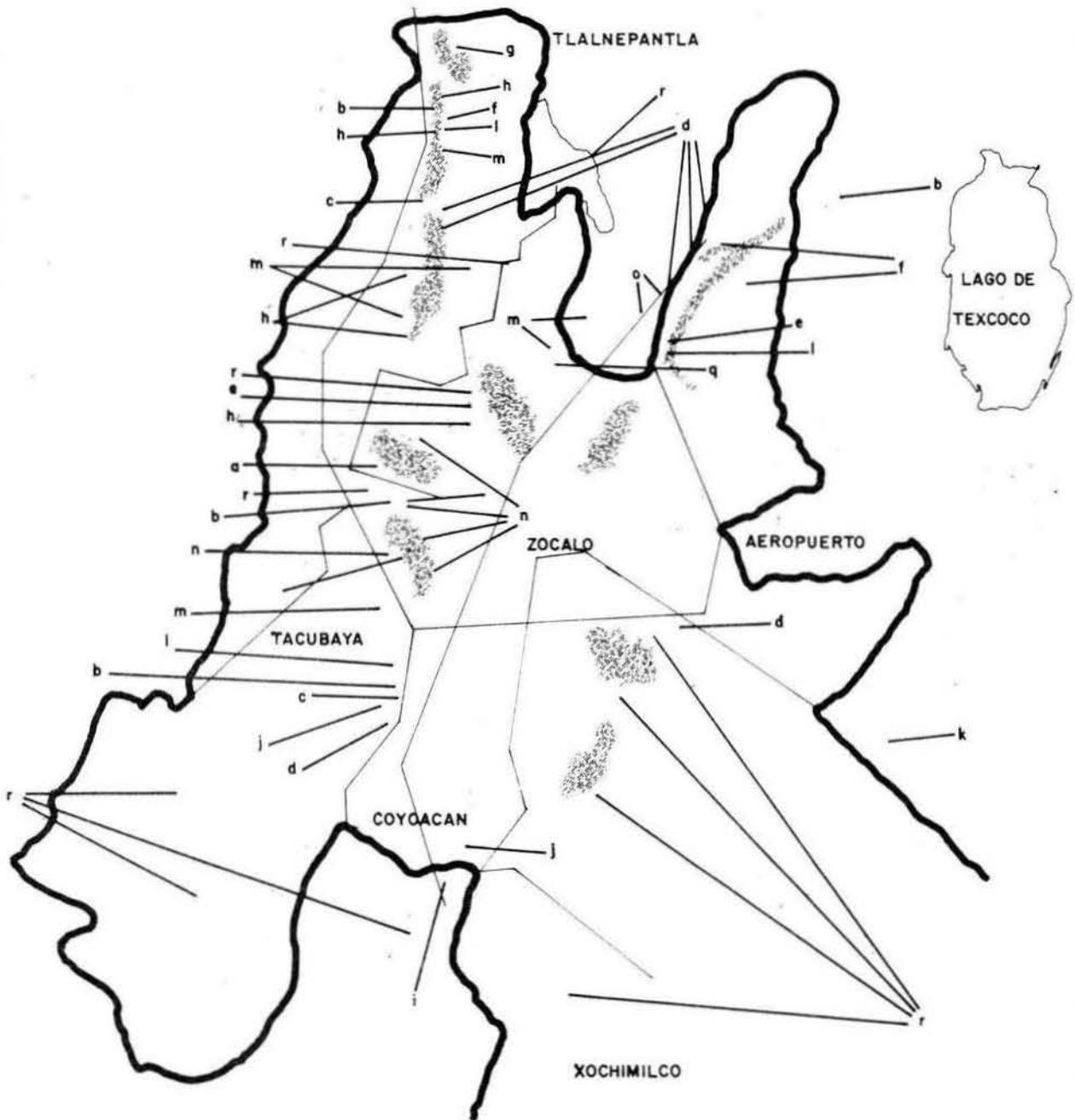
Según las estimaciones de la S.M.A. en base al crecimiento industrial, la contaminación para el presente año (1981) se incrementará en un 30% sobre los niveles de 1976 a menos de que se tomen medidas estrictas de control o que la expansión industrial sea reducida.

Entre las fuentes estacionarias, son importantes las emisiones de partículas de yeso, cemento, carbón y hollín. La estimación de emisiones para el año de 1980 sin equipo de control fue de 361870 ton. y 132539 ton. con equipo de control, lo que representa un decremento aproximado del 60%.

Para el año de 1985 se calcula que el total de emisiones ascenderá a 385055 ton. sin equipo de control; con equipo de control se reducirán a 141708 ton. lo que representa aproximadamente el 63.25% de reducción en las emisiones.

De las fuentes antes mencionadas, las plantas de cemento cooperan con el 86% del total de emisiones (Figura 4).

Fig.3 LOCALIZACION INDUSTRIAL EN EL AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO. TOMADO DE S.M.A 04-78



*Principales Industrias*

- a - Refinería de Petróleo*
- b - Plantas Termoeléctricas*
- c - Plantas de Cemento*
- d - Fundiciones*
- e - Industrias de Jabón y Detergente*
- f - Industrias Químicas*
- g - Industrias de Fertilizantes*
- h - Plantas de Acido Sulfúrico*
- i - Industrias de Celulosa y Papel*
- j - Producción de Asfalto*
- k - Minerales no Metálicos*
- l - Metalurgia No Ferrosa*
- m - Industrias de Vidrio*
- n - Industria Hulera*
- o - Fabricación de Pesticidas*
- p - Rastro*
- q - Producción de Fibra de Vidrio*
- r - Tabiqueras*

Otra emision importante es la de óxidos de azufre; la figura 5 presenta las tendencias de emisiones de  $SO_2$  en el área metropolitana de la Ciudad de México.

El incremento en las emisiones de  $SO_2$  es el siguiente: De 1979 a 1980 fue de 30411 ton.; para el periodo de 1984 a 1985, el incremento será de 5077 ton. Siguiendo estrategias de control (por ejemplo, uso de gas natural) se espera que para el año de 1985 las emisiones se reduzcan aproximadamente un 50%.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno fueron en 1979 de 81425 ton. ; en 1980 de 87443 ton. lo que representa un incremento de 6018 ton. Se estima que para 1985 la cantidad emitida será de 94142 ton., o sea, un incremento de 6699 ton. de 1980 a 1985. Los procesos de combustión contribuyeron con el 56.92% de las emisiones de  $NO_x$  en 1978 y con el 54.49% en 1979 (Figura 6).

Las emisiones esperadas para 1985 se reducirían si hubiese un cambio de 75% del consumo de combustible por gas natural. La reducción esperada sería alrededor de 20000 a 30000 ton.

Las emisiones de hidrocarburos en 1978 fueron de 94739 ton. y en 1985 serán de 166859 ton. El incremento para el período de 1978-1985 es de 72155 ton. Las industrias de pintura contribuyen con el 76 a 77% del total de las emisiones de hidrocarburos (Figura 7).

Existen también emisiones importantes de CO; sin embargo, su producción industrial (estacionario) sólo es una pequeña fracción en comparación con las emisiones por parte de vehículos de motor.

Fuentes Móviles.- En el área metropolitana de la Ciudad de México circulan aproximadamente 1.6 millones de vehículos con un crecimiento estimado del 12% anual (Baez, 1968; Bravo & Corona, 1969; Horta, 1973); estos vehículos contribuyen a una mayor contaminación, especialmente en el primer cuadro de la Ciudad. Las figuras 8 y 9 muestran las vías de mayor

Fig.4 PROMEDIO DE PARTICULAS EMITIDAS EN LOS AÑOS 1972-1978 POR FUENTES FIJAS

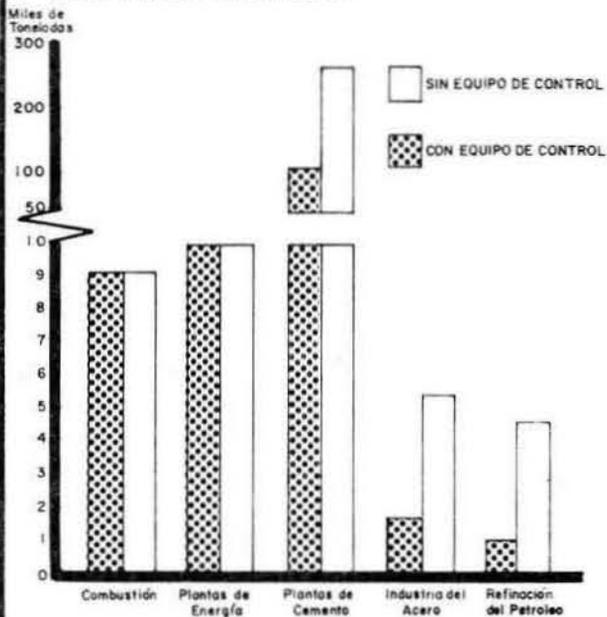


Fig.5 EMISION DE SO2 Y TENDENCIAS POR FUENTES FIJAS

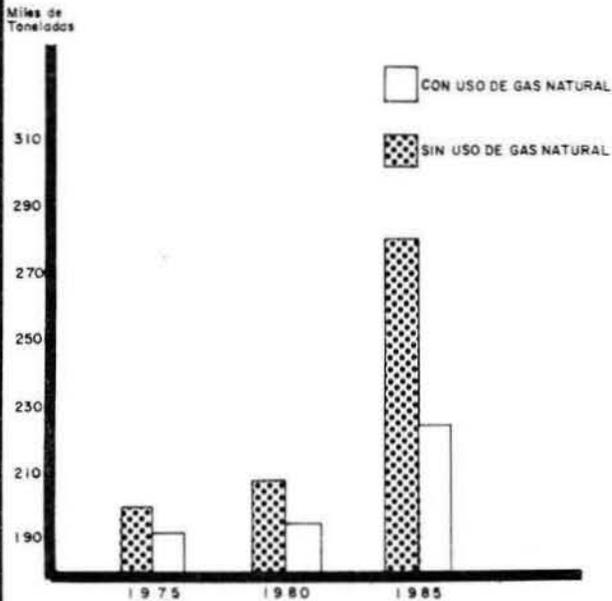


Fig.7 EMISIONES Y TENDENCIAS DE HIDROCARBUROS POR FUENTES FIJAS

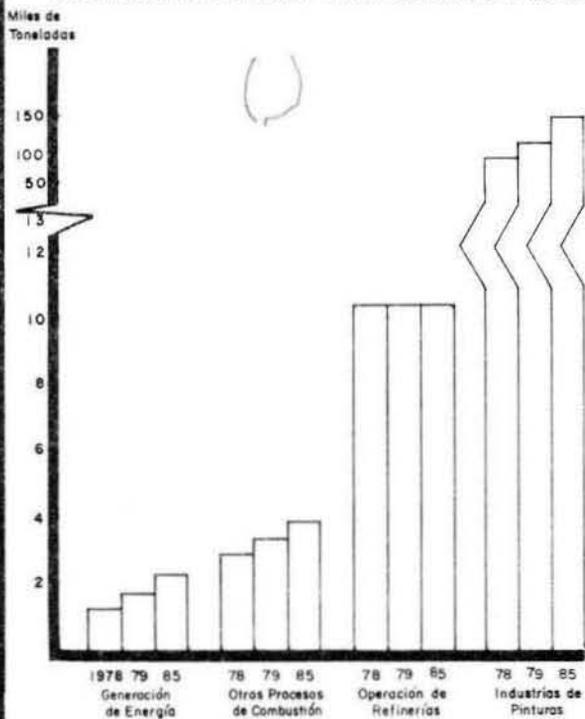
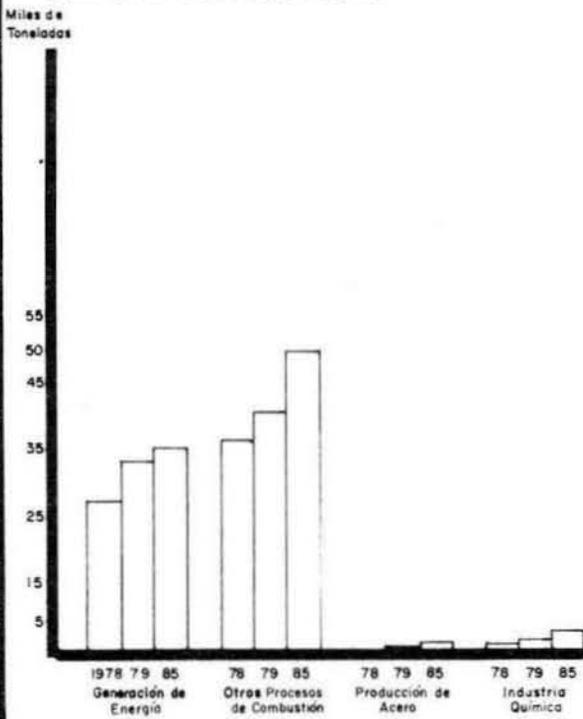


Fig.6 EMISION Y TENDENCIAS DE OXIDOS N2.POR FUENTES FIJAS



SEGUN DATOS DE LA SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS (1978)

circulación y las zonas de contaminación debida a vehiculos en el área metropolitana de la Ciudad de México.

Las estimaciones de las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos por vehiculos de gasolina con y sin equipo de control para el período de 1970 a 1986 son las siguientes: Sin control se incrementará en un 40% la emisión de CO y en un 28% la de hidrocarburos; con equipo de control se espera que las emisiones de ambos gases decrezcan aproximadamente un 60% para 1986.

Fuentes Naturales.- Durante la estación seca el nivel de contaminación en el área metropolitana de la Ciudad de México se ve fuertemente incrementada por las tormentas de polvo (tolvaneras).

Según datos de las estaciones meteorológicas de Tacubaya y Aeropuerto, las tormentas de polvo son más intensas en la tarde durante dos o tres horas. Para la estación Aeropuerto, marzo y abril son los meses con mayor frecuencia de tolváneras (214 y 161 respectivamente) y Septiembre el de menor frecuencia con sólo una. Para la estación de Tacubaya los meses con mayor frecuencia de tolváneras correspondieron a marzo y abril con 12 y 11 respectivamente; agosto es el de menor frecuencia con sólo 4.

Un estudio sobre la distribución del polvo depositado por gravedad en la Ciudad de México (Bravo et al., 1960) indica que en marzo de 1959, la cantidad de polvo depositado osciló entre 30-50 ton./km<sup>2</sup>, en las zonas N y E (Tacubaya, Villa de Guadalupe, San Juan de Aragón, Aeropuerto, Iztacalco e Iztapalapa); en la porción W (San Angel, Chapultepec, Tacubaya, Mixcoac y C.U.), la cantidad de polvo depositado en la época de máxima ocurrencia de tolváneras fue de 9-12 ton./km<sup>2</sup>, es decir, entre una tercera y quinta parte de la carga que reciben las zonas Este y Norte de la Ciudad.

La Figura 10 muestra las principales fuentes naturales de polvo agrupadas en siete clases.

FIG.8 FLUJO VEHICULAR EN EL AREA URBANA DE LA CD. DE MEXICO (Vehículos por Hora) TOMADO DE S.M.A. 04-78

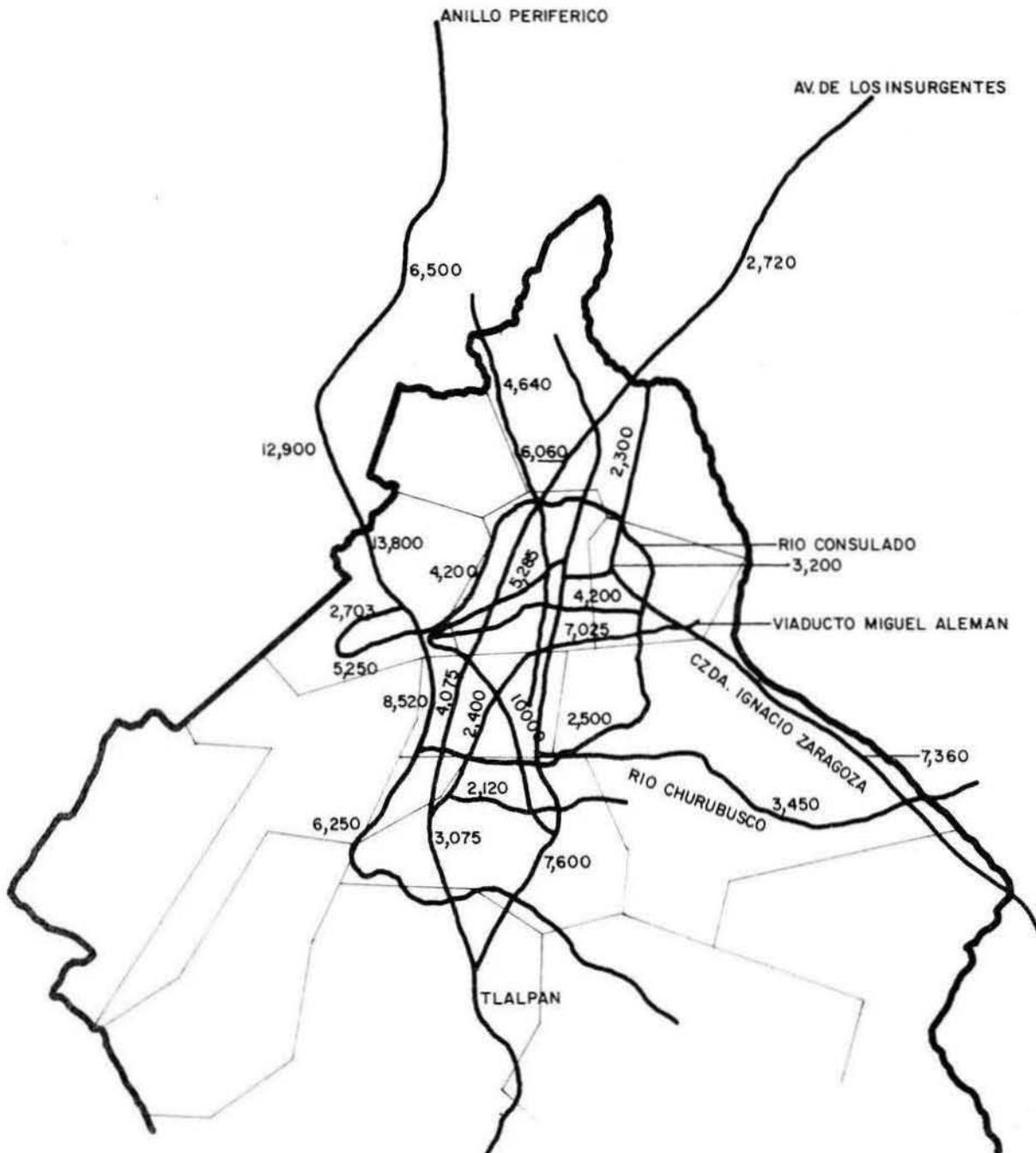
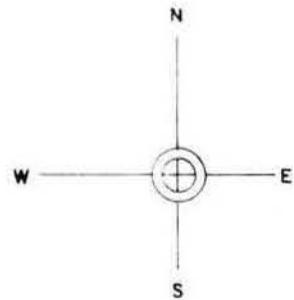
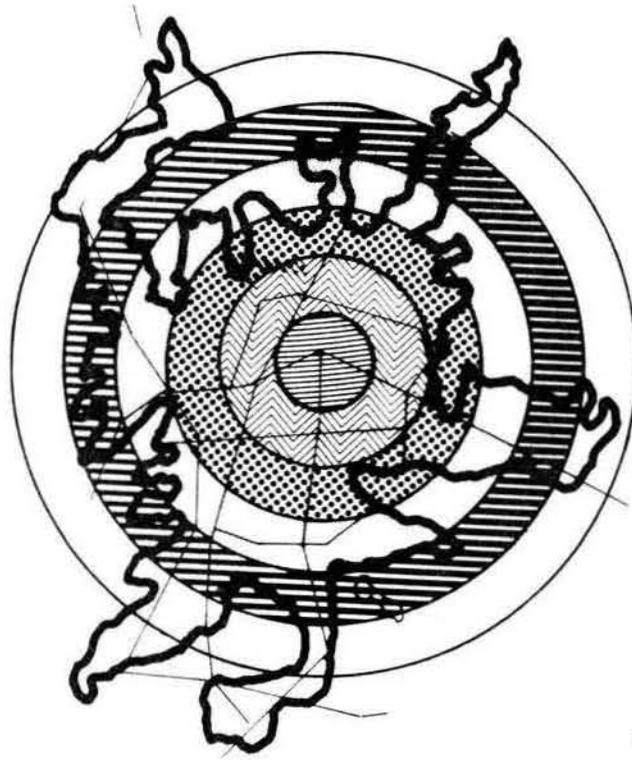


Fig9 ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO  
CONTAMINACION POR VEHICULOS



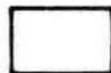
CONTAMINACION MUY ALTA



ALTA CONTAMINACION



CONTAMINACION MEDIA



CONTAMINACION MEDIA BAJA



CONTAMINACION BAJA



CONTAMINACION MUY BAJA



*Aspectos Meteorológicos de la Contaminación  
Atmosférica en la Ciudad de México.*

*Al final de la década de los cincuentas se hicieron las primeras mediciones de partículas de polvo y contaminantes gaseosos que flotan en el aire de la Ciudad de México (Jáuregui, 1958).*

*En 1966 Bravo y Viniegra dieron a conocer los resultados de las primeras mediciones de  $SO_2$  realizadas en 1962 en la Ciudad de México; la concentración máxima en el Centro de la capital (entre Zócalo y la estatua de Cuauhtémoc) fue de 3-6 veces mayor que en los suburbios del perímetro urbano excepto por el área industrial del NW donde se registró un máximo secundario (Bravo & Viniegra, 1966). Los mismos autores intentaron relacionar los niveles de concentración de  $SO_2$  con la dirección de los vientos.*

*En 1967 la S.M.A. estableció una red de cinco estaciones de muestreo que incluyó el  $SO_2$ . Los datos mensuales de un año (septiembre de 1967-agosto de 1968) fueron utilizados por Jáuregui (1971) en un intento por examinar las variaciones temporales y la distribución espacial de  $SO_2$ . Dicha distribución muestra que la concentración de  $SO_2$  tiende a disminuir hacia la periferia de la Ciudad.*

*Circulación del Aire Superficial.- Las líneas de flujo del aire superficial para la estación seca (promedio noviembre-abril) y para los meses de lluvias (promedio mayo-octubre) a las 6:00 hrs y a las 14:00 hrs se describen a continuación (S.M.A. 03-1978).*

*Por la tarde y durante la noche se establece el flujo de vientos catabáticos que descienden de las laderas del Oeste y Sur de la Ciudad que chocan con los que soplan del Norte cuesta abajo de la Serranía de Guadalupe. El resultado es una convergencia horizontal del aire en las primeras horas de la mañana y durante la noche, tanto en la época seca como en la época de lluvia. La velocidad de estos vientos es de*

uno a dos metros por segundo. Esta condición determina, junto con la alta frecuencia de inversiones (139), que en la temporada seca se alcancen las mayores concentraciones de contaminantes.

Las líneas de flujo correspondientes a las 14:00 hrs son semejantes en las estaciones seca y lluviosa y se caracterizan por el flujo horizontal del aire de N a S. A esta hora los contaminantes son transportados hacia el S y W al mismo tiempo que se difunden verticalmente debido a la acción turbulenta tanto mecánica como convectiva del aire.

La convergencia del flujo durante la noche y al amanecer tiende a mantener a los contaminantes confinados hacia el N, W y S de la Ciudad. Este comportamiento se acentúa por la formación de aire estable o de inversiones en este período. Como esta condición meteorológica desfavorable se prolonga hasta las 9:00-10:00 hrs, es frecuente que las concentraciones máximas de contaminantes coincidan con el máximo de emisiones vehiculares.

Distribución Espacial de  $SO_2$  .- La distribución anual (1976) de  $SO_2$  a las 6:00 y 14:00 hrs se describe a continuación (S.M.A. 03-1978).

El área de máxima concentración del  $SO_2$  se localiza en general en el centro geométrico de la Ciudad, aunque esta posición varía según la hora del día; a las 6:00 hrs el  $SO_2$  alcanza un valor de 0.07 ppm en el centro y es unas seis veces más alto que el de su concentración en la periferia de la Ciudad (0.009 - 0.010 ppm). El gradiente de concentración se acentúa en el Oeste de la capital donde la nube de gases se recarga contra las colinas de Chapultepec, Tacubaya y Mixcoac. Del centro hacia el Este el gradiente se debilita debido a lo plano del terreno y permite que la nube se expanda en esa dirección. Los niveles de  $SO_2$  a esta hora no son los máximos del día, pues muchas fuentes se encuentran inactivas a esa hora.

Los niveles de  $SO_2$  más altos ocurren alrededor de las

10:00 hrs en el centro de la Ciudad (0.109 ppm) y decrecen hasta una tercera parte (0.037-0.044 ppm) en la periferia. Un máximo secundario (0.07-0.08 ppm) aparece a esta hora en el corredor industrial Santa Clara-Ecatepec, entre el borde Este de la Serranía de Guadalupe y el Vaso de Texcoco.

Las concentraciones de  $SO_2$  decrecen después de mediodía (14:00 hrs) debido a los movimientos del aire urbano inducidos por el calentamiento del suelo. A esta hora el aire urbano alcanza su máxima capacidad de dilución y las concentraciones disminuyen en el centro hasta 0.038 ppm y en la periferia hasta 0.005-0.017 ppm. Al anochecer las concentraciones de  $SO_2$  aumentan ligeramente al incrementarse el proceso de estratificación de la capa de aire debido a la pérdida de calor por radiación nocturna (inversión térmica) (Jáuregui, 1968; Jitendra, 1973; Rodríguez, 1973). El registro a las 20:00 hrs en el centro es de 0.053 ppm y de 0.008-0.018 ppm en la periferia de la Ciudad.

Los niveles de  $SO_2$  son altos (0.120-0.160 ppm) en los meses de diciembre, enero y febrero. Los cielos despejados y la menor humedad del aire intensifican las inversiones superficiales de temperatura, en estos tres meses (65 inversiones) durante la noche y las primeras horas de la mañana. En consecuencia los gases y partículas que flotan en el aire urbano se encuentran en el espacio limitado por las inversiones. Sin embargo, al comenzar las lluvias a mediados de mayo, la mayor humedad del aire reduce la posibilidad de formación de inversiones (solo 51 inversiones) y los contaminantes se distribuyen así en una profundidad mayor. Además las corrientes convectivas son entonces más vigorosas y propician una mayor dilución. La dilución aumenta también por la absorción parcial del  $SO_2$  por las gotas de lluvia.

A continuación se describe la distribución promedio de  $SO_2$  por época del año. La distribución promedio de  $SO_2$  en los meses secos (noviembre-abril) a las 6:00 y 14:00 hrs es la siguiente: A las 6:00 hrs los niveles de  $SO_2$  son comparativamente bajos puesto que durante la noche se reducen las emisiones;

el gradiente de las isoconcentraciones es débil y varía de 0.050 ppm en el centro a 0.010 ppm en la periferia. Las emisiones de  $SO_2$  comienzan a aumentar a partir de las 6:00 hrs. Durante los meses secos las inversiones limitan la dispersión vertical de los contaminantes y a las 10:00 hrs apenas comienza a romperse la inversión; el resultado es una intensificación de las concentraciones especialmente entre el Zócalo y Chapultepec donde los niveles fluctúan de 0.060-0.150 ppm. Después de mediodía los niveles decrecen hasta 0.040 ppm, para volver a aumentar ligeramente hasta 0.050 ppm en la noche (20:00 hrs).

La distribución espacial media del  $SO_2$  para los meses de lluvias (mayo-octubre) a las 6:00 y 14:00 hrs es la siguiente: las isolneas son semejantes en general a las correspondientes a la estación seca, solo que en este caso los valores son menores en un 30-50% para las 6:00 y 10:00 hrs. En cambio, para la tarde y la noche las concentraciones de  $SO_2$  en la estación lluviosa son semejantes a las correspondientes de la época de seca .

Efectos en la Visibilidad. - El deterioro de la transparencia del aire acusada por la reducción de la visibilidad en la Ciudad de México indica que se ha rebasado ya el límite de la capacidad de dilución del aire ciudadano.

Una primera estimación del nivel de contaminación del aire fue hecha por Jáuregui (1958) utilizando valores de 1937 a 1966 de la visibilidad horizontal observada en Tacubaya en dirección al centro de la Ciudad. En 1937 la visibilidad era de 15 a 20 km, es decir, se podían distinguir prominencias o montañas a gran distancia; aunque la visibilidad más frecuente era solo de 4 a 10 km. En 1966 la visibilidad se redujo de 2 a 4 km (Figura 11; Jáuregui, 1971).

En la Figura 12 se muestra la frecuencia de visibilidades menores de 2 km (a las 10:00 hrs) en Tacubaya. Para el período de 1937, estas tuvieron una incidencia de 25 a 30%, mientras que en 1966 su frecuencia aumentó a 70 y 80%.

Fig.II VARIACION SECULAR DE LA VISIBILIDAD EN TACUBAYA PERIODO 1937-1966

CLAVE	VISIBILIDAD (Kilómetros)
1	<0.05
2	0.5-1
3	1 -2
4	2 -4
5	4 -10
6	10 -15
7	15 -20
8	>20

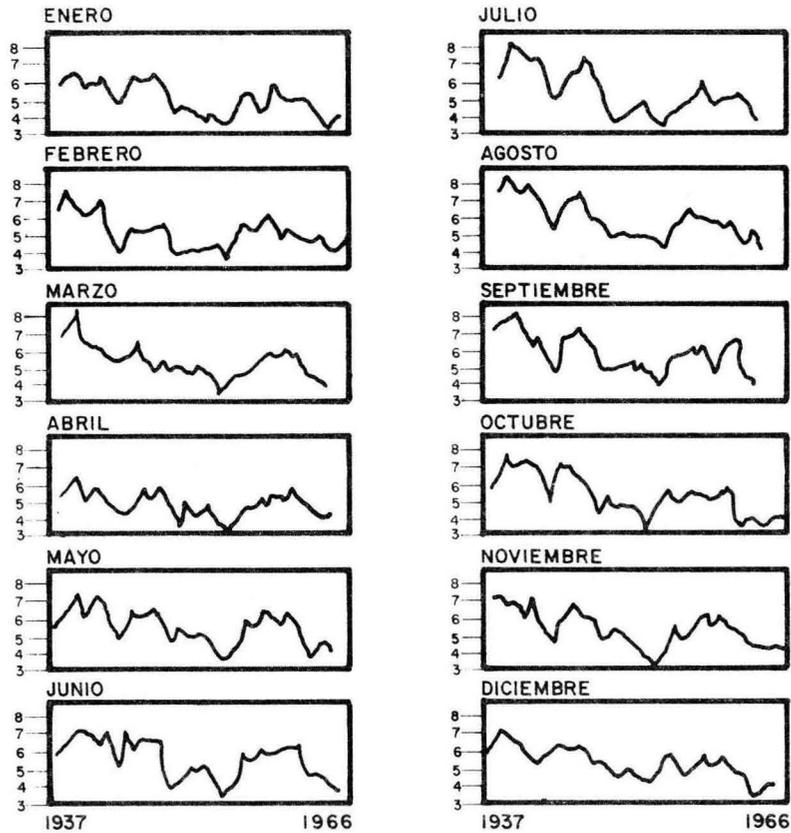
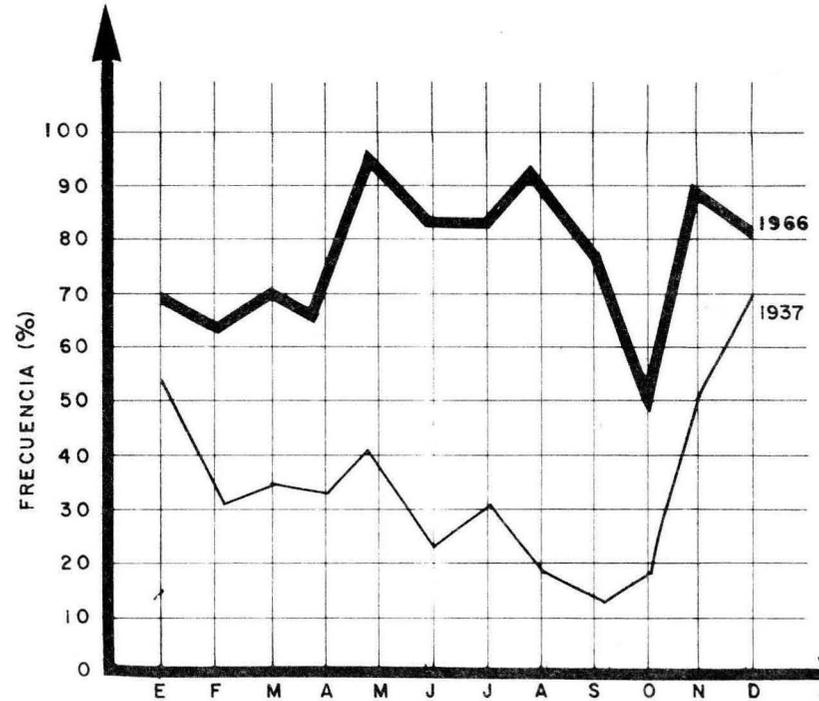


Fig.I2 FRECUENCIA DE VISIBILIDADES MENORES DE 2Kms. JAUREGUI (1971)



## METODOLOGIA

Tomando en cuenta las características climáticas y topográficas de la Ciudad de México y considerando la situación actual de la contaminación en nuestra área urbana, en el presente estudio se intentó hacer una evaluación de los efectos de la contaminación sobre musgos epífitos. Con este propósito se preparó un mapa de contaminación basado en la respuesta de esos musgos ante diversos contaminantes, específicamente el bióxido de azufre. Para ello se utilizó el Índice de Pureza Atmosférica (I.P.A.) de LeBlanc & DeSloover (1970) que consideran datos fitosociológicos específicos de los musgos epífitos presentes en una área de estudio. Para obtener el I.P.A. se hicieron muestreos de musgos epífitos en 100 estaciones con gran actividad vial que incluyeron las 16 delegaciones del Distrito Federal. Dichos muestreos se efectuaron solamente sobre árboles de Casuarina sp. y Fraxinus sp. en virtud de que estas plantas son las de mayor abundancia y frecuencia (Moreno, com.pers.) por ser de uso común como ornamentales en toda el área metropolitana. En cada estación se eligieron 10 árboles de ambos géneros que tuvieran de 0.45-0.80 m de diámetro a la altura del pecho para Casuarina sp. y 0.62-1 m para Fraxinus sp.; se tomaron lecturas de los siguientes datos:

- a) Número total de musgos epífitos (n) en cada estación. Se registraron todos los musgos encontrados sobre el tronco de cada árbol entre los 1.5-3 m de altura. Se excluyeron los musgos que crecían en la base de los árboles y sobre troncos muertos.
- b) Frecuencia-cobertura por especie de musgo (f). Siguiendo a LeBlanc & Rao (1973b), se combinaron estos dos parámetros asignando valores relativos según la siguiente escala:
  - 1, especies muy raras y con bajo grado de cobertura;
  - 2, especies infrecuentes y con bajo grado de cobertura;
  - 3, especies infrecuentes y con grado medio de cobertura en algunos árboles;
  - 4, especies frecuentes con muy alto grado de cobertura en algunos árboles;
  - 5, especies

frecuentes y con un grado de cobertura muy alto en la mayoría de los árboles.

- c) Factor de resistencia de cada especie (q) o índice ecológico. Es el promedio de el número de epifitas que concurren con una especie de musgo dado en todas las estaciones. Este número se obtiene dividiendo el número total de especies que acompañan a una especie en particular sobre el número total de sitios en que la especie en particular ocurre.

Con base a los datos anteriores se hizo la determinación del I.P.A. (Índice de Pureza Atmosférica) según la fórmula propuesta por LeBlanc & DeSloover (1970):

$$I.P.A. = \sum_{i=1}^n (q \times f) / 10, \quad \text{donde:}$$

- (q) Índice de resistencia de cada especie  
(f) Valor de frecuencia-cobertura para cada especie  
(n) Número de especies en la estación

La  $\sum_{i=1}^n (q \times f)$  se divide entre 10 para reducirla a un número pequeño manejable.

Los datos del I.P.A. para cada estación de muestreo se vaciaron en un mapa del área urbana de la Ciudad de México. En un mapa similar se anotaron los valores promedio anuales de  $SO_2$  por estación (datos para el año de 1976 In S.M.A. 03-1978). Finalmente se hizo la correlación de los valores del I.P.A. y la concentración de  $SO_2$  para cada estación.

Los ejemplares que respaldan esta investigación fueron colectados en bolsas de papel para su secado e identificación. Para cada ejemplar numerado se tomaron datos de localidad, altitud, sustrato, exposición, luz, humedad, colector y fecha. Las muestras identificadas fueron depositadas en el Herbario Nacional (MEXU).

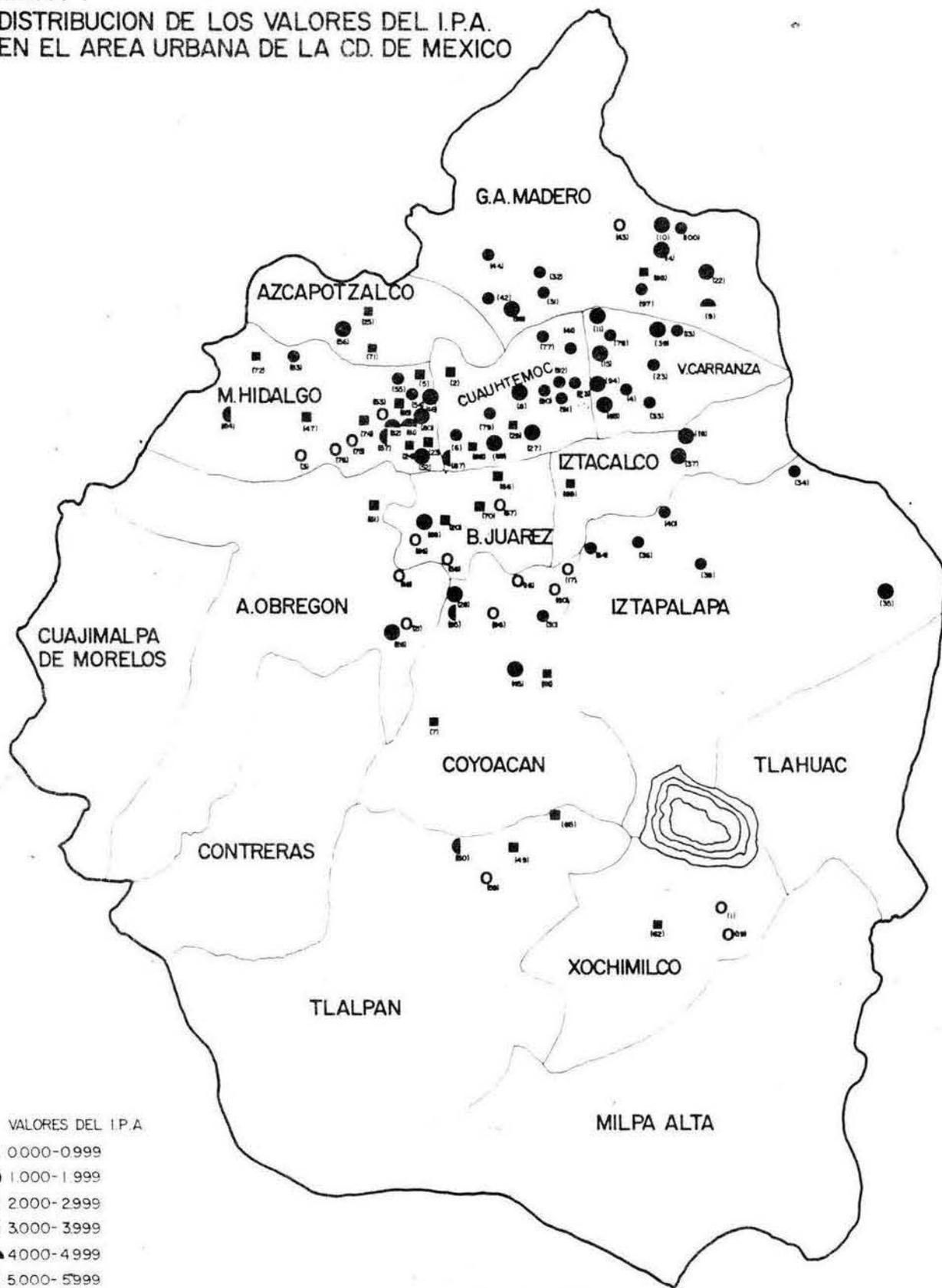
## RESULTADOS

En los muestreos realizados en el área urbana de la Ciudad de México se encontraron 9 especies ampliamente distribuidas, 2 de las cuales no fueron identificadas por encontrarse en pequeña cantidad. Las 7 especies restantes fueron: Bryum argenteum Hedw. ; Tortula pagorum (Mild.) DeNot., Fabronia wrightii Sull., Amblystegium serpens (Hedw.) B.S.G., Lindbergia mexicana (Besch.) Card., Leptodontium flexifolium (Dicks. ex With.) Hampe, Orthotrichum diaphanum Brid.

Con los datos de las especies arriba citadas, los de la concentración de  $SO_2$  proporcionados por la S.M.A. para 1976 (ver Mapa 2) y en función de la fórmula de LeBlanc & DeSloover (1970) se delinearon 3 zonas de contaminación que muestran la distribución del Índice de Pureza Atmosférica (I.P.A.). Los datos para estas zonas se reportan en la Figura 13, Tabla I y la distribución del I.P.A. en el Mapa 1.

La primera zona comprende N.y SW de la delegación Cuauhtémoc, S y SW de Gustavo A. Madero, NW de Venustiano Carranza, e incluye arterias como el Paseo de la Reforma, Río Consulado, Calzada México-Tacuba, Eje Central Lázaro Cárdenas, Marina Nacional y Calzada de Tlalpan, entre las más importantes. Las principales industrias son jabón y detergentes, tabiqueras, metalurgia, plantas de ácido sulfúrico y el rastro. Estas características denotan porque es la zona de mayor contaminación y porque registra una frecuencia alta de los valores del I.P.A. de 0-0.999. Los niveles de  $SO_2$  en esta zona oscilan entre 0.05-0.04 ppm; los valores correspondientes del I.P.A. van de 0-2.999, pero los más frecuentes oscilan entre 0-0.999. La zona presenta un clima Cw y BS, carece de parques y jardines y existen pocos árboles por lo que la mayoría de los muestreos se efectuaron a lo largo de las avenidas. Los ejemplares colectados en esta zona presentan en número variable -según la especie- manchas de color café sobre las células de las hojas apicales y una capa negruzca que permanece adherida a la planta

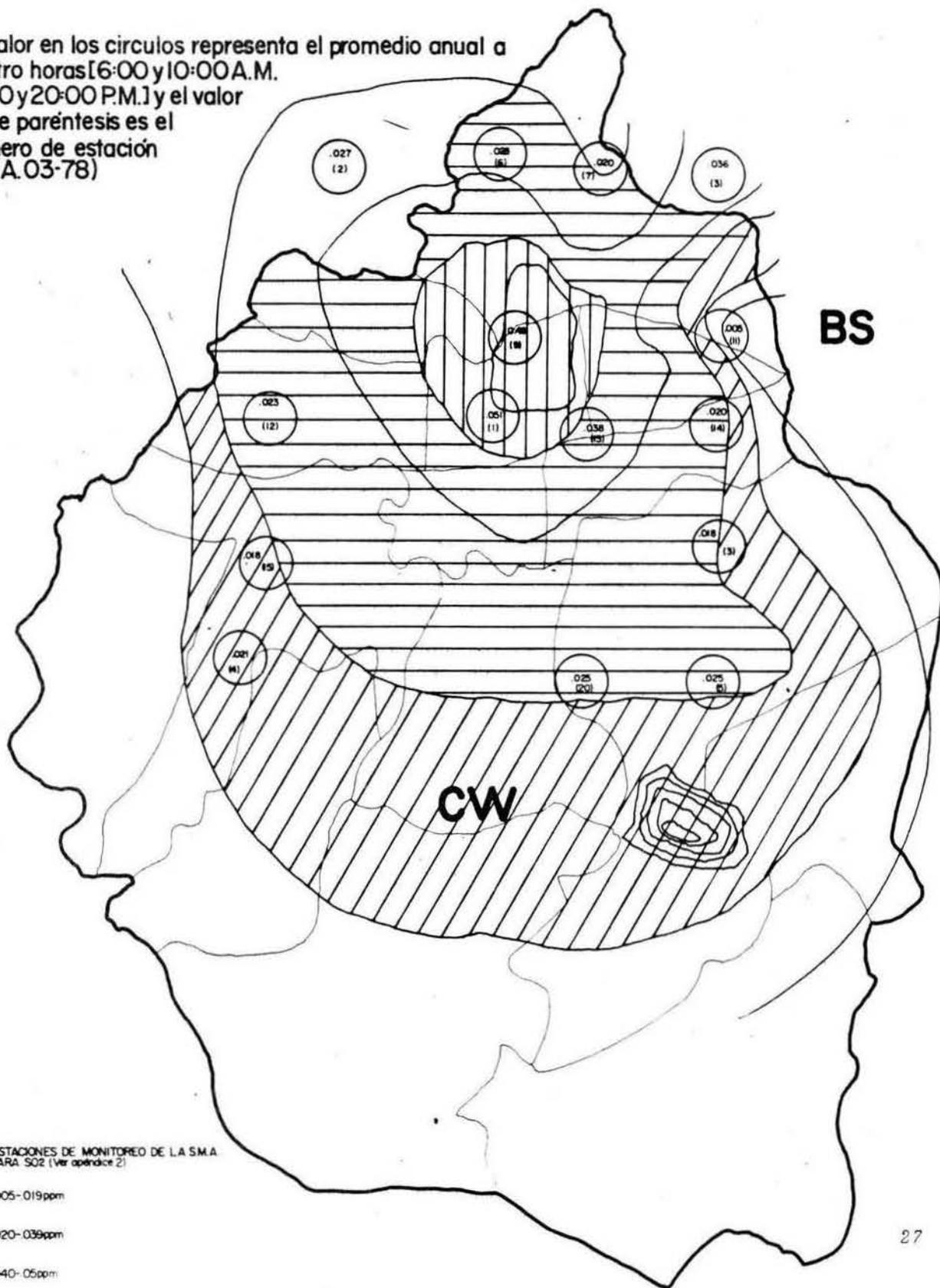
**MAPA 1**  
**DISTRIBUCION DE LOS VALORES DEL I.P.A.**  
**EN EL AREA URBANA DE LA CD. DE MEXICO**



( ) El número en el paréntesis representa el número de la estación muestreada (Ver apéndice No.1)

MAPA 2 DISTRIBUCION DE LAS ZONAS DEL SO<sub>2</sub>  
EN EL AREA URBANA DE LA CD. DE MEXICO

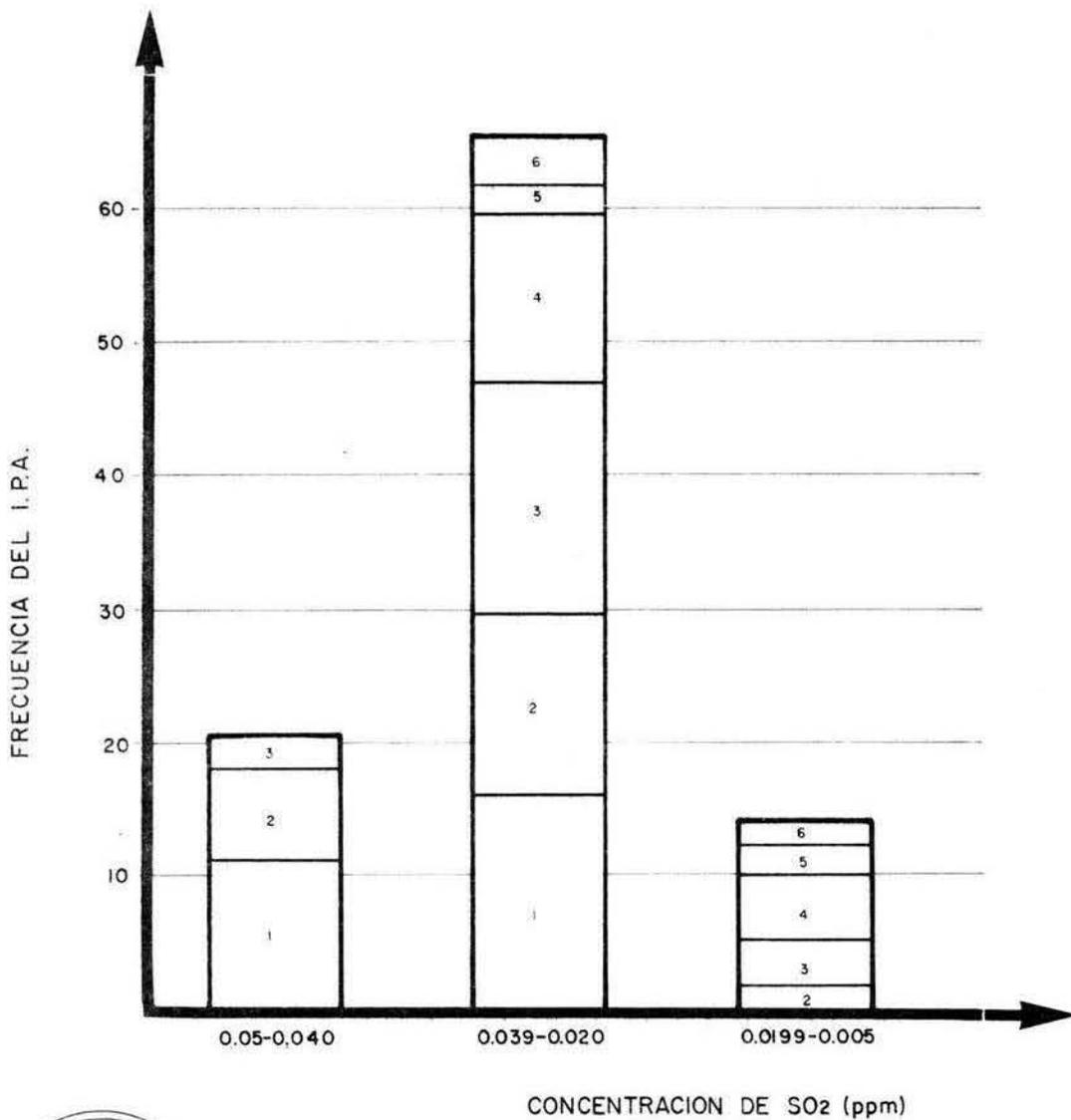
El valor en los círculos representa el promedio anual a  
cuatro horas [6:00 y 10:00 A.M.  
14:00 y 20:00 P.M.] y el valor  
entre paréntesis es el  
numero de estación  
S.M.A.03-78)



ESTACIONES DE MONITOREO DE LA S.M.A.  
PARA SO<sub>2</sub> (Ver apéndice 2)

- .005-0.019ppm
- .020-0.039ppm
- .040-0.05ppm

Fig.13 DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE I.P.A.  
EN RELACION A LOS NIVELES DE SO<sub>2</sub>



VALORES DEL I.P.A.

1=	0-0.999
2=	1-1.999
3=	2-2.999
4=	3-3.999
5=	4-4.999
6=	5-5.999

TABLA I

**DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE I.P.A. EN RELACION AL SO<sub>2</sub>**

CONCENTRACION DE SO <sub>2</sub>	0.05-0.04 (ppm)	0.039-0.020 (ppm)	0.019-0.005 (ppm)
VALOR DE I.P.A.			
0-0.999	11	16	1
1-1.999	7	14	0
2-2.999	2	17	4
3-3.999	0	13	5
4-4.999	0	2	2
5-5.999	0	4	2
T O T A L	20	66	14

aun después de hidratarse. Estos efectos se acentúan en Tortula pagorum que además, en esta zona, no tiene propágulos según se observa en las muestras colectadas. En Leptodontium flexifolium se observan pocas hojas sobre su tallo. Los musgos encontrados en esta primera zona eran gregarios y en su mayoría estériles, la cobertura de las colonias era baja y tendían a establecerse en los caminos de agua del forofito. Las especies más frecuentes en esta zona fueron Tortula pagorum y Bryum argenteum, apareciendo ocasionalmente Fabronia wrightii y Lindbergia mexicana.

La segunda zona comprende partes de las siguientes delegaciones: W, NW y Centro de Atzacapotzalco, W y Centro de Venustiano Carranza, N y Centro de Gustavo A. Madero, NE de Benito Juárez, Centro de Iztapalapa, N y Centro de Coyoacán, NE de Alvaro Obregón y la totalidad de Miguel Hidalgo; las principales vías de comunicación son: Calzada Ermita Iztapalapa, Miguel Angel de Quevedo, Avenida Universidad, Insurgentes Sur, Calzada Ignacio Zaragoza, Patriotismo y Calzada Vallejo. Las industrias comprendidas en esta zona son: industrias de hule, fermentadoras, refinería de petróleo, termoeléctricas, cemento y fundiciones. Los niveles de  $SO_2$  para esta zona oscilan entre 0.039-0.020 ppm; asimismo se observan todos los posibles valores del I.P.A. (0-5.999), siendo de mayor frecuencia los de 2.000-2.999. Dentro de esta zona se observa un mínimo secundario del I.P.A. al N, NW y NE de la Ciudad con valores de 0-0.999. Esta zona presenta un clima BS y Cw y el número de parques y jardines aumenta notablemente así como su cobertura. Los daños celulares en los ejemplares de esta zona no son tan drásticos como la primera zona; las manchas sobre las células de las hojas se reducen y ante la hidratación las plantas recobran en parte su vitalidad. En Tortula pagorum se observa la presencia de; propágulos; Leptodontium flexifolium tiene un mayor número de hojas por tallo aunque la falta de vitalidad es manifiesta. Dentro de esta zona solo se observan esporofitos en Fabronia wrightii y Lindbergia mexicana. Los musgos antes citados

incrementan la cobertura de sus colonias y en ocasiones tapizan totalmente la región media y submedia (hacia la base) del árbol, Orthotrichum diaphanum y las dos especies no identificadas aparecen en forma esporádica.

Debe hacerse notar que gran parte de la Ciudad de México está comprendida en estas dos zonas de  $SO_2$  (Ver Mapa 2) que presenta la mayor concentración industrial (70% del total) y flujo vehicular de 59325 autos por hora (S.M.A. 04-1978).

La tercera zona de contaminación comprende el Centro y S de Alvaro Obregón, N de Magdalena Contreras, S de Tlalpan, N de Xochimilco, S de Iztapalapa y NW de Tláhuac. Las arterias de circulación se reducen y están representadas por entradas a caminos federales y parques nacionales.; las industrias se reducen a celulosa y papel hacia el S, tabiqueras al N y minerales no metálicos al E. Esta zona tiene un flujo vehicular de 90998 autos por hora y una concentración industrial de aproximadamente 25% del total (S.M.A. 04-1978). Los niveles de  $SO_2$  en esta zona oscilan entre 0.019-0.005 ppm; los valores del I.P.A. oscilan entre 0.999-5.999 pero los valores más frecuentes son los de 3.000-3.999. La zona se caracteriza por un clima Cw bien definido; los valores de 0.005 ppm de  $SO_2$  no están bien delineados dada la ausencia de estaciones de muestreo y la falta de monitores de la S.M.A.. La mayoría de los musgos en esta zona tienen mayor vitalidad, Tortula pagorum forma un número mayor de propágulos y Fabronia wrightii y Lindbergia mexicana presentan mayor cantidad de esporofitos. El resto de las especies sigue siendo infértil. En las pocas estaciones muestreadas en esta zona los musgos tienen una cobertura alta pero nunca llegan a tapizar la corteza del árbol.

Las zonas descritas parecen guardar una relación inversa entre frecuencia del I.P.A. y niveles de  $SO_2$  de tal forma que podemos caracterizar a las zonas antes mencionadas de la manera siguiente: Zona 1 con niveles de  $SO_2$  de 0.05-0.04 ppm relativamente desértica; Zona 2 con niveles de  $SO_2$  de 0.039-0.020 ppm o zona de transición; Zona 3 con niveles de  $SO_2$  de 0.019-0.005 ppm o zona de buen desarrollo de epfitas.

Con el propósito de determinar si efectivamente existe correlación entre el I.P.A. y niveles de  $SO_2$  o algún otro factor (humedad) se hizo un análisis de correlación simple y múltiple; para la significancia del coeficiente se utilizó el método de Pearson (In Downie & Heath, 1973) estos parecen reafirmar la tendencia mencionada arriba de manera que el coeficiente de correlación entre el I.P.A.- $SO_2$  es de -0.36 para las estaciones con un clima BS y de -0.22 para las estaciones con clima Cw; los coeficientes son significativos  $\alpha = 0.10$ . Los coeficientes de correlación entre I.P.A. humedad relativa son +0.18, +0.05 para BS y Cw respectivamente; los coeficientes no son significativos  $\alpha = 0.10$ . Los coeficientes de correlación múltiple entre I.P.A.- $SO_2$ +humedad relativa es de 0.93 en clima BS y 0.79 en clima Cw; los coeficientes son significativos  $\alpha = 0.10$  (Figuras 14, 15, 16 y 17).

La Figura 18 y Tabla 2 muestran que de las 100 estaciones Tortula pagorum y Bryum argenteum con 77 y 74 árboles respectivamente, de un total de 1000 árboles son las especies con mayor frecuencia y distribución en la zona urbana de la Ciudad de México. Por ello quizá sean las especies más resistentes al  $SO_2$  y otros contaminantes. Fabronia wrightii con 66 apariciones, Amblystegium serpens con 41, Lindbergia mexicana con 20 y Leptodontium flexifolium con 10, presentan una frecuencia y distribución media. Sin embargo, Lindbergia mexicana y Fabronia wrightii debido a que forman esporofitos son las especies que revisten un interés particular en el estudio.

#### DISCUSION

La lista de especies que citamos anteriormente es muy pequeña pero dado que casi no existen trabajos previos sobre el número de especies de musgos en la Ciudad de México, es difícil evaluar los cambios que han ocurrido a través del tiempo.

FIG.15 RELACION DE LA HUMEDAD RELATIVA CON EL I.P.A. PARA LAS ESTACIONES CON CLIMA Cw

(EL NUMERO ENTRE PARENTESIS REPRESENTA EL NUMERO DE LA ESTACION MUESTREADA)

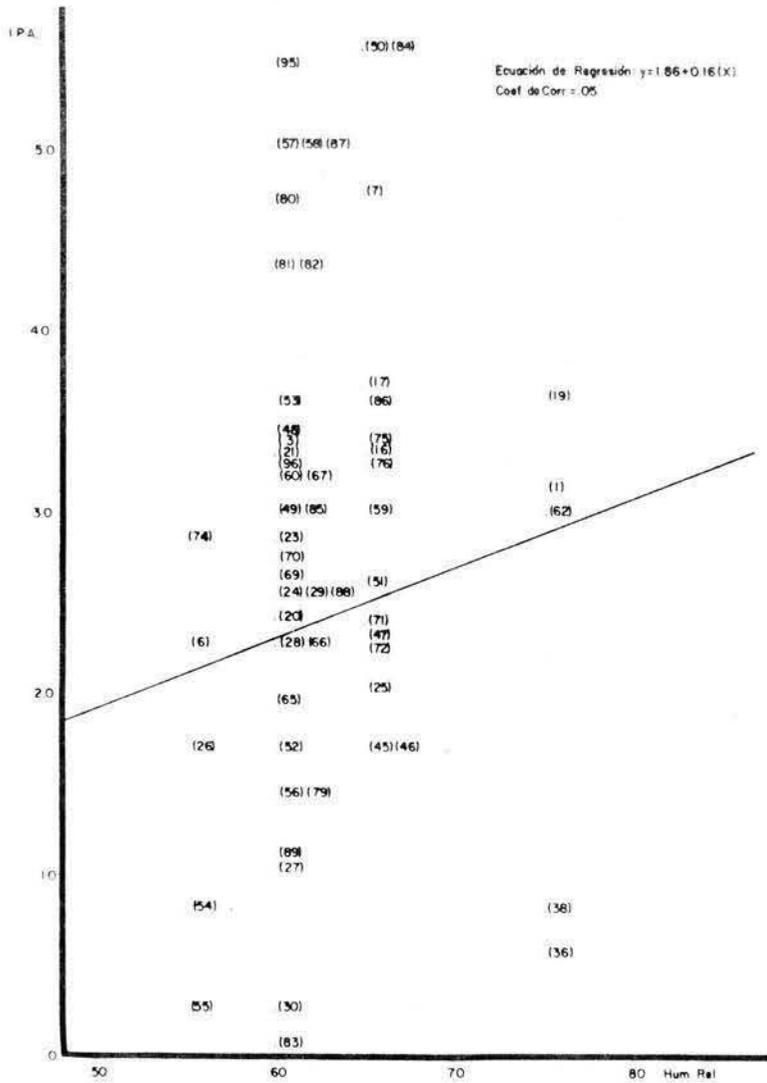


FIG.14 RELACION DEL NIVEL DE SO<sub>2</sub> CON EL I.P.A. PARA ESTACIONES CON CLIMA Cw

(EL NUMERO ENTRE PARENTESIS REPRESENTA EL NUMERO DE LA ESTACION MUESTREADA)

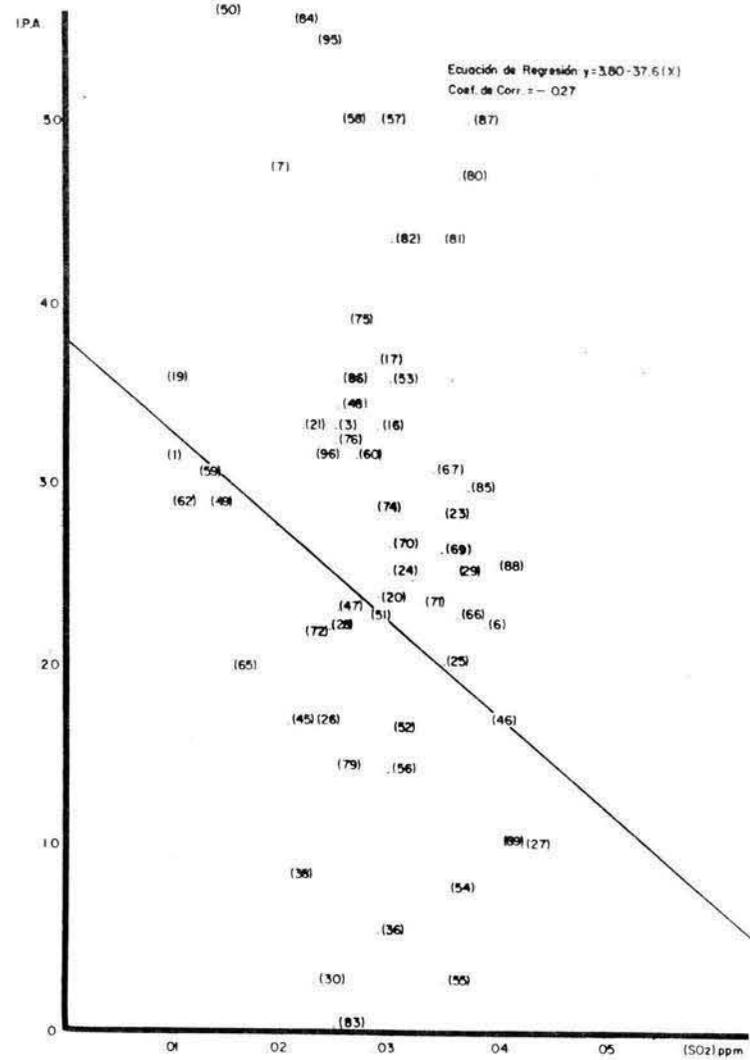


Fig.17 Relación de la humedad relativa con el I.P.A. para las estaciones con clima BS.

(EL NUMERO ENTRE PARENTESIS REPRESENTA EL NUMERO DE LA ESTACION MUESTREADA)

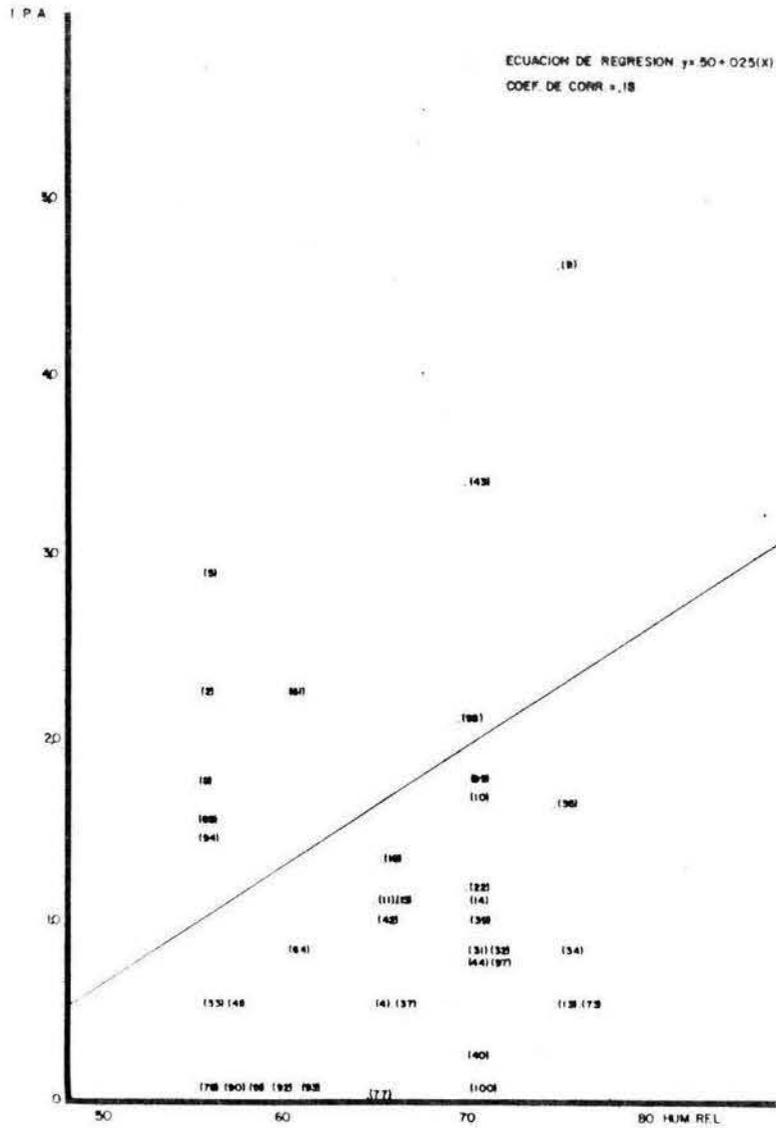


Fig.16 Relación del nivel de SO<sub>2</sub> con el I.P.A. para las estaciones con clima BS.

(EL NUMERO ENTRE PARENTESIS REPRESENTA EL NUMERO DE LA ESTACION MUESTREADA)

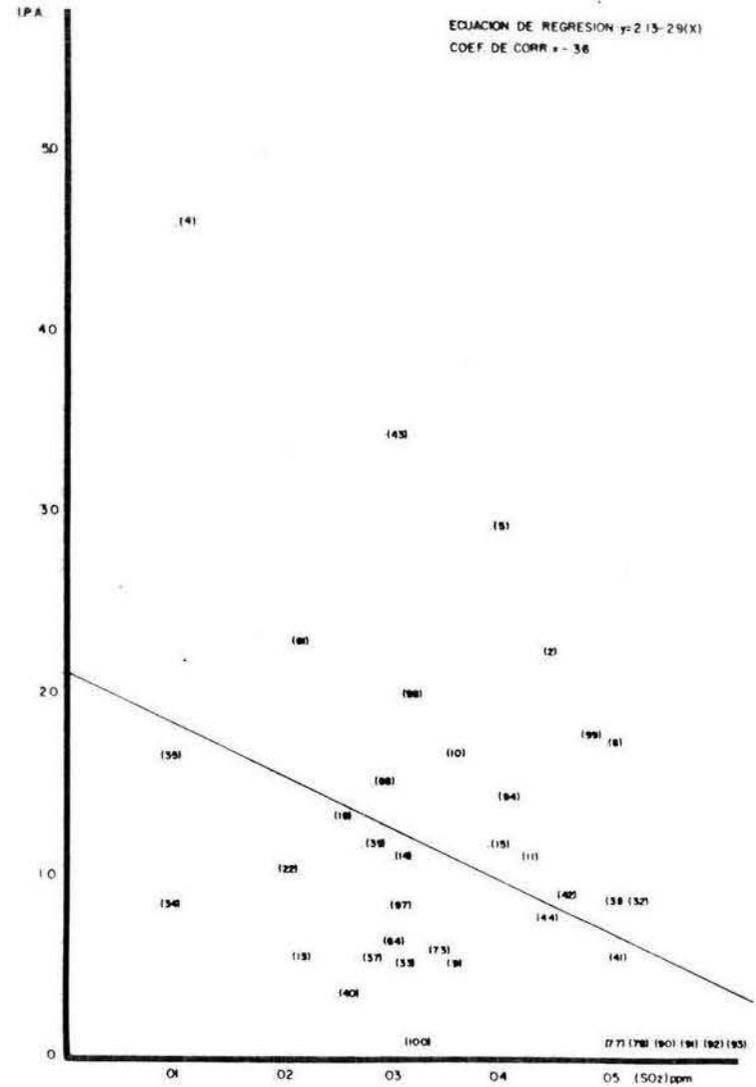


Fig.18 FRECUENCIA DE APARICION DE LAS ESPECIES POR VALORES DEL I.P.A.

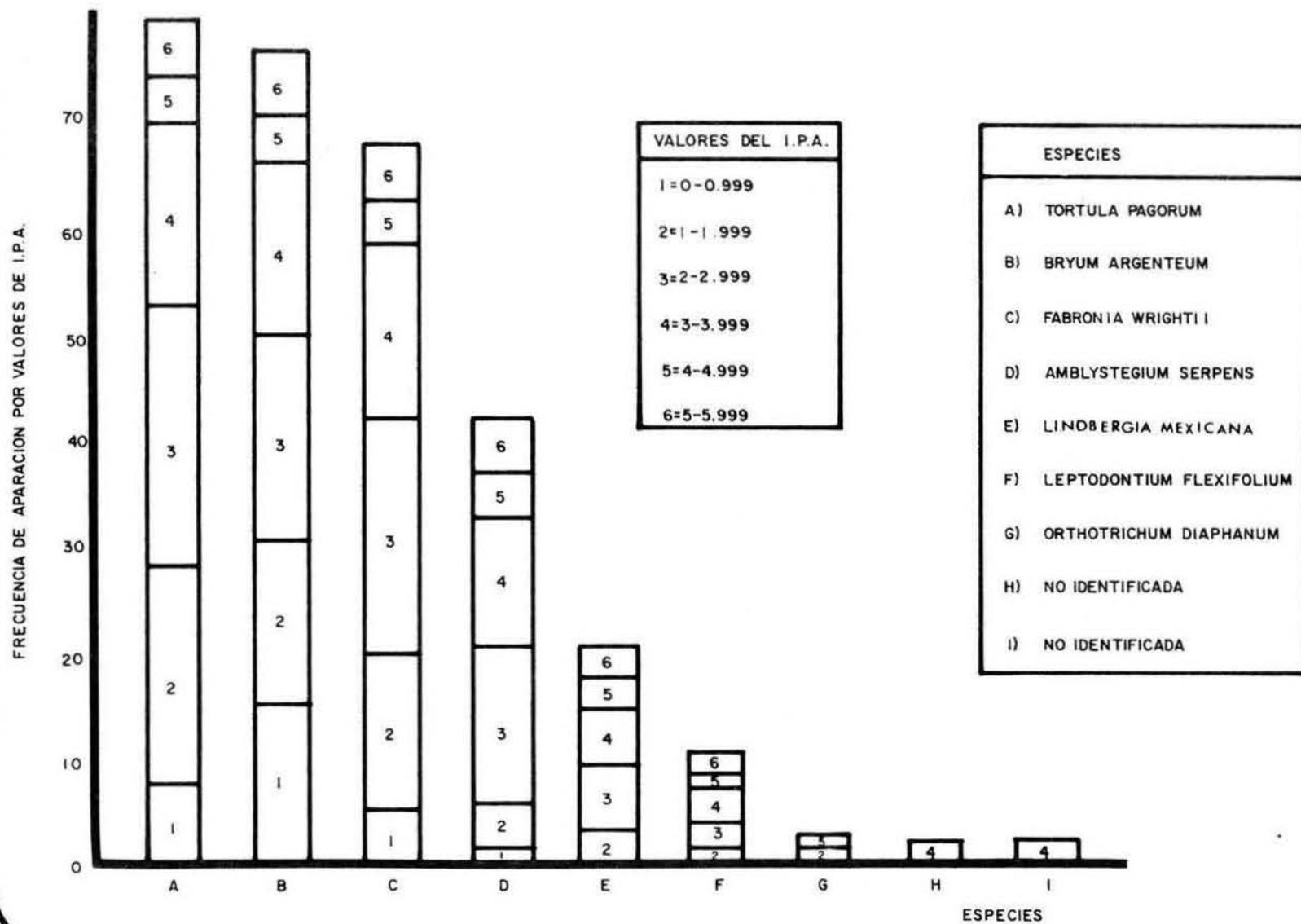


TABLA 2

## FRECUENCIA DE ESPECIES POR VALORES DE I.P.A.

VALORES DE I.P.A.	1	2	3	4	5	6	TOTAL
VALORES DE I.P.A.	0-0.999	1-1.999	2-2.999	3-3.999	4-4.999	5-5.999	
NUMERO DE ESTACIONES	28	21	23	18	4	6	100
BRYUM ARGENTEUM	15	15	19	16	4	5	74
TORTULA PAGORUM	8	20	24	16	4	5	77
FABRONIA WRIGHTII	5	14	22	16	4	5	66
AMBLYSTEGIUM SERPENS	1	4	15	12	4	5	41
LINDBERGIA MEXICANA	0	3	6	5	3	3	20
LEPTODONTIUM FLEXIFOLIUM	0	1	2	4	1	2	10
ORTHOTRICHUM DIAPHANUM	0	1	0	0	1	0	2
NO IDENTIFICADA	0	0	0	1	0	0	1
NO IDENTIFICADA	0	0	0	1	0	0	1
TOTAL	29	58	88	71	21	25	292

Hipotéticamente es posible sugerir que con la continua expansión de la urbe, la eliminación de las áreas verdes y con la creciente actividad humana, los musgos han disminuido en frecuencia, cobertura y número de especies. Debe hacerse notar, sin embargo, que para las especies de epífitas estos parámetros pueden haber fluctuado como consecuencia de eliminación de árboles, reforestación con otras especies o con otros cambios que se realizan periódicamente en arterias y zonas arboladas. Dentro de esa relativa fluctuación, el número de especies de musgos epífitos parece haber disminuido; algunos ejemplares de herbario y reportes en publicaciones previas (Cardot, 1909; Reiche, 1914) indican que en el Distrito Federal existían especies como Thuidium robustum, Tortula fragilis, Tortula caroliniana; Brachythecium plumosum, Brachythecium integrifolium, Leptodontium viticulosoides var. panamense, Zygodon oligodontus (Zygodon liebmannii) Orthotrichum lozanoi (Orthotrichum pycnophyllum) que no hemos encontrado en nuestros muestreos. Las causas de su posible desaparición pueden ser variadas, pero el incremento en los niveles de contaminación también puede ser importante. En virtud de que el análisis retrospectivo es difícil de evaluar por falta de información, en los párrafos que siguen solo discutiremos el papel de los contaminantes, particularmente  $SO_2$  en función de datos para el año 1976 y aquellos derivados de nuestra propia investigación.

El Mapa 1 muestra una distribución del I.P.A. semejante a la distribución de los niveles de  $SO_2$  (Mapa 2) que se han reportado en otros trabajos (LeBlanc, 1961, 1968; LeBlanc et al., 1972b;

LeBlanc & Skye, 1968; Rao & LeBlanc, 1967; Gilbert, 1968, 1970b). En consecuencia los valores más altos del I.P.A. se encuentran hacia la periferia Sur donde los niveles de  $SO_2$  oscilan entre 0.01 y 0.03 ppm. En contraste, la parte central muestra los valores más bajos del I.P.A. que corresponden a concentraciones de 0.04-0.05 ppm de  $SO_2$ . El mínimo secundario que se encuentra al NE en la delegación Iztapalapa (con valores del I.P.A. entre 0-1.999 correspondientes a niveles de 0.020-0.030 ppm de  $SO_2$ ) puede explicarse por su clima BS; allí los efectos de limpieza por lluvia pueden ser mínimos ya que el régimen de precipitación pluvial es bajo. Aunque esta zona llega a tener una concentración industrial del 35% del total, es posible que los valores del I.P.A. en esta parte de la delegación Iztapalapa obedezcan además a que al NE de la Ciudad hay fuentes de contaminación natural provenientes del ex Vaso de Texcoco, de zonas áridas erosionadas, zonas urbanas no pavimentadas, tiraderos de basura y minerales no metálicos. La deposición a partir de estas fuentes es de 30-50 ton./km<sup>2</sup> por mes; en comparación, las zonas S y W solo tienen una deposición de polvo de 9-12 ton./km<sup>2</sup> por mes (S.M.A. 04-1978). El polvo al depositarse sobre las epífitas puede reducir la tasa de crecimiento y su cobertura con lo cual se modifican los valores del I.P.A.. El suelo depositado sobre los musgos puede contribuir a la degradación prematura de las plantas e interferir con la captación de la luz reduciendo así los valores totales de fotosíntesis.

Fuera del NE de Iztapalapa en el resto de la Ciudad la distribución del I.P.A. parece estar en relación inversa con

Los niveles de  $SO_2$ , como lo confirman los coeficientes de correlación que son de -0.36 en clima BS y -0.22 en clima Cw, se han obtenido cifras similares por LeBlanc *et al.* (1974) y Johnsen & Sochting (1976). Considerando el efecto limpiador de la lluvia, la velocidad del viento y las líneas de flujo del aire que prevalecen en la Ciudad, así como la concentración industrial y vehicular, es de esperar que la difusión de contaminantes hacia afuera de la Ciudad se vea impedida. Gran parte de la inadecuada difusión de contaminantes es debida a la situación geográfica que guarda la Ciudad de México (Ver Figura 1).

El centro, N y W de la Ciudad de México con clima Cw llegan a registrar valores del I.P.A. de 0. que se acentúan hacia el centro y N; en estas zonas es donde la Ciudad presenta un efecto de invernadero o isla de calor en forma más drástica, los cuales parecen sumarse a los efectos del  $SO_2$ . La existencia de valores del I.P.A. de 0 en clima húmedo puede tomarse como evidencia de que no existe una correspondencia directa entre estos y el clima (LeBlanc & Rao, 1973b). De lo contrario, debería haber buen desarrollo de epífitas en el centro y N de la Ciudad con respecto al NE; los Mapas 1 y 2 denotan que dicha correspondencia no existe. La distribución del I.P.A., por lo tanto, parece no obedecer estrictamente a gradientes de humedad. Esto se comprueba con los coeficientes de correlación entre humedad relativa-I.P.A. que son de +0.05 para Cw y +0.18 para BS (Figuras 15 y 17).

El efecto de la isla de calor, sin embargo, puede provocar una disminución en la humedad relativa del aire -dada por el calor producido por la concentración de la infraestructura de la Ciudad- y por ello el empobrecimiento de epífitas puede estar sujeto a la sequía ambiental, aunado a la existencia en la corteza de los árboles. Es debatible el hecho de que la temperatura incrementa el efecto de los contaminantes (Gilbert, 1968), pero el calor excesivo podría contribuir a disminuir el valor del I.P.A. por su efecto sobre la humedad atmosférica en el crecimiento de las colonias de musgos. La concentración de valores bajos de I.P.A. en el centro de la Ciudad puede ser debida a la inadecuada ventilación; aquí es donde están las construcciones más elevadas y donde las fuentes de emisión móviles permanecen más tiempo en estado estacionario (congestionamientos) aumentando así la concentración de contaminantes por año (S.M.A. 04-1978).

Si consideramos que la isla de calor, niveles de  $SO_2$  y otros contaminantes tienen una distribución concéntrica, el efecto sobre la vegetación epífita puede ser aditivo. De esta manera, la situación que guarda la Ciudad puede propiciar los daños que se reportan en musgos. Las manchas de color café sobre las células de Tortula pagorum son análogas a las reportadas en otros estudios (LeBlanc & Rao, 1966, 1970, 1973a; LeBlanc et al., 1971; Coker, 1967; Malhotra & Hocking, 1976) pues en ambientes contaminados se ha encontrado gran permeabilidad de la membrana al  $SO_2$  causando destrucción y necrosis celular (Puckett, 1973a,b;

Gilbert, 1970a; Haksworth & Rose, 1970); la pérdida de color característico de algunas especies puede ser debido a la degradación clorofiliana (oxidación) en la cual hay sustitución de  $Mg^{++}$  por  $H^+$  producidos en reacciones con el  $SO_2$  en presencia de agua (Gilbert, 1970a; Inglis & Hill, 1974). El medio celular es favorable para este tipo de reacciones; en ocasiones dicho blanqueamiento puede ser tan sutil por lo que las explicaciones solo pueden proponerse a nivel enzimático.

Casuarina sp. y Fraxinus sp. poseen un pH de la corteza de 4.5-5.8 lo que puede favorecer los efectos del  $SO_2$  a nivel químico y bioquímico (Eversman, 1978; Nash, 1973; Rao & LeBlanc, 1966; Coker, 1967; LeBlanc, 1968); en Tortula pagorum el efecto pudiera tener consecuencias negativas en los propágulos y en Bryum argenteum, Amblystegium serpens y en Leptodontium flexifolium en la aparición de esporofitos (LeBlanc & Rao, 1970). Ello indicaría cierta sensibilidad de acuerdo con las zonas de  $SO_2$ ; sin embargo, Haksworth & Rose (1970) citan que las condiciones ácidas de la corteza pueden proveer condiciones adecuadas para el establecimiento de algunas especies de musgos.

Si bien el crecimiento de los musgos puede verse afectado por la contaminación, como ha sido demostrado por otros, podría sugerirse que dicho comportamiento también es consecuencia de factores que no están directamente relacionados con la emisión de gases o partículas a la atmósfera. Sin embargo, el efecto deletéreo (manchas, plasmólisis, clorosis) de los contaminantes difícilmente son provocados de otra manera.

La frecuencia de aparición de especies en las estaciones de muestreo sugiere que B. argenteum y T. pagorum son menos sensitivas a la contaminación; la Figura 18 y Tabla 2 indican que su distribución en la Ciudad puede no correlacionarse con los valores de  $SO_2$ . Por su parte, F. wrightii y L. mexicana pueden utilizarse en estudios posteriores dado su valor de distribución y presencia de esporofitos. Sin embargo, este aspecto debe analizarse con mayor detalle en investigaciones futuras en virtud de que en el presente estudio la uniformidad en el número y tipo de sitios de muestreo en cada zona de  $SO_2$  dependió de factores fuera de nuestro control; las áreas muestreadas combinaron sitios de alto y bajo grado de circulación incluyendo en ocasiones sitios físicamente protegidos de los efectos de la contaminación. Esto último puede observarse al revisar datos de zonas con niveles de 0.05-0.04 ppm de  $SO_2$  que también incluyen valores medios de I.P.A. (2.999) .

Los valores de I.P.A. indican que gran parte de la Ciudad (75%) es bastante impura, con valores de 0-2.999; en cada delegación más del 50% de los muestreos quedan dentro de dicha zona del I.P.A.. Tal situación se acentúa en las delegaciones Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero; el número de muestreos en ellas permite hacer esta afirmación con cierta confianza considerando además que los niveles de  $SO_2$ , concentración vehicular e industrial, son propicios para el detrimento de la calidad del aire. El resto de la Ciudad guarda una pureza deficiente (con pocos valores de I.P.A. de

3.000-3.999); solo la delegación Xochimilco tiene más del 50% de valores en esta zona de I.P.A., pero el número de muestreos (3) no puede confirmar que esta delegación sea la más pura atmosféricamente. Coyoacán, Miguel Hidalgo y Tlalpan presentan la mejor calidad del aire. La mayor precipitación, mayor superficie de evaporación -que elevan la humedad relativa del aire- y la reducida concentración vial e industrial pueden favorecer un mejor desarrollo de epfitas en esas delegaciones.

En resumen, el mapeo por medio de I.P.A. puede ser un método útil a largo plazo para poder detectar en forma aproximada los niveles de contaminación atmosférica tolerables, determinar la distribución espacial de los contaminantes y coleccionar información acerca de su toxicidad en plantas.

La relación inversa entre I.P.A.-SO<sub>2</sub> y la gradación de especies de acuerdo a su toxitolerancia puede ser establecida indirectamente por evidencias de campo. Esto, sin embargo, no es fácil ya que muchos factores (microhabitat, climáticos) pueden estar involucrados.

En una Ciudad como la de México donde existen numerosas fuentes de emisión, no es fácil determinar el contaminante responsable de la desaparición de la vegetación epfita por lo que es razonable suponer que la exposición a una mezcla de contaminantes (óxidos de azufre, hidrocarburos, y óxidos de nitrógeno) son más efectivos que la exposición a un solo contaminante. A esto debe agregarse el deterioro mecánico de las plantas provocado por otras actividades humanas.

Con los resultados de este trabajo no se puede concluir

*categoricamente que la contaminación atmosférica sea la única causa del pobre crecimiento y bajo número de epífitas. Por esta razón las líneas futuras de investigación deberán incluir cuando menos estudios experimentales con cultivos de musgos bajo condiciones de fumigación controlada registrando los efectos sobre tasas de respiración, fotosíntesis, contenido clorofílico y otras modificaciones citológicas o estructurales. Estos complementados con estudios de trasplante de musgos (de zonas no contaminadas a zonas contaminadas) y el registro de los cambios en morfología y reproducción, darán indicaciones más precisas sobre la respuesta de los musgos ante los contaminantes. Pensamos que bajo estos criterios los estudios con briofitas permitirán una mejor interpretación de la respuesta de otros organismos ante los mismos agentes. Al mismo tiempo, esas investigaciones podrían apoyar las políticas del control de emisiones que se requieren para mejorar la calidad del aire en la Ciudad de México.*

APENDICE 1

*Localización de los sitios de muestreo de musgos en la Ciudad de México.*

<i>ESTACION</i>	<i>LOCALIZACION</i>	<i>I.P.A.</i>
<i>No.</i>		
1	<i>Parque "Centro Ceremonial Cuauhtémoc". J. O. Domínguez y Miguel Hidalgo. Del. Xochimilco.</i>	3.13
2	<i>Parque Santa María la Ribera, Carpio y Ciprés. Del. Cuauhtémoc.</i>	2.25
3	<i>Panteón de Dolores. Del. Miguel Hidalgo.</i>	3.35
4	<i>Parque Venustiano Carranza. Prolongación F.C. Industrial. Del. Venustiano Carranza.</i>	0.54
5	<i>"CASCO". E.N.C.B., Calzada de los Gallos. Del. Miguel Hidalgo.</i>	2.92
6	<i>Paseo de la Reforma y Mississippi. Cine Diana Del. Cuauhtémoc.</i>	2.27
7	<i>Ciudad Universitaria. Paseo de las Facultades. Del. Coyoacán.</i>	4.79
8	<i>Alameda Central. Av. Juárez y Av. Hidalgo. Del. Cuauhtémoc.</i>	1.76
9	<i>Bosque San Juan de Aragón (Sec. Sur). Del. Gustavo A. Madero.</i>	4.62
10	<i>Parque del Metro "Estación Indios Verdes". Del. Gustavo A. Madero.</i>	1.69
11	<i>Parque "Plutarco Elías Calles". Cobre y Aluminio. Del. Venustiano Carranza.</i>	1.12

<i>ESTACION No.</i>	<i>LOCALIZACION</i>	<i>I.P.A.</i>
12	<i>Parque zoológico de San Juan de Aragón (Sec. Norte). Del. Gustavo a. Madero.</i>	<i>0.00</i>
13	<i>Parque Oceanía. Formosa. Del. Venustiano Carranza.</i>	<i>0.55</i>
14	<i>Panteón del Tepeyac. Del. Gustavo A. Madero.</i>	<i>1.11</i>
15	<i>Parque de la Penitenciaría. Av. Eduardo Molina y Penitenciaría. Del. Venustiano Carranza.</i>	<i>1.16</i>
16	<i>Parque Xicoténcatl. Río Churubusco. Del. Coyoacán.</i>	<i>3.36</i>
17	<i>Prado Churubusco. Cruz del Sur y Prado Churubusco. Del. Coyoacán.</i>	<i>3.70</i>
18	<i>Ciudad Deportiva. Del. Iztacalco.</i>	<i>1.37</i>
19	<i>Parque Nativitas. Del. Xochimilco.</i>	<i>3.61</i>
20	<i>Parque Insurgentes. Insurgentes Sur y Porfirio Díaz. Del. Benito Juárez.</i>	<i>2.40</i>
21	<i>Parque Alvaro Obregón. Insurgentes Sur. Del. Alvaro Obregón.</i>	<i>3.31</i>
22	<i>Parque Galeana. Av. Circunvalación. Del. Gustavo A. Madero.</i>	<i>1.09</i>
23	<i>Museo de Antropología. Paseo de la Reforma. Del. Miguel Hidalgo.</i>	<i>2.83</i>
24	<i>Av. Constituyentes. Viejo Bosque de Chapultepec. Del. Miguel Hidalgo.</i>	<i>2.54</i>
25	<i>Parque Atzacapatzalco. Av. Atzacapatzalco y Calzada Sto. Tomás. Del. Atzacapatzalco.</i>	<i>2.02</i>
26	<i>Jardín del Arte. Arteaga y Ayuntamiento. Del. Alvaro Obregón.</i>	<i>1.71</i>

<i>ESTACION No.</i>	<i>LOCALIZACION</i>	<i>I.P.A.</i>
27	<i>Parque del Centro Médico. Cuauhtémoc y Av. Central. Del. Cuauhtémoc.</i>	1.09
28	<i>Viveros de Coyoacán. Av. Universidad. Del. Coyoacán.</i>	2.29
29	<i>Parque México. Av. Cuauhtémoc y Dr. Navarro. Del. Cuauhtémoc.</i>	2.54
30	<i>Jardín Taxqueña. Central Camionera. Calzada de Taxqueña. Del. Coyoacán.</i>	0.27
31	<i>Parque Esther Industrial. Buentono y Esther. Del. Gustavo A. Madero.</i>	0.84
32	<i>Parque María Luisa. Buentono y María Luisa. Del. Gustavo A. Madero.</i>	0.84
33	<i>Jardín Balbuena. Fray Servando Teresa de Mier y Dr. Nicolás León. Del. Venustiano Carranza.</i>	0.55
34	<i>Colonia Juan Escutia. Av. Zaragoza. Del. Iztapalapa.</i>	0.83
35	<i>Av. Año de Juárez y Calzada Ermita-Iztapalapa. Del. Iztapalapa.</i>	1.63
36	<i>Deportivo Santa Cruz. Av. 5 y Ermita-Iztapalapa. Del. Iztapalapa.</i>	0.58
37	<i>Río Piedad y Av. Río Churubusco. Ciudad Deportiva. Del. Iztacalco.</i>	0.55
38	<i>Rojo Gómez y Calzada Ermita-Iztapalapa. Del. Iztapalapa.</i>	0.84

<i>ESTACION</i>	<i>LOCALIZACION</i>	<i>I.P.A.</i>
<i>No.</i>		
39	<i>Jardín Miguel Hidalgo. Col. Romero Rubio. Japón y Africa. Del. Venustiano Carranza.</i>	1.09
40	<i>San José Acuico y Calzada 5 de Mayo. Del. Iztapalapa.</i>	0.27
41	<i>Plaza del Estudiante. República de Nicaragua y Carmen. Del. Cuauhtémoc.</i>	0.54
42	<i>Iglesia: Entre Norte 13 y Poniente 112. Col. Panamericana. Del. Gustavo A. Madero.</i>	0.90
43	<i>Lindavista. Río Bamba y Sierra Vista. Del. Gustavo A. Madero.</i>	3.44
44	<i>Condominios Lindavista. Av. de los 100 mts y Atzacapotzalco-La Villa. Del. Gustavo A. Madero.</i>	0.82
45	<i>Bougambilea y Tlalpan. Cd. Jardín. Del. Coyoacán.</i>	1.70
46	<i>Melchor Ocampo y Virginia Fabregas. Col. San Rafael. Del. Miguel Hidalgo.</i>	1.88
47	<i>Cicerón y F.C. Cuernavaca. Polanco. Del. Miguel Hidalgo.</i>	2.31
48	<i>Insurgentes Sur y Alvarado. Del. Alvaro Obregón.</i>	3.46
49	<i>Calzada de Tlalpan y Av. San Fernando. Del. Tlalpan.</i>	2.87
50	<i>Parque Belisario Domínguez e Independencia. Del. Tlalpan.</i>	5.62
51	<i>Calle Guido Reni y Adriano Bower. Del. Alvaro Obregón.</i>	2.57
52	<i>Parque Lira. Rincón Gallardo. Del. Miguel Hidalgo.</i>	1.69

<i>ESTACION No.</i>	<i>LOCALIZACION</i>	<i>I.P.A.</i>
53	<i>Parque del Hotel Chapultepec. Paseo de la Reforma. Del. Miguel Hidalgo.</i>	3.61
54	<i>Colegio Militar. Calzada México-Tacuba. Del. Miguel Hidalgo.</i>	0.81
55	<i>Parque Mar Arafura y México-Tacuba. Del. Miguel Hidalgo.</i>	0.27
56	<i>Panteón Santa Lucía. Mixtengo y Tezozomoc. Del. Atzacapotzalco.</i>	1.42
57	<i>Guardias Presidenciales. Calzada del Rey y Anillo Periférico. Del. Miguel Hidalgo.</i>	5.03
58	<i>Calle Miguel Ocaranza y Boulevard López Mateos. Del. Benito Juárez.</i>	3.21
59	<i>Parque Fuentes Brotantes. Av. Insurgentes Sur. Del. Tlalpan.</i>	3.02
60	<i>Cerro de las Torres (Universidad Ibero-Americana). Del. Coyoacán.</i>	3.19
61	<i>Calzada de la Virgen. Col. Narvarte. Del. Coyoacán.</i>	2.29
62	<i>La Noria. Av. San Bernardino y Av. 20 de Noviembre. Del. Xochimilco.</i>	2.98
63	<i>Av. del Taller. Col. 24 de Abril. Del. Venustiano Carranza.</i>	1.12
64	<i>Av. Oriente 166. Col. Sector Popular. Del. Iztapalapa.</i>	0.82
65	<i>Acoxpa y Viaducto Tlalpan. Del. Tlalpan.</i>	2.00

<i>ESTACION</i>	<i>LOCALIZACION</i>	<i>I.P.A.</i>
<i>No.</i>		
66	<i>Glorieta de Vertiz y Cumbres de Maltrata. Del. Benito Juárez.</i>	2.29
67	<i>Parque de los Venados. Vertiz y Uxmal. Del. Benito Juárez.</i>	3.16
68	<i>Plaza Gómez Farfás. Col. San Pedro de los Pinos. Del. Benito Juárez.</i>	1.54
69	<i>George Washington y Juana de Arco. Del. Iztacalco.</i>	2.64
70	<i>Parque Arboledas. Pilares y Pestalotzi. Del. Benito Juárez.</i>	2.67
71	<i>Av. Atzacapotzalco y Calle Primavera. Del. Atzacapotzalco.</i>	2.47
72	<i>Panteones. México-Tacuba: Francés, Alemán e Inglés. Del. Miguel Hidalgo.</i>	2.25
73	<i>Plaza Aviación. Col. Moctezuma. Del. Venustiano Carranza.</i>	0.57
74	<i>F.C. Cuernavaca y Reforma. Del. Miguel Hidalgo</i>	2.87
75	<i>Monte Blanco y Monte Tauro. Lomas de Chapultepec. Del. Miguel Hidalgo.</i>	3.39
76	<i>Ixtlán y Reforma. Del. Miguel Hidalgo.</i>	3.26
77	<i>Jardín Santiago Tlatelolco. Reforma y Nonoalco. Del. Cuauhtémoc.</i>	0.00
78	<i>Parque Eduardo Molina. Eduardo Molina y Lomeros. Del. Venustiano Carranza.</i>	0.00
79	<i>Reforma. Glorieta Colón hasta Glorieta Insurgentes. Del. Cuauhtémoc.</i>	0.00

<i>ESTACION</i>	<i>LOCALIZACION</i>	<i>I.P.A.</i>
<i>No.</i>		
80	<i>Lago Xochimilco y Ejército Nacional, Del. Miguel Hidalgo.</i>	1.45
81	<i>Antonio Castelar y Masaryk Del. Miguel Hidalgo.</i>	4.74
82	<i>Presidente Masaryk y Lope de Vega hasta Mariano Escobedo. Del. Miguel Hidalgo.</i>	4.38
83	<i>Legaria y Lago Superior. Del. Miguel Hidalgo.</i>	0.00
84	<i>Hipódromo y Av. del Conscripto. Del. Miguel Hidalgo.</i>	5.59
85	<i>Cervantes Saavedra y Manitova. Col. Ampliación Granados. Del. Miguel Hidalgo.</i>	2.29
86	<i>Goya y Patriotismo. Del. Benito Juárez.</i>	3.60
87	<i>Tamaulipas y Alfonso Reyes. Del. Cuauhtémoc.</i>	5.05
88	<i>Calzada Alvaro Obregón e Insurgentes. Del. Cuauhtémoc.</i>	2.57
89	<i>Alvaro Obregón y Orizaba. Del. Cuauhtémoc.</i>	1.11
90	<i>Parque Rinconada de Jesús. Del. Cuauhtémoc.</i>	0.00
91	<i>Arcos de Belem y Dr. Andrade. Del. Cuauhtémoc.</i>	0.00
92	<i>Regina y Bolívar. Del. Cuauhtémoc.</i>	0.00
93	<i>Netzahualcóyotl y 20 de Noviembre. Del. Cuauhtémoc.</i>	0.00
94	<i>Parque San Pablo. Del. Venustiano Carranza.</i>	1.45
95	<i>Miguel A. de Quevedo y Cerro del Hombre. Del. Coyoacán.</i>	5.48
96	<i>Miguel A. de Quevedo, Fernández Leal y Pacífico. Del. Coyoacán.</i>	3.22
97	<i>Talismán y Fernández Fabela. Del. Gustavo A. Madero.</i>	0.28

<i>ESTACION</i> <i>No.</i>	<i>LOCALIZACION</i>	<i>I.P.A.</i>
98	<i>Av. San Juan de Aragón, entre Eduardo Molina y el Gran Canal. Del. Gustavo A. Madero.</i>	2.03
99	<i>Insurgentes Norte y Excelsior. Del. Gustavo A. Madero.</i>	1.79
100	<i>Centenario y Morelos. Del. Gustavo A. Madero.</i>	0.00

## APENDICE 2

### Localización de las estaciones de monitoreos de contaminantes de la S.M.A.

Las estaciones de muestreo de  $SO_2$  están alineados en cuatro columnas que corren de N a S y cinco rectas que van de E a W formando una red. Los vértices de este rectángulo se localizan el del NW en Tlalnepantla, Méx.; el del NE en Santa Clara. La esquina SW se encuentra en San Angel y la correspondiente al SE en el Cerro de la Estrella. La distancia entre las estaciones varía de 4-6 km. La red de estaciones abarca un área urbana de 14 km de E a W por 20 km de N a S. En un total de  $280 \text{ km}^2$ .

#### ESTACION

#### LOCALIZACION

No.

- 2 Tlalnepantla, Edo. de México. Entre Puente de Vigas, Paseo de la Loma y Boulevard Río de los Remedios.
- 6 Entre Progreso Nacional, Residencial Prado Vallejo. Abarca Tlalnepantla y Del. Gustavo A. Madero.
- 7 Entre la Presa, Ticomán, San Pedro Zacatenco. Comprende Edo. de México y Del. Gustavo A. Madero.
- 3 Entre Xalostoc, Santa Clara, Caracoles. En el Edo. de México.
- 9 Refinería de Atzacapotzalco. Del. Atzacapotzalco.
- 10 Zacatenco, La Villa de Guadalupe y Lindavista. Del. Gustavo A. Madero.
- 11 Bosque San Juan de Aragón. Del. Gustavo A. Madero.

## ESTACION

## LOCALIZACION

No.

- 12 *Bosque de Chapultepec. Del. Miguel Hidalgo.*
- 1 *Av. Cuauhtémoc, Av. Insurgentes y Balderas.  
Del. Cuauhtémoc.*
- 13 *Entre la Merced y San Lázaro. Del. Venustiano  
Carranza.*
- 14 *Puerto Aéreo Del. Venustiano Carranza.*
- 15 *Las Aguilas y Merced Gómez. Del. Alvaro Obregón.*
- 18 *Granjas México y el Recreo. Del. Iztacalco.*
- 4 *Pedregal Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán.*
- 20 *Residencial Taxqueña y San Antonio Culhuacán.  
Del. Coyoacán.*
- 5 *Cerro de la Estrella. Del. Iztapalapa.*

## BIBLIOGRAFIA

- Baez, A. P. 1968. *Actualización de datos y tendencias de la contaminación del aire en la Ciudad de México*. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C. 1er. Simposium sobre la contaminación del aire en la Ciudad de México.
- Bravo, H., P. Baez y S. Lares. 1960. *Estudio del depósito de polvo por gravedad en la Ciudad de México*. *Rev. Ingeniería Química*. pp 26-28.
- Bravo, H. & G. Viniegra. 1966. *The sulphur dioxide horizontal concentration in Mexico City*. Instituto de Geofísica. U.N.A.M.
- Bravo, H. 1968. *Estado actual de la contaminación atmosférica en México y perspectiva*. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C. 1er. Simposium sobre la contaminación del aire en la Ciudad de México.
- Bravo, H. y T. Corona. 1969. *La contaminación atmosférica y su relación con el flujo de vehículos en la Ciudad de México*. *Rev. del Instituto de Ingeniería*. No. 227.
- Cardot, J. 1909. *Diagnoses préliminaires de mousses mexicaines*. *Revue Bryol.* 36: 105-115; 36:67-77; 36:81-88.
- Coker, P. D. 1967. *The effects of sulphur dioxide pollution on bark epiphytes*. *Trans. British Bryol. Soc.* 5:341-347.
- Dave, J. 1973. *La meteorología de la contaminación del aire*. *Mem. I Reunión Nacional sobre problemas de contaminación ambiental*. México. Tomo II.

- Downie, N. M. & R.M. Heath. 1973. *Métodos estadísticos aplicados*. Harper & Row Latinoamericana. 273 pp.
- Eversman, S. 1978. Effects of low levels sulphur dioxide on *Usnea hirta* & *Parmelia chlorochoa*. *Bryologist* 81(3):368-377
- García, E. 1970. Carta de climas 14Q-U. Esc. 1:500,000. CETENAL. Instituto de Geografía. U.N.A.M., México.
- García Lara, A. 1973. Contaminación por gases. Mem. de la I Reunión Nacional sobre problemas de contaminación ambiental. Tomo II..
- Gilbert, O. L. 1968. Bryophytes as indicators of air pollution in the Tyne Valley. *New Phytol.* 67:15-30.
- Gilbert, O. L. 1970a. Further studies on the effect of sulphur dioxide on lichens and bryophytes. *New Phytol.* 69:605-627.
- Gilbert, O. L. 1970b. A biological scale for the estimation of sulphur dioxide pollution. *New Phytol.* 69:629-634.
- Haksworth, D. L. & F. Rose. 1970. Quantitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227:145-148.
- Horta, J. 1973. Dispositivos para el control de la contaminación atmosférica producida por vehículos automotores. Mem. I Reunión sobre problemas de contaminación ambiental. México. Tomo II.
- Inglis, F. & J. Hill. 1974. The effect of sulphite and fluoride on carbon dioxide up take by mosses in the light. *New Phytol.* 73:1207-1213.
- Jáuregui, O. E. 1958. Estudio sobre el nivel de contaminación del aire en la Ciudad de México. *Rev. Ingeniería Hidráulica en México* 12(3):1-10.

- Jáuregui, O. E. 1968. Aspectos meteorológicos de la contaminación del aire en la Ciudad de México. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C.. 1er. Simposium sobre la contaminación del aire en la Ciudad de México.
- Jáuregui, O. E. 1971. Mesomicroclima de la Ciudad de México. U.N.A.M.. México. Capítulo 8.
- Jitendra, D. 1973. La meteorología de la contaminación del aire. Mem. I Reunión Nacional sobre problemas de la contaminación ambiental. México. Tomo II.
- Johnsen, I. & U. Sochting. 1976. Distribution of cryptogamic epiphytes in Danish City in relation to air pollution and bark properties. *Bryologist* 79(1):86-92
- LeBlanc, F. 1961. Influence de atmosphère polluée des grandes agglomérations urbaines sur les epiphytes corticoles. *Rev. Canad. Biol.* 20:823-827.
- LeBlanc, F. & D. N. Rao. 1966. Reaction de lichens et mousses epiphytes de anhydride sulfureux dans la region de Sudbury, Ontario. *Bryologist* 69(3):338-346.
- LeBlanc, F. 1968. Epiphytes and air pollution. *Proc. 1st. European Congr. on the influence of air pollution on plants and animals.* Wageningen 211-219 pp.
- LeBlanc, F. & E. Skye. 1968. Lichens and air pollution. A study of cryptogamic epiphytes and environment in the Stockholm region. *Bryologist* 71(4):381-382
- LeBlanc, F. & J. DeSloover. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canad. Jour. Bot.* 48:1485-1496.

- LeBlanc, F. & D. N. Rao. 1970. Effects of sulphur dioxide on lichens and mosses transplants. *Ecology* 54(3):612-617.
- LeBlanc, F., C. Gilbert & D. N. Rao. 1971. Fluoride injury symptoms in epiphytic lichens and mosses. *Canad. Jour. Bot.* 49:1691-1698.
- LeBlanc, F., D. N. Rao & C. Gilbert. 1972a. The epiphytic vegetation of Populus balsamifera and its significance as an air pollution indicator in Sudbury, Ontario. *Canad. Jour. Bot.* 50:519-528.
- LeBlanc, F., D. N. Rao & C. Gilbert. 1972b. Indices of atmospheric purity and fluoride pollution patern in Arvida, Quebec. *Canad. Jour. Bot.* 50:991-998.
- LeBlanc, F. & D. N. Rao. 1973a. Effects of sulphur dioxide on lichens and mosses transplants. *Ecology* 54(3):612-617.
- LeBlanc, F. & D. N. Rao. 1973b. Evaluation of the pollution and drought hypotheses in relation to lichens and bryophytes in urban enviroments. *Bryologist* 76(1):1-19.
- LeBlanc, F. & D. N. Rao. 1974. A review of the literature on bryophytes with respect to air pollution. *Bull. Soc. Bot. France* 2:237-255.
- LeBlanc, F., R. Gives & D.N. Rao. 1974. Biological response of lichens and bryophytes to enviromental pollution in the Mordo Ville Cooper mine area, Quebec. *Jour. Hattori Bot. Lab.* 38:405-433.
- Malhotra, S. S. & D. H. Hocking. 1976. Biochemical and cytological effects of sulphur dioxide on plants metabolism. *New Phytol.* 76:227-237.

- Mayaudón, M. E. 1973. *La contaminación atmosférica de México. Mem. I Reunión Nacional sobre problemas de contaminación ambiental. México. Tomo I.*
- Nash, H. T. 1972. *Simplification of the Blue Mountain lichen communities near a zinc factory. Bryologist 75(3):315-324.*
- Nash, H. T. 1973. *Sensitivity of lichens to sulphur dioxide. Bryologist 76(3):333-339*
- Nash, H. T. 1976. *Sensitivity of lichens to nitrogen dioxide fumigations. Bryologist 79(1):103-105*
- Ortega, J. 1974. *Estudio de la contaminación del aire de la Ciudad de México. Tesis. Facultad de Química. U.N.A.M.*
- Puckett, K. J. 1973a. *The uptake of metal ions by lichens. A modified ion-exchange process. New Phytol. 72:329-342.*
- Puckett, K. J. 1973b. *Sulphur dioxide. Its effect on photosynthetic <sup>14</sup>C fixation in lichens and suggested mechanisms of Phototoxicity. New Phytol. 74:141-154.*
- Rao, D. N. & F. LeBlanc. 1966. *Effects of SO<sub>2</sub> on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. Bryologist 69(1):69-75.*
- Rao, D. N. & F. LeBlanc. 1967. *Influence of an iron-sintering plant on corticolous epiphytes in Wawa, Ontario. Bryologist 70(2):141-157.*
- Reiche, a. 1914. *La vegetación de los alrededores de la capital de México. Con una lista de 108 briofitas. Tipografía Económica de México.*
- Rodríguez Ramos, R. 1973. *La meteorología y su relación con la contaminación ambiental de México. Mem. I Reunión Nacional sobre problemas de contaminación ambiental. México. Tomo I.*

- Schlaepfer, C. I. 1968. *Carta geológica de México*. 14Q-H (5).  
Instituto de Geología. U.N.A.M.. México.
- Showman, E. 1978. *Lichens as indicators of air quality around a coal-fired power generating plant*. *Bryologist* 78(1):1-6
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1978. *Informe de planeación del Distrito Federal*. México.
- Subsecretaría de Asentamientos Humanos. Dirección General de Ecología Urbana. 1978. *Diagnóstico de la calidad atmosférica del Valle de México*.
- Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente. Dirección General de Saneamiento Atmosférico. *Informe Técnico/01-1978. Plan Nacional de Saneamiento Atmosférico*.
- Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente. Dirección General de Saneamiento Atmosférico. *Informe Técnico/02-1978. El Índice Mexicano de la Calidad del Aire (IMEXCA)*.
- Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente. Dirección General de Saneamiento Atmosférico. *Informe Técnico/03-1978. Climatología de difusión de contaminantes en la Ciudad de México. Parte I*.
- Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente. Dirección General de Saneamiento Atmosférico. *Informe Técnico/04-1978. Situación actual de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de la Ciudad de México*.