

*Tropical Bryology* 6: 71-82, 1992

## Evaluación biológica de los efectos de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México

Angel Durán D., Antonio E. Cisneros C. y Agustín Vargas V.

Escuela Nacional de Estudios Profesionales - Iztacala, UNAM, Fracc. Los Reyes, Tlalnepantla, Méx. Mexico

**Abstract.** The Index of Atmospheric Purity (IAP) was used to make a preliminary evaluation of epiphytic moss response to atmospheric pollution in the urban area of Mexico City. Areal analysis indicates that there is a significant negative correlation ( $p < 0.5$ ) between IAP values and  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , Pb and temperature values of -0.45, -0.90, -0.80, -0.80, -0.90. Significant positive correlation ( $p < 0.05$ ) between IAP values and  $\text{O}_3$ , rainfall and relative atmospheric humidity with values of 0.70, 0.80, 0.90. Increase in atmospheric pollutants in Mexico City have promoted a gradual decrease in frequency and cover of epiphytic mosses even though some ecological factors may show the opposite effect.

**Resumen.** Se hace una evaluación preliminar de la respuesta de los musgos epífitos a la contaminación atmosférica usando el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) en el área urbana de la Ciudad de México. El análisis por zonas indica que hay una relación inversa y significativa ( $p < 0.5$ ) entre el IPA y  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , Pb y la temperatura con valores de -0.45, -0.90, -0.80, -0.80, -0.90. También se encontró una relación directa y significativa ( $p < 0.05$ ) entre el IPA y el  $\text{O}_3$ , la precipitación pluvial y la humedad relativa con valores de 0.70, 0.80, 0.90. Los incrementos en los niveles de algunos contaminantes atmosféricos en la Ciudad de México han promovido la disminución gradual en la frecuencia de aparición y cobertura de musgos epífitos, aunque algunas variables ambientales pueden tener el efecto opuesto.

### Introducción

La sensibilidad de musgos 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 áreas contaminadas mediante el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) el cual está basado en datos fitosociológicos de los musgos. En estudios de este tipo se alude a la ausencia de

epífitas en el centro de las ciudades y su reaparición en la periferia de éstas, pero con vitalidad reducida. Fuera de estas zonas las epífitas son abundantes y están bien desarrolladas. A través de estos estudios también se han observado otros efectos de la contaminación atmosférica sobre las epífitas. Por ejemplo, LeBlanc y Rao (1970) encontraron una disminución de la fertilidad atribuible a la contaminación atmosférica; Kennedy *et al.* (1985), observaron la desaparición de musgos en áreas cercanas a fuentes de contaminación.

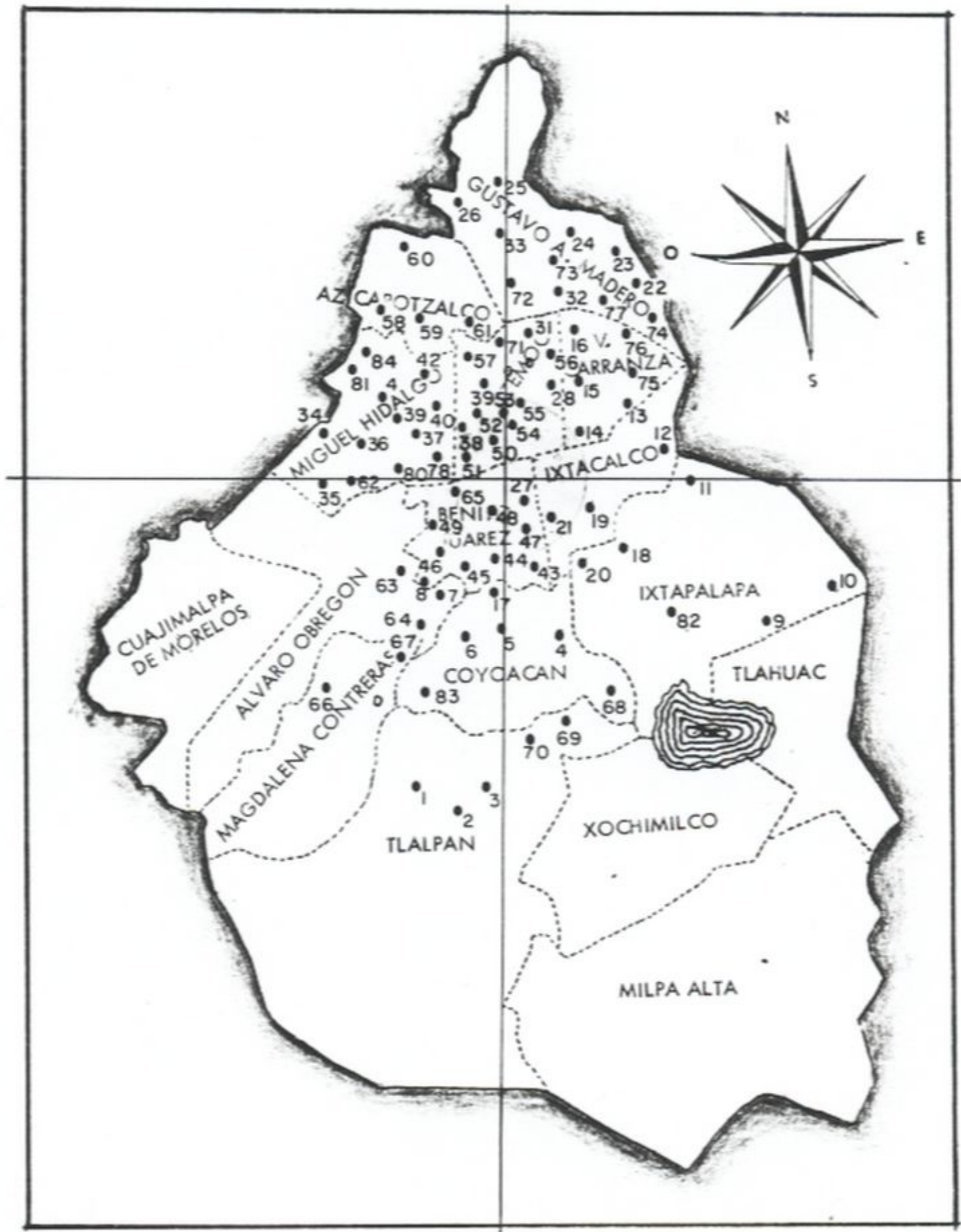


Fig. 1. Distribución de las estaciones de muestreo en la Ciudad de México. El círculo señala la zona centro.

2) El trasplante de muestras de musgos de zonas no contaminadas a sitios cercanos a las fuentes de emisión de contaminantes. Los resultados indican que hay cambios morfológicos, decoloración, ausencia de estructuras de reproducción, plasmólisis celular y cambios en los picos de absorción de la clorofila a niveles mayores de 0.030 ppm de  $\text{SO}_2$  (LeBlanc & Rao 1960, 1970).

3) La observación de musgos bajo condiciones experimentales, como de contaminación simulada. Se ha detectado plasmólisis, destrucción celular, disminución en la fijación de carbono y clorofila y decremento en las tasas de respiración y fotosíntesis (Eversman 1978, Winner & Bewley 1983).

Entre los contaminantes mejor conocidos está el  $\text{SO}_2$ , pero también se han detectado efectos tóxicos por ozono (Stanosz *et al.* 1990), metales pesados (Francis & Petersen 1989, Ferguson *et al.* 1984, 1979; Shaw *et al.* 1989; Shaw & Albright 1990) y fluoruros (Roberts *et al.* 1979). Debido a ellos el ambiente de las ciudades se ha deteriorado; no se observa el establecimiento y crecimiento de la epífitas y los árboles muestran signos de decadencia, posiblemente como resultado de la multiplicidad de fuentes de emisión y de la naturaleza de contaminantes atmosféricos en áreas urbanas.

En 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. Este problema se ha agudizado porque al estar situada en una cuenca cerrada no hay una ventilación adecuada. Además, durante la larga temporada seca y debido al alto grado de erosión, a la contaminación atmosférica se agrega la suspensión de partículas sólidas por acción del viento. Por estas condiciones, desde la década de los sesenta se ha considerado a la Ciudad de México como la urbe más contaminada del planeta.

En 1978, la entonces Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente dependiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia propuso un Índice

de calidad del Aire (IMEXCA) (SMA 02-1978) que indicaba el nivel de contaminación atmosférica presente en una localidad dada. Actualmente, la Dirección General de Prevención y control de la contaminación Ambiental de la Subsecretaría de Ecología (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), sigue utilizando dicho índice. Sin embargo, aunque éste permite ciertas evaluaciones, es de difícil interpretación para evaluar los efectos de la contaminación sobre la vida vegetal y animal.

En la Ciudad de México sólo se ha realizado un trabajo utilizando el IPA (Durán & Rivera 1981). Los resultados indicaron que los sitios con niveles mayores de 0.039 ppm de  $\text{SO}_2$  se encontraban desprovistos de epífitas (IPA = 0).

Dada la complejidad del problema de la contaminación atmosférica, para investigar su dinámica es necesario conocer sus procesos físicos y químicos y efectos en la salud humana, de los animales y de las plantas. Por esta razón, el presente estudio intenta contribuir al conocimiento del efecto de la contaminación atmosférica sobre los musgos epífitos de la Ciudad de México.

## Material y método

**1. Programa de muestreo.** Se realizaron cuatro muestreos en la Ciudad de México que coincidieron con la época seca y con la época de lluvias según el siguiente calendario: noviembre de 1986-abril de 1987, mayo de 1987-octubre de 1987, noviembre de 1987-Abril de 1988 y mayo de 1988-octubre de 1988.

Los muestreos se efectuaron en jardines o parques públicos que tuvieran árboles de *Casuarina* sp. o de *Fraxinus* sp. y corresponden a los estudiados por Durán y Rivera (1981; ver fig. 1). Estos árboles son de amplia distribución en la Ciudad de México y su corteza rugosa permite el establecimiento de los musgos. En cada sitio de muestreo se seleccionaron aleatoriamente 5 árboles de *Casuarina* o *Fraxinus* que tuvieran características similares de cobertura de la copa y edad. La cobertura de la copa se determinó a simple vista y la edad de acuerdo al diámetro

(0.5-1.0 m). Se descartaron aquellos árboles que presentaron signos visibles de daño físico o que estuvieron muertos.

**2. Cálculo del Índice de Pureza Atmosférica (IPA).** El valor de este índice está basado en datos de los musgos epífitos y fue calculado por sitio de muestreo, de acuerdo a la siguiente ecuación de LeBlanc y De Sloover (1970):  $IPA = \frac{Q \times F}{10}$ , donde: n es el número de especies por sitios de muestreo, F es la frecuencia-cobertura por especie en cada sitio, y Q es el número promedio de epífitas asociadas con una especie de musgo.

F se estimó utilizando la siguiente escala:

- 1= especies muy raras, con bajo grado de cobertura.
- 2= especies infrecuentes, con bajo grado de cobertura.
- 3= especies infrecuentes, grado medio de cobertura.
- 4= especies frecuentes, con grado de cobertura muy alto en algunos árboles.
- 5= especies frecuentes, con un grado de cobertura muy alto en la mayoría de los árboles.

Q se estimó dividiendo el número total de especies de epífitas asociadas con una especie de musgo, sobre el número total de sitios en donde la especie epífita apareció.

Con el fin de poder evaluar los cambios en el IPA a lo largo de los muestreos, se marcaron los árboles en cada sitio.

Una vez obtenidos los valores del IPA en cada periodo de muestreo, éstos se anotaron en un mapa de la Ciudad de México, el cual fue dividido en las 5 zonas del IMECA (Índice Metropolitano de Calidad del Aire; fig. 1). Para cada zona y periodo de muestreo, se obtuvieron datos referentes a contaminantes atmosféricos, humedad relativa, temperatura y precipitación pluvial, proporcionados por SEDUE y el Sistema Meteorológico Nacional (SMN).

## Resultados

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio del IPA, los contaminantes atmosféricos y los parámetros meteorológicos por zona de contaminación. La zona SO de la Ciudad de México presentó el valor promedio del IPA más alto y las concentraciones más bajas de  $SO_2$ , CO,  $NO_2$  y NOx, pero los valores más altos de O3. La concentración de plomo fue la segunda más baja. El valor de la precipitación pluvial fue el más alto y el de la temperatura el más bajo. La humedad relativa fue la segunda más alta.

La zona SE de la Ciudad de México mostró un valor promedio del IPA de 0.41 y en ella se registraron los segundos valores más bajos de  $SO_2$ ,  $NO_2$ , NOx y valores intermedios de CO (6.3 ppm) y O3 (0.10 ppm). En esta zona la precipitación pluvial fue intermedia (379.7 mm), la temperatura fue la segunda más baja y la humedad relativa la más alta.

Las zonas Centro y NO tuvieron un comportamiento similar. En ambas se registró un valor promedio del IPA de 0.28 y 0.32, respectivamente. Estas zonas mostraron las concentraciones más altas de  $SO_2$ , CO,  $NO_2$  y NOx; el O3 tuvo la segunda concentración más baja en la zona NO de la ciudad. El plomo en la zona centro fue la segunda más alta, pero la más baja en cuanto a la precipitación pluvial. La zona NO fue la que registró la segunda precipitación pluvial más alta. La temperatura en estas zonas fue de 17.1 °C y de 17.5 °C, respectivamente. La humedad relativa fue de 40.9% y 42.5%.

Los valores más bajos del IPA y de O3 y los segundos más bajos de  $SO_2$  y CO, pero el más alto en Pb se localizaron en la zona NE. Para esta zona no hubo registro de  $NO_2$  y NOx. La precipitación pluvial registrada fue la segunda más baja y la temperatura, la más alta. La humedad relativa fue la más baja, pero similar a la registrada en la zona centro y NO.

Para analizar la relación entre el IPA y cada uno de los contaminantes atmosféricos y parámetros meteorológicos, se elaboraron diagramas de dispersión y se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman. Los resultados del análisis de correlación por zona de contamina-



	CENTRO	NOROESTE	NORESTE	SUROESTE	SURESTE
IPA	0.28±0.019	0.320±0.012	0.150±0.039	0.500±0.056	0.410±0.050
SO <sub>2</sub> (ppm)	0.050±0.0061	0.050±0.0135	0.037±0.0063	0.032±0.0083	0.037±0.0091
CO (ppm)	6.1±1.4	7±2.2	5.1±1.05	4.8±1.1	6.3±0.9487
O <sub>3</sub> (ppm)	0.126±0.0189	0.098±0.0138	0.074±0.0438	0.148±0.0245	0.10±0.0088
NO <sub>2</sub> (ppm)	0.106±0.0255	0.091±0.0397		0.056±0.45	0.074±0.0940
NO <sub>x</sub> (ppm)	0.158±0.0429	0.166±0.0627		0.11±0.0303	0.119±0.0396
Pb (μgr)	1.29±0.0529		1.76±0.6364	1.1±0.1848	0.735
P.P (mm)	303.8±283.2	495±401.6	320.9±264.4	576.3±463.2	379.7±285.8
TEMP.(° C)	17.1±2.2	17.5±1.1	17.7±1.6	14.7±2.0	16.6±1.3
H.R. (%)	40.9±9.3	42.5±8.2	40.6±7.9	49.6±12.4	53.5±10.1

**Tabla 1.** Valores promedio del IPA, contaminantes atmosféricos y parámetros meteorológicos por zona de contaminación en la Ciudad de México

ción mostraron que el IPA y el  $\text{SO}_2$  resultaron inversamente relacionados, con un coeficiente  $r=-0.45$  ( $p=0.025$ ). En la fig. 2a se aprecia que la zona SO tiene el valor más alto del IPA y el valor más bajo de  $\text{SO}_2$ , seguida de la zona SE. En contraste, las zonas NO y C son las más contaminadas por el  $\text{SO}_2$ , aunque el valor del IPA no es el más bajo. Dicho valor corresponde al NE con un nivel de  $\text{SO}_2$  igual al del SE.

El IPA y  $\text{NO}_2$  resultaron inversamente relacionados con un coeficiente  $r=-0.90$  ( $p=0.005$ ) (fig. 2d). El SO y SE resultaron ser los menos contaminados por  $\text{NO}_2$  y con el valor del IPA más alto. Por el contrario, el N y C resultaron los más contaminados con el valor del IPA más bajo.

La relación del IPA con el  $\text{NO}_x$  y Pb también resultaron inversas, con un coeficiente  $r=-0.80$  ( $p=0.005$ ; fig. 2e, 2f) y al igual que en las relaciones anteriores, el SO y SE resultaron las menos contaminadas y con los valores más altos del IPA. El C, NO y NE, fueron las más contaminadas y con los valores del IPA más bajos.

Se encontró una relación directa entre el IPA y el  $\text{O}_3$  (fig. 2c), con un coeficiente  $r=0.70$  ( $p=0.005$ ), lo cual contrastó con los análisis anteriores, ya que el SO fue la zona más contaminada aunque el valor del IPA fue el más alto. Por el contrario, las zonas NE y NO, con menor grado de contaminación por  $\text{O}_3$ , presentaron el valor más bajo del IPA.

Finalmente, el coeficiente  $r=-0.10$  entre el IPA y CO, no es significativo ( $p>0.05$ ; fig. 2b).

Los resultados de la relación entre el IPA y los parámetros meteorológicos se describen a continuación:

El IPA y la precipitación pluvial están directamente relacionados, con un coeficiente  $r=0.80$  ( $p=0.005$ ). En la fig. 3a se aprecia que las zonas SO, SE y NO, con el promedio de mayor precipitación pluvial, tienen el valor más alto del IPA; las zonas C y NE, con menor precipitación pluvial, tienen el valor más bajo del IPA. Se encontró la misma relación entre el IPA y la humedad relativa (fig. 3c), con un coeficiente de

$r=0.90$  ( $p=0.005$ ).

Entre el IPA y la temperatura se encontró una relación inversa indicada por un coeficiente  $r=-0.90$  ( $p=0.005$ ). En la fig. 3c se observa que las zonas SO y SE con la temperatura más baja, tuvieron el valor más alto del IPA. Las zonas NO, C y NE, presentaron la temperatura más alta y el valor más bajo del IPA.

### Discusión

Los resultados del análisis de correlación muestran, al igual que en otros estudios (LeBlanc & Rao 1966, 1970, LeBlanc & De Sloover 1970), que la distribución del IPA está inversamente relacionado con los niveles de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y Pb, es decir, que el valor del IPA es muy bajo, hasta con un valor de cero, cuando una zona tiene altos niveles de dichos contaminantes. En general, esta situación se observa también en las zonas C, NO y NE de la Ciudad de México. En contraste, las zonas SO y SE presentaron los niveles más bajos de estos contaminantes y por consiguiente los valores más altos del IPA.

Los resultados obtenidos en las zonas C, NO y NE pueden deberse, en parte, a que estas zonas presentan la precipitación pluvial más baja y su efecto de limpieza son mínimos. Por otra parte, hay que considerar que en el norte de la ciudad se localiza gran parte de la zona industrial. Hacia el NE también existen fuentes de contaminación natural provenientes del exvaso de Texcoco, de zonas áridas erosionadas, zonas urbanas no pavimentadas, tiraderos de basura y minerales no-metálicos. El polvo y otras partículas de estas fuentes al depositarse sobre las epífitas pueden reducir su tasa de crecimiento y su cobertura con lo cual se podrían modificar los valores del IPA. 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.

La concentración de valores bajos del IPA en el centro de la ciudad, también pudiera explicarse por la inadecuada ventilación; aquí es donde están las construcciones más elevadas y donde las fuentes de emisión móviles permanecen más

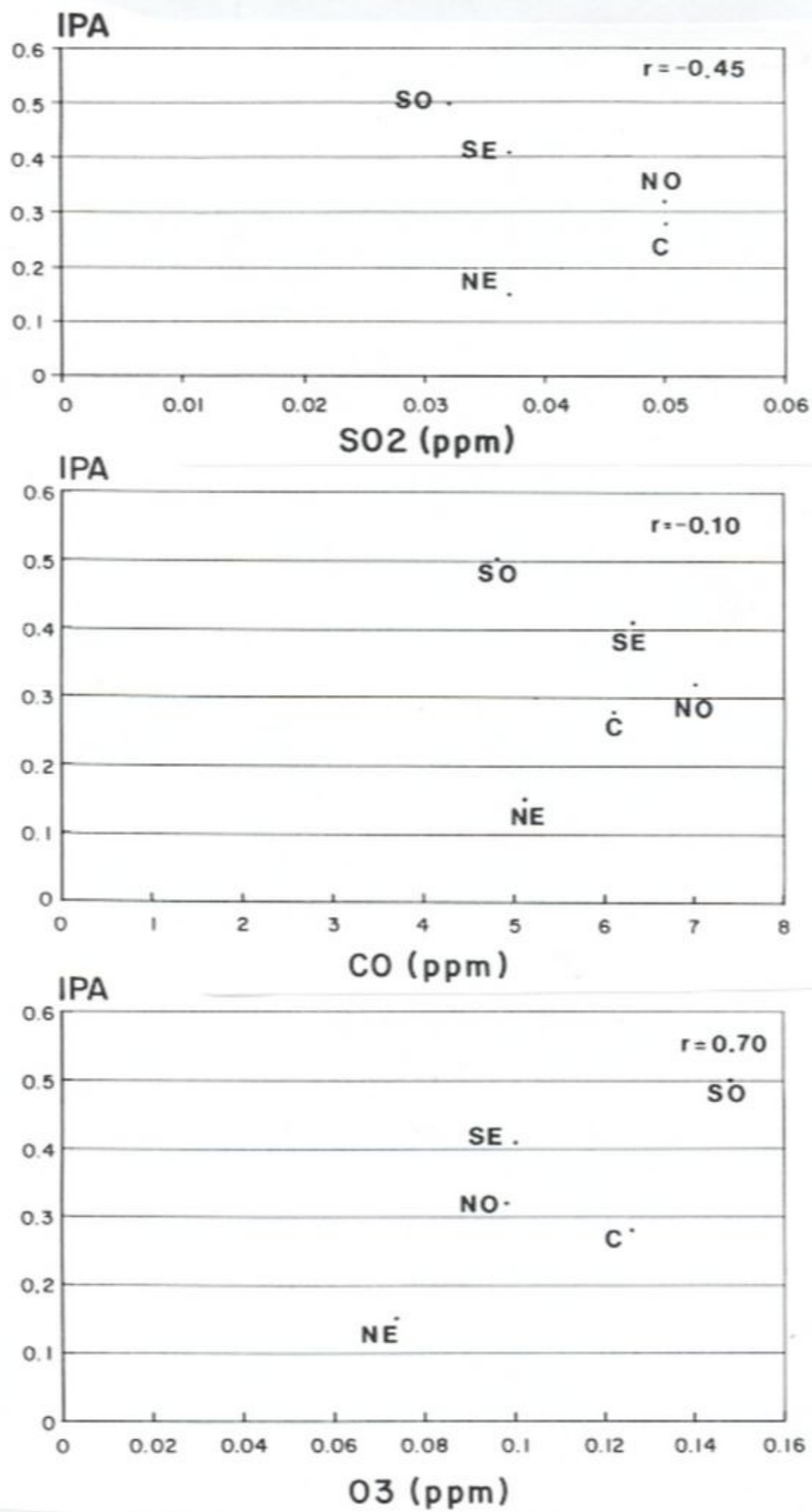


Fig. 2. Relación entre el IPA y los contaminantes atmosféricos por zona de contaminación. a) IPA vs. SO<sub>2</sub>. b) IPA vs. CO. c) IPA vs. O<sub>3</sub>.



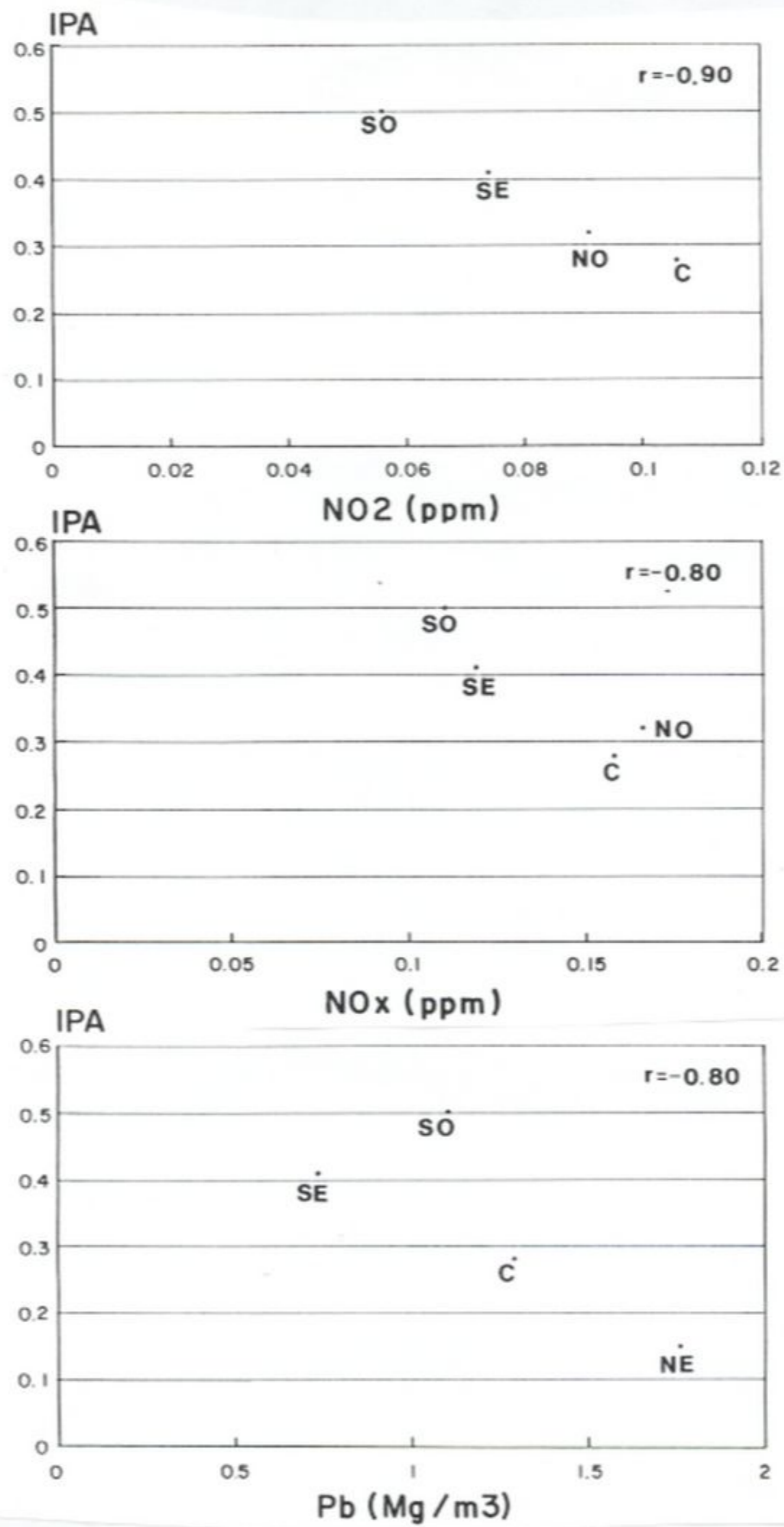


Fig. 2. Relación entre el IPA y los contaminantes atmosféricos por zona de contaminación. d) IPA vs. NO<sub>2</sub>. e) IPA vs. NO<sub>x</sub>. f) IPA vs. Pb.



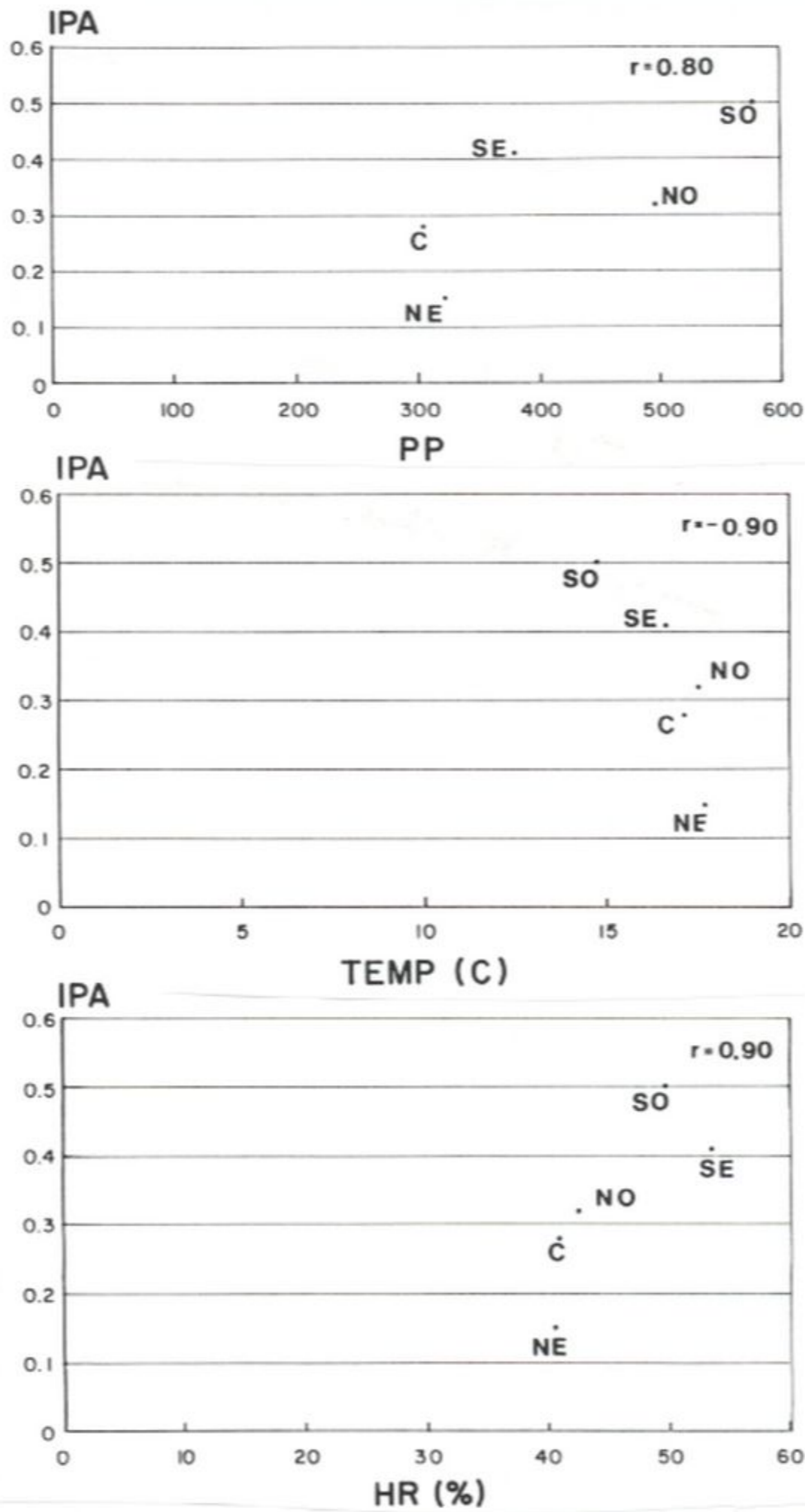


Fig. 3. Relación entre el IPA y los parámetros meteorológicos por zona de contaminación. a) IPA vs. precipitación pluvial. b) IPA vs. temperatura. c) IPA vs. humedad relativa.

tiempo en estado estacionario (congestionamientos), aumentando así la concentración de contaminantes.

Por otro lado, la relación directa entre el IPA y los niveles de ozono parece contradecir los resultados de Stanosz *et al.* (1990) quien encontró que la cobertura y altura de tres especies de musgos estaban inversamente relacionados con la concentración de ozono (0.32 y 0.24 ppm). Por su parte, Comeau y LeBlanc (1971), observaron que las exposiciones largas (6 o 8 hrs) a concentraciones bajas (0.25-0.50 ppm) de ozono, inhibían la regeneración de hojas de *F. hygrometrica*. Sin embargo, las exposiciones a 2.0 ppm por 4 hrs, aparentemente estimulan la regeneración. Si bien las concentraciones utilizadas en estos trabajos son mayores a las observadas en el presente estudio y los periodos de exposición son horas, podría pensarse que ésto sería equivalente a concentraciones bajas por periodos largos (meses o años) como en las condiciones de campo en este estudio. Debe tomarse en cuenta que en estos estudios únicamente se evaluó el efecto del ozono y que su efecto debe variar cuando están presentes otros contaminantes en la atmósfera y que existen diferencias en la respuesta de cada especie de musgo.

De los otros contaminantes estudiados, el CO no estuvo correlacionado con el IPA. Desafortunadamente no existen en la literatura estudios sobre los efectos del CO que nos permitan explicar la falta de relación.

Si bien los valores del IPA pueden verse afectados por los contaminantes, como lo ha sido demostrado por otros, es probable que dicho comportamiento también sea consecuencia de factores que no están relacionados con la emisión de gases o partículas a la atmósfera. Estos podrían ser factores como la precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, o bien, factores del microhabitat.

En este estudio se encontró que la precipitación pluvial y humedad relativa estaban directamente correlacionado con el IPA. Esto significa que las zonas con mayor régimen de precipitación pluvial y humedad relativa tienden a presentar, en

promedio, un valor alto del IPA. Sin embargo, la zona NO con una precipitación pluvial de 495 mm, presentó un valor del IPA (0.32) menor que el de la zona SE; la cual registró una precipitación pluvial de 379.7 mm. La relación entre el IPA y estos factores, es previsible ya que los musgos se desarrollan principalmente en habitats húmedos en los que la presencia del agua es esencial para su reproducción. En la Ciudad de México podría esperarse que la lluvia ácida tuviera un efecto negativo en ese fenómeno. Al respecto existen diversos estudios que sugieren que la lluvia ácida puede causar daño a las plantas y cambiar la estructura de las comunidades, pero bajo ciertas condiciones puede actuar como factor estimulante (Rochefort & Dale 1988, Ferguson *et al.* 1988, Woodin & Lee 1987, Winner & Bewley 1983, Kennedy *et al.* 1985).

No se tienen estudios sobre lluvia ácida para los periodos en que se realizó el presente estudio, pero en 1985 las zonas mostraron los siguientes valores de pH: SO = 5.87, SE = 5.74, NO = 5.6, NE = 6.14 y C = 6.15 (Bravo 1987). Estos valores se obtuvieron utilizando colectores para precipitación total (seca y húmeda).

Es probable que la acidez de la lluvia se haya neutralizado por efecto de las partículas depositadas sobre la corteza de los árboles (que en su mayoría tienen características alcalinas) y por la misma corteza. De esta forma, se esperaría un efecto atenuado de la lluvia ácida sobre los musgos aun cuando ciertas especies como *Tortula pagorum* son capaces de soportar valores de pH entre 3 y 5 (Ikemberry 1936, Forman 1964, Robitaille *et al.* 1977).

Las respuestas de los musgos a la lluvia ácida bajo condiciones de laboratorio, a corto plazo, pueden ser distintas a las de las poblaciones a largo plazo; en este tipo de estudios se evalúan los efectos a concentraciones individuales de cada contaminante y es posible que las diferentes combinaciones de ellos puedan tener efectos diferentes.

La temperatura mostró una relación inversa con respecto al IPA, es decir, que las zonas SO y SE con temperaturas más bajas (14.7 y 16.6 °C,

respectivamente) presentaron los valores del IPA más altos. Aun cuando el valor del coeficiente indica una relación inversa, es difícil afirmar que una diferencia de 3°C entre la temperatura más alta (17.7°C en el NE) y la más baja (14.7°C en el SO), pueda ser la responsable de cambios importantes en el IPA. Barkman (1958) hace referencia a trabajos en los que se citan especies de musgos epífitos capaces de soportar altas temperaturas (35 y hasta 60°C) sin cambio aparente. Así, la relación entre el IPA y la temperatura pudiera ser mediada por una tercera variable como la humedad relativa; este hecho que se confirma por el valor del coeficiente de correlación entre estas variables.

El fenómeno meteorológico conocido como “isla de calor” propio de las áreas urbanizadas, ayudaría a explicar por qué el centro y norte de la Ciudad de México presentan valores bajos de IPA. Este fenómeno es el resultado de un mayor calentamiento del aire superficial en áreas densamente pobladas, con gran urbanización y con actividad industrial y tránsito vehicular intenso. Esto provoca una disminución de la humedad relativa del aire y de la corteza de los árboles que da lugar al empobrecimiento de epífitas. Así, el calor excesivo podría contribuir a disminuir el valor del IPA (LeBlanc & Rao 1973).

### Conclusión

El mapeo por medio del IPA puede ser un método útil, a largo plazo, para detectar en forma aproximada los niveles de contaminación atmosférica, para determinar la distribución espacial de los contaminantes y para reunir información sobre su toxicidad en plantas.

La relación inversa entre el IPA y algunos contaminantes atmosféricos, así como la relación directa entre el IPA y algunos parámetros meteorológicos, pueden ser establecidas indirectamente por evidencias de campo. Esto, sin embargo, no es fácil ya que pueden estar involucrados otros factores como los del microhabitat.

En una ciudad como la de México donde existen numerosas y diversas fuentes de emisión, no es fácil determinar el contaminante responsable del decremento en la vegetación epífita. Por ello, es

razonable suponer que la exposición a una mezcla de contaminantes puede tener efectos más tóxicos que la exposición a uno solo. Por esta razón, la investigación futura deberá incluir estudios experimentales con cultivos de musgos bajo condiciones de fumigación controlada, registrando los efectos sobre respiración, fotosíntesis, reproducción y otras modificaciones citológicas o estructurales. De este modo, se podría contar con información precisa sobre la respuesta de los musgos ante los contaminantes y se podrían apoyar las políticas de control de emisiones para mejorar la calidad del aire en la Ciudad de México.

### Literatura Citada

- Barkman, J.J. 1958.** Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Van Gorcuni & Co., Assen. The Netherlands.
- Bravo Alvarez, H. 1987.** La contaminación del aire en México. Fundac. Universo Veintiuno, A.C. México, D.F.
- Comeau, G. & LeBlanc, F. 1971.** Influence de l'ozone et de l'anhydride sulfureux sur la régénération des feuilles de *Funaria hygrometrica* Hedw. Natur. Can. 98: 347-358.
- Durán D., A. & V.M. Rivera A. 1982.** Los musgos epífitos y la Contaminación atmosférica en el área urbana de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Iztacala. UNAM. Tlalnepantla, Méx.
- Eversman, S. 1978.** Effects of low levels sulphur dioxide on *Usnea hirta* and *Parmelia chlorochoa*. Bryologist 81: 368-377.
- Ferguson, P., R.N. Robinson, M.C. Press & J.A. Lee. 1984.** Elements concentrations in five *Sphagnum* species in relation to atmospheric pollution. Jour. Bryol. 13: 107-114.
- Forman, R.T.T. 1964.** Growth under controlled conditions to explain the hierarchical distributions of a moss, *Tetraphis pellucida*. Ecol. Monogr. 34: 1-25.
- Francis, P.C. & R.L. Petersen. 1989.** Assessment of toxicity of heavy metal ion combinations on spore germination and protonemal growth of *Polytrichum commune*. Bryologist 92: 60-67.
- Ikemberry, G.J. 1936.** The relations of hydrogen-ion concentration to the growth and distribution of mosses. Amer. Jour. Bot. 23: 271-279.
- Kennedy, K.A., P.A. Addison & D.G. Maynard. 1985.** Effects of particulate elemental sulphur on moss. Environmental pollutions (Ser. A) 39: 71-77.

**LeBlanc, F. & D.N. Rao. 1966.** Reaction de lichens et mousses épiphytes de anhydride sulfureux dans la région de Sudbury, Ontario. *Bryologist* 69: 338-346.

**LeBlanc, F. & J. De Sloover. 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. 1973b.** Evaluation of the pollution and drought hypotheses in relation to lichens and bryophytes in urban environments. *Bryologist* 76: 1-19.

**Robitaille, G., F. Leblanc & D. N. Rao. 1977.** Acid rain: a factor contributions to the paucity of epiphytic cryptogams in the vicinity of a copper smelter. *Rev. Bryol. Lichénol.* 43: 53-66.

**Rochefort, L. & D.H. Vitt. 1988.** Effects of simulated acid rain on *Tomenthypnum nitens* and *Scorpidium scorpioides* in a rich fen. *Bryologist* 91: 121-129.

**Roberts, B.A., L.K. Thompson & S.S. Sidhu. 1979.** Terrestrial bryophytes as indicators of fluoride emission a phosphorus plant, Long Harbour, Newfoundland, Canada. *Canad. Jour. Bot.* 57: 1583-1590.

**Shaw, A.J. & D.L. Albrigh. 1990.** Potential for the evolution of heavy metal tolerance in *Bryum argenteum*, a Moss. II. Generalized tolerance among diverse populations. *Bryologist* 93: 187-192.

Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente. Dirección General de Saneamiento Atmosférico. Informe Técnico/02-1978. El Índice Mexicano de la Calidad del Aire (IMEXCA).

**Stanosz, G.R., V.L. Smith & R.I. Bruck. 1990.** Effect of ozone on growth of mosses on disturbed forest soil. *Environ. Pollu.* 63: 319-327.

**Winner, W.E. & J.D. Bewley. 1983.** Photosynthesis and respiration of feather mosses fumigated at different hydration levels with SO<sub>2</sub>. *Canad. Jour. Bot.* 61: 1456-1461.

**Woodin, S.J. & J.A. Lee. 1987.** The effects of nitrate ammonium and temperature on nitrate reductase activity in *Sphagnum* species. *New Phytologist* 105: 103-105.