



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

28
Lij

CARRERA DE BIOLOGO

AREA: CONTAMINACION ATMOSFERICA

ESTIMACION DE LA DEPOSITACION ACIDA EN
TRES PARQUES URBANOS DEL
DISTRITO FEDERAL

T E S I S

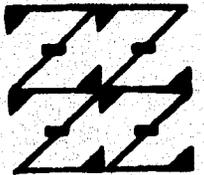
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P r e s e n t a :

JOSE ANTONIO SOTO TELLEZ

DIRECTOR DE TESIS: GERMAN CALVA VASQUEZ
PROFESOR ASOCIADO "C"



LO HUMANO
ES
DE NUESTRA REFLEXION

Agosto de 1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIÓLOGO

AREA: CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

ESTIMACIÓN DE LA DEPOSITACIÓN ÁCIDA
EN TRES PARQUES URBANOS DEL DISTRITO FEDERAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

JOSÉ ANTONIO SOTO TÉLLEZ

DIRECTOR DE TESIS: GERMAN CALVA VASQUEZ
PROFR. ASOCIADO "C"

AGOSTO DE 1996.

A MIS QUERIDOS PADRES:

JUANITA (PRIETITA) Y
BERNARDINO (CHINITO)

Y A LA APRECIADA Y MUY NUMEROSÍSIMA FAMILIA A TRAVÉS
DE LA CUAL ELLOS SE HAN PERPETUADO.

A MIS QUERIDOS AMIGOS.

A TODOS MIS PROFESORES QUE ME DIERON LA OPORTUNIDAD
DE SER SU ALUMNO.

A MI HERMANO JUAN CARLOS, PORQUE SE ENCUENTRE BIEN EN
DONDE QUIERA QUE ESTÉ.

GRACIAS POR TODOS LOS MOMENTOS QUE HE VIVIDO CON
ELLOS.

AGRADEZCO EL APOYO QUE COMO AMIGO Y DIRECTOR DE TESIS
ME BRINDO EL PRÓXIMO M. EN C. GERMÁN CALVA VASQUEZ.

AGRADEZCO LA COLABORACIÓN DE MIS COMPAÑEROS QUE
SIEMPRE ME APURARON PARA QUE TERMINARA ESTE TRABAJO.

AGRADEZCO AL M. EN C. MIGUEL CASTILLO GONZALEZ, BIÓL.
MARICELA ARTEAGA MEJIA, M. EN C. ELOY SOLANO CAMACHO,
Y A LA Q. MA. TERESA MENDOZA MATA POR SUS
IMPORTANTES OSERVACIONES Y SUGERENCIAS EN LA
REVISIÓN DE LA TESIS.

AGRADEZCO LA VALIOSA AYUDA Y AMISTAD DEL PROFESOR
ARMANDO MARTINEZ MENDOZA DE QUIEN HE APRENDIDO CÓMO
ENSEÑAR LA BIOLOGÍA.

INDICE

	PAQ.
RESUMEN	
I.- INTRODUCCIÒN	1
II.- OBJETIVOS PARTICULARES	7
III.- HIPÒTESIS	8
IV.- ANTECEDENTES	9
V.- DESCRIPCIÒN DE LA ZONA DE ESTUDIO	13
VI.- MÈTODO	19
VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÒN	24
VIII.- CONCLUSIONES	59
IX.- RECOMENDACIONES	60
X.- BIBLIOGRAFIA	61
ANEXOS	

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fué el de estimar la depositación ácida en los parques urbanos de Chapultepec, Tlalpan y Aragón utilizando como bioindicador corteza arbórea de dos especies perennifolias, *Pinus patula* (especie sensitiva) y *Cupressus lindleyi* (especie resistente) durante los años 88-91. El bosque Villa del Carbón sirvió como zona de referencia.

Se midieron, en extractos de corteza arbórea, concentraciones de iones hidrógeno $[H^+]$, Conductividad Eléctrica (C.E) y Capacidad Media de Amortiguamiento (CMA).

Las $[H^+]$ medidas en *C. lindleyi* fueron más elevadas en Chapultepec (16-441 $\mu\text{eq}/2\text{ g}$ corteza) y menores en el bosque referencia Villa del Carbón (2-53 $\mu\text{eq}/2\text{ g}$ corteza), cuando los mayores niveles de C.E. se registraron en Villa del Carbón (600-3,603 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y fué Tlalpan la zona con los valores más bajos (699-1,778 $\mu\text{S}/\text{cm}$). No se encontró relación entre las anteriores variables y la CMA.

Las características de la corteza de *P. patula* no fueron favorables para absorber adecuadamente los contaminantes.

Las variaciones temporales de las $[H^+]$ y C.E. no dependieron de una vía de depositación específica (depositación seca o depositación húmeda) ni de una época del año en especial (época de sequía o época de lluvias). Lo

anterior, con la consideración de que en Chapultepec la época de sequía pudo afectar las [H⁺] y en Tlalpan el efecto fué sobre la C.E. durante la época de lluvias.

Los parques urbanos presentaron diferencias en las concentraciones de las variables. El orden que presentaron de acuerdo a las [H⁺] medidas en C. Lindley fué:

Chapultepec > Tlalpan > Aragón > Villa del Carbón

En relación con los niveles de C.E., se encontró el siguiente orden:

Villa del Carbón > Aragón > Chapultepec > Tlalpan

Las máximas concentraciones de óxidos de azufre medidos en la atmósfera [SO₂] se registraron aún durante la época de lluvias, mientras que los valores máximos de las variables bajo estudio se obtuvieron en Chapultepec y Tlalpan en la época de sequía.

Se encontró que la depositación ácida es un fenómeno atmosférico presente en el Distrito Federal.

I.- INTRODUCCION

La depositación ácida, comúnmente conocida como "lluvia ácida", es un fenómeno atmosférico que forma parte del "cambio global de la Tierra" y su importancia se ve reflejada en la elaboración de programas a nivel internacional para estudiarlo.

Los compuestos dióxido de azufre (SO_2) así como monóxido y dióxido de nitrógeno (NO_x), son los principales contaminantes gaseosos primarios (aquéllos que provienen directamente de la quema de combustibles), que intervienen en el fenómeno de la depositación ácida (Seinfeld, 1978). Sus formas químicas y patrones de distribución dependen fuertemente de las condiciones meteorológicas (Crane y Cocks, 1987).

Al tiempo que estos gases son desplazados por los vientos a través de la atmósfera, se activan químicamente con la luz solar, e interactúan con la humedad y moléculas oxidantes para transformarse a otros compuestos de azufre y nitrógeno, como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3), respectivamente, los cuales tienen un efecto acidificante mucho mayor que sus precursores o contaminantes primarios (Grennfeld et al., 1980).

Estas sustancias ácidas pueden depositarse vía seca en el suelo, agua y vegetación, ya sea en estado gaseoso, como aerosol o asociados a material particulado; acontece la

deposición vía húmeda si, eventualmente, tales compuestos se precipitan con la lluvia, granizo o niebla (Fowler, 1980; Grennfeld *et al.*, 1980; Labastille, 1981).

Ejemplos de otros contaminantes gaseosos que se encuentran en menor concentración en la atmósfera son amonio (NH_4^+), bióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3), ácido clorhídrico (HCl) y ácido sulfhídrico (H_2S) (Seinfeld, 1978).

El estudio de la depositación ácida es importante si se considera que en 1980 los EUA emitieron 26 millones de toneladas de SO_2 y cerca de 22 millones de toneladas de NO_x ; en Canadá se produjeron, para tales contaminantes en ese mismo año, 5 y 2 millones de toneladas, respectivamente, y en Europa se alcanzó la cifra de 200 millones de toneladas solamente para los SO_2 (Labastille, 1981).

En el caso de la ciudad de México, se emitieron diariamente 528 toneladas de SO_2 durante 1988 (Riveros, 1990) y el total de NO_x emitidos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) fue de 132 mil toneladas en 1985 (Bravo *et al.*, 1991).

Estos contaminantes secos aerotransportados -en mayor medida sulfatos- están fuertemente asociados a enfermedades respiratorias (bronquitis crónica, asma y enfisema) (Labastille, 1981).

Sin embargo, el efecto de la depositación ácida sobre los ecosistemas forestales no es de menor importancia si se considera que los árboles, al desarrollar extensas copas de hojas y ramillas, ofrecen una gran superficie para la depositación y, por lo tanto, una gran asimilación potencial

de sustancias ácidas dispersas en la atmósfera (Tamm y Coyling, 1977; Linzon *et al.*, 1973; Norden, 1991).

El grado de depositación de los contaminantes ácidos hacia la vegetación está determinado por:

- a) Su concentración atmosférica y forma química.
- b) La turbulencia atmosférica y la velocidad de los vientos.
- c) Las características de la copa arbórea (altura, textura e índice del área foliar).
- d) Humedad (nieve, lluvia, niebla).
- e) El tamaño, número, y turgencia de los estomas (Grennfeld *et al.*, 1980).

Una vez que las sustancias ácidas son depositadas en la vegetación, los efectos directos se manifiestan por daño a estructuras superficiales como la cutícula, interferencia en el funcionamiento normal de los estomas, envenenamiento de las células del mesófilo de la hoja después de la difusión de sustancias ácidas a través de los estomas y cutículas, alteración de los procesos de exudación radical y foliar e interferencia en los procesos de reproducción (Tamm y Coyling, 1977).

Entre los efectos indirectos de estos contaminantes está la alteración en asociaciones simbióticas, trastornos de las interacciones hospedero-parásito, susceptibilidad creciente a la sequía y a otros factores de estrés ambiental (Baker *et al.*, 1977; Tukey, 1980; Jackson, 1980), incremento de la acidez del suelo, probablemente responsable de las deficiencias nutricionales por disminución de la Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) (Shorte y Bondietti, 1992), y de la liberación de elementos tóxicos para la vegetación,

como el aluminio y manganeso (Baker *et al.*, 1977; Bonneau y Landman, 1989; Foster, 1989; Skeffington, 1987; Tamm y Coyling, 1977; Jürgen, 1986 y Ulrich *et al.*, 1980).

Ya que los vegetales son los organismos que se encuentran continuamente expuestos a los contaminantes atmosféricos, su uso ha permitido desarrollar el método conocido como bioindicación. Con este método es posible obtener información sobre la calidad ambiental al:

- a) Comparar diferentes áreas contaminadas entre sí.
- b) Llevar a cabo investigaciones por largos períodos de tiempo (monitoreo histórico).
- c) Comparar los datos obtenidos con valores "normales" (o valores de referencia).
- d) Comparar registros de contaminantes obtenidos por monitoreo automático con los valores obtenidos al usar un biomonitor (Markert, 1993).

Los organismos vegetales utilizados son diversos y algunos se han empleado para el biomonitoreo de contaminantes específicos.

La distribución de los líquenes se ha relacionado ampliamente con las concentraciones de SO_2 atmosférico (Grodzińska, 1977; Johnsen y Søchting, 1973), nitratos (NO_3), amonio (NH_4), hidrógeno (H^+) y cloro (Cl^-) (Boonpragob *et al.*, 1989). La utilidad de los musgos se ha centrado en el estudio de la depositación ácida en zonas elevadas (Baddeley *et al.*, 1994 y Grodzińska, 1982) y de metales pesados, con el fin de conocer sus niveles ambientales y el posible efecto del consumo de estas sustancias a diferentes niveles tróficos (Johnsen y Rasmussen, 1977).

En cuanto a plantas vasculares se refiere, las hojas de los árboles se han utilizado para el estudio de la acumulación de metales pesados (Kovacs *et al.*, 1982). En particular, por medio de la corteza arbórea, se han podido mapear las zonas de mayor acidez ambiental, las cuales coinciden con daños morfológicos observados en los líquenes (O' Hare, 1974). La corteza arbórea registra, a través de un proceso de absorción-desabsorción, las diferencias de los contaminantes ácidos en la atmósfera.

Si bien en el Distrito Federal se tiene un registro de los contaminantes primarios por parte de la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) como de GreenPeace (1995), y también se cuenta con los niveles de acidez en agua de lluvia (Páramo *et al.*, 1987 y Bravo *et al.*, 1991), se desconoce de la dinámica espacio-temporal de la depositación ácida.

Este problema puede resolverse con el empleo de un bioindicador como la corteza arbórea, ya que datos como el potencial de iones hidrógeno (pH) y Conductividad Eléctrica (C.E.) medidos en sus extractos proporcionan información sobre la acidez ambiental de la zona bajo estudio.

Por otra parte, el arbolado presente en las áreas verdes de la ciudad de México (cerca del 5% del área total de la zona urbana) está completamente deteriorado (Barradas y Seres, 1988) y su reducción se ha convertido en una constante preocupación.

Es así que se requiere de la aplicación urgente de un amplio programa de reforestación, el cual ya no solamente tome en cuenta la funcionalidad urbana y estética de los árboles, dadas las condiciones de contaminación atmosférica,

es importante utilizar especies arbóreas que también sean resistentes a los contaminantes, en particular para los producidos por la deposición ácida.

Contemplando lo anterior, el presente trabajo tuvo el objetivo general de estimar la deposición ácida en los Parques Urbanos de Chapultepec, Tlalpan y Aragón utilizando como bioindicador corteza arbórea de dos especies perennifolias, *Pinus patula* (especie sensitiva) y *Cupressus lindleyi* (especie resistente) durante los años 88-91.

II.- OBJETIVOS PARTICULARES

1) Cuantificar la concentración de iones hidrógeno $[H^+]$, Conductividad Eléctrica (C.E.) y Capacidad Media de Amortiguamiento (CMA) en extractos de corteza de *P. patula* y *C. lindleyi*.

2) Comparar los cambios espaciales y temporales de la $[H^+]$, C.E. y CMA para las dos especies bajo estudio.

3) Comparar las $[H^+]$, C.E y CMA con los datos de las concentraciones de dióxido de azufre medidos en la atmósfera $[SO_2]$.

4) Analizar estadísticamente los cambios espaciales y temporales de la $[H^+]$, C.E. y CMA registrados en las dos especies en cada parque urbano.

III.-HIPÓTESIS

Las variaciones espaciales y temporales en las concentraciones de iones hidrógeno (H^+), Conductividad Eléctrica (C.E.) y Capacidad Media de Amortiguamiento (CMA) determinados en extractos de corteza de dos especies arbóreas perennifolias, darán una estimación de la depositación ácida en los parques urbanos bajo estudio.

IV.-ANTECEDENTES

Diversas especies arbóreas se han manejado en el estudio de la acidez ambiental, entre ellas fresno (*Fraxinus excelsior*), olmo (*Ulmus glabra*), maple (*Acer platanoides*), limo (*Tilia cordata*) (Staxäng, 1969), pino (*Pinus sylvestris*) (Grodzińska, 1977), encino (*Quercus robur*) y alnus (*Alnus glutinosa*) (Staxäng, 1969; Grodzińska, 1977, 1979; Grether, 1977).

Staxäng (1969) encontró mayor acidez en muestras de corteza recolectadas al sur de Suecia (provincias de Skåne y en una pequeña extensión de Bohuslän) y atribuyó el hecho a un incremento general de la acidificación atmosférica del oeste europeo. Los valores de potencial de iones hidrógeno (pH) en corteza variaron de 3.1 a 6.9. En este estudio se hizo hincapié en el papel que juegan las partículas amortiguadoras al aumentar el pH de la corteza.

En Polonia, Grodzińska (1977) obtuvo valores generales de pH en corteza que variaron de 2.2 a 4.7. Los valores más bajos fueron exhibidos por la corteza de *Pinus* y los más altos en *Tilia*. Todas las especies arbóreas mostraron una mayor acidez (valores bajos de pH) en la zona noroeste del bosque, la cual se encuentra más cercana a la ciudad de Cracovia y a su zona industrial, y menor acidez en el bosque Bialowieza, zona de referencia situada al noreste de Polonia. En las curvas de amortiguamiento, las zonas contaminadas requirieron mayor cantidad de álcali (3.5 ml)

que Bialowieza (2 ml), zona testigo y la capacidad de amortiguamiento de las muestras se incrementó con la concentración de azufre. El contenido total de sulfuro varió de 1,287 a 2,418 partes por millón (ppm).

Swieboda y Kalemba (1979) estudiaron la corteza de *Pinus sylvestris* expuesto cerca de la planta eléctrica "Skawina" al sur de Cracovia. El pH de las muestras de corteza varió de 2.9 a 4.1. Los valores de pH más bajos se registraron en la zona de referencia, 30 Km al sureste de Skawina y los valores más altos cerca de la planta industrial; hubo correlación significativa entre el pH con flúor (F) y calcio (Ca); azufre (S) y sodio (Na); potasio (K) y Ca; K y Na.

También se han llevado a cabo bioensayos en corteza de árboles perennifolios y caducifolios. Härtel (1982), demostró la conveniencia de utilizar a este bioindicador para el monitoreo de la depositación ácida al observar una relación inversa entre pH y Conductividad Eléctrica (C.E.) medidos en sus extractos después de haber sido fumigada con concentraciones graduadas de SO₂. Asimismo, encontró excelente correlación entre sulfatos (SO₄²⁻) y calcio (Ca⁺⁺), lo que indica que una porción principal de SO₂ soluble se encuentra absorbida por la corteza como sal de calcio. Las especies perennifolias como *Picea abies*, mostraron correlaciones no significativas para pH/C.E., con valor de $r = -0.24$; para pH/SO₄²⁻ con valor de $r = -0.44$, y sólo significativa para C.E./SO₄²⁻ con valor de $r = 0.85$. Para la especie caducifolia *Aesculus hippocastanum*, halló valores de correlación significativos para pH/C.E. con $r = -0.76$; pH/SO₄²⁻ $r = -0.88$ y C.E./SO₄²⁻ $r = 0.88$. Lo anterior demostró la utilidad preferencial de la especie caducifolia en el monitoreo de sustancias ácidas.

Durante un seguimiento de seis años en Minnesota, Grether, (1977) encontró que el tamaño de los árboles no influye significativamente en el pH de la corteza (en *Quercus* de tamaño variable la diferencia en pH fué de 0.88). Los valores totales de pH variaron de 4 a 9. Los cambios de pH durante el tiempo de muestreo no fueron significativos por lo que no pudo demostrarse un aumento considerable de la acidez ambiental.

En Copenhage, Johnsen y Søchting (1973), estudiaron la corteza de árboles deciduos (*Acer*, *Fraxinus*, *Ulmus* y *Tilia*) con una variación en su pH de 3.0 a 5.0, mientras que el contenido promedio de azufre en peso seco aumentó de 0.25% a 0.45%. La Capacidad Media de Amortiguamiento (CMA) de la corteza fué más alta en el centro de la ciudad y en los distritos rurales que en el área periférica a la misma. El método para la obtención de esta variable se basa en el gradiente de pH que se registra en los extractos de corteza al adicionarles un mililitro de hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración de 1 N.

O' Hare (1974) llevó a cabo investigaciones en Scotland y encontró una buena relación lineal entre la media de pH en corteza y los SO₂ atmosféricos.

Para el estudio de la contaminación atmosférica en Frankfurt, Löstchert y Köhm (1977) utilizaron *Fraxinus excelsior*, *Acer platanoides*, y *Tilia sp.* La correlación obtenida fué significativa entre la concentración de azufre en la corteza con las concentraciones de SO₂ en el aire. El contenido de azufre varió de 50 a 270 µg/cm³ y los SO₂ atmosféricos de 0.08 a 0.13 mg/cm³. El contenido de Ca⁺⁺ decreció con la distancia al centro de emisión de contaminantes.

En México, aparte del presente estudio, se ha utilizado la corteza arbórea como bioindicador de la depositación ácida por parte del Departamento del Distrito Federal, pero hasta el momento no se ha publicado información alguna.

V.- DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La ciudad de México se encuentra situada a 19° latitud Norte y 98°15' longitud Oeste, en el interior de una cuenca endorréica cuya altitud es, en su porción central, de 2,240 metros sobre el nivel del mar (msnm). Varias formaciones montañosas la circundan, encontrándose al norte la Sierra de Guadalupe (3,000 msnm), al sur las sierras de Chichinautzin y del Ajusco (4,000 msnm), al este el volcán La Caldera, la Sierra de Santa Catarina, y la Sierra Nevada (5,300 msnm) y al oeste la Sierra de las Cruces (3,850 msnm) (Rivero *et al.*, 1993).

En 1986 el Distrito Federal tuvo una área total de 147,305 ha, con aproximadamente el 43% perteneciente a la zona urbanizada y el porcentaje restante se le consideró como rural con actividades predominantemente forestales y agropecuarias (COCODA, 1986).

Los vientos predominantes viajan a través de la ciudad de México, provenientes del noreste y norte en dirección suroeste. El número de días despejados es entre 100 y 200 al año y la incidencia de radiación solar entre 450 y 475 cal/m²/días² (Bravo *et al.*, 1991).

Los grupos climáticos son el subtropical de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien definida. La temperatura media anual es de 15 °C con máximas de 34 °C y mínimas de 3 °C. La época de lluvias se presenta de mediados de mayo a mediados de octubre, dentro de la cual se descarga del 80% al 90% de la precipitación anual; la época de sequía

comprende los restantes meses durante los cuales se presentan hasta 40 días con heladas que llegan a ser de 60 a 70 por año hacia las sierras del sur y del oeste; en promedio ocurren de 4 a 6 granizadas (Sánchez *et al.*, 1979; Rivero *et al.*, 1993).

Las diferencias altitudinales de humedad y de cubierta vegetal inciden en la integración del microclima. Las islas de calor que se generan en la zona urbana e industrial llegan a tener una diferencia superior en 8 °C con respecto a la zona rural, lo que indica que, paralelamente al deterioro de la cubierta vegetal y a la desaparición de los cuerpos de agua, la cuenca muestra un creciente proceso de desertificación (Sánchez *et al.*, 1979).

En el interior de la ciudad de México se localizan los parques urbanos que sirvieron como zonas de estudio y en el Estado de México se ubica el bosque de referencia (Fig. 1), todos ellos con las características que a continuación se presentan.

Parque Urbano de Chapultepec.

El Parque Urbano de Chapultepec se localiza entre los 19°23'25" y 19°26'05" latitud Norte y entre los 99°10'22" y 99°14'19" longitud Oeste con una extensión de 575 ha.

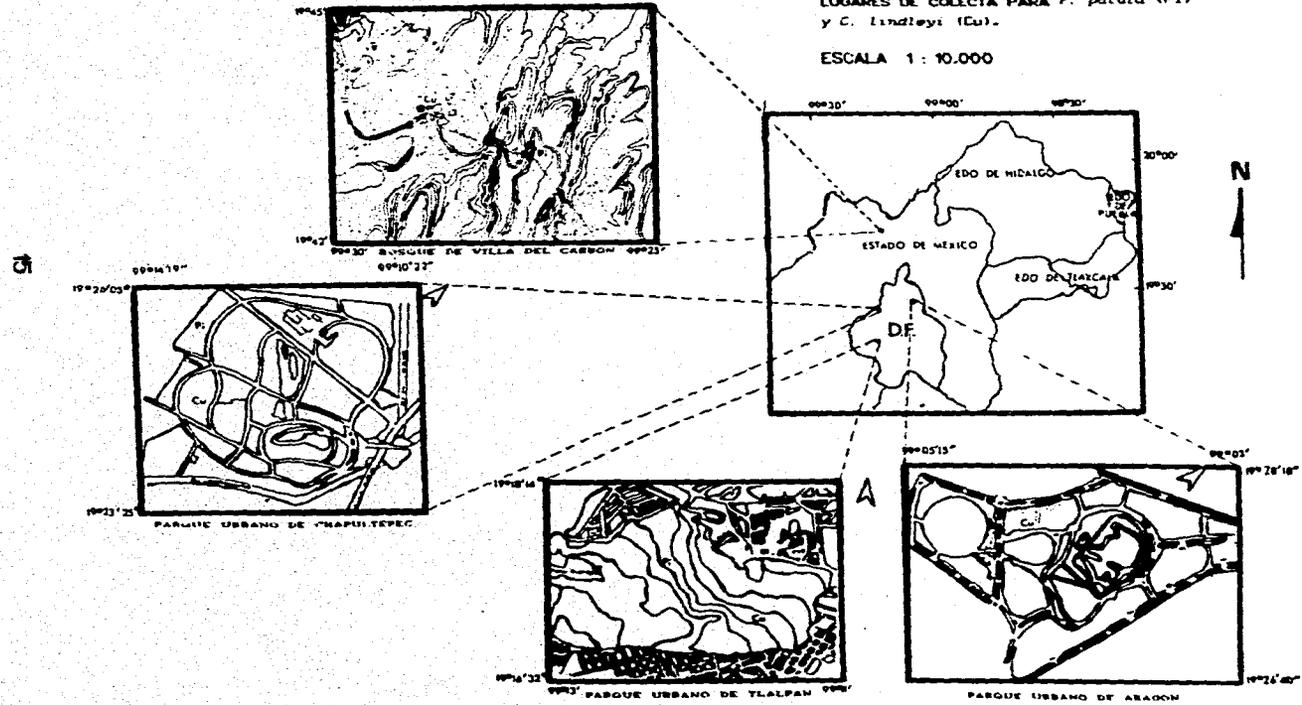
El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura del mes más cálido es de 22 °C con poca oscilación.

Los vientos dominantes son los que provienen del norte y noroeste; solo en algunos días de verano la

FIG. 1 LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.

SE INCLUYEN EN LOS PARQUES URBANOS, LOS
LUGARES DE COLECTA PARA *P. patula* (Pi)
y *C. lindleyi* (Cu).

ESCALA 1 : 10.000



dirección cambia del sureste en dirección noroeste. La velocidad del viento en el interior del bosque es en promedio de 2 m/s.

Tiene una precipitación media anual de 830 mm en los meses de mayo a septiembre; el resto del año es predominantemente seco. Los últimos reportes que se tienen señalan que la precipitación ha decrecido en los últimos diez años debido a la disminución de la vegetación. La humedad relativa es de 43.2 a 55% en veranos frescos y largos. En otoño la humedad relativa va de 52 a 55% y en invierno es de 35%, la mayor humedad registrada en la ciudad (Becerra y Vera, 1989).

Parque Urbano de Tlalpan.

El parque urbano de Tlalpan se localiza entre los 19°16'32" y 19°18'14" latitud Norte y entre los 99°11' y 99°13' longitud Oeste, con una extensión de 144 ha.

Esta área está ocupada por bosque de coníferas, considerándose suelos arcillosos y arenosos, con una estructura de tipo granular, compactos y someros.

El clima imperante es el templado con lluvias en verano. La temperatura media del mes más calido es inferior a los 22 °C con oscilación extrema entre los 7 y 14 °C. Presenta el mes más caliente antes de junio. La precipitación anual es de 840 mm y la temperatura promedio es de 17 °C.

Los vientos que dominan vienen del noreste, de Texcoco, así como los vientos cargados de humedad

provenientes de la Sierra del Ajusco. También son importantes los vientos que proceden de Chalco y los de Cuernavaca de tipo cálido que ejercen cierta influencia sobre la zona.

Las lluvias de verano son ocasionadas por la invasión de vientos de tipo monzónico a los que se unen fenómenos de convección ascendentes local y el relieve (Axomulco y Durán, 1989).

Parque Urbano de Aragón.

El Parque Urbano de Aragón se localiza en la Delegación Gustavo A. Madero, entre las coordenadas $19^{\circ}26'40''$ y $19^{\circ}28'18''$ latitud Norte y entre $99^{\circ}03'$ y $99^{\circ}05'15''$ longitud Este, con un área total de 265 ha.

Por su origen, es considerado como un bosque urbano inducido. Las áreas verdes ocupan más de las dos terceras partes de la superficie total entre jardines, prados y zonas arboladas. Cuenta con pocas construcciones, factor al parecer muy importante para el efecto de humedecer la atmósfera urbana.

Su población arbórea cuenta con variadas especies como casuarinas, pinos, eucaliptos, fresnos, olmos, truenos, colorines, cedros, entre otras.

Sus suelos tienen un elevado contenido de sales, lo que favorece a las especies altamente competitivas, permitiendo el aflojamiento y la desintegración total del suelo.

Su clima se define como semiseco templado, sin estación invernal bien definida. Su temperatura media anual es de 16.7 °C con máximas de 34 °C y mínimas de 7 °C. La temporada de lluvias ocurre de mayo a octubre. Su precipitación total es de 584.7 mm (Ramírez, 1993).

Bosque de Referencia Villa del Carbón.

Villa del Carbón es uno de los municipios que se ubican al Norte del Estado de México. El municipio cuenta con una superficie de 286.771 Km². Se encuentra localizado entre los 19°43'30" latitud Norte y los 99°29" de longitud Oeste.

La zona Villa del Carbón presenta una vegetación mixta de *Quercus-Pinus*. Este tipo de vegetación se encuentra combinada con una agricultura básicamente de temporal y en menor grado de riego.

Los suelos de la zona se originan a partir de rocas volcánicas, de constitución rocosa.

El clima del municipio es templado con invierno frío, las heladas fuertes ocurren en febrero y marzo, agosto y septiembre. La temperatura media es de 20 °C con humedad constante.

El régimen de lluvias abarca el período comprendido entre los primeros días de junio y fines de septiembre. La precipitación anual alcanza entre los 700-900 mm, con precipitación invernal menor a 5 mm. Presenta una frecuencia de granizadas de 2-4 días y de heladas de 40-80 días (Pérez, inédito).

VI.-MÉTODO

Se obtuvo un listado, a nivel de género, de diversas especies arbóreas ya utilizadas como bioindicadoras de la depositación Ácida (Smith, 1981).

Las zonas de muestreo (parques urbanos) se ubicaron de acuerdo a la presencia de especies arbóreas bioindicadoras comunes a ellos, a su situación dentro de la dirección de los vientos predominantes y a la importancia como áreas verdes que representan para la ciudad de México. Por último, como factor que probablemente afecta la variación de la acidez ambiental, se consideró el tipo de material edáfico aerotransportado de acuerdo a la ubicación de las zonas. Bajo los anteriores criterios, los parques urbanos estudiados fueron el de Tlalpan, Chapultepec y Aragón, y como bosque de referencia se utilizó Villa del Carbón (Fig. 1).

Los parques urbanos fueron ubicados en un mapa escala 1:10,000.

Se realizaron por año cuatro muestreos temporales: dos para la época de sequía,

S1 y S2, primer y segundo muestreo;

y dos para la época de lluvias,

H1 y H2, primer y segundo muestreo.

Se trató siempre de llevarlos a cabo después de que transcurrió un intervalo igual de tiempo. El período total de muestreo abarcó de H1-88 (primer muestreo de lluvias del año '88) a H2-91 (segundo muestreo de lluvias del año '91). Cabe mencionar que esta simbología se utilizó en los resultados y anexos al momento de hacer referencia al muestreo temporal y año de su realización.

El número de árboles por especie fué de 10 (una línea) para cada zona de muestreo.

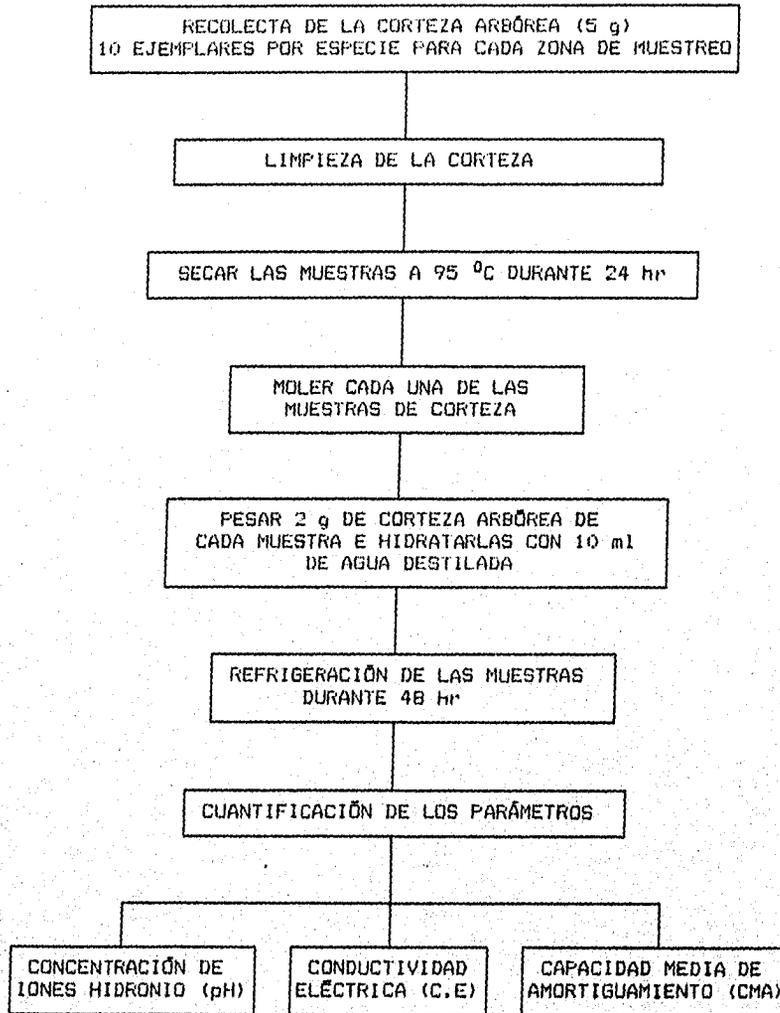
La selección de árboles se efectuó de acuerdo a lo propuesto por Skye (1969), por lo que se determinaron utilizar diez árboles por especie para cada zona de muestreo. Cabe mencionar que los árboles que se eligieron fueron los mismos en donde se recolectó la corteza durante todo el período de estudio. De cada árbol se extrajeron, a una altura de 1.0-1.5 m, 5 g de corteza con un espesor aproximado de 3 mm. La recolecta del material se hizo sobre su cara noreste, ya que la dirección predominante de los vientos impacta los contaminantes sobre esta parte.

La corteza se procesó en el laboratorio de acuerdo al método descrito por Skye (1969); Staxång (1969) y Grodzińska (1977, 1984) (Fig. 2).

A fin de cumplir con los objetivos 2 y 3, se utilizaron los valores promedio de las $[H^+]$, C.E y CMA para cada muestreo temporal (Anexo 1). Los datos de pH fueron transformados a $[H^+]$ y manejados como $\mu\text{eq}/2\text{ g}$ corteza, y los de C.E. en unidades de $\mu\text{Siemens/cm}$ ($\mu\text{S/cm}$). La CMA se obtuvo de acuerdo al método descrito por Johnsen y Spöchtling (1973), con la variante de agregar el NaOH de 0.1 en 0.1 ml hasta completar 1 ml. Los resultados así obtenidos fueron

FIG. 2: CUANTIFICACIÓN DE pH, C.E. Y CMA
EN EXTRACTOS DE CORTEZA ARBÓREA

C. lindleyi y *E. patula*



aplicados a la expresión matemática propuesta por los autores antes mencionados. Las gráficas de los resultados se hicieron con Harvard Graphics (versión 2.301, 1990).

Para cumplir con el objetivo 3, los valores promedio de las $[H^+]$ y C.E., se compararon gráficamente (Harvard graphics, versión 2.301, 1990) con los datos promedio mensuales de las $[SO_2]$, obtenidos por monitoreo automático en la estación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) más cercana a cada zona de estudio (Fig. 3), para lo cual se solicitaron a las autoridades responsables los datos necesarios. La escala de las gráficas se amplió multiplicando los valores X 2 o X 10, según fué el caso, con el fin de hacer visibles las variaciones.

La validación estadística de las variaciones espaciales y temporales de las $[H^+]$, C.E. y CMA que se registraron en *C. lindleyi* y *P. patula* en relación con el objetivo 4, se realizó con ayuda del Análisis de Varianza (Statgraphics, versión 2.0, 1980) con prueba de la Mínima Diferencia Significativa (LSD) y valor de significancia (α) al 5% y 1%.

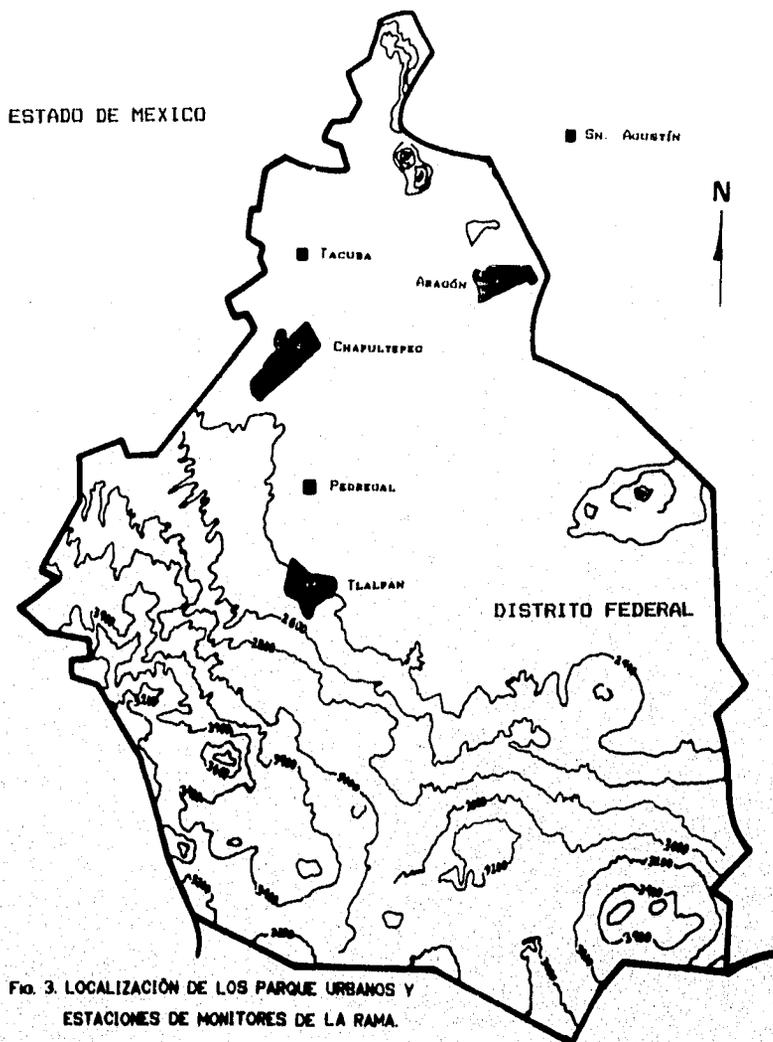


FIG. 3. LOCALIZACIÓN DE LOS PARQUE URBANOS Y ESTACIONES DE MONITORES DE LA RAMA.

-  PARQUES URBANOS
-  ESTACIONES DE LA RAMA

ESCALA 1:250.000 (AMPLIACIÓN 1/10)

ESTADO DE MORELOS

VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

COMPARACIÓN TEMPORAL DE LA CAPACIDAD MEDIA DE AMORTIGUAMIENTO (CMA), CONCENTRACIÓN DE IONES HIDRÓGENO (H^+) y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C.E.).

En el presente estudio se hace una modificación a la conducta que originalmente tienen las variables C.E. vs. pH (Härtel, 1982). De la transformación de pH a $[H^+]$, se obtuvo una relación directa entre esta variable y la C.E. Asimismo, la CMA debería tener una relación directa con las anteriores variables de acuerdo a la expresión matemática con la que se trabajaron los datos (Johnsen y Spöchtling, 1973). Tales relaciones se analizaron en los resultados que a continuación se presentan con el fin de aplicarlo a las dos especies para conocer sus características bioindicadoras. Paralelamente se procedió a la comparación temporal de los resultados.

Para complementar la explicación gráfica, en la Tabla I se proporcionan los valores máximos para la C.E. y $[H^+]$. En ella se indica el muestreo temporal y el año en donde éstos acontecen. Las zonas se simbolizan como sigue:

- 11: Parque Urbano de Tlalpan.
- 12: Parque Urbano de Chapultepec.
- 13: Bosque de referencia Villa del Carbón.
- 20: Parque Urbano de Aragón.

TABLA 1. VALORES MÁXIMOS POR AÑO DE LH+I Y C.E.

ESPECIE	ZONA	MUESTREO TEMPORAL-AÑO	[H+I] ($\mu\text{eq}/2 \text{ g corteza}$)	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
<i>C. lindleyi</i>	11	S2-89	168.4	1778.5	
		H1-89			
		S1-90	108.1	1204.0	
		S2-90			
			S2-91	114.5	1163.4
	12	S1-89	239.7	1547.5	
		H2-89			
		S1-90	171.7	2060.3	
		S2-91	441.0		2002.7
	13	S1-89	15.6	3066.0	
		H1-89			
		H2-90	52.8	3603.1	
S2-90					
		H1-91	34.6	2270.0	
		S1-91			
20	S2-89	113.5	1478.0		
	S1-90	51.2	3497.5		
	H1-90				
<i>E. patula</i>	11	H1-89	812.9	337.0	
		H2-89			
		H1-90	639.9	633.8	
		S1-90			
			H2-91	1257.9	439.7
	12	H2-89	1574.6	565.9	
		H1-89			
		S1-90	763.1	977.6	
		H2-91	721.0		488.4
			S1-91		
	20	S1-89	2463.3	734.3	
		H2-90	3354.0	984.5	
S2-90					
H2-91		2134.0	682.2		
		S1-91			

Como puede apreciarse, en la Tabla 1 solamente se presentan los valores máximos del '89 al '91, omitiéndose los muestreos de H1-88 y H2-88 (época de lluvias del '88) con el fin de observar la tendencia anual de los datos.

En las Figs. 4 y 5 se encuentran graficados los datos promedio por cada muestreo de las variables CMA, $[H^+]$ y C.E. que se registraron en corteza de *C. lindleyi* pertenecientes a cada zona de estudio.

En Chapultepec (Fig. 4a), las variables $[H^+]$ y C.E. mostraron una relación directa en la mayoría de los casos. En la gráfica se cumple esta relación con excepción de los muestreos de S2-89, H1-89 y H2-89 (pertenecientes al año '89), así como en H1-90 (realizado en el '90).

Cabe destacar que las fluctuaciones de las variables tuvieron valores máximos (Tabla 1) durante algún muestreo de la época de sequía (ya sea S1 ó S2) y fueron, en todos los casos, mayores que aquellos que se registraron en la época de lluvias, con excepción de la C.E. de H2-89 (1,547 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El rango evaluado para las $[H^+]$ y C.E. fué de 16-441 $\mu\text{eq}/2\text{ g}$ corteza y 910-2,060 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. No se encontró relación entre la CMA con la $[H^+]$ y C.E.

En Tlalpan (Fig. 4b) sólo se reunieron datos hasta H1-91 porque se prefirió no recolectar más corteza a fin de evitar el deterioro de los únicos árboles de esta especie.

Las $[H^+]$ y C.E. respaldaron en parte la conducta esperada entre las variables, ya que no se presentó una relación directa de los datos en H2-88, H1-89, así como en S2-90 y H1-90. De igual forma, valores máximos de $[H^+]$ y C.E. se observaron durante algún muestreo de sequía, con

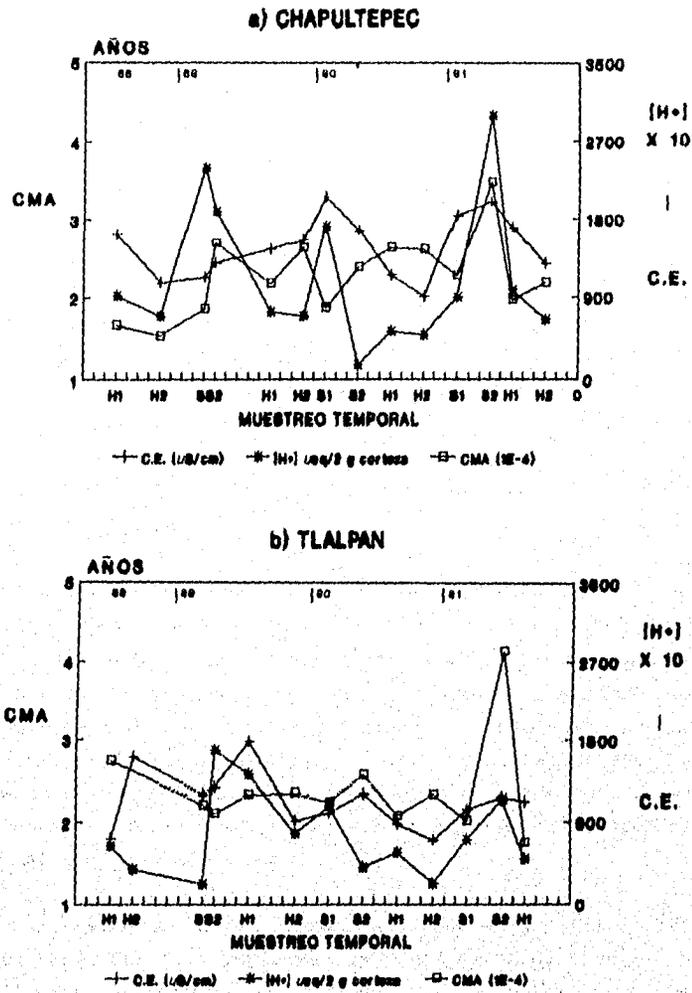


Fig. 4. Comparación temporal, CMA, [H⁺] y C.E. de *C. lindleyi*.

excepción de la C.E. de H1-89 (1,778 $\mu\text{S}/\text{cm}$) cuyo valor fué el más elevado del '89. Los rangos de los datos de Tlalpan fueron menores que en Chapultepec ($[\text{H}^+] = 23-168 \mu\text{eq}/2 \text{ g}$ corteza y C.E. = 699-1,778 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La CMA no mostró la conducta esperada y es de resaltar el dato de S2-91, como el mayor de los valores obtenidos en todas las zonas (CMA = 4.2×10^{-4}).

Para Aragón (Fig. 5a), se obtuvieron datos de $[\text{H}^+]$ y C.E. hasta H2-90, por ausencia de otros individuos pertenecientes a esta especie. El comportamiento de las variables mostró (con excepción de H2-88, S1-89 y H1-90), una relación directa. Se observó que a partir de S1-90 los valores de C.E. aumentaron drásticamente y se mantuvieron altos hasta H2-90 (rango de variación 601-3,498 $\mu\text{S}/\text{cm}$), al tiempo que las $[\text{H}^+]$ disminuyeron variando en un rango corto (23-113 $\mu\text{eq}/2 \text{ g}$ corteza).

En esta zona predominaron valores máximos de $[\text{H}^+]$ en época de sequía, no así para la C.E., ya que en H1-90 alcanzó los 3,497.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las diferencias entre la época de sequía y la de lluvias no fueron tan evidentes como las que se observaron en Chapultepec y Tlalpan, posiblemente porque la baja precipitación pluvial afectó en menor medida la concentración de los contaminantes atmosféricos. Las fluctuaciones de la CMA no mantuvieron la relación teórica esperada con las $[\text{H}^+]$ y con la C.E.

Finalmente, en la zona de referencia, Villa del Carbón (Fig. 5b), los valores de $[\text{H}^+]$ y C.E. mostraron rangos disímiles ($[\text{H}^+] = 2-53 \mu\text{eq}/2 \text{ g}$ corteza y C.E. = 600-3,603 $\mu\text{S}/\text{cm}$); sin embargo, se encontró la relación directa, con excepción de S2-91 y H1-91. Nuevamente, como en la zona de Aragón, las diferencias entre sequía y lluvias

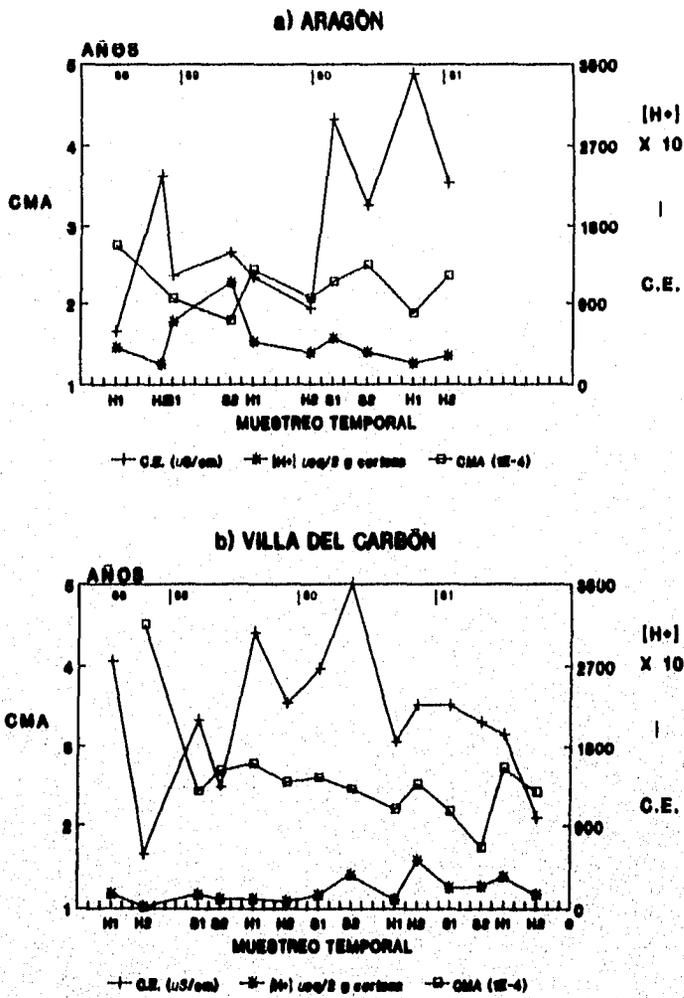


Fig. 5. Comparación temporal CMA, $[\text{H}^+]$ y C.E. de *C. lindleyi*

no fueron tan evidentes. Los registros de CMA pertenecientes a H1-88, H2-88, H1-89, H2-89, S1-90, H1-90, H2-90, S1-91 y H2-91 presentaron la conducta esperada con la $[H^+]$ y C.E.

Los datos promedio de CMA, $[H^+]$ y C.E. que se obtuvieron en extractos de corteza de *P. patula* para las diferentes zonas de estudio se encuentran graficados en la Figs. 6 y 7. Por su ausencia en Aragón, no fué posible contar con los datos respectivos. Se observó, en términos generales, que las fluctuaciones de las variables $[H^+]$ y C.E. para cada zona no presentaron la relación directa esperada, observándose lo mismo al comparar estas variables con la CMA. En *P. patula* no se encontró una tendencia temporal a juzgar por los valores máximos en época de sequía y de lluvias (Tabla 1). Es de destacar el amplio rango de variación de $[H^+]$ para cada zona:

Chapultepec= 250-1,574 $\mu\text{eq}/2\text{ g}$ corteza,
Tlalpan= 111-1,258 $\mu\text{eq}/2\text{ g}$ corteza y
Villa del Carbón= 884-3,354 $\mu\text{eq}/2\text{ g}$ corteza,

La capacidad bioindicadora de los diferentes grupos de especies arbóreas (caducifolios y perennifolios), está relacionada con su capacidad de respuesta frente a los contaminantes ácidos. Los resultados anteriores, hablan de la poca confiabilidad de *P. patula* (perennifolia) para ser utilizada como especie bioindicadora de la contaminación por depositación ácida; tal es el caso de *Picea abies*, otra perennifolia, (Härtel, 1982). En particular, para el género *Pinus* se encontraron bajas correlaciones entre las variables estudiadas (Swieboda and Kalemba, 1979). Varios factores pueden explicar los datos obtenidos por *P. patula*, entre ellos se encuentran los siguientes:

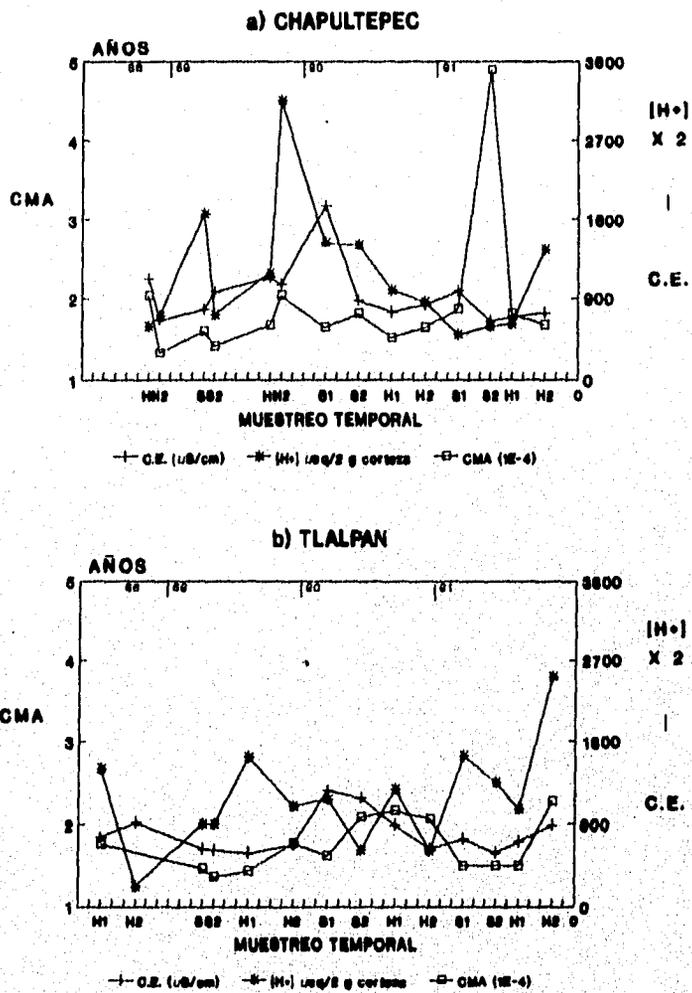


Fig. 8. Comparación temporal CMA, C.E. y [H⁺] de *P. patula*.

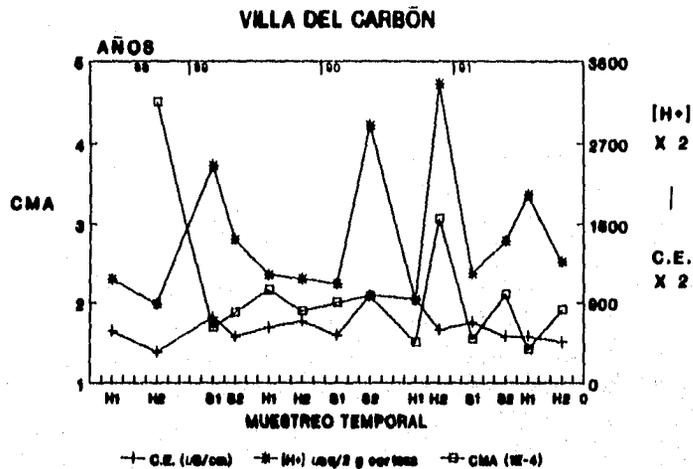


Fig. 7. Comparación temporal CMA, C.E. y [H⁺] de *P. patula*.

- a) Los valores de pH bajos que presentan los extractos de su corteza.
- b) Incremento de la capacidad de amortiguamiento observado en un rango de pH= 3-4 (Härtel, 1982).
- c) Forma de crecimiento de su corteza.
- d) Lavado de nutrientes foliares (Raynal *et al.*, 1985; Norden, 1991).

En lo que respecta a *C. lindleyi*, aún cuando es una especie perennifolia, las características de su corteza son muy similares a las halladas en otros bioindicadores, como *Acer negundo* y *Populus canadensis* (Calva *et al.*, inédito), que son caducifolias, al igual que *Aesculus hippocastanum* en donde se encontraron valores de correlación significativos

entre las variables estudiadas (Härtel, 1982). Así, *C. lindleyi* puede ser considerado como un bioindicador de material particulado y de sustancias ácidas por las siguientes características:

a) Los valores de pH altos de su corteza registrados en el presente estudio, hacen factible la medición de cambios mínimos de sustancias ácidas presentes en la atmósfera.

b) La forma de su corteza hace posible una elevada superficie de absorción de contaminantes.

c) Sus hojas pueden presentar mayor resistencia al lavado de los nutrimentos por parte del agua de lluvia acidificada.

La comparación temporal de la $[H^+]$ y C.E. que se determinó en *C. lindleyi*, dió a conocer una periodicidad observada en mayor medida en las zonas de Chapultepec y Tlalpan, donde las concentraciones de contaminantes, tanto ácidos como particulados, absorbidos por la corteza, se representaron por los valores máximos de algún muestreo de la época de sequía para cada año.

Finalmente, los valores de CMA fueron obtenidos a través de la aplicación del procedimiento matemático dado por Johnsen y Sæchting (1973). En esta propuesta, los niveles de CMA son una tendencia directa de la $[H^+]$ y por lo tanto de la C.E. El que no se cumpla este modelo teórico en los datos graficados, puede ser explicado por el mayor tiempo de reacción del NaOH adicionado a las muestras antes de medir el pH (por modificación al método original). Es por ello, que en los resultados posteriores no se incluye la descripción para la CMA.

COMPARACIÓN DE LAS
CONCENTRACIONES ATMOSFÉRICAS DE [SO₂] vs.
CONCENTRACIONES DE IONES HIDRÓGENO [H⁺] y
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C. E.).

En la Fig. 8 se encuentran graficados los valores de las [SO₂] en partes por millón (ppm) de los promedios mensuales normales medidos en las estaciones de monitoreo de la RAMA instaladas en Tacuba (parque urbano de Chapultepec), Pedregal (parque urbano de Tlalpan) y San Agustín (parque urbano de Aragón) (Ver Fig. 3). Las variaciones de las [SO₂] que se muestran en cada zona pertenecen al período de muestreo del presente estudio (H1-88 a H2-92).

En la estación Tacuba, las [SO₂] tuvieron un rango con valores elevados (0.06-0.08 ppm) durante el año '88, momento después del cual se sucedieron fluctuaciones dentro de un rango con valores inferiores (0.04-0.06 ppm) hasta el final del período de estudio.

En la estación Pedregal las variaciones se produjeron dentro de un rango con valores inferiores (0.02-0.04 ppm) hasta el '89, en comparación con los subsiguientes datos (0.02-0.06 ppm). Las anteriores estaciones tuvieron valores elevadas de [SO₂] en parte de la época de lluvias de cada año.

Para la estación San Agustín, hasta mediados del '89, el rango de las concentraciones de [SO₂] fué de 0.01-0.03 ppm y posteriormente de 0.02-0.06 ppm. En esta zona, tales variaciones no mostraron una estacionalidad marcada, con excepción del '90, donde los valores máximos se continuaron durante parte de la época de lluvias.

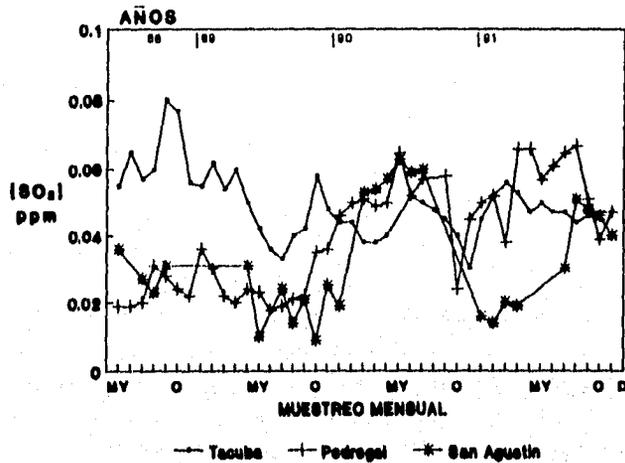


Fig. 8. Comparación espacial y temporal de las [SO₂] registradas por la RAMA.

Finalmente se puede observar que las [SO₂] de Pedregal y San Agustín fueron similares entre sí, y respecto a Tacuba fueron elevadas en el '90 y '91.

En las Figs. 9 y 10 se encuentran las [SO₂] para su comparación con las [H⁺] y C.E. que se registraron por C. Lindley, las cuales deberían presentar una relación directa.

La relación de las [H⁺] y C.E. con las [SO₂] es mínima en Chapultepec (Fig. 9a), ya que mientras aquellas tuvieron máximos durante algún muestreo de la época de sequía, los valores máximos de las [SO₂] se ubicaron en la época de lluvias.

Si bien la humedad es un factor indispensable para que acontezca la síntesis de los ácidos, ya sea vía catalítica y fotolítica (en el caso del H_2SO_4), también es cierto que durante la época de lluvias (mediados de mayo a mediados de octubre), el lavado atmosférico elimina una gran cantidad de contaminantes, lo cual no explica los valores máximos de las $[\text{SO}_2]$ que se registraron en las tres zonas monitoras durante dicha época.

Al respecto, se sabe que los contaminantes presentan un ciclo estacional en el que durante la época de lluvias la calidad atmosférica mejora considerablemente, debido a una mayor turbulencia del aire superficial y al lavado de contaminantes atmosféricos (Riveros, 1990). En Chapultepec, este aspecto es avalado por el estudio realizado en agua de lluvia (García et al., 1993) colectada en la estación Lomas, donde se encontraron valores de acidez de 3.8 a 4.4 pertenecientes a los meses de julio y agosto de 1987 y 1988; esto es, altas $[\text{SO}_2]$, $[\text{H}^+]$ y C.E. pueden registrarse al principio o al final de la época de lluvias, ya que el mayor lavado de contaminantes se realiza sólo a la mitad de esta época, durante los meses de mayor precipitación (por ejemplo, los registros de 1989 en esta zona).

Por otra parte, es de esperarse una mayor concentración de los contaminantes durante la época de sequía debido a la inmovilidad de los vientos producto de una mayor incidencia de inversiones térmicas (Jáuregui, 1971), por lo que es posible un aumento de las $[\text{SO}_2]$ con el consiguiente aumento en la concentración de ácidos atmosféricos, hecho que explica las fluctuaciones de $[\text{H}^+]$ y C.E. que se registraron en esta zona.

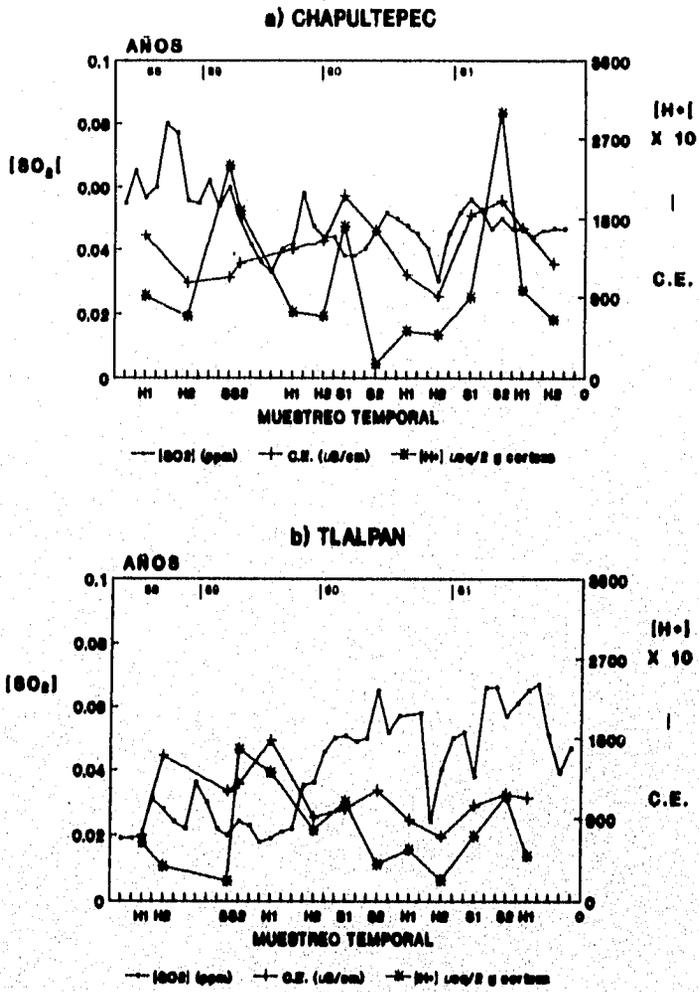


Fig. 9. Comparación de las $[SO_2]$ con C.E. y $[H^+]$ de *C. lindleyi*.

En el caso de Tlalpan (Fig. 9b), las $[H^+]$ y C.E. fueron menores durante la época de lluvias, cuando las $[SO_2]$ se mantuvieron en valores altos; sin embargo, se observó que las $[SO_2]$ variaron en mayor medida respecto a las $[H^+]$ y C.E. sólo desde el momento en que la concentración de éste contaminante aumentó (mediados del año '89). Es posible encontrar en Tlalpan relación directa entre las variables bajo estudio debido a la elevada humedad ambiental (Jáuregui, 1975) y a concentraciones elevadas de ozono (Riveros, 1990), factores que propician finalmente la rápida síntesis de H_2SO_4 . Así, las condiciones químicas de la atmósfera juegan un papel importante en cuanto a la síntesis ácida.

Por ejemplo, el H_2SO_4 requiere para su síntesis de la oxidación del SO_2 por peróxido de hidrógeno (H_2O_2), reacción rápida pero limitada por las bajas concentraciones de esta sustancia, o por ozono, considerada como una reacción lenta debido principalmente a su baja solubilidad (Crane y Cocks, 1987).

Las condiciones para que se lleve a cabo la oxidación del SO_2 vía ozono en la ciudad de México estarían dadas durante la época de sequía (de noviembre a abril), ya que es probable que en ella predominen condiciones de una atmósfera oxidante (Jáuregui, 1971), producto de los altos niveles de ozono registrados, sobre todo en el Suroeste, donde se localiza el parque urbano de Tlalpan, así como en su porción Centro (Jáuregui, 1988); durante los meses de la época de lluvias (mayo a octubre) predominarían los agentes reductores sobre los oxidantes (Jáuregui, 1971), por lo que la producción de H_2SO_4 disminuiría por esta vía.

La relación de las $[H^+]$ con la C.E. que se encontró en extractos de corteza no es totalmente la ideal ya que la C.E. puede estar dada por cierta concentración de H_2SO_4 absorbido directamente por la corteza, por material edáfico aerotransportado, así como por las sales producto de la neutralización de las anteriores sustancias al reaccionar químicamente en la atmósfera, lo que alteraría por consiguiente las $[H^+]$ (Kumar y Ramana Murty, 1985).

En el caso de la ciudad de México, la neutralización de los ácidos atmosféricos estaría dada por el material particulado antropogénico (cementeras, jaboneras y tabiqueras) y por el de origen edáfico (proveniente de los suelos del ex-lago de Texcoco) (Báez *et al.*, 1986).

La neutralización de los ácidos debido a un mayor aporte de material edáfico aerotransportado podrían explicar la relación de las variables en Aragón (Fig. 10) donde a partir del aumento del contaminante primario $[SO_2]$, la C.E. aumentó drásticamente al tiempo que las $[H^+]$ disminuyeron variando en un rango corto. Para fundamentar lo anterior, se tiene que la porción Noreste del Distrito Federal en donde se encuentra la zona de Aragón, es considerada como la de máxima concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) (Riveros, 1990; Jáuregui, 1969, 1971, 1989).

El efecto del material edáfico aerotransportado puede ser de menor importancia en Chapultepec y Tlalpan, debido a su lejanía de la parte Noreste del Distrito Federal; por la menor frecuencia de corrientes convectivas (que se dan durante la época de secas, al atardecer, cuando la insolación se eleva) y porque el material edáfico es considerado ácido (en Tlalpan).

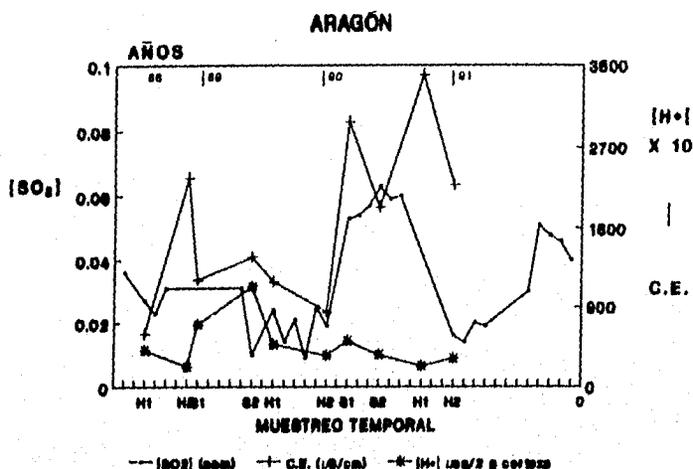


Fig. 10. Comparación de las $[SO_2]$ con la C.E. y $[H^+]$ de C. Indleyl.

Cabe destacar que la relación de las $[H^+]$ y C.E. se explicó solamente respecto a las $[SO_2]$, por lo que debe precisarse que en su conducta pudieron influir también otros contaminantes ácidos, entre los cuales se encuentra el HNO_3 , contaminante secundario que se sintetiza a partir de los NO_x expelidos en mayor medida por fuentes móviles (Rivero *et al.*, 1993).

Si en Chapultepec las concentraciones de los NO_x fueran lo suficientemente elevadas, producto de la gran afluencia vehicular, y tomando en cuenta su elevada humedad relativa como condición importante para la producción de ácidos, se podría explicar la menor similitud de las $[SO_2]$ con las $[H^+]$ y C.E. de esta zona (Páramo *et al.*, 1987; Báez *et al.*, 1986).

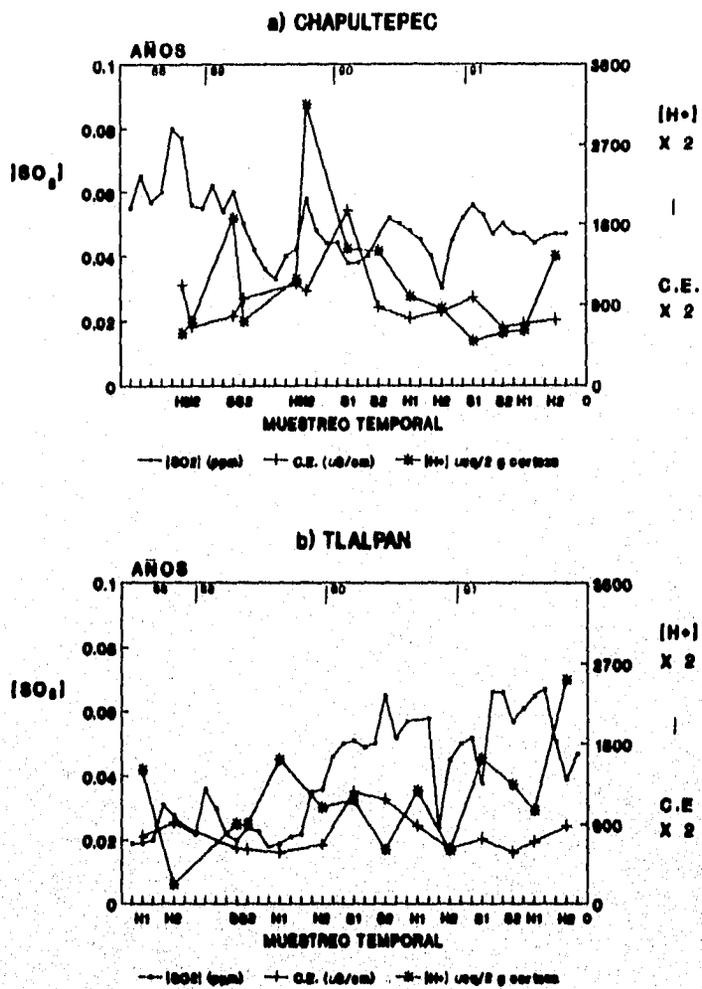


Fig. 11. Comparación de las $[SO_2]$ con la C.E. y $[H^+]$ registradas en *P. patula*.

En la Fig. 11 se muestran graficadas las variables $[SO_2]$ vs. $[H^+]$ -C.E. para *P. patula*. En las dos zonas se observó menor relación entre estas variables de acuerdo a lo explicado en el caso de *C. lindleyi*. La baja correlación entre las variables pH y C.E., como resultado de la emisión de SO_2 puede explicar su conducta en el presente estudio (Swieboda y Kalemba, 1979).

En Villa del Carbón no se encuentra una estación de monitoreo atmosférico por lo cual no se reporta la gráfica correspondiente.

COMPARACIÓN ESPACIAL DE LAS
CONCENTRACIONES DE IONES HIDRÓGENO (H^+) y
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C.E.).

Las Figs. 12 y 13 muestran la conducta de las variables C.E. y $[H^+]$ que se registraron en *C. lindleyi* y *P. patula*, respectivamente, para las diferentes zonas de estudio. En ellas se observa lo siguiente:

Los niveles de las $[H^+]$ en *C. lindleyi* (Fig. 12a) mostraron una tendencia descendente: Chapultepec, Tlalpan, Aragón y por último, Villa del Carbón.

Los niveles de esta variable son similares en las primeras tres zonas. Es posible atribuir tal tendencia al hecho de que se encuentran viento abajo de las fuentes emisoras de contaminantes. La ordenación gráfica dada con anterioridad para los niveles de las $[H^+]$, coincide con registros de agua de lluvia que se obtuvieron en diferentes zonas del D.F. (Páramo *et al.*, 1987), donde la zona de Chapultepec ocupó el segundo lugar en cuanto a porcentaje de muestras ácidas, posiblemente por encontrarse viento abajo de las zonas industriales de Azcapotzalco, Lechería, Tlalnepantla y Naucalpan.

En el mismo sentido, fué en Aragón donde se registraron uno de los mayores porcentajes de muestras no ácidas por estar ubicada cerca del ex-lago de Texcoco, lo que explica las bajas $[H^+]$ que posiblemente son resultado de los contaminantes ácidos provenientes de la zona industrial de Xalostoc.

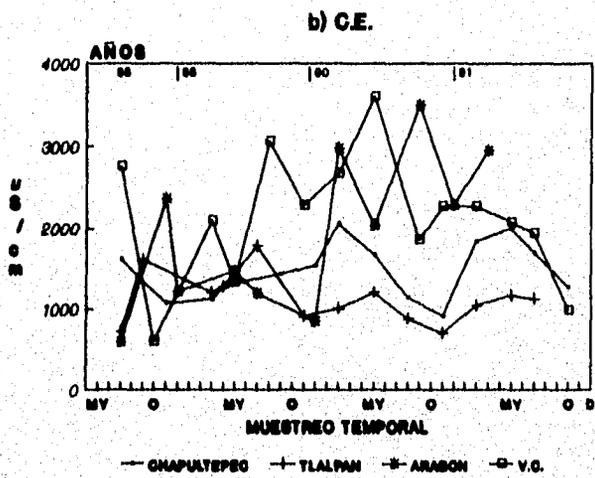
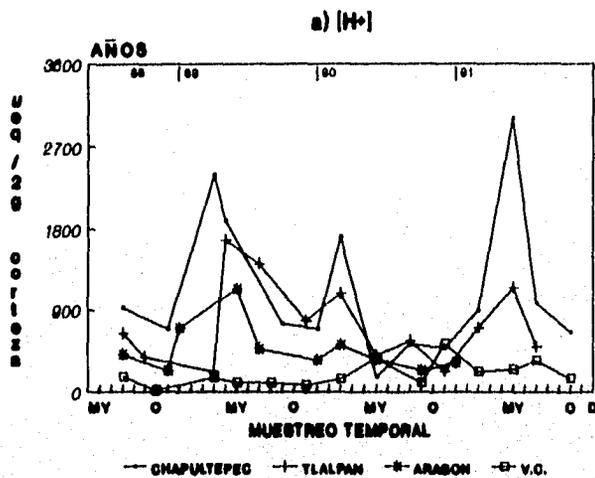


Fig. 12. Comparación espacial de [H•] y C.E. registradas en *C. lindleyi*.

Lo anterior también lo avala el estudio de García *et al.* (1993), en el que se encontró mayor incidencia de valores ácidos en agua de lluvia con pH's de 3.8 a 4.4 en la estación Lomas (cercana a Chapultepec) y menores valores de acidez en Nezahualcóyotl (pH's de 5.6 a 9.2). Finalmente, Villa del Carbón mostró las menores $[H^+]$ por ser una zona rural, aunque no debe descartarse la posibilidad de que también fué afectada por la contaminación, mas se supone que las $[H^+]$ mostradas por *C. Lindleyi* en esta zona fueron las "naturales".

Los niveles de C.E. que se registraron en esta especie (Fig. 12b), fueron elevados en Villa del carbón y Aragón, seguidas de Chapultepec y en último término, de Tlalpan. En Villa del Carbón y Aragón, el material edáfico aerotransportado tuvo un papel muy importante en los registros de C.E., ya que los suelos de estas zonas se encuentran, en mayor medida, expuestos al intemperismo por parte de los vientos; en cambio, este factor pudo afectar en menor medida y probablemente de la misma magnitud, a las zonas de Chapultepec y Tlalpan, donde se observa que las curvas de C.E. son similares.

En lo que se refiere a las $[H^+]$, *P. patula* (Fig. 13a) fué la especie que registró mayores niveles en Villa del Carbón. En Tlalpan y Chapultepec no se encontró una conducta similar y estuvieron por debajo de los obtenidos en Villa del Carbón. La ordenación de las zonas de acuerdo a esta especie para las $[H^+]$ que se monitorearon, no coincide con lo registrado en *C. Lindleyi*.

Con excepción de la C.E. para la zona de Aragón, *P. patula* (Fig. 13b) registró niveles de esta variable muy semejantes a los obtenidos en *C. Lindleyi*, por lo que Villa

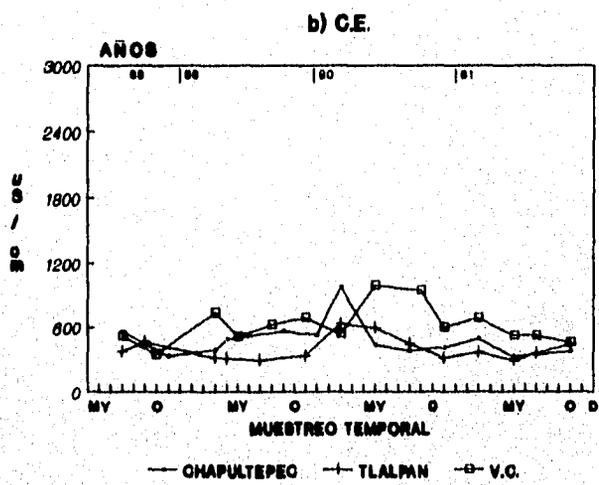
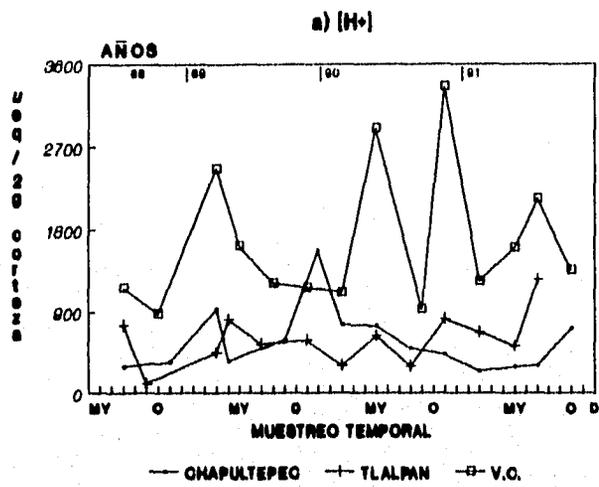


Fig. 13. Comparación espacial de [H⁺] y C.E. registradas en *P. patula*.

del Carbón, Chapultepec y Tlalpan, tuvieron en ese orden niveles descendentes. La conducta similar en las dos últimas zonas puede indicar la eficiencia de esta especie en cuanto a la bioindicación de material particulado.

A partir de las $[H^+]$ como medida de la acidez ambiental que se registraron por *C. lindleyi*, la ordenación descendente de las zonas en cuanto a sus valores, es como sigue:

Chapultepec-Tlalpan-Aragón-Villa del Carbón.

En cuanto a la C.E., la ordenación descendente es:

Villa del Carbón-Aragón-Chapultepec-Tlalpan.

ANÁLISIS DE VARIANZA TEMPORAL.

En el anexo 2 se muestran los resultados del Análisis de Varianza para comparar las [H⁺] y C.E. registradas en cada zona de estudio. El resumen del análisis (Tablas 2 y 3), se expresa en términos de porcentaje (%) para los muestreos temporales con diferencias estadísticas significativas con valor de significancia (α) al 0.05 y 0.01. También se incluye el porcentaje total (%T) de las diferencias significativas que tuvieron todos los muestreos en cada zona.

C. Lindley

En la Tabla 2, se obtuvo un mayor número de muestreos con diferencias significativas para la C.E., resultado que indicó un mayor efecto temporal en cada zona sobre el total de los contaminantes atmosféricos. Se advierte que en Tlalpan éstos se distribuyeron de forma más heterogénea durante la época de lluvias.

En Chapultepec, los porcentajes totales (%T) (Tabla 2) fueron mayores en las [H⁺] que en la C.E., aspecto que se invierte en las demás zonas. Por ejemplo, para esta zona, el %T de diferencias significativas de [H⁺] fué de 24 y de C.E. de 15, con $\alpha = 0.05$, mientras que en Aragón se obtuvo un %T de 22 y 58, respectivamente, al mismo valor de significancia.

Esto último indica que la heterogeneidad de los contaminantes ácidos fué mayor en Chapultepec, aún cuando esto dependió tan sólo de los muestreos correspondientes a

TABLA 2. PORCENTAJES ANÁLISIS DE VARIANZA TEMPORAL

C. Lindlevi

VARIABLE	ZONA	MUESTREO TEMPORAL-AÑO	PORCENTAJE (%)		PORCENTAJE TOTAL (%)			
			*	+	*	+		
[H+] C.E.	11	S2-89	69	23	24	10		
		H1-89	46	15				
		H1-88	58	25				
		H2-88	75	50				
		H1-89	92	92				
		H2-90	58	33			41	26
[H+] C.E.	12	S1-89	61	15	24	15		
		S2-91	100	100				
		S1-90	46	8				
		H2-90	38	15				
		S2-91	31	8			15	2
		[H+] C.E.	13	H2-90			69	38
C.E.	13	H1-88	61	23	57	43		
		H2-88	92	85				
		S1-89	46	31				
		S2-89	69	46				
		H1-89	77	54				
		S2-90	92	85				
		H2-91	85	77				
		[H+] C.E.	20	S2-89			89	89
C.E.	20	H1-88	67	56	58	44		
		H2-88	56	22				
		S1-90	67	56				
		S2-90	56	22				
		H1-90	89	78				
		H2-90	56	44				

UNIDADES:

[H+] = µeq/ 2 g corteza

C.E. = µS/cm

DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS:

* α = 0.05

+ α = 0.01

la época de sequía, y por ello se puede proponer la existencia de cierto efecto temporal en esta época sobre las concentraciones de los contaminantes ácidos. Asimismo, la C.E., por tener similares %T de diferencias significativas, fué mayor en Villa del Carbón y Aragón, resultado que puede explicarse por la predominancia, que tengan en una zona específica, las diversas sustancias que intervienen en la conducta de la variable (ácidos atmosféricos, sales de estos ácidos producto de su neutralización, así como material edáfico y antropogénico aerotransportado).

Si comparamos para cada zona los valores máximos de $[H^+]$ de la Tabla 1 (pág. 25), con los % del análisis de varianza de la Tabla 2, tendremos que coincidieron las concentraciones de S1-89 y S2-91 pertenecientes a Chapultepec; en Tlalpan sólo el dato de S2-89 tuvo diferencias; en Aragón el de S2-89 y en Villa del Carbón el valor máximo con diferencias fué el de H2-90.

Los valores máximos de C.E. que contaron con diferencias significativas para Chapultepec fueron los de S1-90 y S2-91; en Tlalpan, los de H1-89; en Aragón los de H1-90 y en Villa del Carbón los de H1-89 y S2-90.

El valor máximo que tuvo un porcentaje de 100; esto es, que fué significativamente diferente respecto a los demás muestreos temporales (con α de 0.05 y 0.01), se presentó en la zona de Chapultepec y fué el dato de $[H^+]$ en S2-91 (441 $\mu\text{eq}/2\text{ g}$ corteza).

El análisis estadístico para los datos obtenidos en *C. lindleyi*, dió a conocer que los contaminantes no tienen un patrón cíclico temporal con valores máximos de $[H^+]$ y C.E. durante algún muestreo de la época de sequía en las

zonas de Chapultepec y Tlalpan (Figs. 4a y b, respectivamente), por lo que su distribución se llevó a cabo sin importar el modelo de depositación predominante (depositación seca o depositación húmeda) o la época del año. Cabe resaltar que en la zona de Chapultepec existió cierto efecto temporal durante la época de sequía que determinan altas $[H^+]$ y en Tlalpan la C.E. fué afectada en la época de lluvias.

P. patula.

La Tabla 3 indica que en Chapultepec los %T de $[H^+]$ (19 %T) son menores que los de C.E. (31 %T), con $\alpha = 0.05$, resultado que se invierte en Tlalpan y Villa del Carbón. No hay coincidencia con lo expuesto en el caso de *C. lindleyi*.

La heterogeneidad de las $[H^+]$ que se registraron en *P. patula* puede ser debida a las características químicas intrínsecas de la corteza, ya que el efecto que tienen las sustancias ácidas sobre ésta, es mucho mayor en comparación con otras especies (Calva et al., sin publicar). Si las condiciones de concentración de contaminantes diversos son las mismas en cada zona, la influencia de los siguientes factores podría explicar los resultados de *P. patula*:

- a) Los valores de pH bajos que presentan los extractos de su corteza,
- b) Incremento de la capacidad de amortiguamiento observado en un rango de pH= 3-4 (Härtel, 1982).
- c) Forma de crecimiento de su corteza.
- d) Lavado de nutrientes foliares (Raynal et al., 1985; Norden, 1991).

TABLA 3. PORCENTAJES ANÁLISIS DE VARIANZA TEMPORAL
E. patula

VARIABLE	ZONA	MUESTREO TEMPORAL-AÑO	PORCENTAJE (%)		PORCENTAJE TOTAL (%)	
			*	+	*	+
[H+]	11	H1-88	69	61		
		H2-88	100	100		
		S1-89	77	54		
		S2-89	69	54		
		H1-89	89	69		
		H2-89	77	61		
		S1-90	69	46		
		S2-90	92	77		
		H1-90	61	54		
		H2-90	89	77		
		S1-91	77	69		
		S2-91	69	46		
		H1-91	61	54		
		H2-91	92	92	76	56
C.E.		H2-88	77	61		
		S1-90	100	100		
		S2-90	85	85		
		H1-90	69	54		
		H2-91	61	54	49	45
[H+]	12	H2-89	100	77	19	11
C.E.		H1-88	54	23		
		H1-89	54	31		
		S1-90	100	100	31	20
[H+]	13	H1-88	46	31		
		H2-88	61	54		
		S1-89	92	85		
		S2-89	85	54		
		H1-89	46	31		
		H2-89	46	31		
		S1-90	46	46		
		S2-90	100	85		
		H1-90	54	46		
		H2-90	100	92		
		S1-91	54	31		
		S2-91	85	54		
		H1-91	92	92		
		H2-91	46	38	68	55
C.E.		S1-89	69	31		
		S2-90	92	92		
		H1-90	92	92	42	38

UNIDADES:
[H+] = $\mu\text{eq}/2\text{ g corteza}$
C.E. = $\mu\text{S}/\text{cm}$

DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS:
* $\alpha = 0.05$
+ $\alpha = 0.01$

ANÁLISIS DE VARIANZA ESPACIAL.

En el Anexo 3 se tiene el Análisis de Varianza para *C. lindleyi* y *P. patula* aplicado a las diferentes zonas por muestreo temporal. El resumen del análisis se encuentra en las Tablas 4 y 5. En cada recuadro se toma a una zona como constante para compararla con las demás.

C. lindleyi

Los valores elevados de las $[H^+]$ que se registraron en Chapultepec (H2-88, S1-89, S2-89, S1-90 y S2-91) y en Tlalpan (H2-89 y H1-90), representan en la Tabla 4a su heterogeneidad respecto a Villa del Carbón, y por consiguiente, una mayor acidez ambiental en tales parques urbanos. En cuanto a Aragón, con excepción de S2-89, muestra mayor homogeneidad al compararla con Villa del Carbón. En 4b, Aragón cuenta con mayor número de diferencias significativas respecto a Chapultepec, y en 4c, éstas indican ser resultado de las altas $[H^+]$ que se registraron en Chapultepec al compararla con Tlalpan. En términos generales las $[H^+]$ de los diferentes parques urbanos fueron relativamente homogéneas, aunque coinciden con el orden descendente de la descripción gráfica (ver pág. 43).

Se observaron diferencias significativas en los valores elevados de C.E. pertenecientes a Villa del Carbón y Aragón. Los valores de dicha variable mostraron que al menos una zona tuvo diferencias durante H1-88, H2-88, S1-89, H1-89, H2-89, S2-90, H1-90, H2-90, S1-91, H1-91, de lo que se puede deducir mayor heterogeneidad del total de contaminantes en la atmósfera de la ciudad de México. En 4d,

TABLA 4. ANÁLISIS DE VARIANZA ESPACIAL

C. Lindley

[H+] ($\mu\text{eq}/2\text{ g corteza}$)

MUESTRO TEMPORAL- Año	a)			b)		c)
	ZONA 13			ZONA 20		ZONA 11
	11	12	20	11	12	12
H1-88	--	--	--	--	--	--
H2-88	**	**	--	--	**	*
S1-89	--	**	--	--	*	**
S2-89	**	**	*	--	--	--
H1-89	--	--	--	--	--	--
H2-89	**	*	--	--	--	--
S1-90	*	**	--	--	**	--
S2-90	--	--	--	--	--	--
H1-90	**	*	--	*	--	--
H2-90	--	--	--	--	--	--
S1-91	--	--	--	--	--	--
S2-91	--	**	--	--	--	**
H1-91	--	--	--	--	--	--
H2-91	--	--	--	--	--	--

C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

MUESTRO TEMPORAL- Año	d)			e)		f)
	ZONA 13			ZONA 20		ZONA 11
	11	12	20	11	12	12
H1-88	**	**	**	--	**	**
H2-88	*	--	**	--	**	--
S1-89	*	*	*	--	--	--
S2-89	--	--	--	--	--	--
H1-89	**	**	**	*	--	--
H2-89	**	*	**	--	*	--
S1-90	--	--	--	--	--	--
S2-90	**	**	**	*	--	--
H1-90	*	--	**	**	**	--
H2-90	**	**	--	**	**	--
S1-91	*	--	--	--	--	--
S2-91	--	--	--	--	--	--
H1-91	**	--	--	--	--	--
H2-91	--	--	--	--	--	--

ZONAS:
11 TLALPAN
12 CHAPULTEPEC
13 VILLA DEL CARBON
20 ARAGON

DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS:
* $\alpha = 0.05$
+ $\alpha = 0.01$

EN LOS ESPACIOS VACIOS NO SE TIENEN DATOS A COMPARAR

resaltaron las diferencias entre Villa del Carbón y los parques urbanos, y en 4e se observaron diferencias de Aragón respecto a Chapultepec y Tlalpan. Éstos últimos, en 4f, sólo fueron diferentes en H1-88. El orden espacial de los niveles descendentes de la C.E. dado a nivel gráfico (ver pág. 45), difirió en parte con lo analizado aquí, ya que Chapultepec y Tlalpan resultaron ser especialmente homogéneos.

El número menor de diferencias significativas que se halló para las $[H^+]$ puede explicarse por el radio mayor que abarca la deposición de los contaminantes ácidos gaseosos, sobre todo si la fuente de contaminación no es única. En cambio, el radio de deposición de los contaminantes particulados alcanzaría solo a sitios cercanos a la fuente de origen a causa de que su velocidad de deposición es elevada, dando por consiguiente, niveles de C.E. con un número mayor de diferencias estadísticas entre las zonas. De esta forma, la dirección y velocidad de los vientos presentes en el Distrito Federal, es un factor importante que propicia la distribución espacial de los contaminantes de acuerdo al estado físico en que se encuentren.

El análisis estadístico avala la descripción gráfica planteada para la distribución espacial de las $[H^+]$ y C.E.

P. patula

En la Tabla 5 se muestra el resumen del Análisis de Varianza para *P. patula* (no se incluye la zona de Aragón). Con excepción de H2-89, se encontró una total heterogeneidad para las $[H^+]$ de Villa del Carbón respecto a Tlalpan y Chapultepec, y entre éstas últimas, hubo diferencias significativas en el 50% de los muestreos.

TABLA 5. ANÁLISIS DE VARIANZA ESPACIAL

E. patula

[H+] ($\mu\text{eq}/2\text{ g}$ corteza)

MUESTRO TEMPORAL- Año	a)		b)
	ZONA 13		ZONA 11
	11	12	12
H1-88	**	**	**
H2-88	**	**	**
S1-89	**	**	*
S2-89	**	**	---
H1-89	**	**	*
H2-89	---	---	---
S1-90	**	**	---
S2-90	**	**	---
H1-90	*	**	---
H2-90	**	**	---
S1-91	**	**	**
S2-91	**	**	*
H1-91	**	**	---
H2-91	---	**	**

C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

MUESTRO TEMPORAL- Año	c)		d)
	ZONA 13		ZONA 11
	11	12	12
H1-88	**	---	**
H2-88	**	---	**
S1-89	**	**	---
S2-89	**	---	**
H1-89	**	---	**
H2-89	**	---	---
S1-90	---	**	**
S2-90	**	**	---
H1-90	**	**	---
H2-90	**	*	---
S1-91	**	*	---
S2-91	**	**	---
H1-91	**	**	---
H2-91	---	*	---

ZONAS: 11 TLALPAN 12 CHAPULTEPEC 13 VILLA DEL CARBON 20 ARAGON

DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS:
* $\alpha = 0.05$
+ $\alpha = 0.01$

EN LOS ESPACIOS VACIOS NO SE TIENEN DATOS A COMPARAR

Para la C.E., *P. patula* presentó los registros más altos en la zona Villa del Carbón, que representan un número importante de diferencias significativas respecto a Chapultepec y Tlalpan.

P. patula mostró una mayor cantidad de diferencias significativas de $[H^+]$ y C.E. en comparación con *C. lindleyi*, resultado que puede explicarse por diversos factores que se han señalado con anterioridad, pero a continuación se hacen explícitos:

a) Los valores de pH bajos que presentan los extractos de su corteza. Debido a esto, disminuye la exactitud en la medición del gradiente de contaminantes ácidos, y se requerirían mayores cantidades de estas sustancias para poder ser registradas eficientemente.

b) Incremento de la capacidad de amortiguamiento observado en un rango de $pH=3-4$, lo cual no permite cambios adicionales ni de pH ni de C.E., aún cuando se incremente la concentración de SO_2 fumigado (Härtel, 1982). La mayor parte de los valores promedio de pH registrados en esta especie se encuentran dentro del rango arriba indicado (Anexo 1).

c) Forma de crecimiento de su corteza. Las lajas compactas de la corteza de *P. patula* reducirían la captación de material particulado, así como de sustancias ácidas transportadas por los vientos, tan sólo a la capa externa; menos probabilidades habría de que lo anterior sucediera en la corteza de *C. lindleyi*, con mayor superficie de exposición debido precisamente a la forma de su crecimiento; esto es, la absorción de los contaminantes aerotransportados es mejor en una superficie rugosa (*C. lindleyi*) que en una superficie lisa (*P. patula*).

d) El lavado de nutrimentos de la copa de los árboles es un factor más de neutralización de los ácidos precipitados vía húmeda, por lo cual se supone un mayor lavado de nutrimentos foliares en *P. patula* que afectan las [H⁺] y C.E. (Raynal et al., 1985; Norden, 1991).

El "bulk" de la acidez (el total de contaminantes depositados) absorbido por las especies bajo estudio, muestra diferencias que son resultado de los valores de pH que presenten sus extractos de corteza, de las características morfológicas de ésta y de la concentración foliar de nutrimentos (lo cual altera la captación, neutralización y medición de los contaminantes absorbidos), además del rango de pH en que aumenta el amortiguamiento.

VIII.-CONCLUSIONES

Las variaciones espaciales de la concentración de iones hidrógeno [H⁺] y Conductividad Eléctrica (C.E.) tuvieron una distribución heterogénea. Respecto a la primera variable, el siguiente orden en sus niveles fué:

Chapultepec > Tlalpan > Aragón > Villa del carbón.

Para la Conductividad Eléctrica se determinó el siguiente orden :

Villa del Carbón > Aragón > Tlalpan > Chapultepec.

Existen variaciones temporales, pero no dependen del modelo de depositación predominante, depositación seca o depositación húmeda; o bien, de la época de sequía o de lluvia.

Los registros de las concentraciones de SO₂ cuentan con valores elevados aún durante la época de lluvias, por lo que no concuerdan con las concentraciones de iones hidrógeno y Conductividad Eléctrica.

Cupressus lindleyi presentó características bioacumuladoras más favorables que *Pinus patula*.

La depositación ácida es un fenómeno presente en la ciudad de México.

IX.--RECOMENDACIONES

El enriquecimiento de estudios con bioindicadores está necesariamente ligado a la apertura de nuevas líneas de investigación, por lo que se propone cuantificar en extractos de corteza aniones (Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-}) y cationes (Ca^{++} , Na^+ , K^+ , Mg^{++} , y NH_4^+), de tal forma que se pueda conocer sobre la interacción química de éstas sustancias y su importancia en la acidificación atmosférica así como en el amortiguamiento de sus efectos.

Respecto a la CMA, se propone continuar el registro de esta variable aplicando el método propuesto por Johnsen y Spöchtling (1973).

Las especies arbóreas resistentes a la contaminación, como *Cupressus lindleyi*, deben utilizarse para la reforestación y forestación de la ciudad de México.

También es necesario que se lleve a cabo, mediante el uso de paquetería gráfica computacional, la zonificación de las concentraciones de iones hidrógeno y Conductividad Eléctrica, ésto con el propósito de conocer sus niveles en distintos lugares del Distrito Federal.

X.-BIBLIOGRAFIA

- Axomulco, A.H. y G.L. Durán. 1989. Evaluación de contaminación ambiental causada por lluvia ácida en especies arbóreas del bosque de Tlalpan, D.F. Servicio Social. FES-Zaragoza, UNAM. 38 p.
- Baddeley, J.A., D.B.A Thompson y J.A. Lee. 1974. Regional and historical variation in the nitrogen content of *Racomitrium lanuginosum* in Britain in relation to atmospheric nitrogen deposition. *Environmental Pollution*. 84(2):189-196.
- Báez, P.A., G.H. Padilla y O. G. De Gomales. 1986. Acid Rain over Mexico City valley and surrounding rural area. *Geof. Int.* 25(2): 315-346.
- Baker, J., D. Hocking y M. Nyborg. 1977. Acidity of open and intercepted precipitation in forest and effects on forest soil in Alberta, Canada. *Water Air and Soil Pollution*. No. 7:449-460.
- Barradas, L.V. y J.R. Seres. 1988. Los pulmones urbanos. *Ciencia y Desarrollo*. 13(7B):61-72.
- Becerra, O.R. y H.D.R. Vera. 1989. Evaluación de la contaminación atmosférica por lluvia ácida en el Bosque de Chapultepec. FES-ZARAGOZA, UNAM. 34 p.

- Bonneau, M y G. Landman. 1989. Dossier: el deterioro de los bosques europeos. Mundo Científico. No. 88:190-201.
- Boonpragob, K., T.H. Nash y C.A. Fox. 1989. Seasonal deposition patterns of acidic ions and ammonium to the lichen *Ramalina menziesii* Tayl. in southern California. Environ. Exp. Bot. 29(2):187-197.
- Bravo, A.H., E.R. Sosa y J.R. Torres. 1991. Ozono y lluvia ácida en la ciudad de México. Revista Ciencias. (22):33-40.
- COCDDA. 1986. Manual de planeación, diseño y manejo de las Áreas verdes urbanas del Distrito Federal. D. D. F. México. 680 p.
- Crane, A.J. y A.T. Cocks. 1987. The transport, transformation and deposition of airborne emissions from power station. CEEB Research. No. 20:3-15.
- Foster, N.W. 1989. Acid precipitation: what is fact, what is speculation, what is needed? Water, Air and Soil Pollution. No. 48:299-306.
- Fowler, D. 1980. Wet and dry deposition of sulphur and nitrogen compounds from the atmosphere. In: Hutchinson, T.C. y M. Havas (eds.). Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press. New York. pp 9-27.
- García G.L., F.V.H. Páramo y F. del A. Casanova. 1993. Precipitaciones Ácidas en el periodo 1987-1991 en el AMCM. Ciencia y Desarrollo. 19(113):31-39.

GreenPeace. 1995. La contaminación al nivel que respiramos.
Informe GreenPeace. Noviembre. 33 p.

Grennfeld, P., C. Bengtson y R. Skarby. 1980. An estimation
of the atmospheric input of acidifying substances to
a forest ecosystem. In: Hutchinson, T.C. y M. Havas
(eds.). Effects of acid precipitation on terrestrial
ecosystems. Plenum Press. New York. pp 29-40.

Grether, D.F. 1977. The effects of a high-stack coal-burning
power plant on the relative pH of the superficial
bark of hardwood tree. *Water, Air and Soil Pollution*.
No. 147:913-918.

Grodzińska, K. 1977. Changes in the forest environment in
southern Poland as a result of steel mill emissions.
Vegetation Science and Environment Protection,
ProcIntern, Symposium in Tokyo on Protection of the
environment and Excursion on vegetation science
through Japan. Maruzu, Co. LTD. Japón. pp 207-215.

-----1979. Tree Bark-Sensitive Biotest for environment
acidification. *Environment International*. 2:173-176.

-----1982. Monitoring of air pollutants by mosses and tree
bark. In: Stenberg, I. y H.J. Jager (eds.).
Monitoring of air pollutants by plants. Dr. W. Junk
Publishers. The Hague. pp 33-44.

-----1984. Bioindication of environmental determination.
In: Grodzinski, W., J. Weiner y P.F. Maycock. (eds.).
Forest Ecosystems in Industrial Regions.
Springer-Verlag. Berlin. pp 27-34.

Härtel, O. 1982. Pollutants accumulation by bark. In: Stenberg, I. y H.J. Jager (eds). Monitoring of air pollutants by plants. Dr. W. Junk Publishers. The Hague. pp 137-147.

Jackson, J.S. 1980. Experimental studies on the phytotoxicity of acidic precipitation: the United States experience. In: Hutchinson, T.C. y M. Havas (eds). Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press. New York. pp 151-160.

Jáuregui, O.E. 1969. Aspectos meteorológicos de la contaminación del aire en la Cd. de México. Ingeniería Hidráulica en México. 23(1): 1-27.

-----1971. Mesoclima de la ciudad de México. Instituto de Geografía. UNAM. 56-68.

-----1975. Las zonas climáticas de la Cd. de México. Instituto de Geografía. UNAM. Boletín. no. 6:47-61.

-----1988. Local wind and air pollution interaction in the Mexico basin. *Atmósfera*. No. 1:131-140.

-----1989. The dust storms of Mexico City. *International Journal of climatology*. 9:169-180.

Johnsen, I. y U. Spçhting. 1973. Influence of air pollution on the epiphytic lichen vegetation and bark properties of deciduous trees in the Copenhagen area. *Oikos*. 24:344-351.

- Johnsen, I. y L. Rasmussen. 1977. Retrospective study (1944-1976) of heavy metals in the epiphyte *Pterogonium gracile* collected from one phorophyte. *The bryologist*. 80:625-629.
- Jurgen, H. 1986. La lluvia ácida. La muerte silenciosa. *Rev. de Geografía Universal*. 21(1):65-82.
- Kovacs, M., I. Opauszky y P. Klincsek. 1982. The leaves of city trees as acumulation indicators. In: Stenberg, I. y H.J. Jager (eds.). *Monitoring of air pollutants by plants*. Dr. W. Junk Publishers. The Hague. pp 148-153.
- Kumar, R. y Bh.V. Ramana Murty. 1985. Impact of alkaline particulates on pH of rain water in India. *Water, Air and Soil Pollution*. 2:375-386.
- Labastille, A. 1981. Acid Rain, how great a menace? *National Geographic*. Nov. 652-680.
- Linzon, S.N., W.D. McIlveen y P.J. Temple. 1973. Sulphur dioxide injury to vegetation in flux vicinity of a sulphite pulp and paper mill. *Water, Air and Soil Pollution*. 2:129-134.
- Lötschert, W. y H.J. Köhm. 1977. Characteristics of tree bark as an indicator in high-immission areas. *Oecologia*. 27:47-64.
- Markert, B. 1993. *Plants as Biomonitors*. VCH. Weinheim. 480 p.

- Norden, U. 1991. Acid deposition throughfall fluxes of elements as related to tree species in deciduous forest of south Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*. 60(3-4):209-230.
- D' Hare, G.P. 1974. Lichens and bark acidification as indicators of air pollution in west central Scotland. *Journal of Biogeography*. No. 1:116-135.
- Páramo, V.H., M.A. Guerrero, M. A. Morales, R.E. Morales y C.D. Baz. 1987. Acidez de las precipitaciones en el D.F. *Ciencia y Desarrollo*. Enero-Febrero(72): 59-65.
- Ramírez, G.L. 1993. Estudio del Bosque de Aragón tomando en cuenta la contaminación atmosférica. Servicio Social. FES-ZARAGOZA, UNAM. 23 p.
- Raynal, D.J., F.S. Raleigh y A.V. Mollitor. 1985. Atmospheric deposition and ionic movement in adirondack forests. In: Adams, D.P. y P. Walter (eds.). *Acid Deposition. Environmental, Economic and Policy issues*. Plenum Press. New York. pp 413.
- Rivero, S.O., R.G. Ponciano y Van der Goes T. Fortoul. 1993. *Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria*. Biblioteca de la Salud. México. 228 p.
- Riveros, R. H. 1990. La contaminación atmosférica en la ciudad de México. *Ciencia y Desarrollo*. 15(94):73-79.
- Sánchez, C.L., E. Beltrán, P.A. Sierra, C.R. Garduño y D. Yañez. 1979. La reforestación en el D.F. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C. México. pp 23-31.

- Seinfeld, J.H. 1978. Contaminación atmosférica. Fundamentos físicos y químicos. Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid, España. 453 p.
- Shorte, W.C. y E.A. Bondietti. 1992. Timing, magnitude and impact of acidic deposition on sensitive forest sites. *Water, Air and Soil Pollution*. No. 61:253-267.
- Skeffington, R.H. 1987. Soil and resporser to acid deposition. *CEGB Research*. August. 16-20.
- Skye, E. 1969. Lichens and air pollution. *Acta Phytogeogr. suecica*. No. 52:1-123.
- Smith, W.H. 1981. Air pollution and forest: interactions between air contaminants and forest ecosystems. Springer-Verlag. New York. 530 p.
- Staxäng, B. 1969. Acidification of bark of some deciduos trees. *Oikos*. 20(2): 224-230.
- Swieboda, M. y A. Kalemba. 1979. The bark of scots pine (*Pinus silvestris L.*) as a biological indicator of atmospheric air pollution. *Acta Sicitatis Botanicorum Poloniae*. 48(4):539-548.
- Tamm, C.O. y E.B. Coyling. 1977. Acid precipitation and forest vegetation. *Water, Air and Soil Pollution*. No. 7:503-511.
- Tukey, Jr. H.B. 1980. Some effects of rain mist an plants with implications for acid precipitation. *Int*

Hutchinson, T.C. y M. Havas (eds.). Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press. New York. pp 141-150.

Ulrich, B., R. Meyer y P.K. Khanna. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. *Soil Science*. 130(4):193-199.

ANEXOS

1. TABLA GENERAL DE RESULTADOS

CLAVE PARA LAS ZONAS DE ESTUDIO:

- 11 TLALPAN
- 12 CHAPULTEPEC
- 13 VILLA DEL CARBON
- 20 ARAGON

ESPECIE	ZONA	MUESTREO TEMPORAL-AÑO	pH	[H ⁺] (µeq/2 a corteza)	C.E. (µS/cm)
P. patula	11	H1-88	3.12	756.1	379.7
		H2-88	4.02	111.2	460.3
		S1-89	3.36	454.8	314.4
		S2-89	3.35	450.6	307.9
		H1-89	3.10	812.9	292.1
		H2-89	3.27	549.2	337.0
		S1-90	3.26	590.4	633.8
		S2-90	3.54	310.2	593.8
		H1-90	3.21	639.9	444.7
		H2-90	3.54	304.8	315.4
		S1-91	3.09	821.0	366.1
		S2-91	3.19	675.0	290.3
		H1-91	3.28	530.3	354.9
		H2-91	2.91	1257.9	439.7
	12	H1-88	3.54	296.2	557.8
		H2-88	3.49	352.5	329.2
		S1-89	3.11	932.7	389.3
		S2-89	3.73	359.1	485.2
		H1-89	3.31	593.9	565.9
		H2-89	3.17	1574.6	527.3
		S1-90	3.21	763.1	977.6
		S2-90	3.33	747.8	435.1
		H1-90	3.42	497.5	376.2
		H2-90	3.44	429.7	412.4
		S1-91	3.72	250.2	488.4
		S2-91	3.64	295.7	321.3
		H1-91	3.60	306.6	346.0
		H2-91	3.21	722.0	369.1
	20	H1-88	2.96	1173.9	580.0
		H2-88	3.06	883.9	348.7
		S1-89	2.60	2463.3	734.6
		S2-89	2.79	1631.4	513.0
		H1-89	2.92	1217.6	624.2
		H2-89	2.94	1173.2	693.3
		S1-90	2.96	1114.7	537.1
		S2-90	2.55	2900.0	984.5
		H1-90	3.05	930.2	942.3
		H2-90	2.48	3354.0	599.3
		S1-91	2.92	1236.4	682.7
		S2-91	2.82	1609.1	517.6
		H1-91	2.68	2134.0	519.6
		H2-91	2.87	1365.9	456.9

1. CONTINUACION...

ESPECIE	ZONA	HUESTRERO TEMP- \bar{A}_0	pH	[H ⁺] ($\mu\text{eq}/2\text{ g corteza}$)	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
<u>C. Lindleyi</u>	11	H1-88	4.46	63.7	719.1
		H2-88	4.49	38.4	1610.8
		S1-89	4.86	22.0	1199.7
		S2-89	4.06	168.4	1279.2
		H1-89	4.14	141.4	1778.5
		H2-89	4.40	77.8	913.6
		S1-90	4.19	108.1	1007.3
		S2-90	4.51	40.0	1204.0
		H1-90	4.42	56.3	878.1
		H2-90	4.86	23.0	698.9
		S1-91	4.39	70.8	1040.8
		S2-91	4.03	114.5	1163.4
		H1-91	4.46	49.0	1121.3
		H2-91			
	12	H1-88	4.1	92.5	1614.6
		H2-88	4.2	69.5	1070.0
		S1-89	3.8	239.7	1123.7
		S2-89	3.78	189.7	1282.2
		H1-89	4.34	74.4	1439.8
		H2-89	4.3	69.4	1547.5
		S1-90	3.85	171.7	2060.3
		S2-90	4.91	16.3	1672.9
		H1-90	4.42	52.9	1140.9
		H2-90	4.66	48.4	909.6
		S1-91	4.51	89.9	1841.8
		S2-91	3.54	441.0	2002.7
		H1-91	4.43	98.0	1699.7
		H2-91	4.38	65.5	1269.5
	13	H1-88	4.85	16.2	2757.8
		H2-88	5.86	2.0	600.5
		S1-89	5.19	15.6	2102.1
		S2-89	5.27	10.2	1339.2
		H1-89	5.1	10.2	3066.0
		H2-89	5.2	7.5	2292.9
		S1-90	5.0	14.5	2677.0
		S2-90	4.62	36.7	3603.1
		H1-90	5.24	10.0	1854.8
		H2-90	4.74	52.8	2274.0
		S1-91	4.86	22.8	2270.0
		S2-91	4.71	24.6	2078.8
		H1-91	4.57	34.6	1938.1
		H2-91	5.29	15.3	983.0
	20	H1-88	4.81	41.5	595.2
		H2-88	5.07	23.2	2365.5
		S1-89	4.30	69.8	1215.4
		S2-89	4.15	113.5	1478.0
		H1-89	4.46	47.6	1193.2
		H2-89	4.56	35.3	848.9
		S1-90	4.41	51.2	2982.0
		S2-90	4.52	36.0	2035.6
		H1-90	4.86	23.7	3497.5
		H2-90	4.81	32.1	2287.3

2. ANALISIS DE VARIANZA TEMPORAL

CHAPULTEPEC
C. Lindley

DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS

* $\alpha = 0.05$

+ $\alpha = 0.01$

EN LOS PARENTESIS VACIOS NO SE TIENEN DATOS A COMPARAR

CH+1 ($\mu\text{g}/2\text{ g}$ corteza)

	88		89				90				91			
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2
H1 (92)	---													
H2 (69)		---												
S1 (240)		*	---											
S2 (190)				---										
H1 (74)			*		---									
H2 (69)			*			---								
S1 (172)							---							
S2 (16)			**	*			*	---						
H1 (53)			*						---					
H2 (48)			*							---				
S1 (90)											---			
S2 (441)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	---		
H1 (98)													**	---
H2 (65)			*										**	---

C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

	88		89				90				91			
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2
H1 (1614)	---													
H2 (1070)		---												
S1 (1124)			---											
S2 (1282)				---										
H1 (1440)					---									
H2 (1547)						---								
S1 (2060)		*	*	*			---							
S2 (1673)								---						
H1 (1141)							*		---					
H2 (910)							**	*		---				
S1 (1842)		*							*		---			
S2 (2003)		*	*						*	**		---		
H1 (1700)										*			---	
H2 (1270)							*							---

2. CONTINUACION...

VILLA DEL CARBON
C. lindleyi

[H+] (µeq/2 g corteza)

	88		89				90				91				
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	
H1 (16)	---														
H2 (2)		---													
S1 (16)			---												
S2 (10)				---											
H1 (10)					---										
H2 (7)						---									
S1 (14)							---								
S2 (37)		*						---							
H1 (10)									---						
H2 (53)	*	**	*	**	**	**	*			**	---				
S1 (23)											---				
S2 (25)												---			
H1 (35)		*											---		
H2 (15)										*				---	

C. E. (µS/cm)

	88		89				90				91				
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	
H1 (2758)	--														
H2 (600)	**	---													
S1 (2102)	*	**	---												
S2 (1339)	**	*	*	---											
H1 (3066)		**	**	**	---										
H2 (2293)		**		**	*	---									
S1 (2677)		**					---								
S2 (3603)	*	**	**	**	**	**	**	---							
H1 (1855)	*	**		**	**		*	**	---						
H2 (2274)		**		**	*		**	**		---					
S1 (2270)		**		**	*		**	**			---				
S2 (2079)	*	**		**	**		**	**				---			
H1 (1938)	*	**		**	**		*	**					---		
H2 (983)	**		**		**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	---

2. CONTINUACION...

TLALFAN
E. patula

PH+I ($\mu\text{eq}/2 \text{ g}$ corteza)

	88		89				90				91				
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	
H1 (756)	--														
H2 (111)	**	--													
S1 (455)	**	**	--												
S2 (451)	**	**		--											
H1 (813)		**	**	**	--										
H2 (549)	**	**			**	--									
S1 (590)	*	**	*	*	**		--								
S2 (310)	**	**	*	*	**	**	**	--							
H1 (640)		**	**	**	*			**	--						
H2 (305)	**	**	*		**	**	**	**	**	--					
S1 (821)		**	**	**		**	**	**	**	**	--				
S2 (675)		**	**	**	*			**		**	*	--			
H1 (530)	**	**			**			**		**	**	*	--		
H2 (1258)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	--	

C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

	88		89				90				91				
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	
H1 (380)	--														
H2 (460)		--													
S1 (314)		**	--												
S2 (308)		**		--											
H1 (292)		**			--										
H2 (337)		**				--									
S1 (634)	**	**	**	**	**	**	--								
S2 (594)	**	**	**	**	**	**		--							
H1 (445)			**	**	**	*	**	**	--						
H2 (315)		**	**				**	**	**	--					
S1 (366)		*					**	**			--				
S2 (290)		**					**	**	**			--			
H1 (355)		*					**	**	*				--		
H2 (440)			**	**	**	*	**	**		**		**		--	

2. CONTINUACION...

VILLA DEL CARBON
E. patula

[H+] (µeq/2 g corteza)

	88		89				90				91				
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	
H1 (1174)	---														
H2 (884)		---													
S1 (2463)	**	**	--												
S2 (1631)	*	**	**	---											
H1 (1218)			**	*	---										
H2 (1173)			**	*		---									
S1 (1115)			**	**			---								
S2 (2900)	**	**	*	**	**	**	**	---							
H1 (930)			**	**				**	---						
H2 (3354)	**	**	**	**	**	**	**	*	**	---					
S1 (1236)		*	**	*				**		**	---				
S2 (1609)	*	**	**	*	*	*	**	**	**	**	*	---			
H1 (2134)	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	---		
H2 (1366)		**	**					**	*	**			**	---	

C.E. (µS/cm)

	88		89				90				91				
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	
H1 (580)	--														
H2 (349)		---													
S1 (735)	*	**	--												
S2 (513)			*	---											
H1 (624)		**			---										
H2 (693)		**		*		---									
S1 (537)		*	*				---								
S2 (984)	**	**	**	**	**	**	**	---							
H1 (942)	**	**	**	**	**	**	**		---						
H2 (599)		**						**	**	---					
S1 (683)		**						**	**		---				
S2 (518)			*					**	**			---			
H1 (520)			*					**	**				---		
H2 (457)			**					**	**	*				---	

2. ANALISIS DE VARIANZA ESPACIAL
Empresus Lindleyi Y Pinus patula

LAS CLAVES PARA LAS ZONAS SON:

- 11 TLALPÁN
- 12 CHIAPULTEPEC
- 13 VILLA DEL CARBÓN
- 20 ARAGÓN

DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS:

* $\alpha = 0.05$

+ $\alpha = 0.01$

UNIDADES:

[H+] = $\mu\text{eq/ 2 g corteza}$

C.E. = $\mu\text{S/ cm}$

EN LOS PARENTESIS VACIOS NO SE Tienen DATOS A COMPARAR

H1 - 88

[H+]	<u>C. Lindleyi</u>				<u>P. patula</u>		
	11	12	13	20	11	12	13
11(64)	--				11(756)	--	
12(92)	28	--			12(296)	460**	--
13(16)	52	76	--		13(1174)	418**	878**
20(41)	27	51	25	--			
C.E.							
	11	12	13	20	11	12	13
11(719)	--				11(380)	--	
12(1615)	896**	--			12(558)	178**	--
13(2758)	2039**	1143**	--		13(580)	200**	22
20(595)	124	1020**	2163**	--			

H2 - 88

[H+]							
	11	12	13	20	11	12	13
11(38)	--				11(111)	--	
12(69)	31*	--			12(352)	241**	--
13(2)	36**	67**	--		13(884)	773**	532**
20(23)	15	46**	21	--			
C.E.							
	11	12	13	20	11	12	13
11(1611)	--				11(460)	--	
12(1070)	541	--			12(329)	131**	--
13(600)	1011*	470	--		13(349)	111**	19
20(2365)	754	1295**	1765**	--			

3. CONTINUACION...

81 - 89

[H+]	<u>C. lindleyi</u>				<u>E. patula</u>				
11(22)	11	12	13	20	11(455)	11	12	13	
12(240)	--	--	--	--	12(933)	--	--	--	
13(16)	218**	--	--	--	13(2463)	478*	--	--	
20(70)	6	224**	--	--		2008**	1530**	--	
	48	170*	54	--					
C.E.									
11(1200)	11	12	13	20	11(314)	11	12	13	
12(1124)	--	--	--	--	12(389)	--	--	--	
13(2102)	76	--	--	--	13(735)	75	--	--	
20(1215)	9021	978*	--	--		420**	345**	--	
	15	91	007*	--					

82 - 89

[H+]									
11(168)	11	12	13	20	11(451)	11	12	13	
12(190)	--	--	--	--	12(359)	--	--	--	
13(10)	21	--	--	--	13(1631)	91	--	--	
20(113)	158**	180**	--	--		1181**	1272**	--	
	55	76	103*	--					
C.E.									
11(1279)	11	12	13	20	11(308)	11	12	13	
12(1282)	--	--	--	--	12(485)	--	--	--	
13(1339)	3	--	--	--	13(513)	177**	--	--	
20(1478)	60	57	--	--		205**	28	--	
	199	196	139	--					

81 - 89

[H+]									
11(141)	11	12	13	20	11(813)	11	12	13	
12(74)	--	--	--	--	12(594)	--	--	--	
13(10)	67	--	--	--	13(1218)	219*	--	--	
20(48)	131	64	--	--		405**	624**	--	
	93	26	38	--					
C.E.									
11(1778)	11	12	13	20	11(292)	11	12	13	
12(1440)	--	--	--	--	12(566)	--	--	--	
13(3066)	338	--	--	--	13(624)	274**	--	--	
20(1193)	1288**	1626**	--	--		332**	58	--	
	585*	247	1873**	--					

3. CONTINUACION...

81 - 89

[H+]	<u>E. Lindleyi</u>					<u>E. patula</u>		
	11	12	13	20		11	12	
11(22)	--					11(455)	--	
12(240)	218**	--				12(933)	478*	--
13(16)	6	224**	--			13(2463)	2008**	1530**
20(70)	48	170*	54	--				
C.E.								
	11	12	13	20		11	12	
11(1200)	--					11(314)	--	
12(1124)	76	--				12(309)	75	--
13(2102)	9021	978*	--			13(735)	420**	345**
20(1215)	15	91	887*	--				

82 - 89

[H+]								
	11	12	13	20		11	12	
11(168)	--					11(451)	--	
12(190)	21	--				12(359)	91	--
13(10)	158**	180**	--			13(1631)	1181**	1272**
20(113)	55	76	103*	--				
C.E.								
	11	12	13	20		11	12	
11(1279)	--					11(308)	--	
12(1282)	3	--				12(485)	177**	--
13(1339)	60	57	--			13(513)	205**	28
20(1478)	199	196	139	--				

81 - 89

[H+]								
	11	12	13	20		11	12	
11(141)	--					11(813)	--	
12(74)	67	--				12(594)	219*	--
13(10)	131	64	--			13(1218)	405**	624**
20(48)	93	26	38	--				
C.E.								
	11	12	13	20		11	12	
11(1778)	--					11(292)	--	
12(1440)	338	--				12(566)	274**	--
13(3066)	1288**	1626**	--			13(624)	332**	58
20(1193)	585*	247	1873**	--				

[H+]	<u>C. lindleyi</u>				<u>P. patula</u>			
	11	12	13	20	11	12	13	
11(78)	--	--	--	--	11(549)	--	--	--
12(69)	8	--	--	--	12(1575)	1026	--	--
13(7)	70**	62*	--	--	13(1173)	624	402	--
20(35)	42	34	28	--				
C.E.								
	11	12	13	20	11(337)	--	12	13
11(914)	--	--	--	--	12(527)	190	--	--
12(1547)	633	--	--	--	13(693)	356**	166	--
13(2293)	1379**	745*	--	--				
20(849)	65	699*	1444**	--				

51 - 90

[H+]								
	11	12	13	20	11	12	13	
11(108)	--	--	--	--	11(590)	--	--	--
12(172)	64	--	--	--	12(763)	173	--	--
13(14)	94*	158**	--	--	13(1115)	525**	352**	--
20(51)	57	121**	37	--				
C.E.								
	11	12	13	20	11(634)	--	12	13
11(1007)	--	--	--	--	12(978)	344**	--	--
12(2060)	1053	--	--	--	13(537)	97	441**	--
13(2677)	1670	921	--	--				
20(2982)	1975	616	305	--				

52 - 90

[H+]								
	11	12	13	20	11	12	13	
11(40)	--	--	--	--	11(310)	--	--	--
12(16)	24	--	--	--	12(748)	438	--	--
13(38)	2	22	--	--	13(2900)	2590**	2152**	--
20(36)	4	20	2	--				
C.E.								
	11	12	13	20	11(594)	--	12	13
11(1204)	--	--	--	--	12(435)	159	--	--
12(1673)	469	--	--	--	13(984)	390**	549**	--
13(3603)	2399**	1930**	--	--				
20(2036)	832*	363	1567**	--				

3. CONTINUACION...

H1 - 90

[H+]	<u>C. Lindleyi</u>					<u>E. patula</u>		
	11	12	13	20		11	12	
11(56)	--				11(640)	--		
12(53)	3	--			12(497)	143	--	
13(10)	46**	43*	--		13(930)	290*	433**	
20(24)	32*	29	14	--				
C.E.								
	11	12	13	20		11	12	
11(878)	--				11(445)	--		
12(1141)	26*	--			12(376)	69	--	
13(1855)	977*	714	--		13(942)	497**	566**	
20(3497)	2619**	2357**	1643**	--				

H2 - 90

[H+]					[H+]		
	11	12	13	20		11	12
11(23)	--				11(305)	--	
12(48)	25	--			12(430)	125	--
13(53)	30	5	--		13(3354)	3049**	2924**
20(32)	9	16	21	--			
C.E.							
	11	12	13	20		11	12
11(699)	--				11(315)	--	
12(910)	211	--			12(412)	97	--
13(2274)	1575**	1364**	--		13(599)	284**	187*
20(2287)	1588**	1377**	13	--			

S1 - 91

[H+]					[H+]		
	11	12	13	20		11	12
11(71)	--				11(821)	--	
12(90)	19	--			12(250)	571**	--
13(23)	48	67	--		13(1236)	415**	986**
20()				--			
C.E.							
	11	12	13	20		11	12
11(1041)	--				11(366)	--	
12(1842)	801	--			12(488)	122	--
13(2270)	1229*	428	--		13(682)	316**	194*
20()				--			

3. CONTINUATION...

52 - 91

[H+]	<u>C. lindleyi</u>				<u>E. patula</u>			
	11	12	13	20	11	12	13	
11(114)	--				11(675)	--		
12(441)	327**	--			12(296)	379*	--	
13(25)	89	416**	--		13(1609)	934**	1313**	--
20()				--				
C.E.								
	11	12	13	20		11	12	13
11(1163)	--				11(290)	--		
12(2003)	840	--			12(321)	31		
13(2079)	916	76	--		13(518)	228**	192**	--
20()				--				

H1 - 91

[H+]								
	11	12	13	20	11	12	13	
11(49)	--				11(530)			
12(98)	49	--			12(307)	223		
13(35)	14	14	--		13(2134)	1604**	1827**	
20()				--				
C.E.								
	11	12	13	20		11	12	13
11(1121)	--				11(355)	--		
12(1700)	578	--			12(346)	9	--	
13(1938)	817**	238	--		13(520)	165**	174**	--
20()				--				

H2 - 91

[H+]								
	11	12	13	20	11	12	13	
11()	--				11(1258)			
12(65)		--			12(722)	536**		
13(15)		50	--		13(1366)	108	644**	
20()				--				
C.E.								
	11	12	13	20		11	12	13
11()	--				11(440)	--		
12(1269)		--			12(369)	71	--	
13(983)		286	--		13(457)	17	88*	--
20()				--				