

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 31 NÚM. 100 140 p. MÉXICO, D. F. JUL-DIC 2006

30 Años



CIENCIA
FORESTAL

en México

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN

CONTENIDO	Pág.
EDITORIAL	3
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN ECOSISTEMA FORESTAL DE <i>Pinus - Quercus</i> EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL Luis Mario Torres Espinosa, José Alfredo Sánchez Salas y Javier Jiménez Pérez	7
LONGITUD DE LAS RAMAS DE <i>Taxodium mucronatum</i> (Ten.) Y <i>Platanus mexicana</i> (Moric.) EN ARROYO SECO, QUERÉTARO Iván Castellanos-Vargas, Martha A. García-Hernández, Mónica A. García-Hernández, Zenón Cano-Santana y Cinthya M. Peláez-Rocha	31
CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA DE LOS SITIOS DE PLANTACIÓN DEL PARQUE TEZOZÓMOC, DISTRITO FEDERAL Juana Ma. Castro Servín, Belsabe Pérez Rodríguez, Arizbeth González López, Erika L. Pérez Salgado, Sarahí Cortez Vázquez y Liliana Olivares López	43
LA CORTEZA ARBÓREA COMO BIOMONITOR DEL DEPÓSITO ÁCIDO EN LA CUENCA DE MÉXICO Germán Calva-Vásquez, Ma. de Lourdes de la Isla de Bauer, Hugo Padilla-Gordon, J. Jesús Vargas-Hernández y Alejandro Velázquez-Martínez	69
ESPECIES NATIVAS E INTRODUCIDAS EN EL JARDÍN BOTÁNICO DEL CAMPO EXPERIMENTAL URUAPAN, MICHOACÁN Miguel Ángel Bello González, Hipólito Jesús Muñoz Flores y J. Jesús García Sánchez	105
ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA <i>CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO</i>	125
30 ANIVERSARIO DE LA REVISTA <i>CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO</i>	129
CONSEJO ARBITRAL	135
CONSEJO EDITORIAL	139

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN ECOSISTEMA FORESTAL DE *Pinus* - *Quercus* EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL

Luis Mario Torres Espinosa¹, José Alfredo Sánchez Salas¹
y Javier Jiménez Pérez²

RESUMEN

Se presenta una metodología que combina la medición global del bosque y el análisis muestral. La información de la medición total de la población se utilizó para determinar la abundancia (N/ha) y la dominancia ($G_{1,3}$ /ha) de las especies arbóreas. Se definió la frecuencia de las especies, así como el índice de diferenciación diamétrica (TD) y de altura (TH) y el índice de mezcla de especies (DM). La altura de especies arbóreas se usó para evaluar el índice de distribución vertical. Los resultados indican que *Pinus pseudostrobus* tiene mayor presencia en el ecosistema pino-encino, seguido de *Quercus rysophylla* y *Juniperus flaccida*. De acuerdo con el índice de mezcla de especies, este ecosistema es un bosque irregular, dado que más de 50% de la población crece con individuos de otras especies. El índice de distribución vertical de especies describe la existencia de 11 especies arbóreas en tres estratos de acuerdo a la altura, *Pinus pseudostrobus* destaca por estar presente en los tres estratos definidos y en mayor proporción. La diferenciación dimensional, tanto en diámetro como en altura de los árboles-cero y sus vecinos más cercanos definen que 70% de la población del bosque de pino-encino tiene una baja diferenciación diamétrica y de altura.

Palabras clave: Abundancia, bosque de *Pinus-Quercus*, dominancia, estructura horizontal, estructura vertical, frecuencia.

Fecha de recepción: 21 de octubre de 2005.

Fecha de aceptación: 30 de octubre de 2006.

¹ Campo Experimental Saltillo, Centro de Investigación Regional Noreste, INIFAP. Correo-e: torres.luis@inifap.gob.mx.

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

ABSTRACT

The present methodology is a combination of the global measurement of the forest and the sampling analysis; the data of the total measurement of the population was used to determine the abundance (N/ha) and the dominance ($G_{1,3}$ /ha) of the arboreal individual species. The frequency of the different tree species was defined through the sampling unit, as well as the index of the diametric differentiation (TD), height (TH) and the mixture of species (DM). The height of the tree species was used to assess the index of vertical distribution. Results show that *Pinus pseudostrabus* is the species with greater presence in the pine-oak ecosystem; followed by *Quercus rysophylla* and *Juniperus flaccida*. According to the mingling index of species, this ecosystem has an irregular forest form since more than 50 percent of the population grows close to some others species. The vertical distribution index of species describes the presence of 11 tree species distributed in three strata according to the height in the pine-oak ecosystem, being *Pinus pseudostrabus* the most outstanding, as it is found in three defined strata and in a greater proportion. The dimensional differentiation in diameter as well as in height of the zero trees and their closest neighbors in the pine-oak forest indicate that 70 per cent of the population shows a slight difference in both dimensions.

Key Words: Abundance, *Pinus-Quercus* forest, dominance, horizontal structure, vertical structure, frequency.

INTRODUCCIÓN

Jiménez *et al.* (1998) definieron estructura como el ordenamiento específico de elementos dentro de un sistema. Una estructura arbórea se refiere a la distribución de las características individuales dentro de un área forestal; la del nivel del ecosistema se establece básicamente por el tipo, número y ordenamiento espacio-temporal de los elementos que lo constituyen (Aguirre, 2002).

Los bosques multicohortales (diferentes alturas, edades, especies y estratos) de *Pinus-Quercus* se distribuyen ampliamente a lo largo de la Sierra Madre Oriental y constituyen uno de los dos tipos de vegetación forestal más importantes de México desde el punto de vista económico. Estas asociaciones ocupan una extensión de 27.5 millones de ha en las zonas de clima templado y frío, de los cuales procede 90% del aprovechamiento forestal (Jiménez y Kramer, 1991, 1992). Una de las principales actividades de la población rural en el sur del estado de Nuevo León es la explotación maderable, donde 95% de la madera derribada proviene de diferentes especies de este tipo de bosque (Wolf *et al.*, 1986).

Los ecosistemas en cuestión se caracterizan por tener variada estructura de especies, debido a que dependen, entre otros factores, del origen y desarrollo

de sus componentes. Su manejo requiere de conocimientos sobre el efecto de las prácticas silvícolas en su conformación, así como de instrumentos cuantitativos para el monitoreo de su condición actual.

Aguirre *et al.* (1998) consignan que la generación de esquemas de gestión de los recursos forestales en ecosistemas multicohortales es de particular importancia porque representan los escenarios deseables a futuro en muchas regiones. Deberán considerarse, entonces, índices de medición (*TD, TH, DM, E, Mi*), así como variables dasométricas convencionales (diámetro, altura, volumen, área basal, edad, etc.) que definan la estructura de forma cuantitativa. El reto del manejo forestal consiste en obtener nuevos indicadores de sustentabilidad a partir de tales variables (Jiménez *et al.*, 1998; Aguirre, 2002).

Müller-Using (1994) hizo una selección de bosques de encino, típicos de la Sierra Madre Oriental y llevó a cabo la caracterización y esquematización de su estructura por medio de perfiles de vegetación; a partir de ello, resultaron diferencias con respecto a la composición de especies arbóreas, las cuales se atribuyen, principalmente, a la distribución altitudinal de cada especie. Lo anterior hizo posible identificar tres cinturones de bosques en dicha formación orográfica, que corresponde a la zona baja submontana, la submontana superior y el cinturón montano de bosques de encino.

En la actualidad las grandes áreas forestales de Europa central son manejadas con nuevos propósitos, para los que se requieren nuevos métodos cuantitativos que describan la estructura de los rodales, además de estudios de rendimiento tradicional que apoyen la toma de decisiones de procesos para la planeación de ecosistemas forestales multifuncionales (Albert *et al.*, 1995).

Los tres elementos que destacan los atributos estructurales de una comunidad vegetal son la diversidad de especies, la diferenciación dimensional y la distribución espacial, mismos que son relevantes en el manejo forestal (Jiménez *et al.*, 1998). Gadow (1999) menciona que las variables expresadas para describirlos dentro de un tipo de vegetación pueden ser utilizadas para detallar cambios integrales de los bosques derivados de actividades silvícolas, para medir sus diferencias en tiempo y espacio, así como para analizar las estructuras arbóreas observadas y las esperadas.

Recientemente Gadow y Földner (1992) desarrollaron índices estructurales que pueden determinarse para la totalidad de los individuos de un ecosistema, así como para una especie dada o una clase dimensional establecida, lo que los hace sumamente útiles y versátiles (Albert *et al.*, 1995); sin embargo no han sido aplicados en México. Existen otros índices como de equitatividad (*E*) (Nagel, 1994), perfil de especies (*A*) (Pretzsch, 1996), y el índice de mezcla de especies (*Mi*) (Földner y Gadow, 1994). Los que describen la estructura horizontal del ecosistema son el de agregación (*R*) (Clark y Evans, 1954) y el de distancia entre

árboles (D_i) (Pommerening, 1997). Finalmente, para la caracterización de la estructura dimensional se usa el coeficiente de homogeneidad (H) (De Camino, 1976) además de los índices de diferenciación diamétrica (TD) y de diferenciación en altura (TH) (Aguirre *et al.*, 1998).

La abundancia, la dominancia y la frecuencia de las especies arbóreas en la comunidad se utilizan como una medida de su valor de importancia relativa (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). Estos valores pueden ser calculados, igualmente, para clases por categorías de altura (Lamprecht, 1990). Por su parte Pretzsch (1996) consigna que para los bosques en Alemania, se puede hacer una división en tres zonas de altura, que corresponde al esquema europeo, donde los árboles dominantes se ubican en la zona I, los codominantes en la zona II y los dominados en la zona III.

Las parcelas circulares de muestreo reúnen información valiosa para el análisis de la estructura de las especies. A partir del registro de la ubicación de los árboles dentro de ellos pueden derivarse algunos índices dependientes de la distancia. En este caso se presenta el problema de definir las relaciones de vecindad de los árboles cercanos al límite del sitio (Nagel, 1994; Pommerening, 1997).

Algunas alternativas para obtener índices estructurales la constituye el procedimiento de inventario denominado "grupos estructurales de cuatro árboles" (Füldner, 1995; Pommerening, 1997; Jiménez *et al.*, 1998), y el procedimiento sistemático de inventario en el que los sitios de muestreo se ubican conformando una red a distancia (Füldner, 1995) a partir de un punto inicial aleatorio, esquema de inventario que es particularmente adecuado para los ecosistemas forestales. El árbol más próximo a los puntos de intersección de la red se designa árbol-cero y con base en éste, se determina la distancia de los tres árboles más cercanos.

En este trabajo se planteó como objetivo presentar una nueva metodología para la descripción estructural de ecosistemas forestales mixtos de pino-encino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Se realizó una evaluación de la estructura de un bosque mixto de pino-encino en un sitio con exposición norte, ubicado en una fracción de la Sierra Madre Oriental al sur de Iturbide, Nuevo León, México, en 1999, situado en la latitud $24^{\circ} 42' 23''$ norte y longitud $99^{\circ} 51' 39''$ oeste, con un área de 1035 ha y un intervalo altitudinal de 1250 a 1900 m. En el sitio predomina un clima seco del tipo $Bs_1 hw$, con precipitaciones bajas que oscilan alrededor de los 600 mm al año y temperaturas entre los 14 y $18^{\circ}C$, que tiende a ser alta en el verano (Woerner, 1990).

Medición global

Se llevó a cabo una medición total de los árboles en una superficie de 2.18 ha (medición global); para cada individuo se determinó especie, posición (con respecto al norte), diámetro a 1.3 m de la base, la altura total y la altura de fuste limpio fue medida con pistola Haga, el diámetro de copa, en función de la proyección vertical de la copa (m^2), y la edad sólo para *Pinus pseudostrobus*, mediante el conteo de anillos de crecimiento. Partiendo de un punto inicial al azar, se ubicaron 54 sitios de muestreo en una red de puntos, con una equidistancia entre ellos de 20 m. En la Figura 1, los puntos representan los árboles muestreados.

Análisis muestral

Para estimar los diversos parámetros estructurales se utilizó el muestreo denominado Grupo Estructural de los Cuatro Árboles (Füldner, 1995) (Figura 2). El árbol más próximo a los puntos de intersección de la red sirvió como árbol-muestra o árbol-cero y a partir de éste, se midió la distancia de los tres individuos más cercanos. Los datos obtenidos fueron: número de individuos (n/ha), altura total en m (h), diámetro a la altura del pecho en cm ($d_{1,3}$), área basal en m^2/ha ($g_{1,3}$) y coeficiente de estabilidad ($h/d_{1,3}$).

Estimación de parámetros estructurales básicos

Con base en la medición global anterior de todos los árboles en 2.18 ha se obtuvo la abundancia (A_i), que equivale al número de individuos/ha, y la dominancia (D_i), que consistió en el área basal de los individuos presentes. Para evaluar la frecuencia se usó la información recabada en los sitios de muestreo relativa a: especies presentes dentro de estos, distancia promedio (E), número de individuos (n/ha), área basal por hectárea ($g_{1,3}/ha$) y diámetro medio del área basal (d_g).

Para la estimación de estos parámetros básicos se utilizaron las siguientes relaciones:

- a) Abundancia (A_i) expresada como la cantidad de individuos/h de la especie i

$$A_i = \frac{n}{Area} ; \quad A_i \text{ rel} = \frac{n}{N} * 100$$

Donde:

n = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos

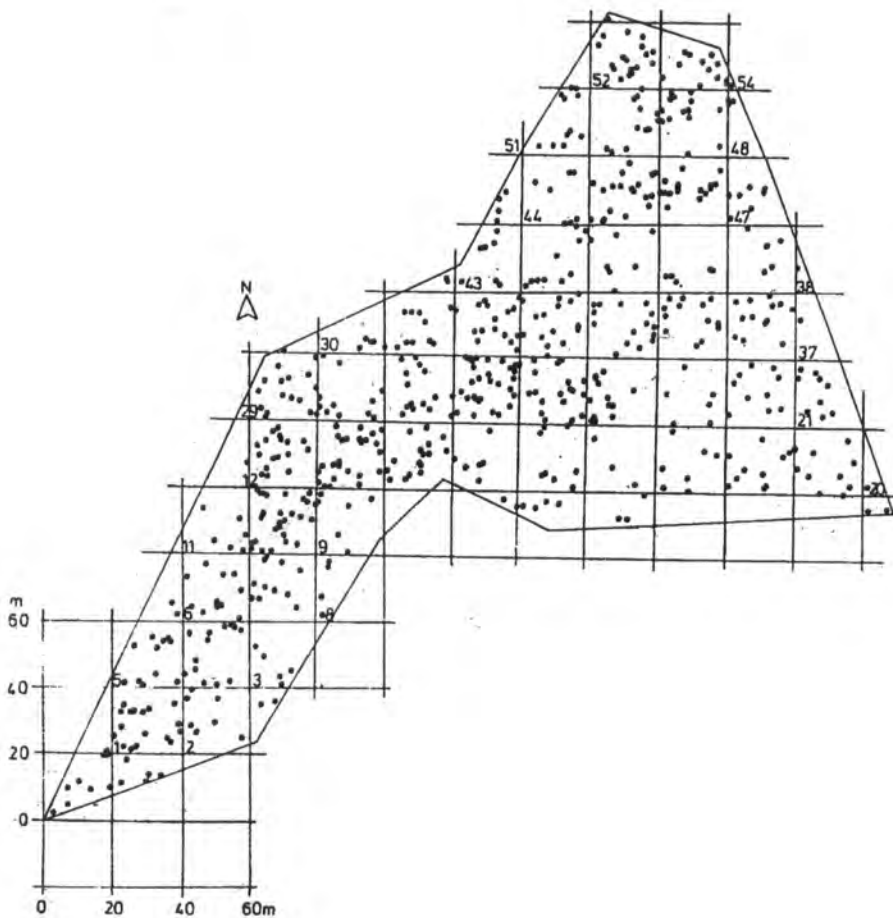


Figura 1. Mapa del sitio de la parcela experimental.

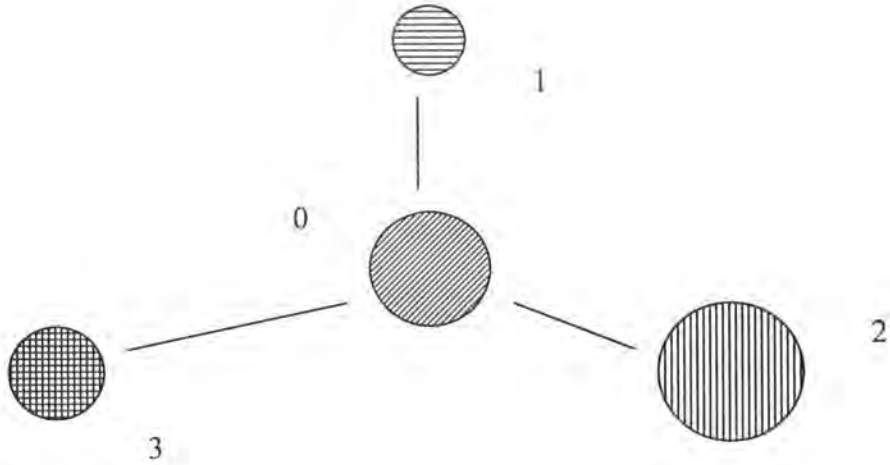


Figura 2. Grupo estructural de los cuatro árboles.

b) Dominancia (D_i) entendida como el área basal por hectárea de la i esima especie:

$$D_i = \frac{g}{Area} ; \quad D_i \text{ rel} = \frac{g}{G} * 100$$

Donde:

g = área basal de la especie i

G = área basal total

A partir de los datos del grupo estructural de los cuatro árboles se determinó la frecuencia y los principales atributos dasométricos mediante el procedimiento empleado por Kramer y Akça (1995).

c) Frecuencia: porcentaje de sitios de muestreo, donde la especie (i) se presenta:

$$F_i = m ; \quad F_i \text{ rel} = \frac{m}{M} * 100$$

Donde:

m = frecuencia de la especie i en los sitios de muestreo

M = número total de muestreos

Los resultados obtenidos de abundancia y dominancia en la medición global se compararon con los de los sitios de muestreo.

Diferenciación dimensional

La diferenciación de los individuos vecinos es un atributo ecológico de los ecosistemas forestales. Para evaluar esta relación se utiliza la variable diferenciación dimensional introducida por Gadov y Fuldner (1995).

d) Índice porcentual de mezcla de especies arbóreas (\overline{DM})

El índice de mezcla de especies describe la estructura del ecosistema, que tiene como base las relaciones próximas entre las especies para determinar la relación existente en el muestreo estructural; se define en qué proporción de los tres individuos vecinos pertenece la especie objeto.

Este término fue descrito por Fuldner (1995), para el desarrollo de su muestreo estructural cuatro. Los sitios de muestreo pueden alcanzar como resultado (\overline{DM}) cuatro categorías:

0.00 = todos los individuos pertenecen a la misma especie;

0.33 = un individuo pertenece a otra especie;

0.67 = dos de tres individuos pertenecen a otra especie;

1.00 = los tres individuos pertenecen a distintas especies.

$$DM_{n1} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_{ij}$$

Donde:

V_{ij} toma un valor de 0 cuando el vecino j -ésimo pertenece a la misma especie del árbol objeto i , de lo contrario tiene un valor 1,

V = presencia de un árbol de la misma especie

i = especie del árbol objeto

ij = identifica al árbol vecino

n = sitio de muestreo

e) Índice de distribución vertical de especies (*A*)

Este índice cuantifica la diversidad de especies y su ocupación en espacio vertical dentro de la población. Con lo descrito se estimó la proporción de las especies de acuerdo a las zonas de altura de Pretzsch (1996). El índice *A* se calculó con la siguiente fórmula:

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p_{ij}$$

Donde:

S = número de especies presentes

Z = número de zonas de altura

p_{ij} = porcentaje de especies en cada zona $p_{ij} = n_{ij} / N$

n_{ij} = número de individuos de la misma especie (*i*) en la zona (*j*)

N = número total de individuos

Ln = logaritmo natural

El índice *A* toma un valor entre 0 y un valor máximo de *A* (A_{max}). $A = 0$ significa que el rodal se conforma de una sola especie, y sólo se ubica dentro de una zona. A_{max} se alcanzan cuando todas las especies se localizan en todas las zonas, depende del número de especies presentes (*S*), así como de las zonas (*Z*) existentes (estratos que ocurren en la población). Este índice se calcula de la siguiente manera:

$$A_{max} = \ln (S * Z)$$

Los índices de distribución de especies se interpretan de acuerdo a la metodología de Lamprecht (1986), Nagel (1994) y Pretzsch (1996), quienes la interpretan en tres zonas de altura: el estrato I: comprende de 80% hasta 100% de la altura máxima del rodal; el estrato II: 50% hasta 80% y el estrato III: de 0 a 50%. Posteriormente se dividió en número de individuos (valores absolutos y relativos), donde se consideró a las especies y a los estratos. Junto a los datos de la población se presentó la información obtenida en los sitios de muestreo.

f) Índice de diferenciación diamétrica (*TD*)

Con fundamento en lo anterior, la diferenciación diamétrica se define como *TD*,

que resulta ser la relación entre el diámetro a la altura de pecho ($d_{1.3}$) para un árbol dado i ($i = 1 \dots l$) y n vecinos cercanos j ($j = 1 \dots n$) y se define por el cociente entre una variable dimensional del árbol más pequeño y la del árbol mayor, sustraído de 1 (Földner y Gadow, 1994; Albert *et al.*, 1995).

$$TD = 1 - \frac{D_{menor}}{D_{mayor}}$$

Donde:

D_{menor} y D_{mayor} son los diámetros a 1.3 m de los árboles vecinos.

El valor promedio de la diferenciación diamétrica entre el i -ésimo árbol ($i = 1 \dots N$) y sus próximos vecinos j ($j = 1 \dots n$) se determina mediante:

$$\overline{TD}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij}$$

El índice de diferenciación diamétrica promedio en un ecosistema forestal se expresa entonces por:

$$\overline{TD} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TD_i$$

Donde:

N = número de árboles en la unidad de muestreo

El intervalo de los valores posibles de TD abarca de 0 a menos de 1 y un valor menor a 1. Un valor de $TD = 0$ significa que el diámetro de ambos individuos vecinos es igual; para $TD = 0.1$ el diámetro del árbol más pequeño es 10% menor que el de más grosor.

g) Índice de diferenciación en altura (TH)

De manera análoga al índice de diferenciación diamétrica (TD), se determinó la variable diferenciación en altura TH , con base en los datos del árbol cero y su vecino más cercano (Aguirre *et al.*, 1997, 1998).

Este índice se define por la siguiente relación:

$$\overline{THi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n rij$$

El índice de diferenciación en altura promedio se expresa entonces por:

$$\overline{TH} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N THi$$

Donde:

N = número de árboles en la unidad de muestreo

RESULTADOS

Composición y estructura forestal

El bosque mixto-incoetáneo está constituido por *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Juniperus flaccida* Schlecht., *Quercus rysophylla* Weath, *Q. canbyi* Trel, *Q. laceyi* Small, *Q. polymorpha* Cham & Schldl., *Arbutus xalapensis* (Kunth), *Juglans mollis* Engelm., *Cercis canadensis* L., *Prunus serotina* Ehrh y *Rhus virens* Lindheimer & Gray. (Cuadro 1). La especie con mayor presencia es *P. pseudostrobus*, cuyos individuos portan fustes bien conformados y copas pequeñas.

El Cuadro 1 reúne los datos importantes de la población, disociados de acuerdo a las especies arbóreas. Se observa claramente que el número de individuos es una variable cuantitativa que de forma aislada no logra dilucidar explícitamente sobre la densidad y el porcentaje de las especies arbóreas. Así, *P. pseudostrobus* exhibe 57% del total de individuos de la población, mientras que su diámetro promedio ($d_{1.3}$) es de 26.1 cm, es decir, 72% del área basal total. Con las demás especies es el área basal (rel. g/ha) menor que el número de individuos (rel. N/ha). Por ejemplo, *Arbutus xalapensis* con un diámetro medio de 14 cm, un número porcentual de 5.7% de individuos, logra, sin embargo, un área basal de 1.9%.

Quercus rysophylla y *Juniperus flaccida* son las especies de mayor importancia después de *P. pseudostrobus*, dado que conforman 18.8 y 9.7% del total de la población, y 9 y 7.2% del área basal total. *Q. canbyi* y *Q. laceyi* tienen una representatividad muy similar dentro del rodal, de 7.4 y 6.7% del total de

Cuadro 1. Parámetros cuantitativos del bosque multicohortal.

Especie	Abundancia N/ha		Dominancia G7ha (m ²)		Altura (m)			Diámetro _{1.3} (cm)			Alt/diam				
	Abs	Rel	Abs	Rel	\bar{h}	S _h	S _h %	min	max	$\bar{d}_{1.3}$		S _d	S _d %	min	max
Total	297	100.0	14.8	100.0	10.9	4.3	39	3.4	24.0	22.9	10.5	46	4.8	56.0	0.48
<i>Pinus pseudostrobus</i>	169	56.7	10.7	72.4	12.9	4.2	33	4.1	24.0	26.1	11.3	43	4.8	56.0	0.49
<i>Juniperus flaccida</i>	29	9.7	1.07	7.2	8.8	5.9	67	4.8	16.3	20.0	7.1	36	6.9	38.0	0.44
<i>Quercus rysophylla</i>	38	18.8	1.33	9.0	8.7	2.9	33	4.0	18.5	19.7	7.6	39	10.0	43.0	0.44
<i>Quercus canbyi</i>	22	7.4	0.67	4.5	8.7	2.6	30	4.5	15.9	18.2	7.4	41	5.8	52.0	0.47
<i>Quercus laceyi</i>	20	6.7	0.69	4.7	9.2	3.1	34	4.6	15.9	19.7	7.1	36	6.9	37.8	0.47
<i>Arbutus xalapensis</i>	17	5.7	0.28	1.9	5.6	1.2	21	3.4	9.6	14.1	2.9	21	9.0	22.0	0.40
Resto de especies*	3	1.0	0.05	0.3	9.5	2.3	24	6.3	12.0	17.0	3.0	18	13.5	22.0	0.56

* *Quercus polymorpha*, *Juglans mollis*, *Cercis canadensis*, *Prunus serotina* y *Rhus virens*.

individuos de la población, así como de 4.5 y 4.7% del área basal total, respectivamente. El resto de las especies son de baja densidad.

El intervalo de variación de la altura y el diámetro de la población, así como el coeficiente de variación ($S_h\% = 39$, $S_d\% = 46$) muestran una gran heterogeneidad en el rodal, pero los resultados no señalan si existe una acentuada diferenciación dimensional de las especies.

Esta variación está presente en la mayoría de ellas; así, por ejemplo, *P. pseudostrobus* tiene un $S_h\% = 33$ y $S_d\% = 43$. Para efectuar una comparación entre estos resultados de heterogeneidad se analizó la información de un rodal homogéneo, ubicado en la Sierra Madre Occidental, con una edad promedio de 50 años, donde las especies son *Pinus cooperi* Blanco y *Pinus leiophylla* Schiede & Deppe; el área sin aclareo $S_h\% = 13$ y $S_d\% = 24$, área con fuerte aclareo $S_h\% = 9$ y $S_d\% = 20$ (Aguirre *et al.*, 1998). El valor bajo de h/d en la mayoría de las especies arbóreas puede obedecer a que los rodales están expuestos a una fuerte incidencia de luz.

Análisis de abundancia, dominancia y frecuencia de las especies arbóreas

En el Cuadro 2 se muestran los valores absolutos y relativos de abundancia, dominancia y frecuencia de las especies arbóreas. Los valores obtenidos de los sitios de muestreo, comparados con la medición total de la población, manifiestan variaciones porcentuales de los valores de abundancia y dominancia, positivas y negativas.

Dentro del ecosistema, estos mismos parámetros varían de forma sustancial, a partir de los valores de los sitios de muestreo (+14% N/ha y +33% G/ha). Estas diferencias son más fuertes en la mayoría de las especies, las cuales subestiman el número de individuos y el área basal de cada una de ellas, con excepción de *P. pseudostrobus* que tiene porcentajes muy similares en valores absolutos y relativos de la abundancia (+08 y -05%, respectivamente); aquí destaca el valor relativo de dominancia, que es idéntico al de la medición total de la población. La discrepancia entre los resultados de los sitios de muestreo y la medición total puede disminuir si se agrupan las especies y se utilizan valores relativos, como por ejemplo con *Quercus* que alcanza porcentajes de abundancia de +03% y de dominancia de +12%.

En cuanto a la frecuencia, *Pinus pseudostrobus* resulta ser la de mayor importancia, ya que ocurre en 89% de los sitios de muestreo, posteriormente *Juniperus flaccida* y *Quercus rysophylla* están presentes en 35% de los sitios.

Cuadro 2. Análisis de abundancia, dominancia y frecuencia de las especies que corresponden a los sitios de muestreo, en comparación con la medición total de la población.

Especie	Abundancia (N/ha)		Dominancia (A.B. = m ² /ha)		Frecuencia
	Abs	Rel	Abs	Rel	Rel
Total					
<i>Pinus pseudostrobus</i>	183 (+08)	53.8 (-05)	13.53 (+26)	72.2 (0)	89
<i>Juniperus flaccida</i>	44 (+51)	12.9 (+33)	1.00 (-07)	5.3 (-26)	35
<i>Quercus rysophylla</i>	56 (+47)	16.5 (-49)	2.16 (+62)	11.5 (+28)	35
<i>Quercus canbyi</i>	13 (-41)	3.8 (-49)	0.15 (-78)	0.8 (-72)	17
<i>Quercus laceyi</i>	25 (+25)	7.4 (+10)	1.50 (+117)	8.0 (+70)	15
Suma (<i>Quercus</i>)	94 (+118)	27.7 (+03)	3.81 (+42)	20.3 (+12)	67
<i>Arbutus xalapensis</i>	13 (-24)	3.8 (-33)	0.25 (-11)	1.3 (-32)	20
Otras especies	6 (+100)	1.8 (+80)	0.16 (+220)	0.9 (+200)	2
Total	340 (+14)	100	18.75 (+33)	100	

Diferenciación dimensional

Índice porcentual de mezcla de especies arbóreas (DM).- En el Cuadro 3 se detecta que sólo 20.4% de la población convive con individuos de la misma

especie y 79.6% crece, por lo menos, con uno de otra especie, lo que significa que es bosque irregular, en el que la mayoría se desarrolla junto a ejemplares de otras especies. Es común que *Pinus pseudostrobus* crezca alrededor de miembros de la misma especie, y sólo 17.2% con individuos de especies diferentes.

Cuadro 3. Índice de mezcla de especies (\overline{DM}).

Especie	\overline{DM}				Total
	0.00	0.33	0.67	1.00	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	27.7	37.9	17.2	17.2	100
<i>Juniperus flaccida</i>	0.0	42.8	0.0	57.2	100
<i>Quercus rysophylla</i>	11.1	11.1	44.5	33.3	100
<i>Quercus canbyi</i>	50.0	0.0	0.0	50.0	100
<i>Quercus laceyi</i>	25.0	25.0	0.0	50.0	100
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.0	0.0	50.0	50.0	100
Otras especies	0.0	0.0		100	100
Total	20.4	27.8	18.5	33.3	100

0.00 = todos los individuos del muestreo son de la misma especie; 0.33 = uno de los vecinos del árbol cero pertenece a otra especie; 0.67 = dos de los tres vecinos son de una especie distinta; 1.00 = los tres vecinos del árbol cero corresponden a una especie distinta.

Juniperus flaccida y *Quercus rysophylla*, por lo general, se ubican junto a otras especies y 50% de los individuos de *Quercus canbyi* se desarrollan rodeados de individuos de la misma especie.

De los resultados obtenidos del índice porcentual de mezcla de especies arbóreas (DM) no se logra aclarar ninguna diferenciación sobre cuál especie es el árbol-muestra y cuál es su vecino más cercano, por lo que se elaboró la Figura 3. En ella se observa que 62% de *P. pseudostrobus* tiene como primer vecino a un pino igual, y 17% tiene como árbol próximo a *Quercus rysophylla*. Con excepción de *Q. canbyi*, todas las especies tienen como árbol más cercano a *P. pseudostrobus*. 50% de *Q. rysophylla*, *Q. canbyi* y *Q. laceyi* tienen como primer vecino a individuos de la misma especie. *Arbutus xalapensis* no coexiste con sus semejantes.

Índice de distribución vertical de especies

En el Cuadro 4 se presenta la proporción de las especies de acuerdo a las diferentes zonas de altura. La distribución vertical de los árboles en esta población demuestra que sólo 4.2% del área basal de todos los individuos se ubican en el estrato I, 34.4% corresponde al estrato II y 61.4% se sitúa en el estrato III. La especie principal, *Pinus pseudostrobus* crece, por lo general en todos los estratos: 100% en el estrato superior, 85.8% en el estrato medio y 37% en el estrato inferior; este pino es predominante en cada estrato.

Las distintas especies de *Quercus* junto con *Juniperus flaccida* se ubican de manera mínima en la zona II y en mayor proporción en la zona III; *Quercus rysophylla* es la especie de mayor ocurrencia, después de *P. pseudostrobus* en el estrato III, con 18.1%, seguida de *Juniperus flaccida* y *Q. canbyi* con 14.6% y 10.8%, respectivamente.

Al comparar la información obtenida de la población con los sitios de muestreo, los resultados son similares: *Pinus pseudostrobus* está en los tres estratos con porcentajes semejantes en ambas condiciones. En la distribución vertical de los sitios de muestreo se observa que 5.1% del total de los individuos se localiza en el estrato I con respecto a 4.2% de la población. En el estrato II de los sitios de muestreo se ubica 37.5% del total de los individuos, y 34.4% de la población. Finalmente, para el estrato III el muestreo indica una ocupación del 57.4% del total de los individuos contra 61.4% en la población.

En cuanto al número de especies en los diferentes estratos, tanto en la población como en el muestreo, son similares, a excepción del estrato III, donde los resultados del muestreo indican un menor número de especies. Cabe destacar que dichas especies son las de menor proporcionalidad en la población debido a la baja densidad.

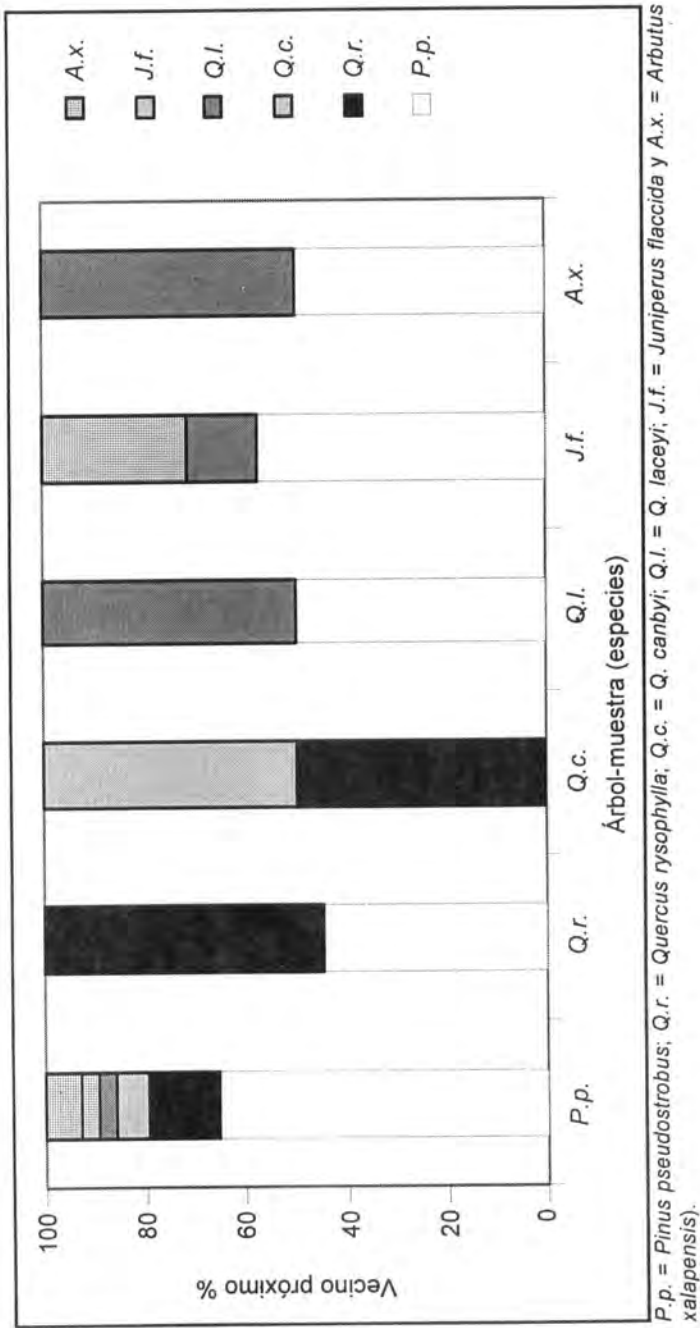


Figura 3. Valor relativo de las especies conforme al índice porcentual de mezcla de especies.

Cuadro 4. Descripción de la distribución vertical de especies.

Especie	Población				Muestreo			
	No. Ind.	%	% Área Basal	% Zona de altura	No. Ind.	%	% Área Basal	% Zona de altura
Estrato I*								
<i>Pinus pseudostrobus</i>	27	7	4.2	100.0	11	10	5.1	100.0
Subtotal	27		4.2	100.0	11		5.1	100.0
Estrato II*								
<i>P. pseudostrobus</i>	192	53	29.6	85.8	65	58	30.1	80.3
<i>Quercus rysophylla</i>	10	12	1.5	4.5	5	16	2.3	6.2
<i>Q. canbyi</i>	6	12	0.9	2.6	2	14	0.9	2.4
<i>Q. laceyi</i>	10	23	1.5	4.5	6	38	2.8	7.4
<i>Juniperus flaccida</i>	6	9	0.9	2.6	3	11	1.4	3.7
Subtotal	224		34.4	100.0	81		37.5	100.0
Estrato III*								
<i>P. pseudostrobus</i>	147	40	22.7	37.0	37	33	17.1	29.8
<i>Q. rysophylla</i>	72	88	11.1	18.1	26	84	12.0	21.0
<i>Q. canbyi</i>	43	88	6.6	10.8	12	86	5.6	9.7
<i>Q. laceyi</i>	33	77	5.2	8.3	10	63	4.6	8.1
<i>J. flaccida</i>	58	91	8.9	14.6	25	89	11.6	20.2
<i>Arbutus xalapensis</i>	37	100	5.7	9.3	13	100	6.0	10.4
<i>Juglans mollis</i>	2	100	0.3	0.5	0	0	0.0	0.0
<i>Q. polymorpha</i>	2	100	0.3	0.5	1	100	0.5	0.8
<i>Rhus virens</i>	1	100	0.2	0.3	0	0	0.0	0.0
<i>Cercis canadensis</i>	1	100	0.2	0.3	0	0	0.0	0.0
<i>Prunus serotina</i>	1	100	0.2	0.3	0	0	0.0	0.0
Subtotal	397		61.4	100.0	124		57.4	100.0
Total	648		100.0		216		100.0	

*Estrato I = sobre 80 hasta 100%:>19.2 m; Estrato II = sobre 50 hasta 80%:>12.0-19.2 m; Estrato III = 0 hasta 50%: 0-12.0 m.

La caracterización de la diversidad de especies a nivel de estructura vertical se determinó con base en la información de la población y los sitios de muestreo, con los siguientes resultados:

Población $A = 2.07$; $A_{\max} = 3.50$; Muestreo $A = 2.11$; $A_{\max} = 3.04$

Los valores obtenidos muestran una gran similitud, en comparación con la población. El del índice A es cercano al de A_{\max} , por lo que se concluye que se trata de un rodal que se conforma de diferentes especies y que alguna de ellas está presente dentro de todos los estratos.

Con base en los resultados de este trabajo y lo consignado por Lamprech (1990) y Pretzsch (1996), se asume que es necesario llevar a cabo una nueva división de los bosques multicohortales e incoetáneos, donde existe una gran radiación lumínica y los árboles crecen en su mayoría sin competencia por nutrientes, sería razonable que esta reclasificación se efectuara en función de la copa de los árboles y de la proyección porcentual de su sombra o bien, por categorías diamétricas.

Índice de diferenciación diamétrica (TD)

Los índices de diferenciación dimensional describen la estructura horizontal del ecosistema de forma confiable. Mediante la clasificación del intervalo de valores de TD entre 0-1 y la representación de la distribución porcentual de los valores de TD de los sitios de muestreo en clases, se genera información detallada sobre la estructura propia del ecosistema.

El ordenamiento de valores de TD de Földner (1995) en 10 clases de diferenciación dimensional, se modificó en cinco grupos, que corresponden a los definidos por Aguirre *et al.* (1998): baja: 0.0-0.2; moderada: 0.2-0.4; media: 0.4-0.6; fuerte: 0.6-0.8; muy fuerte: 0.8-1.0.

En el Cuadro 5 se muestra la distribución de los valores del índice de diferenciación diamétrica (\overline{TD}), fraccionado en 5 grupos de diferenciación para la población y las especies en cuestión. De manera general se puede advertir que 40.7% de los árboles-muestra se ubican en la clase de diferenciación baja y 29.6% en la moderada, es decir, que 70% de la población tiene baja diferenciación diamétrica.

En un ecosistema mixto esta respuesta general resulta insuficiente, debido a que ciertas especies son poco diferenciables. Del número de individuos, las especies de mayor representatividad en la población son *P. pseudostrabus* y *Q. rysophylla*, ubicándose en la categoría de baja diferenciación diamétrica.

Cuadro 5. Diferenciación diamétrica (\overline{TD}).

Especie	\overline{TD} (%)					Total
	0.0 - 0.2 baja	0.2 - 0.4 moderada	0.4 - 0.6 media	0.6 - 0.8 fuerte	0.8 - 1.0 muy fuerte	
<i>Pinus pseudostrabus</i>	48.3	24.1	10.4	17.2	0.0	100
<i>Juniperus flaccida</i>	0.0	42.9	57.1	0.0	0.0	100
<i>Quercus rysophylla</i>	55.6	11.1	22.2	11.1	0.0	100
<i>Q. canbyi</i>	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0	100
<i>Q. laceyi</i>	25.0	75.0	0.0	0.0	0.0	100
<i>Arbutus xalapensis</i>	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	100
Otras especies	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
Total	40.7	29.6	18.6	11.1	0.0	100

Índice de diferenciación en altura (\overline{TH})

Utilizando los datos del árbol-cero y su vecino más próximo se determinaron los valores de diferenciación en altura, lo cual permite obtener una medida cuantitativa de la estructura de los ecosistemas forestales. Los valores de diferenciación en altura y la distribución porcentual de los mismos en cinco grupos respectivos describe con mayor precisión la estructura vertical del ecosistema.

La diferenciación en altura (Cuadro 6) corresponde en forma similar a la del diámetro. La primera categoría (0.0 – 0.2) es notablemente baja, 70% de los sitios de muestreo tienen diferenciación escasa, lo que significa que la diferencia en altura entre la mayoría de los árboles vecinos en este rodal es de 40%, es decir se trata de una área con tendencia a la homogeneidad con respecto a esta

variable. Los grupos de media y alta diferenciación tienen una menor proporción (18.5 y 9.3% respectivamente). El grupo de mayor diferenciación no se presenta en este caso.

Cuadro 6. Diferenciación en altura (\overline{TH}).

Especie	(\overline{TH}) (%)					Total
	0.0 - 0.2 baja	0.2 - 0.4 moderada	0.4 - 0.6 media	0.6 - 0.8 fuerte	0.8 - 1.0 muy fuerte	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	58.6	27.6	3.5	10.3	0.0	100
<i>Juniperus flaccida</i>	14.2	42.9	42.9	0.0	0.0	100
<i>Quercus rysophylla</i>	22.2	33.4	22.2	22.2	0.0	100
<i>Q. canbyi</i>	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	100
<i>Q. laceyi</i>	0.0	75.0	25.0	0.0	0.0	100
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0	100
Otras especies	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100
Total	38.9	33.3	18.5	9.3	0.0	100

Con algunas especies esta diferenciación es muy notoria, como sucede con *P. pseudostrobus* y *Quercus canbyi*, que más de 50% de los sitios de muestreo muestran una diferenciación en altura baja.

CONCLUSIONES

Pinus pseudostrobus es la especie con mayor presencia en el ecosistema pino-encino, seguido de *Quercus rysophylla* y *Juniperus flaccida*.

Al utilizar los parámetros de abundancia, dominancia y frecuencia procedentes de los sitios de muestreo en comparación con la medición total de la población se manifiestan variaciones sustanciales de estos valores dentro del ecosistema (+14% N/ha y +33% G/ha), por lo que se recomienda agrupar a las especies y utilizar valores relativos.

De acuerdo al índice porcentual de mezcla de especies, el ecosistema es un bosque irregular, dado que más de 50% de la población crece junto a individuos de otras especies. La diferenciación dimensional tanto en diámetro como en altura de los árboles muestra y sus vecinos más próximos favorece la realización de un análisis más completo de la estructura horizontal del ecosistema.

Dada la gran similitud de resultados es factible la utilización de los sitios de muestreo para la determinación de la distribución vertical de las especies arbóreas de ecosistemas multicohortales mixtos de pino-encino.

REFERENCIAS

- Aguirre C., O., J. Jiménez P. y B. Vargas. 1997. Análisis estructural del estrato arbóreo de ecosistemas forestales multicohortales. *In: Memoria de Resúmenes III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales.* 36 p.
- Aguirre C., O., H. Kramer y J. Jiménez P. 1998. Análisis de la estructura de ecosistemas forestales. Un caso de estudio en Durango. México. *In: Memoria del Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, Valdivia, Chile.* 11 p.
- Aguirre C., O. A. 2002. Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. *Rev. Cien. For. en Méx.* 27(92). pp. 5-28.
- Alanís G., G. Cano y M. Rovalo. 1996. Vegetación y flora de Nuevo León. Una guía botánica-ecológica. Ed. Imp. Monterrey. Monterrey N.L., México. 251 p.
- Albert, M., K. Gadow V. und H. Kramer. 1995. Zur Strukturbeschreibung in Douglasien-jungbeständen am Beispiel der Versuchsflächen Manderschied und Uslar. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung* 166 (11): 205-210.
- Clark, J. and C. Evans. 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35: 445-453.
- De Camino, R. 1976. Zur Bestimmung der Bestandeshomogenität. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung* 147 (2/3): 54-58.
- Földner K. and K. Gadow V. 1994. How to define a thinning in a mixed deciduous beech forest. *In: Mixed Stands. Proceeding from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 and S4.01-04.* Lousa & Coimbra, Portugal. pp. 31-42.

- Füldner K. 1995. Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern. Dissertation, Forstl. Fakultät d. Universität Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen, Deutschland. 146 p.
- Gadow V., K. und K. Füldner. 1992. Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. Tagungsbericht der Arbeitsgruppe Forsteinrichtung, Klieken bei Dessau. 133 (1/7): 23-26.
- Gadow V., K. und K. Füldner. 1995. Zur Beschreibung forstlicher Eingriffe. ForstwCbl. pp. 114, 151-159.
- Gadow V., K. 1999. Waldstruktur und Diversität. Aus dem Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Georg-August Universität Göttingen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 170 (7): 117-122.
- Jiménez P., J. y H. Kramer. 1991. Breve análisis sobre la situación actual de los recursos forestales en México. Reporte Científico No. Esp. 7. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. México. 21 p.
- Jiménez P., J. y H. Kramer. 1992. Dinámica del crecimiento de especie arbóreas en un rodal mixto-incoetáneo mediante la metodología de análisis troncal. Reporte científico No. 31. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. México. 36 p.
- Jiménez P., J., O. Aguirre C. and H. Kramer. 1998. Bestandes Strukturanalyse in ungleichtrigen Kiefern-Wacholder-Eichen-Mischwald Nordostenmexikos. Forstarchiv 69 (6): 227-234.
- Kramer, H. und A. Akça. 1995. Waldmeßlehre. J.D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt, Deutschland. 266 p.
- Lamprecht, H. 1986. Waldbau in der Tropen. Paul Parey, Hamburguniversität, Berlin, Deutschland. 318 p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Ed. GTZ Alemania. 336 p.
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, Co. New York, NY. USA. 547 p.
- Müller-Using, B. 1994. Contribución al conocimiento de los bosques de encino y y encino-pino en el Noreste de México. Reporte Científico No. 14. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L., México. 194 p.
- Nagel, J. 1994. Structural analyses of the Forest Reserve Saubrink on the basis of a permanent sample plot data. Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 and S4.01-04. Lousa & Coimbra. Portugal. pp. 81-96.
- Pommerening, A. 1997. Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in Strukturreichen Wäldern. Dissertation. Forstl. Fakultät d. Universität Göttingen. Cuvillier Verlag. Göttingen, Deutschland. 150 p.

- Pretzsch, H. 1996. Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handelns. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sekt. Ertragskunde. Jahrestagung 1996. Nehresheim, Deutschland. pp. 134-154.
- Wilson E., R. Cole and D. Nichols. 1996. Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals. Smithsonian Institute Press. Washington, DC. USA. 409 p.
- Woerner, M. 1990. Los suelos del Bosque Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León en la Sierra Madre Oriental, Iturbide, N. L. Reporte Científico No. 20. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L., México. 56 p.
- Wolf, C., U. Carreón y J. González. 1986. Diagnóstico de la utilización de productos forestales en el noreste de México. Fundamentos ecológicos, usos actuales y potenciales de los bosques y matorrales del noreste de México. Schr. D. Forstl. Fak. D. Univ. Gottingen ud. Nds. Forstl. Versuchsanstalt, Bd. 84. pp. 117-127.

LONGITUD DE LAS RAMAS DE *Taxodium mucronatum* (Ten.) Y *Platanus mexicana* (Moric.) EN ARROYO SECO, QUERÉTARO

Iván Castellanos-Vargas¹, Martha A. García-Hernández¹,
Mónica A. García-Hernández¹, Zenón Cano-Santana¹ y
Cinthya M. Peláez-Rocha¹

RESUMEN

La ramificación de *Taxodium mucronatum* y *Platanus mexicana* fue estudiada en un bosque de galería en Arroyo Seco, Querétaro. Se midió la altura de los árboles, su perímetro a la altura del pecho (PAP) y la longitud de las ramas dirigidas hacia el río y hacia el exterior de éste. El muestreo se realizó en el margen suroeste (SO) del río, cercano a la orilla de la carretera, colindante con un terraplén artificial y en el margen noreste (NE). Los árboles de *T. mucronatum* fueron más altos y tuvieron mayores P.A.P. (altura: $15.2 \pm e.e. 1.0$ m; PAP: 290.9 ± 77.8 cm) en comparación con *P. mexicana* (altura: 8.5 ± 0.2 m; PAP: 30.0 ± 5.4 cm). No se encontraron diferencias significativas entre especies en la longitud de las ramas. En el caso de *T. mucronatum* dicha dimensión fue de 4.8 ± 0.4 m, mientras que para *P. mexicana* fue 4.2 ± 0.3 m. Las ramas de los árboles de ambas especies localizados en el margen SO son más largas cuando se dirigen hacia el río que las que se dirigen hacia afuera de éste. En contraste, los árboles de ambas especies que crecen en el margen NE son simétricos. Se concluye que el terraplén existente en el margen SO del río impide el crecimiento de las ramas así como la entrada de luz, hecho que no se presenta en el margen NE.

Palabras clave: Arquitectura de árboles, bosque de galería, luz, *Platanus mexicana*, río, *Taxodium mucronatum*.

Fecha de recepción: 12 de julio de 2005.
Fecha de aceptación: 31 de octubre de 2006.

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. Correo-e: zcs@hp.fciencias.unam.mx

ABSTRACT

Ramification of *Taxodium mucronatum* and *Platanus mexicana* were studied in a riparian forest located in the Arroyo Seco municipality of Querétaro, México. Tree height, basal perimeter (B.P.) (1.30 m chest height), as well as the length of the branches directed towards the river and to the opposite direction were measured. Sampling was performed in the northeastern river margin (NE) as well as in the southwestern (SW) river margin, near the border of the highway, which is affected by an artificial embankment. *T. mucronatum* trees were higher and had a greater B.P. (mean height: $15.2 \pm \text{s.e. } 1.0$ m; mean B.P.: 290.9 ± 77.8 cm) than *P. mexicana* trees (mean height: 8.5 ± 0.2 m; mean B.P.: 30.0 ± 5.4 cm). There are non-significant differences between species in branch length. Branch length of *T. mucronatum* was 4.76 ± 0.40 m; whereas *P. mexicana* had 4.18 ± 0.28 m. The branches of the two tree species located at the SW margin were longer when oriented to the river than those oriented towards the opposite direction. In contrast, the trees of the two species located in the NE margin are symmetric. It was concluded that the embankment of the SW margin does not allow full branch development as well as enough light intake; these conditions are not present in the NE margin.

Key words: Light, *Platanus mexicana*, riparian forest, river, *Taxodium mucronatum*, trees architecture.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de galería constituyen asociaciones vegetales discordantes en el entorno y se desarrollan en los márgenes de los cauces de los ríos, arroyos y canales (Treviño *et al.*, 2001). Entre sus elementos florísticos destaca la presencia de árboles con afinidades tropicales cuyas alturas varían de 4 hasta 40 m de alto, con un dosel multiestratificado y un patrón de ramificación simétrica, todo lo cual, en su conjunto, le confiere una estructura vertical compleja (Sánchez, 1986; Barthélémy *et al.*, 1989). Los árboles son representativos de una gran riqueza de especies perennifolias y reúnen una mayor biomasa, en comparación con la vegetación circundante (Zimmermann y Brown, 1971), que en México, suele estar dominada por hierbas anuales y arbustos ruderales perennes con afinidad a climas templados (Rzedowski, 1978; Treviño *et al.*, 2001).

Estos últimos aspectos son favorecidos principalmente por la presencia de agua freática disponible a lo largo del año (Lamprecht, 1990). Las paredes de los barrancos, cañones o terraplenes por los que atraviesan los ríos afecta negativamente la longitud de las ramas de los árboles que crecen en estos bosques, porque el estrecho espacio comprendido entre las paredes y el cauce del río actúa como una barrera que restringe las dimensiones potenciales

que pueden alcanzar dichas estructuras en su madurez. El espacio es un factor limitante del crecimiento de los árboles y puede definir su asimetría en el dosel, ya que desarrollan ramas más largas hacia el interior del río, conformando así un túnel o arco de vegetación que resguarda el afluente de agua, mientras que en dirección contraria, las ramas son más cortas como una respuesta del crecimiento a la presencia del obstáculo (Halle *et al.*, 1978).

Con base en lo anterior, se planteó el presente estudio cuyos objetivos fueron los siguientes:

- Determinar si las longitudes que alcanzan las ramas de *Taxodium mucronatum* Ten. (Pinaceae) y de *Platanus mexicana* Moric. (Platanaceae) son afectadas por el margen del río en el que crecen (ubicación), y
- Comprobar para ambas especies de árboles si las ramas dirigidas hacia el cauce del río son significativamente más largas con respecto a las que están en la dirección opuesta (orientación).

Se espera que las ramas expuestas hacia el interior del cauce del río sean más alargadas con respecto a las que se despliegan hacia la dirección contraria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se llevó a cabo en los terrenos próximos al poblado "El Trapiche", en el estado de Querétaro, en un bosque de galería que bordea un afluente del río Santa María, dentro del municipio de Arroyo Seco, a la altura del kilómetro 17 de la carretera federal interestatal No. 69, que une al municipio de Jalpan de Serra (Querétaro) con el municipio de Río Verde (San Luis Potosí). Las coordenadas geográficas del sitio corresponden a los 21° 20' 9.4" N y los 99° 31' 58.2" O, y la altitud es de 661 m.

En la localidad, el río tiene un caudal de 9.0 m de ancho; en la parte más honda, una profundidad aproximada de 1.50 m y corre en dirección SO-NE (Figura 1). La porción de tierra comprendida en el extremo SO es más angosta ($5.25 \pm e.e. 1.13$ m), y este efecto es provocado por un terraplén en el que se construyó parte de la carretera arriba citada y que colinda con el cauce del río; el valor de la pendiente en este sitio es de 25° (45%).

El margen NE del río se avecinda con un potrero a terreno abierto y la proximidad con la pendiente más cercana en este extremo es de alrededor 250 m; el valor de inclinación que se alcanza es de 12° (20%).

El suelo en ambos márgenes está dominado por entisoles muy someros con grandes afloramientos de lutitas abigarradas y rocas calizas, así como cantos rodados con caras subangulares, presentes dentro del afluente del río,



Figura 1. Vista general del bosque de galería de Arroyo Seco, Querétaro. El lado izquierdo de la fotografía corresponde al margen SO y el lado derecho al margen NE. En el primer plano aparece un ejemplar de *Taxodium mucronatum* Ten. (Pinaceae).

principalmente. Ambos tipos de rocas (lutitas y cantos) suelen ser utilizados en la construcción de carreteras y terraplenes que sostienen pasos a desnivel entre los cerros del sitio y su colocación en los márgenes del río puede reducir el espacio disponible para el asentamiento de la vegetación ribereña.

El clima de la localidad es cálido subhúmedo con régimen de lluvias en verano, con temperatura media anual de 24.2°C; los meses más calurosos son abril y mayo, cuando la temperatura llega a alcanzar hasta 44.5°C y la estación más fría se registra entre diciembre y febrero, con temperaturas de 2.5°C; su precipitación anual promedio es de 850 mm (Vargas, 1984; SAGARPA, 2003).

Los elementos florísticos dominantes dentro del bosque de galería de esta localidad son *Taxodium mucronatum* y *Platanus mexicana*.

El ahuehuate o sabino (*T. mucronatum*) es un árbol de 20 a 30 m de alto con fuste grueso, lobulado o con abultamientos irregulares, y sus ramas son robustas, torcidas y extendidas o poco levantadas que forman una copa amplia e irregular. Es propio de lugares bajos y semicálidos y crece a las orillas de los arroyos y los ríos, aunque se adapta a lugares templados y sitios sin agua superficial. Su distribución abarca altitudes desde 300 a 2100 m y se observa en casi todo el país, especialmente en San Luis Potosí, Querétaro, Durango, Guerrero, Michoacán y Oaxaca (Martínez, 1953).

El álamo (*P. mexicana*) es un árbol caducifolio o perennifolio que llega a medir de 15 a 25 m, con un nivel máximo de 40 m de alto, con diámetro a la altura del pecho de 80 cm a 1.0 m y un fuste masivo con ramificación irregular (Martínez, 1953). En México, se distribuye ampliamente en los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz y Chiapas, en altitudes que varían de 160 a 1800 m, y se establece principalmente a lo largo de arroyos y ríos (Martínez, 1994).

A fin de determinar la estructura de las alturas y grosores de los fustes en función del PAP (perímetro a la altura del pecho) (1.30 m de altura de la base del árbol) de ambas especies de árboles, se midieron 10 individuos de cada una de ellas con el método indirecto del triángulo rectángulo (Kennet, 1973; Southwood, 1978). El análisis estadístico para hacer la comparación entre las alturas y el PAP fue realizado mediante dos pruebas de *t* para muestras independientes (Zar, 1999).

Con la finalidad de conocer el patrón de simetría de la ramificación de las especies de interés, se midió la longitud de las ramas, tanto las dirigidas hacia el afluente como hacia la dirección contraria al mismo, de 31 ejemplares de *T. mucronatum* y de *P. mexicana* en el margen SO del río; en el margen NE, se seleccionaron 24 árboles de *T. mucronatum* y 17 de *P. mexicana*. Se aplicaron los siguientes criterios: que la altura total de cada individuo de ambas especies

fuera superior a 2 m y además, que su diámetro a la altura del pecho estuviera entre 7 y 217 cm para *T. mucronatum*, y de *P. mexicana* entre 15 y 180 cm.

Para saber si la longitud de las ramas de *T. mucronatum* varía en relación a las de *P. mexicana*, los valores fueron agrupados sin considerar el margen del río (SO-NE) en que se asientan ni su orientación (hacia el cauce o en dirección contraria) y fueron analizados con una prueba de *t* para muestras independientes (Zar, 1999).

Finalmente, con el propósito de conocer cómo es afectada la longitud de las ramas por cada especie de árbol y su interacción con la ubicación con respecto al margen en el que crecen (SO o NE) y la orientación de las ramas (hacia el cauce del río o en dirección contraria a éste) se hizo un análisis de varianzas de vías múltiples con el paquete Statistical ver. 5. En caso de que las interacciones previstas por este análisis resultaran significativas, se aplicó una prueba de Tukey para la determinación de las diferencias entre celdas.

RESULTADOS

Con base en los análisis descritos, los resultados indican que los árboles de *T. mucronatum* fueron significativamente más altos ($t = 19.43$ g.l. = 168 $P < 0.001$) y más gruesos (PAP $t = 17.83$ g.l. = 168 $P < 0.001$; altura: $15.2 \pm e.e. 1.0$ m, intervalo: 10.0-19.2 m, $n = 10$ árboles; PAP: 290.9 ± 77.8 cm, intervalo: 23.8-680.0 cm, $n = 10$ árboles) en comparación con los árboles de *P. mexicana* (altura: 8.5 ± 0.2 m, intervalo: 7.7-9.8 m, $n = 10$ árboles; PAP: 30.0 ± 5.4 cm, intervalo: 6.2-55.1 cm, $n = 10$ árboles).

Al agrupar los datos de ambas ubicaciones para cada especie se encontró que las ramas de *T. mucronatum* miden 4.8 ± 0.4 m (intervalo: 0.2-17.2, $n = 110$), mientras que las de *P. mexicana* miden 4.2 ± 0.3 m (intervalo: 0.4-11.8, $n = 96$).

En el Cuadro 1 se muestra el análisis de varianzas de vías múltiples aplicado para analizar el efecto de las interacciones entre las especies de árboles, la ubicación que tienen los árboles (margen SO y NE) y la orientación hacia la que se dirigen las ramas sobre la longitud de las mismas.

La longitud de las ramas de ambas especies es afectada significativamente por su orientación (hacia el cauce del río o en dirección contraria a éste); así como también por las interacciones especie \times orientación; ubicación en el margen (SO o NE) \times orientación y especie \times ubicación \times orientación.

En la Figura 2 se ilustra la variación de las longitudes de las ramas por especie, por ubicación y por orientación.

Cuadro 1. Análisis de varianza de vías múltiples para determinar el efecto de la especie (E), la ubicación en el margen del río (U), la orientación de las ramas (O) y sus interacciones sobre la longitud de las ramas de un bosque de galería en el municipio de Arroyo Seco Querétaro, México.

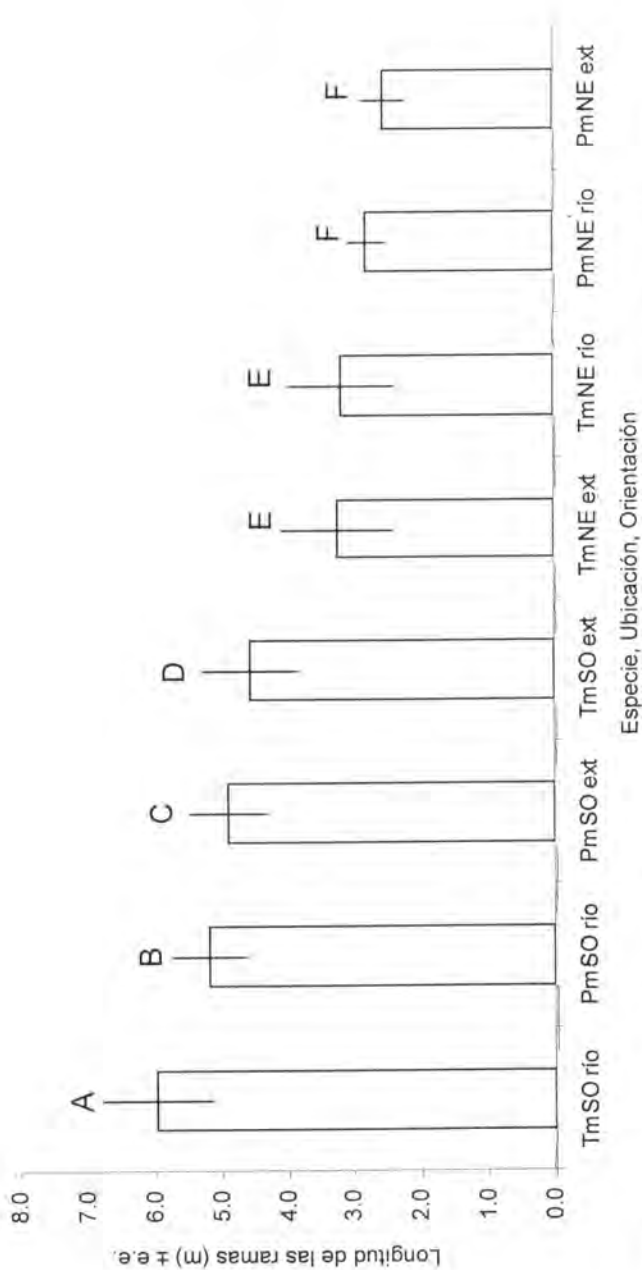
Efecto	g.l. efecto	C.M. efecto	g.l. error	C.M. error	F	P
Especie	1	719.98	2	636.85	1.13	0.480
Ubicación	1	23770.42	2	1069.36	22.22	0.133
Orientación	1	675.93	2	11.83	57.09	4 × 10⁻¹⁴
E × U	1	114.76	12	204.89	0.56	0.591
E × O	1	636.85	12	11.83	53.79	2 × 10⁻¹³
U × O	1	1069.36	12	11.83	90.32	2 × 10⁻²¹
E × U × O	2	204.89	24	11.83	17.30	3 × 10⁻⁵

(Aparecen en negritas los valores significativos).

En la Figura 2 se ilustra la variación de las longitudes de las ramas por especie, por ubicación y por orientación.

Las ramas de los árboles de *T. mucronatum* ubicados en el margen SO del cauce y que crecen orientadas a favor del río fueron significativamente más largas que todas las demás ramas (longitud: $6.0 \pm e.e. 0.8$ m (intervalo: 0.6-17.2, $n = 31$); en segundo lugar estuvieron las ramas de los árboles de *P. mexicana* ubicados en el margen SO y que se orientan a favor del cauce del río (longitud: $5.2 \pm e.e. 0.5$ m, intervalo: 0.4-11.3 $n = 31$); en tercer lugar, las ramas de esta misma especie en el margen SO orientadas hacia el lado contrario del río (longitud: $4.9 \pm e.e. 0.6$ m, intervalo: 0.4-11.3, $n = 31$); finalmente, las de *T. mucronatum* del margen SO orientadas hacia el lado contrario al cauce del río (longitud: $4.5 \pm e.e. 0.7$ m, intervalo: 0.2-13.0, $n = 31$).

En el margen NE las ramas de *T. mucronatum* no tuvieron longitudes significativamente diferentes en respuesta a la orientación; sin embargo,



Las letras diferentes denotan diferencias significativas con $P < 0.01$ (prueba de Tukey para muestras con distinto tamaño).

Figura 2. Variación de la longitud de las ramas de *Taxodium mucronatum* (Tm) y *Platanus mexicana* (Pm) en función de su ubicación con respecto al margen en el que crecen [suroeste (SO) o noreste (NE)] y de la orientación [hacia el río (río) o hacia el exterior (ext)] en un bosque de galería en Arroyo Seco Querétaro, México.

sus ramas fueron más largas que las de *P. mexicana*. Un comportamiento similar se observó en la longitud de las ramas de esta última especie, en función de su asentamiento en ese lado del río (Figura 2).

DISCUSIÓN

Los resultados sobre la longitud de las ramas de *T. mucronatum* y su simetría respecto a la orientación son consistentes de forma parcial con las evidencias que Enríquez-Peña (2005) ha registrado en otras localidades del estado de Querétaro que también poseen vegetación riparia dominada por esta especie de sabino. La simetría del dosel en la vegetación perenne riparia se había avistado con anterioridad en árboles tropicales asociados al cauce de los ríos permanentes en Norteamérica (Halle *et al.*, 1978); sin embargo en este trabajo las evidencias indican que este patrón puede ser afectado por la topografía del lugar.

La vegetación riparia conforma una galería, que a manera de un túnel o arco resguarda al afluente de agua, dando origen a un microclima de afinidad tropical que funciona como un amortiguador ante los cambios bruscos del estado del tiempo en el exterior; también suele ser usado durante la noche como refugio para muchas especies de hábitos diurnos y algunas especies nocturnas (Martínez, 1953; Miranda y Hernández, 1963; Daubenmire, 1979).

La configuración de la galería se forma por la ramificación de los árboles que crecen en ambos márgenes del cuerpo de agua, la cual según varios autores es simétrica (Rzedowski, 1978; Halle *et al.*, 1978; Barthélémy *et al.*, 1989). Sin embargo, este estudio está basado en datos cuantitativos que revelan que la longitud de las ramas es explicada por un proceso sinérgico entre las tres variables consideradas (especie, ubicación y orientación). Las ramas de ambas especies de árboles que crecen en el margen SO del río y que se orientan hacia el cauce fueron significativamente más largas que aquellas que lo hacen hacia el exterior. Así, las ramas de los árboles de *T. mucronatum* expuestas hacia el río miden, en promedio, 6.0 m mientras que las que desarrollan en la dirección contraria son más cortas, de 4.6 m, en promedio. En el caso de *P. mexicana*, los resultados son consistentes: las ramas hacia el río miden alrededor de 5.2 m y las del lado opuesto, 4.9 m como valor medio (Figura 2).

En este margen (SO) las ramas de ambas especies que se proyectan en sentido contrario al río posiblemente estén siendo afectadas de forma negativa por la presencia del terraplén artificial que funciona como una barrera que limita la longitud que las ramas pueden alcanzar. Este terraplén está ubicado, aproximadamente, a 5.2 m del fuste de los árboles estudiados y tiene una pendiente de 25°. Además, la proximidad de los árboles con esta estructura quizá redunde en una menor incidencia de luz solar durante el ocaso pues al atardecer, en esta localidad los árboles reciben la luz por el margen SO.

Daubenmire (1979) y Salisbury y Ross (1992) afirman que para optimizar la captación de luz solar, las plantas promueven un crecimiento más enfático hacia donde ni la topografía ni otras características de los alrededores obstruyen su llegada. Halle *et al.* (1978) confirman este punto de vista, ya que discuten que la conformación del arco de vegetación sobre el cauce del río define la cantidad de radiación solar que se capta por las ramas de los árboles cuando el sol está en el cenit y ésta ilumina el centro del río. Por el alcance de este trabajo, no fue posible ofrecer datos que precisen la radiación captada hacia el centro del cauce y en los márgenes (SO y NE) para definir el efecto de este factor sobre la longitud diferencial de las ramas de los árboles en cualquiera de las dos orientaciones consideradas, pero el ángulo de la pendiente de los terrenos en ambos márgenes es información interesante en este contexto.

Por otra parte, en la orilla NE los árboles poseen un dosel más simétrico: las ramas de *T. mucronatum* que se disponen hacia el río y las que lo hacen hacia el exterior de éste midieron 3.2 m en ambos casos (Figura 2); a su vez, la longitud de las ramas de *P. mexicana* fueron muy similares de acuerdo con su orientación (2.8 y 2.5 m, hacia el río y en sentido opuesto, respectivamente). Se sugiere que esto se debe a que el cerro que podría obstruir la luz solar al amanecer se localiza en una posición más alejada (250 m) y tiene una pendiente más suave (12°) en comparación con el terraplén.

Si el intervalo de valores del PAP de los árboles de *T. mucronatum* en este estudio fue de 7.0 a 217.0 cm y, con base en las dimensiones propuestas por Enriquez-Peña (2005), se estimó que la edad promedio de los árboles analizados es de 110.5 ± 5.5 años y que el diámetro de las ramas medidas pudo ser de 60.3 cm, aproximadamente. Estos son datos que no se pueden verificar para *P. mexicana*, pues existe poca documentación acerca de los modelos morfométricos que permitan conocer la correlación entre el PAP y el diámetro de sus ramas, así como la edad de los árboles en función de su PAP. Aún cuando se pudiera considerar que los ahuehuetes estudiados son más antiguos que los álamos, la edad es una variable que se manifiesta con características dasométricas muy particulares en función de la especie y de sitio, por lo que habría de confirmarse esta información.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que la longitud de las ramas de los árboles estudiados está determinada por la interacción de tres factores: a) la especie del árbol; b) su ubicación en el margen del río y c) la dirección en la que las ramas se orientan. En el margen SO del río *Taxodium mucronatum* y *Platanus mexicana* tienen ramas más largas orientadas hacia el cauce del río que en dirección contraria a éste. En este mismo lado las ramas con dirección

contraria al río limitan su longitud por la presencia de un terraplén que impide, adicionalmente, la entrada de radiación solar. En la orilla NE del río ambas especies de árboles tienen ramas de igual longitud, lo cual promueve la presencia de un dosel más simétrico debido a que en este margen no existe la influencia de alguna barrera que limite la captación de luz solar o el crecimiento de las ramas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al grupo 5175 de Ecología I (semestre 2005-2) por su amable colaboración en la toma de los datos. A la Unidad de Enseñanza de la Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México por el patrocinio parcial del viaje al sitio de estudio. A Marco A. Romero por su asistencia técnica con el equipo de cómputo y a Miguel Hernández-Alva por su trabajo fotográfico, así como a dos revisores anónimos del manuscrito, cuyos comentarios ayudaron a enriquecer este trabajo de forma importante.

REFERENCIAS

- Barthélémy, D., C. Edelin and F. Halle. 1989. Architectural concepts for tropical trees. *In*: Holm-Nielsen, L. B., I. Nielsen and H. Balslev (Eds.): Tropical forest: botanical dynamics, speciation and diversity. Academic Press, Ltd. London, UK. pp. 89-100.
- Daubenmire, R. 1979. Ecología vegetal. Tratado de autoecología de plantas. Ed. LIMUSA. México. 496 p.
- Enriquez-Peña, E. G. 2005. Estructura poblacional y demográfica de *Taxodium mucronatum* (Ten.) en sistemas riparios en el Estado de Querétaro. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 250 p.
- Halle, F., R. A. A. Oldeman and P. B. Thomlinson. 1978. Tropical trees and forest-an architectural analysis. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 35-45.
- Kennet, A. K. 1973. Quantitative and dynamic plant ecology. Edward Arnold Press, Ltd. London, UK. 309 p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Deutschland. 335 p.
- Martínez, M. 1953. Las pináceas mexicanas. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Subsecretaría de Recursos Forestales y de Caza, México, D.F. 363 p.
- Martínez, M. 1994. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 163 p.
- Miranda, F. y E. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. Méx. 28: 29-179.

- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. LIMUSA. México. 432 p.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1992. Plant physiology.. Wadsworth, Inc. Belmont, CA, USA. 682 p.
- Sánchez, S. 1986. Vegetación de galería y sus relaciones hidrogeomorfológicas. Ingeniería Hidráulica en México. pp. 70-78.
- SAGARPA. 2003. Estado de Querétaro. http://www.gro.sagarpa.gob.mx/datos_estado/clima.htm (9 de Julio de 2005).
- Southwood, T. R. E. 1978. Ecological methods. Chapman & Hall, Ltd. London, UK. 255 p.
- Treviño, E., C. Cavazos y O. Aguirre C. 2001. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. Madera y Bosques. 7 (1): 13-25.
- Vargas, M. F. 1984. Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México, D.F. 266 p.
- Zar, J. H. 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall Co. Nueva Jersey, NJ. USA. 663 p.
- Zimmermann, M. H. y C. L. Brown. 1971. Trees structure and function. Springer-Verlag. Berlin, Germany. pp. 87-99.

CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA DE LOS SITIOS DE PLANTACIÓN DEL PARQUE TEZOZÓMOC, DISTRITO FEDERAL

Juana Ma. Castro Servín¹, Belsabe Pérez Rodríguez¹,
Arizbeth González López¹, Erika L. Pérez Salgado¹,
Sarahí Cortez Vázquez¹ y Liliana Olivares López¹

RESUMEN

El Parque Cultural y Recreativo Tezozómoc, D. F. (PCyRT-D.F.) tiene gran importancia en el bienestar de los habitantes de la delegación Azcapotzalco del Distrito Federal y áreas circundantes, debido a que es un sitio cultural, de esparcimiento y de rescate ecológico. Está integrado por un lago central artificial rodeado de montículos que representan las sierras del Valle de México. En la actualidad presenta varios problemas, uno de los cuales es el impacto que en diferentes aspectos ejerce el área urbana. Se identifican como los principales enemigos de la vegetación en estas zonas a las plagas y enfermedades; otros factores importantes son: el vandalismo, utilización de aguas residuales en los riegos, rellenos sanitarios, microclima, contaminación ambiental y plantaciones realizadas con especies no adecuadas en suelos muy drenados o compactados. El estudio de caracterización edafológica del parque se realizó con 23 sitios. El muestreo de suelos se hizo a diferentes profundidades y en forma paralela se tomaron muestras de vegetación dominante, las cuales se procesaron en el laboratorio de Tratamiento de Gases y Desechos Sólidos del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos "Miguel Othón de Mendizábal" (CECyT-MOM), los métodos aplicados en los análisis fueron los tradicionales para suelos y plantas. Los resultados indican que las propiedades físicas y químicas de los suelos son semejantes en todos los casos, como respuesta al tipo de material de relleno con el que se formaron, al agua de riego y a la contaminación ambiental; los mismos factores y efectos se observaron en la vegetación.

Palabras clave: Aguas residuales, contaminación, metales pesados tóxicos, Parque Tezozómoc, plantaciones urbanas, suelos artificiales.

Fecha de recepción: 11 de febrero de 2005.

Fecha de aceptación: 03 de noviembre de 2006.

¹ Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos "Miguel Othón de Mendizábal" (CECyT-MOM), IPN. Correo-e: castrojm@hotmail.com

ABSTRACT

The Tezozomoc Park is very important in Azcapotzalco county (Mexico City) and its surrounding areas, since it is an ecological reserve where cultural activities take place. Its artificial lake at the center of the park is surrounded by mounds that represent the Valley of Mexico. It faces several problems, one of which is the effect of the urban areas. Insect and disease problems are the major vegetation enemies; important factors, too, are vandalism, use of wastewaters for irrigation, sanitary refills, microclimate, environmental pollution and plantations with improper species over excessively drained and compacted soils. The edaphological description was made over 23 sites. Sampling was made at different depths and dominant vegetation samples were taken too, all of which were analyzed at the Gas Treatment and Solid-Waste Laboratory of the Miguel Othon de Mendizabal Scientific and Technological Center (CECyT-MOM), where conventional methods were followed. Results showed that the physical and chemical properties of the soils are similar in all cases, as a response to the kind of refill materials, to the irrigation waters as well as to the environmental pollution; the same factors and effects were observed on vegetation.

Key words: Sanitary water, pollution, toxic heavy metals, Tezozomoc Park, urban plantations, artificial soil.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista ecológico, la Ciudad de México se localiza en una zona donde la posición geográfica, altitud, topografía y condiciones edafológicas se combinan para dar lugar a un mosaico florístico muy variado.

Las culturas prehispánicas daban gran importancia a plantas y animales; así, los Mexicanos contaban con bellos jardines entre los que destacaban: el Bosque de Chapultepec, lugar reservado para los emperadores; el jardín de Oaxtepec, que contenía todas las plantas tropicales del reino; además de los grandes y hermosos jardines en Texcoco, Iztapalapa y Coyoacán (Delegación Azcapotzalco, 1999-2000).

Durante la Colonia y hasta después de la Guerra de Independencia, Quevedo estimó que en 1794, la Ciudad contaba con áreas verdes equivalentes al 14% de su superficie total, mientras que para 1910, estos espacios se habían reducido a tan solo 2.8% (Delegación Azcapotzalco, 1999-2000).

En la actualidad se reconoce que las áreas verdes y el arbolado urbano cumplen una importante función en el mejoramiento de las condiciones de vida de los ciudadanos, al proporcionarle beneficios de carácter ambiental, mejoramiento estético del paisaje, reducción de contaminantes atmosféricos, amortiguamiento del ruido y mejores condiciones para la recreación.

A la fecha se ha detectado en el Distrito Federal una gran variedad de microclimas generados por los cambios de uso en áreas urbanas, en zonas industriales, degradadas y pavimentadas, los cuales modifican las condiciones ambientales del Valle de México.

Las especies que pueden vegetar más eficientemente bajo esta condición son: *Acacia melanoxylon* R. Br., *Alnus jorullensis* HBK., *Salix bonplandiana* Kunth, *Populus alba* L., *Araucaria heterophylla*, *Prunus serotina* J. F. Ehrh. Subsp. *capulli* (Cav.), *Casuarina equisetifolia* J. R., *Cupressus sempervirens* L., *Erythrina americana* Mill, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Ficus carica* L., *Ficus elastica* Roxb., *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh., *Grevillea robusta* Cunn., *Jacaranda mimosaeifolia* D. Don, *Ficus retusa* L., *Liquidambar styraciflua* L., *Magnolia grandiflora* L., *Washingtonia robusta* Wendl., *Pinus leiophylla* Schltdl., *Nerium oleander* L., *Salix babylonica* L., *Crataegus pubescens* (HBK.), *Ligustrum japonicum* Thunb. y *Taxodium mucronatum* Ten.

En el presente el reto es preservar en las ciudades un ambiente adecuado para la vida. Quizás, la estrategia a seguir sea el incrementar y mejorar las áreas verdes, incluyendo a parques, prados, jardines y bosques. La temperatura del centro de la ciudad es ligeramente más alta que en los suburbios, fenómeno que ha dado fin a las heladas en el interior, en tanto que hacia la periferia se llegan a presentar de 40 a 60 heladas anualmente (Lavín, 1998).

De acuerdo con la carta edafológica (escala 1:1,000,000) del Atlas Nacional del Medio Físico (Guevara y Moreno, 1987), en la Ciudad de México se tenían diferentes grupos de suelos como: Andosol, Litosol, Feosem, Solonchak y Solonetz, en la Delegación Azcapotzalco predominaba el grupo de los Feosem, suelos con una capa superficial muy oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes, propicia para los cultivos agrícolas, siendo esta actividad la principal de los habitantes de la Delegación hasta finales de los años veinte; sin embargo, poco a poco se fue transformando en un espacio industrial, lo que propició cambios de uso de suelo y la utilización de diferentes materiales como medios de crecimiento para las diferentes especies plantadas en su territorio.

Por consiguiente es deseable llevar a cabo esfuerzos dirigidos a conservar la vegetación y promover una política de incremento, manejo y mejoramiento de las áreas verdes, que más tarde se reflejen en el bienestar de la población de la Ciudad de México.

Una de las construcciones artificiales importantes, es el Parque Cultural y Recreativo Tezozómoc, D.F. (PCyRT-D.F.), llamado así en honor al gran señor de Azcapotzalco, el cual se terminó de construir en 1982 y abarca una superficie de 17 mil metros cuadrados, es un lugar ideal para disfrutar la naturaleza, y de gran importancia en la zona norte del Distrito Federal. En la programación del

proyecto se tomó en cuenta la reminiscencia prehispánica, con base en los lagos de Tenochtitlán y conceptos modernos como son los de arquitectura del paisaje, con el propósito de motivar en los ciudadanos del presente siglo la admiración por su pasado histórico y presente.

A fin de contar con mejores elementos para la toma de decisiones sobre el diseño, establecimiento y mantenimiento de las áreas verdes del PCyRT-D.F y por presentar algunos problemas en las mismas, el objetivo de este estudio es evaluar los factores edafológicos que inciden en los posibles cambios de la vegetación, cobertura, microclima, así como el tipo de plantación realizada, como parte del rescate ecológico de la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del área de estudio

El Parque Tezozómoc abarca una superficie total de 17 mil metros cuadrados (Monografía 1999-2000), y se ubica en la Delegación Azcapotzalco al noroeste del Distrito Federal, colinda al norte y poniente con los municipios de Tlalnepantla y Naucalpan, del Estado de México; al sur con las delegaciones Cuauhtémoc y Miguel Hidalgo y al oriente con la Gustavo A. Madero. La Delegación Azcapotzalco tiene una superficie de 38 km² (2.2% del Distrito Federal); la mayor parte de la superficie es plana, con espacios habitacionales mezclados con numerosas industrias. Esta Delegación se caracteriza por tener niveles de contaminación moderados, con alta incidencia de tolvaneras. La oscilación de temperatura es alta, con escasa frecuencia de lluvias y nublados; seco en cuanto a humedad relativa y elevada presencia de heladas (Monografía 1999-2000).

El parque Tezozómoc se localiza a una latitud norte de 19°30' y longitud oeste 99°09'; a 2,250 msnm (Figura 1). De acuerdo con la estación meteorológica de Azcapotzalco, tiene dos tipos de climas el primero corresponde al tipo C(w₁), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media y cubre 11.94% de la superficie delegacional, el segundo es un clima templado subhúmedo con lluvias en verano C(w₀), el cual abarca una superficie de 88.06% (Cuaderno Estadístico Delegacional, 2000).

La precipitación media anual es de 766.1 mm, concentrada entre julio y agosto (80%) y un periodo seco de diciembre a marzo en el que se registra 15% de la precipitación total anual. Una temperatura media anual de 16.9°C; la media mensual más baja se registra en enero (9.9°C) y la más alta en agosto (19.3°C). Las heladas ocurren entre diciembre y enero, son particularmente perjudiciales las que se presentan en la segunda quincena de este último mes.

Los suelos se formaron en el Cenozoico Cuaternario por lo que su origen es Aluvial y Lacustre, ubicados dentro del Eje Neovolcánico en donde existían los lagos y volcanes del Anáhuac (INEGI, 2000). En la actualidad los suelos que existen en el PCyRT-D.F. son de relleno sanitario compuesto principalmente por escombros y basuras diversas.

La vegetación predominante está compuesta por: árboles, arbustos, plantas de ornato y plantas acuáticas, de las que se pueden citar: *Eucalyptus citriodora* Hook., *E. camaldulensis*, *Populus alba*, *Cupressus lindleyi*, *P. radiata*, *P. patula*, *Ficus benjamina*, *Fraxinus* sp., *Schinus molle*, *Acacia decurrens*, *Quercus* sp.; algunos frutales como: *Prunus persica* L., *Citrus sinensis* L.; arbustos: *Ligustrum japonicum* y *Thuja orientalis* L., entre otros. Las herbáceas de ornato como *Rhododendron simsii* y *Cyperus papyrus* L. (especie acuática) (figuras 2 y 3).

Trabajo de campo

El área de muestreo se definió con base en recorridos preliminares y el mapa existente en la Oficina Administrativa del Parque Tezozómoc (Figura 4). Se establecieron 23 sitios, distribuidos por tipo de vegetación. La superficie total fue dividida en cuatro zonas quedando los sitios ubicados de la siguiente forma:

Primera zona	Sitios:	1, 2, 3 parte alta del bordo (3Pab), 3 parte baja del bordo (3Pbb), 21Pab, 21Pbb, 22 y 23
Segunda zona	Sitios:	4Pab, 4Pbb, 4 otro sitio en la parte baja del bordo (4Pcb), 5, 6Pab, 6Pbb, 7, 8Pab, 8Pbb y 12
Tercera zona	Sitios:	9, 10Pab, 10Pbb, 11 y 13
Cuarta zona	Sitios:	14Pab, 14Pbb, 15, 16Pab, 16Pbb, 17, 18, 19 y 20

El muestreo de suelo y vegetación se realizó en octubre de 2000 y concluyó en junio de 2001. En cada sitio se aplicó un muestreo estratificado con asignación proporcional al tamaño de la isla, y se ubicaron tres áreas en un transecto de 5 m, ubicados al norte. Se obtuvo 1 kg de cada capa de suelo, cuyo espesor fue variable de acuerdo a la profundidad hasta donde se encontró el cascajo; además, se recolectaron 100 g de las ramas con follaje de los árboles dominantes, las muestras se tomaron a una altura de 3 m a partir del suelo y se guardaron en una bolsa de papel con su etiqueta correspondiente.

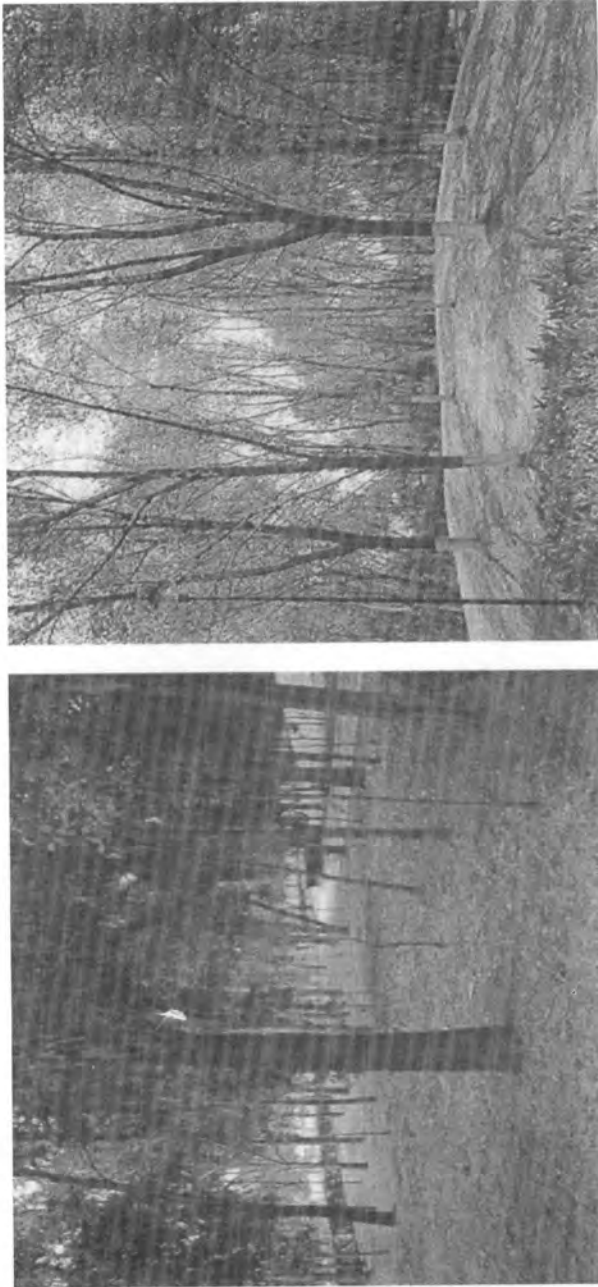


Figura 2. Vegetación del Parque Tezozómoc.

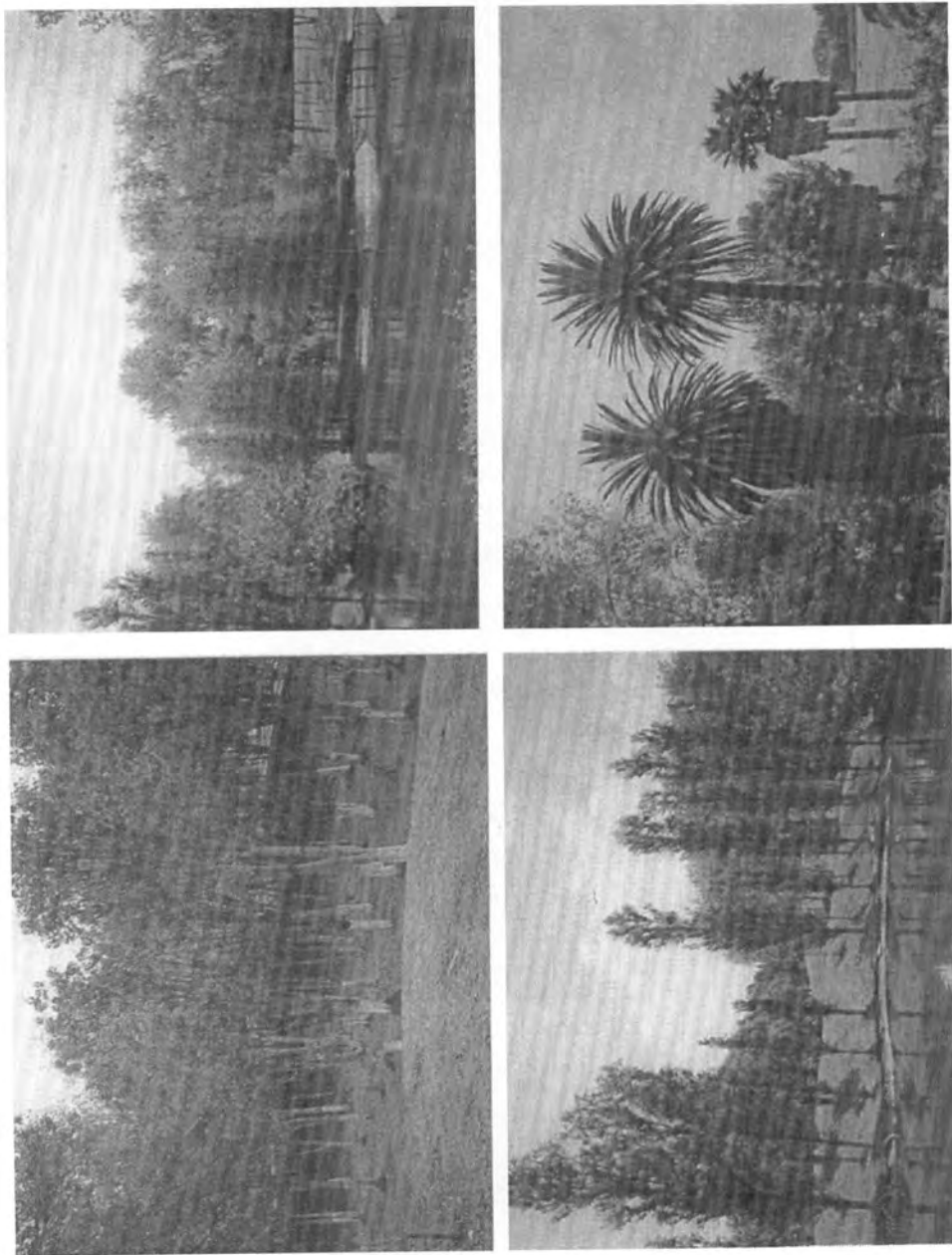


Figura 3. Vegetación arbórea del Parque Tezozómoc.

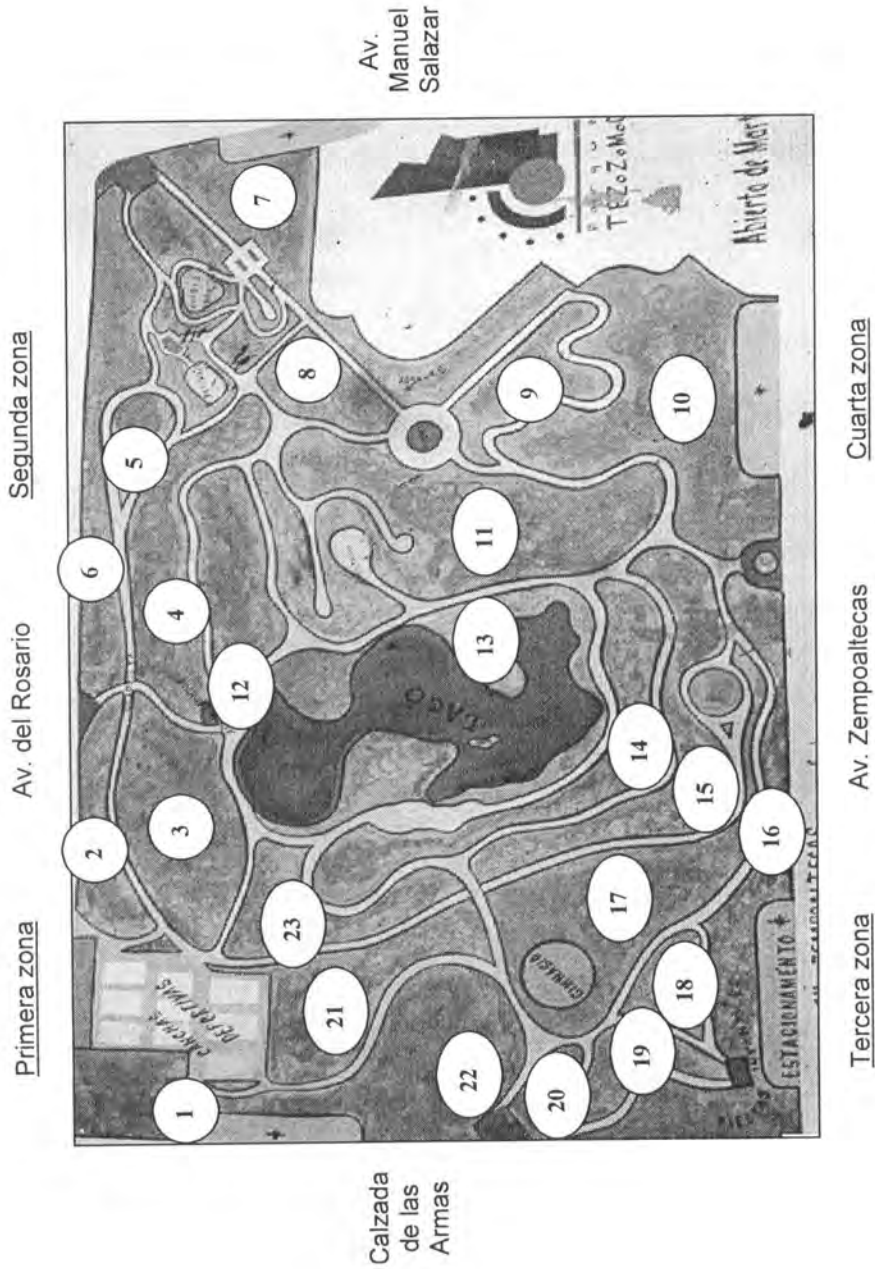


Figura 4. Localización de sitios de muestreo en el Parque Tezozómoc.

Trabajo de laboratorio

El material edafológico y vegetal se procesó en el Laboratorio de Tratamiento de Gases y Desechos Sólidos del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos "Miguel Othón de Mendizábal", dependiente del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Los análisis practicados en los suelos fueron: color, textura, densidad aparente (Da), conductividad eléctrica (C.E.), reacción pH, materia orgánica (M.O.), nitrógeno total (N_t), fósforo aprovechable (P), capacidad de intercambio de cationes (C.I.C.), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K) intercambiables, mediante los métodos tradicionales de Aguilar *et al.* (1987). Los micro-elementos hierro (Fe), manganeso (Mn), y zinc (Zn); así como los metales tóxicos plomo (Pb), cromo (Cr) y cadmio (Cd) se analizaron por los métodos de Linday y Nervell (1978), con el ácido dietilen triamino penta acético (DTPA) como extractante, para el caso de los elementos químicos en plantas se usó una mezcla de ácido nítrico y perclórico (White *et al.*, 1959). La cuantificación se hizo con un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 5000 en el Laboratorio de Química del Ambiente del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF/INIFAP) en Coyoacán, D. F.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo se consignan y discuten los resultados más relevantes correspondientes a las propiedades químicas, así como a los elementos más significativos para cada uno de los sitios estudiados: reacción de pH, materia orgánica, nitrógeno y fósforo; para elementos y metales pesados el cadmio, manganeso, magnesio, zinc, cromo y plomo. En los cuadros 1, 2, 3 y 4, se resumen los resultados obtenidos de los análisis de los suelos muestreados por sitio, los cuales serán explicados de acuerdo al cuadrante donde se ubicaron.

En los sitios del primer cuadrante (Cuadro 1) el pH tiene una variación de 6.7 a 7.6 en las diferentes profundidades. La materia orgánica y el nitrógeno son altos en el sitio tres parte baja (3Pab) con un valor de 15.8 y 1.6% respectivamente, lo que indica que la materia orgánica se incorpora al suelo.

Los elementos Mn, Zn, Pb, Cr y Cd analizados en el sitio 2 muestran valores superiores a los resultados obtenidos en los otros lugares del mismo cuadrante, lo contrario sucede con el fósforo ya que sólo tuvo 2 ppm, pudiéndose deber a la presencia de Cr y Pb.

El plomo es un metal pesado común en las partículas de la atmósfera, el cual se acumula en el suelo; en este caso, se considera que las concentraciones determinadas responden a causas antropogénicas, ligadas principalmente a los ambientes urbanos (Elliott *et al.*, 1986) y a la composición del sustrato, ya que

Cuadro 1. Propiedades químicas de los suelos en los sitios de la Primera Zona.

A	B	C	Prof. cm	pH H ₂ O 1:2.5	M.O. N ₂ T %	meq/100g							ppm						
						C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	P	Fe	Cu	Mn	Zn	Pb	Cr	Cd	
1	--		0-20	7.6	5.7	1.4	63	36	12	1.9	1.3	6	15	24	5.4	2.3	16	21	0.2
2	E		0-20	7.3	4.7	0.5	41	24	8	1.3	4.5	2	34	33	5.3	7.5	32	46	1.4
3	Pa	A	0-20	6.7	7.7	1.4	53	30	10	1.2	3.2	6	21	15	3.7	3.9	21	53	0.1
3	Pb	CB	0-30	6.8	15.8	1.6	65	37	12	1.2	2.6	3	42	31	6.1	1.5	25	37	0.2
			30-60	7.0	10.1	1.0	41	24	8	1.3	1.8	10	23	25	6.0	1.1	15	20	---
			60-70	6.8	2.7	0.8	82	47	16	1.2	1.3	13	34	10	3.2	1.1	17	12	---
12	AU		0-30	7.0	1.0	0.2	44	25	8	1.3	4.3	10	31	23	5.0	2.7	28	19	0.2
21	Pa	P	0-20	6.8	4.3	0.5	50	31	11	1.0	3.2	18	25	10	1.2	1.4	10	16	0.4
21	Pb	E	0-25	7.2	3.0	0.3	50	33	9	1.2	2.9	18	31	26	0.7	1.2	6	10	0.1
22	E		0-10	7.5	5.4	0.7	54	34	12	1.3	2.8	15	35	29	1.1	2.1	13	18	0.1
23	A		0-20	7.3	4.7	0.5	51	27	10	1.1	4.6	20	28	27	1.6	1.5	18	21	0.1

A = Sitios, B = Parte alta (Pab) y Parte baja (Pbb); C = Vegetación: E = Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), A = Álamo temblón (*Populus tremuloides* Michx.), CB = Cedro blanco (*Cupressus lindleyi*), AU = Ahuejote (*Salix bonplandiana*) y P = Pino (*Pinus radiata*).

proviene de materiales de construcción; la concentración máxima se determinó en el sitio 9 de la zona 4 con 54 ppm (Figura 5).

Las concentraciones de los elementos analizados en los sitios de la segunda zona fueron menores (Cuadro 2), que las correspondientes a la primera. Respecto a los contenidos de metales, sobresalió el sitio 7 con 41 ppm de plomo y 62 ppm de cromo, mientras que para el fósforo se registró 1 ppm.

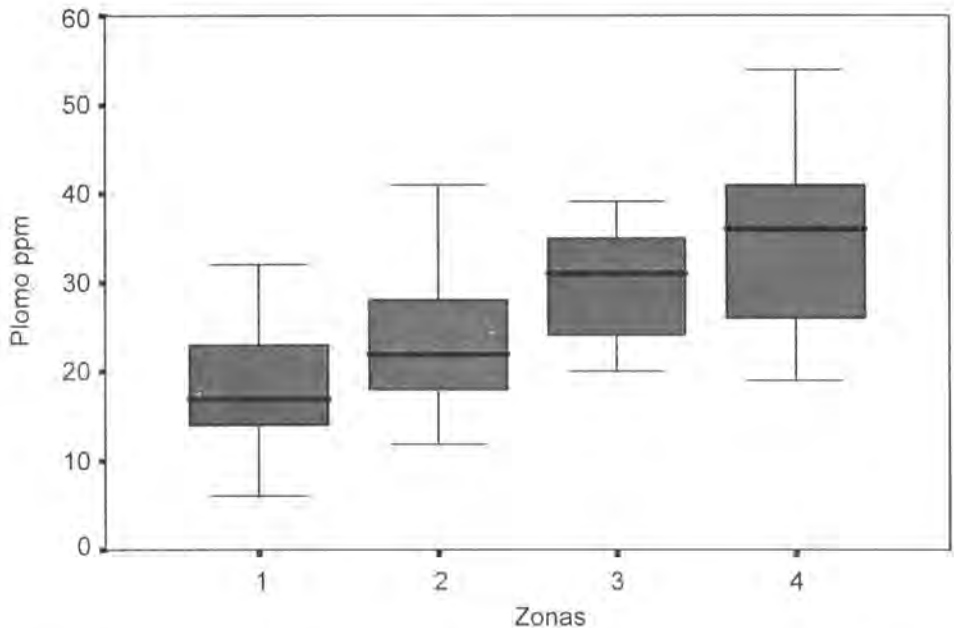


Figura 5. Distribución de Pb en Suelos en las diferentes zonas del Parque Tezozómoc.

Los sitios localizados en la tercera zona (Cuadro 3) tuvieron resultados semejantes en pH, M.O., N; así como en los metales pesados: Pb, Cr, Cd y Mn, lo que sugiere el depósito de material procedente de diversas fuentes tales como; la aérea de acuerdo a la exposición del sitio, el agua del lago usada para el riego y la materia absorbida de acuerdo al pH.

En la cuarta zona el pH es constante, ya que varía de 6.9 a 7.5, el valor predominante fue de 7.3 (Cuadro 4), las concentraciones de metales pesados se mantuvieron en todos los sitios, a excepción del Cr y Pb que fueron menores en

Cuadro 2. Propiedades químicas de los suelos en los sitios ubicados en la Segunda Zona.

A	B	C	Prof. cm	pH H ₂ O 1:2.5	M.O. N ₂ T		C.I.C. Ca Mg Na K							P Fe Cu Mn Zn Pb Cr Cd						
					%		meq/100g							ppm						
4	Pa	PI	0-25	6.6	1.0	0.1	40	24	8	1.3	3.2	16	22	18	2.5	1.5	25	22	0.5	
			0-30	7.5	2.7	0.3	75	43	14	1.8	4.5	10	17	15	2.7	2.1	22	57	0.3	
4	Pb	CB	30-60	6.8	3.5	0.3	80	45	15	1.1	1.3	16	15	19	2.9	1.2	27	32	0.1	
			60-70	6.9	1.0	0.2	38	22	7	1.2	4.5	9	10	2	2.2	1.0	29	26	---	
4	Pc	A	0-20	6.4	2.5	0.8	42	24	8	1.1	3.8	3	9	13	2.2	1.9	19	18	0.6	
5	---	---	0-25	7.1	2.0	0.2	45	30	9	1.4	3.7	2	8	14	1.3	1.3	13	20	0.2	
6	Pa	P	0-25	6.9	5.9	1.4	40	24	7	1.3	5.9	2	6	12	3.2	5.9	35	17	0.1	
7	---	---	0-15	6.6	7.4	1.4	42	24	8	1.1	5.1	1	6	10	2.7	3.3	41	62	0.4	
8	Pa	P	0-18	6.8	7.0	1.4	43	25	8	1.1	4.0	1	15	11	1.8	1.1	17	26	0.2	
8	Pb	---	0-24	7.1	2.4	0.1	42	25	7	1.4	3.9	1	18	9	3.8	3.9	12	25	0.1	
			24-30	7.1	2.5	0.1	45	26	9	1.5	5.2	2	16	1	3.7	1.8	19	17	---	

A = Sitios; B = Parte alta (Pab) y Parte baja (Pbb y Pcb); C = Vegetación: A = Álamo (Alamo temblón), (Populus tremuloides), CB = Cedro blanco (Cupressus lindleyi), P = Pino (Pinus radiata) y PI = Pirú (Schinus molle).

Cuadro 3. Propiedades químicas de los suelos en los sitios ubicados en la Tercera Zona.

A	B	C	Prof. cm	pH H ₂ O 1:2.5	M.O. N ₂ T		meq/100g							ppm						
					%		C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	P	Fe	Cu	Mn	Zn	Pb	Cr	Cd	
14	Pa	---	0-20	6.9	6.1	0.8	42	28	7	1.1	5.9	3	10	7	1.9	1.2	38	34	0.1	
14	Pb	Pl	0-20	7.2	4.1	0.3	49	28	8	1.3	6.1	6	9	14	2.1	1.8	32	48	0.1	
15	Pa	---	0-25	7.4	5.8	1.1	70	40	17	1.2	5.4	10	9	15	2.8	1.5	31	37	0.2	
			25-60	7.7	2.8	0.1	52	39	10	1.5	6.8	5	18	5	1.0	1.0	39	25	---	
16	P		0-19	7.4	4.8	0.8	57	32	12	1.4	5.2	7	14	13	2.7	4.7	35	22	---	
17	CB		0-20	6.7	6.5	1.3	82	47	15	1.1	5.1	15	16	6	2.9	2.7	22	35	0.1	
18	---		0-15	7.4	4.6	0.5	48	26	6	1.2	6.2	9	8	16	3.0	3.2	20	26	---	
19	P		0-15	7.2	5.9	0.8	49	28	8	1.1	5.8	12	6	12	3.1	5.8	27	27	0.1	
20	---		0-10	7.1	5.5	0.7	47	27	7	1.0	5.2	9	8	11	2.1	2.1	24	30	0.3	

A = Sitios; B = Parte alta (Pab) y Parte baja (Pbb); C = Vegetación; CB = Cedro blanco (*Cupressus lindleyi*), P = Pino (*Pinus radiata*) y Pl = Pirú (*Shinus molle*).

Cuadro 4. Propiedades químicas de los suelos en los sitios ubicados en la Cuarta Zona.

A	B	C	Prof. cm	pH H ₂ O 1:2.5	M.O. N ₂ T		C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	P	Fe	Cu	Mn	Zn	Pb	Cr	Cd
					%	meq/100g													
9	P		0-30	6.9	3.7	0.2	33	19	6	1.6	2.1	3	29	1.6	2.5	5.8	45	75	0.1
			30-60	7.4	2.8	0.2	37	18	6	1.3	1.8	6	41	1.2	1.1	3.7	26	31	---
10	Pa	---	0-15	7.2	3.0	0.2	40	25	8	1.3	4.2	3	25	2.2	2.7	7.9	54	61	0.5
10	Pb	---	0-30	7.3	4.3	0.3	45	25	9	1.7	5.0	6	18	2.3	3.0	5.2	37	57	0.3
			30-60	7.3	1.6	0.1	45	25	9	1.4	2.5	3	24	1.9	1.5	1.8	26	25	0.1
11		---	0-20	7.3	4.7	0.6	36	18	5	1.1	6.2	6	17	1.4	3.8	3.9	36	58	---
13	AU	0-30	7.5	2.4	0.1	42	24	8	1.8	6.2	6	18	1.7	3.7	3.7	3.7	19	59	---

A = Sitios; B = Parte alta (Pa) y Parte baja (Pb); C = Vegetación: P = Pino (*Pinus radiata*) y AU = Auhuejote (*Salix bonplandiana*).

los sitios 11 y 13. El pH ácido 5.5 a 6.2, es una propiedad química que favorece la solubilidad de algunos metales pesados como el Zn, Fe, Mn, etc. (Buckmann y Brady, 1969). Lo contrario se presenta cuando el pH es de 7.1 a 7.6, en este caso los metales son inmóviles y tienden a acumularse en el suelo.

Cabe señalar que la mayoría de los sitios se ubicaron cercanos a vialidades amplias con gran circulación vehicular; en algunos estudios se ha demostrado que las altas concentraciones de Zn, Cd, Cr y Pb existentes en lugares adyacentes a ciudades en donde hay avenidas transitadas, provienen de los automotores que por ellas circulan (González y Esquivel, 1981). Dichos metales tienen su origen en el desgaste mecánico de las partes del motor y en la combustión de gasolina y aceite, cuyos residuos son descargados a la atmósfera en forma de gases.

Con respecto al análisis químico de la vegetación (Cuadro 5), en general se detectaron altas concentraciones de Pb y Fe, como se muestra en las figuras 6, 7, 8 y 9 sin considerar que los resultados presentan un patrón, se observó que el cedro blanco, el eucalipto y el ahuejote absorbieron mayor cantidad de dichos elementos, lo que podría deberse al efecto de riego con aguas del lago y al tipo de suelo artificial (cascajo), además de la contaminación ambiental.

En la tercera zona *Pinus radiata* no tuvo cadmio, lo que probablemente se deba a que el pH del sitio fue de 7.2, y en estas condiciones los metales tienden a acumularse en el suelo.

El Pb y Fe se detectaron en mayor proporción en las plantas (Figura 7), que en el suelo (Cuadro 2), lo que indica la existencia de pH más ácidos que favorecen su absorción.

Burton *et al.* (1983), señalan que los vegetales tienen mayor impacto de toxicidad por metales en los tallos, como el cadmio que actúan a nivel metabólico, bloqueando los conductos del xilema; y otros como el cromo, son tóxicos a bajas concentraciones. Los contenidos de cobre en las plantas por lo general son de 5 a 20 ppm, valores mayores pueden afectarlas; en el Parque Tezozómoc existen diferentes especies de plantas con valores superiores a las 20 ppm.

Existen muchos factores fisiológicos y no fisiológicos que intervienen en el desarrollo de las plantas, por lo que es difícil correlacionar con exactitud su crecimiento con las características de los suelos. Esto indica que se requieren hacer estudios más precisos sobre metales pesados para determinar su traslocación en las plantas y su posible fitotoxicidad, como podría ser la del plomo que se presenta cuando su concentración es alta (Figura 10).

Cuadro 5. Concentraciones de los elementos químicos analizados en las especies arbóreas en la vegetación del Parque Tezozómoc.

Sitios	Vegetación	%						Ppm					
		N	P	K	Mg	Cu	Fe	Zn	Pb	Cr	Cd		
Cuadrante I	PT	0.41	0.70	3.81	0.85	30	157	5.3	125	1.2	0.3		
	SB	0.43	1.04	3.64	0.75	26	98	3.5	122	1.7	0.1		
	CL	0.23	1.10	1.47	0.16	34	215	3.7	201	1.4	0.2		
	EC	0.29	0.99	1.94	0.76	37	243	4.3	135	2.1	0.9		
	P	0.16	1.07	0.86	0.05	16	192	1.2	44	2.5	1.0		
Cuadrante II	PT	0.44	0.47	1.70	0.99	32	197	5.2	132	1.5	0.6		
	CL	0.36	0.77	3.87	0.11	35	284	3.6	235	2.4	0.7		
	SM	0.53	0.84	2.91	0.47	8	108	4.2	121	2.7	0.6		
	P	0.30	0.79	3.39	0.10	13	175	1.4	50	2.1	0.3		
	CL	0.23	0.83	1.09	0.9	33	204	6.9	225	3.4	1.0		
Cuadrante III	SM	0.41	1.06	3.28	0.35	9	199	4.3	110	2.1	0.5		
	P	0.20	1.05	2.99	0.12	11	285	2.6	56	1.9	---		
	SB	0.31	0.38	3.85	0.06	21	306	7.5	220	3.7	1.1		
Cuadrante IV	P	0.26	0.53	1.37	0.07	16	173	1.3	61	2.3	0.4		

Claves de la vegetación: *Populus tremuloides* = PT; *Salix bonplandiana* = SB; *Cupressus lindleyi* = CL; *Eucalyptus camaldulensis* = EC; *Pinus radiata* = P; *Schinus molle* = SM.

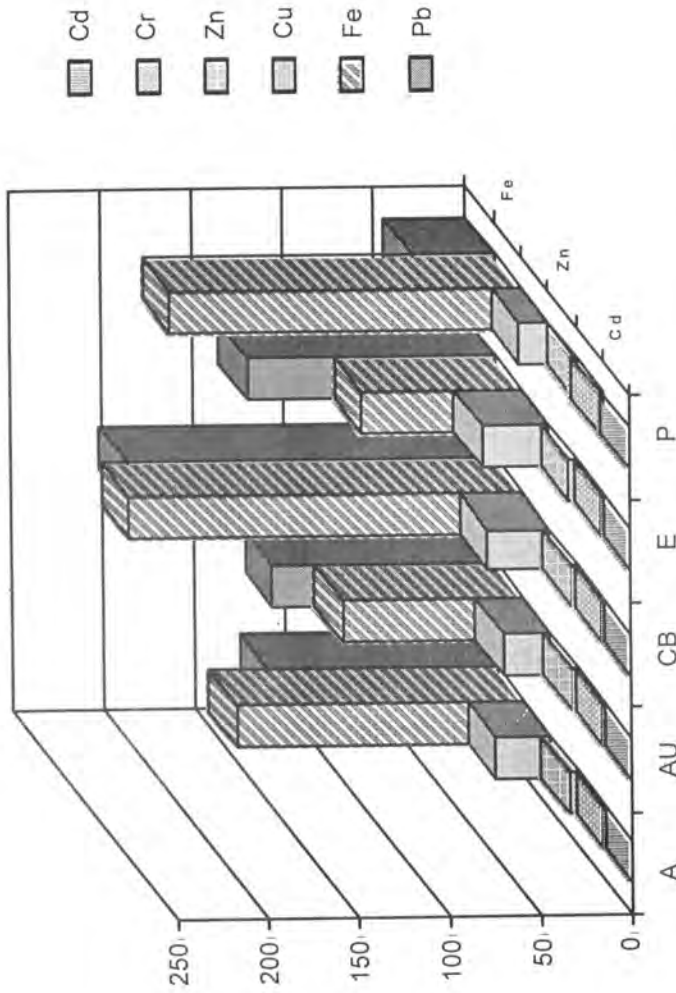


Figura 6. Contenido de metales en la vegetación de la Primera Zona.

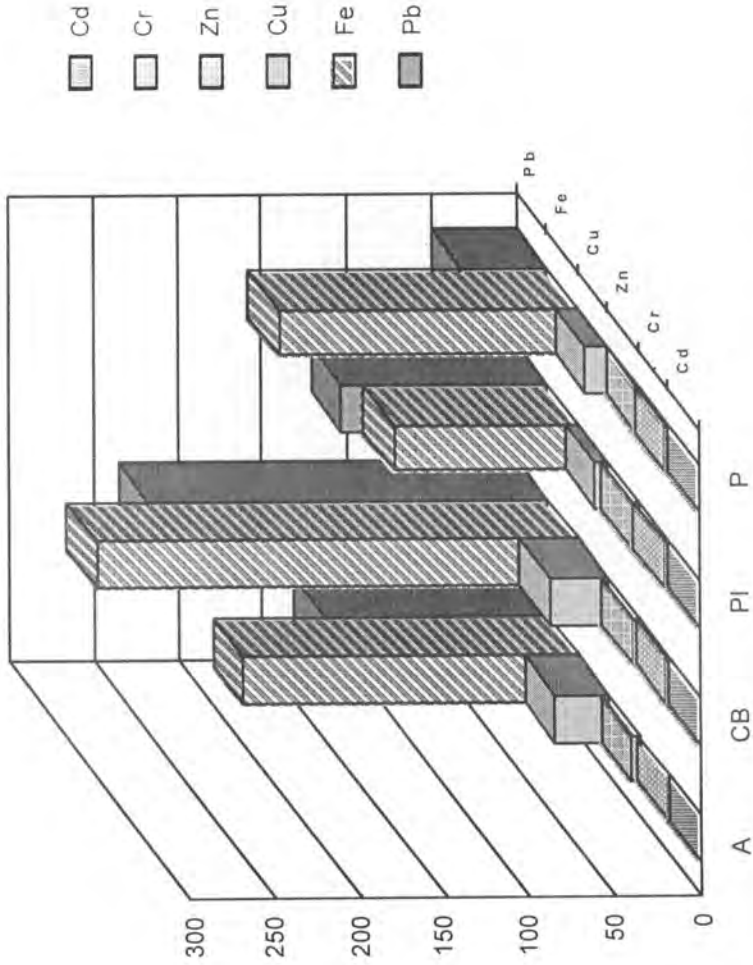


Figura 7. Contenido de metales en la vegetación de la Segunda Zona.

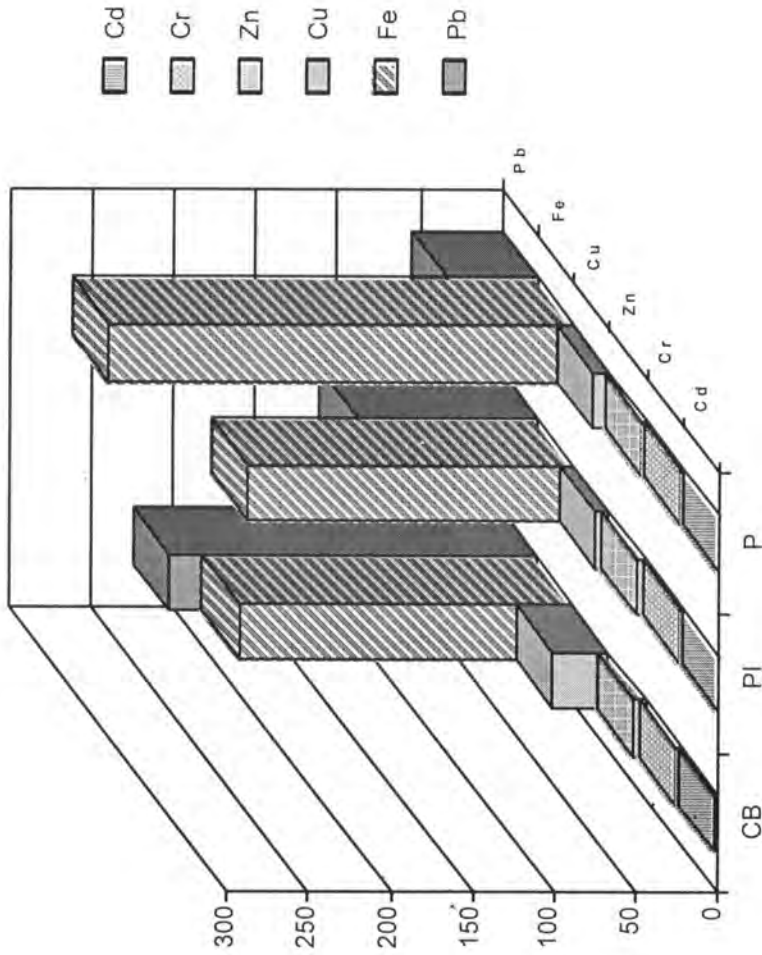


Figura 8. Contenido de metales en la vegetación de la Tercera Zona.

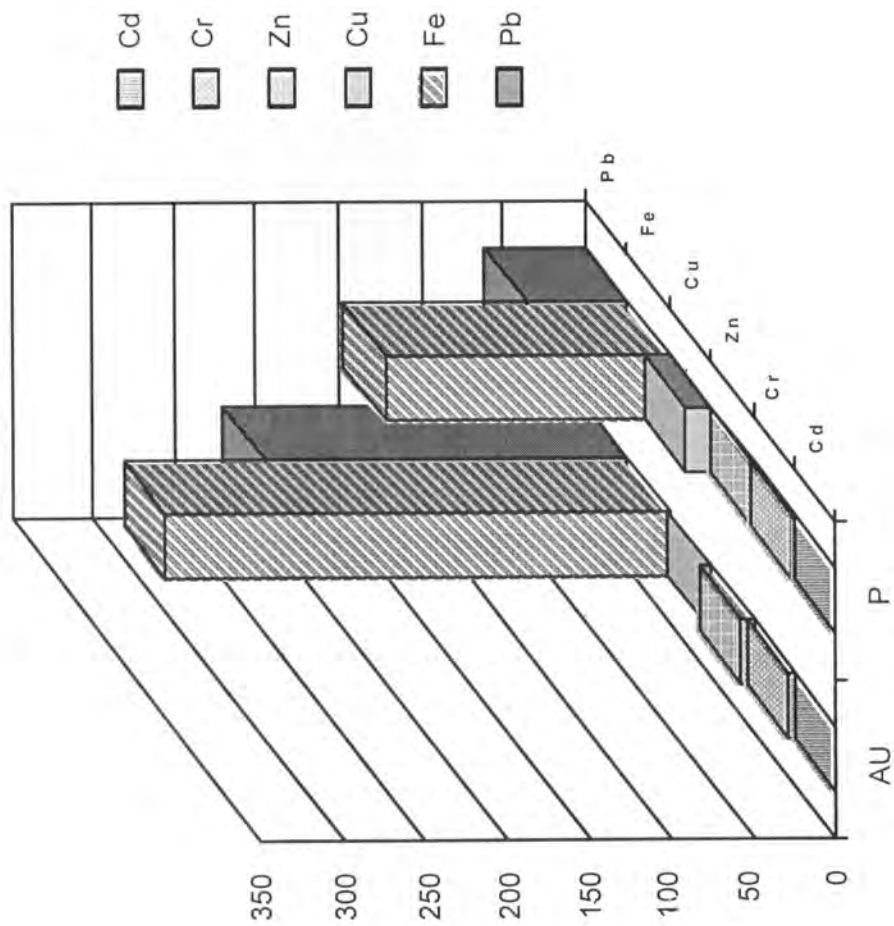


Figura 9. Contenido de metales en la vegetación de la Cuarta Zona.

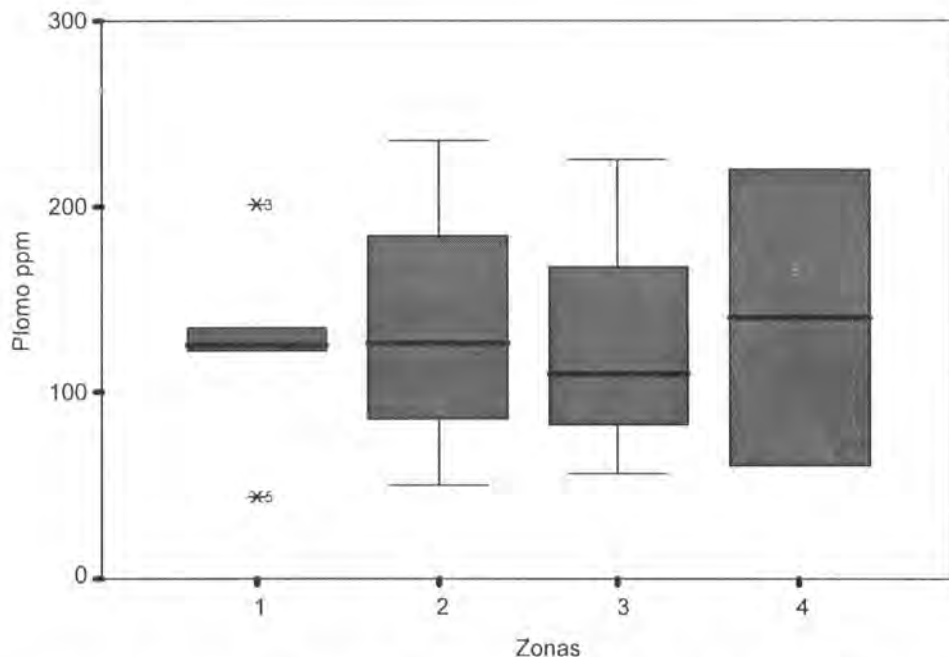


Figura 10. Distribución de Pb en la vegetación de las cuatro zonas de muestreo en el Parque Tezozómoc.

En los sitios donde predomina *Eucalyptus camaldulensis* se nota la aplicación de corta de árboles; el impacto humano es evidente en la periferia por la formación de caminos; no obstante, se requiere el derribo de individuos inclinados y el control de plagas.

Populus tremuloides y *Cupressus lindleyi* tienen alta densidad de población en las partes bajas de algunos sitios, provocando con esto que los rayos solares no penetren y, por lo tanto, la escasez de pasto. El suelo presenta compactación y deficiencia muy marcada de drenaje, en algunas partes aflora el material de relleno (cascajo); se necesita un aclareo y movimiento del suelo, adición de materia orgánica compostada procedente de residuos vegetales, además de replantación de pasto.

La plantación de *P. radiata* se ve en mal estado y el suelo está muy erosionado. Los pinos generalmente se desarrollan en suelos ácidos, y en el parque Tezozómoc varía de 7.0 a 7.7, por lo que se recomienda suministrar la composta anteriormente descrita y después adicionar azufre para disminuir el pH.

En los sitios donde se localiza el ahuejote, el suelo es un factor importante en el desarrollo de la especie; se caracteriza por estar compactado y muy húmedo, razón por la cual se sugiere mover el suelo para propiciar su aeración y circulación del agua; destaca una alta incidencia de plagas en estos árboles.

CONCLUSIONES

Las características físicas de los suelos del Parque Tezozómoc son muy semejantes en todos los sitios muestreados, debido principalmente a que provienen de relleno sanitario.

Los metales con mayores concentraciones fueron el Cr y Pb en los sitios de las cuatro zonas, en respuesta al tipo de material de relleno (cascajo) utilizado como suelo y al tránsito vehicular.

Los contenidos de Fe y Pb fueron mayores en *Cupressus lindleyi*, en el segundo cuadrante con concentraciones de 284 ppm y 235 ppm, respectivamente.

El magnesio se presentó en cantidades suficientes en el suelo, pero deficientes en la vegetación arbórea.

En general, el tipo de sustrato que soporta la vegetación arbórea en los sitios de plantación del parque requiere de un manejo integrado físico y químico mediante el suministro de materia orgánica y fertilización; de acuerdo a los resultados, los elementos propuestos son: nitrógeno, fósforo, magnesio y azufre para disminuir el pH sobretodo en aquellos sitios donde es mayor de 7.0.

REFERENCIAS

- Aguilar A., S., J. Etchevers D. B. y J. Castellanos Z. R. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial No. 1. México, D.F. pp. 1-207.
- Aguilera H., N. 1989. Tratado de edafología de México. Tomo 1. Publicaciones Ciudad Universitaria. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 222 p.
- Buckman H., O. and N. Brady C. 1969. The nature and properties of soil. The Macmillan Company. Toronto, Canada. 653 p.
- Burton K., W., E. Morgan and A. Roig 1983. The influence of heavy metals upon the growth of sitks- spruce in south wales forests. Plant & Soils No. 73 Dr. W. Junk Publishers. New York. NY. USA. pp. 327-336.
- Castro S., J., V. González K. y T Hernández T. 1993. Determinación preliminar de algunos metales pesados en los suelos del Desierto de los Leones. In: Memorias del Congreso Mexicano Sobre Recursos Forestales. Soc. Mex. Rec. For. A. C. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 59 p.

- Coutiño A., M. 1989. Acumulación y traslocación de plomo en vegetación, en una zona urbana del Distrito Federal. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 237 p.
- Elliott H., A., M. Liberati R. and C. Huang P. 1986. Absorción competitiva de metales pesados en suelos. *Jour. Environ Qual.* 15(3): 214-219.
- Falcón, Y., L. Nuño y L. Sánchez M. 1992. Metales pesados en PM-10 colectados en el NE, NO, SE, SO y zona metropolitana de la Ciudad de México. *In: VIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, A. C. Cocoyoc, Mex. pp. 523-526.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. 253 p.
- Guevara, S. y P. Moreno. 1987. Áreas verdes en la zona metropolitana de la Ciudad de México. *In: Garza, G. (Comp.). Atlas de la Ciudad de México*. Departamento del Distrito Federal. Colegio de México. México, D.F. pp. 231-236.
- González P., A. y B. Esquivel H. 1981. Cuantificación de metales pesados en suelos y plantas del D. F. *Rev. Soc. Quim. Mex.* 25 (4): 483-487.
- González, M. y B. Moctezuma P. 1999-2000. Ciudad de México. Delegación Azcapotzalco. Monografía. Edición Delegacional. México, D.F. pp. 7-74.
- Hernández G., R. y C. Lombardo C. 1987. Deficiencias de macronutrientes en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Morelet. Barr. & Golf. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 109 p.
- Honorato R., P. 2000. Manual de edafología. Universidad Católica de Chile. Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C. V. Chile. pp. 31-55.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Azcapotzalco Distrito Federal. Cuaderno Estadístico Delegacional. Publicación única. México, D.F. pp. 3-14.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology*. Springer Verlag, Berlin, Germany. 506 p.
- Lavin, M. 1998. Cambios en las áreas verdes de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Instituto de Ecología, UNAM. México, D.F. 100 p.
- Lim C., H. and M. Jackson L. 1982. Dissolution for total element analysis. *In: Page, A. L. et al. (Eds.). Methods of soil analysis*. Madison, WI, USA. pp. 1-12.
- Lindsay W., L. and W. Norvell A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 421-428.
- Robles B., R., R. Godoy L., C. González M. y B. Moctezuma P. 2000. Ciudad de México. Delegación Azcapotzalco. Monografía 1999-2000. Edición Delegacional. México, D.F. pp. 7-74.
- Ruiz F., J. F. 1991. Causas y consecuencias de la contaminación del suelo. *In: Mesa redonda, noviembre de 1990*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 63 p.

- Salisbury F., B. and C. Ross. W. 1992 Plant physiology. Wadsworth Publishing. Co., USA. 682 p.
- Sarkunan, V., A. Misra K. and P. Nayar K. 1989. Interaction of zinc, copper and nickel in soil on yield and metal content in rice. Jour of Envir. Sci Health 24(5): 459-466.
- White, A., P. Handler and E. L. Smith. 1959. Principles of biochemistry. Mc Graw Hill. New York, NY. USA. 1106 p.

LA CORTEZA ARBÓREA COMO BIOMONITOR DEL DEPÓSITO ÁCIDO EN LA CUENCA DE MÉXICO

Germán Calva-Vásquez¹, Ma. de Lourdes de la Isla de Bauer²,
Hugo Padilla-Gordon³, J. Jesús Vargas-Hernández⁴ y
Alejandro Velázquez-Martínez⁵

RESUMEN

El depósito atmosférico y el lavado de las hojas modifican la condición ácida del suelo, debido a la lixiviación de K, Ca, Mg y Mn. La corteza arbórea captura parte de esa contaminación, que se mide mediante la conductividad eléctrica (λ), potencial de hidrógeno (pH) y capacidad media amortiguadora (CMA o β_0); la cuantificación de dichos parámetros permite entender su remoción y la dinámica del proceso. En el Distrito Federal, el depósito ácido atmosférico total va de 3.5 a 5.0 de pH, donde el húmedo es de 5.0-5.6 y el seco de 3.0-5.6. El muestreo se realizó durante 1995 y en el periodo seco de 1996 dentro de los bosques de pino-oyamel ubicados en Villa del Carbón, Izta-Popo y Zoquiapan, pertenecientes al Estado de México, Desierto de los Leones, D. F. y en Mineral El Chico, Hidalgo, a fin cuantificar el depósito ácido presente en la corteza de *Pinus montezumae*, *Cupressus lindleyi* y *Abies religiosa*. Los resultados indican que la acidez en el pino varió de 3.15 a 3.6, en oyamel de 4.0 a 4.35 y en cedro de 4.3 a 6.3. En las especies localizadas en la Cuenca se determinó una diferencia de 2 a 4 unidades de pH, y en las situadas fuera de ella, de una unidad. Se concluyó que existe una homogeneidad en el depósito ácido en los bosques del Valle de México, contrario a lo prevaleciente en El Chico. *Cupressus lindleyi* tuvo la mayor capacidad amortiguadora y es resistente al efecto ácido.

Palabras clave: Bioacumulación, biomonitoreo, cedro, depósito ácido, oyamel, pino.

Fecha de recepción: 02 de junio de 1999.

Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2006.

¹ Laboratorio de Contaminación Atmosférica, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. Correo-e: labcont@servidor.unam.mx.

² Programa de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados.

³ Departamento de Química Atmosférica, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

⁴ Fisiología y Mejoramiento Genético Forestal, IRENAT, Colegio de Postgraduados.

⁵ Programa Forestal, IRENAT, Colegio de Postgraduados.

ABSTRACT

The atmospheric deposit and the washing of the leaves influence soil chemistry as the K, Ca, Mg and Mn lixiviation modifies its acid condition. Tree bark captures part of this product that is measured through electric conductivity (λ), hydrogen potential (pH) and average buffering capacity (β_0); its quantification explains the chemical dynamics and its removal. The total atmospheric acid deposit in Mexico City varies from a pH of 3.5 to 5.0; during the rainy season, it goes from 5.0 to 5.6, and in the dry months, from 3.0 to 5.6. In 1995 and the dry season of 1996, field work was carried out in the forests of Villa del Carbón, Izta-Popo and Zoquiápan all of which belong to Estado de Mexico, and in the Desierto de Los Leones park, Distrito Federal, in order to monitor the atmospheric deposit present in the tree barks of *Pinus montezumae* (pine), *Cupressus lindleyi* (white cedar) and *Abies religiosa* (Sacred fir). Results showed that the deposited acidity in the pine species varied from 3.15 to 3.6 of pH; from 4.0 to 4.35 in fir trees and from 4.3 to 6.3 in cedar trees. The forests inside the Mexican basin revealed a variation from 2 to 4 pH units; outside of it, the difference was of one unit. It was concluded that there is acid homogeneity in the forests that belong to the Valle de Mexico basin, but not in Mineral El Chico. *Cupressus lindleyi* showed the highest buffering capacity and is resistant to the acid effect.

Key words: Bioacumulation, biomonitoring, cedar, acid deposition, fir, pine.

INTRODUCCIÓN

El depósito atmosférico incorpora elementos químicos al suelo que se difunden en el ecosistema (Parker, 1983). Las emisiones de fuentes antropogénicas (SO_x, NO_x, cloruros, hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles) y naturales (volcánicas y gases producto de la desintegración orgánica en los bosques) se integran al mismo; así, se reciclan los elementos. Son dos las vías posibles de introducirse (Cape *et al.*, 1987): la húmeda (SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, H⁺, NH₄⁺) y la seca (S, SH, SO₂, SO₄²⁻, NO₂⁻, NO₃⁻ y N₂O₅), a partir de su velocidad de depósito e incorporación, podría calcularse sus correspondientes tasas, así como la de remoción (Erismán, 1993). Informes técnicos forestales para México aseguran que en la corteza se retienen el NO₂ y el SO₂ a razón de 1.14 y 6.6 ton/ha/año, respectivamente (CKC, 2001).

En la incorporación, las bases catiónicas (K⁺, Na⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) neutralizan los aniones atmosféricos (SO₃³⁻, SO₄²⁻, OCl²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻) (Binkley & Richter, 1987) y atenúan su efecto corrosivo en la superficie de las plantas. Por la severidad del daño directo y el aporte regular de protones, el equilibrio del balance iónico a escala del ecosistema se ve alterado (Wellbum, 1991), con la consecuente liberación y acumulación de iones hidrógeno.

La acidez atmosférica se debe a la constante de disociación del agua (K_w), que en condiciones estándar (1atm, 25°C) su punto de equivalencia es $\{H^+\} = \{OH^-\} = 10^{-7}M$, lo cual implicaría un $pH \approx 7.0$; pero cuando el CO_2 (producto de la respiración) entra en contacto con el agua forma el ácido carbónico, que da origen a la "acidez natural" de la lluvia ($pH = 5.6$); sin embargo al aumentar la temperatura ambiente, el pH puede llegar a 7.47 (Skeffington, 1987). Con las emisiones, el aire incrementa la concentración de SO_2 y NO_2 ; ambos se disuelven con mayor rapidez que el CO_2 , lo que induce la formación del bisulfito con 100 ppbv de SO_2 , con un pH de 4.9. Sequiera (1981, 1982) confirmó que los aerosoles urbanos y marinos incrementan de forma significativa el pH atmosférico.

Padilla *et al.* (1996) registraron precipitaciones con pH de 4.39 a 5.79 en diferentes sitios del sur de la Ciudad de México. Por su parte, Báez-Predajo *et al.* (1986) y Báez-Predajo y Belmont (1987) obtuvieron intervalos de pH de 3.70-5.10 y de 3.70-4.17, respectivamente. Con los registros de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), Páramo *et al.* (1987) citaron un intervalo de pH de 2.66 a 8.42 correspondiente a un promedio mensual de diez años (1975-1985). Los datos recientes del depósito ácido total desde 1994 hasta el 2004 oscilan entre 3.5 y 5.0 de pH ; en éstos se incluyen las áreas urbanas y la zona metropolitana de la Ciudad de México (Comisión Ambiental Metropolitana 2002). Con la finalidad de conocer la composición química de la precipitación ácida, Báez-Pedrajo *et al.* (1993; 1997) hicieron análisis de la misma en el Distrito Federal y reportaron una relación inversa entre Ca^{+2} y Mg^{+2} con respecto a los hidronios (H^+), y destacaron la alta concentración de Ca^{+2} , Mg^{+2} , NH_4^+ , SO_4^{+2} , K^+ , Na^+ ; durante siete años (1987-1993) concluyeron que el SO_4^{-2} fue el más abundante en la precipitación, seguido de NH_4^+ y el NO^{-3} .

Por su parte, Miranda *et al.* (1992) relacionaron la concentración de los H^+ y la temperatura, determinando su origen, los derivados de aerosoles ácidos atmosféricos y orgánicos, mediante la técnica de emisión de rayos-X inducida por un haz de protones (PIXE). También en la India se cuantificó el contenido elemental (metales y minerales) en la corteza a fines de los 80s (Raunemaa, *et al.*, 1987).

Markert (1993) recopiló los estudios de monitoreo pasivo (Walkenhorst, Hagemeyer and Breckle, 1993) del depósito atmosférico con corteza de árbol, que datan desde los 60s, entre los cuales destacan los de Martín y Gray (1971); Grodzinska (1976, 1997); Swieboda y Kalembe (1979); Härtel (1981); Steubing y Jäger (1982); Medwecka-Kornás *et al.* (1989) y Santamaría y Martín (1996) por su precisión y bajo costo.

En ellos también se manifiesta la estandarización del muestreo y de las técnicas analíticas (Wolterbeek and Bode, 1995), así como los diferentes fenómenos que

podrían evaluarse (Wetsman, 1974); escorrentía de la copa sobre el tronco, dispersión espacio-temporal de las emisiones e historia de la contaminación atmosférica. Después Erisman *et al.* (1994) discutieron ampliamente las propiedades físicas y químicas de las superficies de exposición natural y artificial para el monitoreo atmosférico.

Las propiedades físicas y mecánicas de la corteza arbórea de algunas especies de pinos y encinos fueron dadas a conocer por Cassens (1974), quien explica la relación gravedad específica y porosidad, como un factor determinante en la acción de la bioacumulación. De acuerdo con Martín y Gray (1971) la corteza varía químicamente en relación con la especie caducifolia o perennifolia y su pH oscila entre 4.5 a 5.5. Su carácter ácido se debe a: *i*) la presencia de pectinas y ligninas, son proteínas que se involucran en el almacenamiento del nitrógeno, utilizado en la reposición del follaje; *ii*) la proporción celulosa (alfa, beta y gama)-holocelulosa-hemicelulosa y oxalacetatos, y *iii*) a la presencia de taninos, alcoholes hidrosolubles y no solubles.

La corteza constituye de 10 al 15% del peso total del árbol (Kofujita, Etyu y Ota, 1999); su importancia radica en dar protección (mecánica y a los patógenos), regulación térmica y por absorber partículas de la atmósfera, de la cual son responsables los iones oxidrilo (OH^-) de la celulosa y la hemicelulosa. Teóricamente los elementos y iones son "retenidos" por las fuerzas de Van Der Waals y/o por los puentes de hidrógeno, con el consecuente rompimiento de enlaces en las cadenas de celulosa.

El efecto del H^+ en el ecosistema boscoso es la alteración del funcionamiento de la síntesis molecular para la fijación biológica del nitrógeno, de la tasa de desnitrificación y de nitrificación, y de la inhibición de la captación de la energía lumínica, la fotoreducción y la foto-fosforilación. Al depositarse sobre la cutícula de las hojas, entran por los estomas y desplazan al K, Ca, y Mg (Wellburn, 1991; Miller *et al.*, 1987); o bien colapsa a la célula guarda, por lo que el estoma se mantiene abierto. En el suelo, los hidronios alteran el equilibrio electroquímico del porcentaje de saturación de bases y el balance iónico.

De acuerdo con Beverland *et al.* (1997), las coníferas son las especies frecuentemente utilizadas por tener la propiedad de bioacumulación (Cuadro 1).

Con lo descrito se reúnen suficientes evidencias para sospechar la presencia y alta concentración de acidez en los bosques de la Cuenca de México; si esto se agrega a los daños observados en la vegetación (De la Isla de Bauer, 1981) y a las condiciones químicas atmosféricas imperantes en la Ciudad de México (Demerjian, 1991; Young *et al.*, 1997), es factible tener como propósito, cuantificar el depósito ácido en las áreas boscosas de esta región mediante la corteza arbórea de tres especies propias de la zona, en un espectro espacio-temporal.

Cuadro 1. Especies forestales identificadas por su capacidad de bioacumulación.

Pinos	Otras especies
<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Abies balsamea</i> Mill.
<i>Pinus clausa</i> (Chapman ex Engelm.) Vasey ex Sarg.	<i>Pseudotsuga menziessi</i> (Mirbel) Franco
<i>Pinus echinata</i> Mill.	<i>Picea</i> spp.
<i>Pinus elliotii</i> Engelm.	<i>Picea abies</i> (L.) Karst.
<i>Pinus palustris</i> Mill.	<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carr.
<i>Pinus pungens</i> Lamb.	
<i>Pinus rigida</i> Mill.	
<i>Pinus serotina</i> Mich.	
<i>Pinus taeda</i> L.	
<i>Pinus virginiana</i> Mill.	

MATERIALES Y MÉTODOS

Características ambientales de la Cuenca de México

La Cuenca de México es endorreica y está rodeada por montañas del Eje Neovolcánico (Gio-Argáez *et al.*, 1989). Se localiza entre los 99° 30' y 98° 31' longitud oeste y los 19°02' a 20°12' de latitud norte; tiene forma elíptica de norte a sur (125 km) y de oeste a este (90 km) ocupa un área de 8,050 km² (Gio-Argáez *et al.*, 1989), de ella, el Distrito Federal posee 1,503 km² y el resto pertenece a la porción sur del estado de Hidalgo, SW de Tlaxcala y NE del Estado de México (Figura 1). Las montañas le propician un régimen climático específico y una gran variedad de biotas (Cuadro 2), al actuar como sombras meteorológicas (Trujillo, 1989). Los vientos húmedos del Golfo de México chocan con las cordilleras y originan la precipitación; al traspasarlas llegan como vientos secos al centro-norte de la Cuenca y favorecen la aparición de sequías.

LA CORTEZA ARBÓREA COMO BIOMONITOR DEL DEPÓSITO ÁCIDO EN LA CUENCA DE MÉXICO

Germán Calva-Vásquez¹, Ma. de Lourdes de la Isla de Bauer²,
Hugo Padilla-Gordon³, J. Jesús Vargas-Hernández⁴ y
Alejandro Velázquez-Martínez⁵

RESUMEN

El depósito atmosférico y el lavado de las hojas modifican la condición ácida del suelo, debido a la lixiviación de K, Ca, Mg y Mn. La corteza arbórea captura parte de esa contaminación, que se mide mediante la conductividad eléctrica (λ), potencial de hidrógeno (pH) y capacidad media amortiguadora (CMA o β_0); la cuantificación de dichos parámetros permite entender su remoción y la dinámica del proceso. En el Distrito Federal, el depósito ácido atmosférico total va de 3.5 a 5.0 de pH, donde el húmedo es de 5.0-5.6 y el seco de 3.0-5.6. El muestreo se realizó durante 1995 y en el periodo seco de 1996 dentro de los bosques de pino-oyamel ubicados en Villa del Carbón, Izta-Popo y Zoquiapan, pertenecientes al Estado de México, Desierto de los Leones, D. F. y en Mineral El Chico, Hidalgo, a fin cuantificar el depósito ácido presente en la corteza de *Pinus montezumae*, *Cupressus lindleyi* y *Abies religiosa*. Los resultados indican que la acidez en el pino varió de 3.15 a 3.6, en oyamel de 4.0 a 4.35 y en cedro de 4.3 a 6.3. En las especies localizadas en la Cuenca se determinó una diferencia de 2 a 4 unidades de pH, y en las situadas fuera de ella, de una unidad. Se concluyó que existe una homogeneidad en el depósito ácido en los bosques del Valle de México, contrario a lo prevaleciente en El Chico. *Cupressus lindleyi* tuvo la mayor capacidad amortiguadora y es resistente al efecto ácido.

Palabras clave: Bioacumulación, biomonitoreo, cedro, depósito ácido, oyamel, pino.

Fecha de recepción: 02 de junio de 1999.

Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2006.

¹ Laboratorio de Contaminación Atmosférica, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. Correo-e: labcont@servidor.unam.mx.

² Programa de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados.

³ Departamento de Química Atmosférica, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

⁴ Fisiología y Mejoramiento Genético Forestal, IRENAT, Colegio de Postgraduados.

⁵ Programa Forestal, IRENAT, Colegio de Postgraduados.

ABSTRACT

The atmospheric deposit and the washing of the leaves influence soil chemistry as the K, Ca, Mg and Mn lixiviation modifies its acid condition. Tree bark captures part of this product that is measured through electric conductivity (λ), hydrogen potential (pH) and average buffering capacity (β_0); its quantification explains the chemical dynamics and its removal. The total atmospheric acid deposit in Mexico City varies from a pH of 3.5 to 5.0; during the rainy season, it goes from 5.0 to 5.6, and in the dry months, from 3.0 to 5.6. In 1995 and the dry season of 1996, field work was carried out in the forests of Villa del Carbón, Izta-Popo and Zoquiápan all of which belong to Estado de Mexico, and in the Desierto de Los Leones park, Distrito Federal, in order to monitor the atmospheric deposit present in the tree barks of *Pinus montezumae* (pine), *Cupressus lindleyi* (white cedar) and *Abies religiosa* (Sacred fir). Results showed that the deposited acidity in the pine species varied from 3.15 to 3.6 of pH; from 4.0 to 4.35 in fir trees and from 4.3 to 6.3 in cedar trees. The forests inside the Mexican basin revealed a variation from 2 to 4 pH units; outside of it, the difference was of one unit. It was concluded that there is acid homogeneity in the forests that belong to the Valle de Mexico basin, but not in Mineral El Chico. *Cupressus lindleyi* showed the highest buffering capacity and is resistant to the acid effect.

Key words: Bioacumulation, biomonitoring, cedar, acid deposition, fir, pine.

INTRODUCCIÓN

El depósito atmosférico incorpora elementos químicos al suelo que se difunden en el ecosistema (Parker, 1983). Las emisiones de fuentes antropogénicas (SO_x, NO_x, cloruros, hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles) y naturales (volcánicas y gases producto de la desintegración orgánica en los bosques) se integran al mismo; así, se reciclan los elementos. Son dos las vías posibles de introducirse (Cape *et al.*, 1987): la húmeda (SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, H⁺, NH₄⁺) y la seca (S, SH, SO₂, SO₄²⁻, NO₂⁻, NO₃⁻ y N₂O₅), a partir de su velocidad de depósito e incorporación, podría calcularse sus correspondientes tasas, así como la de remoción (Erismán, 1993). Informes técnicos forestales para México aseguran que en la corteza se retienen el NO₂ y el SO₂ a razón de 1.14 y 6.6 ton/ha/año, respectivamente (CKC, 2001).

En la incorporación, las bases catiónicas (K⁺, Na⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) neutralizan los aniones atmosféricos (SO₃³⁻, SO₄²⁻, OCl²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻) (Binkley & Richter, 1987) y atenúan su efecto corrosivo en la superficie de las plantas. Por la severidad del daño directo y el aporte regular de protones, el equilibrio del balance iónico a escala del ecosistema se ve alterado (Wellbum, 1991), con la consecuente liberación y acumulación de iones hidrógeno.

La acidez atmosférica se debe a la constante de disociación del agua (K_w), que en condiciones estándar (1atm, 25°C) su punto de equivalencia es $\{H^+\} = \{OH^-\} = 10^{-7}M$, lo cual implicaría un $pH \approx 7.0$; pero cuando el CO_2 (producto de la respiración) entra en contacto con el agua forma el ácido carbónico, que da origen a la "acidez natural" de la lluvia ($pH = 5.6$); sin embargo al aumentar la temperatura ambiente, el pH puede llegar a 7.47 (Skeffington, 1987). Con las emisiones, el aire incrementa la concentración de SO_2 y NO_2 ; ambos se disuelven con mayor rapidez que el CO_2 , lo que induce la formación del bisulfito con 100 ppbv de SO_2 , con un pH de 4.9. Sequiera (1981, 1982) confirmó que los aerosoles urbanos y marinos incrementan de forma significativa el pH atmosférico.

Padilla *et al.* (1996) registraron precipitaciones con pH de 4.39 a 5.79 en diferentes sitios del sur de la Ciudad de México. Por su parte, Báez-Predajo *et al.* (1986) y Báez-Predajo y Belmont (1987) obtuvieron intervalos de pH de 3.70-5.10 y de 3.70-4.17, respectivamente. Con los registros de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), Páramo *et al.* (1987) citaron un intervalo de pH de 2.66 a 8.42 correspondiente a un promedio mensual de diez años (1975-1985). Los datos recientes del depósito ácido total desde 1994 hasta el 2004 oscilan entre 3.5 y 5.0 de pH ; en éstos se incluyen las áreas urbanas y la zona metropolitana de la Ciudad de México (Comisión Ambiental Metropolitana 2002). Con la finalidad de conocer la composición química de la precipitación ácida, Báez-Pedrajo *et al.* (1993; 1997) hicieron análisis de la misma en el Distrito Federal y reportaron una relación inversa entre Ca^{+2} y Mg^{+2} con respecto a los hidronios (H^+), y destacaron la alta concentración de Ca^{+2} , Mg^{+2} , NH_4^+ , SO_4^{+2} , K^+ , Na^+ ; durante siete años (1987-1993) concluyeron que el SO_4^{-2} fue el más abundante en la precipitación, seguido de NH_4^+ y el NO^{-3} .

Por su parte, Miranda *et al.* (1992) relacionaron la concentración de los H^+ y la temperatura, determinando su origen, los derivados de aerosoles ácidos atmosféricos y orgánicos, mediante la técnica de emisión de rayos-X inducida por un haz de protones (PIXE). También en la India se cuantificó el contenido elemental (metales y minerales) en la corteza a fines de los 80s (Raunemaa, *et al.*, 1987).

Markert (1993) recopiló los estudios de monitoreo pasivo (Walkenhorst, Hagemeyer and Breckle, 1993) del depósito atmosférico con corteza de árbol, que datan desde los 60s, entre los cuales destacan los de Martín y Gray (1971); Grodzinska (1976, 1997); Swieboda y Kalembe (1979); Härtel (1981); Steubing y Jäger (1982); Medwecka-Kornás *et al.* (1989) y Santamaría y Martín (1996) por su precisión y bajo costo.

En ellos también se manifiesta la estandarización del muestreo y de las técnicas analíticas (Wolterbeek and Bode, 1995), así como los diferentes fenómenos que

podrían evaluarse (Wetsman, 1974); escorrentía de la copa sobre el tronco, dispersión espacio-temporal de las emisiones e historia de la contaminación atmosférica. Después Erisman *et al.* (1994) discutieron ampliamente las propiedades físicas y químicas de las superficies de exposición natural y artificial para el monitoreo atmosférico.

Las propiedades físicas y mecánicas de la corteza arbórea de algunas especies de pinos y encinos fueron dadas a conocer por Cassens (1974), quien explica la relación gravedad específica y porosidad, como un factor determinante en la acción de la bioacumulación. De acuerdo con Martín y Gray (1971) la corteza varía químicamente en relación con la especie caducifolia o perennifolia y su pH oscila entre 4.5 a 5.5. Su carácter ácido se debe a: *i*) la presencia de pectinas y ligninas, son proteínas que se involucran en el almacenamiento del nitrógeno, utilizado en la reposición del follaje; *ii*) la proporción celulosa (alfa, beta y gama)-holocelulosa-hemicelulosa y oxalacetatos, y *iii*) a la presencia de taninos, alcoholes hidrosolubles y no solubles.

La corteza constituye de 10 al 15% del peso total del árbol (Kofujita, Etyu y Ota, 1999); su importancia radica en dar protección (mecánica y a los patógenos), regulación térmica y por absorber partículas de la atmósfera, de la cual son responsables los iones oxidrilo (OH^-) de la celulosa y la hemicelulosa. Teóricamente los elementos y iones son "retenidos" por las fuerzas de Van Der Waals y/o por los puentes de hidrógeno, con el consecuente rompimiento de enlaces en las cadenas de celulosa.

El efecto del H^+ en el ecosistema boscoso es la alteración del funcionamiento de la síntesis molecular para la fijación biológica del nitrógeno, de la tasa de desnitrificación y de nitrificación, y de la inhibición de la captación de la energía lumínica, la fotoreducción y la foto-fosforilación. Al depositarse sobre la cutícula de las hojas, entran por los estomas y desplazan al K, Ca, y Mg (Wellburn, 1991; Miller *et al.*, 1987); o bien colapsa a la célula guarda, por lo que el estoma se mantiene abierto. En el suelo, los hidronios alteran el equilibrio electroquímico del porcentaje de saturación de bases y el balance iónico.

De acuerdo con Beverland *et al.* (1997), las coníferas son las especies frecuentemente utilizadas por tener la propiedad de bioacumulación (Cuadro 1).

Con lo descrito se reúnen suficientes evidencias para sospechar la presencia y alta concentración de acidez en los bosques de la Cuenca de México; si esto se agrega a los daños observados en la vegetación (De la Isla de Bauer, 1981) y a las condiciones químicas atmosféricas imperantes en la Ciudad de México (Demerjian, 1991; Young *et al.*, 1997), es factible tener como propósito, cuantificar el depósito ácido en las áreas boscosas de esta región mediante la corteza arbórea de tres especies propias de la zona, en un espectro espacio-temporal.

Cuadro 1. Especies forestales identificadas por su capacidad de bioacumulación.

Pinos	Otras especies
<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Abies balsamea</i> Mill.
<i>Pinus clausa</i> (Chapman ex Engelm.) Vasey ex Sarg.	<i>Pseudotsuga menziessi</i> (Mirbel) Franco
<i>Pinus echinata</i> Mill.	<i>Picea</i> spp.
<i>Pinus elliotii</i> Engelm.	<i>Picea abies</i> (L.) Karst.
<i>Pinus palustris</i> Mill.	<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carr.
<i>Pinus pungens</i> Lamb.	
<i>Pinus rigida</i> Mill.	
<i>Pinus serotina</i> Mich.	
<i>Pinus taeda</i> L.	
<i>Pinus virginiana</i> Mill.	

MATERIALES Y MÉTODOS

Características ambientales de la Cuenca de México

La Cuenca de México es endorreica y está rodeada por montañas del Eje Neovolcánico (Gio-Argáez *et al.*, 1989). Se localiza entre los 99° 30' y 98° 31' longitud oeste y los 19°02' a 20°12' de latitud norte; tiene forma elíptica de norte a sur (125 km) y de oeste a este (90 km) ocupa un área de 8,050 km² (Gio-Argáez *et al.*, 1989), de ella, el Distrito Federal posee 1,503 km² y el resto pertenece a la porción sur del estado de Hidalgo, SW de Tlaxcala y NE del Estado de México (Figura 1). Las montañas le propician un régimen climático específico y una gran variedad de biotas (Cuadro 2), al actuar como sombras meteorológicas (Trujillo, 1989). Los vientos húmedos del Golfo de México chocan con las cordilleras y originan la precipitación; al traspasarlas llegan como vientos secos al centro-norte de la Cuenca y favorecen la aparición de sequías.

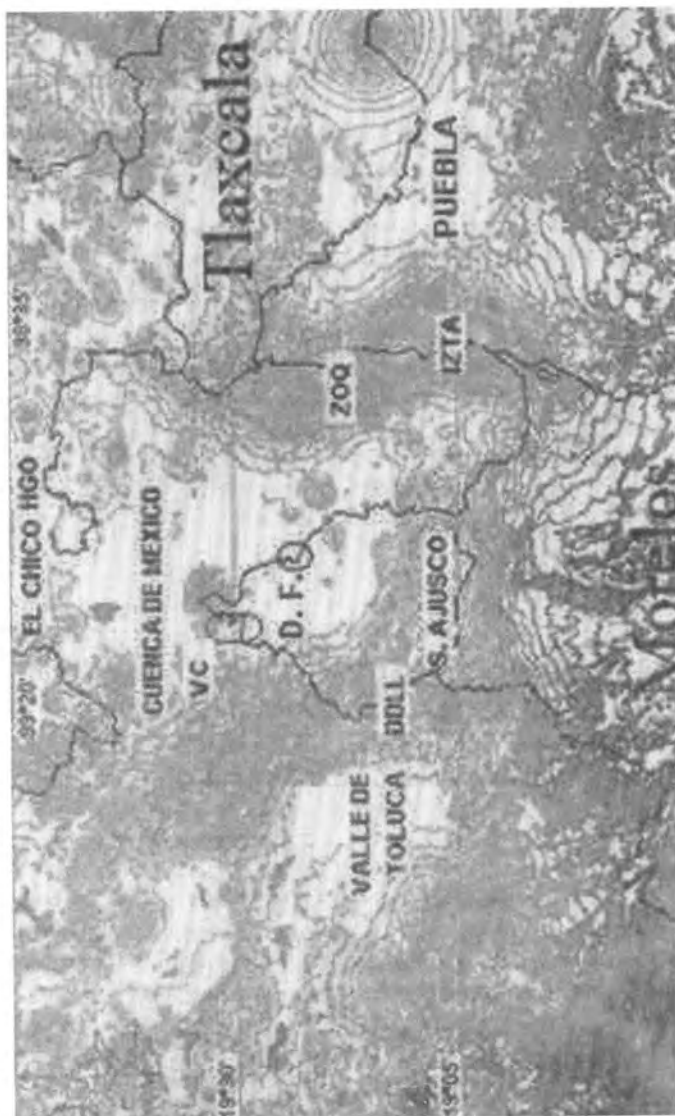


Figura 1. Ubicación (mapserver.inegi.gob.mx/map/datos_basicos/fisiografia) de los bosques en estudio, Parques Nacionales Zoquiápan (Zoo), Izta-popocatepetl (Izta), Desierto de los Leones (DDL) y Mineral El Chico, Hidalgo. Villa del Carbón (VC).

Cuadro 2. Características ambientales y riqueza de los bosques en la Cuenca del Valle de México.

Bosque mesófilo de montaña	Bosque de pino	Bosque de coníferas y encinos
Altitud: 2,500 a 3,500 m	Altitud: 3,000 a 3,900 m	Altitud: 1,300 a 3,500 m
T: - 10 / 12°C	T: - 5 / 12°C	T: - 10 - 12 / 16°C
Precipitación: 1,000 a 1,500 mm	Precipitación: 1,200 mm	Precipitación: 400 a 1,500 mm
Comunidad Arbórea Dominante (> a 35 m)	Comunidad Arbórea Dominante (≤ 30 m)	Comunidad Arbórea Dominante (8 a 30 m)
<i>Abies religiosa</i> (HBK.) Schltld. et Cham.	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenberg & Schltld.	*P/Q mitad boreal de la cuenca:
<i>Pseudotsuga</i> spp.	<i>P. hartwegii</i> Lindl.	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede & Deppe,
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	<i>P. montezumae</i> Lamb.	<i>P. teocote</i> Schltld. et Cham.
	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	<i>P. montezumae</i> Lamb.
		*Ar/ <i>Quercus bourgaei</i> Trel.
		<i>Q. crassipes</i> Humb. et Bonpl.
		<i>Q. rugosa</i> Née
		<i>Q. lanceolata</i> Humb. et Bonpl.
		<i>P. montezumae</i> Lamb.
		<i>Alnus firmifolia</i> Fern.
		<i>Arbutus macrophylla</i> Martens & Galeotti.

Continúa...

continuación Cuadro 2...

<p>Bosque mesófilo de montaña Altitud: 2,500 a 3,500 m T: - 10 / 12°C Precipitación: 1,000 a 1,500 mm Comunidad Arbórea Dominante (> a 35 m) Composición Arbustiva y Herbácea</p>	<p>Bosque de pino Altitud: 3,000 a 3,900 m T: - 5 / 12°C Precipitación: 1,200 mm Comunidad Arbórea Dominante (≤ 30 m) Composición Arbustiva y Herbácea</p>	<p>Bosque de coníferas y encinos Altitud: 1,300 a 3,500 m T: - 10 - 12 / 16°C Precipitación: 400 a 1,500 mm Comunidad Arbórea Dominante (8 a 30 m) Composición Arbustiva y Herbácea</p>
<i>Senecio sanguisorbe</i> DC.	<i>Muhlenbergia</i> spp.	<i>Alnus firmifolia</i> Fern.
<i>S. tolucanus</i> DC.	<i>Calamagrostis</i> spp.	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.
<i>Brachycome xanthocomoides</i> Less.		
<i>Gentiana amarella</i> ssp. <i>acuta</i> (Michx.) Hultén		
<i>Thelypodium pallidum</i> Rose		
<p>Templado Mesoesclerófilo Altitud: - 2,500 a 2,900 m T: - 12 / 16°C Precipitación: 600 a 800 mm Comunidad Arbórea Dominante (3 a 20 m)</p>	<p>Templado Dentifolio Altitud: 1,500 a 2,900 m T: - 12 / 16°C Precipitación: 600 a 1,000 mm Comunidad Arbórea Dominante (hasta 30 m)</p>	<p>Templado Escumifolio Altitud: 500 a 800 m T: - 12 / 16°C Precipitación: 500 a 800 mm Comunidad Arbórea Dominante (4 a 22 m)</p>
<i>Quercus barbinervis</i> Benth.	<i>Alnus</i> P. Mill. con presencia de	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.
<i>Q. rugosa</i> Née	<i>P. leiophylla</i> Schiede & Depp.	<i>Quercus crassipes</i> Humb. et Bonpl.
<i>Q. crassipes</i> Humb. et Bonpl.	<i>P. teocote</i> Schtdl. et Cham.	y <i>Quercus texcocana</i> Trel.

continúa...

continuación Cuadro 2...

Templado Mesoesclerófilo Altitud: - 2,500 a 2,900 m T: - 12 / 16°C Precipitación: 600 a 800 mm Comunidad Arbórea Dominante (3 a 20 m)	Templado Dentifolio Altitud: 1,500 a 2,900 m T: - 12 / 16°C Precipitación: 600 a 1,000 mm Comunidad Arbórea Dominante (hasta 30 m)	Templado escuamifolio Altitud: 500 a 800 m T: - 12 / 16°C Precipitación: 500 a 800 mm Comunidad Arbórea Dominante (4 a 22 m)
<i>Q. mexicana</i> Humb. et Bonpl.	<i>Q. lanceolata</i> Humb. et Bonpl.	
<i>Q. crassifolia</i> Humb. et Bonpl.	<i>Q. laurina</i> Humb. et Bonpl.	
<i>Q. texcocana</i> Trel.	<i>Q. rugosa</i> Née	
Asociación con:	<i>Salix cana</i> Mart & Gal.	
<i>P. leiophylla</i> Schiede & Deppe.	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	
<i>Q. crassipes</i> Humb. et Bonpl.	<i>Rhamnus</i> sp.	
<i>Q. rugosa</i> Née con <i>Alnus firmifolia</i> Fern.		
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex End		
<i>P. rudis</i> Endl.		
<i>Q. pulchella</i> Humb. et Bonpl.		
<i>Q. rugosa</i> Née		
<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.		
<i>Crataegus pubescens</i> (Kunth) Steud.		
<i>Juniperus deppeana</i> var. <i>deppeana</i> Steud.		

Vegetación.- La cubierta vegetal es importante en el proceso de acidificación del ecosistema; así las coníferas contribuyen al equilibrio de la acidez del suelo (Howells, 1990), sobre todo cuando el estrato arbóreo recibe emisiones industriales y volcánicas. Kozłowski y Constantinidou (1986) afirman que el manejo silvícola es otro factor determinante en el efecto del depósito ácido en los bosques. Por ejemplo, de acuerdo a Cibrián-Tovar (1989) y Alvarado *et al.* (1993), las cortas de saneamiento y de liberación aplicadas en el Desierto de los Leones durante 1985 y 1992, promovieron el empobrecimiento del suelo, con lo que disminuyó su capacidad amortiguadora; en consecuencia se redujo el porcentaje de saturación de las bases, la movilidad nutrimental y posiblemente su lixiviación, hipótesis que tendrán que probarse.

Litología.- La extensión rocosa más grande pertenece al actual territorio del Estado de México; presenta afloramientos de origen ígneo extrusivo (andesítica, riolítica y basáltica), sedimentario (clásticas, piroclásticas, tobas) y metamórfico. Existen también depósitos lacustres y aluviales, que fueron rellenados por los antiguos lagos, de modo que cuando algunas zonas se secaron, retuvieron dicho material.

Geología.- Su formación ocurrió hace 32 millones de años; en los últimos 14, hubo un levantamiento del relieve que dio origen al Popocatepetl, Iztaccihuatl y los cerros Chimalhuacán, de la Estrella y Chichinautzin, mismo que taponó el drenaje hacia el sur de la Cuenca, convirtiéndola en endorreica (García y de la Lanza, 1995).

Precipitación.- La orografía y topografía restringen la circulación del aire en la Cuenca (García, 1981 en Gio-Argáez, 1989), por ello, se definen dos periodos climáticos: el de lluvia (junio-octubre) con 95% de precipitación, el cual se presenta en la época cálida y con promedio anual >1200 mm, en particular en el W y SE (Sierra de Las Cruces, del Ajusco y Nevada), y el de la época seca (noviembre-mayo), con 5% de la precipitación total anual. La parte norte de la Cuenca (Distrito Federal y Pachuca) recibe de 500 a 600 mm/año de precipitación, y la sur 1,500 mm. El centro de la Cuenca (Distrito Federal y las serranías Tepetzotlán, Tezontlalpan, Calpulalpan y Chichicauhtla)-registran de 500 a 800 mm/año.

Trabajo de campo

La selección de las especies arbóreas bioacumulativas se hizo con base en las recomendaciones bibliográficas internacionales en términos de distribución, fisiología y biología (Lötschert y Kohm, 1977; Grodzinska, 1977; 1979; Swieboda y Kalemba, 1979; Härtel, 1981; Steubing y Jäger, 1982; Medwecka-Kornás *et al.*, 1989; Markert 1993; Santamaría y Martín, 1997). Se eligieron a *Pinus montezumae* Lamb., *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham. y *Cupressus lindleyi* Klotzsch porque crecen en los bosques de la Cuenca de Valle de México y

forman bosquetes con respecto al gradiente altitudinal; además, son especies representativas de la superficie forestal (Melo, 1987) que reciben el mayor impacto de los contaminantes.

Así, en Villa del Carbón (VC) y en los parques nacionales Desierto de los Leones (DDLL), Iztacihualti-Popocatepetl (IZTA), Zoquiapan (ZQ) y El Chico (zona referencia), se llevaron a cabo las recolectas durante seis periodos de muestreo entre 1995 y 1996; las localidades fueron seleccionadas porque son limítrofes de la Cuenca. La composición vegetal de las zonas de trabajo se indica en el Cuadro 3. Los rodales se ubicaron en sus correspondientes cartas topográficas (INEGI, 1984) (escala 1:25,000) y se confirmó su existencia con visitas previas de reconocimiento.

Se muestrearon diez árboles al azar por especie dentro de los cuadrantes preseleccionados por medio de números aleatorios que representaron sus coordenadas. Los criterios (Grodzinska, 1979; Staxäng, 1969; Skye, 1969) para escoger a los individuos fueron: ausencia de daños, parásitos y marcas aparentes, por ejemplo cinchados y con una circunferencia >1.20 m; cada uno fue señalado numéricamente.

El muestreo se programó con base en el régimen climático de la Cuenca (Trujillo, 1989): seco (S1 = noviembre, diciembre, enero; S2 = febrero, marzo, abril) y húmedo (H1 = mayo, junio, julio; H2 = agosto, septiembre y octubre), lo que dio un total de seis muestreos (S1, S2, H1, H2 del año 1995 y S1, S2 para 1996).

Se obtuvieron 140 muestras por periodo y de cada uno de los bosques de estudio, mismas que se etiquetaron y envasaron en frascos de poli carbonato para su manipulación y transporte. El total fue de 840; de ellas, 560 correspondieron a la temporada de seca de 1995 y 1996. Los árboles se marcaron con números consecutivos y se tomó una muestra de 75 g de corteza de la cara incidente a los vientos provenientes de la fuente contaminante de acuerdo a lo descrito por Skye (1969), Staxäng (1969), Martín y Gray (1971) y Grodzinska (1976, 1977, 1979, 1982). La cara del árbol cambió en relación a la orientación del bosque dentro de la Cuenca de México: norte para Iztacihualti-Popocatepetl y Zoquiapan; sureste para Villa del Carbón; noreste para el Desierto de los Leones (DDLL) y sur-suroeste para Mineral El Chico.

Laboratorio

El material recolectado se limpió de manera inmediata y en forma manual se pulverizó, se secó en una estufa (Kinet, Modelo 53874) a 90°C por 48 h, evitando su hidratación (Skye, 1969; Staxäng, 1969; Grodzinska, 1977b y Härtel, 1981). La Organización Mundial Meteorológica (1978) recomienda la

Cuadro 3. Características de la composición vegetal en los sitios.

Zona/ Extensión	Uso/ Año	Altitud (msnm)	Composición de especies arbóreas
Mineral El Chico, 2,500 ha	Parque Nacional, 1898	2,320-3,090	<i>Abies religiosa</i> en asociación con <i>Pinus</i> spp., <i>Juniperus deppeana</i> , <i>Quercus</i> spp. y <i>Cupressus lindleyi</i>
Zoquiapan (ZQ) 20,454 ha	Parque Nacional, 1937	2,450-3,950	<i>Pinus montezumae</i> , <i>P. pseudostrabus</i> en asociación con <i>Abies religiosa</i> , <i>Cupressus lindleyi</i> , <i>Quercus</i> spp. y <i>Alnus</i> sp.
Desierto de los Leones (DDLL) 1,650 ha	Parque Nacional, 1917	2,260-3,790	<i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus ayacahuite</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. leiophylla</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. patula</i> var. <i>longipedunculata</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. pseudostrabus</i> y <i>P. radiata</i> (plantado) en asociación con <i>Cupressus lindleyi</i> , <i>C. benthamii</i> , <i>Salix</i> spp., <i>Alnus</i> spp., <i>Quercus</i> spp.
Izta-Popocatepetl (IZTA) 25,679 ha	Parque Nacional, 1935	2,900-3,300 3,300-4,200	<i>Pinus montezumae</i> y <i>Abies religiosa</i> en asociación con <i>Cupressus lindleyi</i> , <i>Alnus firmifolia</i> , <i>Pinus hartwegii</i>
Villa del Carbón (VC) 14,682 ha	Ejidal Recreativo y Forestal	2,450-3,350	Bosque mixto (<i>Pinus</i> spp., <i>Quercus</i> spp., <i>Cupressus lindleyi</i> , <i>Alnus</i> spp.)

Fuente: Melo, 1987.

técnica potenciométrica para los parámetros pH, conductividad eléctrica y capacidad amortiguadora.

De cada muestra molida se tomó una alícuota de 2 g, colocándose en frascos de alta dureza (polipropileno) y se hidrató con agua desionizada (1:2 peso-volumen); se refrigeró a 0°C y durante 72 h a fin de no romper el equilibrio químico (Martín y Gray, 1971). Se descongeló a temperatura ambiente antes de realizar las mediciones de acidez en un potenciómetro Conductronic (Modelo pH-20), cuya resolución y repetibilidad es de ± 0.01 pH con un electrodo de membrana de vidrio para facilitar la permeabilidad del ión hidronio. Los registros de $\text{pH}_{(1)}$ se usaron para calcular la Capacidad Media Amortiguadora (CMA o β_0 o β_{med}) y se determinó el $\text{pH}_{(2)}$ con una curva de titulación a base de hidróxido de sodio, mediante la ecuación publicada por Johsen y Söchting (1973):

$$\beta_0 = 0.01/\Delta\text{pH} (\text{pH}_{(2 \text{ o NEUTRALIZADO})} - \text{pH}_{(1 \text{ o CAMPO})})$$

La conductividad eléctrica (λ) se cuantificó en un conductivímetro (Oakton WD-35607-00), cuyo electrodo de doble filamento de platino le permite incrementar su resolución (0.01 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y su precisión (1%).

Análisis estadístico

Se construyó una base de 2,500 datos en la que se incorporó la información de pH, $[\text{H}^+]$, la λ y CMA (β_{med} o β_0), de las tres especies, durante los seis periodos de muestreo, para cada una de las zonas de estudio; con el mismo criterio se ordenaron para su interpretación y validación. El número total de registros fue de 180 para oyamel, 240 para pino y 240 para cedro. En cada ocasión se determinaron pH, $[\text{H}^+]$, λ y CMA los que se analizaron con Statgraphics (Versión 5; Cervantes y Márquez, 2005). Las pruebas realizadas consistieron en estadística descriptiva (\bar{x} , δ , μ , desviación estándar (S_d)), análisis de varianza y diferencia en la varianza de las medias (Tukey) (Dawson-Saunders y Trapp, 1993; Sokal and Rohlf, 1987).

La hipótesis postulada es para el análisis grupal de medias paramétricas, porque con ello se evita el efecto de las magnitudes de las variables. La media de las varianzas del pH, λ y CMA están influidas por los periodos de muestreo y/o los sitios de estudio. La hipótesis es probar desigualdad entre las medias de los registros de cada parámetro bajo el criterio de especies, periodos de muestreo y zonas de estudio, con un coeficiente de intervalo para la diferencia de las medias del 95%, $\alpha = 0.05$ y con una significancia de cuatro dígitos (7.32747 E-15) para rechazar H_0 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación del pH de la corteza arbórea a escala mundial

Los registros de pH en la corteza de pináceas de Europa (2.2-6.0), Canadá (3.7-4) y Estados Unidos (3.2-6.2) (Bolken, 1978) presentan un intervalo no mayor a 2.4 unidades de pH entre el máximo y en mínimo, que contrastan con las 4.2 unidades obtenidas en la Cuenca de México con corteza de oyamel, pino y cedro (Figura 2). Los bosques de Suecia, Estados Unidos, Canadá y Austria tienen valores inferiores

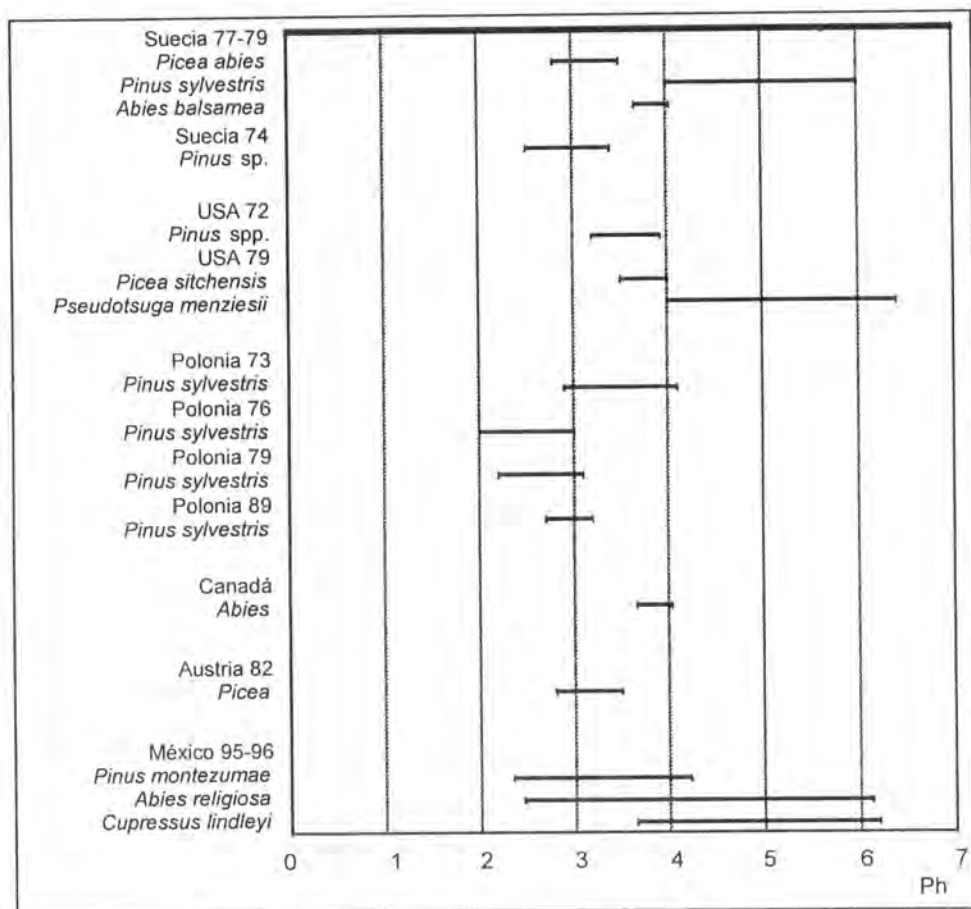


Figura 2. Acidez mundial registrada en corteza arbórea de bosques europeos y de México.

con respecto a sus similares de México. El más ácido corresponde a los pinos de Polonia (pH = 2.0-4.2) y de Suecia (pH = 2-3.5) mientras que el más cerrado fue el del abeto de este último país (pH = 3.5-4.0) y Canadá (pH = 3.6-4.0) con respecto al oyamel mexicano (*Abies religiosa*, pH = 2.5 a 6.1).

La acidez de los individuos arbóreos analizados en Polonia y Suecia (Skye, 1969; Staxäng, 1969; Martín y Grey, 1971; Johsen y Söchting, 1973; Grodzinska, 1977a, 1979, 1982; Lötschert y Köhm, 1977; Swieboda y Kalemba, 1979; Hårtel, 1981) se explica por la presencia de la gran industria metalúrgica y de astilleros. En contraste, la corteza de las especies mexicanas son contaminadas con el azufre emitido por los automotores y el volcán Popocatepetl. Las partículas de carácter básico provienen de la industria cementera, jabonera y ladrillera, que ya en la atmósfera tienden a neutralizar los ácidos, reacción en la que se liberan el protón y el sulfato (o nitrato) y tienden a formar una sal metálica. Los pinos, por su altura, son los encargados de filtrar los vientos (cortinas rompe vientos) con la consecuente captura de las referidas sustancias.

El cedro tuvo un intervalo de pH de 3.7 a 6.2, e internacionalmente no hay información sobre la acidez de su corteza, pero en comparación con otras especies nacionales, estos valores son los menos ácidos y coinciden con lo citado para los encinos y fresnos europeos (Markert, 1993).

Los resultados obtenidos, incluyendo las especies de El Chico, se ubican en lo registrado como ácido en el ámbito mundial, lo que se traduce en daños en las hojas, que consisten en bandas de color gris-verde y café claro en las porciones intervenales (Cuadro 4), frecuentemente acompañados de necrosis (Evans *et al.*, 1977; National Academy of Science, citado por Smith, 1980). El protón rompe estructuras cuticulares de las hojas destruyendo los sistemas de producción de moléculas (ATP) y cloroplastos (Wellburn, 1991).

Variación del pH a escala espacio-temporal

De los registros en la corteza arbórea se interpreta lo siguiente:

a) Se determinó diferencia significativa, 95% de confianza, entre las medias de las varianzas para *Abies religiosa* y *Pinus montezumae* (figuras 3a y 3b) durante el periodo seco (S_1 y S_2 -95, S_1 y S_2 -96) con respecto al húmedo (H_1 y H_2 -95). Destaca en el caso del oyamel cuya media de las varianzas de la temporada seca fluctúa en el intervalo de pH = 4.2 a 4.5, y para la segunda, fue de 3.8-4 (Figura 3), lo que confirma que la mayor acidez ocurre en ésta última. Para la corteza de pino las magnitudes de la media del periodo seco oscilan de 3.1 a 3.75, las del segundo, entre 3.15-3.35.

En *Cupressus lindleyi* (Figura 3c) se obtuvo una diferencia significativa entre las medias de las varianzas del pH del periodo seco 1995, con respecto

Cuadro 4. Intervalos de acidez en corteza arbórea de cedro, pino y oyamel de la Cuenca de México con respecto a lo citado a nivel mundial.

Especies	Intervalo en los sitios de estudio	Intervalo en la zona de referencia	Intervalo registrado a nivel mundial	Intervalo de daño en copa*
<i>Cupressus lindleyi</i>	2.45 - 6.79	5.68 - 6.21	S/d	S/d
<i>Pinus montezumae</i>	2.20 - 4.15	2.82 - 3.45	Pino blanco (<i>P. monticola</i> Dougl. ex D. Don) 2.6 - 3.4	2.6 - 3.4
			Pino (<i>Pinus</i> sp.) 3.4 - 3.8	2.6 - 3.4
			Pino (<i>Pinus</i> spp.) 3.2 - 3.93	2.6 - 3.4
<i>Abies religiosa</i>	3.60 - 6.15	4.0 - 6.24	Oyamel (<i>Abies balsamea</i> (L.) P. Mill.) 3.6 - 4	?

* Los daños en las hojas de los árboles dependen del tipo de depósito, húmedo o seco, en fase acuosa, gaseosa o de aerosol: por ejemplo el SO₂ atmosférico se deposita en forma seca a razón del 50% del total emitido. No así para el NO_x que originan el ácido nítrico, precipitándose en forma de aerosol durante noche, o bien en forma de partícula durante las primeras doce horas del día. En consecuencia los H⁺ en hojas de árboles deciduos y caducifolios lavan el Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ produciendo la clorosis y el bandeado (Capellato y Peters, 1993).

al de 1996 (Figura 4). A su vez, sólo en este último se determinó diferencia significativa con el periodo húmedo del primer año.

La varianzá media del periodo seco de 1995 tuvo un pH de 4.6, y en 1996 de 5.3 a 5.6; dicho valor es similar a la acidez de la precipitación "natural", producida por la solubilidad de CO₂ en el vapor del agua atmosférica. Por su parte, el intervalo del pH del periodo húmedo fue de 4.1 a 4.5, lo que indica que éste aporta la mayor acidez atmosférica a los ecosistemas boscosos. Finalmente, la media de las varianzas del pH de la temporada seca de muestreo arrojó diferencia significativa con la húmeda, solo con la corteza del cedro y pino.

La diferencia de medias de la varianza del pH de la corteza de oyamel, pino y cedro, con respecto a los bosques (Figura 4) se comportó de la siguiente forma:

a) El pH de la corteza del oyamel mostró diferencia de medias entre el Izta-Popo (Izta) y el Desierto de los Leones (DDLL), en relación a Zoquiapan (Zoq); el intervalo de El Chico osciló de 4.05 a 4.7 y resultó significativo con relación a los otros sitios. De acuerdo con Dawson-Saunders y Trapp (1993) el intervalo de

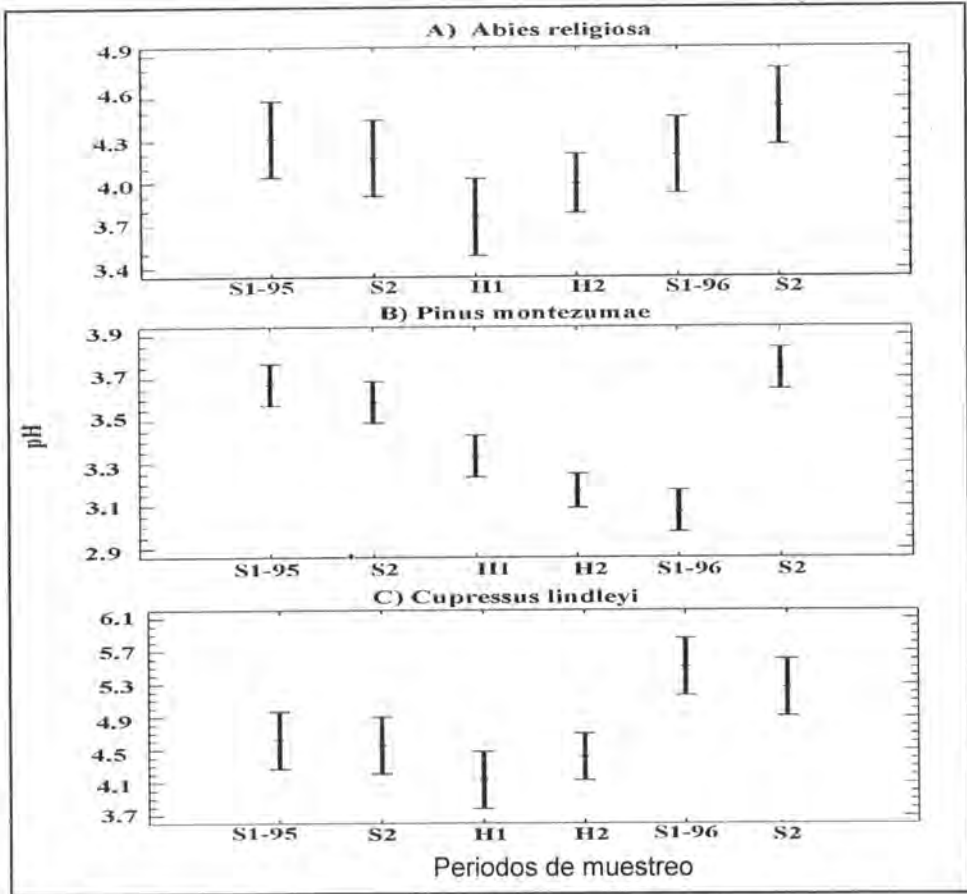


Figura 3. Diferencia de medias del pH en relación con el periodo de muestreo y a las especies arbóreas.

confianza (IC) se hace amplio con el fin de ubicar a la media de la varianza con un 95% de certeza; sin embargo el IC por su amplitud no es capaz de establecer diferencia significativa, en consecuencia se requiere de un aumento en el número de muestras de corteza (n), como es el caso del bosque de referencia El Chico (Figura 4a-c) con las tres especies arbóreas.

Al comparar las medias del pH de la corteza de pino se observó una diferencia significativa para los sitios de Villa del Carbón (pH = 3.3), Zoquiapan (pH = 3.4), Izta-Popo (pH = 3.2) y Desierto de Los Leones (pH = 3.6). El bosque de referencia, El Chico, presentó un intervalo amplio (pH = 3.55–3.85) y, pese a ello, sólo tuvo

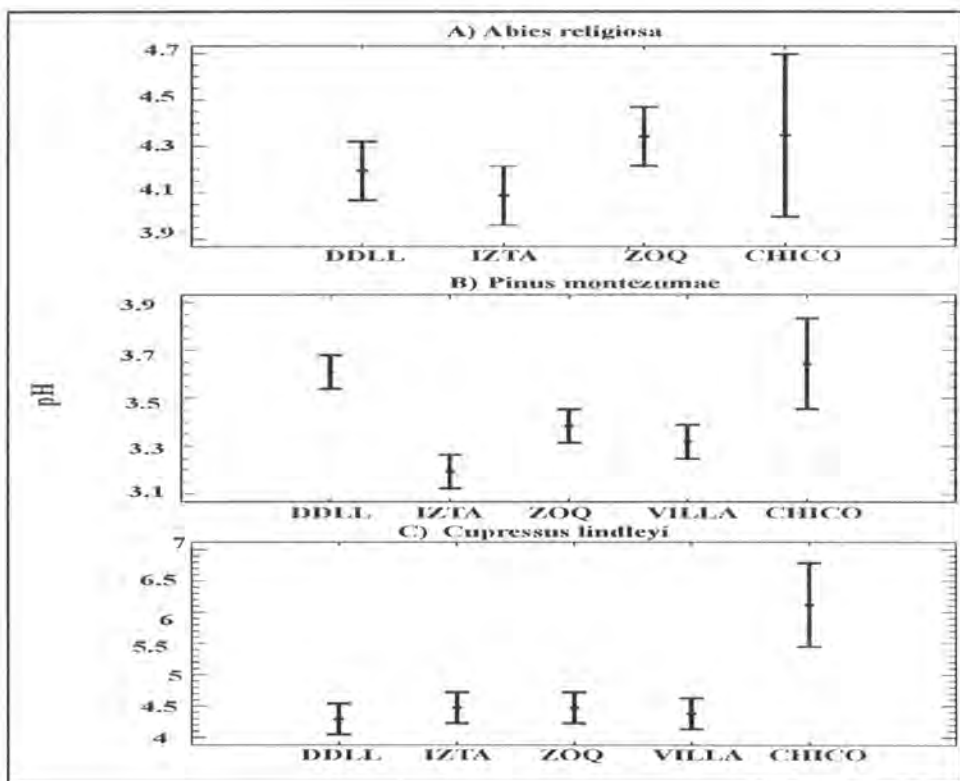


Figura 4. Comparación de medias del pH en relación con los sitios de muestreo y las especies.

diferencia significativa con DDLL. Por lo tanto, se requiere aumentar el tamaño de muestra (n).

b) Para la corteza de *Cupressus lindleyi* no existió diferencia significativa en relación a El Chico al analizar los sitios (Figura 4), situación que podría deberse a que la corteza del cedro posee compuestos que neutralizan la acidez atmosférica. El oyamel y el pino registraron un pH de 4.6 y 3.6, respectivamente; la amplitud del intervalo de confianza es similar. Aun cuando El Chico recibe los vientos provenientes de los quemadores de gas de Veracruz y Tampico, la variación del pH de la corteza del cedro sí es significativamente ($\text{pH} = 6.1$) diferente al pino y oyamel.

La acidez de la corteza medida en los árboles de los parques urbanos de Tlalpan, Chapultepec y Aragón, Distrito Federal, registró valores de pH de 2.91

a 4.02 en *Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. et Cham., y de 4.03 a 4.86 en *Cupressus lindleyi* (Soto-Téllez, 1996). Sánchez-Reyna (1996) obtuvo pHs muy similares (2.97 a 5.83) para cedro (*Cupressus lindleyi*) y en *Pinus* sp. de 2.81 a 5.46; Saavedra-Romero (1996) proporciona la acidez medida durante el periodo 1990-1993 para algunas coníferas del DDLL; sus registros fueron: para *Pinus montezumae*, pH de 3.28 a 3.31, en *Abies religiosa* de 3.54 a 3.59 y para *Cupressus lindleyi* de 5.17 a 5.74.

El pH y sus promedios registrados en la corteza de las tres especies coinciden con los datos de la acidez en agua de lluvia (pH = 3.5 para 1995 y 1996) obtenidos por el programa de evaluación de las precipitaciones ácidas para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Bravo *et al.* (1987, 1989) determinaron la acidez atmosférica (pH = 3.5 a 5.5), lo que coincide con el programa gubernamental.

En informes internacionales se hace referencia a que las especies caducifolias son menos ácidas que las perennes (Grether, 1977) y recomiendan las primeras, sin descartar a las pináceas como bioacumulativas sensibles (Santamaría y Martín, 1997). A esta conclusión han llegado autores como Young (1938), Bollen (1969) y Murphy *et al.* (1970) citados por Martín y Grey (1972), Skye (1969), Staxäng (1969), Grodzinska (1977, 1979, 1982), Johsen y Söchting (1973), Lötschert y Köhm (1977), Swieboda y Kalemba (1979), Härtel (1981), y la especie más utilizada es *Pinus sylvestris*.

Por la diferencia de medias y en orden decreciente, la acidez de la corteza tuvo valores para pino de 3.15 a 3.6; para oyamel de 4.0 a 4.35 y para cedro de 4.3 a 6.3, ésta última fue la menos ácida en todos los sitios, y presentó diferencia significativa. Al considerar el conjunto de las medias del pH de cada especie en relación con el sitio, se determinó el siguiente orden: Izta-Popo, 4.1-3.2; Zoquiapan, 4.3-3.35; Desierto de los Leones 4.3-3.6; Villa del Carbón 4.5-3.4 y El Chico 6.0-3.6.

La Figura 5 muestra los coeficientes de variación (CV) de los hidronios (H^+) de los bosques estudiados. Los de mayor magnitud, 318.76% y 269.19% se obtuvieron en el Desierto de los Leones y en Villa del Carbón, respectivamente, donde la contaminación atmosférica es más intensa. En orden decreciente, aparecen Zoquiapan (192.71%), Izta-Popo (98.69%) y El Chico (72.32%), cuyo contenido de hidronios es menor, lo cual significa que la concentración de su depósito es inferior a la de los otros bosques. Se infiere que los hidronios no guardan relación directa o inversa con la conductividad eléctrica (CE). Los bosques de mayor depósito tuvieron intervalos entre 300 y 7,000 $\mu\text{eq}/\text{cm}$ de CE, y de ellos Zoquiapan mostró los valores más altos, con 300-11, 300 $\mu\text{eq}/\text{cm}$.

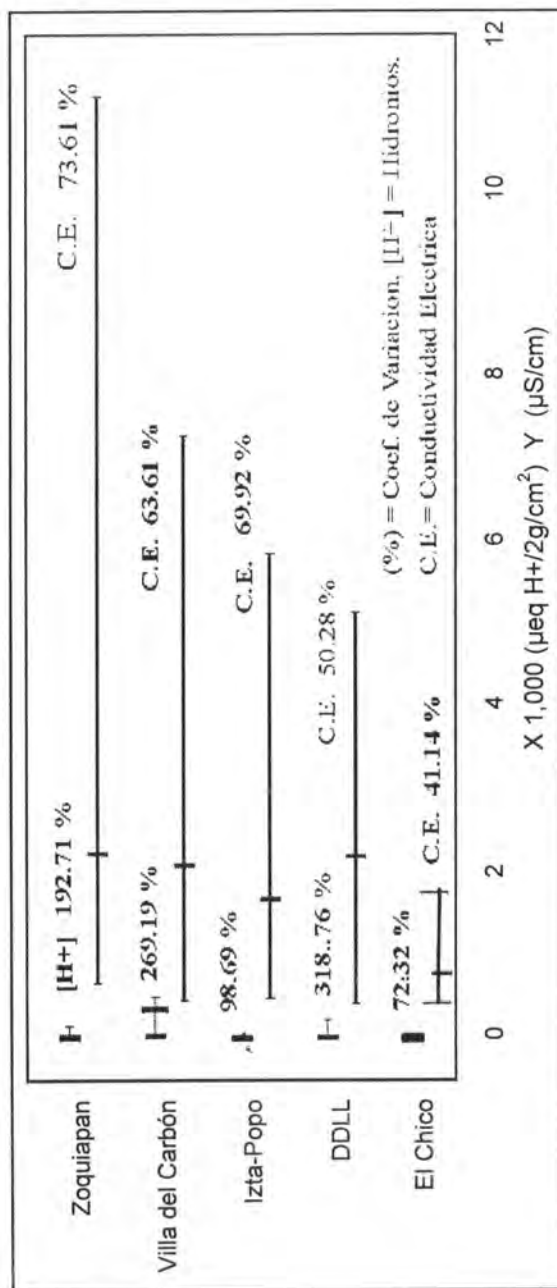


Figura 5. Coeficientes de variación de los hidronios (H⁺) y CE (λ) en relación con los sitios de estudio.

De la comparación de variables hidronio y pH, en relación con las localidades de estudio y la de referencia (Figura 6), se determinó lo siguiente:

a) El CV correspondiente al oyamel, cedro y pino de los bosques de estudio fue superior en porcentaje y acidez (pH), 215.28% (2.46), 256.19% (4.69) y 116.46% (4.42), al de la zona de referencia (El Chico).

b) El CV del oyamel, cedro y pino de El Chico es inferior 53.44% (4.69), 72.32% (6.54) y 47.61% (3.2) en hidronios y acidez (pH). El coeficiente de variación de los hidronios fue de 253% (oyamel), 256% (cedro), y para el pino de 116% (Figura 6).

Con base en el CV se concluyó que todas las variables cuantificadas en la corteza arbórea de los sitios en estudio siempre resultaron ser mayores a los recolectados en el sitio de referencia (Cuadro 4).

Cuadro 4. Coeficientes de variación (%) para las especies de las zonas de estudio y de referencia.

Especie	[H ⁺] (pH)	λ	CMA
Oyamel (Z. de estudio)	215.28 (2.46)	81.57	34×10^{-5}
Oyamel (Z. referencia)	53.44 (4.69)	15.8	19×10^{-5}
Pino (Z. de estudio)	116.46 (257)	57.01	24×10^{-5}
Pino (Z. referencia)	47.61 (3.2)	10.71	17×10^{-5}
Cedro (Z. de estudio)	256.19 (3.63)	68.94	4×10^{-4}
Cedro (Z. de referencia)	172.32 (6.54)	41.14	3×10^{-4}

Variación espacio-temporal de los hidronios

La concentración de hidronios con respecto a los periodos de muestreo no evidenció diferencia alguna entre la media de las varianzas ni para las especies, a excepción del oyamel (Figura 7a), que al inicio de la época húmeda (H1) era significativamente diferente a las demás temporadas. Al contrario de lo registrado para la corteza del pino (Figura 7b), en la que se observó que el final de las etapas húmedas y comienzo de la temporada seca fueron distintas. En la de cedro (Figura 7c) no hubo diferencias. Las estaciones de muestreo no son factores significativos de variación en la concentración de hidronio, como depósito en los ecosistemas boscosos de la Cuenca de México.

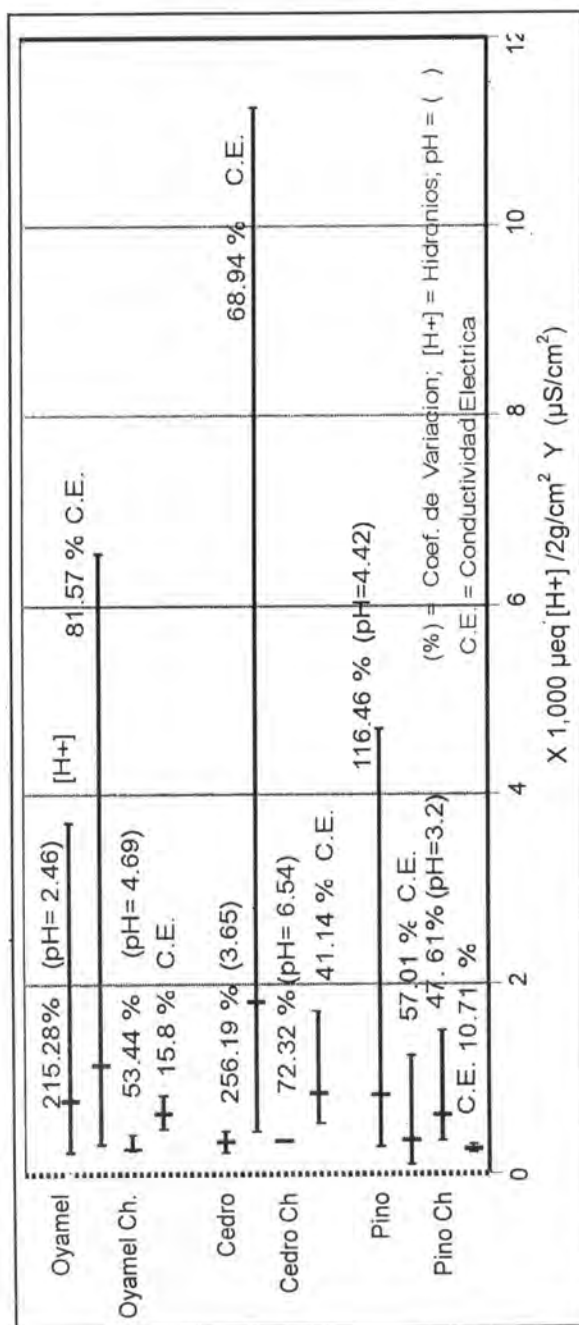


Figura 6. Coeficiente de variación de hidronios [H⁺] y CE (λ) registrada en la corteza arbórea de oyamel, cedro y pino.

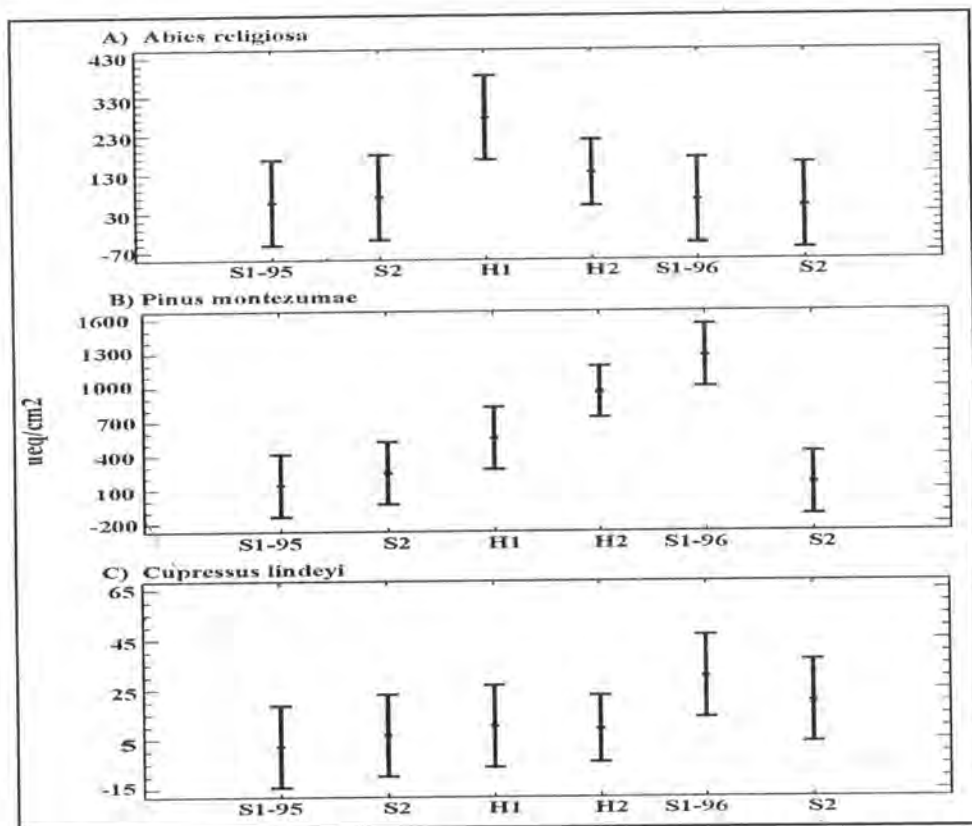


Figura 7. Diferencia de medias de la [H⁺] en la corteza del oyamel (A), pino (B) y cedro (C) en relación con el periodo de muestreo.

Los hidronios atmosféricos acidifican el aire y establecen un intercambio con las hojas de los árboles, al nivel de la epidermis y de la cutícula, con cationes monovalentes (K, Na) y divalentes (Ca, Mn, Mg, Cu, Zn), destruyendo internamente la célula vegetal; la acumulación del protón en el ecosistema conlleva a su acidificación (Wellburn, 1991).

Miranda *et al.* (1992) compararon la cantidad de hidronios en la atmósfera de la Cuenca de México con los de la ciudad de Los Ángeles (EUA) originados por los aerosoles y compuestos orgánicos; sus resultados mostraron que los hidronios totales de México son menores ($1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 0.4$) con respecto a los presentes en Los Ángeles ($3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $1.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no así con los hidronios de origen orgánico ($2.87 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 0.4$). Obtuvieron una relación lineal $\text{H}^+ = 0.54 + 0.50 ([\text{S}])$ $r = 0.93$

entre la $[H^+]$ derivado del sulfato de amonio $[(SO_3(NH_4)_2)]$ y del ácido sulfúrico (H_2SO_4) atmosférico. Dicha situación cambiaría con el aporte extraordinario de hidronios a la atmósfera de los ecosistemas forestales, emitidos por el volcán Popocatepetl y por el aumento atmosférico del sulfuro de hidrógeno (HS).

Al comparar la diferencia de medias de la varianza de $[H^+]$ (Figura 8) de los bosques de estudio y el de referencia, se determinó que el oyamel de Zoquiapan es significativamente diferente con respecto a Izta-Popo y Desierto de los Leones, excepto en El Chico, situación que no se repite con la corteza del pino y del cedro; la amplitud del intervalo de confianza (95%) no permite establecer diferencia alguna, e indica que es necesario incrementar el tamaño de la muestra.

Con la corteza del pino (Figura 8b) existe diferencia significativa en la concentración de hidronios de Izta-Popo en relación con los otros sitios. En el caso del cedro de Villa del Carbón es diferente al de DDLL, Zoq. y el Izta-Popo (Figura 8c).

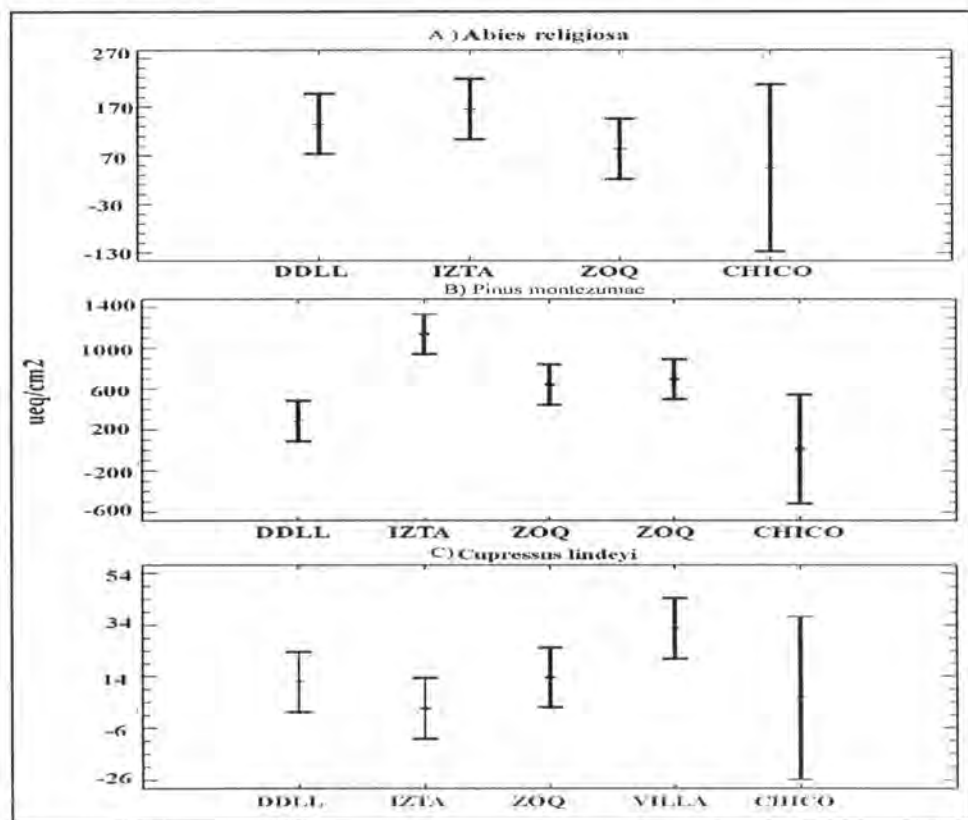


Figura 8. Diferencia de medias de $[H^+]$ en la corteza de oyamel (A), pino (B) y cedro (C) en relación con el muestreo.

Finalmente no es homogéneo el depósito de los hidronios en los sitios de muestreo en relación con el sitio boscoso de referencia, ya que El Chico no recibe descargas de hidronios en la misma magnitud que el resto de las zonas.

Variación espacio-temporal de la conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE o λ) de la corteza arbórea es un excelente indicador del tipo de partículas que constituyen el depósito atmosférico (Legrand *et al.*, 1996). Su comportamiento en el periodo de muestreo y en las localidades, fue de la siguiente forma:

- En el oyamel se obtuvo diferencia significativa entre el periodo húmedo (1995-2) con respecto a los consecutivos secos (1996) (Figura 9a).
- Con la corteza de pino la diferencia se presentó en el húmedo (1995) respecto al seco del mismo año, pero no así para el correspondiente de 1996.
- El cedro mostró diferencia significativa en el periodo húmedo de 1995, con respecto al seco de 1996, así como con la temporada seca de 1995 (Figura 9c).

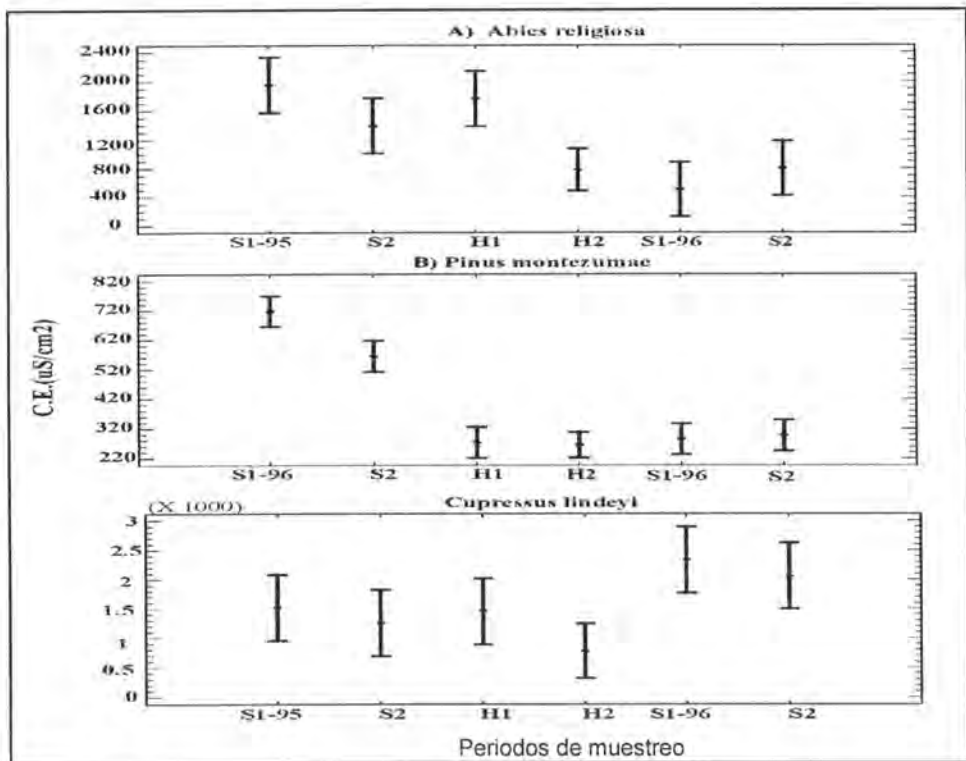


Figura 9. Comparación de medias de la conductividad eléctrica de la corteza arbórea en relación con los periodos de muestreo.

El análisis global de los registros de la conductividad eléctrica permite establecer que la temporada de recolecta de muestras no es un factor que determina la conducta temporal del depósito atmosférico, lo que tal vez se deba a que las partículas atrapadas en los intersticios de la corteza son incorporadas de manera mecánica.

La CE mostró diferencia significativa entre las medias de la varianza en relación con las localidades: El Chico con el resto de los lugares, pero con ninguna de las especies arbóreas. Esto obedece a que la CE de la corteza de *Abies religiosa* requiere de un incremento en el tamaño de la muestra recolectada para disminuir la gran amplitud de intervalo de confianza, (600 a 1,700 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$). El oyamel (Figura 10a) entre los sitios DDLL (950 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$) contra Izta-Popo (1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$) y Zoquiapan (1250 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$) presentó diferencias significativas, situación que no sucede con los dos últimos sitios.

Las magnitudes elevadas de la CE demuestran que existe una acumulación elevada de partículas provenientes de la atmósfera debido a su crecimiento extrínseco, razón por la cual las descargas de partículas podrían analizarse de forma cronológica.

a) La corteza de pino (Fig. 10b) resultó ser más sensible en la CE y fue posible obtener una diferencia de medias en los sitios DDLL (320 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$), Izta-Popo (420 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$), Zoquiapan (400 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$), con respecto a Villa del Carbón (500 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$).

b) Para la CE del cedro (Figura 10c) en EL Chico (700 a 1,900 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$) no se determinaron diferencias con alguno de los otros lugares, DDLL (2,250 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$), Izta-Popo (1,700 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$), Zoquiapan (2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$) y Villa del Carbón (2,100 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$). Los mayores registros de CE se midieron en cedro, seguido del oyamel y pino, situación que podría responder a la densidad de la madera.

Variación espacio-temporal de la capacidad media de amortiguamiento (CMA)

Al considerar el total de los datos agrupados por hidronios, conductividad eléctrica y capacidad media amortiguadora, el análisis de diferencia de medias reflejó una alta significancia (Cuadro 5) con relación a las fuentes de variación: bosque, período de recolecta y la especie arbórea. Los valores de F se ubicaron en la región de rechazo de la hipótesis nula.

Al analizar las diferencias significativas de las medias del pH, hidronios [H^+] y CMA (β_0) respecto a los taxa se determinó lo siguiente:

a) La acidez atmosférica registrada con las especies predominantes en los bosques de la Cuenca de México presentó diferencia significativa entre

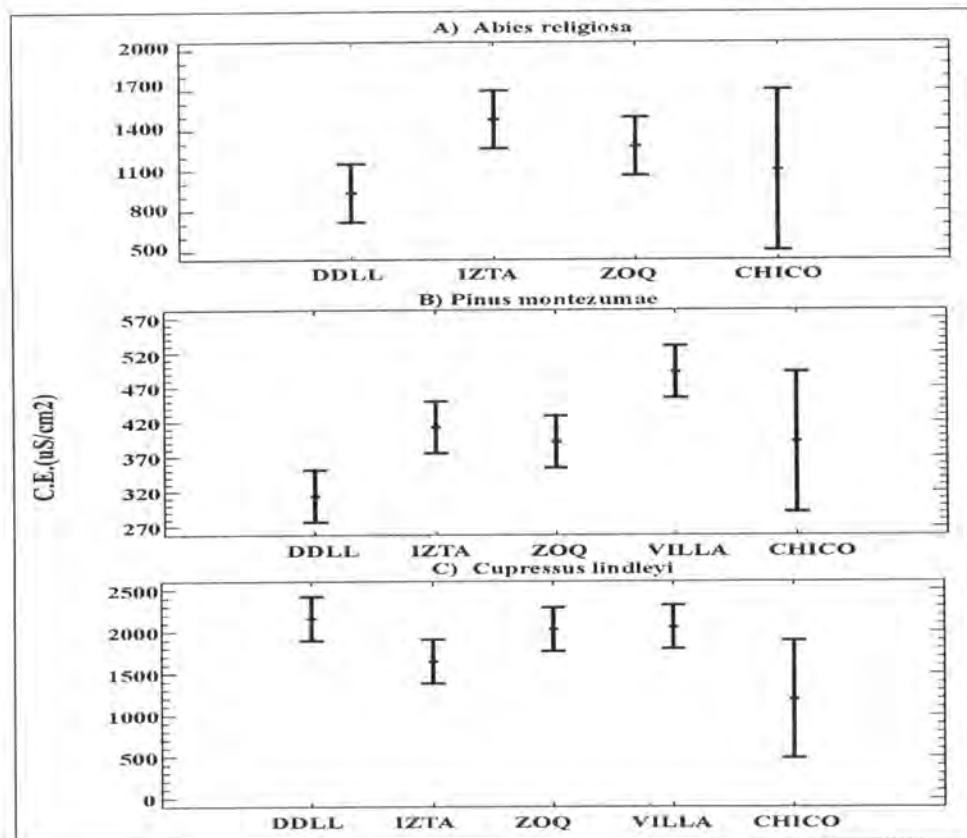


Figura 10: Comparación de medias de la conductividad eléctrica de la corteza arbórea en relación a los sitios de estudio.

sus correspondientes medias, por lo que es indistinto hacer la elección de cualquiera de ellas para su monitoreo.

b) Sin embargo, es necesario considerar que si la acidez atmosférica es cercana a tres (Figura 11a), lo recomendable es usar al pino; cuando el pH del aire o del agua de lluvia sea cercana a 4.0 se sugiere utilizar el oyamel y el cedro (Figura 11b y 11c).

c) Como se observa en la Figura 11b, el comportamiento de los iones hidronio con respecto a las especies es inverso al obtenido para la variable pH, lo cual indica que la selección de una u otra variable es indistinta.

La diferencia de medias del CAM entre los taxa (Figura 11c) muestra la gran

Cuadro 5. Análisis de varianza para la comparación de medias de los parámetros cuantificados en la corteza arbórea de tres coníferas.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	D. F.	Cuadro de Medias	Valor F	Significancia P >
Zona vs. $\mu\text{eq} [\text{H}^+]$	9059347	4	2264837	7.544	0.0000
Zona vs. CMA (β_0)	2.1286×10^5	4	5.32162×10^6	4.962	0.0007
Zona vs. λ	1.5915×10^7	4	3.9787×10^6	5.684	0.0002
Periodo vs. $\mu\text{eq}[\text{H}^+]$	17781980	5	2264837	11.847	0.0000
Periodo vs. CMA (β_0)	1.9897×10^5	5	3.9794×10^6	3.710	0.0028
Periodo vs. λ	8.6387×10^7	5	1.7277×10^7	24.682	0.0000
Especie vs. $\mu\text{eq} [\text{H}^+]$	61045062	2	30522531	101.672	0.0000
Especie vs. CMA	1.1751×10^4	2	5.87593×10^5	54.785	0.0000
Especie vs. (β_0)	2.7888×10^8	2	1.4439×10^8	206.275	0.0000

capacidad amortiguadora (β_0) que posee la corteza del cedro blanco con respecto al pino y oyamel, interpretación que se respalda con la menor acidez y mayor conductividad eléctrica registradas en el cedro. Lo anterior podría deberse a la presencia de oxalacetatos en la corteza y a su composición química.

CONCLUSIONES

La corteza del pino y la del oyamel son sensibles a la acidez de la atmósfera de la Cuenca de México.

La acidez registrada en la corteza del cedro y del oyamel permite diferenciar la cantidad de ácido depositado durante el periodo húmedo y seco en el bosque de pino-oyamel.

Mediante la acidez registrada en la corteza de *Pinus montezumae* (3.15 a 3.6), *Abies religiosa* (4-4.3.5) y *Cupressus lindleyi* (4.3-6.3) se concluye que la acidez existente en los bosques de pino-oyamel es similar a los registros de RAMA.

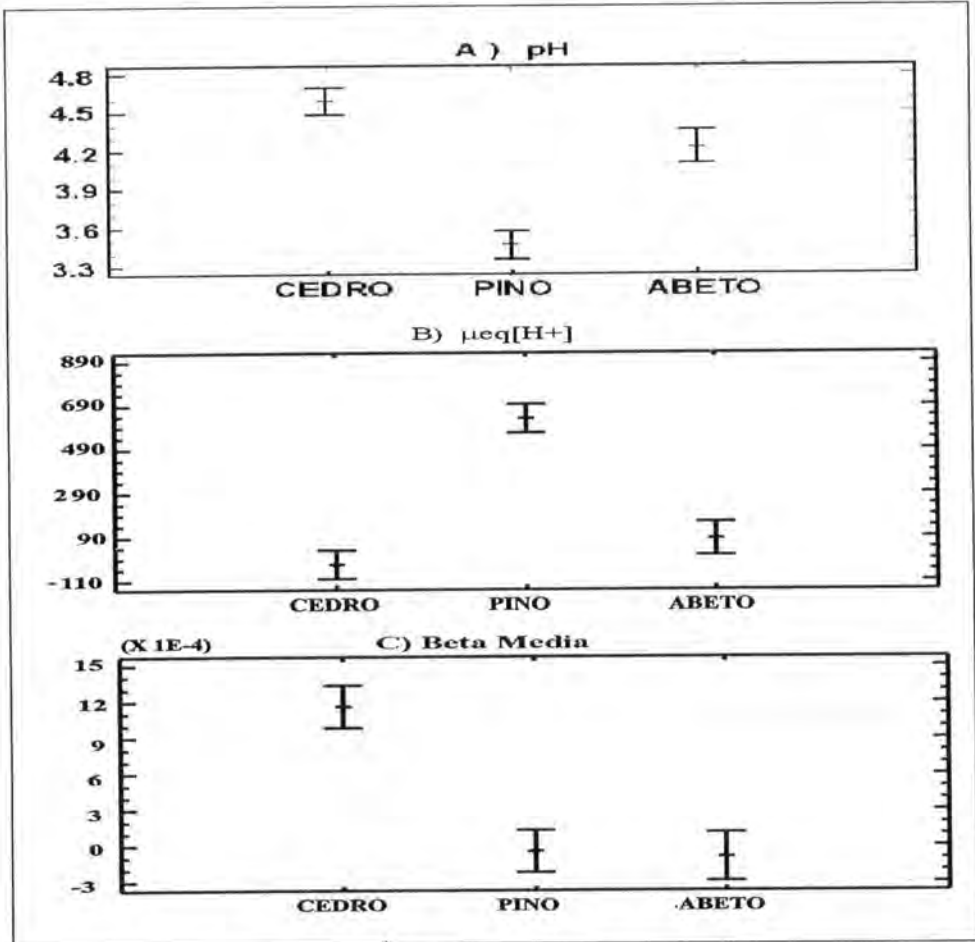


Figura 11. Varianza de medias del CAM (β_0) en relación con la de *Pinus montezumae* (pino), *Abies religiosa* (oyamel) y *Cupressus lindleyi* (cedro).

A partir de los valores de acidez obtenidos en los bosques Izta-Popo (4.1-3.2), Zoquiapan (4.3-3.35), Desierto de los Leones (4.3-3.6) y Villa del Carbón (4.5-3.4) se determinó que la acidificación de los ecosistemas forestales es alta, en comparación con otras localidades ubicadas fuera la de Cuenca de México, como es el caso de El Chico (6.3.-6).

La temporada húmeda es la de mayor entrada ácida al ecosistema boscoso pino-oyamel.

La conductividad eléctrica (depósito de cationes), no es un parámetro dependiente de la temporalidad (seco o húmedo).

La capacidad media amortiguadora que posee la corteza del cedro, permite asegurar que la especie atenúa la acidez del depósito atmosférico, lo que la convierte en una opción recomendable para reforestar.

Para fines prácticos, se propone el método del biomonitoreo como herramienta para el registro de la acidez en bosques, utilizando el pino cuando la acidez sea cercana a 3.0, el oyamel para los valores de pH próximos a 4.0 y el cedro cuando se acerquen a 6.0.

Se sugiere el método de monitoreo pasivo con corteza de árbol, como un protocolo para el registro del depósito ácido, sin recurrir a costosos sensores automáticos, que se exponen a un desperfecto mecánico o al vandalismo.

La corteza arbórea favorece una amplia versatilidad en la aplicación de los métodos analíticos (PIXE, HPLC, colorimétricos y potenciométricos).

REFERENCIAS

- Alvarado R., D., Ma. L. de la Isla de Bauer and A. J. Galindo. 1993. Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico City. *Environmental Pollution* 80:115-121.
- Báez-Predajo, A., H. Padilla-Gordon and O. G. de González. 1986. Acid rain over city valley and surroundings rural areas. *Geof. Int.* 25 (2): 315-346.
- Báez-Predajo, A. and D. R. Belmont 1987. Comparative study of the chemical composition of rain of three different zones in Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 3: 25-36.
- Báez-Predajo A., D. R. Belmont and H. Padilla-Gordon. 1993. Variation of chemical composition of wet precipitation, using a sequential sampling; urban-rural areas comparison. *Atmósfera*. 6: 163-174.
- Báez-Predajo A., D. R. Belmont, E. Azpra, M. B. Torres and H. Padilla-Gordon. 1997. Cloud water and precipitation chemistry at Popocatepetl Volcano: a high elevation site. *Journal of Environmental Quality* 26 (1): 253-257.
- Beverland I. J., M. R. Heal, J. M. Crowther and M. S. N. Srinivas. 1997. Real-time measurement and interpretation of the conductivity and pH of precipitation samples. *Water, Air, and Soil Pollution* 98: 325-344.
- Bolken W. B. 1978. Properties of tree bark in relation to their agricultural utilization. USDA. Forest Service PNW-77. 36 p.
- Bravo-Álvarez, H., G. F. Perrin, E. R. Sosa y J. R. Torres. 1987. Contaminación atmosférica por fuentes móviles de la zona metropolitana de la Ciudad de México. *In: 3er. Encuentro Iberoamericano sobre la Ciudad. Jornadas Técnicas sobre Medioambiente.* 27-31 Junio de 1987. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A. C. 13 p.

- Bravo-Álvarez, H., E. R. Sosa-Echeverría y R. Torres-Jardón 1989. El problema fotoquímico y la lluvia ácida en la Ciudad de México. *In*: 1a. Reunión de Salud y Ambiente en la Ciudad de México. SDN; DDF. 17 al 21 de abril, Auditorio de la Escuela Médico Militar. México, D. F. 14 p.
- Cape, J. N., D. Fowler J. W., Kinnaird I. D., Nicholson and I. J. Paterson 1987. Modification of rainfall chemistry by a forest canopy. *In*: Goughtrey, P.S., M.H. Martin and M.H. Unsworth (Eds.). Pollutant transport and fate in ecosystems. British Ecological Society. Special Publication # 6. UK. pp. 155-169.
- Capellato, R., Peters, N. E. and Ragsdale, H. L. 1993. Acid atmospheric deposition and canopy interactions of adjacent deciduous and coniferous. *Canadian Journal of Forest Research* 23(6):1114-1124.
- Cassens, D. L. 1974. Bark properties of eight western softwoods. *Forest Products Journal* 24 (4): 40-45.
- Cervantes S., A. y M. J. Márquez D. S. 2005. Diseño de experimentos-curso práctico. Serie: Comunicación en Estadística y Cómputo Científico. Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. México, D.F. 141 p.
- Chuo Kaihatsu Cooperation (CKC). 2001 Actualización del impacto ambiental del proyecto pronóstico. Reporte Técnico. 44 p.
- Cibrián-Tovar, D. 1989. Air pollution and forest decline near Mexico City. *Environmental Monitoring and Assessment* 12: 49-58.
- Comisión Ambiental Metropolitana 2002. Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Ed. SEMANART, Gobierno del Estado de México, Gobierno del Distrito Federal y Secretaria de Salud. 2da. Ed. La Comisión Ambiental Metropolitana y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Toluca, Edo. de México. México. 164 p.
- Dawson-Saunders, B. y R. G. Trapp. 1993. Bioestadística Médica. Ed. M. Moderno. México. 384 p.
- De la Isla de Bauer, Ma. L. 1981. Estudios sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la vegetación del Valle de México. Ed. Colegio de Postgraduados, Centro de Fitopatología. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Edo. de México. México. 85 p.
- Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). 1994. Programa precipitaciones ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Informe Anual 1994. D.D.F.- Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación (DGPC). México, D. F. México. 71 p.
- Erisman J., W. 1993. Acid deposition to nature areas in the Netherlands: Part I: Methods and results. *Water, Air and Soil Pollution* (71): 51-80.
- Erisman J., W., C. Beier, G. Draaijers and S. Lindberg 1994. Review of deposition monitoring methods. *Tellus* 46-B: 79-93.

- García, E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 3a. Edición. Ed. Enriqueta García de Miranda. México, D.F. México. 219 p.
- García C., J. S. y G. De la Lanza E. (Comp.). 1995. Lagos y presas de México. La Cuenca de México. Ed. Centro de Ecología y Desarrollo. México, D.F. México. 320 p.
- Gio-Argáez, R., I. Hernández R. y E. Sáinz H. 1989. Aspectos climáticos de la Cuenca del Valle de México. Sociedad Mexicana de Historia Natural e Instituto Nacional de Antropología e Historia. Ed. SMH. México, D.F. México. 75 p.
- Grether, F. 1977. The effect of a high-stack coal-burning power plant on the relative pH of a superficial bark hardwood tree. *Water, Air and Soil Pollution* (7):13-918.
- Grodzinska, K. 1976. Acidity of tree bark as a bioindicator of forest pollution in Southern Poland. *Proceeding of the First International Symposium on Acid Precipitation and the Forest Ecosystems*. USDA Forest Service General Technical Report NE-23. 27 p.
- Grodzinska, K. 1977. Changes in the forest environment in southern Poland as a result of steel mill emissions. *Proceedings of the International Symposium in Tokyo in Protection of the Environmental and Excursion on Vegetation Science through Japan*. Manrzer Toliyo: 207-215.
- Grodzinska, K. 1977a. Acidity of tree bark as bioindicator of forest pollution in southern Poland. *Water, Air and Soil Pollution* 7: 3-7.
- Grodzinska, K. 1979. Tree bark-sensitive biotest for environment acidification. *Environment International* 2: 173-176.
- Grodzinska, K. 1982. Monitoring of air pollutant by mosses and tree bark *In*: Steubing, L. and H. J. Jäger (Eds). *Monitoring of air pollutants by plants. Methods and Problems*. W. Junk Publishers. The Hague/Boston/London. pp. 33-53.
- Härtel, O. 1981. Pollutants accumulation by bark. *In*: Steubing, L. and H. J. Jäger (Eds). *Monitoring of air pollutants by plants. Methods and Problems*. W. Junk Publishers. The Hague/Boston/London. 12 p.
- Howells, G. 1990. Acid rain and acid waters. Ed. Ellis Harwoo. UK. 215 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1995. Censo poblacional. INEGI. México, D.F. México. 231 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1986. Carta de uso de suelo y vegetación, Esc. 1:50,000. Clasificación E14A39, E14A49, E14A59. México, D.F. México. s/p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. 1984 Censo Nacional de los Recursos Naturales de la República Mexicana. INIF. México, D.F. México. 84 p.

- Johsen, I. and U. Söchting. 1973. Influence of air pollution on the epiphytic lichenvegetation and bark properties of deciduous trees in the Copenhagen area. *Oikos* 24 (3): 344-351.
- Kofujita H., K. Etyyu and M. Ota. 1999. Characterization of the major components in bark from five Japanese tree species for chemical utilization. *Wood Science and Technology* (33): 223-228.
- Kozlowski T., T. and H. A. Constantinidou. 1986. Responses of woody plants to environmental pollution. *Environmental Pollution* 47 (1): 5-51.
- Legrand, I., J. Asta and Y. Goudard. 1996. Variation in bark acidity and conductivity over the trunk length of silver fir and Norway spruce. *Trees* 11: 54-58.
- Lötschert, W. and Kohm H.-J. 1977. Characteristics of tree bark as an indicator in high-emission areas. *Oecologia* 27: 47-64.
- Madrigal S., X. 1964. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (HBK.) Schl. & Cham.) en el Valle de México. Inst. Nac. Invest. For. Bol. Téc. 18. México, D.F. México. 94 p.
- Markert, B. 1993. Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. Ed. VCH, Weinheim, Germany. 644 p.
- Martin R., E. and G. R. Gray. 1971. pH of Southern pine barks. *Forest Products Journal* 21 (3): 49-52.
- Melo G., C. 1987. Los parques nacionales de la República Mexicana. Tesis Doctoral. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D.F. México. 309 p.
- Medwecka-Komas, A., H. Kozłowska, S. Gawronski and E. Matysiak 1989. Pine bark extracts as the indicators of air pollution in the Ojcow National Park (Southern Poland) *Fragmenta Floristica et Geobotanica Ann.* XXXIV, Pars 3-4: 425-444.
- Miranda J., J. R. Morales, T. A. Cahill, F. Aldape and J. M. Flores 1992. A study of elemental contents in atmospheric aerosols in Mexico City. *Atmósfera* 5: 95-108.
- Miller H. G., J. D. Miller and Cooper J. M. 1987. Transformations in rainwater chemistry on passing through forested ecosystems. In: Gougrey, R. J., M. H. Martin and M. H. Unsworth (Ed.) *Pollutant transport and late in ecosystems*. British Ecological Society. Blackwell Scientific Publications. UK. 215 p.
- Organización Mundial Meteorológica. 1978. International operations handbook for measurement of background atmospheric pollution. WMO-No. 491. 69 p.
- Padilla-Gordon, H., D. R. Belmont, B. M. C. Torres, M. R. García and A. Báez-Pedrajo. 1996. A field comparison of cloud water collectors in a mountainous region under low wind speed conditions in Eastern Mexico. *Atmósfera* 9: 189-199.

- Páramo F., V. H., A. Guerrero M., Ma. Morales, E. Morales y C. D. Baz. 1987. Acidez de las precipitaciones en el Distrito Federal. *Ciencia y Desarrollo*, Enero-febrero 87 (72): 59-65.
- Páramo F., V. H., L. García G. y F. Casanova del Ángel. 1993. Precipitaciones ácidas en el periodo 1987-1991 en el área metropolitana de la Ciudad de México. *Ciencia y Desarrollo* XIX (113): 31-39.
- Parker, G. G. 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *In*: MacFadayan, A. and E. D. Ford (Eds). *Advances in ecological research*. No. 13. Academic Press Ltd. London, UK. 382 p.
- Rzedoswki, J., G. Guzmán, A. C. Hernández y R. Muñiz. 1964. Cartografía de la vegetación de la parte norte del Valle de México. *An. Esc. Nac. Cien. Biol. Méx.* 13: 31-57.
- Saavedra-Romero L., L. 1996. Análisis espacio-temporal de la depositación ácida utilizando como monitores de exposición la corteza arbórea de especies perennes del parque Nacional Desierto de los Leones. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. México, D.F. México. 87 p.
- Sánchez-Reyna, M. G. 1996. Estudio de la depositación ácida en la Ciudad de México, mediante bioindicadores (corteza arbórea) Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. México, D.F. México. 76 p.
- Santamaria, J. M. and A. Martin. 1997. The bark as a bioindicator of air pollution in Navarra, Spain. *Water Air and Soil Pollution* 98 (3-4): 381-387.
- Sequiera, R. 1982. Acid rain: an assessment based on acid-base considerations *Journal of the Air Pollution Control Association* 32 (3): 241-245.
- Skye, E. 1969. Lichen and air pollution. *Acta Phytogeogra. Suec.* 52: 1-123.
- Skeffington, R. A. 1987 Transport of acidity through ecosystems. *In*: Goughtrey P.J., Martin M. H. and Unsworth M. H. (Eds.), *Pollutant transport and fate in ecosystems*. Special publication No. 6 of the British Ecological Society, Ed. Blackwell Scientific Publications. UK. pp. 16-29.
- Smith, W. H. 1981. Air pollution –interaction between air contaminants and forest ecosystems- Springer-Verlag. New York, NY. USA. 380 p.
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1969. *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research*. Ed. W. H. Freeman & Company. San Francisco, CA. USA. 776 p.
- Soto-Téllez, J. A. 1996. Estimación de la depositación ácida en tres parques urbanos del Distrito Federal. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. México, D.F. México. 83 p.
- Staxäng, B. 1969. Acidification bark of some deciduous trees. *Oikos* 20 (2): 224-230.

- Steubing, L. and J. Jäger H. 1982. Monitoring of air pollutants by plants, Methods and Problems Ed. Dr. W. Junk Publishers, The Hage, The Netherlands. 161 p.
- Swieboda, M. and A. Kalemba. 1979. The bark of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a biological indicator of atmospheric air pollution. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 48(4):539-549.
- Trujillo T., R. 1989 Aspectos climáticos de la Cuenca del Valle de México. *In*: Gio-Argaez R., I. Hernández-Ruíz y E. Sáinz-Hernández (Eds.). *Ecología Urbana*. Sociedad Mexicana de Historia Natural e Instituto Nacional de Antropología e Historia. Ed. SMHN, México, D.F. México. 75 p.
- Wellburn, A. 1991. Air pollution and acid rain: the biological impact. Longman Scientific & Technical Editions, Ltd. Singapore. 274 p.
- Young A., T., E. A. Betterton and L. Saldivar de Rueda. 1997. Photochemical box model for Mexico City. *Atmósfera* 10: 161-178.

NOTA TÉCNICA

ESPECIES NATIVAS E INTRODUCIDAS EN EL JARDÍN BOTÁNICO DEL CAMPO EXPERIMENTAL URUAPAN, MICHOACÁN

Miguel Ángel Bello González¹, Hipólito Jesús Muñoz Flores¹
y J. Jesús García Sánchez¹

RESUMEN

Uno de los principales intereses de los jardines botánicos es la preservación de especies en peligro de extinción, endémicas y raras, lo cual se complementa con acciones concretas para su conservación *in situ*, la detección y evaluación de su situación e investigaciones sobre su propagación y cultivo. Las funciones y objetivos de estas colecciones vivas tienen poca difusión en México, además de una falta de apoyo para la realización de actividades de investigación, conservación, educación y recreación. El Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan se estableció en 1992, en una superficie de 1.32 ha, con el propósito de contribuir a la permanencia de especies forestales de interés económico, social y científico de la entidad y la divulgación de procedimientos que permitan su aprovechamiento racional, así como proteger, conservar y propagar las de mayor importancia en Michoacán. Asimismo, este lugar proporciona al público un lugar en donde se pueden llevar a cabo actividades didácticas, de esparcimiento y de estudio del uso y comercialización de los taxa que reúne. En la actualidad cuenta con 128 especies en siete secciones (plantas medicinales, especies introducidas, coníferas nativas, bosque mesófilo de montaña, bosque de encinos, matorral subtropical y bosque tropical) y se tienen representadas 25 especies que han sido sobreexplotadas localmente, dos que están amenazadas, una sujeta a protección especial, tres raras, dos en peligro de extinción y una endémica.

Palabras clave: Conservación, especies introducidas, especies nativas, Etnobotánica, jardín botánico, Michoacán.

Fecha de recepción: 14 de marzo de 2005.

Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2006.

¹ Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP.
Correo-e: bello.miguel@inifap.gob.mx

ABSTRACT

The main purpose of botanical gardens is the preservation of threatened species; however, the conservation of endemic or rare species is very important too, which is complemented with detection, evaluation and conservation activities *in situ*, as well as with research of their propagation and cultivation. Botanical gardens in Mexico have small budgets and receive little attention from institutions or governments, and even more, people have scarce knowledge about their functions and objectives. These conditions are reflected in low economic support for research, conservation, education and recreation projects. The Botanical Garden of the Uruapan Experimental Station was established in 1992 over 1.32 ha as a means for preservation of the most important plant species of the State of Michoacán as well as for didactic endings and to provide a public place for recreation. This garden has 128 species in seven sections (medicinal plants, coniferous, cloud mountain forest, oak forest, semitropical trees and shrubs, tropical forest and exotic species, mainly used for ornamental or urban forestry purposes). Among these species, there are 25 of economic importance in the local markets; two threatened species, one of these endemic and subject to special protection; three rare species and two in danger of extinction and one endemic.

Key words: Conservation, exotic species, native species, Ethnobotany, botanical garden, Michoacán.

INTRODUCCIÓN

El interés por estudiar la flora de uso tradicional cobra importancia día con día en los campos de la agricultura, la medicina y la botánica ornamental. En la agricultura conduce a la búsqueda de especies susceptibles de aprovechamiento, mientras que en la medicina alternativa es trascendental poder encontrar productos naturales útiles para la industria farmacéutica y química, en el tratamiento de enfermedades en las comunidades rurales o semiurbanas. En la botánica se ha concretado la integración de investigaciones que catalogan los recursos vegetales de un área, con la información necesaria sobre su localización geográfica y características taxonómicas. Sin embargo, a pesar del valor científico de esta última disciplina, los jardines botánicos tienen poca difusión en México en cuanto a las funciones y objetivos que desempeñan y carecen de apoyo para la realización de actividades de investigación, conservación, educación, esparcimiento o recreación.

El constante deterioro del medio ambiente conlleva el riesgo de la desaparición de ecosistemas y/o de especies, así como la pérdida de recursos genéticos potencialmente valiosos. En este aspecto, los jardines botánicos proporcionan

un sitio para conservar un legado natural, pues incluyen especies o poblaciones locales, o sitios con plantas silvestres introducidas que han dejado de existir en los ecosistemas o el más común de los casos, plantas cultivadas. Por lo tanto, estas colecciones vivas pueden funcionar como bancos de germoplasma.

El jardín botánico es un medio *ex situ* para preservar material genético y permite la conservación de vegetales cultivados y silvestres fuera de su medio natural. La conservación *in situ* preserva el ecosistema o las especies en el lugar en el que crecen, por lo que pueden coleccionar material genético silvestre con unos cuantos individuos, manteniendo su reproducción; esta segunda opción también puede albergarse en jardines botánicos, ya que ninguna de ellas puede por sí sola mantener la diversidad genética necesaria en la actualidad debido a las crecientes amenazas que atraviesan los ecosistemas.

En lo que respecta a la investigación, estas colecciones naturales son lugares donde se pueden realizar estudios biológicos sobre propagación, fisiología, citología, anatomía, taxonomía, palinología, cultivo de tejidos, fitoquímica, etc., además de aquellos de carácter forestal y agrícola e inclusive pueden apoyar trabajos sobre la comercialización de plantas.

Desde el punto de vista social, el interés se centra en dos aspectos, uno educacional y el otro de esparcimiento. En la educación, muestran la variabilidad vegetal con material vivo, hecho que nutre y alienta a las escuelas hacia la educación ambiental y son asimismo, una opción diferente en la educación extraescolar sobre los recursos naturales.

Este trabajo reporta una vertiente de los proyectos de conservación ecológica, la cual está definida como la preservación de la diversidad y la estabilidad de los ecosistemas, en donde se involucra el estudio científico de los mismos, así como la búsqueda de soluciones a las necesidades de los grupos humanos asociados a ellos, es decir, la conservación de áreas naturales, la investigación científica y tecnológica de sus recursos y el desarrollo económico, social y cultural de las comunidades locales. La mejor forma de contribuir a la conservación ecológica en una región es mediante acciones tendientes al aprovechamiento racional de los recursos, partiendo de la investigación básica sobre los ecosistemas, así como las formas de su uso sustentable.

Así, con fundamento en los objetivos de los jardines botánicos que consisten en proteger, conservar, preservar y propagar las especies de mayor importancia en una región por su valor económico, social y científico, se planteó como objetivo del presente estudio, dar a conocer la lista de plantas que reúne al Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan de INIFAP, a fin de:

- Fomentar el interés en la población por el conocimiento de la flora y apoyar a los programas estatales y locales de educación y difusión de la ciencia y

- Proporcionar al público un lugar para el conocimiento de la flora local e introducida, así como un sitio para su esparcimiento.

Jardines Botánicos

Radford *et al.* (1974) mencionan que los jardines botánicos son instituciones organizadas que reúnen colecciones de plantas de un gran número de géneros y especies y sirven para propósitos educativos, estéticos, científicos y económicos, y son un medio excelente para la propagación y conservación de especies vegetales, en particular de aquellas que aportan materias primas y productos útiles al hombre. Asimismo, señalan que para un mayor y mejor mantenimiento de áreas con plantas, deben desarrollarse los jardines privados, parques recreativos, jardines públicos y comerciales de exhibición.

Wrigley (1979) subraya que esta opción es más que un parque donde los visitantes pueden ver plantas con etiquetas y nombres en latín, pues ahí se pueden llevar acabo labores de recreación, educación e investigación. Pattison (1983) indica que estos sitios permiten estudiar la flora nativa e introducida, así como sus usos económicos, aunado a que son sitios donde se facilita la introducción de nuevos cultivos. Un jardín botánico estimula la educación, el deleite y la inspiración del público. Cuando estos lugares no cumplen con estas funciones, se transforman en parques públicos, fenómeno que se observa en las áreas tropicales.

Valdés (1974) comenta que un jardín botánico es una institución con personal adecuado que cuida colecciones de plantas vivas, con un arreglo y control determinado, con propósitos de enseñanza, difusión cultural o investigaciones científicas. Lo anterior no quiere decir que un jardín prescinda del aspecto ornamental, recreativo o de complemento urbanístico, sino todo lo contrario, pero estos serán enfoques secundarios.

Ortega *et al.* (1982) se refieren a ellos como lugares donde se exhiben colecciones de plantas vivas en exposición permanente para observación recreativa e investigación científica y gran parte de ellas son registradas, etiquetadas y ordenadas sistemáticamente, con la información de campo pertinente, predominando las plantas silvestres sobre los cultivos hortícolas. Estos autores distinguen los jardines botánicos de las reservas naturales y de los parques públicos, pues su objetivo principal es la educación e investigación, quedando en segundo término la recreación.

En la actualidad existen en México más de 20 jardines botánicos, principalmente en las zonas centro y sureste del país (Mata, 1993), de los cuales destacan por su importancia y dimensión los que se relacionan en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Algunos Jardines Botánicos de Mexico.

Nombre del Jardín	Localidad
Faustino Miranda	Tuxtla Gutiérrez, Chis.
UNAM	Ciudad Universitaria, México, D. F.
Nacional Forestal	Escárcega, Camp.
Ing. Gustavo Aguirre Benavides	Saltillo, Coah.
Centro Regional Puyacatengo	Teapa, Tab.
San Felipe Bacalar	San Felipe Bacalar, Q. Roo.
Francisco Xavier Clavijero	Xalapa, Ver.
Universidad Autónoma de Guerrero	Chilpancingo, Gro.
Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas	San Andrés Tuxtla, Ver.
Universidad Autónoma de Morelos	Cuernavaca, Mor.
Escuela de Medicina y Homeopatía	México, D. F.
Acuario de Mazatlán	Mazatlán, Sin.
San Cristóbal de Las Casas	San Cristóbal, Chis.
Museo Herbolaria y Jardín Botánico	Cuernavaca, Mor.
Didáctico de Cactáceas	Teotihuacan, Edo. Méx.

Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan

Se localiza en la zona conurbada de la ciudad de este nombre, a una altitud de 1,610 msnm, y en las coordenadas extremas: 19° 38' y 19° 12' de latitud norte y 101° 56' al este y 102° 22' oeste de longitud. Colinda al norte con los municipios

de los Reyes, Charapan, Paracho y Nahuatzen; al este con los de Nahuatzen, Ziracuaretiro, Taretan y Gabriel Zamora; al sur con los de Gabriel Zamora, Paracuaro y Tancitaro y al oeste con los municipios de Tancitaro, Nuevo Parangaricutiro, Periban y Los Reyes (INEGI, 1993).

La ciudad de Uruapan está rodeada por varias elevaciones entre las que destacan el Cerro El Brinco con 3500 msnm, Cerro Angahuan con 3280 msnm, Cerro del Metate con 2900 msnm, Cerro El Horno con 2900 msnm y el Cerro de La Cruz con 2300 msnm. Los suelos predominantes según la clasificación de FAO (Dudal, 1968; INEGI, 1985) son andosoles y litosoles con sus subniveles vítrico y dístico, respectivamente.

El municipio, del mismo nombre, donde se asienta la ciudad, posee numerosos manantiales, siendo los más importantes los de Gandarillas, Revelero, Riyitos y el famoso manantial de la Rodilla del Diablo, que da origen al río Cupatitzio en el Parque Nacional Eduardo Ruíz, también conocido como Barranca del Cupatitzio. Este río recorre el distrito de Uruapan de norte a sur y forma la cascada denominada la Tzararacua, de 40 metros altura. El desagüe de la cuenca del Cupatitzio se hace a través de los ríos Santa Bárbara, Jucutacato y Cupatitzio, que forman los principales afluentes y se unen al río Balsas.

El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano del tipo (A)C(W₂)(W), con temperatura media anual de 23.8°C y la del mes más frío de 5.4°C en el mes de enero; la precipitación media anual es de 1600.8 mm y el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5 (Anguiano *et al.*, 2003).

Una de las asociaciones vegetales más extensas en el municipio es el bosque de pino-encino, en el que predominan *Pinus douglasiana*, *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. lawsonii* y *P. leiophylla*, *Quercus obtusata*, *Q. castanea*, *Q. candicans*, *Q. magnoliifolia* y *Q. resinosa*, *Arbutus xalapensis*, *Alnus jorullensis*, *Hedyosmum mexicanum*, *Bocconia arborea* y *Bursera bipinnata* (Bello y Madrigal, 1996).

Listado de especies del Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan

Las especies que conforman esta colección fueron agrupadas de acuerdo a los tipos de vegetación a los que pertenecen y en los siguientes cuadros; aunado al nombre científico y común, se incluye una clave de su status basada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, publicada en el Diario Oficial de la Federación en el año 2002, con excepción de las especies que fueron reconocidas como sobreexplotadas localmente.

Bosque tropical. - De los casi seis millones de ha que se reportan en el estado de Michoacán, 116,142 ha son de selva mediana y 399,892 ha corresponden a selva baja caducifolia, por lo que la importancia económica de los bosques

tropicales es considerable además de poseer un potencial silvícola muy grande y perspectivas favorables para su manejo. En el estado están presentes los tres subtipos de bosque tropical (perennifolio, subcaducifolio y caducifolio), de los cuales, algunas especies están representadas en la sección del jardín que corresponde a estos tipos de vegetación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especies existentes en la sección de bosque tropical del Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan, Michoacán.

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Brahea dulcis</i> (HBK.) Mart.	Palma de sombrero, cacaiste, pima	Ornato
<i>Cassia laevigata</i> Willd.	Casia	Ornato, medicina tradicional
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceiba, pochote	Fabricación de canoas, balsas, salvavidas
<i>Cordia elaeagnoides</i> DC. (**)	Cueramo, bocote	Muebles, construcciones rurales
<i>Delonix regia</i> (Bojer exHook.) Raf.	Tabachín	Ornato
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácima	Leña, carbón, postes, construcción
<i>Melia azedarach</i> L.	Paraíso	Ornato, leña, mangos para herramientas
<i>Pseudobombax ellipticum</i> (Humb., Bonpl. & Kunth) Dugand.	Clavellina	Leña, aserrio, centros para madera terciada
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose (**)	Primavera	Fabricación de muebles, ornato
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC. (**)	Cinco hojas	Muebles y gabinetes, artesanías

(**) = sobreexplotadas localmente.

Bosque mesófilo de montaña.- Es considerado como el de mayor riqueza biológica por unidad de área del país y el de Michoacán, en particular, presenta varios estratos arbóreos que pueden alcanzar entre 15 y 35 m (a veces hasta 60 m de altura), compuestos por especies caducifolias y perennifolias, predominando estas últimas. Las especies representadas en esta sección se muestran en el Cuadro 3.

Bosque de encinos.- El género *Quercus* ocupa 421,324 ha de la entidad y constituye la base principal de la economía en algunas localidades. 30 especies se distribuyen en el estado y se utilizan como fuente de celulosa para papel, artesanías, madera aserrada, chapa, duela, lambrín y para la construcción, y productos no maderables como raíces, frutos, fibras, así como para uso alimentario y medicinal (Bello y Labat, 1987). Desde el punto de vista de su utilidad maderable, se establecieron en el jardín las siguientes especies prioritarias para su estudio y adecuado aprovechamiento (Cuadro 4).

Bosque de coníferas.- Esta asociación cubre 1,124.916 ha, por lo que queda de manifiesto su importancia desde el punto de vista económico y silvícola, al ser fuente principal de maderas blandas que proporcionan a la industria la materia prima para la fabricación de artículos diversos como papel y fibras sintéticas, resinas para elaboración de aguarrás y gran número de derivados. Esta sección está bien representada y las especies reunidas en el jardín se ordenan en el Cuadro 5.

Matorral subtropical.- La selva baja caducifolia se localiza en el extremo sureste del estado de Michoacán y ocupa una superficie de 116,000 ha. Se caracteriza por distribuirse en tres estratos (arbóreo, arbustivo y herbáceo), siendo el primero de ellos el más notorio, con una altura de 3 m. Los taxa dominantes pertenecen a los géneros *Bursera*, *Pithecellobium*, *Lysiloma* y *Lonchocarpus* (Cuadro 6).

Plantas medicinales.- En el estado se calcula la existencia de alrededor de 5,000 especies de plantas vasculares, en una superficie que equivale al 3% del territorio nacional y con una riqueza florística superior a 16%; crecen silvestres en hábitats artificiales como campos de labor, huertas y jardines, o forman parte de los estratos inferiores en los diferentes tipos de vegetación. Estas especies son muy heterogéneas ya que sus poblaciones varían de un año a otro y tienen uso y forma de empleo múltiple en la región de la Meseta Purépecha, pues se les utiliza como medicinales, forrajeras, comestibles, de ornato, etc. (Bello, 1993). Algunas de estas especies se han introducido al Jardín Botánico y se presentan en el Cuadro 7.

Plantas introducidas.- En Michoacán la deforestación es creciente ya que existen alrededor de 570,708 ha con algún grado de perturbación y un ritmo de deterioro de 35,000 ha/año, debido a la sobreexplotación e impactos ambientales que ha afectado a otros recursos asociados con las áreas forestales,

Cuadro 3. Especies de la sección de bosque mesófilo de montaña del Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan, Michoacán.

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Alnus firmifolia</i> Fern. (**)	Tepamu, aile	Artesanías
<i>Alnus jorullensis</i> H.B.K. ssp. <i>jorullensis</i> (Schlechtendal) Furlow (**)	Aile	Leña, carbón, muebles
<i>Arbutus xalapensis</i> HBK. (**)	Madroño	Artesanías
<i>Bocconia arborea</i> S.Watson	Inguambo	Medicinal
<i>Carpinus caroliniana</i> Walt. (A) (**)	Palo silo, caxin	Leña, carbón, construcción
<i>Clethra mexicana</i> A. DC. (**)	Pácata, cucharillo	Artesanías, leña
<i>Clusia salvinii</i> Donn.Sm.	Siempre viva	Medicinal
<i>Cornus disciflora</i> (DC.) Moc. & Sessé (**)	Canelo, guardalagua	Artesanías, medicinal
<i>Fraxinus uhdei</i> Dohnhardt (Pr)	Fresno	Ornato, muebles
<i>Garrya laurifolia</i> Benth. (**)	Azulillo	Medicinal, artesanías
<i>Inga jinicuil</i> Schltld. & Cham.	Juaquiniquil	Comestible
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Liquidámbar	Muebles
<i>Oreopanax xalapensis</i> (HBK.) Decae et Planch.	Mano de león, pata de gallo	Ornato
<i>Podocarpus reichei</i> Buch. & A. Gray (R) (**)	Cerezo, palmillo	Ornato
<i>Salix babylonica</i> L.	Sauce	Medicinal
<i>Styrax ramirezii</i> Greenm.	Chilacuate	Postes
<i>Ternstroemia pringlei</i> (Rose) Standl. (**)	Tila	Medicinal
<i>Tilia mexicana</i> Schltld. (P) (**)	Cirimo	Artesanías, muebles, medicinal

(A) = amenazadas, (P) = en peligro de extinción, (Pr) = sujetas a protección especial, (R) = raras, (**)= sobreexplotadas localmente.

Cuadro 4. Especies de la sección de bosque de encino del Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan, Michoacán.

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Quercus acutifolia</i> Née	Encino blanco, encino pepitillo	Leña, carbón, postes
<i>Quercus candicans</i> Née	Encino de asta, cenizo	Leña, carbón, postes, mangos y cabos para herramienta
<i>Quercus castanea</i> Née	Encino chino, roble	Carbón, leña, horcones, arados
<i>Quercus conspersa</i> Benth.	Encino colorado	Leña, carbón, postes, celulosa
<i>Quercus crassifolia</i> Humb. et Bonpl.	Encino chicharrón	Leña, postes, carbón
<i>Quercus crassipes</i> Humb. & Bonpl.	Encino pepitillo, encino laurelillo	Leña, postes, carbón
<i>Quercus glaucoides</i> Mart. et Gal.	Encino roble	Leña, carbón, cabos para herramienta
<i>Quercus laurina</i> Humb. et Bonpl.	Encino colorado	Leña, carbón, postes, cabos para herramienta
<i>Quercus magnoliifolia</i> Née	Encino napsis, amarillo	Leña, carbón, postes, horcones
<i>Quercus martinezii</i> C. H. Muller	Encino colorado, encino prieto	Leña, postes, horcones y cabos para herramienta
<i>Quercus obtusata</i> Humb. & Bonpl.	Encino blanco	Cabos para herramienta, curtir pieles, construcción
<i>Quercus rugosa</i> Née	Encino blanco	Leña, carbón, postes, cabos para herramienta

Cuadro 5. Especies de la sección de bosque de coníferas en el Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan, Michoacán.

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Abies religiosa</i> (HBK.) Schltdl. & Cham.	Pinabete, oyamel	Leña, aserrío, construcciones rurales y urbanas y pulpa para papel
<i>Abies religiosa</i> var. <i>emarginata</i> Loock et Martínez ex Martínez	Pinabete, oyamel	Leña, aserrío, construcciones rurales y urbanas y pulpa para papel
<i>Cupressus arizonica</i> Greene	Cedro de la sierra, pinabete, ciprés	Leña, carbón, construcciones rurales, postes para cercas
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch. ex Endl.	Cedro blanco, ciprés	Leña, carbón, seto vivo
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. et Schltdl.	Pino piñonero	Construcciones, muebles, moldes de fundición
<i>Pinus douglasiana</i> Martínez	Pino lacio	Construcción y muebles
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	Pino prieto	Leña, carbón
<i>Pinus lawsonii</i> Roezl ex Gord.	Pino ortiguilla	Leña, carbón, construcción, resina.
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede & Deppe.	Pino chino, pino prieto	Construcciones, duela, leña, postes
<i>Pinus michoacana</i> var. <i>cornuta</i> Martínez	Pino lacio	Leña, carbón, construcciones rurales y urbanas, durmientes, cimbras, aserrío, resina.
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	Pino prieto	Construcción, leña, carbón, resina
<i>Pinus muricata</i> D. Don.	Pino	Madera aserrada (muebles)

continúa...

continuación Cuadro 5...

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	Pino real, pino blanco, ocote macho, pino trompillo	Leña, carbón, construcciones rurales y urbanas, durmientes, cimbras, aserrijo, cajas y pulpa para papel
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schlttdl. & Cham.	Pino triste	Cajas para empaque
<i>Pinus pringlei</i> Shaw	Pino ortiguilla	Resina
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl (**)	Pino cantzimbo	Madera aserrada para la fabricación de muebles
<i>Pinus rudis</i> Endl.	Pino ocote	Postes, carbón
<i>Pinus rzedowskii</i> Madrigal & Caballero (R) (*) (**)	Pino ocote	Postes, leña
<i>Podocarpus reichei</i> J. Buchh. & A. Gray (R) (**)	Cerezo, palmillo	Postes, leña
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	Ahuehuete, sabino	Ornato, leña, postes, vigas, construcciones rurales y canoas

(R) = raras, (*) = endémicas, (**) = sobreexplotadas localmente.

Cuadro 6. Especies de la sección de matorral subtropical en el Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan, Michoacán.

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Bursera cuneata</i> (Schltdl.) Engl. (**)	Copalillo	Artesanías
<i>Bursera fagaroides</i> (H.B.K.) Engl.	Cuajote amarillo	Cercos vivos
<i>Cedrela dugesii</i> S. Watson. (**)	Nogalillo	Artesanías
<i>Dyospiros xolocotzii</i> Madrigal & Rzed. (P) (**)	Zapote negro	Comestible
<i>Ehretia latifolia</i> DC. (**)	Tumin	Artesanías
<i>Erythrina coralloides</i> DC (A) (**)	Colorin	Ornato
<i>Euphorbia calyculata</i> Kunth (**)	Chupire	Artesanías
<i>Ipomoea murucoides</i> Roem. et Schult.	Casahuate	Leña, medicinal
<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck.	Nopal	Comestible
<i>Yucca decipiens</i> Trel.	Palma china	Ornato, Elaboración de pétates
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	Palma china	Fibras, ornato

(A) = amenazadas, (P) = en peligro de extinción, (**) = sobreexplotadas localmente.

Cuadro 7. Especies de la sección de plantas medicinales en el Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan, Michoacán.

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Agastache mexicana</i> (Kunth) Lint. & Epl. (**)	Toronjil morado	Para la mala digestión, vómito, insomnio
<i>Agastache mexicana</i> subsp. <i>xolocotziana</i> Bye, Linares & Ramamoorthy	Toronjil blanco	Para la mala digestión, vómito, insomnio
<i>Ageratum corymbosum</i> Zucc. ex Pers.	Flor de huchepo	Riñones y bilis
<i>Artemisia ludoviciana</i> Nutt. ssp. <i>mexicana</i> (Spreng.)	Estafiate	Contra parásitos intestinales, amibas y cólicos intestinales
<i>Baccharis pteronioides</i> DC.	Jara china	Diabetes y dolor de muelas
<i>Bidens pilosa</i> L.	Aceitilla	Alteraciones nerviosas
<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	Epazote	Contra parásitos intestinales y dolores de estómago
<i>Cirsium subcoriaceum</i> (Less.) Sch. Bip.	Cardo santo	Vómito, "dolor de corazón", tos ferina
<i>Conyza schiedeana</i> (Less.) Cronquist	Kimonillo	Antibilioso
<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	Amapola de campo	Tos
<i>Cuphea aequipetala</i> Cav.	Hierba del cáncer	Heridas y contusiones
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC) Stapf.	Té de limón	Digestivo
<i>Equisetum robustum</i> Engelm.	Cola de caballo	Retención de orina, inflamación del riñón y orina escasa
<i>Eryngium carlinae</i> Delar.	Hierba del sapo	Enfermedades venéreas, "mal de orina", fiebre, prurito
<i>Gnaphalium inornatum</i> DC.	Gordolobo	Para la ronquera, gripe, garganta irritada y tos

continúa...

continuación Cuadro 7...

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Helenium mexicanum</i> HBK.	Cabezona	Para matar piojos, para limpiar úlceras y heridas infectadas
<i>Helianthemum glomeratum</i> Lag.ex DC	Cenicilla	Empacho, diarrea y tos
<i>Heliopsis longipes</i> (A. Gray) Blake	Chilcuague	Fuegos en los labios
<i>Heterotheca inuloides</i> Cass.(**)	Árnica	Golpes, reumatismo, gastritis
<i>Lepechinia caulescens</i> (Ort.) Epling.	Chía	Diabetes, hinchazón y aire en los oídos, bilis
<i>Loeselia mexicana</i> (Lam.) Brand.	Espinosilla	Diarrea, várices, riñones, caída de pelo
<i>Mentha arvensis</i> L.	Hierbabuena	Digestivo
<i>Origanum mejorana</i> L.	Mejorana	Digestivo
<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	Tabardillo	Fiebre, cólicos y antibilioso
<i>Plantago australis</i> Lam.	Llantén	Diarrea, empacho y tos
<i>Rumfordia floribunda</i> DC.	Flor de melón	Tos
<i>Ruta chalepensis</i> L.	Ruda	Cólicos y retrasos menstruales
<i>Salvia elegans</i> Vahl.	Limoncillo	Vómito
<i>Salvia lavanduloides</i> Kunth	Lucema, salvia	Diarrea, vómito y bilis
<i>Salvia microphylla</i> HBK.	Mirto	Infecciones estomacales y vómito
<i>Satureja macrostema</i> (Benth.) Briq. (**)	Nurite	Digestivo, inflamación de ovarios y menstruación difícil o dolorosa
<i>Taraxacum officinale</i> G.H.Weber ex Wiggers	Diente de león	Riñón, hígado
<i>Wigandia urens</i> (Ruíz & Pavón) HBK.	Cardo	Tos

(**) = sobreexplotadas localmente.

como son el agua, suelo, fauna, belleza escénica y destrucción del hábitat. Una alternativa para la recuperación de estas áreas son las especies de rápido crecimiento, que pueden incorporarse a los programas de plantaciones con la finalidad de poder atenuar de manera significativa el deterioro de los recursos y que en el caso del jardín botánico, están representadas las siguientes especies maderables de importancia (Cuadro 8).

Cuadro 8. Especies de la sección de plantas introducidas en el Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan, Michoacán.

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Araucaria excelsa</i> R. Brown	Araucaria	Ornato, reforestación
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarina	Ornato, cortinas rompevientos, madera para fabricar muebles, artículos torneados, mangos para herramienta, postes, vigas
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	Cicas	Ornato
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh	Eucalipto	Melífera
<i>Eucalyptus cinerea</i> F. Muell. ex Benth.	Dólar	Ornato
<i>Eucalyptus citriodora</i> Hook.	Eucalipto	Medicinal (afecciones respiratorias)
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Alcanfor	Cortinas rompevientos, protección a represas y cuencas, leña, carbón, postes, aserrío, durmientes
<i>Ficus benjamina</i> L.	Higuera llorona	Ornato
<i>Ficus indica</i> (L.) P.Mill.	Higuera, trueno	Ornato
<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. Ex R.Br.	Grevilea, gravilea	Construcción de armarios, muebles, mosaicos de madera, durmientes de ferrocarril, postes

continúa...

continuación Cuadro 8...

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Jacaranda acutifolia</i> Humb. & Bonpl.	Jacaranda	Ornato, leña
<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.	Trueno	Ornato
<i>Magnolia grandiflora</i> L.	Magnolia	Medicinal (tónica, vermífugas y antirreumáticas)
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Sieb. & Zucc. ex Steud.	Paulonia	Ornato
<i>Pinus brutia</i> Ten.	Calabrian	Construcciones rurales, fabricación de muebles y madera aserrada
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	Pino prieto, pino ocote	Aserrio, durmientes, pilotes para minas, vigas y postes para cercas, muebles, leña, ebanistería, decoración de interiores, lambrín y duela
<i>Pinus halepensis</i> P. Mill.	Pino de alepo	Construcciones rurales y naval, elaboración de mangos para herramienta y curtido de pieles
<i>Podocarpus macrophyllus</i> (Thunb.) Sweet	Podocarpus	Ornato, leña, postes
<i>Populus alba</i> L.	Álamo, álamo blanco	Ornato
<i>Populus tremuloides</i> Michx.	Falso chopo	Aserrio, pulpa para papel
<i>Quercus robur</i> L.	Roble	Construcciones navales y muebles, vigas
<i>Schinus molle</i> L.	Pirul, pimentero	Ornato
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Falso terebinto	Fabricación de muebles, curtir pieles

continuación Cuadro 8...

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.	Sequoia	Maderable
<i>Spathodea campanulata</i> Beauv.	Galeana, tulipán africano	Ornato, leña

Colecta de especímenes

En los lugares de distribución de las especies nativas se recolectaron directamente aquellas que fue posible en su estado adulto, además de extraer las plántulas (banqueo), mismas que posteriormente se les trasladó al área de propagación (vivero o invernadero), para su cuidado y mantenimiento; para ello se observó la existencia de regeneración natural.

Estas plántulas permanecieron por lo menos un año en vivero o invernadero, hasta que alcanzaron 60 a 80 cm de altura, antes de su incorporación en el jardín, de tal forma que se aseguró su supervivencia y desarrollo; otra actividad paralela fue la colecta de frutos y/o semillas.

Para los espaciamientos de los individuos en las secciones se consideraron sus características fenotípicas de altura y cobertura, así como su forma de vida (árbol, arbusto o hierba). Así, la distancia entre plantas de bosque tropical, coníferas, bosque mesófilo e introducidas fue de 8 m, en promedio; sin embargo, en algunas especies como *Alnus acuminata* subsp. *arguta*, *Fraxinus uhdei* y *Liquidambar styraciflua*, con características superiores a las demás especies en cuanto a los criterios indicados, fue mayor (9 a 10 m); para otras como *Arbutus xalapensis*, *Garrya laurifolia* y *Tilia mexicana*, fue de 6 o 7 m y para las secciones de matorral, agavés, cactáceas y plantas medicinales se definieron entre 6 y 1 m, respectivamente.

El número mínimo de plantas establecidas en el jardín fue de tres individuos por especie, para representar los tipos de vegetación de cada sección y el diseño de la plantación en el terreno fue de forma regular, conocido como "marco real" o "tres bolillo".

CONCLUSIONES

En la actualidad, el Jardín Botánico del Campo Experimental Uruapan cuenta con 128 especies de plantas dentro de 7 secciones; de éstas, las de medicinales

contribuyen con el mayor número (33), seguida de las introducidas (24), coníferas (20), mesófilo de montaña (18), encinos (12), matorral (11) y bosque tropical (10).

Se tienen representadas 25 especies sobreexplotadas localmente, dos amenazadas, una sujeta a protección especial, tres raras, dos en peligro de extinción y una endémica.

Todas las especies son de uso múltiple, de acuerdo a los siguientes criterios: uso medicinal (44), leña (34), ornamentales (25), elaboración de carbón (22), postería (21), construcción y elaboración de muebles (15), elaboración de artesanías (11), elaboración de mangos y cabos para herramientas (8), madera aserrada (7), celulosa para papel (5), elaboración de durmientes y extracción de resina (4), elaboración de cajas para empaque, cerco vivo, fibras y cortinas rompevientos (2) y elaboración de arados, cimbras, duela, melifera y con fines de reforestación (1).

REFERENCIAS

- Anguiano C., J., J. Alcanzar R., A. Ruíz C., J. González A., I. Vizcalno V., R. Regalado R y C. de la Mora O. 2003. Recursos edafo-climáticos para la planeación del sector productivo en el estado de Michoacán. Libro Técnico Núm. 1. CIRPAC, INIFAP, SAGARPA. Guadalajara, Jal., México. 173 p.
- Bello G., M. A. y J. N. Labat. 1987. Los encinos (*Quercus*) del Estado de Michoacán. INIFAP-CEMCA. Collection des Etudes Mesoaméricaines. Série 11-9. Cuaderno de Estudios Michoacanos. México. 98 p.
- Bello G., M. A. 1993. Plantas útiles no maderables de la sierra Purépecha, Michoacán. Folleto Técnico No. 10. CIPAC-Michoacán-INIFAP, SAGAR. México. 115 p.
- Bello G., M. A. y X. Madrigal S. 1996. Estudio florístico del Campo Experimental "Barranca de Cupatitzio", Uruapan, Michoacán. Folleto Científico No. 2. CIPAC-Michoacán-INIFAP, SAGAR. México. 47 p.
- Dudal, R. 1968. Approach to oil classification. FAO. Roma, Italia. 4 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1985. Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 50 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1993. Michoacán, Cuaderno de información para la planeación. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 349 p.
- Mata, G. E. 1993. Propuesta para la creación de un jardín botánico en el "Bosque Lázaro Cárdenas", de la ciudad de Morelia, Mich. Tesis Profesional. Escuela de Biología. UMSNH. México. 100 p.

- Ortega, R., H. Perales., T. Ando y J. Guerrero. 1982. El jardín botánico. Francisco Javier Clavijero. Reporte Interno No. 8130132. INIREB. Xalapa, Ver. México. 6 p.
- Pattison, G. 1983. El establecimiento de jardines botánicos en México. Cuaderno de Divulgación. INIREB. Xalapa, Ver. México. 10 p.
- Radford, A. E., W. C. Dickison, J. R. Massey and C. Ritchie B. 1974. Vascular plant systematics. Harper & Row. New York, NY. USA. 891 p.
- Valdés, J. 1982. Los jardines botánicos y las plantas medicinales del México antiguo. *In*: Memorias del Simposio de Etnobotánica. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. pp. 64-68.
- Wrigley, J. W. 1979. North coast regional botanic garden development. *In*: The development of a botanic garden. Proceedings of a conference held at Coffs Harbour Tehnical College, May 5-9. pp. 81-100.