



116
2ej
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

CRECIMIENTO DE TRES ESPECIES ARBOREAS EN
RESPUESTA A LA CONTAMINACION ATMOSFERICA
EN EL AREA METROPOLITANA DE LA
CIUDAD DE MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

LILIAN GUADALUPE LOPEZ CHAVEZ

MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

		página
I	Índice de cuadros	5
II	Índice de Figuras	7
III	Resumen	10
IV	Introducción	13
V	Antecedentes y Objetivos	19
VI	Situación del área de estudio	30
VII	Materiales y métodos	36
	7.1 Selección de sitios experimentales	36
	7.2 Material vegetativo	38
	7.3 Descripción de las especies	39
	7.4 Selección y ubicación de individuos	43
	7.5 Muestras	43
	7.6 Mediciones	44
	7.7 Análisis estadístico	45
VIII	Resultados	47
IX	Discusión	63
X	Recomendaciones	70
XI	Conclusiones	72
XII	Bibliografía	73
XIII	Apéndice	83

I. INDICE DE CUADROS

CUADRO

TITULO

- 1 Estimación del área foliar de las especies arbóreas urbanas: Liquidambar styraciflua, Fraxinus udhei y Ligustrum lucidum (y), con base en el peso seco de las hojas.

- 2 Coeficiente de la correlación lineal simple entre el tiempo y el crecimiento de las especies arbóreas urbanas: Liquidambar styraciflua, Fraxinus udhei y Ligustrum lucidum.

- 3 Significancia encontrada al comparar las pendientes de crecimiento de las especies arbóreas urbanas: Liquidambar styraciflua, Fraxinus udhei y Ligustrum lucidum, bajo diferentes condiciones de contaminación atmosférica.

- 4 Nivel de significancia encontrada en los componentes de variación de crecimiento de tres especies arbóreas urbanas.

- 5 Valores promedio registrados para el crecimiento del conjunto de las tres especies utilizadas de árboles urbanos, en tres sitios del Area Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM).

- 6 Valores promedio del crecimiento de cada especie utilizada en los tres sitios de exposición.

II. INDICE DE FIGURAS

FIGURA	TITULO
1	Crecimiento en altura (cm), registrado en cada sitio de trabajo para las especies: a) <u>Liquidambar styraciflua</u> , b) <u>Fraxinus udhei</u> y c) <u>Ligustrum lucidum</u> .
2	Incremento promedio en peso seco de la raíz (g), registrado en cada sitio de trabajo para las especies: a) <u>Liquidambar styraciflua</u> , b) <u>Fraxinus udhei</u> y c) <u>Ligustrum lucidum</u> .
3	Incremento promedio en peso seco del tallo (g), registrado en cada sitio de trabajo para las especies: a) <u>Liquidambar styraciflua</u> , b) <u>Fraxinus udhei</u> c) <u>Ligustrum lucidum</u> .

4 Incremento promedio en peso seco de las hojas (g),
registrado en cada sitio de trabajo para las espe-
cies: a) Liquidambar styraciflua,
b) Fraxinus udhei y c) Ligustrum lucidum.

5 Incremento promedio en área foliar (cm^2), registrado
en cada sitio de trabajo para las especies :
a) Liquidambar styraciflua, b) Fraxinus udhei
y c) Ligustrum lucidum.

III. RESUMEN

El dióxido de azufre (SO_2) y el ozono (O_3) son considerados como los principales contaminantes fitotóxicos. Este tipo de contaminantes son muy frecuentes en el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), particularmente, se registran las más altas concentraciones de SO_2 al norte de la ciudad, y de O_3 al sur. Con el fin de determinar el efecto de estos contaminantes en el crecimiento de los árboles urbanos cuando se presentan en concentraciones ambientales, se ubicaron dentro del AMCM tres lotes experimentales en diferentes sitios. Cada lote experimental se conformó de 105 árboles juveniles de 2-3 años de edad pertenecientes a las especies: Liquidambar styraciflua (ocozote), Fraxinus udhei (fresno) y Ligustrum lucidum (trueno). El primer lote se ubicó en la ENEP Acatlán (UNAM), la cual se encuentra al noroeste de la Ciudad de México; el segundo fue situado en la azotea del Instituto de Geografía de la UNAM, localizado al suroeste de la ciudad, y como sitio testigo se eligió el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) situado en las inmediaciones de la Universidad Autónoma de Chapingo, ya que es una zona de bajo tránsito vehicular, pocas industrias y el patrón de vientos noreste-suroeste evita que los contaminantes

sean diseminados hacia esa zona.

Para determinar el crecimiento del arbolado, se realizaron cuatro muestreos a lo largo de un año, que consistieron en registrar la altura, área foliar, peso seco de raíz, tallo y hojas de 10 árboles por especie en cada sitio de exposición. Los resultados fueron analizados mediante 2 métodos, el primero fue un análisis de varianza modelo II, el cual se realizó para confirmar la homogeneidad de los lotes experimentales al inicio de la investigación, el incremento en los parámetros de crecimiento, así como la influencia de los sitios de exposición en el mismo.

El segundo método consistió en trazar una recta, con los datos registrados. A las gráficas que se obtuvieron de los promedios de los parámetros de crecimiento en relación con el tiempo. Las pendientes obtenidas de cada especie se compararon entre sitios de exposición y se determinó en que lugar la especie creció con mayor velocidad.

Debido a que el experimento probó el efecto de los contaminantes "in situ", diversos factores como pueden ser los fenómenos meteorológicos y de concentración de contaminantes

podieron influir para que los árboles de la especie L. lucidum, ubicados en la ENEP Acatlán, registraran una mayor velocidad de incremento en varios parámetros de crecimiento. Conclusiones definitivas no pueden ser alcanzadas con este estudio, pero es muy probable que las tres especies utilizadas sean tolerantes a las concentraciones ambientales de contaminantes fitotóxicos del AMCM, lo cual permite sugerir de que sean utilizadas en los programas de dasonomía urbana que se llevan a cabo en la ciudad y en especial en los de forestación.

Los resultados indican de manera general, que las concentraciones ambientales de SO_2 y O_3 , fueron insuficientes para causar reducciones en el crecimiento de las tres especies arbóreas utilizadas.

INTRODUCCION

Las cubiertas vegetales urbanas (parques, jardines, avenidas, glorietas arboladas, etc.); son utilizadas por los habitantes de las ciudades como áreas de juego, descanso, diversión y meditación. Estas áreas así como el arbolado de alineación, conforman lo que se denomina como bosque urbano, el cual coadyuva a formar un ambiente citadino más confortable, ya que modifica el microclima al reducir la temperatura, aminora la velocidad del viento, atenúa el ruido, retiene polvos, etc. Asimismo, embellece el aspecto de calles y avenidas tornando más agradable el habitat urbano (Benavides, 1989).

Por desgracia, el bosque urbano enfrenta numerosos problemas que afectan su existencia entre ellos el asfalto, pues el área que ocupa se encuentra rodeado de éste, que aunado a cables y tuberías, puede impedir un correcto desarrollo radical. Las raíces más afectadas son las de los árboles ubicados individualmente en las calles, debido a que la banqueta y asfalto que limita las cepas, se encuentra más cercana, exponiendo al sistema radical a una fuente constante de calor, debido a que el asfalto lo absorbe para después liberarlo lentamente.

Wagar (1982) menciona un aspecto positivo de lo anterior, al comentar que las guarniciones al reemplazar el césped, reducen la competencia natural entre las diferentes plantas de una cubierta vegetal urbana, además de que mejoran la relación de humedad, debido a la concentración de agua en los límites de la banqueta después del riego o de una precipitación pluvial. El sistema de raíces también puede ser afectado por la carga continua de sal, debido a las señales territoriales que la población urbana de perros deja en la base de los árboles, la entrada de sal al suelo decrementa la capacidad de las raíces para absorber agua y nutrientes minerales, lo que conlleva a la reducción del crecimiento de los árboles. Existen otros factores adversos como el abastecimiento subnormal de agua, un suelo compacto que carece además de humus y la adhesión de partículas de materia a las hojas de las plantas, las cuales interfieren en la transpiración y respiración, asimismo, la contaminación del aire, la cual afecta el crecimiento normal de los árboles (Bassuk, 1981; Elias e Irving, 1984; Kozlowsky, 1985; Kozlowsky, 1986).

CONTAMINACION ATMOSFERICA

En las áreas urbanas la contaminación del aire ha alcanzado niveles sumamente peligrosos para la salud humana y de los animales, así como para las plantas cultivadas en esas áreas.

Entre los contaminantes atmosféricos más comunes en ambientes urbanos se pueden mencionar: bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O_3), nitratos, sulfatos, plomo, fluoruros y partículas suspendidas totales.

Las fuentes de origen de dichos contaminantes pueden ser naturales y antropogénicas, ejemplos de fuentes naturales de contaminantes atmosféricos son:

- los volcanes, los cuales al erupcionar emiten partículas, SO_2 , ácido sulfhídrico y metano.
- la turbulencia y las corrientes de aire pueden ocasionalmente traer pequeñas cantidades de O_3 al nivel de la tierra; de igual modo, las descargas eléctricas también contribuyen a generarlo, pero la cantidad total de O_3 formado de manera natural, no es comparable con la que se forma antropogénicamente en nuestros ambientes urbanos (Davis y Gerhold, 1976).

Las fuentes antropogénicas de contaminantes se encuentran concentradas en las zonas urbanas, (automóviles, industrias, refinerías, etc.). A partir del escape de los automóviles se emiten óxidos de nitrógeno hacia la atmósfera, los cuales en presencia de luz solar bajo reacciones fotoquímicas, producen O_3 .

El SO_2 se produce en la combustión del carbón (que se utiliza para la generación de electricidad) la refinación y combustión de los productos del petróleo y la fundición de metales, cantidades menores de SO_2 provienen de la producción de gas natural, de la refinación y utilización de sulfuro así como del uso y manufacturación de ácido sulfúrico (U.S.D.A., 1971).

Cabe señalar que aparte de los contaminantes producidos localmente, hay ciertos contaminantes atmosféricos que pueden ser transportados hasta miles de kilómetros desde su origen, estos incluyen O_3 , metales residuales, (cadmio, cobalto, cobre, plomo, etc.) ácido sulfúrico y ácidos nítricos, lo cual significa que este tipo de contaminación, puede ser de origen interestatal, internacional y aún intercontinental (Smith, 1985).

La Ciudad de México es considerada como una de las más contaminadas del mundo, (Friedrich, 1984; Bravo, 1986; citado

por Villegas, 1989). Dentro de las causas principales se encuentra la concentración de contaminantes atmosféricos antropogénicos provocada por casi 18 millones de habitantes y las características orográficas y meteorológicas del sitio, que lo hacen un caso único para el estudio de la contaminación atmosférica, pues aún cuando existen normas de calidad del aire para cada contaminante, estas son constantemente violadas, por lo que es de suma importancia ejercer un mayor control sobre las emisiones, para así prevenir algunos de los efectos que causan los contaminantes atmosféricos sobre los diversos organismos vivos que habitan la ciudad.

Aún no se puede dar un reporte completo de los efectos de la contaminación atmosférica sobre las plantas. Sin embargo se sabe que el O_3 y SO_2 son los contaminantes que más las afectan (U.S.D.A., 1973). Desafortunadamente dichos contaminantes abundan en el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM). Por lo tanto es muy probable que las cubiertas vegetales que se encuentran en la ciudad estén siendo afectadas, lo cual minimizaría los beneficios que estas proporcionan a los habitantes.

Por lo anterior, el presente trabajo se planteo con el fin

de conocer y comparar los efectos que causan el bióxido de azufre SO_2 y el ozono O_3 (los dos principales contaminantes fitotóxicos) en el crecimiento de tres especies arbóreas comunmente utilizadas en la reforestación del AMCM: Liquidambar styraciflua (ocozote), Fraxinus udhei (fresno) y Ligustrum lucidum (trueno).

V. ANTECEDENTES

En la actualidad existen una gran variedad de artículos científicos, relacionados con los efectos de la contaminación atmosférica sobre las plantas, algunos de ellos tratan de la manera como se transfieren los contaminantes de la atmósfera a las hojas. Mansfield y Freer - Smith (1984), comentan los efectos de los contaminantes en el comportamiento estomático, por ejemplo una atmósfera contaminada con bióxido de azufre (SO_2) puede inducir en plantas de Vicia faba (haba), una apertura estomática durante el día de una duración mayor a la normal, dicho fenómeno puede provocar un severo marchitamiento y dañar permanentemente a las hojas, aunque en ciertas especies sensibles a la humedad atmosférica se da una respuesta contraria a la anterior, es decir los estomas de dichas plantas se cierran, lo que involucra un estrés en el mesófilo.

Respecto al ozono (O_3) hay pocos estudios y generalmente reportan, que en atmósferas contaminadas con dicho gas, las plantas responden cerrando los estomas, pero no queda claro si la reducción en la fotosíntesis, ocurre al mismo tiempo y si es la causa o la consecuencia de los cambios en la apertura estomatal (Unsworth y Black, 1981; citados por Mansfield y Freer - Smith, 1984).

Por su parte Lenzian (1984), aislo cutículas sin estomas de Citrus aurantium (naranja) y de Lycopersicon esculentum (tomate) para conocer la permeabilidad de CO_2 y SO_2 comparandola con la de O_2 , y encontró que los coeficientes de permeabilidad para SO_2 y O_2 eran más altos comparados con los de CO_2 , comentó la similitud de las moléculas de SO_2 y O_2 , y finalmente concluyó que el SO_2 se disuelve en la fase lipídica de la cutícula dicha molécula atraviesa de esa manera a la célula.

Indudablemente la ruta más importante para la captación de contaminantes es la vía estomática durante condiciones favorables de crecimiento, aunque no está siempre disponible, Fowler (1980; citado por Garsed, 1984), sugiere que la vía estomática y cuticular para SO_2 en los pastos perennes puede ser de importancia similar, pues, en el invierno las concentraciones de SO_2 son más altas y al permanecer los estomas cerrados por largos periodos, la entrada del contaminante a la planta se realiza a través de la cutícula.

Una vez que se encuentran los contaminantes en el interior de la hoja, generalmente se incrementa la concentración de algunos elementos en la planta, por ejemplo el SO_2 puede aumentar el contenido de azufre en la planta de 3 a 4 veces (Katz, 1939

citado por Garsed, 1984), y su oxidación producir sulfito y sulfato, dichas sustancias afectan varias vías metabólicas (Mudd, 1984), y provocan cambios ultraestructurales, los cuales se relacionan con los cambios en la capacidad fotosintetizadora de las células del mesófilo, ya que se dañan las envolturas de los cloroplastos (Godzik y Sassen, 1974; citados por Huttunen y Soikkeli, 1984).

Aunque el proceso fotosintético también puede ser influenciado por el pH de la capa de agua que rodea a la hoja, ya que si este es ligeramente ácido, como consecuencia de la captación de SO_2 , eventualmente se limitaría dicha captación, pero también la de CO_2 (Hallgren, 1984), lo que induciría cambios en la fotosíntesis que repercutirían en la producción de biomasa.

Sin embargo, muchos de los efectos adversos que causan los contaminantes atmosféricos a los árboles, varían con el tipo o tipos de contaminantes presentes, dosis, tolerancia de las especies, condiciones ambientales, parámetros de respuesta, edad, etc. (Kozlowsky, 1986).

Los contaminantes atmosféricos reducen el crecimiento de los árboles al retardar la fotosíntesis, proceso por el cual la

energía de la luz es usada por las hojas para sintetizar carbohidratos a partir de bióxido de carbono y agua. Los carbohidratos son los principales constituyentes de las paredes celulares, además de ser el punto de comienzo para la síntesis de grasas y proteínas y ser un sustrato importante de la respiración (Kozlowsky, 1985).

Además los contaminantes atmosféricos provocan una reducción en el crecimiento, al inhibir el incremento del cambium y el desarrollo de las estructuras reproductoras, asimismo disminuyen la tasa de incremento de peso seco de hojas, tallos y raíces. Esta inhibición del crecimiento puede estar asociada o no, a un visible daño a la hoja. La reducción del crecimiento de los árboles esta precedida por cambios en los procesos fisiológicos, estomáticos, las relaciones hormonales, minerales y de agua, las cantidades de carbohidratos y proteínas almacenadas, la actividad de las enzimas y la síntesis de clorofila (Kozlowsky, 1986.)

El cambio en la velocidad de crecimiento del árbol, es una respuesta integrada a los cambios fisiológicos que son regulados por muchos factores ambientales que fluctúan e interactúan constantemente, por lo tanto es difícil cuantificar la contribución de la contaminación atmosférica en la reducción del tamaño (Kozlowsky, 1985).

Reich (1987) estudió los efectos del O_3 en el crecimiento (producción de biomasa) y fotosíntesis, y concluyó que las concentraciones ambientales son probablemente suficientes para causar una reducción de la fotosíntesis y del crecimiento, cuando en la estación de crecimiento se tiene una concentración de 0.05 ppm. Menciona asimismo que las especies vegetales que muestran el mayor porcentaje de reducción en la fotosíntesis neta y en el crecimiento, son las que tienen una alta conductancia foliar, ya que la reducción en fotosíntesis y crecimiento esta mejor relacionada con la ingesta de O_3 que por la dosis del mismo.

Dochinger y Jensen (1985), fumigaron plántulas de un año de Liriodendron tupilifera con diferentes combinaciones de O_3 , SO_2 y lluvia ácida. Observaron que todos los parámetros de crecimiento (área foliar, peso seco de hojas y tallos) decrecían al incrementar la acidez de la combinación.

Jensen (1981) comparó parámetros de crecimiento (altura y área foliar) en plántulas de un año de Liriodendron tupilifera, Populus deltoides y Fraxinus americana, fumigadas a bajas concentraciones de SO_2 , O_3 y de la combinación de éstos, concluyendo que ambos contaminantes retardan el crecimiento, aunque cuando se fumigó con la mezcla fue menos notoria la

reducción de la tasa de crecimiento y sugirió una relación antagonista entre dichos contaminantes.

Patton (1981) fumigó al azar 9 grupos de 12 plántulas de Populus deltoides con 0.15 ppm de O_3 y otros 9 grupos con 0.25 ppm de SO_2 , además de contar con 9 grupos control. Cada tratamiento fue aplicado por 12 horas diarias durante 102 días consecutivos y observó que en los parámetros de crecimiento utilizados (altura y gravedad específica del tallo), 6 de los grupos fumigados con O_3 mostraban una supresión importante de ambos parámetros. Los datos registrados para la variable altura de 5 de los grupos fumigados indicaban cierta estimulación por al menos uno de los tratamientos aunque dicha estimulación no resultó estadísticamente significativa. Los datos obtenidos para la gravedad específica del tallo en 8 de los grupos, para ambos contaminantes, mostraron un decremento notable. El autor concluyó que la gravedad específica del tallo, la cual es un indicador de la calidad de la madera, podía ser una útil medida del impacto de la contaminación ambiental.

Smith (1985) comenta que los contaminantes atmosféricos pueden dañar a los árboles influenciando en los procesos reproductivos, la retención e ingesta de nutrientes, rutas

metabólicas (especialmente fotosíntesis) y las interacciones de patógenos e insectos plaga con dichos árboles; al respecto, Hain (1987) menciona que la respuesta metabólica de las plantas a niveles intermedios de exposiciones a contaminantes atmosféricos se presenta en la translocación de nitrógeno a tejidos estresados, de ahí el incremento en el valor nutritivo de este para los insectos. Algunos insectos fitófagos muestran una fuerte preferencia por las hojas de los árboles fumigadas con SO_2 , dicha preferencia ocasiona una reducción del área foliar y por tanto de la fotosíntesis, lo que conlleva a una reducción del crecimiento.

Ellist et. al. (1987) menciona que debido a la ambigüedad que existe respecto a la tolerancia o susceptibilidad del fresno al O_3 , decidió llevar a cabo 3 experimentos con plántulas de

Fraxinus americana y F. pensylvanica, los cuales fueron realizados en condiciones ambientales. El primero de ellos consistió en aplicar 4 tratamientos a plántulas de 2 a 3 años de edad, los cuales fueron: a) lluvia ácida b) O_3 c) lluvia ácida más O_3 d) testigo. Los parámetros de crecimiento utilizados fueron área foliar, peso fresco y seco de hojas y tallo. El segundo experimento consistió en exponer 60 ejemplares de cada una de las especies a 4 tratamientos : a) O_3 + lluvia ácida b)

O₃ sin lluvia c) sin O₃ (con ayuda de un antioxidante) d) sin O₃ (antioxidante) sin lluvia. El tercer experimento consistió en medir 3 veces la clorofila de los diferentes tratamientos. Los autores concluyeron finalmente, que los registros de los parámetros de crecimiento no se vieron afectados significativamente, ni por las combinaciones de contaminantes ni por los contaminantes individuales. Tampoco el contenido de clorofila del follaje fue afectado, sin embargo se notó cierta tendencia a decrecer, pero ni el O₃ ni la lluvia ácida alteraron significativamente los resultados concluyendo la tolerancia al O₃ en ambas especies, aunque comentan los autores que es probable que no lo sean todos los genotipos.

Como se mencionó anteriormente, los contaminantes atmosféricos fitotóxicos como el SO₂ y O₃ retardan el crecimiento de las especies vegetales, además de causar otro tipo de alteraciones, como la conductividad estomática, asignación de recursos, etc.

Por lo anterior, se deduce que el daño causado por los contaminantes atmosféricos a las plantas, no es un problema fácil de solucionar, pues difícilmente se podría terminar con la contaminación atmosférica, pero es necesario ejercer un mayor control sobre las emisiones que producen las diversas fuentes de

origen, lo cual disminuiría notablemente la contaminación del aire y se podría pensar en la selección de especies vegetales tolerantes a concentraciones controladas de contaminantes.

Kozlowsky (1986) menciona que árboles tolerantes a contaminantes atmosféricos pueden ser obtenidos a través de la selección de individuos, familias o poblaciones tolerantes, cruzando individuos seleccionados y produciendo en masa variedades tolerantes a contaminantes atmosféricos tanto sexualmente como de manera vegetativa.

Entre los métodos usados para verificar la tolerancia a la contaminación atmosférica de árboles seleccionados en áreas contaminadas, está la exposición artificial de plántulas en cámaras de fumigación, aunque este método no es muy útil para propósitos de selección, ya que no incluyen mezclas de contaminantes ni estreses causados por otras enfermedades o condiciones (Davis, 1976). Otra objeción a este método sería el que menciona Willix (1972), al comentar que excepto en la proximidad a las fuentes contaminantes, las concentraciones de los contaminantes atmosféricos son seis veces menores que las de los componentes naturales más abundantes de la atmósfera, y a menos de que sean ejecutados bajo estas condiciones los experimentos de laboratorio, pueden ser engañosos. otro método

sería el de exponer plántulas en camas de vivero a los contaminantes del aire.

Umbach y Davis (1984) expusieron 57 especies de árboles al SO_2 en cámaras de fumigación controladas, algunas especies fueron probadas durante varios años, otras por un año. Las plantas tenían de dos a tres años de edad y se expusieron a 0.9, 1.5 y 1.8 ppm de SO_2 durante 4 horas. Los síntomas se evaluaron 3 días después los cuales consistían en el porcentaje de tejido necrótico foliar y el número de hojas dañadas. El resultado fue una respuesta muy amplia de las especies al SO_2 , debido a fluctuaciones ambientales que afectaron a los árboles antes de la exposición, además de la preexposición a diferentes condiciones meteorológicas que se pueden reflejar en la respuesta diferencial hacia los contaminantes. A partir de sus resultados elaboraron un listado con las especies susceptibles y tolerantes a SO_2 .

OBJETIVOS

- Conocer el efecto de los principales contaminantes atmosféricos del Area Metropolitana de la Ciudad de México, en el crecimiento en peso seco y área foliar de Fraxinus udhei, Ligustrum lucidum y Liquidambar styraciflua.

- Comparar el efecto de las concentraciones ambientales de bióxido de azufre (SO_2) y ozono (O_3) del AMCM en el crecimiento en peso seco y área foliar de F. udhei, L. lucidum y L. styraciflua.
- Determinar de manera relativa el rango de tolerancia a estos contaminantes de F. udhei, L. lucidum y L. styraciflua durante el lapso del trabajo experimental.

VI. SITUACION DEL AREA DE ESTUDIO

El Area Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), se localiza en la porción meridional de la Altiplanicie Mexicana extendiéndose por toda la esquina suroeste de la región denominada Cuenca del Valle de México. Se localiza en el paralelo $19^{\circ}35'$ latitud norte y el meridiano $99^{\circ}40'$ longitud oeste. La mancha urbana abarca una superficie de aproximadamente 1200 km² y políticamente esta constituida por parte del Distrito Federal y diecisiete municipios conurbados del Estado de México. (Garza, 1987).

Friedrich (1984), consideró a la Ciudad de México como una de las más afectadas a nivel mundial por contaminación atmosférica. Siendo varios los factores que contribuyen a ello, entre los cuales podemos citar los demográficos, topográficos y meteorológicos. Respecto a los primeros se manejan cifras de 18 millones de habitantes, 30 mil industrias (fundidoras, siderúrgicas, cementeras, farmacéuticas, del vidrio, químicas, de fertilizantes, textiles, automotrices, etc.) y 3 millones de vehículos (SEDUE, 1986).

En relación a los factores meteorológicos, por la latitud en

que se encuentra la cuenca del valle de México, durante el verano recibe la influencia de masas de aire tropical cálidas y húmedas, que combinadas con una intensa actividad solar, fomentan la formación de nubosidad de amplio desarrollo y lluvias de tipo chubasco.

En invierno recibe la influencia de masas de aire polar, frías y secas, que provocan el descenso de capas frías a la superficie, y su permanencia es más larga, dado que la insolación invernal es menor. Es la época en que las inversiones térmicas (capas de aire caliente encima de las de aire frío) son más intensas y de mayor duración. A partir de fines de enero y hasta fines de marzo, al bajar en latitud y altitud la Corriente de Chorro, se provoca una ventilación fuerte en toda la cuenca, rompiendo las inversiones térmicas y generando tolvaneras. En primavera y otoño, por ser épocas de transición estacionales, se presentan los dos tipos de influencias, polares y tropicales, aunque con intensidad menores.

Este panorama sinóptico explica el clima del AMCM, pudiéndose distinguir dos estaciones climáticas bien definidas, la de lluvias durante el verano, con temperaturas relativamente calurosas de mayo a octubre y la de secas durante el invierno,

con temperaturas templadas de noviembre a abril (Reyes, 1986). Los alrededores áridos y las repentinas ráfagas de viento durante la época de secas, dan lugar a tolvaneras y condiciones en las que predominan polvos suspendidos.

Los vientos dominantes en el AMCM se dan preferentemente del norte-noreste hacia el sur. En el sector norte de la ciudad se encuentra la mayor parte de la industria de donde los contaminantes producidos son transportados sobre la mancha urbana gracias a los vientos dominantes (Bravo, et. al., 1988a).

Respecto a la topografía, por encontrarse en una cuenca cerrada al estar rodeada de altas montañas, el movimiento del aire en la ciudad de México esta restringido, con lo cual se aumenta el potencial para una severa acumulación de contaminantes atmosféricos. (La visibilidad media en la Ciudad de México se ha reducido dramáticamente de 10-20 km a 2-4 km entre 1937 y 1970) (Gutierrez, 1986).

Se han hecho varios esfuerzos para controlar la contaminación atmosférica en el país, entre ellos, se establecieron varias medidas para mejorar la calidad del aire, como la de reducir el contenido de tetraetilo de plomo en la gasolina; de 1ml/galón a 0.66ml/galón. Dicha reducción se dio en

el mes de septiembre de 1986 y también se adicionó un detergente orgánico, los efectos de acción ocasionaron una reducción notable de la concentración atmosférica de plomo, pero desafortunadamente, se produjeron efectos colaterales, entre ellos la reducción del octanaje, lo cual ocasionó el incremento de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos no metanos, debido al aumento del consumo de combustible, incrementos que fueron influenciados por la adición del detergente, el cual según hipotetizó Bravo, et. al. (1988 b,c ; 1989), contenía compuestos nitrogenados.

Con el fin de aumentar el octanaje y reducir la emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono, en 1989 PEMEX produjo una gasolina con un aditivo oxigenado, (metil-terbutil-eter ó MTBE) y probablemente hidrocarburos alifáticos de cadena corta; dicha gasolina fue utilizada por vehículos automotores que carecían de convertidores catalíticos, por lo que se incrementaron aún más las emisiones de hidrocarburos no metanos y de óxidos de nitrógeno, además de aumentar las concentraciones de formaldehído de origen vehicular (Bravo, et. al. 1990a).

Los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos no metanos son los más importantes precursores de O₃, por lo que dicho contami-

nante pasó a ser uno de los más graves problemas en la ciudad, ya que se incrementó la concentración máxima, la duración diaria y el número de días que rebasaba la norma mexicana de calidad del aire para O_3 (0.11 ppm promedio 1 hora) la cual fue violada de manera alarmante 740 veces en 1987; 959 en 1988, 1224 en 1989. Dicha norma no debe rebasarse más de una vez al año (Bravo, et. al. 1990b).

El SO_2 al igual que el O_3 , es otro de los contaminantes fitotóxicos abundantes en el AMCM, sobre todo en el norte (Tlalnepantla, Naucalpan, Azcapotzalco) se localizan las concentraciones más altas, debido a que en esta zona se encuentran diversas plantas industriales que utilizan petróleo y diesel con alto contenido en azufre (3.5% en peso) y dichas concentraciones se agudizan en el invierno.

Entre las medidas que se dieron para mejorar la calidad del aire en este aspecto una de ellas fue la realización de un acuerdo en 1986 entre la Compañía Federal de Electricidad, Petroleos Mexicanos y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, para disminuir el uso de combustóleo con alto contenido de azufre, por lo que se dió el cambio en la termoeléctrica Valle de México, la cual actualmente utiliza gas natural; asimismo en

la refinería de Azcapotzalco, se dió una reducción del uso del combustóleo, desafortunadamente no hubo un decremento notable de los niveles de concentración de SO₂ (Bravo, et.al., 1990c).

Actualmente otras medidas gubernamentales se encuentran en marcha, entre ellas "un día sin auto", el cierre de los baños públicos un día a la semana, y el desmantelamiento definitivo de la refinería de Azcapotzalco. Aún no hay estudios sobre la calidad del aire después de este último acontecimiento. Asimismo, se ha intentado abatir la contaminación mediante programas intensos de reforestación, ejemplo de ellos es el denominado "Cada familia un árbol", para lo cual se utilizaron una gran variedad de especies arbóreas, entre ellas: Eucalyptus camaldulensis (eucalipto) , Acacia retinoides (acacia), Liquidambar styraciflua (liquidambar) , Fraxinus udhei (fresno) , Ulmus parvifolia (olmo) , etc. Sin embargo los árboles se plantaron sin tener un estudio previo de la tolerancia que presentan dichas especies a los diversos problemas de un ambiente urbano, e incluso, sin considerar si el lugar de establecimiento era el más adecuado.

VII. MATERIALES Y METODOS.

7.1 Selección de sitios experimentales

Se solicitaron a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) los datos de los promedios mensuales de O_3 y SO_2 registrados en la red automática de monitoreo de contaminantes atmosféricos que mantiene instalada en el A.M.C.M. para cada una de las estaciones que monitorearon esos contaminantes durante los años de 1986, 1987 y 1988. A partir de esos datos se elaboraron promedios y gráficas estacionales, correspondiendo la época de estiaje al periodo de noviembre-mayo y la lluviosa de junio a octubre. Con base en lo anterior se observó que de las estaciones que monitoreaban SO_2 , la que se encuentra situada en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlan (ENEP) mostraba los promedios estacionales más altos de concentración para dicho contaminante, desafortunadamente, en dicha estación no se monitorea ningún otro contaminante atmosférico.

Para el O_3 se observó que en el lapso referido, diferentes estaciones mostraron los niveles más altos de concentración, pero tuvieron en común que se encontraban situadas al sur de la Ciudad de México, por lo que se solicitó al Centro de Ciencias de la Atmósfera de la U.N.A.M. ubicada en Ciudad Universitaria, los

datos de los promedios mensuales de O_3 y SO_2 de los años de 1987, 1988 y 1989, de la estación de monitoreo que ahí se encuentra situada. Además de los promedios mensuales solicitados, se proporcionaron los promedios diarios. Con los cuales se pudo observar que las más altas concentraciones de O_3 se presentaban en esta zona del sur de la Ciudad en comparación con las otras estaciones de monitoreo. En cuanto a SO_2 , se observó que se registraban bajos niveles de concentración, ya que generalmente se reportaban datos en un rango de 0.02-0.04 ppm.

Por lo anterior se escogieron como sitios de trabajo a la ENEP Acatlán y el Instituto de Geografía, ubicado en Ciudad Universitaria (el cual se encuentra cercano al Centro de Ciencias de la Atmósfera), debido a la alta concentración de SO_2 y O_3 que se registró en esos lugares.

El sitio escogido como testigo fue en las instalaciones del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) situado en las inmediaciones de la Universidad Autónoma de Chapingo, debido a que es un lugar de baja contaminación. Lo anterior se sustenta en que la dirección de los vientos dominantes es norte-noreste, por lo cual los contaminantes de la

Ciudad de México no son transportados hacia esa zona, además de la poca industria y bajo número de vehículos que hay en el lugar, desafortunadamente, en esa zona no se monitorea ningún contaminante.

7.2 Material vegetativo

En este estudio se utilizaron 150 arbolitos de 2-3 años de edad cada una de las siguientes especies: Fraxinus udhei (fresno), (\bar{x} = 61.95 cm de altura) Liquidambar styraciflua (ocozote ó liquidámbar) (\bar{x} = 103.38 cm de altura) y Ligustrum lucidum (trueno) (\bar{x} = 102.25 cm de altura) es decir, en total se trabajo con 450 plantas, las cuales estaban en envase de plástico de 30 x 20 cm . Dicho material vegetativo fue obtenido en el vivero de Coyoacán de la SARH, que se encuentra ubicado en Av. Progreso esquina con Av. Universidad en la delegación de Coyoacán.

Los individuos de cada población pertenecieron a la misma época de siembra, lo que aseguro la misma edad, y se trató de homogeneizar en la medida de lo posible la altura y vigor de la planta.

7.3 Descripción de las especies

Nombre Científico

Liquidambar styraciflua L. (Hamamelidaceae)

Nombre común:

Ocozote, liquidámbar, ocozotl, ocoxote, techco, copalme

Distribución Geográfica en México:

Se encuentra en la vertiente del golfo de México, desde Tamaulipas y norte de San Luis Potosí, hasta el norte de Chiapas. En la vertiente del Pacífico, se presenta en la Sierra Madre del Sur y en la Sierra del Soconusco.

Habitat

Crece en bosque mesófilo de montaña, bosques de Pinus y bosques de Pinus-Quercus.

Descripción

Arbol caducifolio hasta de 60m de altura con tronco recto, ramas ascendentes, delgadas de copa alargada o piramidal. Corteza angostamente fisurada, moreno grisácea, de sabor amargo. Las

ramas jóvenes presentan cicatrices de hojas caídas y son glabras. Hojas simples dispuestas en espiral, más anchas que largas de 4x5 a 11x15 cm, 3-5 lóbulos triangulares, verde oscuras y opacas en el haz y verde pálidas en el envés, cambiando a rojizas y morenas cuando están muy viejas; las hojas tienen un agradable olor a trementina cuando se estrujan. Flores monoicas, en panículas terminales ó axilares, perianto ausente en las flores masculinas y diminuto en las femeninas. Frutos agregados en cabezuelas de 2.5 a 4cm de diámetro, globosas, echinadas, leñosas, morenas a negro brillante; cápsula bivalvada, dehiscente, conteniendo semillas aladas y morenas. (Pennington y Sarukkan, 1968)

Nombre Científico

Fraxinus udhei (Wenzig) Lingelsh (Oleaceae)

Nombre común:

Fresno

Distribución Geográfica en México

Desde Sinaloa y Durango hasta Veracruz y Chiapas.

Habitat

Crece generalmente en lugares húmedos, protegidos, como cañadas y barrancas, es una especie de regiones templadas y crece en las zonas montañosas de México (Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico y Serranías Transistmicas).

Descripción

Arbol caducifolio dioico hasta de 25m de altura, de corteza rugosa y estriada. Hojas compuestas, cada hoja presenta de 5 a 9 foliolos, de 5 a 15 cm de largo, con ápices largamente atenuados, bordes finamente dentados, haz glabro y envés verde claro. Flores con diminuto cáliz tetradentado, pétalos ausentes, las flores femeninas con un pistilo de 0.4 a 0.7 cm. de largo, las masculinas con dos estambres de 0.3 a 0.5 cm. de largo (Rzedowski, 1985).

Nombre Científico

Ligustrum lucidum Aiton (Oleaceae)

Nombre común

Trueno

Distribución Geográfica

Especie originaria de China, Corea y otras partes de Asia. Actualmente cultivada en varias partes del mundo.

Descripción

Arbol perennifolio de 6-8 m de altura y a veces hasta 15m, tronco delgado de corteza gris a oscura, ligeramente fisurada con lenticelas en las ramillas. La copa del árbol es piramidal y densa. Hojas opuestas decusadas, oblonga-ovada, haz lustroso, ápice acuminado, de 12 cm de longitud por 6cm de ancho. Flores pequeñas, blancas amarillentas, fragantes, en una panícula terminal de larga forma piramidal, de 20 cm de largo. Fruto carnoso, globoso, de color azul a negro, de unos 4-6cm de diámetro (Kunkel, 1978).

7.4 Selección y ubicación de individuos

Cuarenta arbolitos de cada especie fueron seleccionados al azar y se ubicaron en octubre de 1989 en cada uno de los sitios de trabajo (alta concentración de SO_2 (ENEP Acatlán) alta concentración de O_3 (Instituto de Geografía, Ciudad Universitaria) y baja concentración de contaminantes (CEVAMEX, Chapingo, Estado de México), una vez ubicados fueron regados a saturación una vez por semana.

7.5 Muestreos

Se efectuaron 4 muestreos sin reemplazo (cosechas destructivas). El primero de ellos se llevó a cabo a mediados de octubre de 1989, para conocer la situación inicial de los árboles al salir del vivero. El segundo muestreo se realizó en la primera semana del mes de febrero, después que los arbolitos toleraron condiciones meteorológicas especiales, como las inversiones térmicas prolongadas, radiaciones solares débiles y vientos en calma, condiciones que promueven la acumulación de los contaminantes.

En la última semana de mayo se efectuó el tercer muestreo

después de los fuertes vientos de febrero y marzo y de los calurosos días de abril y mayo. Condiciones meteorológicas que generalmente sitúan la concentración de contaminantes dentro de las normas aceptables , a excepción del O₃, cuyo nivel es elevado debido a la fuerte insolación. El último muestreo fue en la primera semana de octubre, al finalizar la temporada de lluvias, pues en estos meses generalmente la calidad del aire es buena debido al "lavado" de la atmósfera.

CALENDARIO

Cosecha	Fecha	Tiempo transcurrido (días)
1	octubre 1989	0
2	febrero 1990	116
3	mayo 1990	228
4	octubre 1990	350

7.6 Mediciones

Una vez que finalizaba el periodo previamente establecido, 10 árboles por especie eran seleccionados al azar en cada sitio de exposición. Los parámetros que se medían en cada muestreo eran:

- Altura: del collar al ápice.

- Peso seco de raíz, tallo y hojas (peso constante a 70°C durante 60 h)

- Área foliar: en el primer muestreo se tomaron 100 hojas de cada una de las especies arbóreas utilizadas y se dibujaron sobre papel milimétrico, determinándose el área por conteo. Posteriormente, las hojas se secaron a 70°C en un horno con ventilación forzada hasta peso constante, el peso de cada hoja se empleó como variable independiente y el área foliar como variable dependiente, calculándose por mínimos cuadrados la recta de mayor ajuste; así, en los muestreos subsiguientes el área foliar se determinó mediante la ecuación ajustada para cada una de las especies (Cuadro 1).

7.7 Análisis estadístico

El análisis de resultados se llevó a cabo utilizando dos métodos; el primero de ellos consistió en realizar un análisis de varianza modelo II (SAS, 1982). En dicho análisis se determinan las fuentes de variación, que en este caso fueron los sitios, los árboles por sitio, las especies y los sitios por especie y las variables fueron la altura, el peso seco de raíz, tallo y hojas, así como el área foliar; finalmente se realizó la prueba de Tukey

Cuadro 1.- Estimación del área foliar de tres especies arbóreas urbanas (y),
con base en el peso seco de las hojas.

ESPECIE	ECUACION	COEFICIENTE DE CORRELACION
<u>Fraxinus udhei</u>	$Y = 3.68 + 113.17X$	0.94
<u>Liquidambar styraciflua</u>	$Y = 2.30 + 149.37X$	0.97
<u>Ligustrum lucidum</u>	$Y = 0.25 + 110.36X$	0.97

n = 100

(SAS, 1982), la cual mostró por sitio y por especie, diferencias estadísticamente significativas, con base en los promedios por muestreo de las variables de crecimiento utilizadas.

Este análisis no contempla las medidas iniciales de las variables de crecimiento, por lo que se efectuó otro método de análisis que tomara en cuenta los pesos iniciales. Dicho método consistió en elaborar gráficas utilizando los promedios de las variables en cada muestreo para cada especie, para efectuar posteriormente, un análisis gráfico, y evaluar el comportamiento de las variables con respecto a los muestreos realizados. Basándose en la forma que tenían las líneas de tendencia, se procedió a realizar el ajuste a una recta por el método de mínimos cuadrados para la variable altura, y para las demás variables (área foliar y peso seco de raíz, tallo y hojas) se efectuó el ajuste de una exponencial.

Una vez hecho el ajuste se inició la comparación de las pendientes de las variables de crecimiento de una misma especie en cada uno de los sitios, para finalmente aplicar una prueba de F y comprobar estadísticamente la significancia de los resultados (Snedecor y Cochran, 1967).

VIII. RESULTADOS

ANALISIS DE VARIANZA MODELO II.

Los resultados obtenidos en el primer método utilizado (SAS, 1982), para evaluar los datos obtenidos en la presente investigación, se presentan en los cuadros 4, 5 y 6.

En el cuadro 4, se encuentran los resultados del análisis de varianza modelo II, que fue aplicado a los resultados obtenidos en cada muestreo del conjunto de árboles utilizados. Los componentes de variación en este caso fueron: los sitios, los árboles por sitio, las especies y los sitios por especie. Las variables de crecimiento fueron: el área foliar, la altura y el peso seco de raíz tallo y hojas.

En el primer muestreo el mayor componente de variación lo dieron las especies, pues este fue el único nivel que resultó significativo, con la excepción del peso seco de raíz en el nivel de árboles por sitio, lo cual era de esperarse debido a las características inherentes de cada especie.

En el muestreo 2 la variación dada por las especies continuó siendo significativa en todas las variables; en este muestreo los

Cuadro 4.- Nivel de significancia encontrada en los componentes de variación del crecimiento de tres especies arbóreas urbanas.

MUESTRO 1.		P E S O S E C O								
FUENTE DE VARIACION	A L T U R A		R A I Z		T A L L O		H O J A		AREA FOLIAR	
SITIOS	0.8052	N.S.	0.8589	N.S.	0.7396	N.S.	0.0859	N.S.	0.0850	N.S.
ARBOLES X SITIO	0.4525	N.S.	0.0304	**	0.1495	N.S.	0.4970	N.S.	0.4776	N.S.
ESPECIES	0.0001	***	0.0001	***	0.0001	***	0.0001	***	0.0001	***
SITIOS X ESPECIE	0.7596	N.S.	0.2016	N.S.	0.1869	N.S.	0.0615	N.S.	0.0570	**
MUESTRO 2.										
SITIOS	0.0001	***	0.0008	**	0.0731	N.S.	0.6669	N.S.	0.3351	N.S.
ARBOLES X SITIO	0.0073	*	0.0786	N.S.	0.6939	N.S.	0.6967	N.S.	0.7315	N.S.
ESPECIES	0.0001	***	0.0001	***	0.0001	***	0.0056	**	0.0015	**
SITIOS X ESPECIE	1.000	N.S.	0.5011	N.S.	0.0149	*	0.0201	**	0.0110	*
MUESTRO 3.										
SITIOS	0.0001	***	0.0092	**	0.0005	**	0.0001	***	0.0001	***
ARBOLES X SITIO	0.0072	**	0.5048	N.S.	0.9412	N.S.	0.0339	**	0.0338	**
ESPECIES	0.0001	***	0.0003	**	0.0001	***	0.0001	***	0.0001	***
SITIOS X ESPECIE	1.0000	N.S.	1.0000	N.S.	1.0000	N.S.	0.4219	N.S.	0.1782	N.S.
MUESTRO 4.										
SITIOS	0.0001	***	0.0004	**	0.0436	**	0.0001	***	0.0001	***
ARBOLES X SITIO	0.1473	N.S.	0.5434	N.S.	0.8067	N.S.	0.0191	*	0.0066	**
ESPECIES	0.0001	***	0.0002	**	0.0001	***	0.0001	***	0.0001	***
SITIOS X ESPECIE	1.0000	N.S.	0.1972	N.S.	1.0000	N.S.	0.0001	***	0.0001	***

N.S. No Significativo

* $P < 0.01$ ** $P < 0.05$ *** $P < 0.001$

niveles de sitios y árboles por sitio también aportaron variación en las variables de altura y raíz; el nivel de sitios por especie empezó a presentar significancia estadística, lo cual se manifestó en el peso seco de tallos, hojas y área foliar, lo que significa que las características ambientales de los sitios empiezan a influir en los parámetros de crecimiento.

En el tercer muestreo la variación dada en los niveles de sitios y de especies se manifestó en todas las variables y en el nivel de árboles por sitio resultó significativa la variable altura.

En el muestreo número cuatro, la variación dada por las especies continuó como en los tres muestreos anteriores, así como la de sitios que se presentó en el muestreo 3. En este último muestreo se empezaron a encontrar componentes significativos en los niveles de árboles por sitio y de sitios por especie; la significancia se manifestó en las variables que estuvieron relacionadas básicamente con las hojas.

En el Cuadro 5, se presentan los resultados obtenidos, de la comparación de los promedios de los parámetros de crecimiento por sitio mediante la prueba estadística de Tukey. La comparación

Cuadro 5.- Valores promedio registrados para el crecimiento del conjunto de las tres especies utilizadas de arboles urbanos en tres sitios del Área Metropolitana de la Ciudad de México.

MUESTRO 1		P E S O S E C O				
S I T I O	A L T U R A	R A I Z	T A L L O	H O J A S	AREA FOLIAR	
E.N.E.P. ACATLAM	89.193 A*	18.519 A	20.304 A	8.557 A	1167.4 A	
CEVAMEX	91.620 A	17.888 A	19.128 A	6.365 A	1053.4 A	
CIUDAD UNIVERSITARIA	90.053 A	18.999 A	18.696 A	7.279 A	1175.8 A	
MUESTRO 2						
S I T I O	A L T U R A	R A I Z	T A L L O	H O J A S	AREA FOLIAR	
E.N.E.P. ACATLAM	107.956 A	28.982 AB	26.153 A	3.634 A	589.4 A	
CEVAMEX	87.287 C	20.869 B	21.116 A	4.415 A	796.0 A	
CIUDAD UNIVERSITARIA	95.893 B	32.463 A	25.298 A	3.648 A	648.9 A	
MUESTRO 3						
S I T I O	A L T U R A	R A I Z	T A L L O	H O J A S	AREA FOLIAR	
E.N.E.P. ACATLAM	111.682 A	31.243 A	31.859 A	10.810 A	1592.9 A	
CEVAMEX	85.450 C	22.092 B	20.064 B	6.604 B	1074.9 B	
CIUDAD UNIVERSITARIA	95.025 B	29.340 AB	26.774 A	11.813 A	1722.3 A	
MUESTRO 4						
S I T I O	A L T U R A	R A I Z	T A L L O	H O J A S	AREA FOLIAR	
E.N.E.P. ACATLAM	119.132 A	46.437 AB	38.832 A	8.590 B	1317.3 B	
CEVAMEX	91.967 B	37.406 B	29.250 B	10.233 AB	1540.1 AB	
CIUDAD UNIVERSITARIA	97.897 B	52.823 A	34.454 AB	13.379 A	1975.5 A	

* Los valores con letras iguales no son significativamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$)

entre sitios en el primer muestreo indica que no hubo diferencias debidas a los sitios.

En el muestreo 2 se empiezan a notar ciertos cambios, pues los árboles situados en la ENEP Acatlán resultaron significativamente más altos que los del resto de los sitios. Los árboles de Ciudad Universitaria fueron más altos que los ubicados en el CEVAMEX. El promedio más alto de peso seco de raíz se presentó en los árboles ubicados en Ciudad Universitaria, siendo significativamente superior al registrado en CEVAMEX, mientras que los de la ENEP Acatlán presentaron un comportamiento intermedio. Las variables restantes no presentaron diferencias significativas entre sitios.

En el tercer muestreo se puso de manifiesto una estratificación entre sitios. Los árboles de la ENEP Acatlán mantuvieron el mayor promedio en altura con respecto a los otros sitios, el menor se registro en el CEVAMEX y el intermedio en Ciudad Universitaria. El promedio de peso seco de raíz, no presentó diferencias significativas entre los tres sitios; sin embargo sí resultó significativamente más alto en los árboles situados en la ENEP Acatlán respecto al de los árboles ubicados en el CEVAMEX.

Las variables peso seco de tallo y de hojas así como el área foliar, tuvieron un comportamiento similar, ya que no existieron diferencias en dichas variables de crecimiento entre los árboles de la ENEP Acatlán y Ciudad Universitaria, aunque estos a su vez, fueron significativamente superiores en crecimiento a los ubicados en el CEVAMEX.

En el muestreo 4, los promedios de la altura de los árboles de la ENEP Acatlán siguieron siendo significativamente superiores al resto de las localidades; el crecimiento de los árboles situados en el CEVAMEX y en Ciudad Universitaria fueron estadísticamente iguales. Respecto a las demás variables, se manifestaron con mucha frecuencia comportamientos intermedios, esto es, diferencias significativas entre dos localidades y la tercera resultó estadísticamente igual a ambas, esto fue para peso seco de raíz, tallo y hojas así como para el área foliar.

Respecto a las diferencias entre especies en el cuadro 6 se observa que en el muestreo uno, la altura, y el peso seco de raíz y tallo de Liquidambar styraciflua y de Ligustrum lucidum, no mostraron diferencias significativas y los árboles de Fraxinus udhei presentaron menores promedios en forma significativa.

Cuadro 6.- Valores promedio del crecimiento de cada especie utilizada en los tres sitios de exposición.

MUESTRO 1.	P E S O S E C O					
	ESPECIE	ALTURA	RAIZ	TALLO	HOJAS	AREA FOLIAR
<u>Liquidambar styraciflua</u>	102.860 A*	20.295 A	21.954 A	12.959 A	2164.8 A	
<u>Fraxinus udhei</u>	63.423 B	12.320 B	11.109 B	5.509 B	995.2 B	
<u>Ligustrum lucidum</u>	104.583 A	22.790 A	25.066 A	3.732 B	436.6 C	
MUESTRO 2						
ESPECIE	ALTURA	RAIZ	TALLO	HOJAS	AREA FOLIAR	
<u>Liquidambar styraciflua</u>	107.60 C	30.908 A	29.344 A	5.141 A	986.5 A	
<u>Fraxinus udhei</u>	62.096 C	13.411 B	10.064 B	1.812 D	521.8 B	
<u>Ligustrum lucidum</u>	114.237 A	35.400 A	30.428 A	4.441 A	514.9 B	
MUESTRO 3						
ESPECIE	ALTURA	RAIZ	TALLO	HOJAS	AREA FOLIAR	
<u>Liquidambar styraciflua</u>	109.983 A	28.432 A	30.754 A	13.566 A	2244.9 A	
<u>Fraxinus udhei</u>	58.162 B	18.611 B	12.312 B	5.194 C	959.5 B	
<u>Ligustrum lucidum</u>	110.759 A	32.333 A	30.680 A	8.932 B	1010.5 B	
MUESTRO 4						
ESPECIE	ALTURA	RAIZ	TALLO	HOJAS	AREA FOLIAR	
<u>Liquidambar styraciflua</u>	110.914 A	45.33 A	35.77 A	16.18 A	2628.0 A	
<u>Fraxinus udhei</u>	66.575 B	33.72 B	18.34 B	7.55 B	1223.0 B	
<u>Ligustrum lucidum</u>	114.259 A	51.54 A	40.03 A	7.49 B	851.4 B	

* Los valores con letras iguales no son significativamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$)

El promedio del peso seco de hojas en L. styraciflua fue significativamente mayor con respecto a F. udhei y L. lucidum, los cuáles no difirieron entre sí. En cuanto al área foliar, nuevamente L. styraciflua registro un promedio más alto, y diferente significativamente en comparación con las otras dos especies.

En el segundo muestreo, en la variable altura hubo diferencias significativas entre todas las especies. Los pesos secos de raíz, tallo y hojas tuvieron un comportamiento similar. L. styraciflua y L. lucidum fueron estadísticamente iguales y significativamente mayores a F. udhei. En el área foliar el promedio de L. styraciflua fue significativamente más alto que el de F. udhei y L. lucidum, los cuáles estadísticamente fueron iguales.

En el tercer muestreo, el promedio de la altura y del peso seco de raíz y tallo de los árboles de L. styraciflua y L. lucidum fueron estadísticamente iguales y significativamente más altos que los de F. udhei. El promedio del peso seco de hojas fue diferente en las tres especies y se presentó el mayor incremento en L. styraciflua. Respecto al incremento de área foliar, el mayor promedio lo presentó nuevamente L. styraciflua,

mientras que las dos especies restantes fueron estadísticamente iguales.

En el cuarto muestreo los resultados del crecimiento en altura, peso seco de raíz y tallo fue igual en L. styraciflua y L. lucidum, superando a F. udhei. El mayor promedio de peso seco de hojas y área foliar lo presentó L. styraciflua, mientras que F. udhei y L. lucidum mostraron un promedio menor y fueron iguales estadísticamente.

COMPARACION DE PENDIENTES DE CRECIMIENTO.

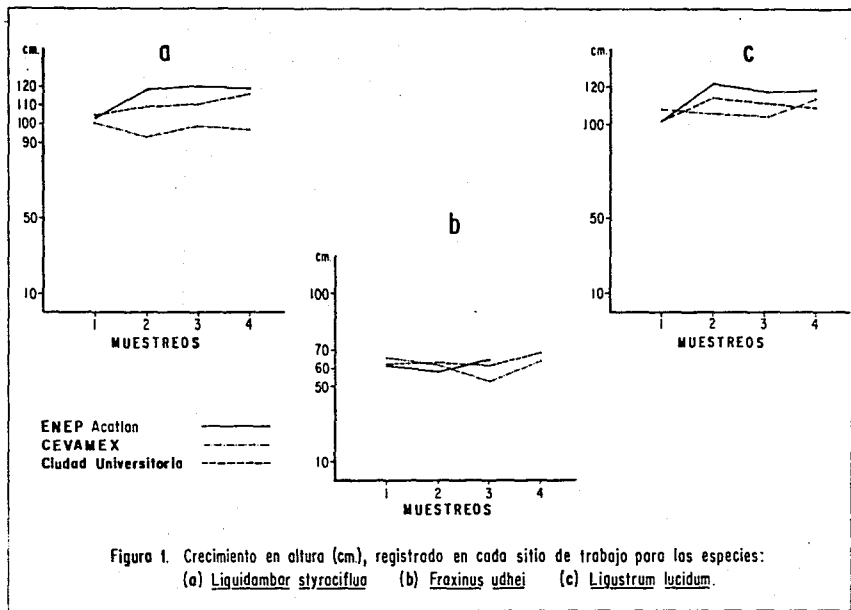
Para el segundo método de análisis de resultados, en el cual se toma en cuenta la altura y el peso inicial, se utilizaron los promedios obtenidos de las variables de crecimiento : área foliar, altura y peso seco de raíz, tallo y hojas (variables dependientes) los cuales fueron graficados contra el número de muestreo (variable independiente), para así poder observar el incremento de dichas variables entre especies y comparar el crecimiento de una especie entre sitios

ALTURA

En la Figura 1 se aprecia la altura promedio registrada en las tres especies, al estar ubicadas en los tres diferentes sitios de trabajo. En el caso de Liquidambar styraciflua (Figura 1a) se observó un menor crecimiento de los árboles ubicados en el CEVAMEX, mientras que en la ENEP Acatlán y en Ciudad Universitaria (C.U.), la altura registrada fue muy similar; en estos dos últimos lugares, al analizar los coeficientes de correlación de las rectas ajustadas, se encontró una relación significativa entre el tiempo transcurrido en cada muestreo y la altura alcanzada por los árboles (Cuadro 2).

Al comparar las pendientes de la especie en cada uno de los sitios, se encontró que no hubo diferencias significativas, es decir, los árboles de L. styraciflua crecieron con la misma velocidad en la ENEP Acatlan, CEVAMEX y C.U.

Para Fraxinus udhei (Figura 1b), el crecimiento en altura fue similar en los tres sitios, desafortunadamente, no se realizó el cuarto muestreo de los árboles ubicados en la ENEP Acatlán. Estadísticamente en ninguno de los tres sitios hubo una relación significativa entre el tiempo transcurrido y la altura ganada por F. udhei (Cuadro 2). Al comparar las pendientes de



Cuadro 2.- Coeficiente de la correlación lineal simple entre el tiempo y el crecimiento de tres especies arbóreas urbanas.

<u>Liquidambar styraciflua</u>		P E S O S E C O			
S I T I O S	A L T U R A	R A I Z	T A L L O	H O J A S	A R E A F O L I A R
E.N.E.P. ACATLAN	0.99	0.78	0.87	0.43	0.43
C.E.V.A.M.E.X	0.46	0.69	0.80	0.36	0.33
CIUDAD UNIVERSITARIA	0.85	0.75	0.93	0.22	0.22
<u>Fraxinus ucthei</u>					
S I T I O S					
E.N.E.P. ACATLAN	0.05	0.70	0.09	0.75	0.64
C.E.V.A.M.E.X	0.50	0.38	0.06	0.63	0.63
CIUDAD UNIVERSITARIA	0.44	0.67	0.65	0.50	0.51
<u>Ligustrum lucidum</u>					
S I T I O S					
E.N.E.P. ACATLAN	0.93	0.88	0.91	0.37	0.02
C.E.V.A.M.E.X	0.02	0.45	0.40	0.70	0.70
CIUDAD UNIVERSITARIA	0.81	0.76	0.79	0.70	0.70

las rectas ajustadas para cada uno de los sitios, se encontró que había diferencias significativas entre los fresnos ubicados en CEVAMEX respecto a los de C.U. Los árboles del primer sitio incrementaron con mayor velocidad su altura, ya que mostraron una pendiente con valor de 1, mientras que en los de Ciudad Universitaria, dicha pendiente fue de 0.53. Al comparar los árboles de los sitios antes mencionados con los de la ENEP Acatlán, donde la pendiente registrada fue de 0.05 (Cuadro 10), no se registraron cifras significativas (Cuadro 3).

Ligustrum lucidum (Figura 1c), mostró un incremento similar en altura en los tres sitios. Al analizar los coeficientes de correlación de las rectas ajustadas de la ENEP Acatlán y los de C.U., se encontraron relaciones significativas entre el tiempo transcurrido en cada muestreo y la altura alcanzada por los árboles de L. lucidum, relación que no mostró la recta obtenida de los árboles ubicados en el CEVAMEX (Cuadro 2). La comparación de las pendientes de las rectas ajustadas fueron estadísticamente significativas (Cuadro 3), la mayor velocidad de crecimiento la presentaron los árboles de L. lucidum de la ENEP Acatlán que registraron una pendiente de 3.03 mientras que la de los situados en C.U. y CEVAMEX fue de 1.49 y 0.03 respectivamente (Cuadro 10).

CUADRO 10.- Valor de la pendiente de las regresiones lineales entre el tiempo y el crecimiento de tres especies arbóreas urbanas.

<u>Liquidambar styraciflua</u>		PESO SECO				
S I T I O S	ALTURA	RAIZ	TALLO	HOJAS	AREA FOLIAR	
ENEP ACATLAN	2.96	2.21	1.49	0.80	119.81	
C.E.V.A.M.E.X.	0.49	2.83	1.69	0.43	59.01	
CIUDAD UNIVERSITARIA	1.43	4.24	3.06	0.64	95.70	
<u>Fraxinus uhdei</u>						
S I T I O S	ALTURA	RAIZ	TALLO	HOJAS	AREA FOLIAR	
ENEP ACATLAN	0.57	1.05	0.05	0.68	100.57	
C.E.V.A.M.E.X.	1.08	0.73	0.05	0.48	54.39	
CIUDAD UNIVERSITARIA	0.53	3.71	1.23	0.61	69.50	
<u>Ligustrum lucidum</u>						
S I T I O S	ALTURA	RAIZ	TALLO	HOJAS	AREA FOLIAR	
ENEP ACATLAN	3.03	4.11	2.46	0.45	4.39	
C.E.V.A.M.E.X.	0.38	1.52	1.33	0.86	95.81	
CIUDAD UNIVERSITARIA	1.49	3.80	1.79	0.70	78.36	

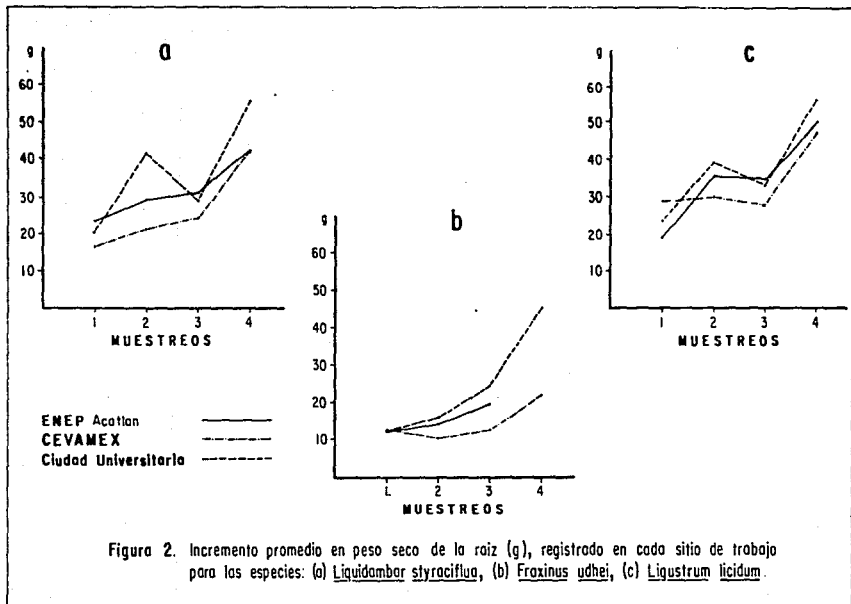
Cuadro 3.- Nivel de significancia encontrada al comparar las pendientes de crecimiento de tres especies arbóreas urbanas: Liquidambar styraciflua, Fraxinus hudel y Ligustrum lucidum, bajo diferentes condiciones de contaminación atmosférica.

<u>Liquidambar styraciflua</u>	S I T I O S	ALTURA	P E S O S E C O			AREA FOLIAR
			RAIZ	TALLO	HOJAS	
E.N.E.P. ACATLAN - CEVAMEX		0.89506	0.07615	0.75417	0.08427	0.04024
E.N.E.P. ACATLAN - CIUDAD UNIVERSITARIA		0.00909	0.86132	0.01766	0.88832	0.05822
CEVAMEX - CIUDAD UNIVERSITARIA		0.05833	0.69214	0.67796	0.70498	0.83325
<u>Fraxinus hudel</u>	S I T I O S					
E.N.E.P. ACATLAN - CEVAMEX		0.45561	0.04654	0.84555	0.67629	0.77832
E.N.E.P. ACATLAN - CIUDAD UNIVERSITARIA		0.84091	0.44326	0.51794	0.04780	0.45777
CEVAMEX - CIUDAD UNIVERSITARIA		0.00615	0.43112	0.64671	0.24801	0.58405
<u>Ligustrum lucidum</u>	S I T I O S					
E.N.E.P. ACATLAN - CEVAMEX		0.01698	0.01298	0.76812	0.89168	0.84245
E.N.E.P. ACATLAN - CIUDAD UNIVERSITARIA		0.01091	0.03410	0.03495	0.06084	0.84478
CEVAMEX - CIUDAD UNIVERSITARIA		0.00068	0.06251	0.88001	0.00253	0.00001

PESO SECO DE RAIZ

En la Figura 2 se muestran las gráficas de los promedios obtenidos del peso seco de las raíces, en las diferentes especies para cada uno de los sitios de trabajo. En la Figura 2a se observa que para L. styraciflua, el incremento en peso seco fue muy similar en la ENEP Acatlán y en el CEVAMEX, de hecho en el último muestreo convergieron casi al mismo punto; en C.U., se observó un altibajo muy marcado para finalmente lograr un incremento mayor en el último muestreo. Respecto a los coeficientes de correlación entre el tiempo y el crecimiento (Cuadro 2), se observó que fueron significativos. Finalmente, se compararon las pendientes obtenidas con los ajustes por mínimos cuadrados de las exponenciales y se encontró que no fueron significativas, por lo que se asumió que la pendiente era similar, es decir, que la velocidad de incremento de peso seco de raíz fue igual en los tres sitios (Cuadro 3).

Para Fraxinus udhei (Figura 2b), las gráficas de los promedios de los muestreos con respecto al incremento en peso, dieron como resultado curvas exponenciales muy similares, las cuáles estadísticamente, una vez que habían sido ajustadas, no mostraban una buena asociación significativa entre el tiempo y el



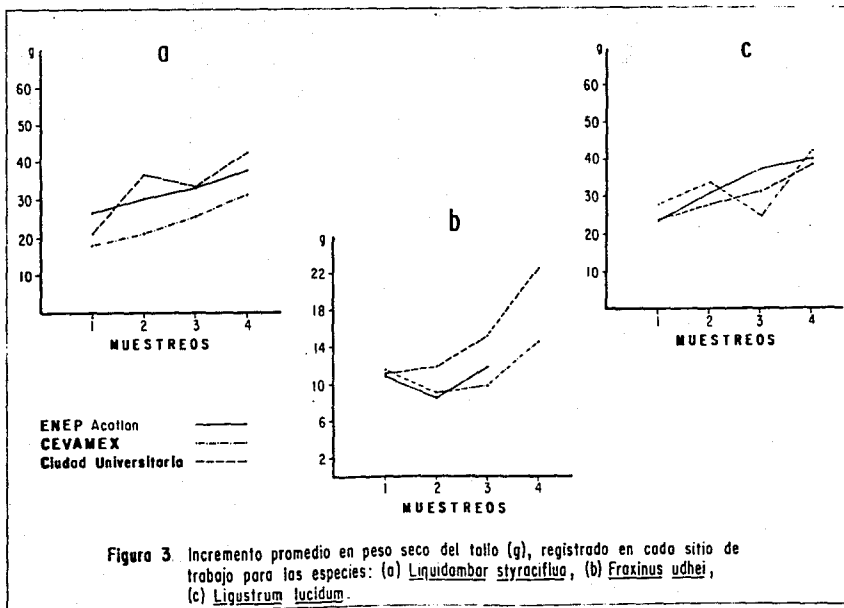
incremento en peso, excepto la obtenida para los árboles ubicados en el CEVAMEX (Cuadro 2). Las pendientes de las exponenciales ajustadas fueron comparadas entre sitios, encontrándose que la comparación de los árboles situados en la ENEP Acatlán con los del CEVAMEX fue significativa. El mayor incremento fue en el primer sitio, ya que el valor de la pendiente fue de 1.05, mientras que la del CEVAMEX fue de 0.73 (Cuadro 10), las dos comparaciones restantes no fueron significativas, es decir, que no hubo diferencia en la velocidad de incremento entre los árboles de la ENEP Acatlán y los del CEVAMEX, con respecto a los ubicados en C.U. (Cuadro 3).

En Ligustrum lucidum (Figura 2c), se observó una gran similitud en el incremento de peso seco de raíz en los tres sitios de trabajo. Estadísticamente al analizar los coeficientes de correlación de las exponenciales ajustadas, se encontraron relaciones significativas entre el tiempo transcurrido y el incremento en peso de la raíz de los árboles situados en la ENEP Acatlán y C.U., con la excepción de los situados en CEVAMEX (Cuadro 2). Al comparar las pendientes de las exponenciales ajustadas, se encontró que no fue significativa la comparación entre los árboles situados en el CEVAMEX con los de C.U., aunque los árboles de ambos sitios al ser comparados con los de la ENEP

Acatlán, mostraron cifras significativas (Cuadro 3) siendo este último lugar donde se incremento con mayor velocidad el peso seco de raíz, ya que, mostró una pendiente de 4.11 mientras que en el CEVAMEX y C.U. fue de 1.52 y 3.8 respectivamente (Cuadro 10).

PESO SECO DE TALLO

En la Figura 3 se aprecian las gráficas obtenidas de los promedios de los incrementos en peso seco de tallo, para cada una de las especies en los tres sitios de trabajo. En el caso de Liquidambar styraciflua (Figura 3a), se observó un incremento en peso muy similar en los tres sitios. Al ajustar las curvas de crecimiento, estadísticamente hubo asociaciones significativas entre el logaritmo de crecimiento y el tiempo (Cuadro 2). Las pendientes fueron comparadas y el resultado fue que no fueron significativas, excepto en la de los árboles ubicados en la ENEP Acatlán y los situados en C.U. Estos últimos tuvieron una mayor velocidad de incremento, ya que mostraron una pendiente de 3.06 respecto a los árboles de la ENEP Acatlán 1.49 (Cuadro 10); en la comparación de los sitios restantes se asumió que la pendiente era la misma, ya que no había diferencias significativas (Cuadro 3).



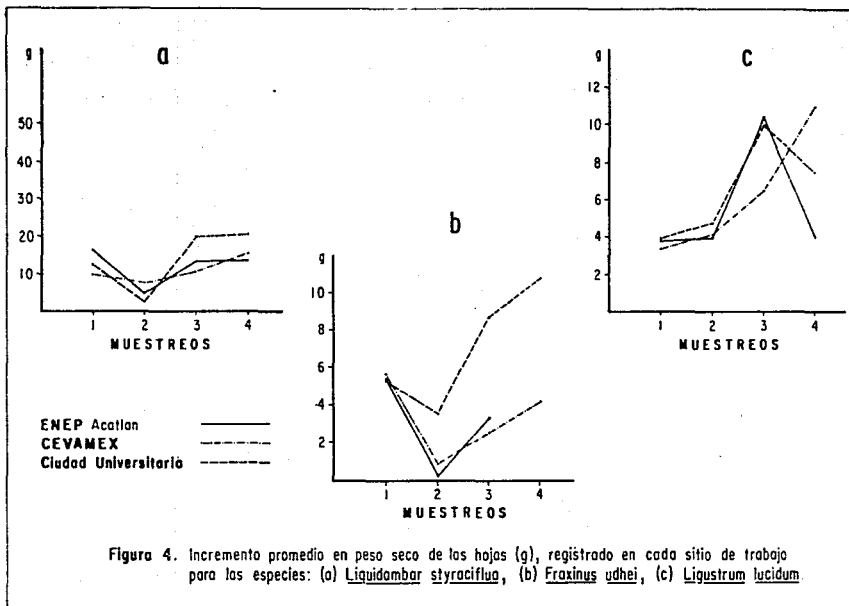
En Fraxinus udhei (Figura 3b), el incremento en peso seco de tallo fue muy similar en los tres sitios de trabajo. Desafortunadamente el cuarto muestreo en el sitio de trabajo ubicado en la ENEP Acatlán no se pudo llevar a cabo. Estadísticamente no se encontró una asociación significativa entre el logaritmo de crecimiento y el tiempo, excepto en los árboles de C.U. (Cuadro 2). Al comparar las pendientes de las curvas ajustadas se encontró que no eran significativas, lo que indica que la velocidad de incremento de peso seco de tallo fue similar en los tres sitios (Cuadro 3).

En Ligustrum lucidum (Figura 3c), se observó un altibajo muy marcado en el incremento de peso seco de tallo en los árboles ubicados en el CEVAMEX, finalmente, el incremento fue muy similar en el último muestreo en los tres sitios. Al analizar los coeficientes de correlación de las curvas ajustadas, se encontraron dos relaciones significativas entre el tiempo transcurrido en cada muestreo y el incremento en peso seco de tallo alcanzado por los árboles, las cuales correspondieron a la ENEP Acatlán y C.U., pues dicha relación no se presentó en el CEVAMEX (Cuadro 2). Al comparar las pendientes de cada sitio, resultó que la comparación de los árboles ubicados en la ENEP

Acatlán con los situados en C.U. fue significativa, es decir, que el incremento se dió a diferente velocidad. El mayor correspondió al primer sitio que mostró una pendiente de 2.46, mientras que la de C.U. fue de 1.79 (Cuadro 10). Las comparaciones de los árboles ubicados en la ENEP Acatlán y en C.U., no mostraron diferencias estadísticamente significativas con los de CEVAMEX (Cuadro 3).

PESO SECO DE HOJAS

La Figura 4 muestra el promedio del incremento de peso seco de hojas, en cada uno de los muestreos en los tres sitios de trabajo para cada especie. En la Figura 4a se observa, para Liquidambar styraciflua, que en el segundo muestreo se registró un decremento muy notable del peso seco de hojas, para después en el tercer y cuarto muestreo incrementarlo de manera similar a los otros dos sitios de trabajo. A pesar de tender hacia un incremento exponencial en los tres sitios, no hubo una asociación significativa entre el logaritmo de crecimiento y el tiempo (Cuadro 2). Al comparar las pendientes de las curvas ajustadas no se encontraron cifras significativas, por lo que se asumió que la pendiente era la misma y que no hubo diferencia en la velocidad de incremento en ninguno de los tres sitios (Cuadro 3).



En Fraxinus udhei (Figura 4b), al analizar gráficamente los resultados se registró un mayor incremento en peso seco de tallo en los árboles ubicados en C.U., mientras que en los dos sitios restantes el incremento fue muy similar. A pesar de la observación anterior, estadísticamente la asociación entre el tiempo y el incremento en peso fue medianamente significativo (Cuadro 2). La comparación de las pendientes mostró una relación significativa al comparar los árboles de la ENEP Acatlán con los de C.U., la pendiente de la primera fue mayor 0.68 con respecto a la segunda 0.61 (Cuadro 10), lo que indica una mayor velocidad de incremento en los árboles ubicados en la ENEP Acatlán. Las dos comparaciones restantes (ENEP Acatlan, CEVAMEX y C.U., CEVAMEX) no fueron significativas (Cuadro 3).

Se registró en Ligustrum lucidum (Figura 4c) un decremento del peso seco de hojas para en el cuarto muestreo en Ciudad Universitaria y ENEP Acatlán. Lo cual difiere de los muestreos anteriores, ya que en los tres sitios de trabajo hay una gran similitud en el comportamiento del incremento. Estadísticamente hubo dos asociaciones regularmente significativas entre el tiempo y el incremento, las que correspondieron a CEVAMEX y C.U. (Cuadro 2). Al comparar las pendientes se encontró significancia en una

de las comparaciones, la cual fue entre el CEVAMEX y C.U., correspondiendo al primer sitio el registro de la mayor pendiente (0.86), mientras que en C.U. fue de 0.70 (Cuadro 10); las otras dos comparaciones no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 3).

AREA FOLIAR

Para conocer el área foliar se utilizó un método indirecto, ya descrito en la metodología (Cuadro 1).

Las gráficas que muestran los promedios del área foliar para cada una de las especies en los 3 sitios de trabajo, se observan en la (Figura 5), y se encontró una gran similitud con las del peso seco de hojas. En Liquidambar styraciflua (Figura 5a), el decremento que mostró en el segundo muestreo en peso seco de hojas, se mantiene en el área foliar en los tres sitios y nuevamente a pesar de la tendencia hacia un crecimiento exponencial, no hubo una asociación significativa entre el logaritmo del aumento en área foliar y el tiempo transcurrido (Cuadro 2). Al comparar las pendientes no se encontraron cifras significativas, lo que indicó que el aumento en área foliar fue similar en los tres sitios (Cuadro 3).

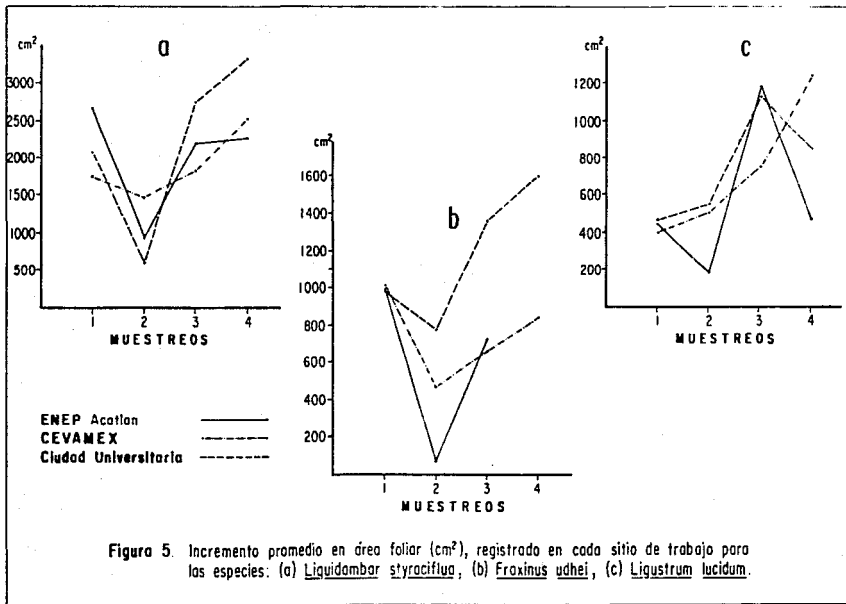


Figura 5. Incremento promedio en área foliar (cm²), registrada en cada sitio de trabajo para las especies: (a) *Liquidambar styraciflua*, (b) *Fraxinus udhei*, (c) *Ligustrum lucidum*.

En el caso de Fraxinus udhei (Figura 5b) la gráfica muestra un mayor incremento en C. U., pues hubo asociaciones medianamente significativas entre el logaritmo del aumento de área foliar y el tiempo (Cuadro 2). Al ser comparadas las pendientes, no se observaron cifras significativas, lo que indica que no hubo diferencia en el aumento de área foliar entre los sitios (Cuadro 3).

En el caso de Ligustrum lucidum (Figura 5c), se observó un notable decremento en el cuarto muestreo en la ENEP Acatlán y en C. U. A pesar de esto, hubo dos relaciones significativas entre el tiempo transcurrido y el aumento de área foliar (CEVAMEX y C.U.) (Cuadro 2). Al comparar las pendientes de las exponenciales ajustadas, se encontró que dos de ellas no fueron significativas, pero la que resulto de la comparación de los sitios CEVAMEX y C.U. si lo fue, lo que indico que el aumento de área foliar fue diferente en ambos sitios (Cuadro 3). El mayor se registro en el CEVAMEX con una pendiente de 95.81 mientras que en C.U. fue de 78.38 (Cuadro 10)

IX. DISCUSION

La homogeneidad de los lotes experimentales al inicio del experimento en los diferentes sitios de exposición, se confirmó al comparar los parámetros de crecimiento de los árboles entre sitios, ya que no se registraron valores significativamente diferentes (Cuadro 5). Al analizar los muestreos subsiguientes, era de esperarse que el sitio de exposición donde se encontraban los árboles empezara a influir en su crecimiento; lo anterior se empezó a observar, ya que en el componente de variación dado por los sitios, se registraron cifras significativas a partir del segundo muestreo (Cuadro 4). Generalmente fueron los árboles ubicados en la ENEP Acatlán los que presentaron un mayor crecimiento en cada parámetro, el cual a su vez fue significativo, (Cuadro 5). Asimismo, la especie que más contribuyó a esta variación fue Ligustrum lucidum (Cuadro 3), ya que a excepción de los parámetros de crecimiento que se relacionaba con las hojas, fue el lugar en donde creció a mayor velocidad.

La ENEP Acatlán fue el sitio elegido para exponer a los arbolitos a altas concentraciones ambientales de SO_2 , debido a que en los dos años anteriores en ese lugar se registraron 0.076

ppm de SO_2 en 1987 y 0.087 ppm en 1988 (SEDUE, 1987); concentraciones sumamente altas en comparación a las de las demás estaciones de monitoreo. Sin embargo, en el período del experimento (octubre 1989-octubre 1990) el promedio de la concentración fue de 0.05 ppm (SEDUE, 1990), ligeramente menor a los de los dos años anteriores; debido a lo anterior, existe la posibilidad de que la concentración ambiental de SO_2 en ese lapso, fuera insuficiente para causar reducciones en el crecimiento de las tres especies de árboles utilizadas. Además, también puede influir el hecho de que al entrar el contaminante en la planta se producen varios procesos, entre ellos translocaciones, diluciones en el nuevo crecimiento, pérdidas a través de goteos; emisiones gaseosas, o exudaciones a través de las raíces (Mudd, 1984).

Respecto a la mayor velocidad de crecimiento que L. lucidum presentó en este lugar (Cuadro 3), varios autores comentan que bajas dosis de SO_2 pueden tener efectos nutritivos sobre los árboles (Ziegler, 1975 y Maugh, 1979 citados por Patton, 1981), aunque dicha afirmación se debe tomar con cautela, pues es probable que las concentraciones ambientales de contaminantes (en especial SO_2), que se registraron en ese lapso, no formaran parte de los factores de estrés que afectaron durante ese período a los

árboles. Aunado a lo anterior, en este lugar se presenta un mayor promedio anual de precipitación, en comparación a los otros sitios de exposición, pues en la ENEP Acatlán se registran 717.9 mm. mientras que en Chapingo 636.5 mm. y en C.U. 691 mm. (García, 1988), dicha precipitación probablemente influyó en la mayor velocidad de crecimiento que registro L. lucidum, ya que debido a la humedad los estomas permanecen abiertos por más tiempo aumentando la entrada de bióxido de carbono (CO₂) y con esto la fotosíntesis, lo que conlleva a un mayor crecimiento.

Es importante hacer notar que la Agencia de Protección Ambiental de E.U. ha reportado la tolerancia de algunas especies del género Ligustrum al SO₂ (Bialobok, 1984).

Respecto a los parámetros que se relacionaron con las hojas, la mayor velocidad de crecimiento se registró en el CEVAMEX, pues en los árboles situados en la ENEP Acatlán se presentó un ataque por el defoliador conocido como "frailecillo" (Macrodactylus sp.) lo que influyó en la velocidad de incremento de estos parámetros y decrecieran en dicho sitio. De no haber ocurrido lo anterior, probablemente L. lucidum hubiera mostrado las mayores velocidades de crecimiento en todos los parámetros analizados. La significancia que muestra L. lucidum en todos los parámetros de crecimiento

entre sitios indica de alguna manera que se puede proponer como una especie útil para posteriores pruebas de efectos entre sitios.

Los resultados sugieren que los tratamientos utilizados: (altas concentraciones de SO₂ (ENEP Acatlán) y O₃ (C.U.), no causaron reducciones en los diferentes parámetros de crecimiento registrados, a pesar de que la concentración de O₃ ha ido en aumento (Bravo, et.al., 1991a,b). Existen trabajos donde se reportan algunas especies de Fraxinus como tolerantes a SO₂, específicamente el Departamento de Agricultura de E.U. señala a F. pennsilvanica y a F. excelsior, como tolerantes (Bialobok, 1984); mientras que la Agencia de Protección Ambiental de E.U. reporta una resistencia intermedia de L. styraciflua al O₃ (Smith, 1981)

Dichos reportes sustentan de alguna manera los resultados obtenidos en la presente investigación, en cuanto a la posible tolerancia a los contaminantes atmosféricos fitotóxicos de la Ciudad de México por las tres especies utilizadas.

El intentar evaluar el efecto de los contaminantes atmosféricos en condiciones naturales, en vez de hacer

simulaciones en cámaras de fumigación, permite considerar la influencia de diversos factores, por ejemplo la variabilidad constante de la concentración del contaminante, la permanencia de éste en el ambiente, la cercanía de la fuente de contaminación, la actividad sinérgica entre los diferentes elementos y contaminantes del aire, la acción antagonista que puede darse entre dos o más contaminantes debido a las constantes combinaciones, la concentración de contaminación atmosférica que fluctúa a lo largo del año debido a las precipitaciones pluviales, las inversiones térmicas, los vientos, etc.

Las atmósferas contaminadas son mezclas complejas de muchos materiales tóxicos e inertes, los cuales pueden interactuar para incrementar o disminuir el daño a las plantas, pero los intentos para identificar respuestas sinérgicas o antagonistas no han sido exitosas (Taylor, 1970).

Los fenómenos antes mencionados difícilmente pueden ser aplicados en cámaras de fumigación, es por eso que una extrapolación de los resultados de este tipo de experimentos debe ser muy cautelosa. Debido a lo anterior, el experimento fue planeado en condiciones naturales, ya que una gran variedad de factores influyen para que un árbol sea sensible a la

contaminación atmosférica, Así, si un árbol reduce o no su crecimiento como resultado de la contaminación atmosférica, dependerá de la combinación que resulta de la especie y las condiciones ambientales.

Debido a que las concentraciones ambientales de SO_2 y O_3 no redujeron el crecimiento de las tres especies arbóreas utilizadas, se presenta la posibilidad de sugerir la tolerancia de las especies estudiadas a las concentraciones ambientales de dichos contaminantes en el AMCM, pues las correlaciones fueron estadísticamente buenas, (Cuadro 2); aunque fueron basadas en pocos muestreos y repeticiones, por lo que conclusiones definitivas no pueden ser alcanzadas en este trabajo.

De todos modos es aconsejable tomar en cuenta este tipo de estudios, para planear adecuadamente las forestaciones de la ciudad, plantando solamente aquellos árboles que muestren gran tolerancia a los contaminantes atmosféricos de la localidad. Es necesario efectuar más estudios locales para elaborar listas propias de susceptibilidad y tolerancia de los árboles usualmente plantados en el AMCM, además es recomendable que dichas listas no se basen solamente en el daño foliar como ocurre usualmente, sino que tomen en cuenta otros parámetros, como el incremento en peso

seco de las diferentes partes de la planta, el crecimiento en madera, etc.. por mencionar algunos.

El empleo de listas provenientes de otras regiones del mundo presentan varias limitantes, y para usarlas se deben tomar en cuenta: los regimenes diarios y estacionales de contaminación, las características genotípicas y fenotípicas de las especies, las fuentes de semilla, el clima, la altitud, el tipo de industria, etc.; dichos factores difieren de país a país. De ahí la necesidad de identificar las condiciones propias y los contaminantes fitotóxicos atmosféricos más comunes, así como las fuentes de origen y de hacer estudios con especies utilizadas localmente, ya que una vez reconociendo las especies tolerantes se pueden reproducir para seguir obteniendo a partir de dichas plantas, genotipos resistentes y en las especies que muestren susceptibilidad, se pueden iniciar experimentos genéticos encaminados a lograr árboles resistentes a la contaminación.

X. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda forestar el Area Metropolitana de la Ciudad de México, con las tres especies arbóreas utilizadas en este trabajo, y en especial el sector norte con Ligustrum lucidum (trueno), ya que en la ENEP Acatlan mostró una mayor velocidad de crecimiento en la mayoría de los parámetros estudiados además dicha especie no contribuye en el levantamiento de banquetas (Benavides, 1989b), y debido a su altura promedio en la madurez, no interfiere con el cableado eléctrico, aunado a que soporta podas, pues después de estas continua vigoroso.

Es deseable continuar investigaciones similares para empezar a elaborar listas locales de árboles susceptibles ó tolerantes a las condiciones ambientales de contaminantes atmosféricos fitotóxicos de la Ciudad de México, pero es recomendable, contar con un mayor número de árboles para efectuar más repeticiones, y que el período de exposición sea mayor.

Es recomendable complementar este tipo de trabajos con las investigaciones que se han hecho respecto a árboles tolerantes a otros estreses urbanos, y así plantar los árboles idóneos para la reforestación en la ciudad.

Es importante la realización de listas de tolerancia, y el seguimiento de éstas por parte de las entidades federativas, ya sean delegacionales o municipales, ya que al plantar los árboles indicados, estos luciran más bellos y serán más sanos, evitando así costos innecesarios en el cuidado de árboles susceptibles y su necesaria remoción al verse minimizada su capacidad depuradora y morir anticipadamente.

El conocer la tolerancia de ciertas especies arbóreas a los contaminantes atmosféricos, no significa que debamos insistir en encontrar árboles cada vez más resistentes, ya que la resistencia a los contaminantes atmosféricos se altera cuando la concentración y duración de la exposición, exceden la capacidad genética de la planta para resistir el efecto del contaminante, en realidad lo que hay que hacer es reducir las emisiones de contaminantes a niveles que no sean dañinos para las plantas, animales y humanos, es decir, controlar las fuentes de emisión.

XI. CONCLUSIONES

Las concentraciones ambientales de ozono (O_3) y bióxido de azufre (SO_2), no influyeron en la velocidad de crecimiento de Liquidambar styraciflua, Fraxinus udhei y Ligustrum lucidum.

Las especies antes citadas mostraron ser tolerantes a los principales contaminantes atmosféricos fitotóxicos (O_3 y SO_2) del AMCM, durante el tiempo de investigación.

La especie Ligustrum lucidum puede ser utilizada en los programas de Dasonomía Urbana, especialmente en los de forestación del arbolado de alineación del sector norte del AMCM, debido a que en esa zona se observó una mayor velocidad de crecimiento de dicha especie.

XII. BIBLIOGRAFIA

Bassuk, N. y T. Whitlow. 1987. Environmental stress in street trees. *Acta Horticulturae* 195. Urban vegetation. 113-117 pp.

Benavides, M.H.M. 1989a. Bosque urbano: La importancia de su investigación y correcto manejo. En: *Memorias del II Congreso Forestal Mexicano*. Tomo II. SARH, INIFAP y ANCF. 966-992. pp.

Benavides, M.H.M. 1989b. Los árboles urbanos y daños producidos a banquetas y guarniciones. En: *Memorias de la IV semana de Botánica*, ENEP Iztacala. 56 p.

Bialobok, S. 1984. Controlling atmospheric pollution. En: *Air pollution and plant life*. Ed. M. Treshow. John Wiley and Sons Ltd. 451-478 pp.

Bravo, H. A.; R. Torres J. y R. Sosa E. 1988a. Ozone and its nighttime concentration in the southern Mexico City Metropolitan Area. *Geof. Int.* 27 (1): 83-98.

Bravo, H.A.; F. Perrin.; R. Sosa E. y R. Torres J. 1988b.
Importancia de la contaminación atmosférica por ozono en la
zona metropolitana de la Ciudad de México. Ciencias. 12: 36-39

Bravo, H.A.; F. Perrin.; R. Sosa E. y R. Torres J. 1988c.
Efecto del cambio en la formulación de la gasolina sobre los
niveles de la atmósfera de plomo y ozono en la Ciudad de
México. En: Memorias del VI Congreso Nacional de la Sociedad
Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Querétaro, QRO.
tema IV subtema C.

Bravo, H.A.; F. Perrin.; R. Sosa E. y R. Torres J. 1989. Lead
reduction in gasoline policy and it's effects on ozone
concentrations in Mexico city. En: Proceedings of the 8th Clean
Air Congress 1989, "Man and his ecosystem" . Vol. 4. Eds.
L.J.Brasser and W.C. Malder. Elsevier Science Publishers B.V.
Amsterdam, The Netherlands, 31-37 pp.

Bravo, H.A.; R. Sosa E. y R. Torres J. 1990c. Variación
espacial, temporal y tendencia del SO₂ en la ZMCM. En:
Memorias del VII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana
de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. A.C. Oaxaca, Oax. D.14-D.20.

Bravo, H.A.; R. Camacho C.; R. Sosa E. y R. Torres J. 1990a. Efectos en la calidad del aire en C.U. por el uso del aditivo MTBE en las gasolinas del Valle de México. En: Memorias VII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. A.C. Oaxaca, Oax. D.8-D.13.

Bravo, H.A.; G. Roy-Ocotla R.; R. Sosa E. y R. Torres J. 1990b. Tendencia del problema de la contaminación atmosférica por O₃ en la zona suroeste de la Ciudad de México. En: Memorias del VII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. A.C. Oaxaca, Oax. D.58- D.63.

Bravo, H.A.; G. Roy-Ocotla R.; R. Sosa E. y R. Torres J. 1991a. Report of the historical trends (1986-1990); in the levels of ozone monitored at the suburban monitoring station of the University of Mexico at Mexico city. En: Memorias del 84th Annual meeting and exhibition Vancouver, British Columbia. 37-39 pp.

Bravo, H.A.; R. Sosa E.; y R. Torres J. 1991b. Ozono y lluvia ácida en la Ciudad de México. Ciencias. 22: 33-40 .

Davis, D. y H.D. Gerhold. 1976. Selection of trees for tolerance of air pollutants. En: proceedings of the symposium Better trees for metropolitan landscapes U. S. D. A., Forest service, Gen. Tech. Rep. NE.-22. 61-66 pp.

Dochinger, L. S. y K.F. Jensen. 1985. Effect of acid mist and air pollutants on yellow-poplar seedling height and leaf growth. U. S. D. A., Forest Service, Northeastern. For. Exp. Sta. Res. Pap. NE.- 572. 4p.

Elias, T. y H.S. Irwin. 1984. Urban Trees. Scientific American 235 (5): 1110-1118.

Elliot, C.L.; J.C. Eberhardt, y E.G. Brennan, 1987. The effect of ambient ozone pollution and acidic rain on the growth and chlorophyll content of green and white ash. Environ. Pollut. 44: 61-70.

Friedrich, O. 1984. " A proud capital's distress ". Time magazine. Time life internacional de Mexico. S. A. de C. V. 32: 14-21.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. 246 p.

Garsed, S.G. 1984. Uptake and distribution of pollutants in the plant and residence time of active species. En: Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism. Ed. M.J. Kozioland y F.R. Whatley. Great Britain. 83-103pp.

Garza, G. 1987. Introducción. En: Atlas de la ciudad de México. D. D. F. y El Colegio de México. 12-13 pp.

Gutierrez, M. D. 1986. La contaminación atmosférica en el valle de México. En: Mesas redondas sobre: La contaminación atmosférica en la cuenca del valle de México. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A. C.

Hallgren, J.E. 1984. Photosynthetic gas exchange in leaves affected by air pollutants. En: Gaseous Air Pollutants and plant metabolism. Ed. M.J. Kozioland y F.R. Whatley. Great Britain. 147-159 pp.

Huttunen, S. y S. Koikkeli. 1984. Effects of various gaseous pollutants on plant cell structure. En: Gaseous Air pollutants and Plant Metabolism. Ed. M.J. Kozioland y F.R. Whatley. Great Britain. 117-127 pp.

Jensen, K. F. 1981. Air pollutants affect the relative growth rate of hardwood seedlings. U. S. D. A., Forest Service, Northeast For. Exp. Sta. Res. Pap. NE- 470. 5p.

Kozlowsky, T. T. 1985. Tree growth in response to environmental stresses. Journal of Arboriculture. 11 (4): 97-111.

Kozlowsky, T. T. 1986. The impact of environmental pollution on shade trees. Journal of Arboriculture 12 (2):29-37.

Kunkel, G. 1978. Flowering trees in subtropical garden. 286-287 pp.

Lendzian, K.J. 1984. Permeability of plant cuticles to gaseous air pollutants. En: Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism. Ed. M.J. Kozioland y F.R. Whatley. Great Britain. 77-81 pp.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Mansfield, T.H. y P.H. Freer Smith. 1984. The role of stomata in resistance mechanisms. En Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism. Ed. M.J. Kozioland & F. R. Whatley. Great Britain. 131-145 pp.

Mudd, J.B.; S.K. Banerjee.; M.M. Dooley y K.L.Knight. 1984. Pollutants and plant cells: effects on membranes. En Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism. Ed. M.J. Kozioland y F. R. Whatley. Great Britain. 105-115 pp.

Patton, R.L. 1981. Effects of ozone and sulfur dioxide on height and stem specific gravity of Populus hybrids. U.S.D.A. Forest Service, Northeast. For. Exp. Sta. Res. Pap NE- 471. 4p.

Pennington, T.D. y J. Sarukhan K. 1968. Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México. INIF, FAO, SAG. México. 156 pp.

Reich, P. B. 1987. Quantifying plant response to ozone: a unifying theory. Tree physiology 3: 63-91.

Reyes, L. 1986. Contaminación atmosférica. En: mesas redondas sobre : La contaminación atmosférica en la cuenca del Valle de México. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D. F. 59-61 pp.

Rzedowski, J. y G. Calderón de R. 1985. Flora fanerogámica del Valle de México. Vol 2. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas e Instituto de Ecología. México, D.F. 208-210 pp.

SAS User's guide. 1982. Statistics. SAS Institute Inc. Box 8000. Cay North Carolina. U.S.A. 584 p.

S. E. D. U. E. 1986. Informe sobre el estado del medio ambiente en México. México, D.F. 83 p.

S.E.D.U.E. 1987. Concentraciones promedio diario en ppm de ozono y dióxido de azufre registradas en la Red Automática de Monitoreo para los años 1986-87-88, en la Ciudad de México.

S.E.D.U.E. 1990. Concentraciones promedio diario en ppm de ozono y bióxido de azufre registradas en la Red Automática de Monitoreo para los años 1989-1990, en la Ciudad de México.

Smith, W.H. 1981. Interactions between air contaminants and forest ecosystems. En: Air pollution and forests. Springer Verlag, New York. 268-298 pp.

Smith, W.H. 1985. Forest and Air Quality. Journal of Forestry 83(2):84-92.

Snedecor, G.W. y W.G. Cochran. 1967. Statistical Methods. sixth edition, Ames, Iowa: The Iowa state University Press. 593 p.

Taylor, O.C. 1970. Air pollutants effects influenced by plant- environmental interaction. En: Air pollutions effects on plant growth. Ed. Mack Dugger. 1-7 pp.

Umbach, D.M. y D.D. Davis. 1984. Severity and frequency of SO_2 - Induced leaf necrosis on seedlings of 57 tree species. Forest Science. 30 (3): 587-596.

U. S. D. A. 1971. Air Pollution and trees. Southeastern area. State and Private Forestry, Atlanta. G. A. 5p.

U. S. D. A. 1973. Trees for polluted air. Miscellaneous publication No. 1230. Northeastern. Forest. Experiment. Station. 12p.

Villegas, A. 1986. El aire nuestro de cada día. Información Científica y tecnológica. 8(115):17-18.

Wagar, J.A. 1982. Side walk and soil amendment. Arboriculture 8(10):267-270.

Willix, R. 1972. An introduction to the chemistry of atmospheric pollutants. En: Effects of air pollutants on plants. Cambridge University Press. Ed. T.A Mansfield. 161-184 p.

APENDICE

APENDICE 1.- Valores promedio y desviaciones estándar de los parámetros de crecimiento utilizados en cada muestreo para liquidambar styraciflua en los tres sitios de exposición.

S I T I O S	MUESTRO	P E S O S E C O					A R L A F O L I A R
		A L T U R A	R A I Z	T A L L O	H O J A S		
ENEP ACATLAN	1	103.38 (21.46)	23.73 (8.41)	26.53 (10.39)	16.38 (5.64)	2665.47 (877.36)	
	2	118.55 (6.62)	29.36 (10.09)	30.60 (4.96)	4.87 (3.36)	947.17 (502.98)	
	3	120.45 (9.18)	31.25 (9.53)	33.23 (8.78)	13.45 (4.70)	2278.12 (702.35)	
	4	119.60 (9.76)	42.08 (14.60)	37.56 (5.93)	13.68 (4.80)	2262.04 (674.61)	
C.E.V.A.M.E.X.	1	100.15 (20.57)	16.72 (12.40)	18.06 (11.99)	10.0 (6.22)	1745.12 (922.47)	
	2	93.50 (5.52)	21.96 (7.20)	21.02 (3.71)	7.91 (8.18)	1400.61 (1222.02)	
	3	98.85 (11.64)	24.67 (11.70)	25.78 (9.88)	10.66 (3.41)	1810.78 (510.67)	
	4	97.90 (5.66)	42.40 (11.07)	31.19 (9.09)	15.52 (4.66)	2537.91 (696.37)	
CIUDAD UNIVERSITARIA	1	105.05 (16.49)	20.42 (9.03)	21.26 (11.45)	12.48 (5.87)	2083.83 (877.42)	
	2	109.43 (12.10)	46.37 (15.11)	36.55 (6.48)	2.63 (2.33)	611.64 (348.36)	
	3	110.72 (9.42)	29.47 (10.37)	33.52 (6.05)	16.92 (4.96)	2745.83 (741.06)	
	4	116.40 (14.44)	55.72 (12.32)	42.31 (12.71)	20.70 (5.33)	3310.45 (797.44)	

(1) Desviación estándar.

APENDICE 2.- Valores promedio y desviaciones estándar de los parámetros de crecimiento utilizados en cada muestreo para Fraxinus uhrei en los tres sitios de exposición.

S I T I O	MUESTRO	P E S O S E C O				
		A L T U R A	R A I Z	T A L L O	H O J A S	A R E A F O L I A R
ENEP ACATLAN						
	1	61.95 (9.72)	12.18 (5.14)	10.73 (3.57)	5.46 (2.21)	989.92 (250.71)
	2	58.38 (6.52)	14.36 (8.27)	8.45 (2.76)	0.126 (0.28)	88.54 (198.10)
	3	64.83 (11.06)	19.81 (3.67)	11.78 (1.03)	3.14 (0.65)	727.03 (71.59)
C.E.V.A.H.E.X.						
	1	66.01 (10.21)	12.56 (5.57)	11.53 (5.98)	5.66 (0.65)	1012.84 (187.37)
	2	62.50 (5.46)	10.19 (4.21)	9.08 (3.55)	0.92 (0.33)	476.13 (37.46)
	3	53.10 (9.06)	12.93 (4.25)	9.81 (3.56)	2.58 (0.63)	664.22 (71.03)
	4	64.40 (12.19)	12.06 (9.31)	14.49 (7.59)	4.20 (40)	846.99 (258.67)
CIUDAD UNIVERSITARIA						
	1	62.31 (8.24)	12.20 (5.66)	11.05 (2.93)	5.39 (1.82)	982.74 (206.98)
	2	63.55 (8.72)	16.15 (7.05)	11.84 (5.60)	3.54 (1.91)	783.95 (199.93)
	3	61.57 (5.10)	24.51 (10.23)	15.26 (3.41)	8.77 (2.82)	1365.06 (319.46)
	4	68.75 (7.45)	45.51 (10.44)	22.19 (6.41)	10.84 (4.24)	1599.00 (479.91)

() Desviación estándar.

APENDICE 3.- Valores promedio y desviaciones estándar de los parámetros de crecimiento utilizados en cada muestreo para Ligustrum lucidum en los tres sitios de exposición.

S I T I O	MUESTRO	P E S O S E C O				
		A L T U R A	R A I Z	T A L L O	H O J A S	A R E A F O L I A R
ENEP ACATLAN						
	1	102.25 (10.88)	19.63 (10.29)	23.63 (10.22)	3.82 (1.29)	446.87 (143.11)
	2	122.15 (12.50)	35.90 (13.51)	30.55 (14.56)	4.14 (1.49)	182.19 (165.03)
	3	117.55 (14.02)	35.04 (16.18)	37.02 (15.65)	10.42 (1.87)	1175.66 (206.45)
	4	118.07 (11.71)	50.35 (12.29)	39.97 (60.85)	4.00 (1.12)	467.07 (123.64)
C.E.V.A.H.E.X.						
	1	108.70 (8.94)	29.37 (12.38)	27.78 (10.05)	3.42 (1.17)	402.17 (129.38)
	2	105.86 (7.76)	30.43 (13.78)	33.24 (10.49)	4.40 (2.23)	511.32 (247.10)
	3	104.04 (8.81)	28.67 (13.62)	24.59 (11.38)	6.56 (2.12)	749.59 (234.04)
	4	113.60 (8.07)	47.74 (15.97)	42.06 (20.87)	10.97 (6.07)	1235.51 (670.10)
CIUDAD UNIVERSITARIA						
	1	102.80 (14.28)	24.36 (60.67)	23.77 (70.12)	3.95 (2.34)	460.67 (258.88)
	2	114.70 (12.98)	39.85 (21.41)	27.48 (12.11)	4.77 (4.23)	551.16 (467.24)
	3	111.00 (90.41)	33.55 (90.60)	31.05 (90.00)	9.94 (2.82)	1122.72 (311.73)
	4	109.55 (11.92)	56.63 (20.49)	38.06 (17.38)	7.49 (3.08)	851.67 (310.04)

() = Desviación estándar.