

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Exposición a ozono en relación a vitalidad en un bosque de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltl. & Cham)

Ozone exposition in relation to vitality in a fir (*Abies religiosa* (Kunth) Schltl. & Cham) forest

Rebeca Eugenia González-Medina, Martín Mendoza-Briseño
y Dionicio Alvarado-Rosales

RESUMEN

Ozono troposférico se sospecha es causa de pobre vitalidad y ocasional muerte masiva de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltl. & Cham) en el Parque Nacional Desierto de los Leones, Ciudad de México, DF, México, registrada desde 1980. Este trabajo relaciona indicadores de salud respecto a exposición a ozono en poblaciones naturales de oyamel de agosto 2001 a enero 2003, usando monitores pasivos en 31 sitios subjetivamente elegidos. Dos áreas de *Abies* con bajos niveles de ozono esperados sirvieron como testigos. La concentración media por hora de ozono se mantuvo de $4,826 \times 10^{-7}$ a 0,0441 ppm por intervalo de medición (2 a 3 semanas), que si bien es alto, sólo tres lecturas excedieron ligeramente el umbral tóxico de 0,0400 ppm. La media general en Desierto de Los Leones de 0,0186 ppm superó ligeramente la media de los testigos (0,0145 ppm), habiendo amplias fluctuaciones erráticas entre periodos, sitios y regiones. No se vieron relaciones notorias entre ozono y temperatura, altitud, exposición o región. La retención del follaje, frondosidad de la copa, el vigor y el área basal de la masa mostraron tendencias débiles pero constantes y consistentes que sugieren deterioro de salud del oyamel conforme aumenta el nivel medio de ozono. Las cifras de los sitios de control reiteran esta tendencia. Este fenómeno es distinto de muchos reportes de daño por ozono en *Abies*, excepto el caso suizo, que es similar al mexicano en cuanto a los patentes daños anatómicos en abetos a gran altitud, atribuibles a exposición crónica a ozono.

PALABRAS CLAVE:

Abeto, contaminación del aire, interfase urbana-forestal, muerte descendente, parque nacional, salud forestal.

ABSTRACT

Tropospheric ozone has been suspected to cause poor vitality and occasional massive mortality in sacred fir (*Abies religiosa* (Kunth) Schltl. & Cham) from Desierto de los Leones National Park, in Mexico City, Mexico, since 1980's. This work searches for empirical evidences of ozone effects on health indicators of natural populations of sacred from August 2001 to January 2003. We monitored 31 selectively chosen sampling plots with passive monitors. Two additional fir forests with expected low exposure to ozone were used as control. Mean hourly ozone concentration per period (2 to 3 weeks each), fluctuated between $4,826 \times 10^{-7}$ and 0,0441 ppm. Most ozone readings were high, the mean hourly concentration in Desierto de Los Leones was 0,0186 ppm, but only three readings marginally exceeded a 0,0400 ppm toxic threshold. Ozone concentrations in control areas had a lower average (0,0145 ppm), with erratic wide fluctuations. We found no relationship between ozone concentrations

- 1 MACFORESA, bek_enia@yahoo.com.mx
- 2 Colegio de Postgraduados, mmendoza@colpos.mx. Autor responsable de la correspondencia.
- 3 Colegio de Postgraduados, dionicio@colpos.mx

and sampling plot location, elevation, temperature or region. Foliage retention, crown density, vigor and stand basal area follow weak, but constant and consistent worsening trends as ozone mean site concentration increases. This trend suggests fir health reduction with increasing ozone concentration; control values are consistent with this trend. This result differs from reports of ozone damages on fir, except the case of Switzerland where fir occurs at high elevations and shows clear anatomic damages due to chronic ozone exposure, just like the Mexican case.

KEYWORDS:

Fir, air pollution, urban-forest interface, dieback, national park, forest health.

INTRODUCCIÓN

El oyamel o abeto (*Abies religiosa* (Kunth) Schldl. & Cham) es una de las especies más afectadas por los síntomas de la declinación forestal descrita en los bosques del sur del Valle de México desde mediados de la década de 1970 (Alvarado-Rosales y Hernández-Tejeda, 2002; Alvarado *et al.*, 1992; Paz, 1989; Ciesla y Macías, 1987). Los diferentes síntomas de daño, tales como la pérdida de hojas y la muerte descendente son asociados a los contaminantes atmosféricos, especialmente a los fito-oxidantes como el ozono (Somers *et al.*, 1998; Grulke y Lee, 1997; Karlsson *et al.*, 1995; Miller *et al.*, 1994; Simini *et al.*, 1992). A pesar del mayor conocimiento acerca de los síntomas de daño en el arbolado, aun es difícil establecer las causas ambientales primarias de tales síntomas. La morbilidad y la mortalidad masiva podría ser influida por la introducción de plagas exóticas, las interacciones competitivas, la historia natural del bosque, incendios, la falta de manejo silvícola, las condiciones del sitio, el estatus nutrimental y la disponibilidad de agua (Battles y Fahey, 2000; Vacek y Leps, 1996; Simmlleit y Schulten, 1989). El ozono es sabido que entra a las hojas por vía de los estomas,

destruye la clorofila y permite una acumulación inusual de almidones, que suelen atraer insectos defoliadores, causando defoliación recurrente. El daño por ozono reduce el flujo de carbohidratos a la raíz, limitando la alimentación de micorrizas, que su vez merman la nutrición del árbol (Grant, 1996).

Los bosques que rodean la ciudad de México exhiben daños por contaminación del aire. La distribución de estos síntomas puede estar afectada por el patrón de viento que circula de norte a sur en el Valle de México (Bravo y Díaz, 1996; Jáuregui, 1993). En la parte central del valle se acumulan altas concentraciones de ozono cuyas culminaciones alcanzan de 0,0700 a 0,3100 ppm, y son causadas por emisión vehicular. Los contaminantes aéreos son acarreados hacia el sur de la cuenca que es la esta zona donde se observan los daños más severos en la vegetación (Miller *et al.*, 1994; Cibrián, 1989). Hay numerosos reportes del aumento de la contaminación desde mediados de 1980, época en que inician los primeros estudios sobre la extensa mortalidad de las masas boscosas en el Parque Nacional Desierto de los Leones (CENICA, 1996; Ojeda, 1991; Paz, 1989).

A pesar de estar ampliamente documentado el nivel de contaminación, se carece de estudios que relacionen el efecto de los contaminantes en la vegetación en condiciones de campo. La investigación experimental en cámaras de ozono ha permitido evaluar el daño a diferentes exposiciones de este contaminante y se ha enfocado en establecer la respuesta de la vegetación a gradientes de exposición (Hernández y de Bauer, 1984). En bosques naturales existe poca información entre el nivel de exposición al ozono y el daño en el arbolado por la dificultad de estimar la concentración de este contaminante en entornos altamente variables y de gran extensión.

Cabe especular que la concentración de ozono en el aire del Valle de Anáhuac disminuye del centro de la ciudad y hacia las partes altas de la cuenca cerrada. Probablemente la exposición al nivel del bosque de oyamel sea incluso inferior a los niveles considerados como tóxicos (0,0400 ppm) Matyssek e Innes, 1999), y entonces cabe preguntar si aún con estas concentraciones menores hay suficiente exposición para causar efectos sensibles y dañar el follaje y la salud del oyamel, y tal vez otras especies, efectos distintos de lo visto en el piso del valle, cuyas condiciones son ecológicamente diferentes respecto a las partes altas de la montaña.

OBJETIVOS

Este estudio busca aportar evidencia empírica de campo como sustento parcial de que el ozono es el contaminante aéreo responsable de la fuerte disminución de vitalidad que en 2003 exhibía el arbolado de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. & Cham) en el Parque Nacional Desierto de los Leones, DF, México.

METODOLOGÍA

Para el fin que el objetivo plantea se buscaron patrones paralelos en la dinámica de varios indicadores de salud y vitalidad del arbolado durante 18 meses respecto a la exposición de ozono en el Parque Nacional Desierto de los Leones, al suroeste de la Ciudad de México (Figura 1), que es un área centenaria dedicada a la conservación natural en una extensión de 1529 ha, en una región de clima templado con geomorfología irregular y abrupta, con predominio de bosque de oyamel (*Abies religiosa*).

En el Parque Nacional Desierto de los Leones, DF, México, se eligieron

subjetivamente 31 sitios de muestreo de 1000 m² dentro del bosque en la zona donde hay presencia de *Abies religiosa*, que es la casi totalidad del parque (CONANP, 2006). Los sitios cubren diferentes altitudes desde 2962 msnm a 3600 msnm, con distinta exposición y topografía (Figura 2). A manera de control se ubicó un sitio (No. 31) en el patio dentro del edificio del Ex-convento de San Alberto de Carmelitas Descalzas. Se eligieron también dos sitios en cada una de dos localidades testigo con bosque de oyamel: el monte Tláloc, en la Sierra Nevada (latitud 19°25'; longitud 98°42', altitudes 2600 msnm y 3400 msnm), y la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca en Michoacán (latitud 19°40', longitud 100°23', altitudes 2800 m y 3616 msnm). Los sitios fueron geo-referenciados respecto a la carta del Parque Nacional Desierto de Los Leones (CONANP 2006). La figura 1 indica la zona de estudio, y sus dos áreas testigo (Monte Tláloc, Méx., y Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, Mich.) respecto a la distribución nacional conocida para *Abies religiosa*. En la última imagen en la figura 1, la parte delimitada en blanco corresponde a la zona donde ha ocurrido muerte masiva reciente.

En agosto del 2001 se fijaron a una altura de dos metros, en un árbol maduro cercano al centro de cada sitio de muestreo, parejas de soportes para monitores pasivos de ozono Can Oxy Plate™ (Figura 3). En los soportes se cambiaron cada dos a tres semanas sensores sensibles a ozono, de agosto 2001 a enero del 2003. El monitor pasivo de ozono es un dispositivo que consta de una placa impregnada de un pigmento azul índigo que reacciona al ozono atmosférico y que se sostiene dentro de un resguardo de policloruro de vinilo; para usarse, al monitor se le retira la cubierta y se le expone al ambiente. Los monitores pasivos proporcionan la exposición

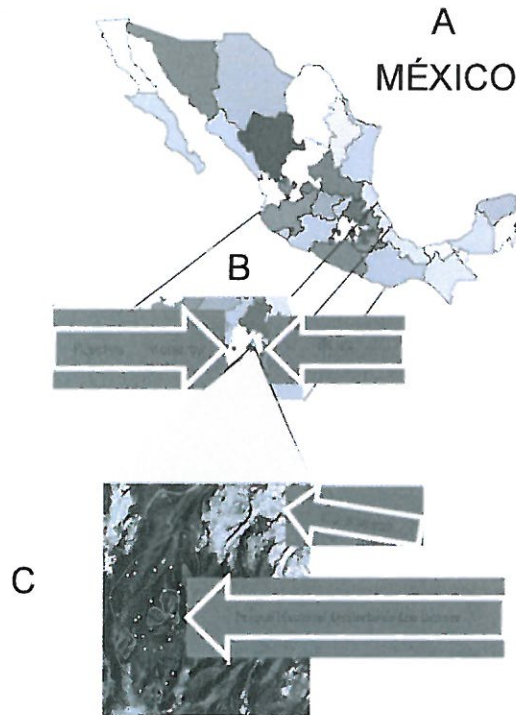


Figura 1. (A y B) Distribución geográfica de *Abies religiosa* ((Kunth) Schltld. & Cham) en el país, y (C) ubicación geográfica de los sitios de estudio dentro de los límites de distribución de *Abies religiosa* en la Ciudad de México. Resaltado en blanco se indican los límites de distribución de las cinco zonas de muerte catastrófica, conocidas como *Cementerios*, localizadas dentro del Parque Nacional Desierto de los Leones, México.

acumulada de ozono durante el tiempo que permanecen expuestos. Estos sensores no permiten distinguir los posibles cambios o eventos extremos ocurridos a lo largo del periodo de medición. En el Desierto de los Leones, en algunos puntos de muestreo, otro monitor pasivo, no expuesto, se instaló como "blanco" para la calibración de la exposición de ozono durante el análisis de laboratorio. Después de utilizados, todos los monitores fueron enviados al Atlantic Forestry Centre del Servicio Forestal de Canadá para el análisis e identificación de la exposición de ozono. En las tres localidades los monitores pasivos fueron

cambiados cada dos o tres semanas. La exposición de ozono fue determinada con base en los valores de absorvancia de 1032 monitores pasivos, a partir de ella se estimó la exposición media por hora de ozono (ppm) en cada punto de muestreo para cada intervalo de muestreo (2 a 3 semanas). Para medir la temperatura al momento de cada visita a cada localidad, en cada una se colocaron dos termógrafos electrónicos, uno por sitio, en puntos cercanos a los monitores pasivos de ozono, a la altura de estos sensores.

Al momento de establecer cada sitio se calificó al arbolado vivo mayor de

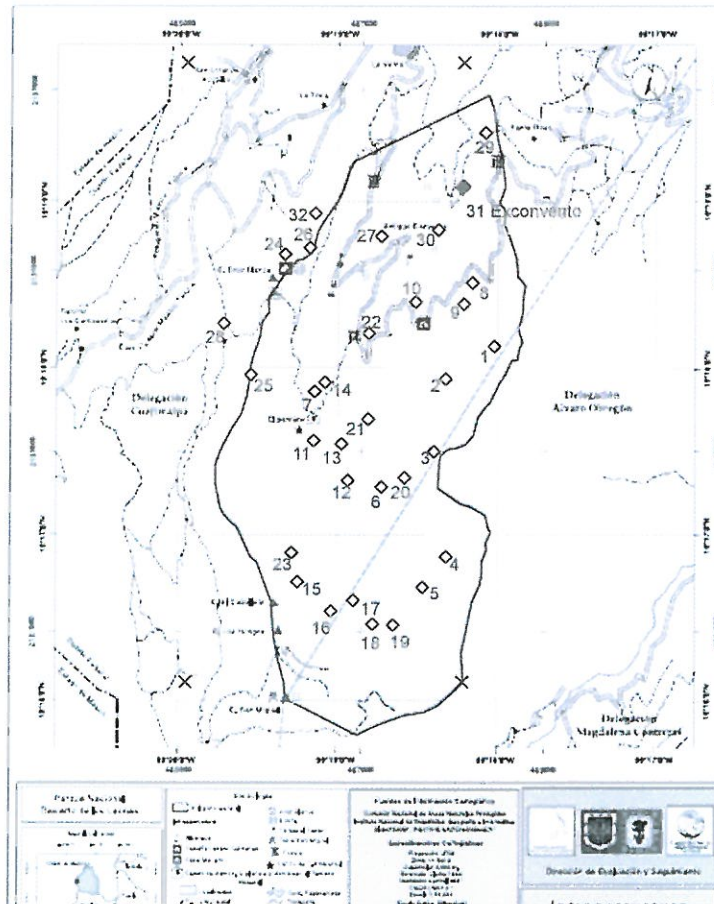


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo en el Parque Nacional Desierto de los Leones.

1,3 m de altura, en cuanto a retención de follaje, frondosidad de la copa y vigor del árbol. La calificación sigue una escala de cero a cuatro, donde cero es el grado superior y cuatro el peor. El área basal (m^2/ha) se calculó a partir de los diámetros normales del arbolado mayor a 1 cm. No habiendo cambios sensibles en la apariencia del arbolado, no hubo necesidad de volver a registrar estas variables. En tanto que la selección de sitios fue arbitraria, el análisis cuantitativo se centra en suponer que la distribución de

valores de ozono de cada sitio individual sigue una cierta distribución aleatoria manejable estadísticamente; además se asume que los valores ambientales y del arbolado tendrán una conexión necesaria con las cifras de ozono.

Como se colocaron parejas de monitores en el árbol maduro más cercano al centro de cada sitio, habiendo dos cifras de ozono para cada fecha y sitio, el tamaño de muestra para ozono entonces no corresponde al número de lecturas

sino al número de fechas registradas por sitio. Este tamaño varió de 5 a 24 periodos de medición, según el sitio. Todos las inferencias estadísticas se efectuaron con $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ozono. En el Desierto de los Leones la máxima lectura de concentración de ozono en un periodo de medición fue de 0,0441 ppm media por hora, obtenida en el sitio 29 (localidad del Macetón) del Parque Nacional Desierto de los Leones, que es uno de los sitios más bajos y cercanos a Ciudad de México, ubicado en el fondo del

valle; la cifra fue registrada en temporada de lluvias de verano (8 al 22 junio 2002), que es cuando se registran los valores mínimos de ozono a nivel de la zona urbana (Miller *et al.* 1994). El dato extremo mínimo fue de 4.826 E-07 ppm, en un sitio cercano (11 Cruz Blanca), que es un punto elevado cercano al parteaguas, también en parte baja cercana a la ciudad, al principio del otoño (10 al 17 oct 2002). La media general fue de 0,0186 ppm. El análisis de la variabilidad estacional del ozono tampoco reportó resultados significativos. La exposición media horaria de ozono por periodo permaneció con tendencia estable de 0,0118 a 0,0279 ppm, a lo largo del tiempo de evaluación (Figura 4).



Figura 3. Monitor pasivo de ozono instalado en la copa de un árbol en uno de los sitios de muestreo.

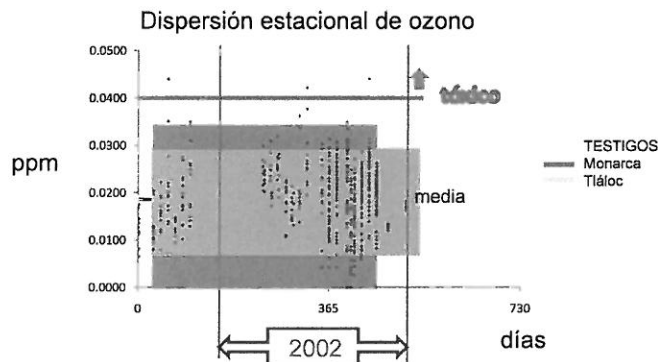


Figura 4. Tendencia estacional de la concentración de ozono en el Parque Nacional Desierto de los Leones y áreas testigo. Las secuencias en las áreas testigo están resaltadas mostrando su variabilidad en tiempo.

La variación de medias por sitio resultó casi lineal, pasando de 0,0074 a 0,0274 ppm, una vez acomodados los sitios en orden creciente de concentración media de ozono (ver línea de medias en la figura 5). Sin embargo, el análisis detallado muestra que es difícil establecer tendencias estacionales cuando las mediciones en fechas sucesivas contienen fuertes y frecuentes cambios abruptos para un mismo sitio. Asimismo, hay que anotar que entre los sensores en el mismo punto y fecha las lecturas frecuentemente diferían notoriamente, como se ve en las variaciones verticales de los testigos resaltados en la figura 4. Esta misma variabilidad dentro de cada sitio, además de dificultar separar lo que ocurre entre sitios del Desierto de los Leones, incluyendo su propio testigo local (sitio 31 Ex-convento), también imposibi-

litó discernir diferencias respecto a los sitios testigo en Tláloc y Reserva Monarca, que también mostraron alta variabilidad intra-sitio.

Temperatura. Regionalmente la temperatura se mantuvo en un patrón cíclico diario y anual estable en todo el periodo de estudio. La máxima temperatura horaria promedio se registró en el mes de julio del 2002. En el Desierto de los Leones fue de 24,8°C, en Reserva Mariposa Monarca de 31,5°C y en Tláloc de 33,6°C. En el mismo año, la temperatura mínima horaria se presentó durante los meses fríos de octubre a enero 2003, con un valor de -3,4°C en el Desierto de los Leones, -7,9°C en Reserva Mariposa Monarca y -2,4°C en Tláloc. En los meses de invierno, la oscilación térmica diaria de las tres localidades es extrema,

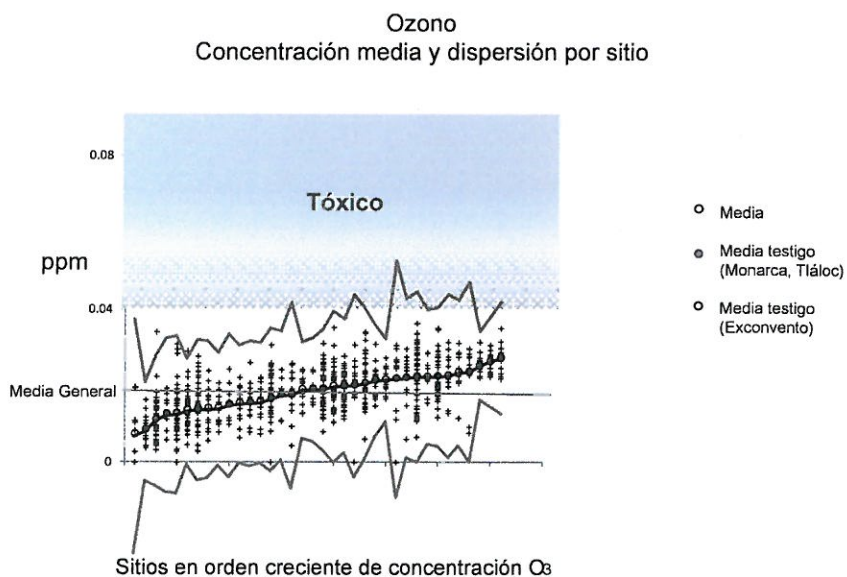


Figura 5. Dispersión de concentración de ozono entre sitios (en orden creciente), en Parque Nacional Desierto de los Leones, DF, 2001 a 2003. Las líneas denotan el límite de confiabilidad ($P=0,95$), respecto a la media del sitio. Los círculos denotan la media de cada sitio.

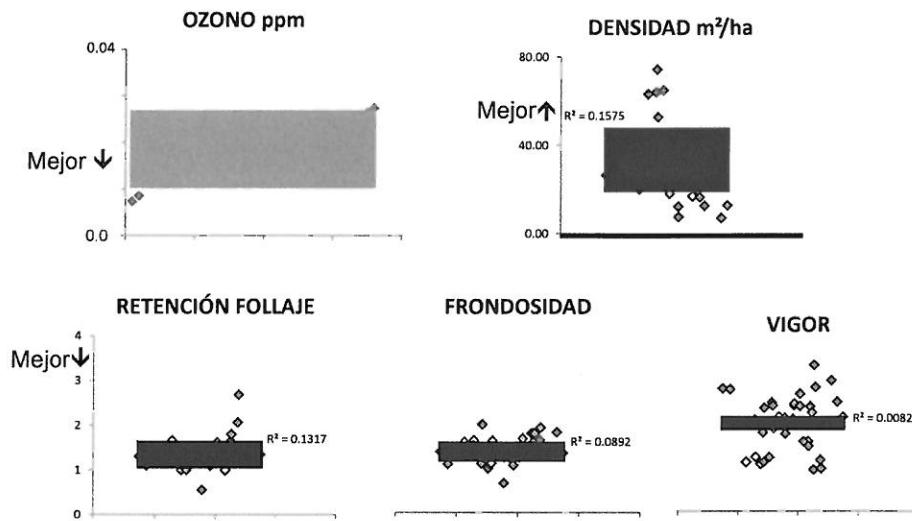


Figura 6. Relación de la concentración media de ozono con respecto a las variables de salud del arbolado de *Abies*. Los puntos claros corresponden a los testigos en el Exconvento del Desierto de los Leones, DF, Reserva Monarca, Mich., y Cerro Tláloc, Méx. En todas las gráficas el eje de las x despliega a los sitios de muestreo en orden creciente de concentración media de ozono para el periodo de estudio.

en las madrugadas los árboles pueden estar a temperaturas por debajo de cero grados Celsius, que después se elevan hasta los diez grados, mientras que en los meses cálidos la temperatura máxima suele sobrepasar los 30°C.

Vitalidad del oyamel. El estado sanitario de la masa de oyamel fue registrado mediante su expresión en retención de follaje, densidad de copa y vigor. Adicionalmente, pensando en su posible efecto, se registró la densidad medida en área basal. Todas estas variables presentaron tendencias débiles pero lógicas respecto a la media de ozono por sitio, como se ve en los diagramas de dispersión de medias de la figura 6. Arregladas en orden creciente de concentración de ozono, el vigor, retención, frondosidad del arbolado del sitio y densidad de la masa, disminuyen de forma prácticamente constante.

Es notorio que hay en el arbolado de los sitios testigo similitudes respecto al arbolado en los sitios en el Desierto de los Leones. El área basal media en el Desierto es de 11,6 m²/ha, en tanto la media en los testigos es de 10,3 m²/ha. El diámetro cuadrático medio es de 19 y 12 cm, y el diámetro máximo fue de 127 cm y 70 cm, respectivamente. En ambos casos la distribución diamétrica es unimodal, con larga cola descendiendo hacia los diámetros mayores (Figura 7 A), y con un máximo en la categoría de 5 cm. La distribución diamétrica entre sitios, tanto en el Desierto de los Leones como en las zonas testigo muestra cierta variabilidad, sin salir de la configuración unimodal fuertemente sesgada hacia arbolado pequeño (Figura 7 B). Solo tres de los sitios mostraron indicios de ligera mortalidad reciente (14 Pantano, zona de valle, 15, 16 Cerro San Miguel zona de cumbre elevada). La diferenciación de

DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA

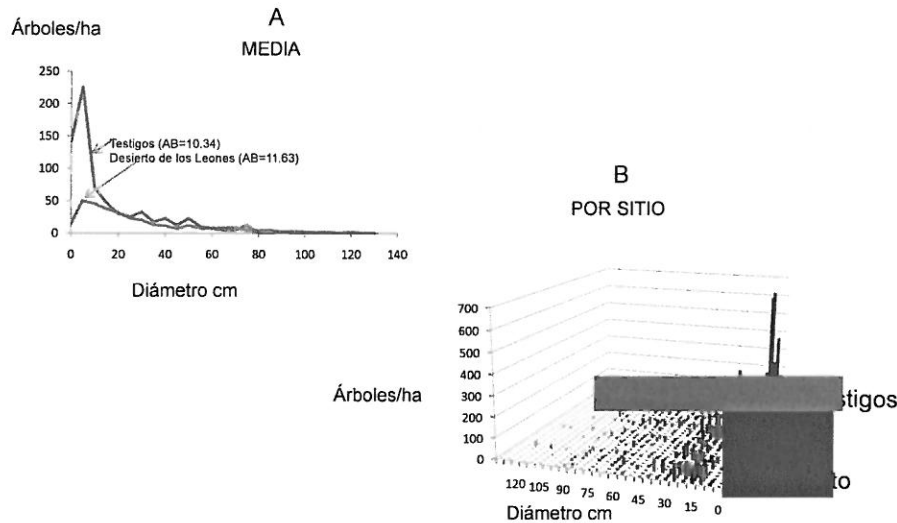


Figura 7. Distribución diamétrica por localidad en el Parque Nacional Desierto de los Leones, DF, y de testigos en el Cerro Tláloc, Méx., y Reserva Monarca, Mich. (A); y distribución diamétrica por sitio individual (B).

copas por dominancia indica niveles bajos de densidad, o sea, poco arbolado suprimido, la mayoría es dominante o codominante, tanto en los testigos como en el Desierto.

DISCUSIÓN

En general, las lecturas de ozono en el Desierto de los Leones, Tláloc y Reserva Monarca, se encuentran en niveles subtóxicos respecto a la norma internacional (0,0400 ppm). Esta comparación no es tan contundente como parecería porque la norma está pensada como exposición por hora, en tanto que en este estudio se tiene un promedio por hora para periodos de medición de 14 a 21 días consecutivos. En todo caso puede suponerse especulativamente que los niveles de ozono en alta montaña raramente subirán

a los valores extremos que se registran en la zona urbana (que en caso de contingencia ambiental implica rebasar un umbral de 0,17 ppm) (GODF, 2006), pero en cambio en la noche no se esperan caídas tan fuertes como en la ciudad, así que los valores teóricos instantáneos en la montaña podrían coincidir con este escenario de cifras elevadas crónicas, raramente llegando a niveles tóxicos.

En condiciones naturales, concentraciones elevadas durante cortos periodos de exposición a ozono es sabido que causa daño foliar (Somers *et al.*, 1998; Miller *et al.*, 1994; Simini *et al.*, 1992). Krupa *et al.* (2000) determinaron dos tipos de efecto en relación a la concentración y el tiempo de exposición al ozono. Un efecto sobre la vegetación se produce en exposiciones breves pero frecuentes a concentraciones de ozono

mayores a 0,0800 ppm, que favorecen daños severos en el follaje y alteraciones de la productividad; el otro tipo de efecto es asociado a exposiciones menos severas pero continuas a concentraciones inferiores a 0,0400 ppm durante periodos prolongados de tiempo que inducen el daño crónico en la vegetación (Karlsson *et al.*, 1995; Davis y Skelly, 1992A; Davis y Skelly, 1992B).

Con esta explicación entonces se tiene una base razonable para pensar que no hay diferencias importantes en exposición a ozono dentro del Parque Desierto de los Leones, ni entre éste y sus testigos en Tláloc y Reserva Monarca, debido a la alta variabilidad al interior de cada sitio. Esta postura es ratificada por el hecho de que los tres máximos registrados que exceden la norma lo hacen marginalmente, ocurriendo en sitios diversos. Las lecturas extremas máximas son picos extraordinarios que no se repitieron en el mismo sitio, y la misma cifra extrema está ligeramente fuera de la banda de confiabilidad estadística de 95% para esos sitios, denotando eventos extraordinarios, sin por ello ser preocupante la posibilidad de error de medición o cambio de escenario o valor foráneo —*outlier*—, permitiendo considerarlos para efectos prácticos como parte del 5% poblacional que debiera esperarse fuera de los intervalos de confiabilidad. Estos valores extremos no son suficientemente elevados para por sí mismos mover a estos sitios de muestreo a lugares elevados en la lista secuencial de promedio de ozono. En cambio, los sitios de media de ozono elevada (sitios 2, 3, 8) muestran relativamente menor variabilidad; dos de ellos representan a zonas de mortalidad masiva (2, 8); otros sitios (9, 10, 11, 18, 19), vecinos de los cementerios, alcanzaron diversas medias de ozono, generalmente en el segmento inferior. En todo caso, las medias máximas caben perfectamente dentro de

la dispersión de valores de los sitios testigo (Figura 5). El patrón de temperatura diaria, característico de zonas de montaña, podría acentuar los efectos del ozono, resultando en muerte radicular, daño por heladas u otro tipo de lesión en el fuste o tener un efecto en la producción de ozono atmosférico.

En cuanto al escenario ecológico, cabe imaginar a la zona de estudio en el Desierto de los Leones como una barranca de aproximadamente 7 km de largo por 2 km de ancho, subiendo de la ciudad hasta la cumbre del macizo montañoso, con rumbo al sur. En este sentido, las 1529 ha de parque son pocas y bastante homogéneas, pese a lo quebrado del terreno, y probablemente es razonable pensar que la exposición a ozono y las respuestas a esta contaminación no difieran tanto entre sí ni con los testigos, de donde las relaciones entre aumento de contaminación e indicadores de salud y vitalidad son consistentes pero bastante débiles.

En EUA se ha estudiado el efecto de contaminantes atmosféricos en zonas altamente contaminadas como las montañas de California (Takemoto *et al.*, 2001), pero sus resultados no dicen mucho para entender la situación del oyamel mexicano porque la composición de especies contiene pocos abetos, y es sabido que los abetos son menos susceptibles a daño por ozono que los robles (*Quercus*) y otras hojosas californianas. En el caso europeo lo que se ha visto es que hay efectos mezclados de factores diversos, donde ozono sólo parece ser seria amenaza para especies delicadas y exposiciones breves elevadas (Paoletti, 2006). En el caso de Suiza, el efecto no es tan serio como para causar mortalidad o reducción seria de salud, pero sí con síntomas de daño anatómico bastante patentes en los abetos de alta montaña porque la altitud exagera la respuesta a

niveles importantes pero no tóxicos por sí mismos sino por su duración prolongada, digamos de más de 0,0200 ppm media durante los meses secos del verano alpino (Matyssek e Innes, 1999). Estas otras investigaciones de la limitada investigación de campo para efectos de ozono sobre abetos y otras especies importantes pero poco sensibles a ozono, empiezan a formar un cierto consenso, que para consolidarse aún necesita de adicionales investigaciones donde lecturas de monitores pasivos acumulativos sean enriquecidas con datos de un método más fiel a los efectos fisiológicos y sus complejas interacciones con la ecología y los procesos de contaminación además de la confirmación de que en ambientes forestales de alta montaña no se presentan oscilaciones diarias tan fuertes como en las partes bajas y urbanas, confirmación que requiere lecturas de sensores instantáneos. El sentido del consenso que se empieza a formar es que los abetos son relativamente menos afectados por ozono que otros árboles, y en situaciones de exposición crónica las relaciones entre ozono y los indicadores de vitalidad y salud en abetos son intrínsecamente débiles, motivo por el cual en esta investigación el lograr relaciones que al menos se mueven en la dirección esperada de mayor deterioro de salud a mayor contaminación, es el principal logro.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se ha aportado evidencia empírica que asocia efectos en campo del ozono en concentraciones altas con la merma en la salud y vitalidad de arbolado de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. & Cham). De agosto 2001 a enero 2003 se registraron niveles altos, pero subtóxicos posiblemente crónicos en el Parque Nacional Desierto de los Leones, DF, México. Estos efectos, junto

con otros factores del sitio, su historia como una vieja área recreativa y cercana a la Ciudad de México, ocurren al tiempo que se ve un bosque con claras señales de tensión y deterioro de salud. Los indicadores de salud captados en este estudio comprenden el tiempo de retención del follaje en el árbol, la frondosidad de la copa, el vigor, subjetivamente estimados, más la densidad de la masa en área basal. Estas variables mostraron tendencias débiles pero consistentes en el sentido de reducción de salud del oyamel conforme incrementa la media de concentración de ozono.

RECONOCIMIENTOS

La investigación fue soportada con fondos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), de la Delegación Cuajimalpa y Probosque Región III. El Colegio de Postgraduados también proporcionó asistencia técnica y financiera. Un especial agradecimiento a Marco Gómez Ramírez, Ulises Huerta González, Eduardo Jiménez Quiroz, Sergio Bernal Hernández y Miguel Bernal Hernández por su asistencia en campo y a Alejandra Almaraz Sánchez por su apoyo en laboratorio. A Sergio Bernal Salazar (q.e.p.d.), amigo y compañero, un reconocimiento por sus comentarios y contribución a esta investigación.

REFERENCIAS

- Alvarado, R.D., L.I. de Bauer, A.J. Galindo. 1992. Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest Park south of Mexico City. *Environmental Pollution* 80:115-121.
- Alvarado-Rosales, D, T. Hernández-Tejeda. 2002. Decline of sacred fir in the Desierto de los Leones National Park. *In: Urban air pollution and*

- forests: resources at risk in the Mexico City air basin. Fenn M., Bauer, L.I. and Hernández, T. (eds). Springer-Verlag, N.Y.
- Battles, J. J., T.J. Fahey. 2000. Gap dynamics following forest decline: A case study of red spruce forest. *Ecological Applications* 10(3):760-774.
- Bravo, J.L., M.T Díaz. 1996. Un modelo de regresión para la concentración de ozono en la zona sureste del Valle de México. En: *Contaminación Atmosférica*. El Colegio Nacional, México, pp 139-144.
- CENICA. 1996. Primer Informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1996. Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA). Instituto Nacional de Ecología, Semarnap, México.
- Cibrián, T.D. 1989. Air pollution and forest decline near Mexico City. *Environmental Monitoring and Assessment* 12:49-58.
- Cielsa, W.M., S.J. Macías. 1987. Desierto de los Leones. A forest in crisis. *American Forest*. November/December.
- CONANP. 2006. Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Desierto de los Leones. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México DF, 177 p.
- Davis D.D., J.M. Skelly. 1992A. Growth Response of four species of eastern hardwood tree seedlings exposed to ozone, acidic precipitation, and sulfur dioxide. *Journal of Air & Waste Management Association* 42(3):309-311.
- Davis, D.D., J.M. Skelly. 1992B. Foliar sensitivity of eight eastern hardwood tree species to ozone. *Water, Air, and Soil Pollution* 62:270-277.
- GODF. 2006. Decreto por el que se Reforma y Adiciona el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en el Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal* 30 agosto 2006, Época 16(101):3-5. México DF.
- Grant, William B. 1996. A brief overview of the effects of air pollution (acid deposition and ozone exposure) on trees and forests. Forest List Server, Metla Finland. <http://www.metla.fi/archive/forest/1996/06/msg00003.html>, Visit ed Dec 26, 2008
- Grolke, N.E., H.E. Lee. 1997. Assessing visible ozone-induced foliar injury in ponderosa pine. *Journal of Canadian Forest Research* 27(10):1658-1668.
- Hernández, T.T., L.I. de Bauer. 1984. Evaluación del daño por gases oxidantes en *Pinus hartwegii* y *P. montezuma* var. *lindleyi* en el Ajusco, D.F. *Agrociencia* 56:183-194.
- Jauregui, O.E. 1993. Algunas consideraciones del clima de la Ciudad de México debidas a la urbanización. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 9(3):12-24.
- Karlsson, P.E., E.L. Medin, H. Wickstrom, G. Sellden, G. Wallin, S. Ottoson, L. Skarby. 1995. Ozone and drought stress-interactive effects on the growth and physiology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Water, Air and Soil Pollution*:1326-1330.
- Krupa, S., M.M. Tuttle, C.P. Andersen, F.L. Booker, K.O. Burkey, A.H. Chappelka, B.I. Chevone, E.J. Pell, B.A. Zilinskas. 2000. Ambient ozone and plant health. *Plant Disease* 85(1):5-11.

- Matyssek, R, J.L. Innes. 1999. Ozone - a Risk Factor for Trees and Forests in Europe? *Water, Air, & Soil Pollution* 116(1-2):199-226.
- Miller, PR; M.L. de Bauer, A.Q. Nolasco, T.H. Tejada. 1994. Comparison of ozone exposure characteristics in forested regions near Mexico City and Los Angeles. *Atmospheric Environment* 28(1):141-148.
- Ojeda, T. R. 1991. Vegetación y medio ambiente en el área de influencia de la Ciudad de México: problemas de contaminación. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Paz, E.D. 1989. Sistema de calificación de riesgo para estimar la muerte de oyamel (*Abies religiosa* Schl et. Cham) en el Parque "Desierto de los Leones" D.F. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Paoletti E. 2006. Impact of ozone on Mediterranean forests: A review. *Environmental Pollution* 144(2):463-474.
- Simini, M., J.M. Skelly, D.D. Davis, J.E. Savage, A.C. Comrie. 1992. Sensitivity of four hardwood species to ambient ozone in north central Pennsylvania. *Can. J. For. Res.* 22:1789-1799.
- Simmleit, N., H.R. Schulten. 1989. Pattern recognitions of spruce trees. An integrated, analytical approach to forest damage. *Environmental Science*, 23(8):1000-1006.
- Somers, G.L., A.H. Chappelka, P. Rosseau, J.R. Renfro. 1997. Empirical evidence of growth decline related to visible ozone injury. *Forest Ecology and Management* 104:129-137.
- Somers, G.L., A.H. Chappelka, P. Rosseau, J.R. Renfro. 1998. Empirical evidence of growth decline related to visible ozone injury. *Forest Ecology and Management* 104(1-3):129-137.
- Takemoto, Brent K., Andrzej Bytnerowicz, Mark E. Fenn. 2001. Current and future effects of ozone and atmospheric nitrogen deposition on California's mixed conifer forests. *Forest Ecology and Management* 144(1-3):159-173.
- Vacek, S., J. Leps. 1996. Spatial dynamics of forest decline: the role of neighboring trees. *Journal of Vegetation Science* 75(6):789-798.

Manuscrito recibido el 20 de enero de 2009
Aceptado el 24 de junio de 2010

Este documento se debe citar como:
González-Medina, R.E., M. Mendoza B. y D. Alvarado-Rosales. 2010. Exposición a ozono en relación a vitalidad en un bosque de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schldl. & Cham). *Madera y Bosques* 16(4):7-19