



Artículo / Article

## Sensibilidad de 20 procedencias de pino y oyamel a los oxidantes fotoquímicos

## Sensitivity of 20 provenances of pine and Sacred fir to photochemical oxidants

Tomás Hernández Tejeda<sup>1</sup> y Héctor Mario Benavides Meza<sup>1</sup>

### Resumen

El Parque Nacional Desierto de los Leones se localiza en la región central de la república mexicana y forma parte del sistema montañoso denominado Eje Neovolcánico Transversal, tiene una superficie de 1 523.95 ha y se ubica al suroeste de la Cuenca Atmosférica de la Ciudad de México, en el Distrito Federal. Ocho procedencias de oyamel (*Abies religiosa*) y 12 de pino (*Pinus hartwegii*) se plantaron en el Parque a tres altitudes diferentes (3 120, 3 245 y 3 370 m), por separado y con tres repeticiones aleatorizadas, en todos y cada uno de los sitios correspondientes a cada una. Se utilizó la escala de Miller para la evaluación de su sensibilidad a los oxidantes fotoquímicos. En la primera valoración en campo, los ejemplares de pino y oyamel no presentaron ningún tipo de daño foliar inducido por ozono troposférico; sin embargo, después de dos años consecutivos de seguimiento, la mayoría de ellos manifestó algún síntoma característico (moteado o bandedado clorótico), así como defoliación prematura. El índice de daño en el follaje de las 20 procedencias estudiadas y después del tiempo considerado confirmó que el ozono troposférico afectó la coloración y la retención del follaje tanto de *P. hartwegii* como de *A. religiosa*, independientemente del sitio de plantación de cada especie, así como entre y dentro de las tres altitudes.

**Palabras clave:** *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham., Distrito Federal, evaluación, oxidantes fotoquímicos, *Pinus hartwegii* Lindl., procedencias.

### Abstract

The *Desierto de los Leones* National Park is located in the central region of the Mexican Republic, and belongs to the mountain system known as the Transverse Neovolcanic Axis; it has a total area of 1 523.95 hectares, and it is located to the south of the Mexico City atmospheric basin in the *Distrito Federal*. Eight Sacred fir (*Abies religiosa*) and 12 pine tree (*Pinus hartwegii*) provenances were planted inside the National Park, at three different altitudes. All the provenances were planted individually and with 3 randomized replications, in each and every one of the sites corresponding sites to each altitude (3 120, 3 245 and 3 370 m). Miller's scale was used to assess their sensitivity to photochemical oxidants. In the first field assessment, the pine tree and Sacred fir provenances did not show any kind of ozone-induced foliar symptoms; nevertheless, after two consecutive years of assessment, most of them showed some of the characteristic ozone-induced symptoms (chlorotic mottling and banding), as well as premature defoliation. The index of leaf damage of the 20 provenances after two assessment years shows that the atmospheric ozone affected the foliage coloration and retention of all the provenances of *P. hartwegii* and *A. religiosa*, regardless of the plantation site of each species, as well as between and within the three different altitudes.

**Key words:** *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham., *Distrito Federal*, assessment, photochemical oxidants, *Pinus hartwegii* Lindl., provenances.

Fecha de recepción/date of receipt: 31 de marzo de 2014; Fecha de aceptación/date of acceptance: 22 de abril de 2015.

<sup>1</sup> Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, INIFAP. Correo-e: hernandez.tomas@inifap.gob.mx

## Introducción

Este estudio es el primero que se realiza, a nivel nacional, con el objetivo de identificar germoplasma tolerante a las condiciones críticas del ambiente, incluso la contaminación atmosférica, a las que está sometida la vegetación de sitios como el Valle de México. Aunque existen otros factores que inciden en las áreas forestales ubicadas al sur del Distrito Federal: la extracción de agua, falta de manejo de los bosques, incendios, algunas plagas y enfermedades de interés económico, pastoreo, sobrepastoreo y vandalismo para cuyos efectos no se tienen especies resistentes o tolerantes.

Es imperativo evitar la pérdida de la diversidad genética existente y la introducción de especies exóticas como fuente de forestación o reforestación en el Valle de México, pero muy en especial para el sur y suroeste de la Ciudad de México. De ahí el interés por fomentar la utilización de procedencias del mismo taxon forestal, con el objeto de no alterar los ecosistemas naturales presentes con taxa introducidos o fuera de nicho.

Cabe hacer mención que en México se carece de estudios sobre la utilización de procedencias para restaurar los bosques en declinación. Hay algunos trabajos por parte del Gobierno de la Ciudad de México, desde hace muchos años, para restaurar sus bosques naturales; sin embargo, no se han utilizado las especies más apropiadas, debido a la falta de información científica de respaldo, lo que redundó en un fracaso total de la reforestación con millones de plantas de pino y oyamel utilizadas en dichos bosques a través de los años.

El Parque Desierto de los Leones es el más antiguo, importante y estratégico de la Zona Metropolitana del Valle de México; fue creado por decreto presidencial de Venustiano Carranza el 5 de diciembre de 1917, como el primer Parque Nacional Forestal. Se localiza en la región central de la república mexicana, al suroeste de la Cuenca de México y pertenece a la unidad geomorfológica Sierra de Las Cruces, que forma parte del Eje Neovolcánico Transversal (González y Sánchez, 1961).

Los tipos de vegetación existentes en el área corresponden, según la clasificación de Rzedowski (1978), al bosque de *Abies - Pinus - Quercus*; bosque de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.; bosque de *Abies - Pinus hartwegii* Lindl. y bosque de *Pinus hartwegii*.

Los vientos dominantes en el Distrito Federal entran por el norte y noreste con dirección hacia el sur y suroeste (Jáuregui, 2004). En consecuencia, el bosque del Desierto de los Leones recibe los contaminantes atmosféricos que son emitidos principalmente por la industria asentada en la zona norte de la ciudad, y por alrededor de 4.7 millones de vehículos de combustión interna que circulan en su zona metropolitana (Inegi, 2015).

## Introduction

This study is the first attempt to find within the country the germ plasm that may tolerate the critical environmental conditions -including air pollution- to which the vegetation of the Valley of Mexico is subjected. Other factors come into play in the forest areas located in the south of the *Distrito Federal*, such as the excessive extraction of water to supply southern Mexico City, a lack of forest management, forest fires, pests and forest diseases of economic interest, grazing and overgrazing in all natural protected areas, and vandalism. No species are capable of resisting or tolerating these anthropogenic factors.

There is a pressing need to avoid the loss of the existing genetic diversity; furthermore, the introduction of exotic species into the Valley of Mexico as a source for afforestation or reforestation must be avoided, particularly in the south and southwest of Mexico City. Hence, the interest in promoting the use of provenances of the same forest species in order to prevent the alteration of the current natural ecosystems through the introduction of exotic or out-of-niche species.

It should be noted that there are no studies in Mexico on the use of provenances to restore the declining forests in southern Mexico City or elsewhere in Mexico. The Government of Mexico City has attempted for many years to restore its natural forests; however, it has failed to use the most appropriate species due to lack of scientific information endorsing its recommendations. This has led to total failure of reforestation attempts involving the use of millions of pine and sacred fir trees through the years.

The *Desierto de los Leones* Park is the oldest, most important and strategic park in the metropolitan area of the *Valle de México*. It was created by presidential decree on December 5<sup>th</sup>, 1917 as the first National Forest Park by President *Venustiano Carranza*. It is located in the central region of the country, southwest of the Basin of Mexico, and it belongs to the geomorphological unit of the *Las Cruces* Sierra, which is part of the mountainous system known as the Transverse Neovolcanic Axis (González and Sánchez, 1961).

The types of vegetation in the area are, as rate by Rzedowski (1978): *Abies - Pinus - Quercus* forest; *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. forest; *Abies - Pinus hartwegii* Lindl. forest and *Pinus hartwegii* forest.

The prevailing winds present in *Distrito Federal* blow in from the north and the northeast toward the south and the southwest (Jáuregui, 2004). Consequently, the *Desierto de los Leones* forest receives the air pollutants emitted mainly by the heavy industries, which are located at the north, and by the nearly 4.7 million internal combustion-powered vehicles circulating every day in the metropolitan area of Mexico City (Inegi, 2015).

Entre los oxidantes fotoquímicos, el ozono troposférico destaca por sus altas concentraciones diarias, desde los años 80, y por su amplia distribución en el Valle de México (Miller *et al.*, 1994; Bravo y Torres, 2002). Asimismo, en estudios previos se ha determinado que es el contaminante atmosférico más tóxico para el arbolado local (Miller *et al.*, 2002; Bauer y Hernández-Tejeda, 2007).

Krupa y Bauer (1976) fueron los pioneros en la detección de la sintomatología típica del daño foliar por ozono en el arbolado de la Cuenca de la Ciudad de México. En un recorrido exploratorio por el Ajusco, Distrito Federal observaron por vez primera el moteado y bandeado clorótico inducido por ozono en las acículas de mayor edad de *Pinus leiophylla* Schiede & Deppe, así como otros tipos de síntomas de daño en algunas especies arbustivas y herbáceas de dicha localidad.

Posteriormente, otros autores detectaron y cuantificaron el daño inducido por el ozono en *Pinus hartwegii* y *P. montezumae* Lamb., *P. maximartinezii* Rzedowski, *P. radiata* D. Don, *P. patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. rudis* Endl., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. cembroides* Zucc., y *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. (Hernández-Tejeda y Nieto de Pascual-Pola, 1996; Bauer y Hernández-Tejeda, 2007).

Asimismo, desde principios de los años 90, se detectó y evaluó el daño típico provocado por el ozono en las hojas de *Abies religiosa* (oyamel); se observó como una coloración café rojiza, exclusiva del haz de las hojas de mayor edad, síntoma que inicia con un ligero punteado blanquecino (Alvarado, 1989; Alvarado *et al.*, 1993; Álvarez *et al.*, 1998; Alvarado y Hernández-Tejeda, 2002).

Entre los resultados más sobresalientes de diversos estudios sobre la vegetación de los bosques del Desierto de los Leones pueden citarse aquellos en los que se registra un daño a nivel foliar debido a las altas concentraciones de ozono generadas en la Ciudad de México y transportadas por el viento hasta los bosques naturales de *P. hartwegii* y de *Abies religiosa* de la Sierra del Ajusco y Desierto de los Leones (Hernández-Tejeda y Bauer, 1982; Hernández-Tejeda y Bauer, 1984; Bauer *et al.*, 1985; Bauer y Hernández-Tejeda, 1986; Bauer *et al.*, 2000; Alvarado y Hernández-Tejeda, 2002; Bauer y Hernández-Tejeda, 2007).

Ante el problema descrito, la investigación que se describe a continuación es el primero en su tipo que se realiza en México con el propósito de identificar algunas procedencias, tanto de pino como de oyamel, que puedan sobrevivir a las condiciones críticas de contaminación atmosférica y otros agentes de estrés, tales como sequías, bajas temperaturas, falta de manejo forestal, plagas y enfermedades, extracción excesiva de agua, como una alternativa viable para la reforestación del Parque Nacional Desierto de los Leones. Por lo tanto, los objetivos consistieron en establecer la sensibilidad del

Troposphere ozone stands out among the photochemical oxidants due to the high concentrations registered on a daily basis since the 1980s, as well as to its broad distribution in the Valley of Mexico (Miller *et al.*, 1994; Bravo and Torres, 2002). Also, in previous studies it has been determined that it is the most phytotoxic pollutant for vegetation in such area (Miller *et al.*, 2002; Bauer and Hernández-Tejeda, 2007).

Krupa and Bauer (1976) were pioneers in the detection of the typical symptoms of foliar damage by ozone in trees of the Mexico City Basin. Ozone-induced chlorotic spotting and banding in the older needles of *Pinus leiophylla* Schiede & Deppe, as well as other symptoms of damage in certain shrubs and herbaceous species, were first observed in an exploratory tour through Mount Ajusco, in the Distrito Federal.

Ozone-induced damage was subsequently observed and quantified in other pine species, including *Pinus hartwegii* and *P. montezumae* Lamb., *P. maximartinezii* Rzedowski, *P. radiata* D. Don, *P. patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. rudis* Endl., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. cembroides* Zucc., and *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. (Hernández-Tejeda y Nieto de Pascual-Pola, 1996; Bauer y Hernández-Tejeda, 2007).

Likewise, since the early 1990s, typical ozone-induced foliar damage was detected in *Abies religiosa* (Sacred fir) and evaluated. A sort of reddish brown coloring exclusive of the older topsides was observed – a symptom which begins with a light whitish spotting (Alvarado, 1989; Alvarado *et al.*, 1993; Álvarez *et al.*, 1998; Alvarado and Hernández-Tejeda, 2002).

Among the most outstanding results of various studies on the vegetation of the Desierto de los Leones forests, those in which foliar damage occurs might be quoted, due to the high concentrations of ozone generated by Mexico City and wind-borne all the way to the *P. hartwegii* and *Abies religiosa* forests of the Sierra del Ajusco and Desierto de los Leones (Hernández-Tejeda and Bauer, 1982; Hernández-Tejeda and Bauer, 1984; Bauer *et al.*, 1985; Bauer and Hernández-Tejeda, 1986; Bauer *et al.*, 2000; Alvarado and Hernández-Tejeda, 2002; Bauer and Hernández-Tejeda, 2007).

On the face of the formerly described problem, this is the first study of its kind that has been carried out in Mexico with the purpose of finding provenances of both pine and Sacred fir that can survive the critical conditions of air pollution and other stress agents, such as droughts, low temperatures, lack of forest management in the park, pests, and forest diseases, and excessive water extractions, among other damaging factors, as a viable alternative for the reforestation of the influence area.

daño foliar por el ozono troposférico, sobre 20 procedencias de *Pinus hartwegii* y de *Abies religiosa* en el Parque bajo las condiciones críticas de contaminación atmosférica presentes, así como determinar y comparar el índice del daño foliar por el ozono troposférico entre y dentro de las procedencias.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El Parque Nacional tiene una superficie de 1 529.00 ha; sin embargo, y de acuerdo con el plano oficial de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, solo se le reconocen 1 523.95 ha; sus coordenadas UTM extremas son: 465 261.25 m E y 2 137 029.52 m N; 468 996.54 m E y 2 129 839.47 m N. El Parque se ubica al suroeste de la Ciudad de México, dentro de las delegaciones Álvaro Obregón y Cuajimalpa de Morelos, en el Distrito Federal (González y Sánchez, 1961).

### Material vegetal y distribución en campo

Se establecieron 12 y ocho procedencias de pino y oyamel, respectivamente, a tres altitudes (3 120; 3 245 y 3 370 m), dentro del parque Desierto de los Leones, las cuales están adyacentes al ecotono donde crecen de manera natural ambas especies forestales. Se plantaron en tres bloques paralelos, con una separación de 50 m, de acuerdo con las curvas de nivel del terreno, para cada altitud. Dentro de los bloques rectangulares se aleatorizó la ubicación de las procedencias de cada taxon por separado.

Las 20 procedencias se reprodujeron en el invernadero de San Luis Tlaxialtemalco, delegación Xochimilco, perteneciente al Gobierno del Distrito Federal. Todas ellas al ser plantadas en campo tenían 18 meses de edad; además, recibieron un mes de acondicionamiento climático local previo al trasplante en el vivero forestal del mismo parque. El número de plantas por parcela útil fue de nueve para cada especie, en competencia completa; es decir, las parcelas útiles siempre tuvieron una hilera de plantas a su alrededor.

### *Pinus hartwegii*

Fechas y escala de evaluación. Las evaluaciones cualitativas, en todas las procedencias de pino se realizaron a finales de la estación anual de desarrollo del follaje, con la ayuda de la escala propuesta por Miller (1973), que consta de cuatro parámetros: retención, condición de acículas, longitud de acículas y mortalidad de ramas. Para valorar el daño, la copa de la plántula se divide en dos niveles: superior e inferior. La mortalidad de ramas se considera únicamente en la parte inferior de la planta (Cuadro 1).

The purpose of the study was to determine the sensitivity to foliar damage from photochemical oxidants, particularly from tropospheric ozone, of pine and sacred fir trees from 20 different provenances in the *Desierto de los Leones* National Park, in the *Distrito Federal*, under the current critical conditions of air pollution. The specific objective was to determine and compare the index of foliar damage from tropospheric ozone between and within the provenances of the *Pinus hartwegii* and *Abies religiosa* introduced into the *Desierto de los Leones* Park, in the *Distrito Federal*.

## Materials and Methods

### Study area

The National Park has a decreed surface area of 1 529.00 ha; however, only 1 523.95 ha are acknowledged in the official map of the National Commission of Natural Protected Areas; its extreme UTM coordinates are: 465 261.25 m E and 2 137 029.52 m N; 468 996.54 m E and 2 129 839.47 m N. The park is located to the southwest of Mexico City, within the *Álvaro Obregón* and *Cuajimalpa de Morelos* delegations, in the *Distrito Federal* (González and Sánchez, 1961).

### Vegetal material and in-field distribution

12 provenances were established for pine and eight for Sacred fir trees at three different altitudes (3 120; 3 245 and 3 370 m) within the *Desierto de los Leones* park, all of which are adjacent to the ecotone where both forest species grow naturally. They were planted in three parallel blocks, each at a distance of 50 m from the other, according to the level curves of the terrain for each altitude. The provenances of each species were randomized separately within each rectangular block.

All 20 provenances were reproduced in the *San Luis Tlaxialtemalco* nursery -in the *Xochimilco* delegation-, which belongs to the government of the *Distrito Federal*. They were all aged 18 months when they were planted in the field; furthermore, they underwent one month of local climate conditioning previously to transplanting, at the forest nursery of the park. The number of plants per useful plot was nine for each species, in complete competition; i.e., the useful plots were always bordered by a row of plants.

### *Pinus hartwegii*

Evaluation dates and scale. Qualitative evaluations in all the pine provenances were carried out at the end of the annual leaf development season, with the help of the evaluation scale proposed by Miller (1973), which comprises four parameters: needle retention, condition and length, and branch mortality. In order to assess the damage, the tree crown is divided into two

Categorización del daño. Al final de la evaluación se sumaron las calificaciones obtenidas de cada una de las nueve plantas útiles por procedencia para categorizar, de acuerdo con el valor de la calificación total, el índice de daño foliar por ozono; de tal manera que los individuos de las procedencias consideradas pueden estar incluidos dentro de las siguientes categorías: 0 = muerta; 1-8 = daño muy severo; 9-14 = daño severo; 15-21 = daño moderado; 22-28 = daño ligero; 29-35 = daño muy ligero; y > 36 = síntomas no visibles (Miller, 1973).

### *Abies religiosa*

Fechas y escala de evaluación. Las evaluaciones cualitativas en el oyamel se realizaron a finales de la estación anual de desarrollo del follaje, con la ayuda de la escala de evaluación cualitativa de Miller (1973), modificada por Alvarado (1989), que consta de tres parámetros: coloración del follaje, retención de hojas y mortalidad de ramas. Para evaluar el daño se divide la copa de la planta en seis partes iguales (Cuadro 2).

Categorización del daño. Al final se sumaron las calificaciones de cada una de las nueve plantas útiles por procedencia para categorizar, de acuerdo con el valor de la calificación total, el índice de daño foliar por ozono en algunas de las siguientes categorías: 0-10 = daño muy severo; 11-20 = daño severo; 21-30 = moderado; 31-40 = daño ligero; > 40 = daño muy ligero (Alvarado, 1989).

### Origen de las 20 procedencias de pino y oyamel

La semilla de las procedencias de pino y oyamel se colectaron en diferentes bosques naturales localizados en el Eje Neovolcánico Transversal, a partir del estado de Veracruz y concluyendo en el estado de Colima; también se obtuvieron por donación de diversos bancos de germoplasma forestal, con el objeto de tener la mayor variabilidad genética posible (Cuadro 3).

levels: higher and lower. Branch mortality is determined only at the lower level of the plant (Table 1).

Damage categorization. At the end of each evaluation, the scores obtained for each of the nine useful plants per provenance were added up in order to categorize the index of foliar damage by ozone according to the total score, so that the plants from each provenance may be included within one of the following categories: 0 = dead; 1-8 = very severe damage; 9-14 = severe damage; 15-21 = moderate damage; 22-28 = light damage; 29-35 = very light damage, and > 36 = no visible symptoms (Miller, 1973).

### *Abies religiosa*

Evaluation dates and scale. Qualitative evaluations were carried out in all sacred fir provenances at the end of the annual leaf development season, with the help of Miller's (1973) qualitative evaluation scale, modified by Alvarado (1989), which consists of three parameters, namely: leaf coloring, leaf retention and branch mortality. In order to evaluate the damage, the tree crown is divided into six sixths (Table 2).

Damage categorization. At the end of each evaluation, the scores obtained for each of the nine useful plants per provenance were summed up, and the index of foliar damage by ozone was categorized according to the value of the total score, so that the plants from each provenance may be included within one of the following categories: 0-10 = very severe damage; 11-20 = severe damage; 21-30 = moderate damage; 31-40 = light damage; > 40 = very light damage (Alvarado, 1989).

### Origin of the 20 provenances of pine and Sacred fir

The seeds from the various provenances of pine and sacred fir were collected in different natural forests located on the Transverse Neovolcanic Axis, from the state of Veracruz to the state of Colima; however, seeds of both species were also donated by several forest germ plasm banks, in order to cover the largest possible genetic variability (Table 3).



Cuadro 1. Escala de evaluación cualitativa para determinar los daños por oxidantes fotoquímicos en pinos.\*

Parámetros	Calificación
Retención de acículas (Número de años retenidas)	
Nivel superior de la copa	0 - 6
Nivel inferior de la copa	0 - 6
Condición de acículas (Un valor dado para cada brote anual)	
Nivel superior de la copa	
Verde	4
Bandeado y/o moteado clorótico	2
Amarillamiento uniforme o necrosis	0
Nivel inferior de la copa	
Verde	4
Bandeado y/o moteado clorótico	2
Amarillamiento uniforme o necrosis	0
Longitud de acículas	
Nivel superior de la copa	
Promedio igual o mayor a la longitud normal	1
Promedio menor a la longitud normal	0
Nivel inferior de la copa	
Promedio igual o mayor a la longitud normal	1
Promedio menor a la longitud normal	0
Mortalidad de ramas (Exclusivo del nivel inferior de la copa)	
Mortalidad normal	1
Mortalidad marcada	0

Miller (1973).

Table 1. Qualitative evaluation scale for determining the damage by photochemical oxidants in pines.\*

Parameters	Score
Needle retention (Number of years during which they are retained)	
Higher crown level	0 - 6
Lower crown level	0 - 6
Condition of the needles (A value ascribed for each annual sprout)	
Higher crown level	
Green	4
Chlorotic banding and/or spotting	2
Even yellowing or necrosis	0
Lower crown level	
Green	4
Chlorotic banding and/or spotting	2

Continued Table 1...

Continued Table 1...

Parameters	Score
Even yellowing or necrosis	0
Needle length	
Higher crown level	
Average equal to or above normal length	1
Average equal to or below normal length	0
Lower crown level	
Average equal to or above normal length	1
Average equal to or below normal length	0
Branch mortality (Exclusively at the lower crown level)	
Normal mortality	1
Marked mortality	0

Miller (1973).

Cuadro 2. Escala de evaluación cualitativa para determinar los daños por oxidantes fotoquímicos en oyamel.\*

Parámetros	Calificación
Coloración del follaje (Un valor para cada sexto)	
Verde	1
Otro color (café rojizo o blanquecino)	0
Retención de hojas (Un valor para cada sexto)	
Año actual	0
Año 2	2
Año 3	4
Año 4	6
Año 5 (o subsecuentes)	8
Mortalidad de ramas (Un valor para cada sexto)	
0 - 33 %	4
33 - 66 %	2
> 66 %	0

Miller (1973), modificada por Alvarado (1989).



Table 2. Qualitative evaluation scale for determining the damage by photochemical oxidants in Sacred firs.\*

Parameters	Score
Leaf color coloring (One value for each sixth)	
Green	1
Another color (reddish brown or whitish)	0
Leaf retention (One value for each sixth)	
Current year	0
Year 2	2
Year 3	4
Year 4	6
Year 5 (or subsequent years)	8
Branch mortality (One value for each sixth)	
0 - 33 %	4
33 - 66 %	2
> 66 %	0

Miller (1973), modified by Alvarado (1989).

## Resultados y Discusión

### Determinación del índice del daño foliar por ozono en campo

*Pinus hartwegii*. La sintomatología inducida por el ozono que se identificó en las acículas de mayor antigüedad consistió en moteado y bandeado clorótico, defoliación prematura y acortamiento. Este mismo tipo de daño ha sido descrito por diversos autores, en *P. ponderosa* Douglas ex C. Lawson y *P. strobus* L. (Middleton y Haagen-Smit, 1961; Miller, 1973; McLaughlin, 1985; Miller *et al.*, 1994; Miller *et al.*, 2002).

En estudios previos en el Desierto de los Leones, se reconoció que *P. hartwegii* muestra el daño característico por oxidantes fotoquímicos, y muy en especial por ozono (Bauer y Hernández-Tejeda, 1986; Hernández-Tejeda y Bauer, 1989; Miller *et al.*, 2002; Bauer y Hernández-Tejeda, 2007).

En la primera evaluación, inmediatamente después de la plantación y durante la segunda, ninguna de las procedencias presentaron daño foliar por ozono; sin embargo, a los dos años consecutivos de seguimiento, la mayoría de ellas tuvo algún tipo de síntoma característico, en mayor o menor grado.

## Results and Discussion

### In-field determination of the index of foliar damage by ozone

*Pinus hartwegii*. The observed ozone-induced symptomatology included chlorotic spotting and banding, premature defoliation and shortening of the needles; these symptoms were present in the older specimens. The same kind of damage has been described by various authors in such pine species as *P. ponderosa* Douglas ex C. Lawson and *P. strobus* L. (Middleton and Haagen-Smit, 1961; Miller, 1973; McLaughlin, 1985; Miller *et al.*, 1994; Miller *et al.*, 2002).

Previous studies on the vegetation of *Desierto de los Leones*, in particular on *P. hartwegii*, showed that this species manifests the damage caused by photochemical oxidants, especially by ozone (Bauer and Hernández-Tejeda, 1986; Hernández-Tejeda and Bauer, 1989; Miller *et al.*, 2002; Bauer and Hernández-Tejeda, 2007).

Both in the first evaluation, carried out immediately after the plantation, and during the second evaluation, none of the provenances showed any type of foliar damage by ozone; nevertheless, after a follow-up during two consecutive years, most provenances manifested some characteristic symptom of this type, to a larger or lesser extent.





Cuadro 3. Listado de las 12 procedencias de *Pinus hartwegii* Lindl. y ocho de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. ensayadas en el parque Desierto de los Leones, Distrito Federal.

Número	Procedencia	Años de colecta y otros datos
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.		
01	Nevado de Colima, Col.	Árboles: 1, 2, 6, 7 y 8
02	Cofre de Perote, Ver.	Árboles 1-9, PH2
03	198-99 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	PH3
04	199-99 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	PH4
05	201-01 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	PH5
06	202-00 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	PH6
07	DISEFO (Coatepec de Harinas), Edo. de Méx.	2003 PH7
08	Amecameca, Edo. de Méx.	PH8
09	Volcán pelado, D. F.	023-99
10	Izta-Popo, Edo. de Méx.	008-00
11	Zoquiapan, Edo. de Méx.	010-00
12	San Antonio, Ajusco, D. F.	005-03
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. et Cham.		
1	Nevado de Colima, Col.	2003, árbol 10
2	Cofre de Perote, Ver.	2003
3	Nevado de Toluca, Edo. de Méx.	2003
4	DISEFO (Coatepec de Harinas), Edo. de Méx.	AR2, A1
5	San Nicolás Coatepec, Edo. de Méx.	024-97
6	Santa Ana Tlacotenco, D. F.	001-04
7	La Soledad, Tlax.	010-02
8	Milpa Alta, D. F.	011-02

Table 3. List of the 12 *Pinus hartwegii* Lindl. and eight *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. provenances, assayed in the *Desierto de los Leones* park, in *Distrito Federal*.

Number	Provenance	Collection years and other data
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.		
01	<i>Nevado de Colima, Col.</i>	Trees: 1, 2, 6, 7 and 8
02	<i>Cofre de Perote, Ver.</i>	Trees 1-9, PH2
03	<i>198-99 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.</i>	PH3
04	<i>199-99 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.</i>	PH4
05	<i>201-01 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.</i>	PH5
06	<i>202-00 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.</i>	PH6
07	<i>DISEFO (Coatepec de Harinas), Edo. de Méx.</i>	2003 PH7
08	<i>Amecameca, Edo. de Méx.</i>	PH8

Continued Table 3...

Continued Table 3...

Number	Provenance	Collection years and other data
09	<i>Volcán Pelado, D. F.</i>	023-99
10	<i>Izta-Popo, Edo. de Méx.</i>	008-00
11	<i>Zoquiapan, Edo. de Méx.</i>	010-00
12	<i>San Antonio, Ajusco, D. F.</i>	005-03
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. et Cham.		
1	<i>Nevado de Colima, Col.</i>	2003, tree 10
2	<i>Cofre de Perote, Ver.</i>	2003
3	<i>Nevado de Toluca, Edo. de Méx.</i>	2003
4	<i>DISEFO (Coatepec de Harinas), Edo. de Méx.</i>	AR2, A1
5	<i>San Nicolás Coatepec, Edo. de Méx.</i>	024-97
6	<i>Santa Ana Tlacotenco, D. F.</i>	001-04
7	<i>La Soledad, Tlax.</i>	010-02
8	<i>Milpa Alta, D. F.</i>	011-02

La tercera evaluación de campo reveló que las procedencias más prometedoras, por su tolerancia al ozono troposférico, fueron las siguientes: 198-99 (Nevado de Toluca), que corresponde a la categoría de "daño muy ligero" y cuya calificación, de acuerdo con la escala de evaluación cualitativa de Miller, estuvo entre 29 y 35. Asimismo, la procedencia del Nevado de Colima presentó un índice de "daño ligero", entre 22 y 28.

En las restantes 10 procedencias se observó el daño foliar definido como un moteado clorótico y algunas ocasiones un bandeo clorótico, en las acículas más viejas, con índices de daño entre las categorías de daño moderado y daño severo, por lo que no se recomiendan para la reforestación del parque Desierto de los Leones.

La procedencia más sensible fue la de Zoquiapan, Edo. de Méx., cuyos síntomas más comunes consistieron en moteado y bandeo clorótico en las acículas de dos años de edad (Figura 1), lo que sugiere no utilizar, bajo ninguna circunstancia dicha procedencia para la reforestación del lugar.

Se ha documentado que *P. hartwegii* es la especie con mayor sensibilidad al ozono de todas las nativas de México (Hernández-Tejeda y Bauer 1982; Hernández-Tejeda y Bauer, 1986); por lo tanto, es incuestionable la importancia de identificar plantas de ese taxon forestal, capaces de sobrevivir ante las condiciones adversas de contaminación atmosférica, bajas temperaturas invernales y sequías prolongadas prevalentes en la zona metropolitana de la Ciudad de México, con el propósito de no alterar los ecosistemas naturales presentes al introducir especies exóticas o fuera de nicho, tal como sucedió con *Pinus radiata*, que se plantó indiscriminadamente en la Ciudad de México y en todas las áreas forestales al sur del Distrito Federal, sin éxito alguno.

The third field evaluation revealed the following provenances as the most promising ones, given their tolerance to tropospheric ozone: 198-99 (*Nevado de Toluca*), located within the "very light damage" category and whose score, according to Miller's qualitative evaluation scale, ranged between 29 and 35. Likewise, the *Nevado de Colima* provenance had a "light damage" index between 22 and 28.

Foliar damage defined as chlorotic spotting and, on certain occasions, chlorotic banding, was observed in the 10 remaining provenances in the oldest needles, with damage rates ranging between the categories of moderate damage and severe damage; therefore, they are not recommended for the reforestation of the *Desierto de los Leones* park.

The most sensitive provenance was *Zoquiapan, Edo. de Méx.*, where the most common symptoms were chlorotic spotting and banding in needles aged 2 years (Figure 1); therefore, it is suggested that this provenance be under no circumstances used for reforesting the area.

*P. hartwegii* has been documented as the most sensitive species to ozone of all native species of Mexico (Hernández-Tejeda and Bauer 1982; Hernández-Tejeda and Bauer, 1986); hence, the unquestionable importance of finding plants of the same forest species that are capable of surviving the adverse conditions of air pollution, low winter temperatures and long droughts occurring in the south of the metropolitan area of Mexico City in order to avoid the alteration of the current natural ecosystems through the introduction of exotic or out-of-niche species, as in the case of *Pinus radiata*, which was indiscriminately and unsuccessfully planted in Mexico City and in all the forest areas of the south of the *Distrito Federal*.

*Abies religiosa*. La sintomatología inducida por el ozono en las hojas de mayor edad inició como un imperceptible punteado blanquecino en el haz, el cual al paso del tiempo formó una coalescencia y se transformó en una lesión mayor, con coloración café-rojiza. El envés de las hojas más viejas conservó su coloración verde normal; es decir, el síntoma característico es exclusivo del haz. La sintomatología antes descrita ha sido identificada por otros investigadores en la misma especie forestal (Alvarado, 1989; Alvarado *et al.*, 1993; Alvarado y Hernández-Tejeda, 2002).

*Abies religiosa*. The ozone-induced symptomatology in the oldest leaves began as an imperceptible whitish spotting on the leaf topside, which, over time, formed coalescence and became a more serious injury, with a reddish-brown coloring. The underside of the oldest leaves preserved their normal green color; *i.e.*, the characteristic symptom is exclusive of the topside of the leaves in this species. The symptomatology described above has been identified by other researchers in the same forest species (Alvarado, 1989; Alvarado *et al.*, 1993; Alvarado and Hernández-Tejeda, 2002).



Figura 1. Moteado y bandeado clorótico inducidos por ozono en las acículas de dos años de edad de *Pinus hartwegii* Lindl. procedente de Zoquiapan, Edo. de Méx.  
Figure 1. Ozone-induced chlorotic spotting and banding in 2 year-old needles of *Pinus hartwegii* Lindl. from Zoquiapan, Edo. de Méx.

Durante la primera evaluación, inmediatamente después de la plantación, las ocho procedencias no presentaron ningún tipo de daño foliar por ozono; sin embargo, a los dos años consecutivos de evaluación, la mayoría de ellas evidenció algún síntoma característico, en mayor o menor grado.

La procedencia con el menor índice de daño más bajo por ozono en su follaje fue la que se recolectó en El Cofre de Perote, Ver., dentro de la categoría de "daño muy ligero" y su calificación, de acuerdo con la escala de evaluación cualitativa, fue mayor a 40. Cabe señalar que las plantas de dicho origen también toleraron las bajas temperaturas y las sequías durante el mismo periodo de evaluación. La de La Soledad, Tlax., registró un índice de daño inferior y se le catalogó dentro de la categoría de "daño ligero", con un intervalo de 31 a 40.

Por el contrario, los ejemplares con la menor tolerancia al daño por ozono fueron los de Milpa Alta, D. F., cuyos síntomas más comunes fueron el punteado blanquecino, seguido de una coloración café-rojiza, del haz de las hojas más viejas (Figura 2); se les ubicó en la categoría de "daño severo", y se les calificó en la clase de 11 a 20. Es decir, esta procedencia es la menos recomendada para la reforestación del parque Desierto de los Leones, por su gran sensibilidad al ozono troposférico.

### Comparación del índice del daño foliar por ozono en campo a través del tiempo

*Pinus hartwegii*. El análisis de los datos de campo manifiesta los cambios ocurridos en la sintomatología del daño ocasionado por el ozono troposférico en el follaje de mayor edad de todas las procedencias. La primera evaluación no mostró ningún tipo de daño, en cambio en la segunda los síntomas se observaron de manera diferencial entre las procedencias, en especial en el follaje de dos años de edad, independientemente del sitio de plantación; es decir, la respuesta fue similar entre y dentro de los sitios, así como entre y dentro de las tres altitudes sobre el nivel del mar, señaladas en el apartado de los Materiales y Métodos.

De acuerdo con los resultados, es posible enumerar de menor a mayor grado de sensibilidad a las 12 procedencias de *P. hartwegii* (Cuadro 4).

During the first evaluation, immediately after planting, the eight provenances showed no type of foliar damage by ozone; however, after two consecutive years after the evaluation, most of them manifested some type of symptom characteristic of foliar damage, to a higher or lesser extent.

The provenance that manifested the smallest index of damage by ozone in its foliage was *Cofre de Perote, Ver.*, considered within the category of "very light damage" and with a score above 40 according to the qualitative evaluation scale. It should be noted that this provenance also proved tolerant to low temperatures and drought during the same evaluation period. Another provenance with a lower damage index was *La Soledad, Tlax.*, considered within the "light damage" category, with a score ranging between 31 and 40.

On the other hand, the provenance with the least tolerance to damage by ozone was *Milpa Alta, D. F.*, whose most common symptoms were whitish spotting followed by reddish-brown coloring on the topside of the oldest leaves (Figure 2), considered within the "severe damage" category and rated 11 to 20. I.e., this provenance is the least recommended for the reforestation of the *Desierto de los Leones* park, in *DF.*, due to its high sensitivity to tropospheric ozone.

### Comparison of the indices of foliar damage by ozone in the field through time

*Pinus hartwegii*. The field data analysis shows the changes occurred in the symptoms of damage caused by tropospheric ozone in the foliage of the oldest trees from all provenances. The first evaluation did not show any type of damage; however, during the second, the symptoms became differentially evident between provenances, especially in the 2-year-old foliage, regardless of the planting site. I.e., the response was similar within and between the sites, and within and between the three altitudes above sea level mentioned in the Materials and Methods section.

According to the results, it is possible to arrange the list of the 12 *Pinus hartwegii* provenances in ascending order of sensitivity (Table 4).





Figura 2. Coloración café-rojiza inducida por ozono en el haz de las hojas de mayor edad en el oyamel procedente de Milpa Alta, Distrito Federal.

Figure 2. Ozone-induced reddish-brown coloring on the topside of the oldest leaves of Sacred firs from *Milpa Alta*, *Distrito Federal*.

Las plántulas de todas y cada una de las procedencias antes citadas manifestaron algún síntoma de daño por ozono, en mayor o menor proporción (Figura 3), durante los dos años de evaluación cualitativa. La procedencia con mayor grado de tolerancia al ozono troposférico fue la denominada como 198-99 del Nevado de Toluca, Edo. de Méx., y en segundo lugar la del Nevado de Colima, por lo que ambas serían la mejor opción para la reforestación de los bosques del Valle de México, donde las concentraciones de ozono rebasen la norma de calidad del aire.

Each and every one of the above provenances manifested some symptom of damage by ozone in a higher or lesser proportion (Figure 3), during the two years of qualitative evaluation. The provenance with the highest degree of tolerance to tropospheric ozone was known as 198-99 on *Nevado de Toluca*, in the *Edo. de Méx.*, and the second was *Nevado de Colima*; the two are therefore the best options for the reforestation of the Valley of Mexico, where ozone concentrations are above the air quality standard.

All the pine provenances survived the critical conditions, especially the low temperatures, as indicated by the information collected in a parallel study to this one on tolerance to cold, according to which *P. hartwegii* specimens from *Nevado de Colima* were the most resistant to cold under field conditions at extreme temperatures of  $-15^{\circ}\text{C}$ . Likewise, all the assayed provenances were tolerant to winter temperatures of  $-5^{\circ}\text{C}$ .



Cuadro 4. Sensibilidad relativa de las 12 procedencias de *Pinus hartwegii* Lindl. al ozono troposférico en el Desierto de los Leones, Distrito Federal.

Procedencia o lote de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	Orden de sensibilidad
198-99 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	1
Nevado de Colima, Col.	2
San Antonio- Ajusco, D. F.	3
Cofre de Perote, Ver.	4
201-01 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	5
202-00 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	6
Volcán pelado, D. F.	7
DISEFO (Coatepec de Harinas), Edo. de Méx.	8
Izta-Popo, Edo. de Méx.	9
Amecameca, Edo. de Méx.	10
199-99 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	11
Zoquiapan, Edo. de Méx.	12

Número 1 = Menor sensibilidad; Número 12 = Mayor sensibilidad.

Table 4. Relative sensitivity of the 12 *Pinus hartwegii* Lindl. provenances to tropospheric in *Desierto de los Leones, Distrito Federal*.

<i>Pinus hartwegii</i> Lindl. provenance or plot	Order of sensitivity
198-99 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	1
Nevado de Colima, Col.	2
San Antonio- Ajusco, D. F.	3
Cofre de Perote, Ver.	4
201-01 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	5
202-00 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	6
Volcán Pelado, D. F.	7
DISEFO (Coatepec de Harinas), Edo. de Méx.	8
Izta-Popo, Edo. de Méx.	9
Amecameca, Edo. de Méx.	10
199-99 (Nevado de Toluca), Edo. de Méx.	11
Zoquiapan, Edo. de Méx.	12

Number 1 = Lowest sensitivity; Number 12 = Highest sensitivity.

Los ejemplares de pino sobrevivieron a las condiciones críticas, pero sobre todo a las bajas temperaturas, la procedencia de *P. hartwegii* del Nevado de Colima fue la más resistente ante el frío, bajo condiciones de campo, a temperaturas extremas de  $-15^{\circ}\text{C}$ . Asimismo, se confirmó que todas las procedencias ensayadas fueron tolerantes a temperaturas invernales de  $-5^{\circ}\text{C}$ .

The *Nevado de Colima* provenance -the second in tolerance to high tropospheric ozone concentrations registered in the study area and the first in tolerance to winter cold- is recommended with a high degree of certainty for use in the reforestation of southern and southwestern Mexico City. However, the provenance known as 198-99 (*Nevado de Toluca, Edo. de Méx.*) is also an excellent option, as it is the most tolerant to tropospheric ozone.





Con un alto grado de certidumbre se recomienda, para su utilización en la reforestación de los bosques del sur y suroeste de la Ciudad de México, a la procedencia del Nevado de Colima, que fue la segunda en tolerancia a las altas concentraciones de ozono troposférico registradas en el área de interés, y la primera en tolerancia al frío que ocurre en épocas invernales. Asimismo, la denominada 198-99 del Nevado de Toluca, Edo. de Méx. es otra excelente opción, por ser la más resistente al  $O_3$ .

The search for an alternative that may allow recovery of the normal health condition of the forests of the Valley of Mexico from the effects of photochemical oxidants, especially tropospheric ozone, as well as of other factors, is a task to which the scientific community must attend by generating the information that will allow decision makers to propose alternatives to improve the current conditions and propitiate a more auspicious space to the vegetal communities; this, in turn, would allow to prevent or reduce their deterioration and restore



Figura 3. Procedencia de Zoquiapan, Edo. de Méx., con moteado y bandeado clorótico en las acículas más viejas, plantada en el Desierto de los Leones, D. F.

Figure 3. Zoquiapan, Edo. de Méx., provenance planted in *Desierto de los Leones, Distrito Federal*, with chlorotic spotting and banding in the oldest needles.

Buscar una alternativa para recuperar la condición normal de salud de los bosques del Valle de México a partir del impacto de los oxidantes fotoquímicos, por el ozono troposférico y otros factores, es una tarea que debe ser atendida por la comunidad científica, con el objeto de generar la información que permita a los tomadores de decisiones proponer alternativas para mejorar

the conditions of those forest areas that are most affected, whereby the environmental services would be preserved and improved in quality and/or quantity.

The same methodology that was used in this study has been applied to other studies in Mexico since the 1980s. For

la situación actual y propiciar un espacio más promisorio a las comunidades vegetales, lo que a su vez ayudará a prevenir o disminuir su deterioro y restaurar las condiciones de aquellas áreas forestales más afectadas, de manera que se preservarían y mejorarían los servicios ambientales en calidad o en cantidad.

Existen algunos estudios en México, desde inicios de los años 80, en los cuales se ha aplicado la misma metodología utilizada en este estudio. Por ejemplo, en El Ajusco, D. F., se evaluaron rodales de *P. hartwegii* y *P. montezumae* por un periodo de cuatro fechas consecutivas, cada 66 días, a partir de enero de 1980 (Hernández-Tejeda y Bauer, 1982). Los autores concluyeron que en ambas especies de pino el impacto del ozono sobre el follaje de los árboles adultos se acentúa a medida que transcurre el tiempo; sin embargo *P. hartwegii* manifestó el mayor grado de afectación.

*Abies religiosa*. El análisis de los datos de campo permitió determinar que los cambios ocurridos en el follaje de mayor edad de las ocho procedencias de oyamel después de dos años consecutivos de evaluación responden a las concentraciones del ozono troposférico presente en el Desierto de los Leones, D. F. La primera evaluación no mostró ningún tipo de daño, en cambio durante la segunda los síntomas se hicieron más evidentes de manera diferencial entre las procedencias, pero muy en especial en el follaje de dos años de edad, independientemente del sitio de plantación; es decir, la respuesta fue similar entre y dentro de los sitios, así como entre y dentro de las tres altitudes, tal y como ocurrió con las procedencias de *P. hartwegii*.

De acuerdo con los resultados observados es posible definir, de menor a mayor grado, la sensibilidad de las ocho procedencias de *A. religiosa* (Cuadro 5).

Cuadro 5. Sensibilidad relativa de las ocho procedencias de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. al ozono troposférico en el Desierto de los Leones, Distrito Federal.

Lote de <i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. et Cham.	Orden de sensibilidad
Cofre de Perote, Ver.	1
La Soledad, Tlax.	2
Nevado de Colima, Col.	3
DISEFO (Coatepec de Harinas), Edo. de Méx.	4
Nevado de Toluca, Edo. de Méx.	5
Santa Ana Tlacotenco, D. F.	6
San Nicolás Coatepec, Edo. de Méx.	7
Milpa Alta, D. F.	8

Número 1 = Menor sensibilidad; Número 8 = Mayor sensibilidad.

instance, in Ajusco, in the Distrito Federal, *P. hartwegii* and *P. montezumae* stands were evaluated at the end of each of four consecutive 66-day periods starting in January, 1980 (Hernández-Tejeda and Bauer, 1982). The authors concluded that the impact of ozone on the foliage of adult trees of both pine species increases with time; however, *P. hartwegii* was the species that manifested the highest degree of damage.

*Abies religiosa*. The analysis of the field data made it possible to determine that the changes that occurred in the oldest foliage of the 8 sacred fir provenances after two consecutive years of evaluation were due to the concentrations of tropospheric ozone present in *Desierto de los Leones*, in Distrito Federal. The first evaluation did not show any type of damage; conversely, the symptoms became more evident during the second evaluation, showing differences between the provenances, but especially in the two-year-old foliage, regardless of the planting site. i.e., the response was very similar within and between the sites, as well as within and between the three altitudes above the sea level, just as in the case of the *P. hartwegii* provenances.

The sensitivity of the eight provenances of *Abies religiosa* may be determined according to the observed results, as shown, in ascending order, in Table 5.

Table 5. Relative sensitivity of the 8 provenances of *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. to tropospheric ozone in *Desierto de los Leones*, Distrito Federal.

<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. et Cham. provenance or plot	Order of sensitivity
Cofre de Perote, Ver.	1
La Soledad, Tlax.	2
Nevado de Colima, Col.	3
DISEFO (Coatepec de Harinas), Edo. de Méx.	4
Nevado de Toluca, Edo. de Méx.	5
Santa Ana Tlacotenco, D. F.	6
San Nicolás Coatepec, Edo. de Méx.	7
Milpa Alta, D. F.	8

Number 1 = Lowest sensitivity; Number 8 = Highest sensitivity.

The provenance with the highest tolerance to ozone and to all the critical conditions of *Desierto de los Leones*, D. F., was *Cofre de Perote*, Ver. (Figure 4). The second in tolerance was *La Soledad*, Tlax. Conversely, *Milpa Alta*, D. F., manifested the highest index of leaf damage by ozone.





La procedencia más tolerante al ozono y a todas las condiciones críticas del Desierto de los Leones, D. F. fue la de El Cofre de Perote, Ver. (Figura 4). El segundo lugar en tolerancia lo ocupó la procedencia de La Soledad, Tlax. Por el contrario, la de Milpa Alta, D. F. es la que manifestó el mayor índice de daño por ozono en el follaje.

The fact that the *Perote, Ver.*, provenance was used as a border in most planting sites is noteworthy, since many seeds from this locality were collected. Perhaps because it is smaller than other species, it succeeded better in adapting to all the critical conditions of *Desierto de los Leones, D. F.* Often only



Figura 4. Procedencia de El Cofre de Perote, Ver., con "daño muy ligero" por ozono, plantada en el Desierto de los Leones, Distrito Federal.

Figure 4. *Cofre de Perote, Ver.*, provenance, with "very light damage" from ozone, planted in *Desierto de los Leones*, in the *Distrito Federal*.

Cabe hacer mención que la procedencia de Perote, Ver., se utilizó como bordo en la mayoría de los sitios de plantación, porque se recolectó bastante semilla de dicha localidad. Quizá por ser de porte más pequeño que las demás, se adaptó mejor a todas las condiciones críticas del Desierto de los Leones, D. F. Con frecuencia era posible observar que solo las plantas de los bordes de algunas parcelas útiles se mantenían verdes, después de un año de evaluación continua.

the plants of the borders of certain useful plots were observed to remain green after a year of continuous evaluation.

Most of the provenances could not be weighted two years after planting because they were unable to tolerate the extreme conditions of cold and drought existing in *Desierto de los Leones, D. F.* There may have been certain provenances tolerating the high ozone concentrations that are constantly



La mayoría de las procedencias no se pudieron ponderar después de dos años de plantadas, debido a que no toleraron las condiciones extremas de frío y sequía presentes en el Desierto de los Leones, D. F. La existencia de procedencias tolerantes a las altas concentraciones de ozono que se registran constantemente en los bosques del Valle de México se ignora, ya que el frío, la falta de agua y humedad en el suelo impidieron la realización de posteriores evaluaciones.

La mayoría de las procedencias de oyamel no sobrevivieron a las condiciones críticas, pero sobre todo a las bajas temperaturas y a la sequía durante el periodo de estudio.

Con alto grado de certidumbre se recomienda, para su utilización en los planes de reforestación de los bosques del sur y suroeste de la Ciudad de México, la procedencia de oyamel del Cofre de Perote, Ver., porque toleró las altas concentraciones de ozono troposférico y fue la más resistente a la sequía, bajo condiciones de campo.

Por el contrario, la procedencia de Milpa Alta, D. F. no se recomienda para reforestar, bajo ninguna circunstancia, ya que fue la más susceptible al daño por ozono y la más sensible al frío. La del Nevado de Colima soporta ciertos daños por ozono, y ocupa el tercer lugar de tolerancia; sin embargo, es muy sensible a la sequía.

De forma complementaria a lo anterior, es conveniente señalar que la procedencia de Coatepec de Harinas, Edo. de Méx., mostró la mejor reacción al frío, no tolera la sequía y además ocupó el cuarto lugar en sensibilidad a las altas concentraciones de ozono registradas en el área de estudio, por lo que su uso o recomendación queda a criterio de los tomadores de decisión.

Finalmente, es importante resaltar que una alternativa para evitar la mortalidad de las plántulas de oyamel, después del trasplante en campo y a cielo abierto, es la utilización de plantas nodrizas, que podrían protegerlas durante el primer año de supervivencia y aclimatación, de tal manera que las plantas de oyamel se adapten paulatinamente a las inclemencias y condiciones críticas del lugar final de plantación.

## Conclusiones

El índice de daño por ozono, en el follaje de las 20 procedencias de pino y oyamel, indica que todas y cada una de ellas presentan un daño inducido por el ozono troposférico en mayor o menor grado. Asimismo, al paso del tiempo se agravaron los daños en el follaje de mayor edad de todas las procedencias bajo estudio.

El ozono afecta la coloración y la retención de las acículas de las 12 procedencias de *P. hartwegii*, el mismo efecto se observa en las hojas de las ocho procedencias de *A. religiosa*,

registered in the forests of the Valley of Mexico; however, this will never be known, since the cold and the lack of water and of soil moisture did not allow subsequent evaluation.

Most of the Sacred fir provenances did not survive the critical conditions, but, above all, they did not survive the low temperatures and the drought during the estimation period.

The *Cofre de Perote, Ver.*, provenance of Sacred fir is recommended with a high degree of certainty for use in the reforestation plans of the forests of southern and southwestern Mexico City because it proved to be tolerant to the current high concentrations of tropospheric ozone as well as to drought, both under field conditions.

*Milpa Alta, D. F.*, on the other hand, is not recommended for reforesting under any circumstances, as it was the provenance most susceptible to damage by ozone and the most sensitive to cold. *Nevado de Colima* can withstand certain damage due to ozone and occupies the third place in tolerance; however, it is highly sensitive to drought.

Furthermore, *Coatepec de Harinas, Edo. de Méx.*, was the provenance with the best reaction to cold; however, it does not tolerate drought and occupies the fourth place in sensitivity to high ozone concentrations registered in the study area; for this reason, its use or recommendation is left to the criterion of decision makers.

Finally, a noteworthy alternative that may prevent the mortality of Sacred fir seedlings after field and open-sky transplanting is the use of nurse plants for protection during their first year of survival and acclimation; this would allow the sacred fir plants to gradually adapt to the harshness and critical conditions of the final planting site.

## Conclusions

The index of foliar damage due to ozone in all 20 pine and sacred fir provenances indicates that each and all of these manifest damage induced by tropospheric ozone to a higher or lesser extent. Likewise, the damage became more serious in the foliage of the older plants in all the studied provenances.

Ozone affects needle coloring and retention in all 12 *P. hartwegii* provenances and leaf coloring and retention in the 8 *A. religiosa* provenances, regardless of the planting site of either species, both between and within the three altitudes above the sea level of the *Desierto de los Leones* park in the *Distrito Federal*.



independientemente del sitio de plantación de ambas especies, así como entre y dentro de las tres altitudes sobre el nivel del mar, del parque Desierto de los Leones, Distrito Federal.

La procedencia de *Pinus hartwegii* 198-99 del Nevado de Toluca, Edo. de Méx. y la de *Abies religiosa* del Cofre de Perote, Ver. fueron las más tolerantes a las concentraciones de ozono troposférico registradas en el Desierto de los Leones, D. F.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

Tomás Hernández Tejeda: definición de los objetivos específicos del estudio; integración de la información bibliográfica sobre la sensibilidad de los pinos y oyamel al ozono; participación en el establecimiento de las parcelas experimentales en campo y en la plantación de las 20 procedencias; evaluación y toma de datos en campo, análisis de la información obtenida y discusión de los resultados; elaboración de las conclusiones del estudio; Héctor Mario Benavides Meza: gestión de financiamiento para realizar los experimentos; integración del equipo de trabajo dentro del proyecto; dirección del proceso de establecimiento de las parcelas experimentales; coordinación de la plantación de las 20 procedencias de pino y oyamel y sugerencia del objetivo general de este estudio.

## Referencias

- Alvarado R., D. 1989. Declinación y muerte del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en el Sur del Valle de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Fitopatología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 78 p.
- Alvarado R., D., L. I. de Bauer and J. Galindo A. 1993. Decline of Sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico City. *Environmental Pollution* 80: 115-121.
- Alvarado R., D. and T. Hernández-Tejeda. 2002. Decline of Sacred fir in the Desierto de los Leones National Park. In: Fenn, M. E., L. I. de Bauer and T. Hernández-Tejeda (eds.). *Urban Air Pollution and Forests: Resources at risk in the Mexico City air basin*. Ecological Studies Series, Vol. 156. Springer-Verlag. New York, NY, USA. pp. 243-260.
- Álvarez, D., G. Laguna and I. Rosas. 1998. Macroscopic and microscopic symptoms in *Abies religiosa* exposed to ozone in a forest near Mexico City. *Environmental Pollution* 103:251-259.
- Bauer, L. I. de y T. Hernández-Tejeda. 1986. La contaminación: una amenaza para la vegetación en México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de Méx., México. 84 p.
- Bauer, L. I. de and T. Hernández-Tejeda. 2007. A review of ozone-induced effects on the forests of central Mexico. *Environmental Pollution* 147(3):446-453.
- Bauer, L. I. de, T. Hernández-Tejeda and W. J. Manning. 1985. Ozone causes needle injury and tree decline in *Pinus hartwegii* at high altitudes in the mountains around Mexico City. *Journal of Air Pollution Control Association* 35(8):838.
- Bauer, L. I. de, T. Hernández-Tejeda and J. M. Skelly. 2000. Air pollution problems in the forested areas of Mexico and Central America. In: Innes, J. L. and A. H. Haron (eds.). *Air pollution and the forests of developing and rapidly industrializing regions*. IUFRO Research Series, Vol. 5. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp 35-61.
- Bravo A., H. and R. Torres. 2002. Air pollution levels and trends in the Mexico City Metropolitan Area. In: Fenn, M. E., L. I. de Bauer and T. Hernández-Tejeda (eds.). *Urban air pollution and forests: resources at risk in the Mexico City Air Basin*. Ecological Studies Series, Vol. 156. Springer-Verlag. New York, NY, USA. pp. 121-159.
- González, A. y V. M. Sánchez. 1961. Los Parques Nacionales de México: Situación actual y problemas. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A. C. México. pp. 48-49, 94-95.
- Hernández-Tejeda, T. y L. I. de Bauer. 1982. Daño por gases oxidantes en pinos y avena, reconocimiento y evaluación en el Ajusco D. F. *Revista Chapingo* 33-34:19-28.
- Hernández-Tejeda, T. y L. I. de Bauer. 1984. Evolución del daño por gases oxidantes en *Pinus hartwegii* y *Pinus montezumae*, var. *lindleyi* en el Ajusco, D. F. *Agrociencia* 56:183-194.
- Hernández-Tejeda, T. y L. I. de Bauer. 1986. Photochemical oxidant damage on *Pinus hartwegii* at the Desierto de los Leones, D. F. *Phytopathology* 76(3):377.
- Hernández-Tejeda, T. y L. I. de Bauer. 1989. La supervivencia vegetal ante la contaminación atmosférica. Editorial Futura, S. A. Texcoco, Edo. de Méx., México. 79 p.
- Hernández-Tejeda, T. and C. Nieto de Pascual P. 1996. Effects of oxidant air pollution on *Pinus maximartinezii* Rzedowski in the Mexico City region. *Environmental Pollution* 92(1):79-83.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (Inegi). 2015. Número de vehículos de motor registrados en circulación en el Distrito Federal. <[http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general\\_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=13158](http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=13158)> (marzo de 2015).
- Jáuregui O., E. 2004. El clima de la Ciudad de México. Plaza y Valdés editores. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 131 p.

The most tolerant provenances to tropospheric ozone registered in *Desierto de los Leones*, D. F. were 198-99 *Nevado de Toluca*, Edo. de Méx., for *P. hartwegii*, and *Cofre de Perote*, Ver. for *Abies religiosa*.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

## Contribution by author

Tomás Hernández Tejeda: definition of the specific objectives of the study; compilation of bibliographic information on the sensitivity of pines and Sacred firs to ozone; participation in the establishment of field experimental plots and in the planting of trees from all 20 provenances; evaluation and in-field data collection; analysis of the obtained information and discussion of the results; development of the conclusions of the study; Héctor Mario Benavides Meza: management of the funding for carrying out the experiments; formation of the work team within the project; conduction of the process of establishing the experimental plots; coordination of the planting of trees from all 20 provenances of pines and sacred firs, and suggestion of the general objective of this study.

*End of the English version*



- Krupa, S. V. y L. I. de Bauer. 1976. La ciudad daña los pinos del Ajusco. *Revista Panagfa* 4(31):5-7.
- McLaughlin, S. B. 1985. Effects of air pollution on forests: A critical review. *Journal of the Air Pollution Control Association* 35(5):512-534.
- Middleton, J. T. and A. J. Haagen-Smit. 1961. The occurrence, distribution, and significance of photochemical air pollution in the United States, Canada, and Mexico. *Journal of Air Pollution Control Association* 11(3):129-134.
- Miller, P. R. 1973. Oxidant-induced community change in a mixed conifer forest. In: Naegele, J. A. (ed.). *Air pollution damage to vegetation*. American Chemical Society, Washington, DC, USA. *Advances in Chemistry Series* 122:101-117.
- Miller, P. R., L. I. de Bauer, A. Quevedo N. and T. Hernández-Tejeda. 1994. Comparison of ozone exposure characteristics in forested regions near Mexico City and Los Angeles. *Atmospheric Environment* 28(1):141-148.
- Miller, P. R., L. I. de Bauer and T. Hernández-Tejeda. 2002. Oxidant exposure and effects on pine forests in the Mexico City and Los Angeles, California air basins. In: Fenn, M. E., L. I. de Bauer and T. Hernández-Tejeda (eds.). *Urban Air Pollution and Forests: Resources at Risk in the Mexico City Air Basin*. *Ecological Studies* 156. -Verlag. New York, NY, USA. pp. 335-351.
- Rzedowski, J. 1978. *La vegetación de México*. Editorial Trillas, S. A. México, D. F., México. 357 p.

