



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

CIENCIAS AMBIENTALES

**DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE LA COPA DE *Abies religiosa*
Y SU VARIACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL ZOQUIAPAN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGA

P R E S E N T A

RODRÍGUEZ CAMPOS LOURDES

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ.

Octubre, 2013





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

“YO LO PREGUNTO”

“NIQUITOA”

Niquitoa ni Nezahualcóyotl:

*¿Cuix oc nelli nemohuá in
tlalticpac?*

An nochipa tlalticpac:

zan achica ye nican.

Tel ca chalchihuitl no xamani,

no teocuitlatl in tlapani,

no quetzalli poztequi.

An nochipa tlalticpac:

zan achica ye nican.

Yo Nezahualcóyotl lo pregunto:

*¿Acaso deberás se vive con raíz en
la tierra?*

No para siempre en la tierra:

sólo un poco aquí.

Aunque sea de jade se quiebra,

aunque sea de oro se rompe,

aunque sea plumaje de quetzal se

desgarra.

No para siempre en la tierra:

sólo un poco aquí.

NEZAHUALCÓYOTL

Cuando la sangre de tus venas retorne al mar

y el polvo de tus huesos vuelva al suelo

quizás recuerdes que esta tierra no te pertenece...

sino que TÚ perteneces a ésta tierra.

NATIVOS AMERICANOS

DEDICATORIA

Al señor Ramón Rodríguez Dolores y a la señora Clara Campos Piña, por ser los mejores padres del mundo, por estar siempre a mi lado, creer en mí y brindarme siempre su apoyo, sin ustedes nunca hubiera podido llegar a donde estoy; El amor, la admiración y el respeto que siento hacia ustedes nunca podría expresarlo con palabras, sólo sé que son las dos personas más importantes en mi vida. Gracias mamá y papá, porque nunca me dieron todo a manos llenas, en cambio me enseñaron a ganarme las cosas con mi propio esfuerzo.

A mis muchos hermanos y hermanas; Anastasia por ser mi segunda mamá y despertar en mí el deseo de aprender más, eres de las mujeres que más admiro ¿Sabes?; Eugenia por enseñarme a superarme a mí misma, esa manera de imponerte es algo muy admirable en ti, a Clara por darme ese pequeño toque de ingenuidad que tienes, pero sé que dentro de ti hay una mujer muy fuerte; Ángeles por el coraje de ser papá y mamá, y enseñarme que a pesar de las adversidades siempre debemos recibir la vida con una sonrisa; Ismael por ser el hombre recto y responsable que eres, gracias por todas esas platicas que hemos tenido; Héctor porque eres una persona muy valiente y me enseñaste a tomar riesgos, sin importar mis miedos o limitaciones. A todos GRACIAS por darme el mejor regalo del mundo mis niños y mis niñas.

A mis sobrinas y sobrinos; Hugo, Luis, Ian, Ana, Noé, Dany, Jaz, Monse, Diego, Johann, Jorge, Josué, Xitla y Saúl. Por ser la alegría de mi vida y no dejarme olvidar que algún día fui niña, porque me hicieron olvidar los momentos más difíciles y me regalaron una sonrisa, por su increíble capacidad de sorprenderme y mostrarme la pureza e inocencia de sus corazones, por permitirme estar a su lado y verlos crecer.

A mi cuñada y cuñados; Guadalupe, Roberto y Héctor, gracias por estar conmigo, formar parte de mi familia y mi vida, por brindarme su cariño.

A esta gran familia que tengo y que a pesar de que no siempre se los digo los ¡quiero mucho mucho!, si volviera a nacer pediría nacer en esta gran familia otra vez, porque sabría que mi hogar estaría siempre lleno de vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por la formación académica que recibí a través de sus docentes y darme la oportunidad de concluir mis estudios profesionales.

Al M. en C. Germán Calva Vásquez, por compartir conmigo sus experiencias, sus consejos, sus enseñanzas tanto profesionales como personales, por el apoyo incondicional y la confianza que ha puesto en mí. Por ser un excelente docente, pero además por brindarme su amistad. Es usted una persona al que admiro y respeto mucho, por tener esa calidad humana que pocos tienen. Sepa que si le digo señor, no es porque no respete al docente, sino que es una manera muy sutil de demostrarle mi aprecio.

A la Biól. María de los Ángeles Galván Villanueva, gracias por todos sus consejos y el apoyo que me ha dado, es usted una de las mejores docentes que tiene la facultad, disfrute mucho nuestras pláticas y a su lado he aprendido mucho, gracias por ser mi profesora.

A mis sinodales Biól. Elvia García Santos por ser una de las profesoras que me inspiró a seguir mi camino por las Ciencias Ambientales, a la M. en C. María Beatriz Martínez Rosales y al DR. Eloy Solano Camacho, a los tres gracias por el tiempo que se tomaron para revisar este trabajo y ayudar a mejorarlo.

A mis amigos y amigas que encontré en esta bonita facultad, Pilis, May, Mari, Inesita, Marielita, Nany, Lety, Arely, Ross, Saúl, Iván, Pedro y Juan, he tenido buenas y malas experiencias a su lado, en los momentos más difíciles nunca me dejaron sola, son las razones por las que no me arrepiento de haber seguido por este camino. Gracias por escucharme cuando lo necesite, por hacerme reír, por las comidas que compartimos, por el relax que armamos, por esas prácticas de campo, amig@s míos tengo mucho que agradecerles pero no me alcanzarían, ni las palabras, ni las hojas para hacerlo. Los quiero ¡mucho mucho!.

De nuevo a Pilis, May y Marielita, porque emprendieron conmigo este camino desde el principio, porque sin su ayuda este sueño no se hubiera hecho realidad, por ser las arañas que tanto quiero, por esos días en el Laboratorio de Contaminación Atmosférica que serán momentos que atesorare con mucho amor.

A l@s amig@s que conocí entre los pasillos de CCH-Sur, Diana, Ely, Jesy, Flor (Mateo), Alma, Paloma, Bere, Pancho y Toño, porque a pesar del tiempo y la distancia aún puedo contar con ustedes, por

compartir conmigo uno de los mejores momentos de mi vida. Por hacerme participe de sus logros, alegrías y tristezas, por esas tardes caminando Bulevar de la Luz o esos días comiendo helado con galletas en el nido, por todas esas locas anécdotas vividas a su lado gracias.

A mis amig@s de UNIVERSUM, los que se fueron, los que están y los que llegaron, Gabriel, Inesita (con esta experiencia juntas nuestra amistad se fortaleció) Angelina, Bety, Nik, Vicente, Héctor, Carmen y Cori, porque a pesar del poco tiempo de conocernos los he llegado apreciar mucho y juntos hemos aprendido la difícil (aunque hermosa) tarea de la divulgación de la ciencia, pero hemos disfrutado y gozado nuestra labor.

Por último gracias a ti, porque aunque te perdiste encontraste de nuevo el camino, porque tuviste de la capacidad de volver a levantarte y encontrar fuerzas cuando creías que ya no podías.



CONTENIDO

	Págs.
Resumen	
I Introducción.	1
II Antecedentes.	3
III Objetivos.	12
3.1 General.	12
3.2 Particular.	12
IV Hipótesis.	13
V Marco teórico.	14
5.1 Contaminación atmosférica.	14
5.1.1 Contaminación de la Cuenca de México.	15
5.2 Ecofisiología de la copa.	18
5.3 Decline forestal.	21
5.4 Monitoreo ecológico y censos forestales.	28
5.5 <i>Abies religiosa</i>	32
VI Zona de Estudio.	36
6.1 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas.	36
6.2 Hidrología.	36
6.3 Clima.	37
6.4 Suelo.	38
6.5 Vegetación.	38
VII Material y método.	39
7.1 Fase de gabinete.	39
7.2 Fase de campo.	39
7.3 Fase de laboratorio.	44
VIII Análisis de Resultados.	47
8.1 Condición de la copa de <i>Abies religiosa</i> en los rodales de 1997 (Cementerio) y 2012 (Huilapan, Vuelta Obscura, Cañada del Quesero).	47
8.2 Tipo de daño <i>Abies religiosa</i> en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Obscura, Cañada del Quesero).	57



8.2 Poblacional de <i>Abies religiosa</i> en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Obscura y Cañada del Quesero).	64
8.4 Categorías diamétricas de <i>Abies religiosa</i>	65
8.5 Paraje Huilapan.	68
8.6 Vuelta Obscura.	73
8.7 Cañada del Quesero.	78
IX Conclusiones.	90
X Literatura Citada.	91



CUADROS

Número		Págs.
1	Concentración de contaminantes de 1998 y 2010.	17
2	Cambios de porcentaje de retención de copa de 1997 al 2012 de <i>Abies religiosa</i>	48
3	Estudios de retención de copa del género <i>Abies</i> , <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	54
4	Porcentajes de árboles de <i>Abies religiosa</i> con retención de copa y tipo de daño en Huilapan, Estado de México.	69
5	Número de árboles de <i>Abies religiosa</i> con porcentaje de retención de copa y tipo de daño en Huilapan, Estado de México.	73
6	Porcentaje de árboles de <i>Abies religiosa</i> con retención de copa y tipo de daño en Vuelta Obscura, Estado de México.	74
7	Número de árboles de <i>Abies religiosa</i> con porcentaje de retención de copa y tipo de daño en Vuelta Obscura, Estado de México.	77
8	Porcentaje de árboles de <i>Abies religiosa</i> con retención de copa y tipos de daño en Cañada del Quesero, Estado de México.	79
9	Número de árboles de <i>Abies religiosa</i> con porcentaje de retención de copa y tipo de daño en Cañada del Quesero, Estado de México.	82
10	Porcentajes totales de retención de copa y tipo de daño de <i>Abies religiosa</i> de las tres zonas de estudio.	82



FIGURAS

Número		Págs.
1	Foto de la ciudad de México donde se muestra la capa de contaminantes sobre ella. ...	16
2	Resumen conceptual de las principales vías y mecanismos de respuesta de los ecosistemas forestales a la presión de contaminantes.	23
3	Efectos directos e indirectos de los aportes ácidos sobre los árboles.	25
4	Modelo de depósito de contaminantes gaseoso del aire y sus efectos en las plantas a distintos niveles de organización biológica.	27
5	Árbol en el Parque Nacional Zoquiapan que presenta clorosis en el follaje.	28
6	Bosque de oyamel del Parque Nacional Zoquiapan.	30
7	Distribución del género <i>Abies</i> en México, basado de Manzanilla 1974.	32
8	Presencia de neblina a las 13:00 horas en el bosque de oyamel del Parque Nacional Zoquiapan.	33
9	Yemas vegetativas de <i>Abies religiosa</i> en el Parque Nacional Zoquiapan.	34
10	Árbol de <i>Abies religiosa</i> en Parque Nacional Zoquiapan.	35
11	Ubicación del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas.	37
12	Ubicación de las zonas de estudio.	40
13	Método de muestreo por conglomerados.	41
14	Formato para la caracterización ecológica.	42
15	Formato de para la toma de datos del estrato arbóreo.	42
16	Medidas dasométricas para la evaluación del estado sanitario del arbolado.	43
17	Plantilla para el registro de tipo de daño y porcentaje de retención de copa.	44
18	Porcentaje de retención de copa de árboles juveniles de <i>Abies religiosa</i> en el rodal de 1997 (Cementerio, Estado de México).	49
19	Porcentaje de retención de copa de árboles juveniles de <i>Abies religiosa</i> en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero, Estado de México).	50
20	Porcentaje de retención de copa de árboles adultos de <i>Abies religiosa</i> en el rodal de 1997 (Cementerio, Estado de México).	51
21	Porcentaje de retención de copa de árboles adultos de <i>Abies religiosa</i> en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero, Estado de México).	52
22	Vista de los contaminantes del aire desde Carretera México-Puebla.	53
23	Follaje de brinzal con moteado clorótico; extracción de madera y apertura de claro. ...	56
24	Tipo de daño en árboles juveniles de <i>Abies religiosa</i> en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero).	58



25	Tipo de daño en árboles adultos de <i>Abies religiosa</i> en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero).	59
26	Oyamel adulto que presenta muerte ascendente en el Parque Nacional Zoquiapan.	60
27	Árbol muerto en pie; muerte ascendente; muerte lateral en árboles adultos de <i>Abies religiosa</i> en el Parque Nacional Zoquiapan.	62
28	Dendograma de tipo de daño en el rodal 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero, Estado de México).	63
29	Categorías diamétricas de <i>Abies religiosa</i> en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero, Estado de México).	66
30	Categorías diamétricas de <i>Abies religiosa</i> en el rodal 1997 (Cementerio, Estado de México).	67
31	Troncos de árboles adultos en el Parque Nacional Zoquiapan.	68
32	Panorama general del paraje Huilapan y condición de copa de los árboles adultos en el Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	69
33	Porcentaje de retención de copa de <i>Abies religiosa</i> en Huilapan del Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	70
34	<i>Baccharis conferta</i>	71
35	<i>Barkleyanthus salicifolius</i>	71
36	<i>Gnaphalium semiamplexicaule</i>	71
37	<i>Stipa ichu</i>	71
38	Tipo de daño en Huilapan, Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	72
39	Panorama general de Vuelta Oscura y condición de copa de los árboles adultos, Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	74
40	Porcentaje de retención de copa de <i>Abies religiosa</i> en Vuelta Oscura del Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	75
41	<i>Roldana lineolata</i>	76
42	<i>Alchemilla procumbens</i>	76
43	<i>Lupinus campestris</i>	76
44	<i>Penstemon gentianoides</i>	76
45	Tipo de daño de Vuelta Oscura, Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	77
46	Panorama de Cañada del Quesero y condición de copa de los árboles adultos, Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	78
47	Porcentaje de retención de copa de <i>Abies religiosa</i> en Cañada del Quesero en el Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	79
48	<i>Geranium potentifolium</i>	80
49	<i>Acaena elongata</i>	80



50	<i>Erigeron galeottii</i>	80
51	<i>Valeriana clematitis</i>	80
52	Tipo de daño de Cañada del Quesero, Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	81
53	Zonas Muestreadas.	83
54	Entrada de luz al sotobosque en paraje Huilapan, Estado de México.	84
55	Especies herbáceas y arbustivas dentro de un claro presente en Vuelta Oscura, Estado de México.	86
56	Entrada de luz a través de las copas de los árboles adultos en Cañada del Quesero, Estado de México.	87
57	Muerte ascendente de árboles adultos en el Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.	89



RESUMEN

La contaminación atmosférica generada en la Ciudad de México desde 1970 ha tenido efectos en las zonas forestales, en el caso de la Cuenca de México, la contaminación proveniente de las ciudades satélites, ha generado daños en los bosques que la rodean. Este trabajo tuvo como objetivo comparar los registros de copa de 1997 y 2012, para determinar la condición y cambios (retención y tipo de daño) de la copa, que han ocurrido en 15 años en el bosque de *Abies religiosa*. Se muestrearon 2.3 ha, en tres parcelas Paraje Huilapan, Vuelta Obscura y Cañada del Quesero en el Parque Nacional Zoquiapan del Estado de México, se utilizó el método de conglomerados (Sierra *et al.*, 1988; Labaú, 1993) y se tomaron las medidas dasométricas: diámetro basal (DB), altura de fuste, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura del árbol, diámetro de copa, porcentaje de retención de copa (%RC) y tipo de daño de acuerdo al patrón de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1984). Se encontró que hay una disminución en el porcentaje de retención de copa en un periodo de 15 años, así en 1997 la retención (CI-3 y CI-4) paso del 35% y 27% de frecuencia al 23% y 22% en 2012, respectivamente. Los árboles con menor retención de copa presentan mayor daño. El sitio con menor daño es Cañada del Quesero, la cual es más abrupta y esta poco expuesta a la carretera México-Puebla, también es la de menor densidad arbórea con 80 árboles, en contraste con Vuelta Obscura (166) y Huilapan (505), esté último es el de mayor daño. Las categorías diamétricas menores a 40 cm permiten conocer la escasa existencia de adultos y seniles en el bosque. La densidad arbórea en 2012 fue menor 751 árboles en 2.3 ha, en comparación con 1997 (950) en poco menos de una hectárea y menor a la de un bosque natural de *Abies religiosa* (556 árboles) (Manzanilla, 1974). Los árboles del muestreo 2012 registraron mortalidad ascendente, irregular y lateral, las cuales se asocian a daños provocados por contaminantes atmosféricos. Se concluye que para 1997 el daño en copa fue moderado pero para 2012 este daño es severo, presentando poca retención de copa, por lo tanto, este bosque se encuentra dañado, por presentar especies herbáceas y arbustivas, bajo este contexto se pone de manifiesto que los programas de control de emisiones de la cuenca (como por ejemplo el hoy no circula), no están disminuyendo las emisiones que se requieren para la conservación de los bosques que circundan a la ciudad de México.



I. INTRODUCCIÓN

La salud y la vitalidad de los ecosistemas forestales se convierte en un tema de gran preocupación pública con implicaciones políticas desde el comienzo de la década de los años setenta del siglo XX, debido a los extensos daños forestales observados en las zonas rurales de Europa Central como la defoliación, decoloración y pérdida de la productividad primaria, definido como decline forestal (De Vries *et al.*, 2003).

La contaminación del aire afecta la salud forestal a escala nacional e internacional, como se observó en los bosques europeos principalmente de Hungría, Suecia, Bélgica, Francia, Reino Unido, España, Italia, Norte América y Alemania (Hinrichsen, 1987), siendo este último el primero en generar acciones por la degradación del estado de salud del abeto en bosques como Selva Negra y Baviera, al detectar una población altamente declinada (Bonneau y Landmann, 1989). Pero no fue hasta 1983 y 1985 cuando comenzaron a implantarse redes de vigilancia, evaluando los daños en las copas, registrando dos principales síntomas, la defoliación y el amarillamiento de las hojas.

Una disminución en la fotosíntesis, provoca que los árboles carezcan de recursos para mantener las ramas más viejas y fuertes, ya que demandan un alto grado de suministro de fotosintatos. Como el daño es crónico y persistente en el follaje, el árbol recurre a la pérdida de éste para poder sobrevivir. Al estar limitados los árboles, estas ramas no pueden ser mantenidas y terminan muriendo dejando copas irregulares y poco pobladas (Villaseñor, 2011).

La emisión de gases y partículas impactan gradualmente las hojas y yemas de crecimiento, en 1994 del total de la superficie forestal se encontró un 35% dañado, con un 70% de retención en copa. En año 2000 del total de árboles censados, un 60% presentó una copa rala, por debajo del 50% de retención.



La estandarización de los registros de los daños en copa por parte de los inventarios forestales e instituciones de investigación no convergen en el muestreo y ha venido cambiando desde el siglo pasado, como es el caso de los bosques de la Cuenca de México, lo cual proporciona una información limitada, ya que obstaculiza la comparación de resultados de los inventarios para evaluar las tendencias a través del tiempo dificultando que México defina algún indicador de salud de sus bosques como lo solicita la COFAN (Comisión Forestal para Norteamérica), en el cual está adscrito desde 1996.

La pérdida de copa altera la estructura y productividad primaria del bosque, provoca erosión del suelo, altera el ciclo hidrológico, a su vez afecta la biodiversidad vegetal, la biomasa y la captura de carbono. Por lo tanto, no se conocen las condiciones reales de los bosques de la Cuenca, a través del tiempo y el espacio, y en especial la condición de la copa. Asimismo, los estudios realizados en el Parque Nacional Zoquiapan han sido escasos, por lo que se deben conocer los efectos que la contaminación de la Ciudad de México ha tenido sobre estos bosques para sugerir medidas preventivas y de desarrollo para mantener los bosques en buen estado de salud.



II. ANTECEDENTES

Con el fin de homologar técnicas de campo y sistematizar información en 1985, se establece el Programa de Cooperación Internacional para la Evaluación y Seguimiento de los Efectos de la Contaminación Atmosférica en los Bosques (ICP-Forests, por sus siglas en inglés). La Conferencia de Ministros celebrada en Estrasburgo en 1990, invitó a los países europeos a participar en un programa de seguimiento de los daños a ecosistemas forestales, de donde deriva el primer documento denominado Red de Seguimiento de Daños en los Montes (Red CE de Nivel I), también permitió localizar las zonas dañadas y seguir su evolución en Europa. Las anomalías climáticas de la última década determinó la importancia del clima como factor desencadenante de episodios del decline forestal. En 1994 se publicó el manual, Red de Nivel II, con el fin de caracterizar la masa forestal y su historia, el arbolado y su follaje, vegetación, suelo, clima, composición química del agua de lluvia, bajo el dosel de las copas y las aguas de drenaje. Enseguida se derivó el Reglamento Comunitario "Forest Focus", cuyo objetivo es el seguimiento de los efectos del cambio climático en los bosques, la gestión sustentable y la preservación de la biodiversidad forestal. A causa del deterioro y por el estado fitosanitario de los bosques de los países industrializados, atribuyendo como principal factor la contaminación atmosférica de 1970, agravándose en 1980.

En México el decline forestal se documentó en los bosques de oyamel del Parque Nacional Desierto de los Leones, posteriormente en Los Dinamos de Contreras y el Parque Nacional Cumbres del Ajusco, determinando que la especie más afectada es *Abies religiosa*, ya que la copa presentó pocas ramas vivas principalmente en la parte inferior, mostrando así una pérdida de retención de copa de 0 a 33% y colocados en las categorías de daños graves a muy graves en las 18 parcelas muestreadas durante dos años, esto a consecuencia de los altos niveles de ozono, dióxido de nitrógeno



y azufre, provenientes de los contaminantes industriales y vehiculares de la Ciudad de México (Alvarado, 1989).

Manzanilla (1974) realizó un trabajo en el bosque de oyamel, en las faldas de los volcanes Iztaccíhuatl, Popocatepetl, Nevado de Colima y el volcán de Colima, analizó 50 sitios con una superficie de 10.35 ha, registró ocho clases diamétricas de las cuales, la clase II (21-40) y III (41-60), fueron las de mayor frecuencia para el bosque en explotación, cuyas edades oscilan entre los 41-60 años.

Los bosques circundantes a la Cuenca de México, donde la especie dominante es *Abies religiosa*, han experimentado cambios en la estructura (distribución de edades, composición de los estratos, estructura de las copas, entre otros aspectos) debido a la contaminación por SO_2 y O_3 , que debilitan a los árboles, haciéndolos más susceptibles a otros factores como plagas y enfermedades (Sierra *et al.*, 1988).

Hernández y Bauer (1984) evaluaron durante dos años en El Ajusco, Distrito Federal, 22 sitios y 10 sitios en la carretera México-Cuernavaca, monitoreando el daño por gases oxidantes (O_3 , SO_2 , NO_x) en *Pinus hartwegii* y *Pinus moctezumae* var. *lindleyi*, *Pinus hartwegii* presentó daño de moderado a muy severo, mientras que, en *Pinus moctezumae* var. *lindleyi*, fue de moderado a severo. Concluyen que la defoliación prematura, el moteado clorótico de las agujas y la pérdida progresiva del vigor de copa en El Ajusco, se debió principalmente al ozono, por otra parte, en el transecto México-Cuernavaca, el daño de los pinos es menor conforme es mayor la distancia entre la ciudad y los árboles.

Alvarado *et al.* (1993) determinaron en el Parque Nacional Desierto de los Leones (PN DDL), que los árboles expuestos a las masas de aire provenientes de la Ciudad de México, estaban severamente dañados, esto a través de un análisis químico de las hojas dañadas y cortes histológicos, también examinaron los anillos de crecimiento, encontrando una disminución del ancho en los últimos 30 años, concluyen que la contaminación de la Ciudad de México puede ser la causa principal del



decline de *Abies religiosa*, por otro lado, el papel de factores como plagas, enfermedades y extracción de agua aceleran el proceso de decline.

Nieto de Pascual (1995) realizó un estudio sinecológico del bosque de oyamel, en Magdalena Contreras, Distrito Federal, registró una densidad de 265 árboles en 1000 m², con una altura máxima de 35 m, con coberturas de copa reducida y concluye con los registros de Manzanilla (1974) de un bosque virgen al no presentar árboles dominantes, las categorías diamétricas muestran un aumento en los niveles medios y no en los extremos, más de la mitad de los árboles gozan de buena salud (53%) y los que se encuentran dañados, se asocian frecuentemente con contaminantes atmosféricos, como el ozono.

Market *et al.* (1997) mencionaron que la tasa fotosintética no es igual a lo largo de la copa de *Picea abies* siendo mayor a la mitad de la copa (44%) y menor (38%) en la base, por lo que, es importante que la copa conserve su arquitectura original para mantener su productividad. Cuando se van perdiendo las hojas y ramas se van formando espacios en la misma (Dubrasich *et al.*, 1997), provocando una disminución de la tasa fotosintética y en la productividad primaria del bosque.

De Vries *et al.* (2000a) analizaron la condición de la copa en bosques de Europa, proponiendo una serie de hipótesis, en relación con la respuesta que tienen a diferentes factores de estrés; naturales (temperatura, sequias, enfermedades, plagas, composición química del suelo, entre otros) y antrópica (contaminación atmosférica por O₃, SO_x, NO_x, NH_x). Utilizaron la base de datos de 10 años de monitoreo Pan-Europeo, determinando las tendencias y cambios en la defoliación de cinco especies *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. ilex*, las cuales muestran una defoliación anual de 5% al 15%, principalmente en Europa Central, concluyeron que la contaminación atmosférica tiene un efecto significativo en la defoliación de la copa, aunado con otros factores de estrés se potencializa el daño provocando un decline forestal.



Van Leeuwen *et al.* (2000) evaluaron los factores de estrés, utilizaron cinco especies arbóreas: *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Quercus ilex*, *Q. robur*, *Q. petraea* y *Fagus sylvatica*. En el estrés meteorológico (estrés natural) se eligió la temperatura (frío, heladas y temperaturas altas) y los periodos de sequia. En estrés por temperatura se tomaron en cuenta el índice de invierno, calor, verano y las heladas tardías, todas se calcularon con las temperaturas máximas y mínimas para cada periodo, mientras que, el estrés por sequia se calculó mediante la transpiración relativa a través de la ecuación de Penman-Monteith o el modelo de Gash. Para la contaminación atmosférica (estrés antrópico), utilizaron los registros de concentración y deposito de SO₂, NO₂, NH₃ y O₃, como de bases catiónicas Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ y K⁺. Los resultados de los índices calculados muestran que las regiones más frías son las del norte y las más cálidas del sur. El cálculo de la transpiración relativa muestra que *Quercus ilex* es la especie más afectada, al arrojar una reducción del más del 50% de transpiración. La mayoría de los contaminantes con alta concentración se encuentran en Europa Central, afectando a especies como *Fagus sylvatica* y *Quercus robur*, por último, el depósito de las bases catiónicas es mayor en las zonas costeras, por su cercanía con el mar. Concluyen que la contaminación del aire puede aumentar la aparición de estrés natural (meteorológicos) y puede dañar la copa de los árboles, por la exposición de las hojas a concentraciones elevadas de O₃, SO₂, NO₂ y NH₃, o por la exposición de las raíces a las concentraciones de aluminio o de amonio, como resultado de la deposición de compuestos de azufre y nitrógeno reducido y oxidado, el depósito de bases catiónicas es importante por su capacidad de neutralizar el ácido y por ser nutrimentos importantes para los ecosistemas.

De Vries *et al.* (2000b) midieron la concentración de SO₂, NO₂, NH₃ y O₃, el depósito de N y la acidificación del suelo por S y N. Los resultados revelaron que las cargas críticas de SO₂ tienen una elevada concentración (20 µg m⁻³) en 20% de las parcelas permanentes, mientras que, el 10% de ellas es mayor a 30 µg m⁻³ y el 5% a 40 µg m⁻³, para el caso de NO₂ y NH₃ su concentración fue de 30 µg m⁻³ y 8 µg m⁻³ respectivamente. La concentración de las cargas críticas de O₃ (40 ppb) se excedió en



todas las parcelas de las especies de hoja caduca *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Q. petraea*, y *Q. ilex*; para las coníferas *Pinus sylvestris* y *Picea abies*, sólo en el 80% de las parcelas se exceden las cargas críticas. El depósito de N se encuentra entre 100 y 1000 mol_c ha⁻¹, sobre todo en el centro y occidente de Europa. Por último, la acidificación del suelo varía entre 1000 y 8000 mol_c ha⁻¹ en 42% de las parcelas. Concluyen que estas altas concentraciones de contaminantes pueden estar relacionadas con cambios en la vegetación, sobre todo del sotobosque, por otro lado, provoca desequilibrios nutrimentales, mayor susceptibilidad a la sequía, heladas, enfermedades y plagas.

Klap *et al.* (2000) relacionaron los datos de la condición de la copa con diversos factores de estrés, utilizando un modelo de regresión múltiple, describen los datos de la condición de la copa como variables de repuesta, mientras que, las variables predictoras son el estrés ambiental y las características del lugar. Los resultados del análisis estadístico indican que al incluir las características de las regiones en un modelo estadístico es significativo, ya que los valores de defoliación de 1995 muestran cambios que coinciden con las fronteras estatales de Europa, al igual que la edad, la sequía y los contaminantes, son variables predictoras importantes, puesto que el estrés acumulativo (natural o antrópico) dará lugar a un mayor grado de defoliación, llegan a la conclusión que el depósito de O₃, NO_x, SO_x y depósito ácido, tienen grandes efectos en la condición de la copa y que si bien las condiciones naturales de un bosque varían, si se continúa emitiendo contaminantes a la atmósfera contribuirá aun más a la pérdida de masas forestales a largo plazo.

Pérez (2000) evaluó el estado de salud de *Abies religiosa* en los Parques Nacionales Iztapopo y El Chico, a través del patrón de retención de copa de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), determinó las categorías diamétricas y la cuantificación del depósito de iones sulfatos (SO₄²⁻), cloruros (Cl⁻) y nitratos (NO₃⁻). Los resultados de porcentaje de retención de copa muestran que los oyameles presentes en Iztapopo retienen el 50% de su copa, mientras que, El Chico el 75%, en cuanto a las categorías diamétricas los árboles de la clase diamétrica I (0-10 cm de diámetro



normal) son los más frecuentes en ambas zonas. El menor depósito iónico de SO_4^{2-} (30 ppm) y NO_3^- (50 ppm) se encuentre en Iztapopo y el mayor en El Chico SO_4^{2-} (90 ppm) y NO_3^- (140 ppm). Concluye que con la evaluación del estado de la copa, el bosque de *Abies religiosa* del Parque Nacional Iztapopo es el menos vigoroso, a pesar de que el mayor depósito de sulfuros y nitratos fuera para El Chico.

La superficie de 771 014 ha (Melo, 1987) de selvas y bosques de México sólo ocupan un 0.38% del total de la República, de está la superficie del bosque templado (pino-oyamel) se redujo en los últimos años de 110 000 a 96 000 ha, reporte de Mastache (2001). Una de las hipótesis de reducción de la masa forestal es debido al decline forestal propuesta desde 1970 por estudios realizados por diferentes autores como: Bauer (1972), Hernández (1984), Cibrán (1989), Sierra *et al.*, (1988), Vázquez (1987) y Alvarado *et al.* (1993).

La última evaluación de la tasa de deforestación corresponde al informe que México envió a la FAO para la evaluación de los recursos forestales 2005, para lo cual la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) decidió utilizar exclusivamente fuentes de datos homogéneas (Carta de Vegetación y Uso Actual del suelo Serie II y una versión entonces preliminar de la Carta de Vegetación y Uso Actual del suelo Serie III). La estimación de la tasa de deforestación entre 1990 y 2000 es de 351 445 ha/año, considerando únicamente bosques y selvas.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el 2005 publicó el manual de Indicadores básicos del desempeño ambiental de México a fin describir el estado de un ecosistema o área de conservación. En él se muestran una serie de parámetros que nos permiten evaluar las condiciones ambientales. Los indicadores consideran ocho temas (atmósfera, agua, suelo, residuos sólidos municipales, residuos peligrosos, biodiversidad, recursos forestales y recursos pesqueros), los indicadores de presión (tienen como objeto los efectos que ejercen las actividades humanas sobre el ambiente y los recursos naturales), estado (se refieren a las condiciones en las que se encuentra el ambiente y los recursos naturales, debido a las actividades antrópicas) y la respuesta



programas que realiza la sociedad, instituciones o gobierno, orientados a la reducción o mitigación de la degradación del medio ambiente, que permitan su conservación y aprovechamiento sustentable.

El tema de recursos forestales, tiene cinco indicadores de presión: cambio de uso de suelo, extracción de productos forestales maderables y no maderables, incendios forestales, plagas forestales y tala ilegal. En cuanto a indicadores de estado se mencionan la extensión de los bosques y selvas. Los indicadores de respuesta sugieren las plantaciones forestales comerciales, manejo forestal sustentable, tratamiento de plagas forestales, reforestación e inspecciones forestales.

En lo que se refiere a la calidad del aire se manejan dos indicadores de presión: consumo de combustibles fósiles y emisión de contaminantes. Para indicadores de estado sólo se toma en consideración las concentraciones de contaminantes, y de respuesta proponen monitoreo de la calidad del aire, inversión en el abatimiento y control de la contaminación del aire, combustibles mejorados y por último programas para mejorar la calidad del aire como Proaires.

González (2005) evaluó el decline forestal en tres zonas: Parque Nacional Desierto de los Leones (Distrito Federal), Cerro Tláloc (Estado de México) y Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (Michoacán), y por su ubicación geográfica y mayor exposición al ozono, seleccionó el bosque de *Abies religiosa*. Estableció el contenido de materia orgánica (5%, para los tres bosques) y nutrimental (Ca, Mg, Mn, en suelo y Ca, P, K, Mg, Mn, en el follaje), utilizando indicadores ambientales de retención de copa, porcentaje de copa viva y área basal, determinando que en las tres zonas, los árboles dominantes tienen el mayor aporte de área basal que los suprimidos o codominados. La exposición al ozono fue mayor en el Desierto de los Leones en un rango de 0.0042 a 0.0322 ppm, en la Reserva 0.0029 a 0.030 ppm y en Tláloc fue de 0.0015 a 0.0239 ppm, en promedio para el DDL la exposición fue frecuente durante el estudio, lo que causa lesiones en el follaje, el sistema radicular y contribuye a la disminución del vigor, concluyendo que la altitud, exposición de ozono y el contenido de Ca, Mg y Mn del follaje,



están relacionados con la caída de las hojas, el porcentaje de copa viva y el vigor del arbolado, siendo variables sensibles y útiles como indicadores de decline forestal.

Rosas *et al.* (2006) en un Informe sobre la calidad del aire y su relación con el bosque en la Cuenca de México, describen algunas fuentes de emisión de contaminantes, reacciones químicas de formación de contaminantes secundarios como el ozono, descripción de sitios de muestreo, entre otras cuestiones. En la segunda parte, considera los indicadores de salud del bosque, en el Parque Insurgentes Miguel Hidalgo y Costilla, y en Parque Nacional Desierto de los Leones, compara el bosque de *Abies religiosa* en ambas zonas, concluyeron que el Parque Miguel Hidalgo se encuentra mejor conservado, a diferencia del Parque Nacional Desierto de los Leones, que registra el daño visible en el follaje no sólo de *Abies religiosa*, si no de otras especies como *Buddleia cordata* y *Baccharis conferta*, determinó la estructura y los cambios celulares de las hojas, encontrando acumulación de taninos en las células del parénquima empalizada y esponjoso en *Abies religiosa*, mientras que, para *Buddleia cordata* los daños se localizaron en los márgenes de las hojas y la epidermis, para *Baccharis conferta* el daño esta principalmente en el mesofilo. Llegan a la conclusión de que este daño es causado por las concentraciones altas de ozono en el ambiente.

Rivera *et al.* (2006) estudiaron el estado nutrimental de *Abies religiosa* en el Parque Nacional Desierto de los Leones, relacionado con el grado de clorosis y enrojecimiento del follaje, seleccionaron muestras de follaje de aproximadamente 1.5 años de edad con diferentes grados de síntomas (clorosis y enrojecimiento) determinaron lo siguientes nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn y Mn. Concluyen que existe una relación inversa entre las concentraciones de N, P y K y el grado de clorosis, las deficiencias de K, Mg y Mn son generalizados en el follaje maduro, tanto en clorosis como en bronceado y una deficiencia de la mayoría de los nutrimentos encontrados para el follaje bronceado, sugieren que los desórdenes nutrimentales encontrados son causados por la presencia de contaminantes atmosféricos.



Chavarría (2007) evaluó el estado de salud del bosque de oyamel y pino en diferentes sitios de exposición a los vientos (norte, noreste, sur, sureste) en el Parque Nacional Iztapopocatepetl, utilizando indicadores de salud como retención de copa, defoliación, categorías diamétricas y tipo de daño (mortalidad irregular, ascendente, descendente, lateral) entre 1997 y 2004. Sus resultados indicaron que existe una disminución en la densidad arbórea de 1997 al 2004, el porcentaje de retención de copa con mayor presencia en todos los sitios, así como en ambos años fue el de 25%, aunque en el año 2004 presenta más árboles con 100% (15.2%). El tipo de mortalidad de mayor proporción para ambos años y todos los sitios fue de muerte ascendente. En 1997 se caracteriza por la distribución de diámetros que va de 1 a 24 cm, mientras que, en el año 2004 el diámetro va de 10 cm a 95 cm. Concluye que de acuerdo a los indicadores de salud este bosque tiene daño severo y se encuentra en decline, además de que los sitios de muestreo presentan cambios estructurales, ya que sobresalen la etapas juveniles en comparación con los adultos y seniles, lo que limita su continuidad y establecimiento.



III. OBJETIVOS

3.1 GENERAL:

- ❖ Comparar los registros del monitoreo ecológico del año 1997 con el de 2012, para determinar la condición de la copa y los cambios (retención y tipo de daño) que han ocurrido en 15 años en el bosque de oyamel del Parque Nacional Zoquiapan.

3.2 PARTICULARES:

- ❖ Determinar e identificar la condición de la copa de *Abies religiosa* en la zona de estudio.
- ❖ Caracterizar y analizar los estados de daño de la copa.
- ❖ Caracterizar la poblacional de *Abies religiosa* de los parajes Vuelta Oscura, Huilapan y Cañada el Quesero del Parque Nacional Zoquiapan.
- ❖ Establecer las categorías diamétricas predominantes en el bosque de los parajes Vuelta Oscura, Huilapan y Cañada el Quesero del Parque Nacional Zoquiapan.



IV. HIPÓTESIS

Si la contaminación del aire de 1990 con bajo control de emisiones, produjo un daño en la condición de la copa de los bosques de oyamel en el Parque Nacional Zoquiapan que causaron clorosis, defoliación y muerte prematura de ramas, entonces, actualmente los programas de reducción en la emisión de contaminantes del aire atenúan el daño en la copa de *Abies religiosa*.



V. MARCO TEÓRICO

5.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés, 2001) refiere que de manera natural la atmósfera, está compuesta principalmente por nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y argón (Ar) principalmente, pero también tiene otros gases en concentraciones más bajas como el vapor de agua (H_2O), ozono (O_3), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nítrico (N_2O). A consecuencia de las actividades humanas, se ha alterado el balance natural de su composición, encontrándose ahora otros compuestos que no se presentaban de manera natural.

Wark y Warner (1994) definen a la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que puedan afectar la vida en general. Causado por el aumento vehicular, industrial, el rápido crecimiento poblacional y excesivos patrones de consumo, que emiten a la atmósfera partículas, gases tóxicos y otros agentes contaminantes. Estos son factores que han propiciado la sobreexplotación de los recursos naturales y la degradación ambiental (Environment Canadá, 2003 y PNUMA, 2003).

Smith (1990) la definen como “materiales (sólidos, líquidos y gaseosos) presentes en la troposfera en concentraciones superiores a las normales”. Sus fuentes son tanto naturales (erupciones geotérmicas, incendios forestales, partículas de origen biótico, microorganismos, virus, entre otros.) como antrópicas (combustión, actividades industriales), metales pesados, sales inorgánicas (sulfatos, nitratos, cloruros, compuestos de amonio y orgánicos, en forma de partículas y contaminantes gaseosos, tales como óxidos de nitrógeno, azufre y carbono, ozono, haluros, compuestos PAN (peroxiacilnitratos)).



5.1.1 CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DE MÉXICO

La cuenca de México abarca 116 municipios, en el Estado de México 56 municipios, Hidalgo 39 y Tlaxcala cuatro, así como las 16 delegaciones del Distrito Federal, tiene una superficie total de 16,320 km² se encuentra rodeada en tres de sus lados por una sucesión de sierras volcánicas de más de 3500 m (El Ajusco hacia el sur, la Sierra Nevada hacia el oriente y la Sierra de las Cruces hacia el poniente). Hacia el norte se encuentra, limitada por una sucesión de sierras y cerros de poca elevación (Los Pitos, Tepetzotlán, Patlachique, Santa Catarina, y otros). Los picos más altos (Popocatepetl e Iztaccíhuatl, con una altitud de 5465 y 5230 m, respectivamente) se encuentran al sureste de la cuenca (Ezcurra, 1996).

La cuenca se localiza en el Eje Volcánico Transversal, una formación del Terciario tardío, de 20 a 70 km de ancho, que atraviesa la República Mexicana desde el Pacífico hasta el Atlántico en una dirección este-oeste (Mosser, 1987).

Las temperaturas medias anuales en el fondo de la cuenca son de aproximadamente 15 °C, con una amplitud de 8°C entre las medias de verano e invierno. Las heladas nocturnas durante el invierno ocurren en casi toda la cuenca, y su frecuencia tiende a aumentar considerablemente con la elevación y la aridez (Jáuregui, 1987). La calidad del aire de la Cuenca depende en gran medida de las emisiones de contaminantes que se generen en ella, esto es consecuencia del crecimiento poblacional que impulsaron las actividades urbanas e industriales a partir de los años cuarenta del siglo pasado.

Por lo que se trata de un territorio con varios problemas ambientales de difícil solución por la enorme presión antrópica ejercida sobre los recursos naturales por una de las más grandes metrópolis del mundo, la Ciudad de México (Figura 1). La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) cuya población rebasa los veinte millones de habitantes, por su posición latitudinal la radiación solar en la ZMVM es intensa, lo que acelera reacciones fotoquímicas de contaminantes en la atmósfera como el ozono y las partículas suspendidas.



La cadena montañosa que la rodea propicia el estancamiento de contaminantes. Asimismo, debido a su altitud (2 240 m), el contenido de oxígeno en el aire es aproximadamente 23% menor en nivel del mar (Molina, 2002), lo cual ocasiona que los procesos de combustión sean menos eficientes. Uno de los factores importantes de la contaminación atmosférica es el viento, ya que la corriente de aire penetra a la cuenca por la zona norte donde el terreno es más plano, pero dependiendo de la época del año, existe una segunda entrada por la región noroeste e incluso, pueden entrar desplazándose de sur a norte.

Una de las principales fuentes de contaminantes en la cuenca son las industrias que se localizan alrededor de ella y la carga de parque vehicular que registra la ZMVM, según el Inventario de Emisiones 2010, este parque vehicular tienen aproximadamente 5 millones de vehículos, de los cuales 57% corresponden al Distrito Federal y el 43% al Estado de México. Por otro lado, en 1998 este parque vehicular era de 3 millones de vehículos, de los cuales el 65% pertenecía al Distrito Federal y 35% al Estado de México.



La Secretaría del Medio Ambiente en el 2009 (SMA) informa que las fuentes móviles contribuyen principalmente con los siguientes contaminantes del aire: 84% de óxidos de nitrógeno (NOx), 99% de monóxido de carbono (CO), y 52% de óxidos de azufre (SO₂) y partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}), lo que indicaría que el transporte vierte a la atmósfera grandes cantidades de gases y material particulado.

Con base en los datos del Censo Económico del año 2010, se registran más de 79 mil industrias, las cuales son fuentes de contaminantes. Estas industrias generan 136 mil toneladas al año de compuestos orgánicos volátiles, seguidos por los óxidos de nitrógeno con una emisión de aproximadamente 14 mil toneladas al año, y por el dióxido de azufre con más de 7 mil toneladas anuales, que representan el 91% de las emisiones totales de la ZMVM.

Las industrias registradas en 1998 fueron 6 233, este conjunto industrial emitía a la atmósfera alrededor de 76 000 toneladas de contaminantes al año, de las cuales el 36% eran de NOx, el 32% de HC, 16% de SO₂, 12% de CO y el restante 4% de PM₁₀.

El inventario de emisiones realizado en el 1998 y 2010 en la ZMVM, se resume en el siguiente cuadro, en el cual se encuentran los principales contaminantes, emitidos a la atmósfera, así como la concentración máxima de ozono y el pH de la lluvia acida.

Cuadro 1.- Concentración de contaminantes de 1998 y 2010.

Contaminante	Año	
	1998 ton/año	2010 ton/año
SO ₂	22,466	8.115
CO	1,768,836	1,617,512
NOx	205,885	209,826
HC	475,021	950,635
PM ₁₀	198,89	31,095
PM _{2.5}		9,247
NH ₃		41,845
Lluvia acida	pH= 4.73-4.48	pH= 4.09-5.1
O ₃	0.78 m	0.08 pm



Asímismo, en el informe de la calidad de aire de la Ciudad de México 2010, el depósito húmedo indica que los iones nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), amonio (NH_4^+) y calcio (Ca^{2+}), son los más abundantes. Mientras que, el cloruro (Cl^-), potasio (K^+), sodio (Na^+) y magnesio (Mg^{2+}) se encuentran en menor concentración.

Los iones sulfato y nitrato tienen su origen en la quema de combustibles fósiles, mientras que el amonio es emitido por fuentes biogénicas. En el caso de los iones cloruro, sodio, calcio y magnesio, se asocian principalmente al polvo levantado del suelo por el viento, mientras que, el potasio está directamente relacionado con la quema de biomasa. Hay que mencionar que por la cercanía con el lago de Texcoco el aporte de estos iones puede ser mayor.

Durante la temporada de lluvia del 2010, sobre el suelo de conservación se registró un depósito acumulado de 14.4 a 20.0 kg/ha de nitrato, mientras que en el caso de sulfato fue de entre 15.3 y 19.9 kg/ha. Para el amonio, los valores en el suelo de conservación se encuentran entre 8.7 y 11.0 kg/ha.

5.2 ECOFISIOLOGÍA DE LA COPA

La copa de un árbol es aquella porción del tallo que está formada por las partes superiores de ramas principales con hojas. La conformación general de la corona de cada árbol depende de la especie, su variedad, edad, composición, densidad y localidad en la cual está creciendo. Se ha demostrado que existe una relación entre el diámetro de la corona y el diámetro del tronco a la altura de pecho y que la relación no es la misma para todas las localidades y regiones.

El diámetro de la copa refleja la dimensión del aparato fotosintético del árbol que está directamente relacionado con su capacidad de crecimiento, su dasometría brinda una idea de las relaciones interdimensionales, el espacio vertical ocupado por cada árbol, el grado de competencia, la estabilidad, vitalidad y productividad de cada individuo en el rodal (Durló y Denardi, 1998).



El diámetro de la copa es una variable básica para la deducción de otras características de los árboles. La información dada contribuye a la investigación de varios atributos clave de los ecosistemas forestales, entre ellos la biodiversidad, productividad primaria, sostenibilidad y vida silvestre. Por lo que mientras más alto sea el porcentaje de la copa, más vital y productivo, será el bosque (Durlo y Denardi, 1998).

El vigor de los árboles en aéreas de masa regular dentro de una localidad, puede ser determinado por el ordenamiento de la ubicación de la corona. El siguiente es una clasificación de la ubicación de la corona basada en cinco tipos utilizada frecuentemente en la práctica forestal (Kozlowski, 1971).

Dominante árboles con coronas que se extienden sobre el nivel general de las copas y reciben luz directa vertical y parcialmente de los costados que el promedio de los árboles en la localidad. Los árboles dominantes son más grandes y más vigoroso que los árboles promedio del rodal con coronas bien desarrolladas pero en algunos casos algo apretados lateralmente.

Codominante árboles cuyas coronas forman el nivel general de las copas reciben luz vertical directa pero comparativamente menor de los laterales, normalmente tienen coronas con un tamaño medio que están más o menos apretados lateralmente.

Intermedios árboles menores que los de las dos clases precedentes pero con coronas que se encuentran por debajo o se extienden dentro de la copa formada por los árboles dominantes y codominantes, reciben poca luz directa desde arriba y ninguna de los laterales; normalmente sus coronas son pequeñas y se encuentran considerablemente apretadas lateralmente.

Dominados árboles que tienen sus coronas completamente por debajo del nivel general de la copa o corona, no reciben luz directa vertical ni lateral. Este término es sinónimo de suprimido, pero no hay que confundirlos con los árboles más jóvenes que están en el sotobosque de una localidad y no compiten con una masa arbórea.



Crecimiento libre en localidades no trabajadas, para obtener una mejor definición, a veces puede ser necesaria esta clase. Incluye árboles con coronas grandes y bien expandidas que han crecido como resultado de las condiciones de desarrollo libre durante gran parte de su vida arbórea (Harold y Hocker, 1984).

La copa es uno de los componentes de la productividad primaria neta y sus dimensiones reflejan la salud del árbol en general. Copas grandes y densas están asociadas con tasas de crecimiento potencial, copas pequeñas y dispersas, sugieren condiciones desfavorables (tales como la competencia de otros árboles, la falta de humedad, o exceso de la misma) u otros factores (como la defoliación de insectos, enfermedades del follaje o las tormentas de granizo). Tiene funciones fisiológicas como la intercepción de luz solar, la fotosíntesis, la respiración y la evotranspiración, tales funciones son parte del sistema aire-planta-suelo, en donde se integran los factores necesarios y en consecuencia limitantes, para el crecimiento arbóreo, tales como, luz solar, agua, nutrimentos, temperaturas, oxígeno y dióxido de carbono, las cuales deben estar disponibles para el árbol en la forma y ubicación adecuada, resultando en el crecimiento del árbol (Chadwick *et al.*, 1990 en Pérez, 2000).

Las hojas de la copa reciben distinta intensidad de radiación según su posición con respecto a la radiación incidente y su situación en la copa. Para ello tienen gran influencia la forma de la copa y la densidad del follaje. Estas particularidades de la copa determinan un gradiente de radiación característico que va perdiendo intensidad desde el exterior hasta el interior de la copa (Larcher, 1977).

Las hojas de sol se caracterizan por mantener la fotosíntesis cuando existe un exceso de luz, por otro lado las de sombra, pueden supervivir naturalmente y mostrar una fotosíntesis neta con muy poca luz, presentan una epidermis más fina, más espacios intercelulares y parénquima esponjoso. Cuando las hojas de sombra se exponen repentinamente a la luz total, como sucede después de una apertura parcial en el dosel, frecuentemente son incapaces de supervivir, esto puede deberse a la pérdida de humedad y al exceso de luz que llega a los cloroplastos (Stephen y Burton, 1984).



El follaje puede absorber agua abasteciéndose de rocío, la lluvia o la niebla, aunque la mayor fuente de agua es la que puede absorber del suelo, el movimiento del aire regula en gran medida la evotranspiración de las superficies de las hojas, disminuyendo el grosor de la capa límite e incrementando el intercambio gaseoso. Así el viento ejerce una influencia sobre el régimen de agua de la planta y al mismo tiempo ayuda a perder calor, lo cual influye en la temperatura presente debajo del dosel, el viento también hace circular pequeñas cantidades de dióxido de carbono hacia la superficie de las hojas, así como sales e incluso contaminantes atmosféricos que pueden dañar el follaje.

5.3 DECLINE FORESTAL

Antes de definir que es el decline forestal, se debe considerar que es un bosque saludable, Ciesla y Donaubauer (1994) indican que un bosque está saludable cuando los factores bióticos y abióticos, no afectan o pongan en riesgo el manejo de los recursos en el presente, ni para las futuras generaciones. Muchos de los factores que afectan la vitalidad de los bosques incluyen, el clima, suelo, humedad disponible, prácticas de manejo, incendios, insectos y enfermedades. La salud de un bosque es dinámica, por lo tanto, se deben seleccionar indicadores capaces de monitorear los cambios en la salud del ecosistema en el tiempo.

Por otro lado, Ciesla (1989) define a la declinación forestal como el deterioro gradual de la condición y vigor de los árboles que finalmente los conducen a la muerte y señala que los síntomas son varios, incluyendo una reducción del crecimiento, degeneración de los sistemas radicales, presencia de clorosis en el follaje, reducción de las reservas fotosintéticas, mortalidad de brotes y ramas, y el incremento de la incidencia de ataques de insectos. El término decline forestal para Bartuska (1990), es usado para referir a la disminución general de la salud y vigor, provocada por una interacción compleja de factores bióticos como abióticos, que aumenta la mortalidad de los árboles en una región geográfica determinada.



Otros autores coinciden en que el decline forestal consiste en la pérdida del vigor del arbolado, expresado en un amplio rango de síntomas, incluyendo defoliación o follaje anormal, reducción de crecimiento, disminución del follaje, rompimiento de las ramas, ramillas y enfermedades sucesivas hasta llegar a la muerte de los árboles en un periodo más corto de lo normal (Carnier, 1986; Granados *et al.*, 2001), propiciando la entrada posterior de plagas, enfermedades u otros agentes que pueden desequilibrar el ecosistema forestal.

Schutt y Cowling (1985, en Chavarria, 2007) describen tres tipos de síntomas que presentan los boques con decline:

a) Pérdida de biomasa foliar, se incrementa la transparencia de la copa en especies de gimnospermas y angiospermas; se observa pérdida de biomasa foliar que conduce a una disminución del proceso de fotosíntesis (la altura y el crecimiento del diámetro) y otras funciones vitales.

b) La disminución de entrada de nutrimentos a la biomasa de raíces, hay menor abundancia de micorrizas, se reduce la capacidad para formar nuevas raíces que incrementa la frecuencia de infecciones para las raíces secundarias.

c) Decrece el crecimiento, reduce el crecimiento del diámetro, la fotosíntesis se ve afectada, se presenta senescencia prematura en las hojas, se incrementa la susceptibilidad para las raíces secundarias y patógenos en la hoja, muerte prematura de árboles, así como muerte de herbáceas.

Este fenómeno es ocasionado por la interacción de diferentes factores que producen un deterioro gradual en la salud y vigor de los árboles, en el cual la contaminación atmosférica (concentraciones de ozono, posiblemente de dióxido de azufre, el exceso de nitrógeno y el depósito ácido) es un factor determinante, que provoca alteraciones a diferentes niveles dentro del bosque como daños en el follaje, raíces, disponibilidad de nutrimentos en el suelo, agrava el estrés natural (sequías, heladas, entre otros), susceptibilidad a plagas y enfermedades (Granados *et al.*, 2001).



La contaminación atmosférica tiene un efecto directo sobre la vegetación por el depósito de los contaminantes sobre la copa de los árboles (Figura. 2A) (Hernández *et al.*, 1986; Bauer *et al.*, 1990; Klap *et al.*, 2000; Augustaitis *et al.*, 2007), existen abundantes registros sobre sus efectos en la inhibición de la fotosíntesis (Tamm 1991; Heinrich (1996); Álvarez *et al.*, 1998; Zambrano *et al.*, 2000), alteración del transporte de asimilados, reducción del suministro de nutrientes en las hojas (Figura. 2B). Afecta procesos fisiológicos (intercambio gaseoso, intercepción de luz para la fotosíntesis, toma de nutrientes y distribución de carbohidratos), ecológicos (dinámica poblacional y establecimiento de microclimas) y ambientales (captura de carbono) (Ford y Kierster en Dixon *et al.*, 1990; Xiusheng *et al.*, 1999), afectando el funcionamiento del ecosistema (Figura. 2C).

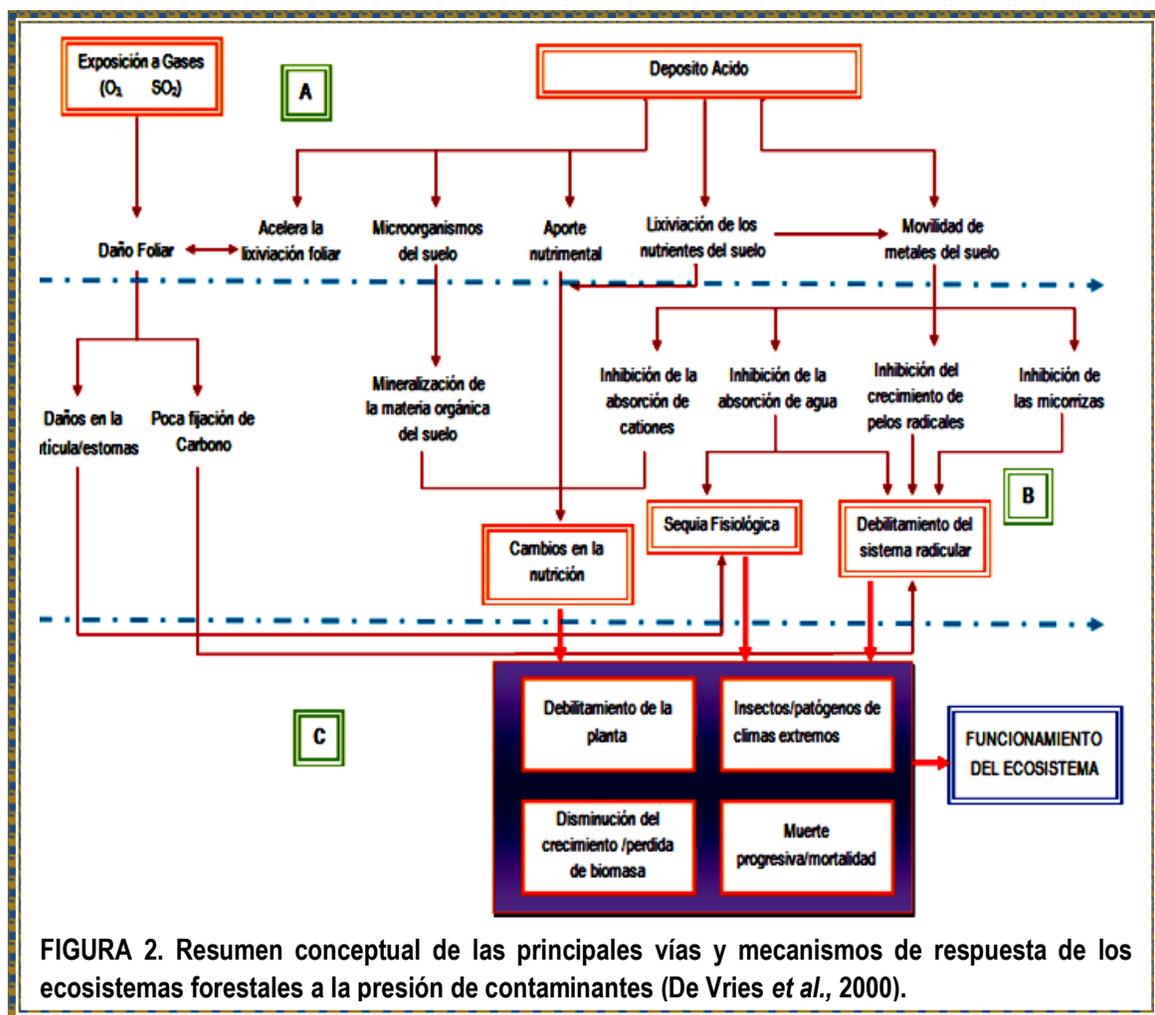


FIGURA 2. Resumen conceptual de las principales vías y mecanismos de respuesta de los ecosistemas forestales a la presión de contaminantes (De Vries *et al.*, 2000).



Las emisiones de SO_x y NO_x , sufren procesos de oxidación en la atmósfera y son devueltos a la superficie como ácidos que se precipitan en forma de lluvia, nieve, neblina o rocío y también por depósito seco, incrementando la concentración natural de protones (H^+), iones sulfato (SO_4^-) y nitrato (NH_3), que pueden ser oxidados a NO_3^- o pueden formar sales de amonio (NH_4^+) (Macías *et al.*, 2002).

El depósito seco es mayor que el húmedo, cuando los compuestos depositados por vía seca se asocian con lluvia, rocío o neblina, aumenta su movilidad y el tiempo de exposición sobre el follaje (Lindberg *et al.*, 1982; Buchmann *et al.*, 1995; Tietema *et al.*, 1998), las aguas de lluvia, extraen del interior de los tejidos vegetales, elementos nutritivos, especialmente K, Ca y Mg. La precipitación ácida (HCl , H_2SO_4 y HNO_3) es un fenómeno que degrada a los bosques y sus suelos. Sus precursores, afectan desde la atmósfera hacia las hojas, yemas de crecimiento y estructuras reproductivas (Chavéz *et al.*, 2006; Chavarría, 2007).

La contaminación atmosférica no sólo tiene un efecto directo negativo sobre la vegetación por deposición de los contaminantes sobre la parte aérea de las plantas y pérdida de nutrientes por lavado e intercambio iónico, sino indirectos, los cuales incluyen la acidificación del suelo con la consiguiente liberación de aluminio y otros metales pesados; también afecta sus relaciones con microorganismos, hongos micorrízicos y ecología de los insectos (Lendzian y Unsworth, 1983).

Los ácidos y los gases acidificantes (SO_2 , SO_3 , NO_x) pueden afectar de forma directa a la cobertura vegetal, causando necrosis en las hojas y tejidos reproductores, pérdida de nutrientes foliares, ya que al depositarse sustancias ácidas, traen como consecuencia la solubilidad de iones como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , Al^{+3} , este último tiene efectos tóxicos en el sistema radicular de las plantas, a su vez al aumentar su movilidad causan empobrecimiento progresivo del suelo, primero de aquellos cationes básicos, que son perdidos en el orden Ca^{+2} y Na^+ , Mg^{+2} y K^+ y cuando estos escasean, los cationes ácidos (Al^{+3} , Mn^{+2} , Fe^{+2}), disminuyen la capacidad del suelo para neutralizar el ácido. La deficiencia de magnesio es frecuente en coníferas con decline, además de otros elementos como el N,



P y K, pues disminuye su concentración al incrementar la pérdida de clorofila y el amarillamiento de las hojas (Blank, 1985; Rehfuess, 1988; Kandler, 1992; Percy, 2003) (Figura 3).

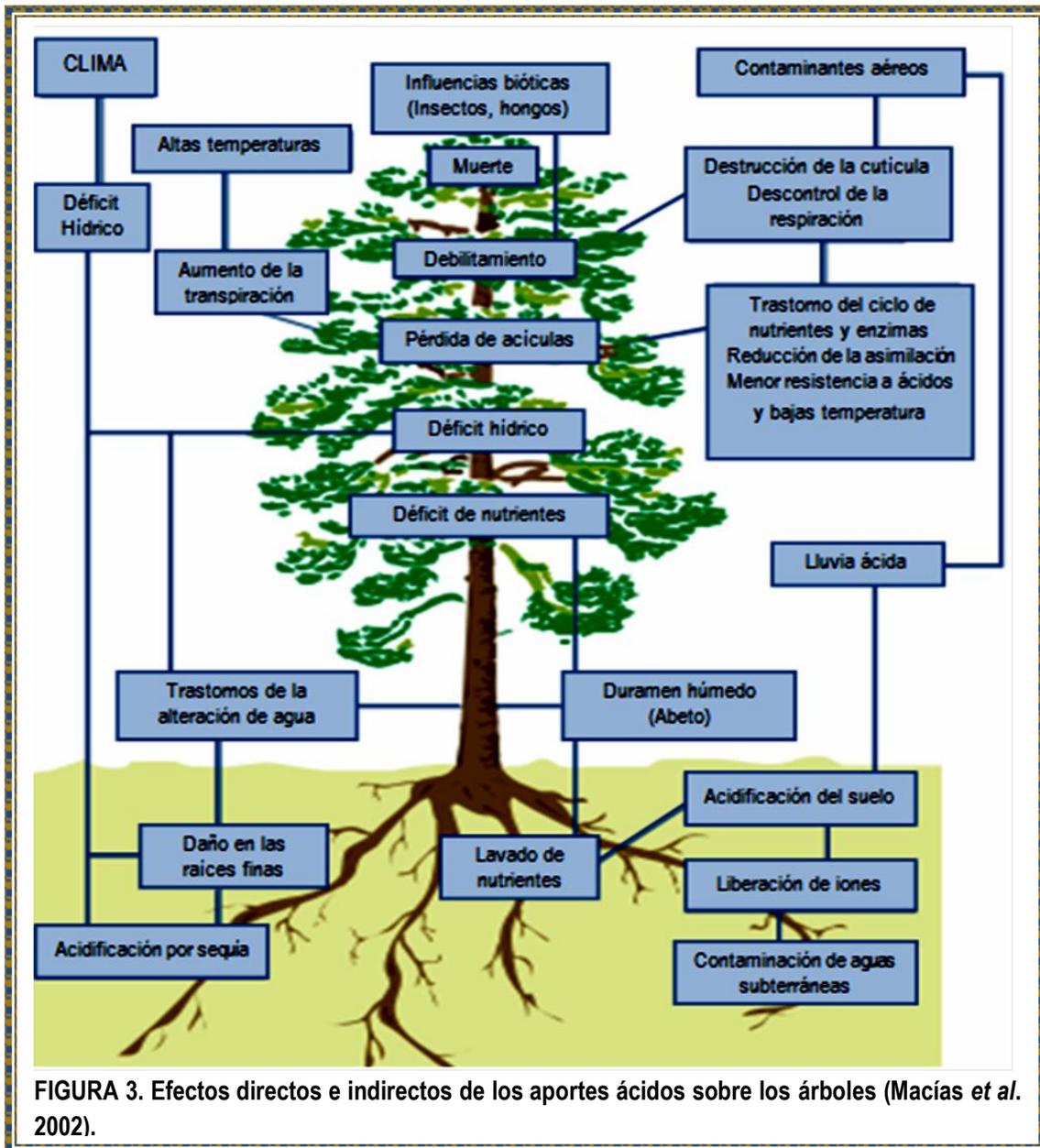


FIGURA 3. Efectos directos e indirectos de los aportes ácidos sobre los árboles (Macías *et al.* 2002).

La consideración de los cambios externos de los árboles en contacto con la contaminación atmosférica, incluyen al mismo tiempo las posibles respuestas internas. Por lo que, la combinación de contaminantes en las hojas, produce una capa cerosa que obstruye las estomas interrumpiéndose el proceso de intercambio de gases, respiración y fotosíntesis, alterando el metabolismo en general.



López *et al.* (2006) mencionan que los desordenes fisiológicos afectan la distribución de biomasa dentro del árbol, disminuyendo la relación raíz-copa, reduciendo la capacidad de la raíz para abastecer de agua y nutrimentos a todo el árbol. Esto trae consigo la muerte de órganos aéreos para mantener el balance entre el órgano de absorción (raíz) y el de transpiración (hojas).

Cuando se produce la absorción de contaminantes, la respuesta de la hoja se determina por dos factores, el nivel de concentración interna del contaminante y el nivel del umbral de tolerancia bioquímica para el contaminante o sus derivados tóxicos (Malhotra y Hocking, 1976). Si la concentración interna excede el nivel del umbral, se causan daños fisiológicos en la hoja.

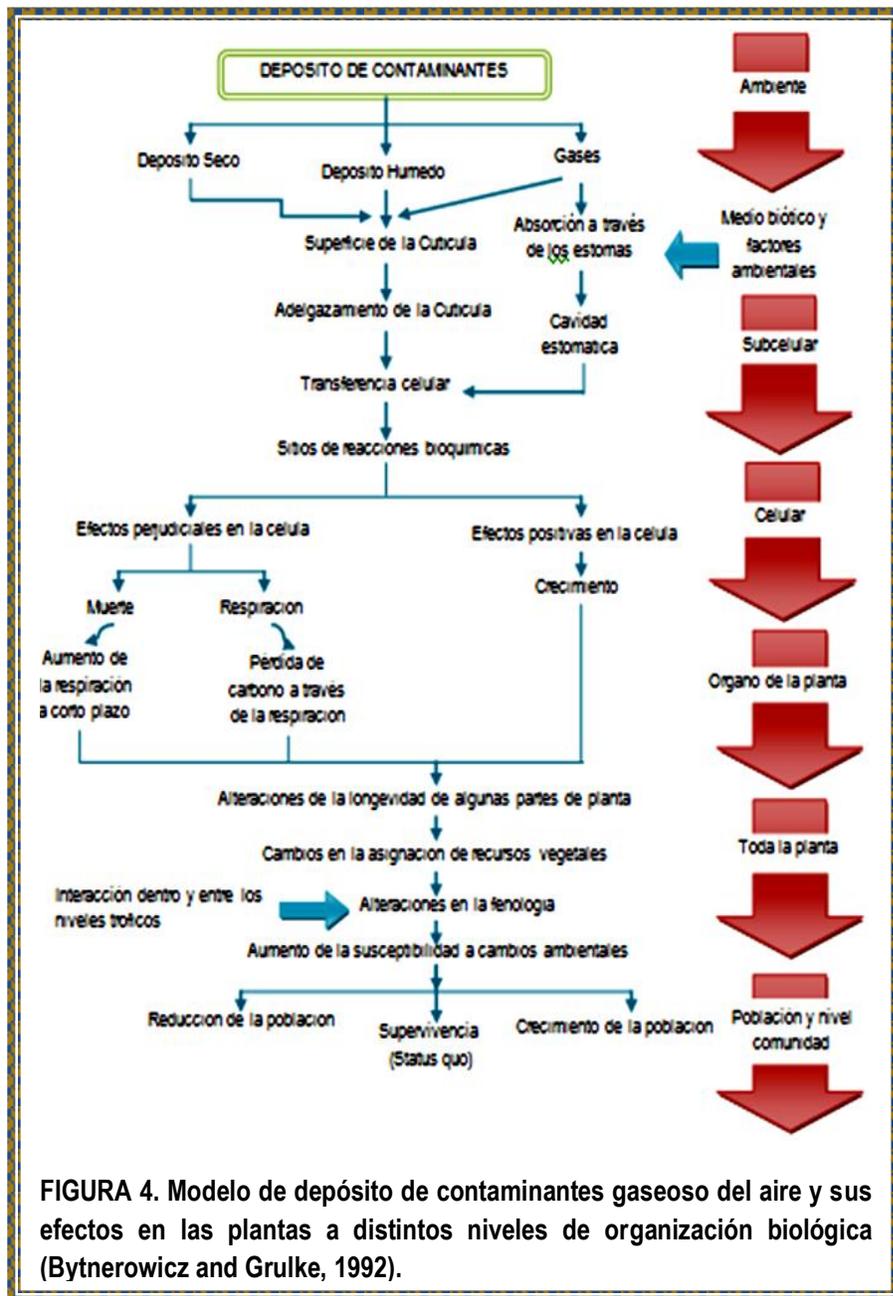
Las diferentes partes de la planta (tejidos, células, moléculas) pueden variar en sus respectivos niveles de tolerancia bioquímica (Malhotra, 1977), por lo tanto, la misma concentración de contaminantes, afecta de distinta manera en función de la parte afectada (Taylor 1978).

Los contaminantes gaseosos son absorbidos por las plantas a través de los estomas o cutícula. Los efectos pueden ser observados en los distintos niveles de la organización biológica, subcelular, celular, órgano de la planta, toda la planta, la población y comunidad (Figura 4). Bytnerowicz y Grulke (1992) señalan que el flujo de contaminantes de la atmósfera a las células de las plantas sigue la misma ruta que el dióxido de carbono (CO_2). Cada contaminante tiene una constante de difusión diferente para el movimiento a través del aire o del agua y las propiedades hidrófobas o hidrófilas que afectan a la tasa de transferencia a través de las paredes celulares y las membranas.

Los efectos fitotóxicos de la contaminación atmosférica en las plantas aparecen solamente cuando una concentración elevada de un gas se difunde en el interior de la hoja y pasa a la fase líquida en las células. Para modificar o degradar la función celular, el ozono debe difundirse en la fase gaseosa que rodea a las hojas, atravesar los estomas y entrar en las células disolviéndose en el agua que cubre las paredes celulares donde el ozono o sus productos de descomposición reaccionan con los



compuestos celulares y afectan los procesos metabólicos (Miller *et al.* 1982; Segura 1991 en Mendoza 1998).



Los efectos del ozono en las plantas se presentan en diferentes niveles de organización, desde nivel molecular (metabólico o bioquímico), celular (tejidos), fisiológico (en toda la planta) y ecosistema (comunidad) (Webber *et al.*, 1994; Zhang *et al.*, 2001 en Martínez 2012).



El daño por ozono atmosférico sobre la vegetación reduce el contenido en la clorofila de las hojas (Figura 5), acelera la senescencia foliar, reduce el crecimiento, altera la distribución del carbono y predispone al árbol para ser atacado por plagas.



La concentraciones elevadas de ozono inducen una desorganización celular y la muerte celular, las células del parénquima en empalizada son las que presentan alteraciones en primer lugar, estas alteraciones se traducen en una acumulación de pigmentos (antocianinos y polifenoles), la disminución de la apertura de los estomas produce una reducción en la conductancia estomática de las hojas, reducción del contenido en clorofila, la fotosíntesis puede verse mermada esto se debe principalmente a una reducción de la capacidad para fijar el CO_2

5.4 MONITOREO ECOLÓGICO Y CENSOS FORESTALES

Monitoreo ecológico es una vigilancia periódica (regular o irregular) de la flora y fauna o propiedades relacionadas (por ejemplo, procesos ecológicos) en una forma que facilita la detección de cambios



significativos de estándares o normas predeterminados, permitiendo acciones correctivas, de este modo, generalmente intenta descubrir una relación general, frecuentemente de causa y efecto, que permitan la extrapolación y predicción en tiempo y espacio, para conocer tendencias:

Asímismo, ayuda a determinar la ocurrencia, tamaño, dirección e importancia de los cambios que se dan en indicadores claves de la calidad del manejo de un recurso, lo cual brinda información base para entender cambios en el tiempo y espacio, permite evaluar el cumplimiento de los objetivos de una acción particular, describe la dinámica de comunidades naturales y los efectos de la influencia antrópica, ayuda a predecir cambios y permite corregir oportunamente las tendencias no deseadas.

Para el caso de la contaminación atmosférica los programas de monitoreo ecológico han facilitado la evaluación de los efectos de la contaminación del aire, su intensidad, ciclicidad y síntomas, así como los cambios en las especies, la estructura forestal, la frecuencia de distribución, mortalidad, regeneración y daño (Rogers *et al.*, 2001). Tomando en cuenta, indicadores de salud como el color de hoja (decoloración), retención de copa (transparencia de follaje), área basal (crecimiento del árbol), (Chavarria, 2007), se puede comparar los cambios de las condiciones del rodal en el tiempo y el espacio.

La evaluación de estos indicadores ayuda a conocer las respuestas de los ecosistemas forestales a los factores externos como a los cambios en la contaminación del aire y los futuros escenarios para los bosques.

Por otro lado, un censo o inventario forestal es un procedimiento útil para obtener información necesaria para la toma de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal, un administrador forestal debe tener a la mano información confiable que le permita manejar su bosque de la manera más óptima, obteniendo la máxima cantidad de productos, de la mejor calidad, en el menor tiempo y al costo más bajo posible (Orozco y Brumér, 2002).



Los censos forestales son una herramienta fundamental para la planificación del manejo forestal, levanta información dasométrica y topográfica del área de aprovechamiento anual, describiendo el volumen de los árboles a aprovechar y los respectivos árboles remanentes; esta información permite iniciar el proceso de comercialización de la madera y la planificación de su extracción.

La actividad forestal resulta sumamente compleja, debido a factores como clima, suelo, flora, fauna y agua, sólo conjuntando todos estos elementos se obtienen del bosque los bienes y servicios en beneficio de la sociedad presente y futura (Figura 6).



FIGURA 6. Bosque de oyamel del Parque Nacional Zoquiapan.

El valor de los recursos forestales sólo se han centrado en el aprovechamiento de la producción de madera, pero es necesario hacer énfasis en la importancia de otros bienes y servicios ambientales, como el ciclo hidrológico, recuperación de terrenos, enriquecimiento del sustrato, fijación del suelo, la transformación y descomposición de la materia orgánica, la producción de biomasa, la fijación de carbono, generación de oxígeno, la protección de la fauna, la conservación de la biodiversidad, la regulación de microclimas.



México posee una superficie territorial de 196, 437,500 hectáreas (ha). La superficie forestal del país es de poco más de 138 millones de hectáreas, los ecosistemas que cubren la mayor parte de la superficie son los matorrales xerófilos con 41.2%, bosques templados con 24.2%, selvas con 22.8% y otros tipos de asociaciones de vegetación forestal con 11.8%, los cuales son de gran relevancia para el país desde una perspectiva ambiental, económica y social.

De acuerdo con el informe más reciente de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2010), para el periodo 2005-2010, la tasa de deforestación neta anual disminuyó en 56.2% respecto al periodo 1990-2000, se perdían en promedio 354 mil hectáreas anuales de ecosistemas forestales, para el periodo de 2005-2010 se había reducido esta tasa de pérdida a 155 mil hectáreas anuales.

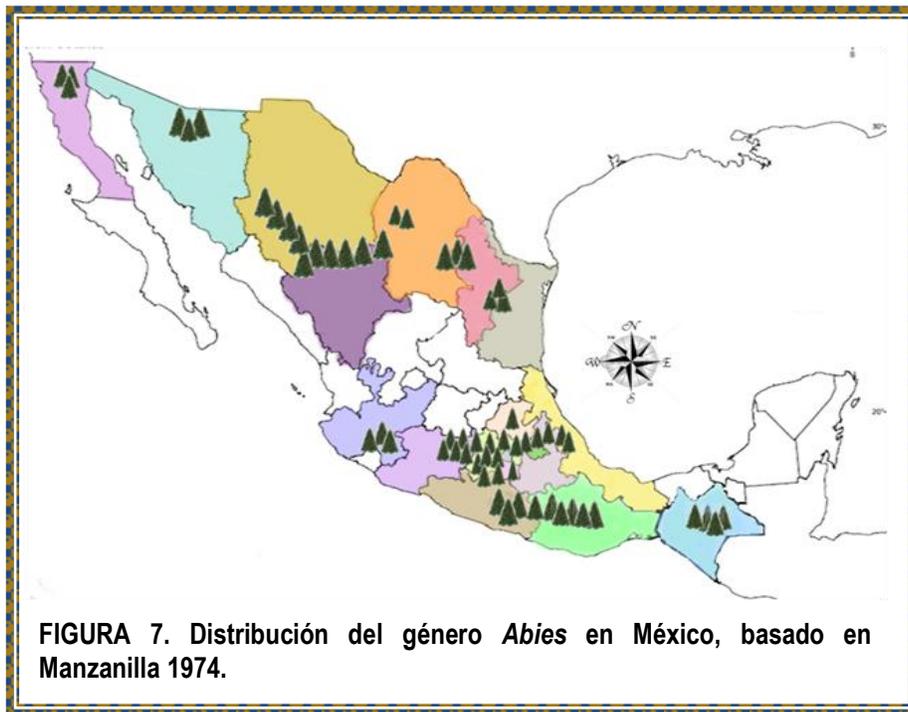
Por otro lado, en el Estado de México, Probosque informó que cada año esa entidad pierde al menos 2 mil hectáreas de superficie forestal, debido a la tala clandestina, incendios y cambios de uso de suelo. El director estatal de Probosque, Francisco Franco Ávila, dijo que el Estado aun posee un millón 87 mil hectáreas de superficie forestal, además de que se han llegado a reforestar alrededor de 16 mil hectáreas.

México registró en el 2009, un total de 110'559,240 árboles plantados en vivero, reforestando una superficie de 135 mil 974 hectáreas (el 5% del bosque plantado en el mundo), sobresaliendo Chiapas, Guerrero, Jalisco y Nayarit, que en conjunto aportaron un poco más de la tercera parte del total nacional (35.8)



5.5 *Abies religiosa*

El *Abies* spp son típicos de la zona ecológica templada subhúmeda de México (Toledo *et al.*, 1993). El bosque de *Abies* es ocasionalmente denso, donde los estratos arbustivos y herbáceos, así como las epifitas y trepadoras son escasos. La distribución natural de *Abies* (Figura 7) en nuestro país es Baja California, Sonora, Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Estado de México, Distrito Federal, Morelos, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Oaxaca y Chiapas, (Castillo, 2011).



El 82% de la superficie donde se desarrollan corresponde a zonas montañosas en altitudes entre 2400 y 3600 m, generalmente en las laderas de cañadas y barrancas más o menos profundas que ofrecen un microclima especial con condiciones de humedad elevada (Figura 8), en donde además son protegidos de la acción de los fuertes vientos y de insolación intensa (Rzedowski, 1978).



Los suelos donde se establece el oyamel son jóvenes de origen volcánico (andesitas, basaltos o riolitas) y presentan geoformas con pendientes muy pronunciadas, aunque generalmente se establecen en suelos profundos, en el Estado de México y Jalisco se encuentran sobre una capa muy delgada de cenizas volcánicas, la profundidad, drenaje, textura, estructura, pH de 5 a 7, ricos en materia orgánica, hasta 70%, especialmente en horizontes superficiales. En ambientes con una temperatura media anual entre los 10 a 12 °C, la precipitación media anual es de 1 000 a 1500 mm (Calva *et al.* 2006).

Abies religiosa es un árbol monoico con alturas de 35 a 50 m, diámetros normal de 1 m hasta 1.80 m, fuste recto con ramas extendidas y copa densa, de forma triangular La corteza grisácea, agrietada y dividida en placas irregulares.

En esta especie la producción de conos es bianual a partir de los 21-25 años de edad, las estructuras reproductivas masculinas y femeninas aparecen al mismo tiempo que las yemas vegetativas, (Figura 9) desde diciembre alcanzan la madurez en los meses de marzo y abril, que es



cuando se efectúa la polinización, una vez efectuada está se desprenden de los estróbilos masculinos, los cuales se encuentran prácticamente en todo el árbol en las ramillas laterales y a partir del mes de noviembre después de la polinización, poseen semillas capaces de germinar y a fines de diciembre se diseminan al comenzar a desintegrarse los conos.



Esta desintegración es favorecida por lluvias ligeras seguida de una fuerte insolación y se prolonga hasta marzo del año siguiente con la maduración de los conos, las yemas vegetativas continúan su desarrollo y alcanzan su maduración durante agosto y septiembre, comienzan a desprenderse las hojas viejas desde fines de junio, la caída de las hojas ocurre tanto en árboles jóvenes como adulto y antes de desprenderse adquieren una coloración pardo a ligeramente rojiza (Manzanilla, 1974).

El crecimiento y desarrollo de estos nuevos brotes, es estimulado con el advenimiento de la temporada de lluvias. La madera es liviana y suave, la albura es de color amarillo pálido y el duramen es amarillo con vetas pardas. La cantidad de semillas varía de 23000 a 26000/kg, el porcentaje de



germinación varía de cuatro a 65%. El principal uso del oyamel es como árbol de navidad, se utiliza también para la fabricación de papel. Los bosques de oyamel tienen funciones de recreación y protección, albergan una gran diversidad biológica y sirven como zonas de captación de agua y regulación de la escorrentía (Manzanilla, 1974). Desde el punto de vista ecológico estos bosques han sido muy poco estudiados, sin embargo, además de ser importantes económicamente, también son indicadores de condiciones climáticas muy específicas (Figura 10).





VI. ZONA DE ESTUDIO

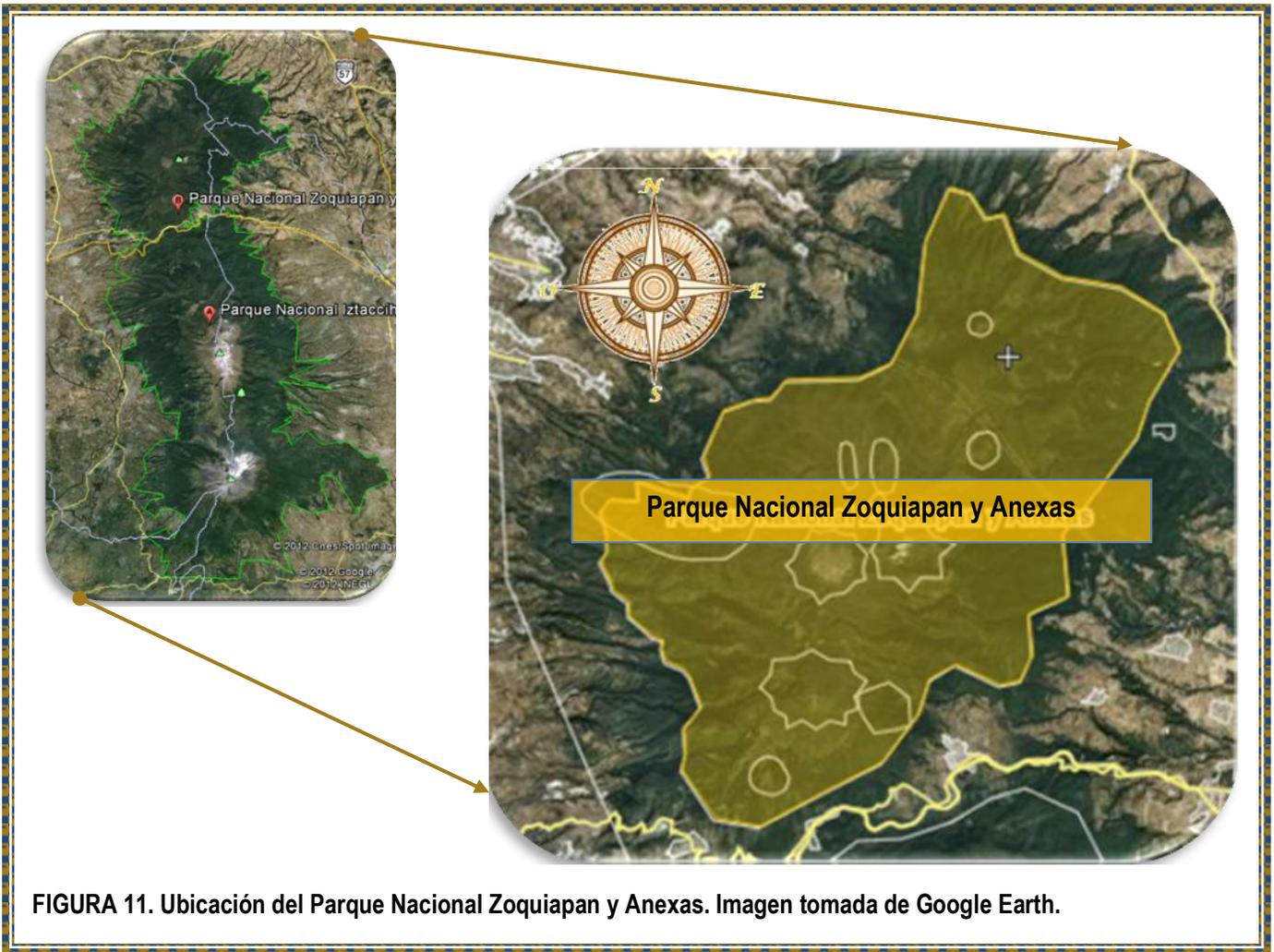
6.1 PARQUE NACIONAL ZOQUIAPAN Y ANEXAS

El Parque Nacional Zoquiapan y Anexas (Figura 11) abarca la Zona Protectora Forestal Montes de las Haciendas de Zoquiapan, Río Frío e Ixtlahuacan. En las coordenadas geográficas 19° 13' 10" y 19° 18' 45" latitud Norte y 98° 37' 39" y 98° 51' 58" longitud oeste (Mass *et al.*, 1981), la cual fue creada mediante decreto expedido por el Presidente Pascual Ortiz Rubio el 24 de enero de 1931, con una superficie de 19,418 hectáreas (González y Sánchez, 1961). El Parque presenta un rango altitudinal que va de los 2 850 a los 4 150 metros.

6.2 HIDROLOGÍA

Las corrientes superficiales que existen en el área pueden ser permanentes o intermitentes y se forman principalmente por la abundante precipitación pluvial (mayor a 1000 mm anuales) y por el deshielo de los glaciares, las principales regiones hidrológicas pertenecen al Río Balsas y Pánuco, colinda con la provincia fisiográfica de la Cordillera Neovolcánica. El área está enclavada en su mayoría en la cuenca del Río Atoyac y una mínima parte en la cuenca del Río Moctezuma, asimismo está incluido en la subcuenca del Arroyo Aculco que nace en la parte suroeste de la zona, en las estribaciones del Iztaccíhuatl.

Con escurrimientos importantes como el arroyo Temascatitla, que se ubica en la cañada del mismo nombre el cual nace en la parte este del Cerro de las Cruces y se une al arroyo Tlacupaso, los cuales desembocan sobre un tramo de la cañada Maticoco y salen hacia el llano Zapintla fuera del área.



6.1 CLIMA

Por su latitud, la zona se encuentra comprendida en el área de influencia de los vientos alisios, presentando una dirección este a oeste; que permite gran estabilidad meteorológica durante la mayor parte del año. Sin embargo, las condiciones climáticas de la zona pueden ser alteradas por los vientos de norte que afectan al país durante el invierno, principalmente en el mes de enero (Melo y Oropeza 1982). Los tipos de clima dominantes, son en las partes de mayor altitud $C(E)(w_2)(w)$ semifríos y circunscribiendo a éstos el clima es $C(w_2)(w)$ semifrío subhúmedo



La precipitación media anual va desde 800 mm hasta 1200 mm, siendo los meses más lluviosos junio y julio, el período de menor precipitación de noviembre a marzo, la temperatura media anual va desde los 5 a 12 °C, con el mes más frío de -3 a 22 °C. La frecuencia promedio de granizadas en la zona al año es de dos días, la frecuencia de heladas es de noviembre a febrero, y circunscribiendo a éstas de 80 a 100 días al año.

6.2 SUELO

El grupo de suelo predominante es el Andosol y los subgrupos Andosol mólico y el Andosol vítrico, con una textura en su mayoría franco-arenoso, moderadamente plástico y rico en nitrógeno total y materia orgánica, baja concentración de fósforo en forma asimilable, con alta porosidad y aeración. Los Andosoles son claros, se derivan de cenizas volcánicas y su desarrollo es incipiente, su pH puede variar de 5.5 a 7.1, predominando los suelos ácidos.

6.3 VEGETACIÓN

El Parque presenta diferentes tipos de vegetación. El bosque de oyamel (*Abies religiosa*) constituye la parte dominante del estrato arbóreo. Se encuentra de los 2 400 m a los 3 500 m, limitando en su parte baja con la asociación aile-pino y en su parte alta con la asociación aile (Oropeza, 1980).

En el estrato arbóreo predominan especies de distribución boreal de Norte América y Eurasia, como: *Abies religiosa*, *Arbutus glandulosa*, *A. xalapensis*, *Alnus firmifolia*, *Salix cana*, *Salix paradoxa*. En el estrato arbustivo y herbáceo confluyen plantas con afinidades geográficas diferentes, como: *Baccharis conferta*, *Buddleja sessiliflora*, *Eupatorium glabratum*, *Pernettya ciliata*, *P.ciliaris*, *Ribes rugosum*, *Senecio barbajohannis*, *S. angulifolium* y *Symphoricarpos microphyla* para el estrato arbustivo, mientras que para el estrato herbáceo son: *Acaena elongata*, *Alchemilla procumbens*, *Asplenium monanthes*, *Cirsium pinetrom*, *Eupatorium patzcuareense*, *Fragaria indica*, *Galium aschenbornii*, *Salvia elegans*, *Salvia sp.*, entre otros (Melo y Oropeza 1982).



VII. MATERIAL Y MÉTODO

7.1 FASE DE GABINETE

Como el presente estudio forma parte del programa “Evaluación de los efectos ecológicos provocados por el depósito atmosférico en el bosque de pino-oyamel de la Cuenca de México” se eligió el Parque Nacional Zoquiapan a fin de dar seguimiento a la evaluación.

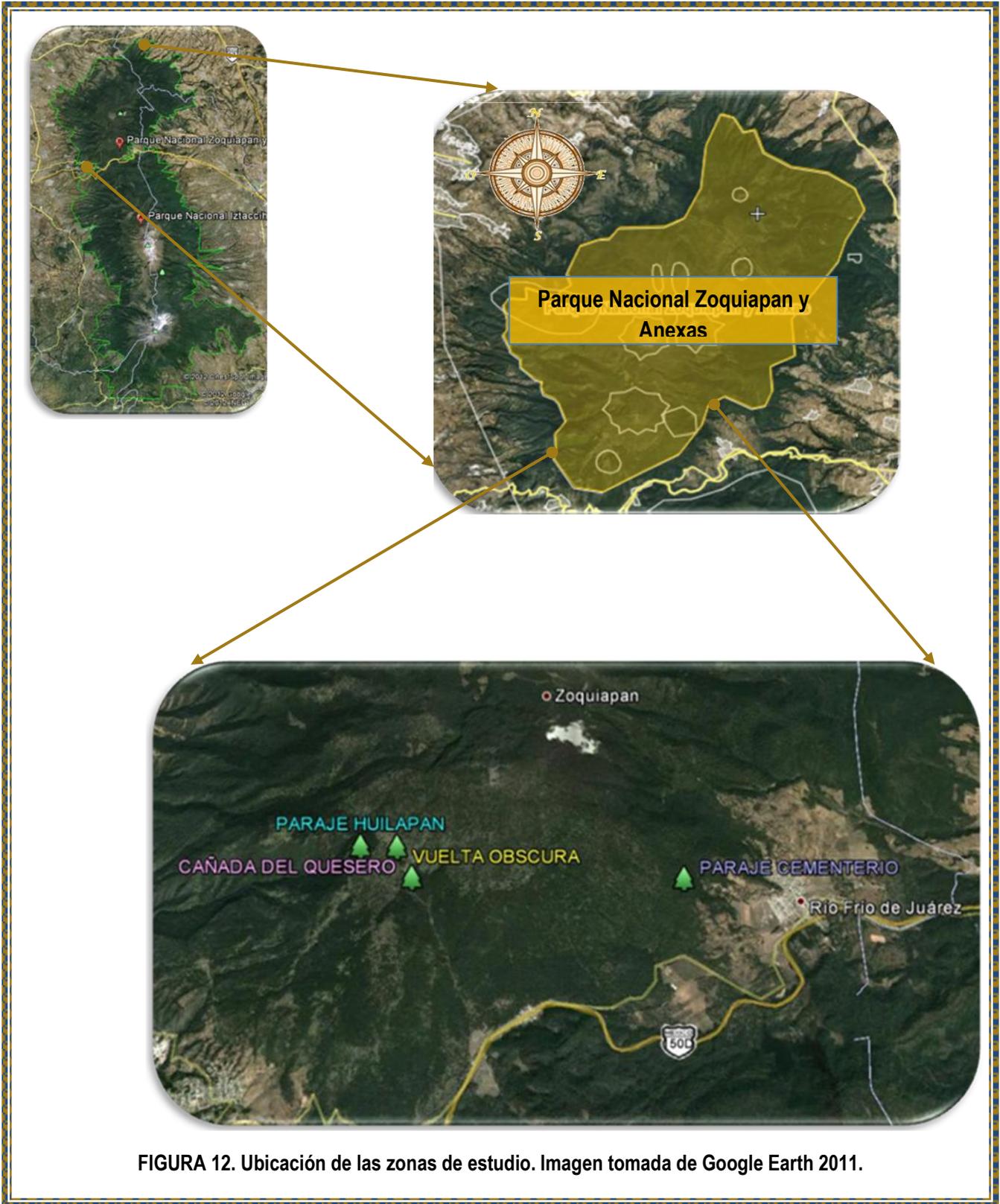
Se seleccionó una zona donde el bosque de oyamel se encontrará de forma no coetánea y existiera aprovechamiento forestal. Se ubicó el Parque Nacional Zoquiapan en un mapa topográfico (esc. 1:50 000), ahí se ubicaron los Parajes Huilapan, Vuelta Obscura y Cañada del Quesero (Figura 12), donde la especie dominante fuera *Abies religiosa*, considerando su exposición y trayectoria de los vientos dominantes provenientes de la Ciudad de México.

7.2 FASE DE CAMPO

Ya ubicados los parajes y dentro de ellos los rodales de oyamel se procedió a aplicar el método de muestreo referido en los indicadores de salud forestal del manual Red de Seguimiento de Daños en los Montes (Red CE de Nivel II) para la evaluación del estado sanitario del arbolado y en particular a lo referente con tipo de daño y porcentaje de retención de copa.

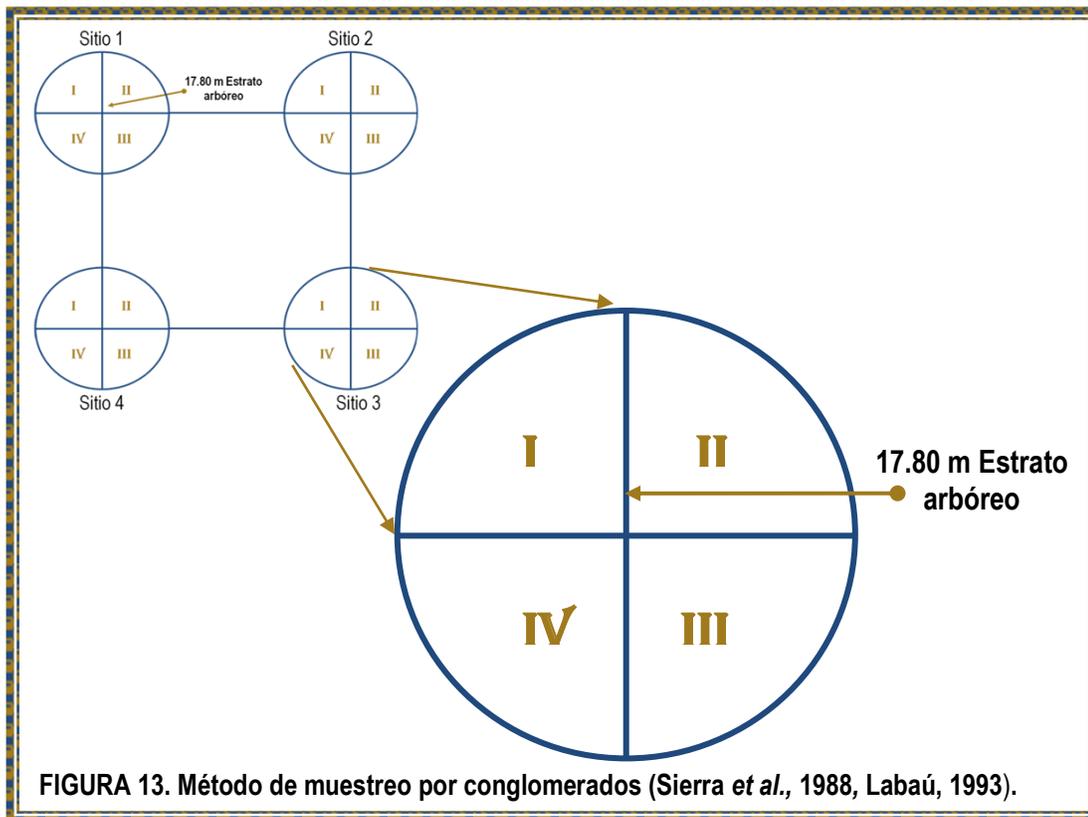
Por otro lado para alcanzar uno de los objetivos planteados se procedió a obtener la base de datos de 1997, el cual fue reporte de Servicio Social realizado por Pérez (2000) en el Laboratorio de Contaminación Atmosférica, en donde el paraje muestreado correspondió al Cementerio (Figura 12).

Se realizaron seis salidas a campo de 2011 a 2012, en los meses de febrero, marzo, abril, septiembre y noviembre. Para el registro sistemático de los parámetros de copa se procedió a trazar un cuadrante de 50 m X 50 m, en cada uno de las puntas se estableció el centro de cada círculo con un radio de 17.8 m, siendo un total de cuatro círculos.





Cada círculo se dividió en cuatro partes, asignándoles un número romano (sitio I, II, III, IV), conforme al sentido de las manecillas del reloj Figura 13 (Método por conglomerado, Sierra *et al.*, 1988; Labaú, 1993). En cada cuadrante se eligió el árbol más cercano al centro del círculo, luego se procedió al registro de la condición de la copa, siguiendo el procedimiento del vecino más cercano. Cubriendo una superficie de 1 000 m², abarcando un área total de 4 000 m² por cada muestreo, obteniendo un área total de las seis salidas de 2.3 ha.



Dentro de cada paraje se eligieron los rodales de manera aleatoria, ahí se determinaron las coordenadas con un geoposicionador marca Magellan, modelo Sportrak Map.

Ya establecidos los círculos con sus divisiones se procedió a la caracterización ecológica del sitio, utilizando fichas de campo propuestas por Madrigal (1964) y adaptados para el estudio del Laboratorio de Contaminación Atmosférica, registrando: pendiente, altitud, porcentajes de cobertura de cada estrato vegetal en el sitio (herbáceo, arbustivo y arbóreo), daños en la vegetación arbórea, color



el manual Red CE de Nivel II (2002). Las mediciones se hicieron usando cintas métricas o flexómetros de 3 m, 30 m y 50 m, esto dependía principalmente de las dimensiones del árbol a evaluar.

Para la evaluación del porcentaje de retención de copa y tipo de daño, se comparo la copa de los árboles con la plantilla elaborada por Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1984) ver Figura 17.

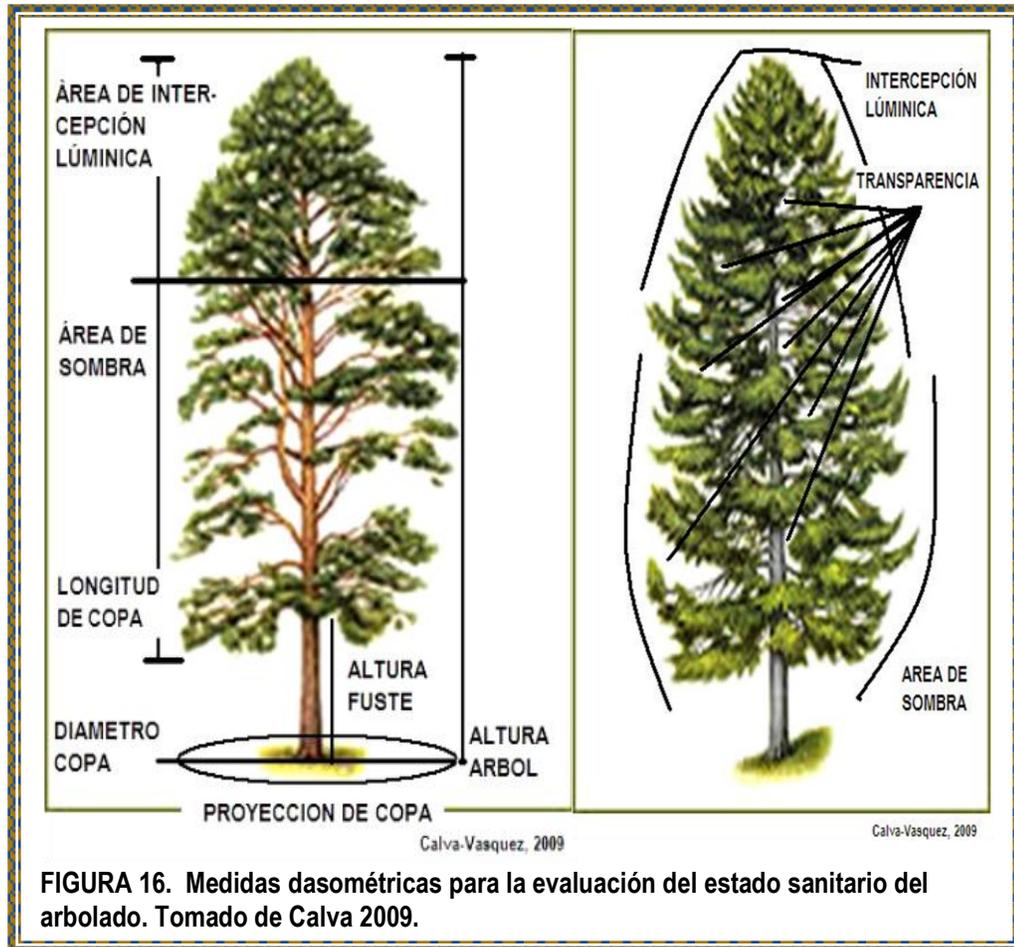
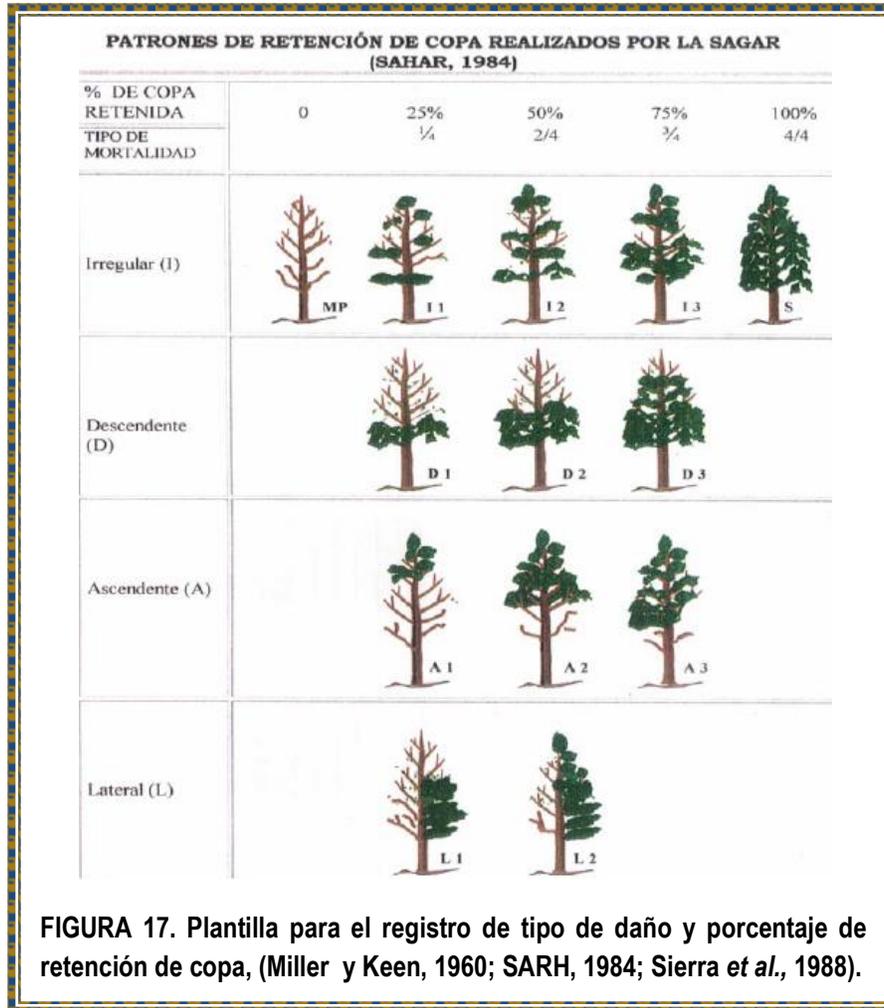


FIGURA 16. Medidas dasométricas para la evaluación del estado sanitario del arbolado. Tomado de Calva 2009.



7.3 FASE DE LABORATORIO

El total de datos obtenidos se transcribieron al programa Microsoft Office Excel (2007).

El diámetro normal en cm (DN) se calculó con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{c}{\pi}$$

Donde:

D = diámetro de la circunferencia

c = es la circunferencia del tronco (diámetro a la altura del pecho)



π = es la relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro, y tiene un valor de 3.1416.

Los arboles muestreados se clasificaron en brinzales, juveniles y adultos, las características que se tomaron en cuenta para esta división fueron la altura (solo para el caso de brinzales) y el DN. Brinzales de 0.25-1.30 m de altura, los juveniles fueron los que tuvieran < 5 cm de DN, adultos árboles con \geq 5 cm de DN (Manzanilla 1974; Olvera *et al.* 1996; Figueroa *et al.* 2000).

A cada uno de los porcentajes de retención de copa se le asignó una Clave (Cl) quedando de la siguiente forma, Cl-1 25%; Cl-2 50%; Cl-3 75%; Cl-4 100%. Posteriormente se calculó el porcentaje de frecuencia relativa del %RC y del tipo de daño.

$$P_i = \frac{f_i}{N} * 100$$

Donde:

P_i = porcentaje de frecuencia relativa

f_i = Frecuencia relativa

N = es el número total de individuos de la población

Se comparó gráficamente los porcentajes de frecuencias relativas del %RC de *Abies religiosa* juveniles y adultos de ambos muestreos (1997-2012). Después se graficaron los porcentajes de frecuencias relativas de los tipos de daño de *Abies religiosa* juveniles y adultos presentes en el muestreo 2012. Se editaron algunas fotografías con el programa Image Manipulation Program (GIM 2.8 GNU), para ejemplificar los diferentes tipos de daño y retenciones de copa, para que de esta forma el lector tenga una visión más gráfica de estos parámetros.



Con la finalidad de conocer las relaciones entre los tipos de daños y los posibles factores de estrés que provocan estos daños en la copa de *Abies religiosa*, se evaluó la distancia euclidiana a través de un dendograma con ayuda del programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI.

Se caracterizó la estructura vertical de la poblacional de *Abies religiosa*, utilizando la clasificación de Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO por sus siglas en inglés), utilizando las alturas de los juveniles y adultos, dado que los brinzales fueron considerados como renuevos, esta clasificación se determinó como sigue:

Estrato al que pertenecen

100= Superior 2/3-3/3 de la mayor altura *

200= Medio 1/3-3/3 de la mayor altura

300= Inferior Menos de 1/3 de la mayor altura

*La mayor altura = promedio de los 3-5 árboles más altos (Manzanilla, 1974).

Parte de la estructura horizontal se determinó, a través del cálculo de las categorías diamétricas utilizando los diámetros normales (DN) en cm, esto para toda la población de *Abies religiosa* (brinzales, juveniles y adultos), los cuales fueron divididos en clases diamétricas (I, II, III, IV, entre otros) cada una de estas clases tiene valores de 20 cm (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm). (Manzanilla 1974). Las Categorías Diamétricas de ambos muestreos se compararon gráficamente utilizando el porcentaje de frecuencia relativa.

Por último se graficaron los porcentajes de retención de copa y tipos de daños de cada una de las tres zonas muestreadas en el 2012 (Huilapan, Vuelta Obscura y Cañada del Quesero), para poder comparar las condiciones en las que se encuentra cada rodal y los efectos que tiene la pérdida de follaje en el bosque.



VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La presentación de resultados abordó cada uno de los objetivos para la condición de la copa de *Abies religiosa* en el rodal, se elaboró una tabla donde se presentan los datos globales de porcentaje de retención de copa, de los muestreos de 1997 y 2012. Las graficas de porcentaje de retención de copa y tipo de daño divididas en juveniles y adultos. Posteriormente se realizó la descripción de la poblacional de *Abies religiosa* y las categorías diamétricas predominantes en el bosque.

Y por último se presentaron las gráficas de porcentaje de retención de copa y tipo de daño que presentan cada parcela muestreada en este estudio (Huilapan, Vuelta Obscura y Cañada del Quesero), así como la descripción de la caracterización ecológica de cada parcela. Para conocer las posibles consecuencias que tiene la pérdida de follaje en el hábitat de *Abies religiosa*, por lo que no solo se conocieron los cambios en retención de copa que ha tenido el bosque de oyamel en el Parque Nacional Zoquiapan durante 15 años, sino los efectos que tiene la pérdida de follaje en el bosque.

8.1 CONDICIÓN DE LA COPA DE *Abies religiosa* EN LOS RODALES DE 1997 (CEMENTERIO) Y 2012 (HUILAPAN, VUELTA OBSCURA Y CAÑADA DEL QUESERO)

En el cuadro 2 se resumen los cambios en la retención de copa de los árboles de oyamel de los rodales muestreados en 1997 y en 2012. Así en rodal de 1997 el porcentaje de retención de copa fue mayor con retenciones de CI-3 (35%) y con sólo el 8% para CI-1. Para el rodal del año 2012 la CI-1 es mayor (29%) y el menor CI-4 (22%), según los registros del programa para la evaluación de los efectos ecológicos provocados por el depósito atmosférico en el bosque de pino-oyamel de la Cuenca de México. Por lo tanto los árboles 1997 se encontraban relativamente sanos, ya que presentaban menor daño y más retención de copa (CI-2, CI-3 y CI-4), a comparación del arbolado encontrado en 2012, los cuales tienen mayor daño y pérdida de follaje (CI-1, CI-2 y CI-3).



Por lo tanto, es evidente que existe una pérdida del follaje de los árboles en este bosque a través del tiempo, aunque de forma natural los árboles viejos tiran sus hojas, es posible que estos estén recibiendo un aporte de contaminantes como el ozono que aceleran el proceso de senescencia de las hojas, ya que en las copas se depositan algunos compuestos que dañan su cobertura foliar (Chávez, *et al.*, 2006).

Cuadro 2. Cambios en el porcentaje de retención de copa de 1997 al 2012 de *Abies religiosa*.

Porcentaje de retención de Copa	Monitoreo 1997	Monitoreo 2012
CI-1 (25%)	8%	29%
CI-2 (50%)	30%	26%
CI-3 (75%)	35%	23%
CI-4 (100%)	27%	22%

Las Figuras 18 y 19 muestran el porcentaje de retención de copa de los árboles juveniles y adultos, comparando los registros para ambos muestreos (1997-2012), se observa con mayor claridad los cambios en defoliación de forma temporal.

En la Figura 18 se observa el porcentaje de retención de copa de los árboles juveniles de 1997, la mayoría de ellos exhiben una CI-4 (59%), seguido por la CI-3 con un 24%, finalmente de todos los árboles juveniles muestreados sólo 1% tiene una CI-1, por lo tanto estos árboles poseen copas completas, al presentar mayor retención de copa.

En la Figura 19 se muestra el porcentaje de retención de copa de los árboles juveniles registrados en el año 2012, se observa que el 32% del arbolado tiene una CI-4, la CI-1 tiene un 22% y la CI-2 un 18%. El arbolado juvenil del 2012 retiene menor follaje a diferencia de los oyameles juveniles encontrados en 1997, por lo tanto existe una disminución de árboles con copas completas y el aumento de las CI-1 y CI-2 de 1997 al 2012.

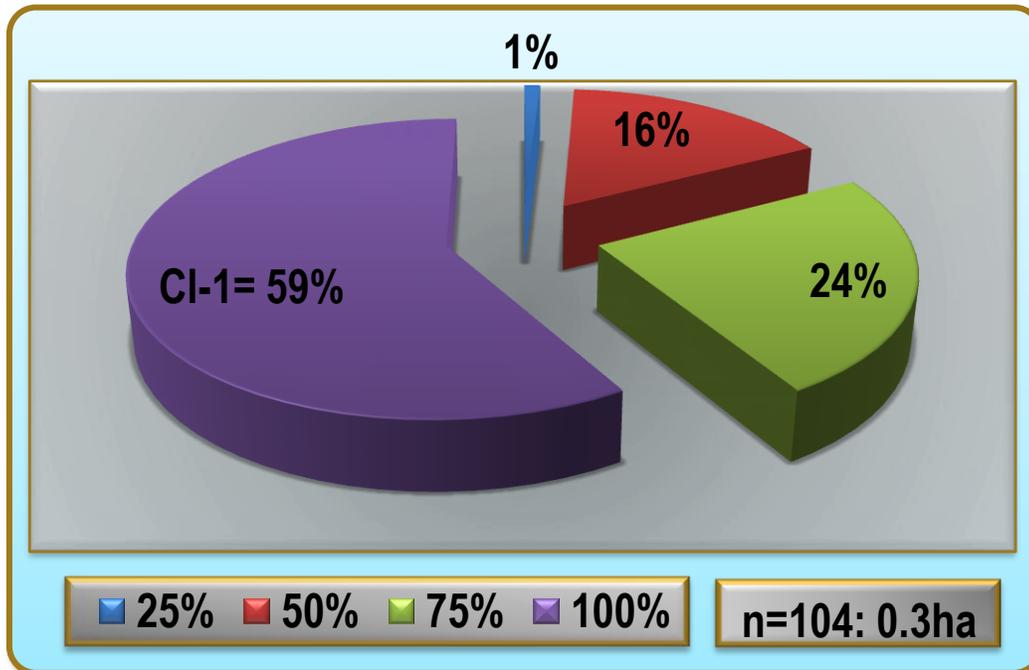


FIGURA 18. Porcentaje de retención de copa de árboles juveniles de *Abies religiosa* en el rodal de 1997 (Cementerio, Estado de México).

Para marzo de 1990, se llevó a cabo un programa en la ZMVM, para el control de los contaminantes que emite el parque vehicular, llamado “Hoy No Circula”, aunque ya en 1989 se había puesto en marcha este programa, sólo aplicaba durante el periodo invernal, ya que en esta época se tornaba común la ocurrencia de inversiones térmicas que dificultaban la dispersión de los contaminantes. Por lo cual resultaba necesario bajar la tasa de emisión de contaminantes, por tanto, se decidió reducir la circulación un 20% de la flota vehicular, debido a que este era responsable de la emisión de más del 70% de los contaminantes.

El control de emisiones es importante, ya que los contaminantes pueden dispersarse a través del viento, que en el caso de la Cuenca de México, el aire circula de norte a sur (Jáuregui, 1993; Bravo y Díaz, 1996) y al depositarse en masas forestales, provoca daños severos en las copas de los árboles, puesto que la entrada de contaminantes gaseosos es directa por la apertura de los estomas (Mendoza, 1998).

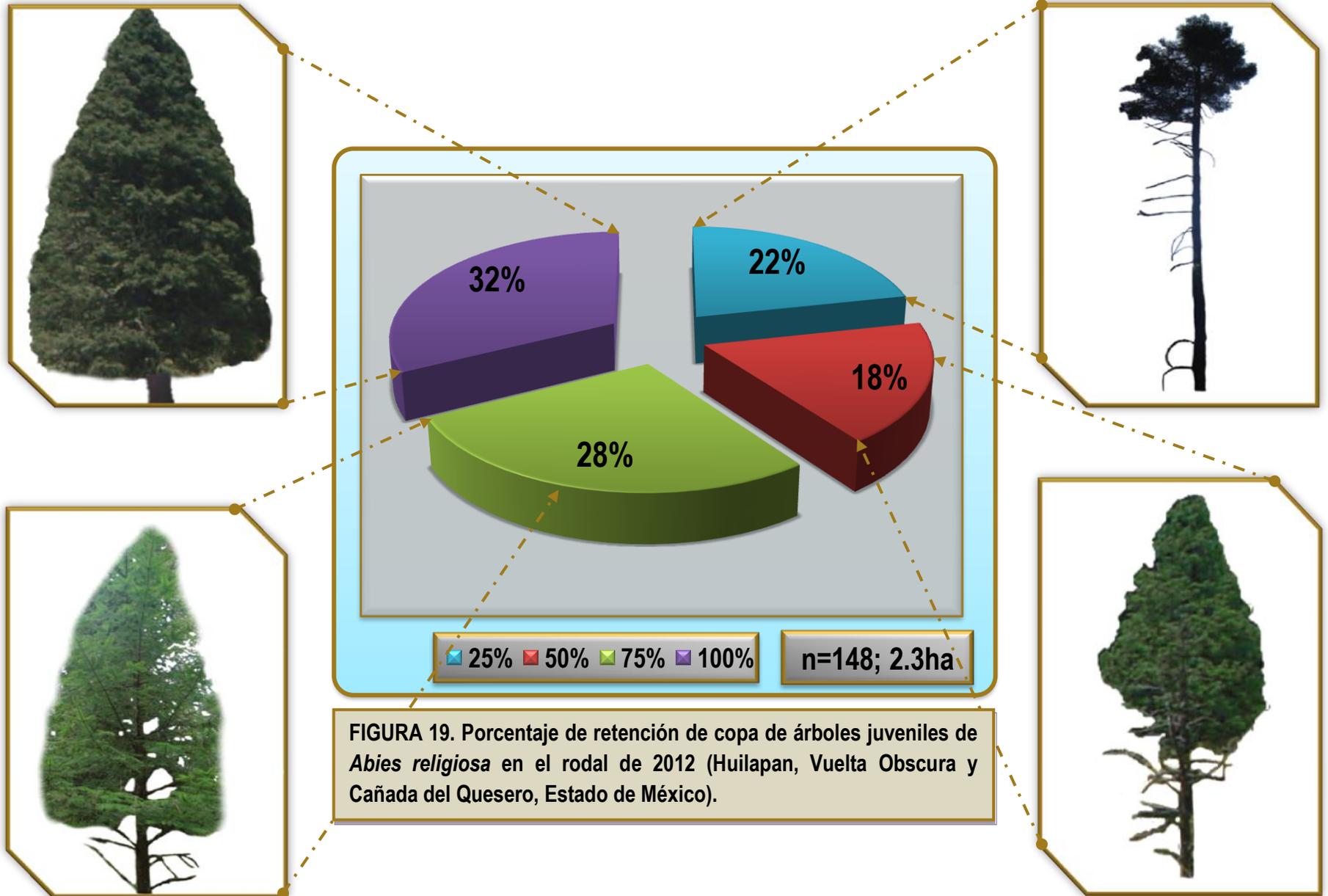


FIGURA 19. Porcentaje de retención de copa de árboles juveniles de *Abies religiosa* en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero, Estado de México).



A diferencia de los árboles juveniles encontrados en el rodal muestreado en 1997, en los árboles adultos se observa una disminución en la retención de copa al haber menos oyameles adultos con la CI-4 (18%), por otro lado existe un aumento en el registro de las CI-1 (10%), CI-2 (33%) y CI-3 (39%) (Figura 20), lo que indica menor retención y mayor daño en las copas de los árboles adultos.

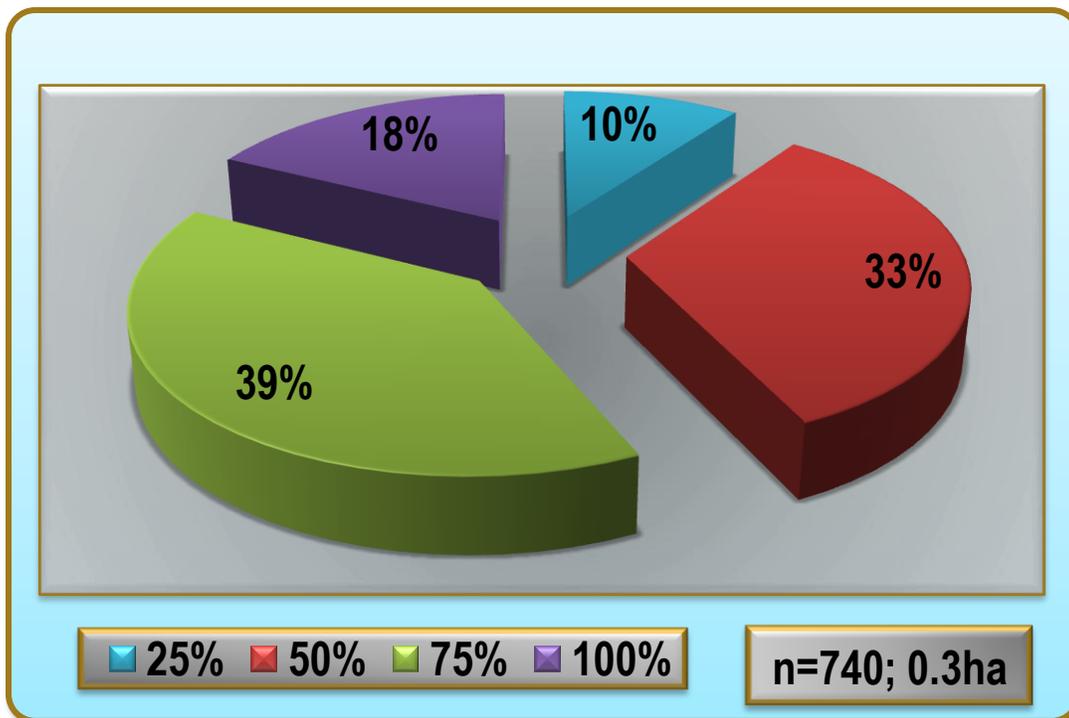


FIGURA 20. Porcentaje de retención de copa de árboles adultos de *Abies religiosa* en el rodal de 1997 (Cementerio, Estado de México).

Los resultados mostrados en la Figura 21, indican que los árboles adultos presentes en el rodal del 2012 tienen un aumento en el daño de copa, ya que presentan retenciones de CI-1 con el 33% y CI-2 con el 30%, por lo que disminuye el porcentaje de retención y aumenta la defoliación.

De comparar los árboles adultos registrados en el año 1997 con los de 2012, la CI-4 de retención de copa es menor que hace 15 años, lo mismo sucede con la CI-3, por otra parte hay más árboles adultos con CI-1 en el 2012 que en 1997, ya que pasa de un 10% a 33%, mientras que en la CI-2 solo se observa un ligero aumento, de un año al otro.

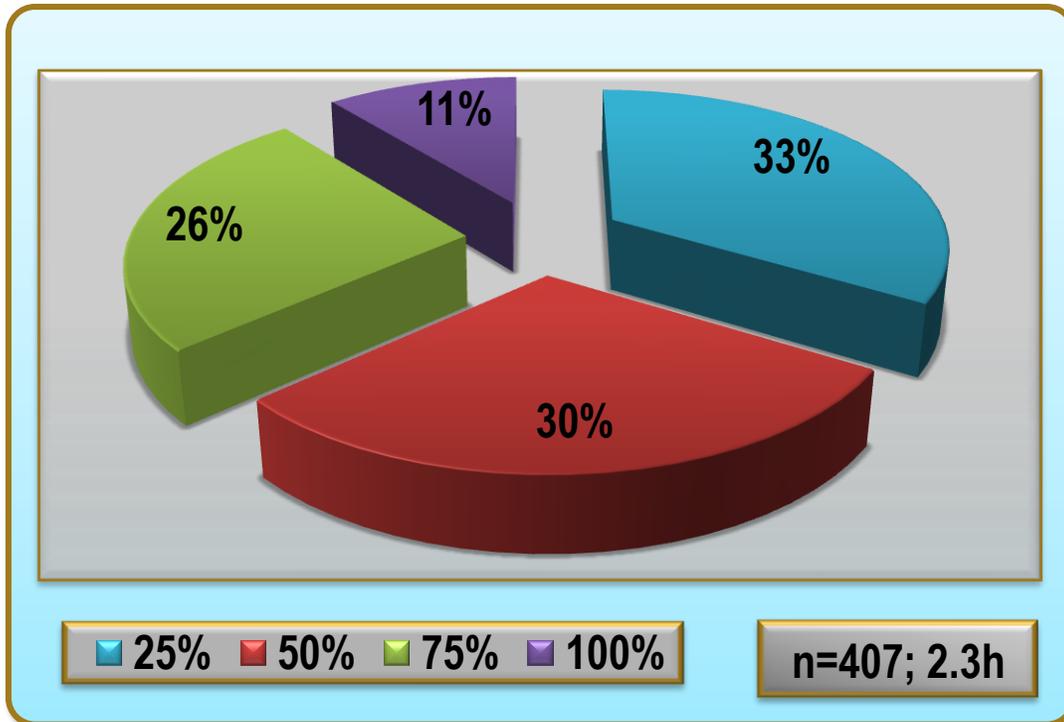


FIGURA 21. Porcentaje de retención de copa de árboles adultos de *Abies religiosa* en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Obscura y Cañada del Quesero, Estado de México).

Los contaminantes atmosféricos dañan las copas de los árboles y debido a las condiciones especiales en la química atmosférica de la Cuenca de México, la acumulación de altas concentraciones de ozono en la región central de la cuenca, es producto del ciclo fotoquímico y de sus precursores como NO_x , CO_s , COV_s , SO_x y HC, que son emitidos a la atmósfera por el parque vehicular (Figura 22).

En los Inventarios de emisiones de la ZMVM de 1998 y del 2010, informan que se obtuvo una concentración de ozono 0.078 ppm y 0.08 ppm. González *et al.*, 2010 registra que exposiciones breves pero frecuentes de ozono afecta la vegetación en concentraciones mayores a 0.0800 ppm, los cuales provoca daños severos en las yemas laterales y apicales, alterando la productividad, mientras que, exposiciones a concentraciones inferiores a 0.0400 ppm pero continuas (Matyssek e Innes, 1999)



durante periodos prolongados de exposición inducen daño crónico en la vegetación (Karlsson *et al.*, 1995; Davis y Skelly, 1992).



Aún cuando el programa pretende controlar la concentración de contaminantes, este no ha dado excelentes resultados para reducir la contaminación que se presenta en la cuenca, además el parque vehicular de la ZMVM a aumentado, ya que en 1998 era de casi 3 millones de vehiculos y en el 2010 esta cifra aumentó a cerca de 5 millones, al igual que la flota vehicular, la industria también creció a lo largo de estos 15 años, la cual también emite contaminantes precursores del ozono.

El cuadro siguiente muestra algunos estudios realizados con el género *Abies*, además de otros géneros como *Pinus* y *Quercus*, en el cual se toma como indicador de salud el estado de la copa, donde se utilizan los porcentajes de retención de copa, la clase a la que pertenecen y el grado de daño de las copas de los árboles.



Cuadro 3. Estudios de retención de copa del género *Abies*, *Pinus* y *Quercus*.

Autor	Clase	Porcentaje de retención (%)	Grado de daño
Miller y Keen 1960	1	>55	Vigor completo
	2	30-55	Buen vigor
	3	10-30	Vigor pobre
	4	>10	Vigor muy pobre
SAGAR 1984 (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos)	1	25	Severo
	2	50	Medio
	3	75	Ligero
	4	100	Nulo
Blank <i>et al.</i> , 1988	1	≥ 90	Nulo
	2	89-75	Primera señal de alarma
	3	40-74	Moderado
	4	<40	Severo
	5		Muerte
Bonneau y Landman 1989	1	90-100	
	2	75-90	
	3	40-75	
	4	1-40	Irreversible
	5	0	Árbol muerto
Roberts, 1987	1	>90	Nulo
	2	75-90	Ligeramente dañado
	3	70-75	Daño medio
	4	<40	Severo
Alvarado <i>et al.</i> , 1993	1	0-10	Muy severo
	2	11-20	Severo
	3	21-30	Moderado
	4	31-40	Ligero
	5	> 40	Muy ligero
Chavarría 2007	1	25	Severo
	2	50	Moderado
	3	75	Ligero
	4	100	
RED CE Nivel I 2006	0	0-10	Nula
	1	11-25	Ligera
	2	26-60	Moderada
	3	>60	Grave
	4	100	Árbol muerto



Debido a que no se cuenta con trabajos parecidos a este estudio en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas, los resultados obtenidos en porcentaje de retención de copa se compararon con los registros hechos por Pérez (2000) y Chavarria (2007) en el Parque Nacional Iztaccihualt-Popocatepetl.

En el caso de Chavarria (2007) reporta que los cuatro sitios muestreados en el año de 1997 los árboles conservaban de CI-1 a CI-3 de retención de copa y el sitio que retiene menos follaje fue el norte, ya que el 60% del arbolado sólo conservaba CI-1 de su copa.

Por otro lado para los árboles muestreados en el año 2004, las retenciones iban de CI-1 a CI-4, aunque los árboles con la CI-4 de retención era bajo, el sitio con menor retención de copa fue el ubicado al sur ya que el 87% de sus árboles sólo retienen CI-1 de su copa.

Por su parte Pérez (2000) determino en su estudio que un 28.5% de los árboles presentaban CI-1 de retención de copa y seguido de CI-2 con 34.8%. Además del total de los árboles muestreados (950), en Izta-popo sólo se registraron 137 árboles sanos con CI-4 de retención de copa.

La exposición del bosque de oyamel al ozono, ha causado una disminución importante en el arbolado, caracterizado por la reducción de la copa, esto debido a la muerte temprana de ramas, reducción del contenido de clorofila en hojas y la fotosíntesis, dejando espacios abiertos en el bosque. Estos espacios afectan a los brinzales quienes al estar expuestos a concentraciones de ozono de 0.08 ppm, presentan síntomas de declinación (clorosis, mortalidad de hojas, reducción de área foliar, entre otros), por lo que destinan menos fotosintatos al crecimiento de órganos, así que de acuerdo con López *et al.* 2006, presentan una reducción en biomasa, principalmente de la raíz, seguido de las ramillas, sin embargo, el daño mayor es en el sistema radical, ya que se vuelve ineficiente en la capacidad de absorción de agua y nutrimentos, provocando que las nuevas ramillas fácilmente se necrosen (Figura 23 (a)).



El desbalance entre la biomasa aérea y subterránea, aunque se compensa por la caída de follaje, trae como consecuencia una reducción de la cantidad de carbono fijado y se altera la distribución del mismo, limitando los procesos de reparación y antioxidante, predisponiendo así al árbol a ser atacado por plagas (Fredericksen *et al.*, 1994).

El depósito atmosférico además de atacar de forma directa a los árboles, también lo puede hacer indirectamente, provocando diferentes tipos de daño, a lo largo de la copa, por lo tanto, los oyameles pueden presentar variados estados de salud como respuesta a la presión que los contaminantes atmosféricos ejercen, trayendo como consecuencia senescencia foliar y la muerte de los árboles. Además de lo anterior otro problema importante es la extracción de madera de árboles muertos para uso de los lugareños e incluso la presencia de tala ilegal de árboles, provocando la apertura de claros dentro del bosque, dejando sin protección al suelo propiciando la pérdida de nutrientes, agua, erosión de suelo, entre otras cosas (Figura 23 (b)).

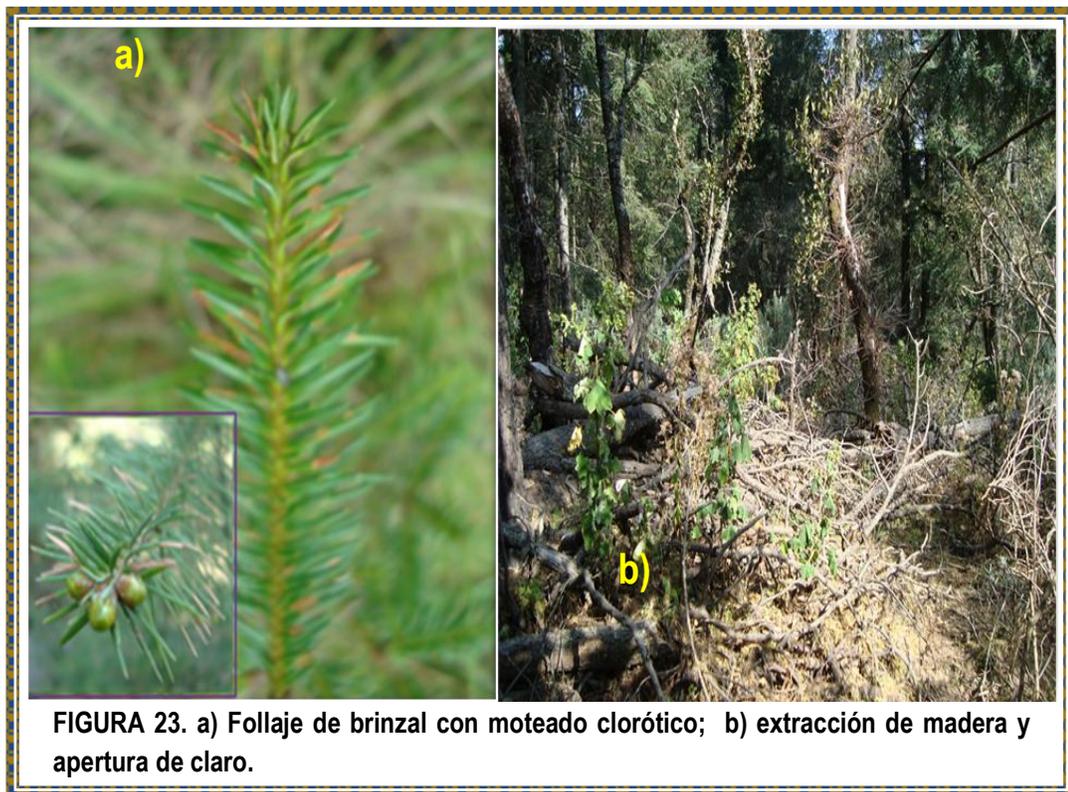


FIGURA 23. a) Follaje de brinzal con moteado clorótico; b) extracción de madera y apertura de claro.



8.2 TIPO DE DAÑO DE *Abies religiosa* EN EL RODAL DE 2012 (HUILAPAN, VUELTA OSCURA Y CAÑADA DEL QUESERO)

De acuerdo con Chawdick y Larson (1990), el desarrollo de los primordios terminales y laterales son los responsables del crecimiento estacional (primavera y verano) del tronco, hojas y raíces. La arquitectura de la copa está definida por lo anterior, cuando los contaminantes (O_3 , NO_x , SO_x , HC, NH_3 , entre otros) destruyen las células de los primordios (Smith, 1990) la forma característica de la copa se altera.

Las Figuras 24 y 25 representan el tipo de daño en árboles juveniles y adultos. En la Figura 24 se muestra el tipo de daño de los árboles juveniles, el 33% del arbolado tiene una muerte irregular, seguido de aquellos que no tienen algún tipo de daño (SD) 33% y sólo el 3% de los árboles juveniles muestran una muerte descendente.

Por otra parte en la Figura 25, se observa el tipo de daño del arbolado adulto presente en el rodal, el 46% de árboles adultos tienen una muerte ascendente, seguido de la muerte irregular con el 32% y sólo el 11% de los oyameles no tienen algún tipo de daño (SD).

Los árboles con muerte descendente y muerte lateral representan porcentajes bajos en comparación con las otras mortalidades, esto tanto en jóvenes como adultos. Por otro lado, los árboles juveniles sin daño (SD) constituyen el 33% respecto a los árboles adultos con el 11%, destacando que pocos árboles adultos no muestran algún daño en sus copas. Los árboles jóvenes con copas sin daño, se vean afectados en algún momento por los factores de estrés a los que está sometido el rodal, provocando algún tipo de mortalidad en su copa.

Chavarría (2007) el tipo de daño que registró para el año 2004 fue de muerte ascendente con el 56.7%, seguido de una muerte irregular 25.7%, sin daño 13.3% y por último muerte lateral con 4.5%, los árboles del año 1997 muestran muerte ascendente y muerte lateral. Tanto en 1997 como 2004 la muerte ascendente es la predominante, caso parecido ocurre en este estudio.

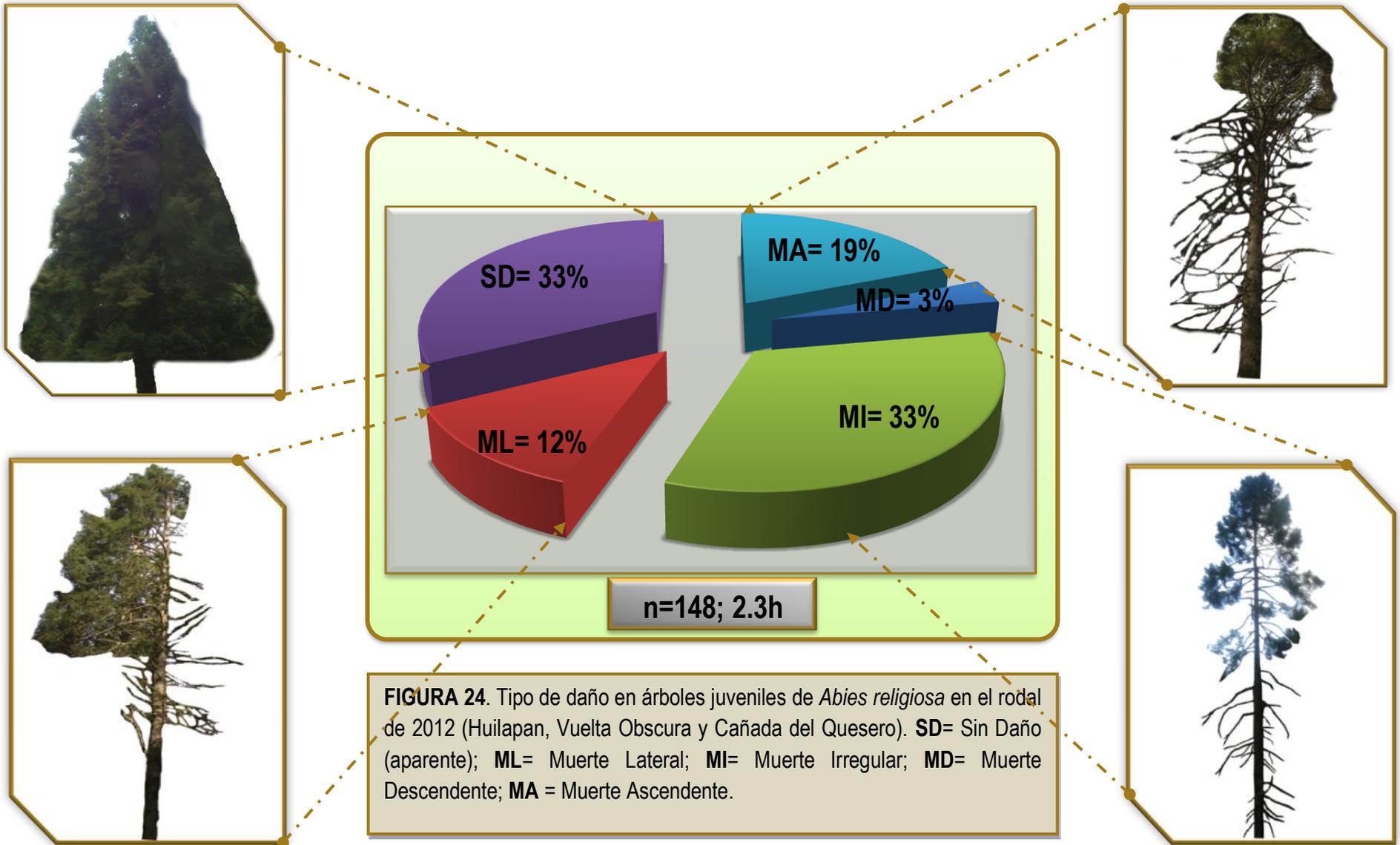


FIGURA 24. Tipo de daño en árboles juveniles de *Abies religiosa* en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero). **SD**= Sin Daño (aparente); **ML**= Muerte Lateral; **MI**= Muerte Irregular; **MD**= Muerte Descendente; **MA** = Muerte Ascendente.

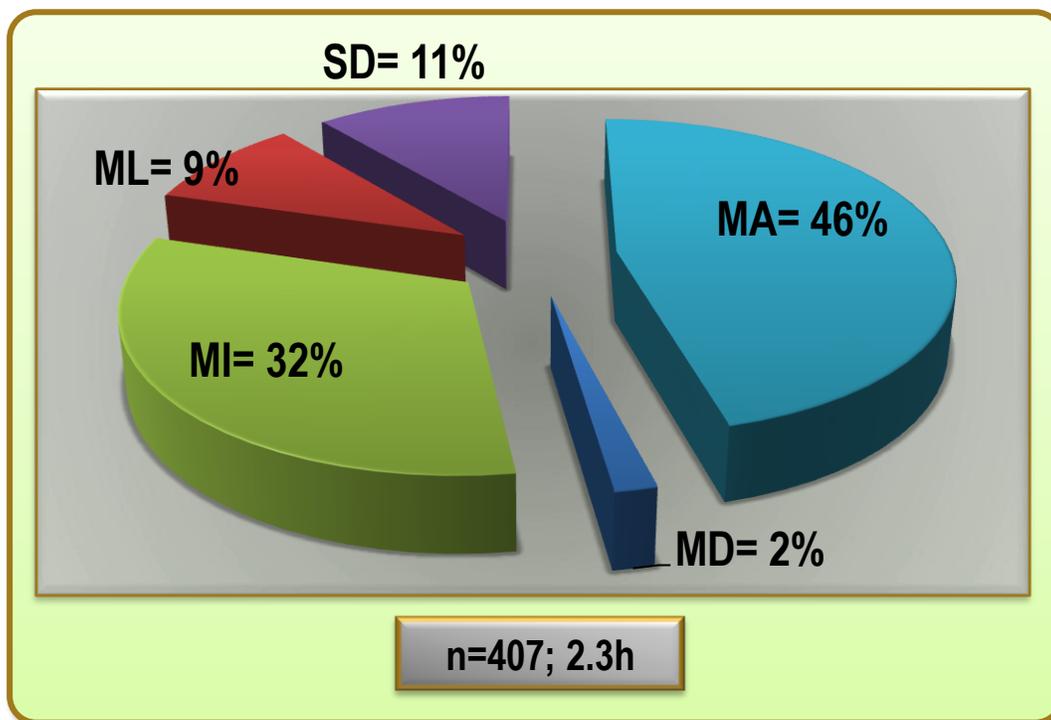


FIGURA 25. Tipo de daño en árboles adultos de *Abies religiosa* en el rodal de 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero). **SD**=Sin Daño (aparente); **ML**=Muerte Lateral; **MI**=Muerte Irregular; **MD**=Muerte Descendente; **MA**=Muerte Ascendente.

El tipo de daño tiene cinco clases sin daño, muerte lateral, muerte irregular, muerte descendente y muerte ascendente (Figura 26), obteniendo de esta forma información más precisa del daño, y de esta manera evaluar cuales son los factores que estén alterando el vigor de las copas de los árboles, ya que el problema de salud forestal se ve afectado por más de un factor, por lo tanto el porcentaje de retención de copa presente y el tipo de daño, no son dos factores aislados.

En varios estudios (Klap *et al.* (2000); De Vries *et al.* (2000a) Van *et al.*, (2000); De Vries *et al.* (2000b)), se hace referencia a los factores naturales y meteorológicos como la precipitación, temperatura, sequía, deficiencia de nutrientes, actividad microbiana. También explican que los factores antrópicos: contaminación del aire, depósito de SO_x, NO_x, O₃, NH₃, son los causantes de daño



en la copa de los árboles, por lo cual es posible determinar la variación de la defoliación en tiempo y espacio. Dentro de un bosque siempre existe un porcentaje de árboles con copas ralas, por ello la defoliación es un proceso normal durante el envejecimiento de un árbol, pero este proceso puede verse acelerado por la presencia de algún tipo de estrés tanto biótico como abiótico.

La muerte irregular, es un claro ejemplo de diferentes factores de presión, debido a que el deterioro en la copa no es uniforme, se ha demostrado que el ozono alcanza distancias considerables dependiendo de



FIGURA 26. Oyamel adulto que presenta muerte ascendente en el Parque Nacional Zoquiapan.

la dirección de los vientos y ha causado perturbación en la vegetación de innumerables y diversos ecosistemas, principalmente de aquellos países industrializados y densamente poblados (Hain, 1987; Cibrán 1989; Bytnerowicz 1996; Sandermann, 1996; Skelly *et al.*, 1996; De Vries 2000a; Percy y Ferretti, 2003; Bauer y Hémanadez 2006; Rosas *et al.*, 2006; Gonzales *et al.*, 2010).

Galindo (1989) menciona que el crecimiento demográfico desmesurado de la Cuenca de México, ha producido cambios substanciales en la superficie que ocupa y en las propiedades de la atmósfera que la rodea. El continuo incremento de la contaminación del aire impacta y se depositan en las zonas altas boscosas, ya que los vientos dominantes de la cuenca tienen una dirección norte al noreste, por otra parte Parque Nacional Zoquiapan se encuentra muy cerca de la carretera federal México-Puebla, por lo que las emisiones de los automóviles se depositan en la copa de los árboles del bosque de oyamel presente en el Parque.



Por esta razón es posible que la muerte irregular de *Abies religiosa*, sea por una parte causada por depósito atmosférico, en especial del ozono, debido a que existen diversas investigaciones (Mendoza, 1998; Sandermann, 1996; Skärby *et al.*, 1998) sobre los daños que causa a los vegetales, como la pérdida de follaje, amarillamiento de las hojas, destrucción de la clorofila, reducción del crecimiento, aceleración de la senescencia de las hojas, incluyendo las nuevas.

Martínez (2012) reportó en Zoquiapan síntomas del daño por ozono similares al que reporta Alvarado (1993) en el Desierto de los Leones, las cuales son manchas blancas o amarillas, produciendo lesiones rojizas o marrón, que posteriormente provoca necrosis de las acículas, con senectud y abscisión prematura. Martínez (2012) evalúa el daño por ozono de 348 árboles, en los cuales el 47% (130 árboles) presentaron un daño ligero de clase 1, el 28% (79 árboles) no tiene algún daño por ozono (Clase 0), el 22% (62 árboles) mostraron un daño ligero que corresponde a la clase 2, y el 3% (7 árboles) con daño moderado de clase 3, lo que refiere que el daño ocasionado por ozono en Parque Nacional Zoquiapan va de moderado a ligero.

La exposición del bosque de oyamel al ozono, ataque de insectos, plagas y tala clandestina, ha causado una disminución importante en el arbolado, por la pérdida la copa, esto debido a la muerte temprana de ramas que ha deja espacios en el bosque, el depósito atmosférico a demás de atacar de forma directa a los arboles, también lo pueden hacer indirectamente. En los árboles adultos el daño predominante fue de una muerte ascendente, que de acuerdo con Sierra *et al.*(1988) este tipo de mortandad correspondería a la poda natural de los árboles en zonas con alta densidad arbórea, contrario a ello Cibrán *et al.*, 2007 publicaron que uno de los primeros síntomas de un bosque en el proceso de decline es la muerte de las ramas en la parte inferior de la copa (Figura 27), con la finalidad de crecer rápidamente en altura y suprimir la competencia.



La asociación del daño en copa se expresa en el dendograma (Figura 28) en el cual se observa que existen cuatro agrupaciones, las cuales distan de estar en condiciones similares, ya que las distancias euclidianas en donde se agrupan están por debajo de 10. El primer grupo lo conforman las mortalidades ascendente e irregular, el primer tipo de mortalidad se considera como una situación provocada por la poda natural, pero incluso como un primer síntoma del decline, ya sea por un desequilibrio de nutrimentos del suelo, por aportes de lluvia ácida que daña el sistema radicular, lo que disminuye las posibilidades de los árboles a la obtención de agua y nutrimentos.

La mortalidad irregular coincide en copas con mayor incidencia de vientos, ya que estos pueden ejercer una fuerte influencia sobre la morfología y tamaños de las copas de los árboles, sin olvidar que pueden dispersar dióxido de carbono, sales, algunos compuestos volátiles, pero también contaminantes atmosféricos como gases y partículas que inciden en la copa la traspasan y le producen un daño en las ramas y ramillas (Bonneau y Landmann, 1989; Granados *et al.* 2001)

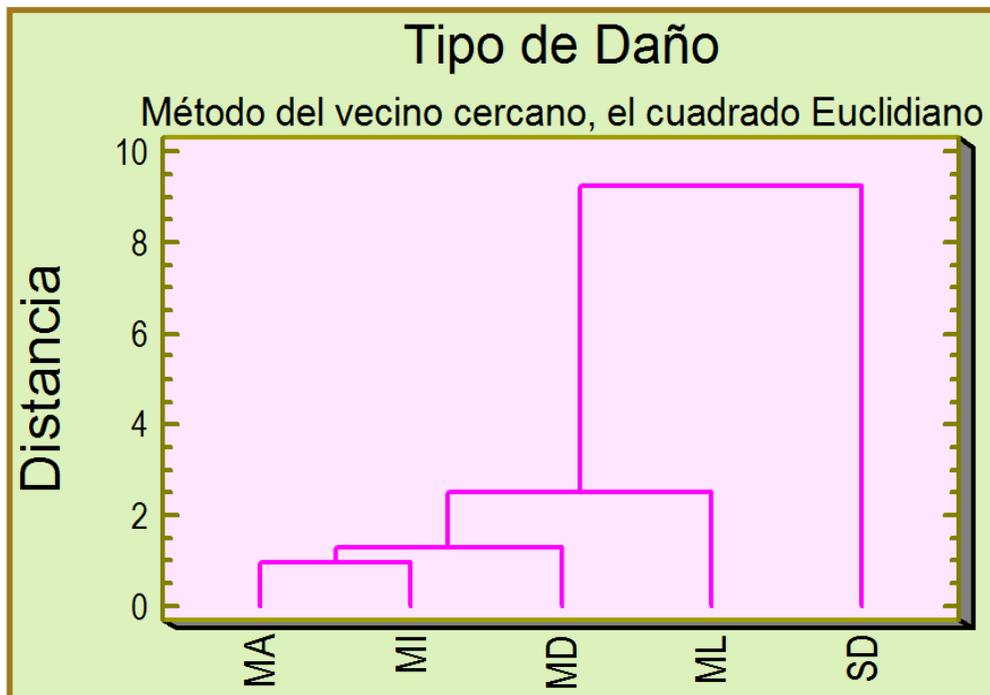


FIGURA 28. Dendrograma de tipo de daño de *Abies religiosa* en el rodal del 2012 (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero, Estado de México).

La segunda agrupación está dada por la mortalidad descendente y está se deriva del depósito de contaminantes (los cuales también se dispersan a través de los vientos), el cual es otro síntoma de decline forestal (González, 2005, Cibrán *et al.* 2007). La consecuencia de lo anterior es que al paso del tiempo el árbol tiene que sanear su follaje provocando que el árbol se desprenda del follaje viejo que por lo regular es la de la base, haciendo más sobresaliente la mortalidad ascendente. La tercera agrupación es con mortalidad lateral, el cual está asociado a la competencia por la luz, humedad e incluso nutrimentos dentro de la población. Por último se encuentra la asociación de los árboles sin daño, el cual muestra una mayor distancia euclidiana con las demás agrupaciones, lo que significa que estos árboles están establecidos en lugares donde las condiciones de nutrición, competencia, agua, protección de vientos, son idóneos para mantener su copa.



La defoliación es un indicador que nos permite conocer la pérdida de hojas de la copa, esta pérdida es una respuesta del árbol a condiciones de estrés, los árboles en decaimiento no recuperan su área foliar, por ello al disminuir la densidad de la copa, existe un aumento en la transparencia foliar, esta comienza desde la parte interior hacia la parte exterior, aumentando la entrada de luz y permitiendo el crecimiento de hierbas y arbustos, ocupando los espacios que podrían ser de las plántulas de oyamel (Chavarría, 2007).

8.3 POBLACIONAL DE *Abies religiosa* EN EL RODAL DE 2012 (HUILAPAN, VUELTA OSCURA Y CAÑADA DEL QUESERO)

La estructura vertical, se refiere a la ocupación espacial de los fustes sobre el suelo en términos de altura. Para poder determinar la estructura vertical del rodal se utilizaron las alturas de los árboles muestreados (Corvalán y Hernández, 2006). En este contexto para el año 1997 solo se describen el número de árboles brinzales, juveniles y adultos encontrados en el paraje Cementerio, se obtuvieron 950 árboles de los cuales 106 son brinzales, 104 juveniles y 740 adultos, estos datos se tomaron cerca de la localidad Rio Frio del Estado de México, con un área total de 0.3 ha.

En monitoreo del rodal realizado en el año 2012, se registraron 751 árboles de los cuales 186 son brinzales, 150 juveniles y 415 adultos, del total se encontraron 10 árboles muertos en pie (Figura 28). Los datos se tomaron en tres zonas Huilapan, Vuelta Obscura y Cañada del Quesero, con un área total de muestreo de 2.3 ha. Existe una diferencia entre la densidad arbórea de ambos rodales, Manzanilla (1974) reporta 556 oyameles por ha para un bosque natural.

Se identificaron tres estratos arbóreos de acuerdo a la clasificación de UIFRO:

Estrato superior con alturas de 29 m a 44 m, en el cual solo se encuentran 14 árboles con DN que van de 41 cm a 89 cm y que además presentan retenciones de copa de CI-1 y CI-2, con mortalidad ascendente.



Estrato intermedio con alturas de 29 a 14 m, 117 árboles están dentro de esta estructura con DN que van de 10 cm a 180 cm, con retenciones de copa de CI-1, CI-2 y CI-3 y además mortandades ascendente e irregular.

Estrato inferior con alturas menores a 14 m, en este estrato hay mas árboles 422, con DN que van de 3 cm a 66 cm, con retenciones de copa de CL-2, CL-3 y CI-4, con mortandades de tipo ascendente e irregular, pero también con árboles sin algún daño.

Por otro lado Madrigal (1964), Manzanilla (1974) y Nieto de Pascual (1995), describen solo dos estratos arbóreos el superior e inferior, para el estrato superior 16 a 35 m de alturas y DN de 45 cm alturas, en el caso del estrato inferior de 3 a 15 m de alturas y DN 15 a 25 cm. Manzanilla (1974) refiere que el 60% de su población arbórea esta dentro del estrato inferior y el 53% dentro del estrato superior. Como podemos notar la mayoría de los árboles de este estudio, se encuentran en los estratos intermedio e inferior, lo que se puede constatar con las categorías diamétricas, en el cual la mayoría de los árboles están presentes en las clases diamétricas que van de 0 a 60 cm de DN, estas categorías se describen en el siguiente apartado y son parte de la estructura horizontal de la población, Si bien la estructura horizontal puede ser representada por el área basal o la cobertura, éstas pueden definirse a partir de las distribuciones diamétricas dada la proporcionalidad que existe entre estas variables (Corvalán y Hernández, 2006).

8.4 CATEGORÍAS DIAMÉTRICAS DE *Abies religiosa*

En el rodal del 2012 se obtuvieron nueve clases diamétricas, cada una de estas clases van en un intervalo de 20 en 20 cm y representa la población de *Abies religiosa* (brinzales, juveniles y adultos), la mayoría de los árboles presentes se encuentran dentro de la clase I (76.9%) los cuales tienen un diámetro normal de 0-20 cm, le sigue la clase II y III (9.6% y 6.7% respectivamente), las cuales van de



20 a 40 cm y 40 a 60 cm de DN, en las clases diamétricas VI, VII, VIII y IX la presencia de árboles es baja, ya que menos del 1% se encuentran en alguna de estas clases (Figura 29).

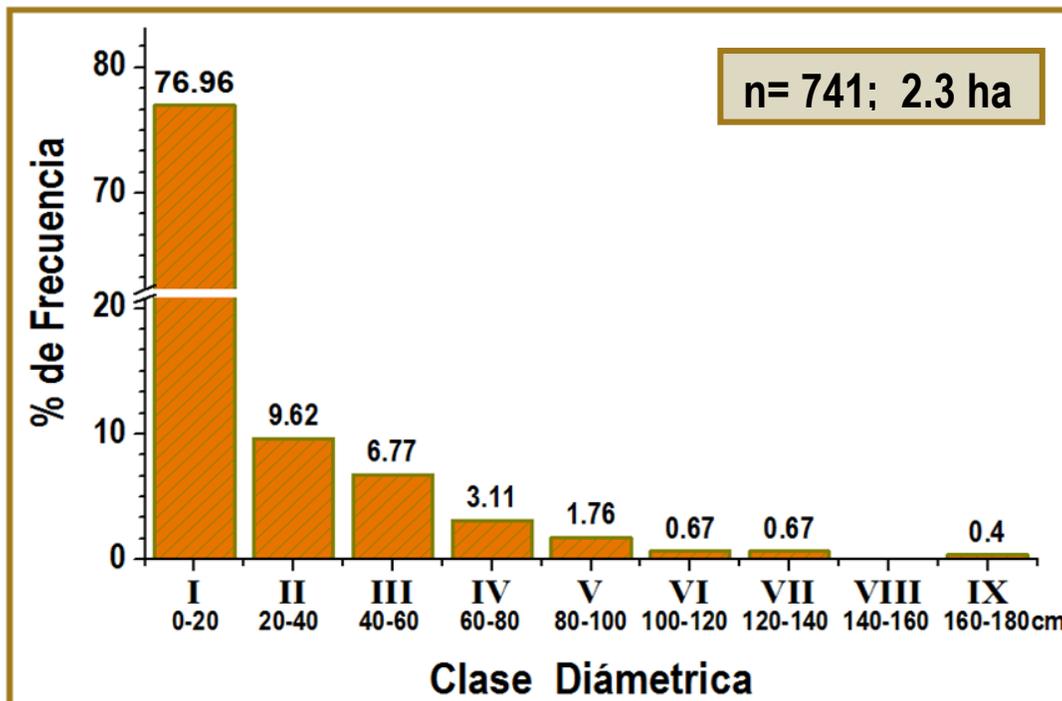


FIGURA 29. Categorías diamétricas de *Abies religiosa* en el rodal de 2012, (Huilapan, Vuelta Oscura y Cañada del Quesero, Estado de México).

En el rodal de 1997, se muestran nueve clases diamétricas, predominan tres categorías (I, II, III), para los oyameles que están en las categorías I con una frecuencia del 57%, para II es de 26% y por último el III con un 10%, estos tienen un diámetro normal de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm respectivamente, por otro lado la categoría diamétrica con más árboles es la I con el 57% de frecuencia (Figura 30).

Se determinó que las clases diamétricas más altas (VI, VII, VIII y IX) presentan pocos árboles, ya que la presencia de árboles adultos o seniles es menor en comparación con brinzales o juveniles, pero además estos últimos tienen un diámetro a la altura del pecho delgado.

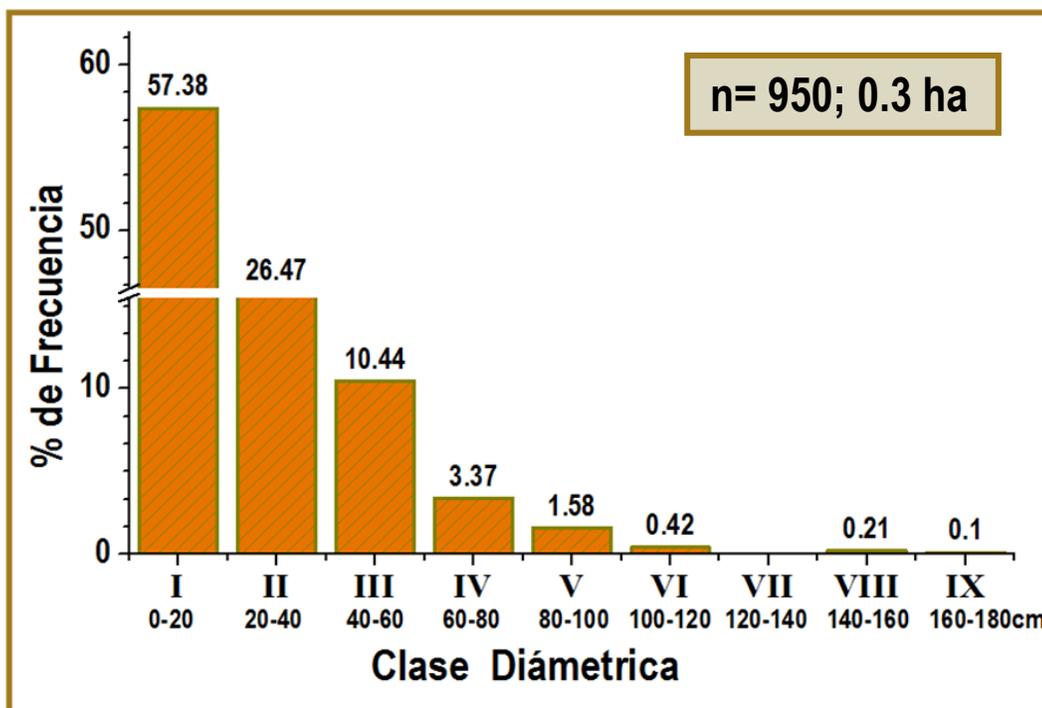


FIGURA 30. Categorías diamétricas de *Abies religiosa* en el rodal de 1997 (Cementerio, Estado de México).

Este bosque se encuentra en regeneración por la presencia de las etapas brinzales y juveniles, pero al no haber muchos árboles adultos y seniles, estos últimos no pueden efectuar su papel ecológico de propiciar las condiciones microclimáticas que necesitan para su supervivencia.

Manzanilla (1974), encontró que la mayor frecuencia de oyameles está en las categorías diamétricas I a la V, ya que aproximadamente el 92% de los árboles están presentes en alguna de estas cinco categorías, obteniendo DN de 10 a 100 cm, mientras que, en un bosque natural el mayor porcentaje se encuentra en las categorías que van de la I a la IV, con DN de 10 a 80 cm.

Por otra parte, Nieto de Pascual (1995), registra VI categorías diamétricas, en las cuales II, III, IV y V son las que presentan las mayores frecuencias, reporta un número muy reducido de los diámetros extremos y un incremento en la frecuencia hacia el intervalo entre los valores medios. El



daño de los renuevos por la contaminación del aire ha impedido la recuperación de la estructura de la población y por ello la pérdida de superficie arbolada por juveniles y posteriormente adultos (Figura 31).



FIGURA 31. Troncos de árboles adultos en el Parque Nacional Zoquiapan.

8.5 HUILAPAN

Se localiza en las coordenadas 19°21'29''N y 98°44'22''O, a 3530 m, con una pendiente de 17° a 30°, la geoforma es de una ladera con un microrelieve de aspecto cóncavo, la erosión es nula por la presencia de una amplia cobertura vegetal, donde el estrato arbóreo cubre el 75% de la cobertura, arbustivo 10% y herbáceo 15%. El estrato arbóreo presenta individuos derribados, resinados, podridos, con raíces expuestas y tocones. La presencia de conos es mínima, lo que indica que se encuentran en un estadio de baja reproducción. Se observó regeneración natural de *Abies religiosa*, reforestación con *Pinus hartwegii*, tinas ciegas para la captación de agua y suelo, sin embargo, en poco tiempo *Pinus hartwegii* es más exitoso a estas altitudes (Figura 32). En este paraje se muestrearon un total de 505 oyameles de los cuales 100 son brinzales, 116 juveniles y 289 adultos, se registraron 10 árboles muertos en pie (dos son juveniles y ocho adultos).



FIGURA 32. Panorama general de Huilapan y condición de copa de los árboles adultos del paraje en el Parque Nacional, Estado de México.

En el cuadro 4 representa los porcentajes de retención de copa y tipo de daño, tanto de árboles juveniles como adultos en Huilapan. Hay un cambio significativo en los porcentajes de retención como en el tipo de daño, en donde los juveniles presentan porcentajes de frecuencia de CI-4 y árboles sin daño, pero en los adultos ocurre lo contrario, ya que presentan retenciones de CI-1 y CI-2, con mortalidades ascendente e irregular.

Cuadro 4. Porcentaje de árboles *Abies religiosa* con retención de copa y tipos de daño en Huilapan, Estado de México.

Zona	PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE COPA (%)				Tipo de Daño (%)				
	CI-1 (25%)	CI-2 (50%)	CI-3 (75%)	CI-4 (100%)	ML	MA	MD	MI	SD
Juveniles	21	21	28	30	14	18	4	33	31
Adultos	36	31	24	9	8	49	1	33	9

Tipo de Daño: **SD**= Sin Daño, **ML**= Muerte Lateral, **MI**= Muerte Irregular, **MD**= Muerte Descendente, **MA** = Muerte Ascendente.



En la Figura 33, se muestra el porcentaje de retención de copa para Huilapan, el cual es de CI-1, ya que cuenta con un 32% del total de los oyameles registrados en esta parcela, seguido del CI-2 con el 28%. Sólo el 15% de los árboles tienen CI-4, mientras que, la CI-3 cuenta con un 25%.

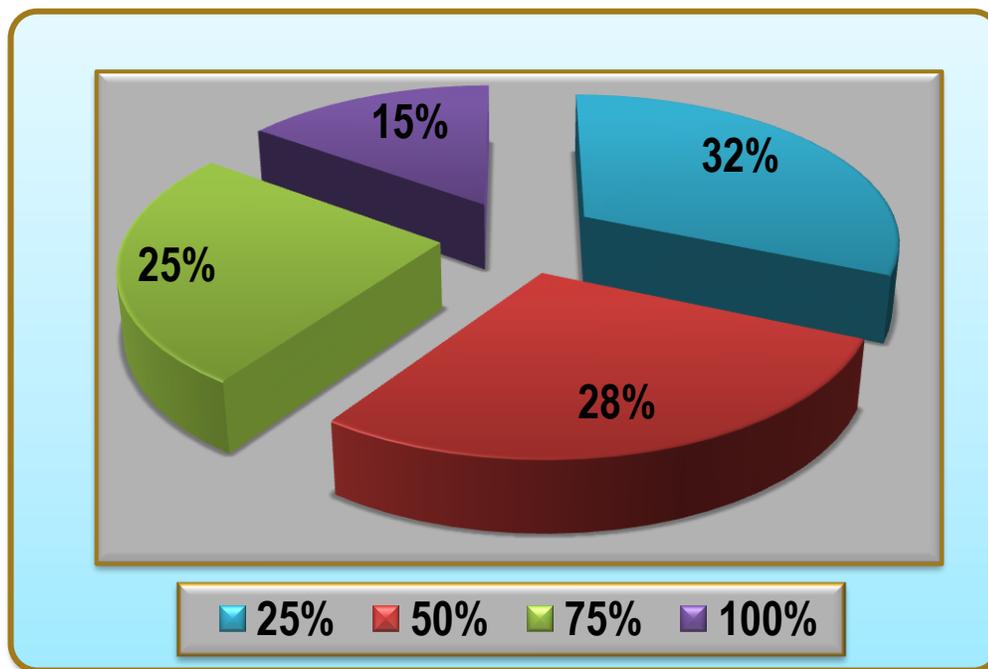


FIGURA 33. Porcentaje de retención de copa de *Abies religiosa* en Huilapan del Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.

En Huilapan a pesar de que los árboles jóvenes retienen mas copa, algunos de ellos poseen copas ralas, un poco más del 40% (cuadro 4), comparando las retención de copa de los árboles jóvenes con los adultos, se observa que estos últimos poseen copas con poco follaje que permite el paso de la luz al albedo del suelo. A consecuencia de lo anterior, las especies de herbáceas y arbustivas, aprovechen estas condiciones de alta radiación, para establecerse fácilmente, y ganarle espacio a *Abies religiosa*.

En el listado florístico de esta zona, realizado por Ortiz 2013 *op cit.* se registran 17 especies, correspondiente a 754 individuos, tres de las especies se encuentran asociadas a *Abies religiosa* como



Roldana angulifolia, *Roldana barba-johannis* y *Acaena elongata*. Existen ocho especies asociados a lugares perturbados y claros: *Arenaria lycopodioides*, *Baccharis conferta*, *Barkleyanthus salicifolius*, *Erigeron galeottii*, *Gnaphalium semiamplexicaule*, *Stipa ichu*, *Acaena elongata* y *Alchemilla procumbens* (Figura 34, 35, 36 y 37)



FIGURA 34. *Baccharis conferta*.



FIGURA 35. *Barkleyanthus salicifolius*.



FIGURA 36. *G. semiamplexicaule*.



FIGURA 37. *Stipa ichu*.

Los tipos de daño presentes en la parcela muestran que el 40% de los oyameles tienen una muerte ascendente, mientras que el 33% una muerte irregular, por otro lado, sólo el 15% de los árboles encontrados en Huilapan no presentan algún tipo de daño (SD) y el muerte descendente fue el de menor porcentaje con un 2% (Figura 38).

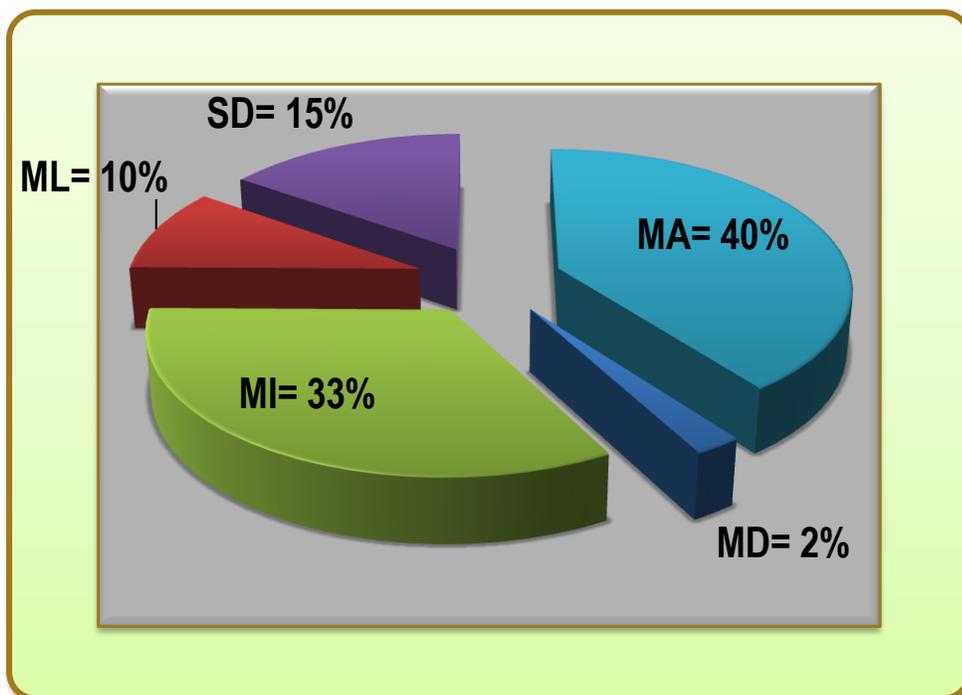


FIGURA 38. Tipo de daño en Huilapan, Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México. **SD**= Sin Daño (aparente); **ML**= Muerte Lateral; **MI**= Muerte Irregular; **MD**= Muerte Descendente; **MA** = Muerte Ascendente.

Cabe destacar que la presencia de herbáceas y arbustivas, en conjunto con una densidad no escasa, permiten que el aire que circula verticalmente en la primavera propicie la fertilidad de los conos. Sin embargo, sin el microclima adecuado no se propicia este fenómeno, trayendo como consecuencia que los brotes no originen órganos reproductivos.

En el cuadro 5 se muestra el número de árboles los cuales presentan algún tipo de daño con su respectivo porcentaje de retención de copa. Los árboles con muerte ascendente, poseen una retención de copa de CI-1 y CI-2, para el caso de los oyameles con muerte irregular estos tienen una CI-1 y CI-3 de retención. Por otro lado, los árboles con muerte lateral sus retenciones son de CI-2 y CI-3, mientras



que muerte descendente sólo hay cuatro y cinco árboles con CI-1 y CI-2 de retención. Por último, sólo 60 árboles son los que no tienen algún tipo de daño y copas completas (CI-4) dentro de esta parcela.

Cuadro 5. Número de árboles de *Abies religiosa* con porcentaje de retención de copa y tipo de daño en Huilapan, Estado de México.

% R. de Copa	Muerte Ascendente (MA)	Muerte Descendente (MD)	Muerte Irregular (MI)	Muerte Lateral (ML)	Sin Daño (SD)
CI-1 (25%)	54	4	62	5	0
CI-2 (50%)	54	5	30	22	0
CI-3 (75%)	47	0	42	10	0
CI-4 (100%)	0	0	0	0	60

8.6 VUELTA OBSCURA

Se encuentra en las coordenadas 19°21'27''N y 98°44'28''O (Figura 29). Con una altitud de 3524 m, pendiente de 40°. La erosión del suelo es nula, con una cobertura vegetal de tres estratos, arbóreo con un 75%, arbustivo con el 15% y herbáceo con un 10%. Al igual que la localidad anterior presenta daño en la vegetación arbórea como extracción de ocote, incendios, presencia de tocones y de árboles despuntados, además de algunos registros de corta de saneamiento en árboles.

Hay evidencias de un incendio ligero que sólo afectó la hojarasca, en cuanto a la regeneración natural hay presencia de *Abies*, *Quercus* y *Alnus*, reforestación con *Pinus*. Se observan pocos conos en la zona y un área desnuda del 5%. La geoforma es de una cañada y ladera, teniendo un microrrelieve irregular. Presenta tinas ciegas para la captación de agua y evitar la pérdida de suelo, (Figura 39). En Vuelta Obscura el total de árboles muestreados fue de 166, los cuales 48 son brinzales, 28 juveniles y 90 adultos.



El cuadro 6 se observa las retenciones de copa, así como los tipos de daño, tanto de árboles juveniles como adultos registrados en Vuelta Obscura, en esta parcela sucede algo muy parecido a Huilapan, ya que la mayoría de los árboles juveniles presentan CI-4 de retención de copa y ningún daño, para el caso de los árboles adultos las retenciones de copa son de CI-1 y los daños en copa son de muerte ascendente e irregular.

Cuadro 6. Porcentaje de árboles de *Abies religiosa* con retención de copa y tipos de daño en Vuelta Obscura. Estado de México.

Zona	PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE COPA (%)				Tipo de Daño (%)				
	CI-1 (25%)	CI-2 (50%)	CI-3 (75%)	CI-4 (100%)	SD	MA	MD	MI	ML
Juveniles	22	14	25	39	39	25		29	7
Adultos	33	21	32	14	14	47	1	31	7

Tipo de Daño **SD**= Sin Daño, **ML**= Muerte Lateral, **MI**= Muerte Irregular, **MD**= Muerte Descendente, **MA** = Muerte Ascendente.



Vuelta Obscura (Figura 40) presenta porcentajes de retención de copa de la CI-1 (31%) y CI-3 (31%). Por otro lado, el 19% de los oyameles tienen CI-2 y CI-4 de retención. Esta parcela tiene copas menos ralas en comparación con Huilapan, aunque la mitad del arbolado muestra retenciones de CI-1 y CI-2.

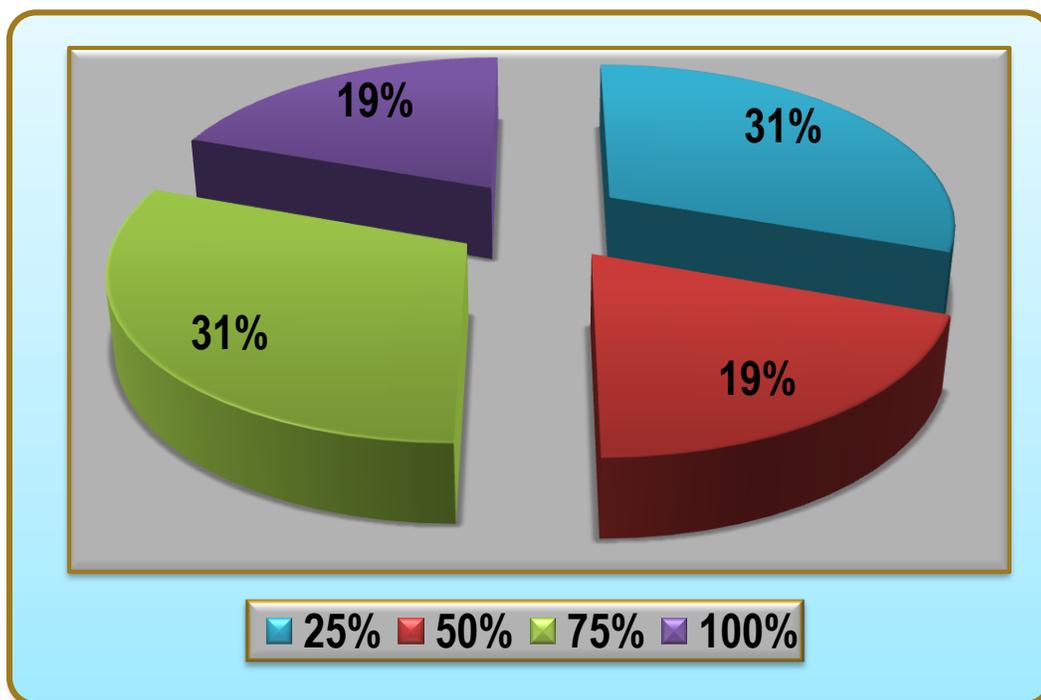
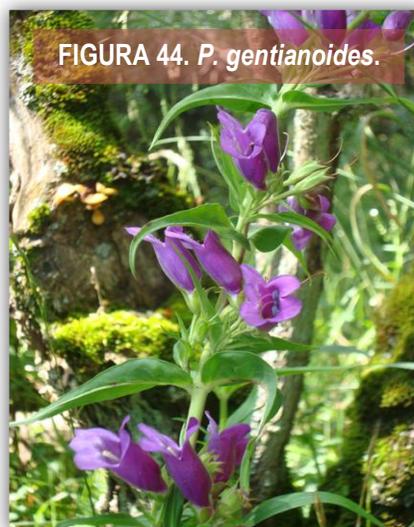
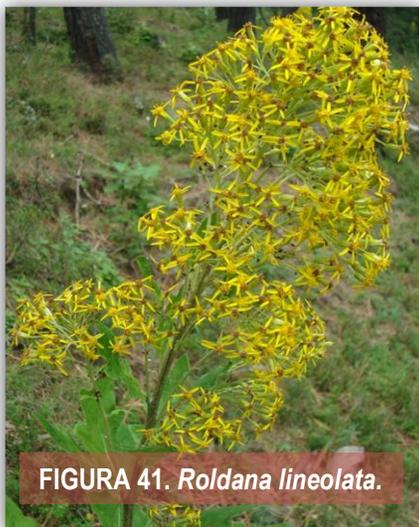


FIGURA 40. Porcentaje de retención de copa de *Abies religiosa* en Vuelta Obscura del Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.

Para este sitio, Ortiz (2013) encontró 24 especies, con 848 individuos, sólo se registró una especie endémica del centro oriente de México *Geranium latum*, dos especies asociadas a *Abies religiosa*, *Roldana angulifolia* y *Acaena elongata*. Asimismo, obtuvieron ocho especies que se encuentran en lugares claros y perturbados *Baccharis conferta*, *Barkleyanthus salicifolius*, *Roldana lineolata*, *Geranium potentifolium*, *Acaena elongata*, *Alchemilla procumbens*, *Lupinus campestris* y *Penstemon gentianoides* (Figura 41, 42, 43 y 44).



La densidad arbórea es mayor en Huilapan (505) que en Vuelta Obscura (166), lo cual trae como consecuencia que Vuelta Obscura sea la parcela con mayor presencia de especies herbáceas y arbustivas (24 especies, 848 individuos) en comparación con Huilapan (17 especies, 754 individuos), ya que los espacios que son liberados por los árboles, son aprovechados por esta vegetación.

En el paraje Vuelta Obscura (Figura 45) el 42% de los árboles registrados tienen una muerte ascendente, seguido por una muerte irregular (31%) y sólo el 19% del arbolado no tiene algún daño. Esta parcela presenta más árboles sin daño en su copa que Huilapan (SD=19%). Los árboles tienen la capacidad de almacenar nutrientes, hidratos de carbono y agua, y por lo general estos al estar sanos tienen coronas simétricas y con un follaje distribuido a lo largo del tallo (Waring, 1987).

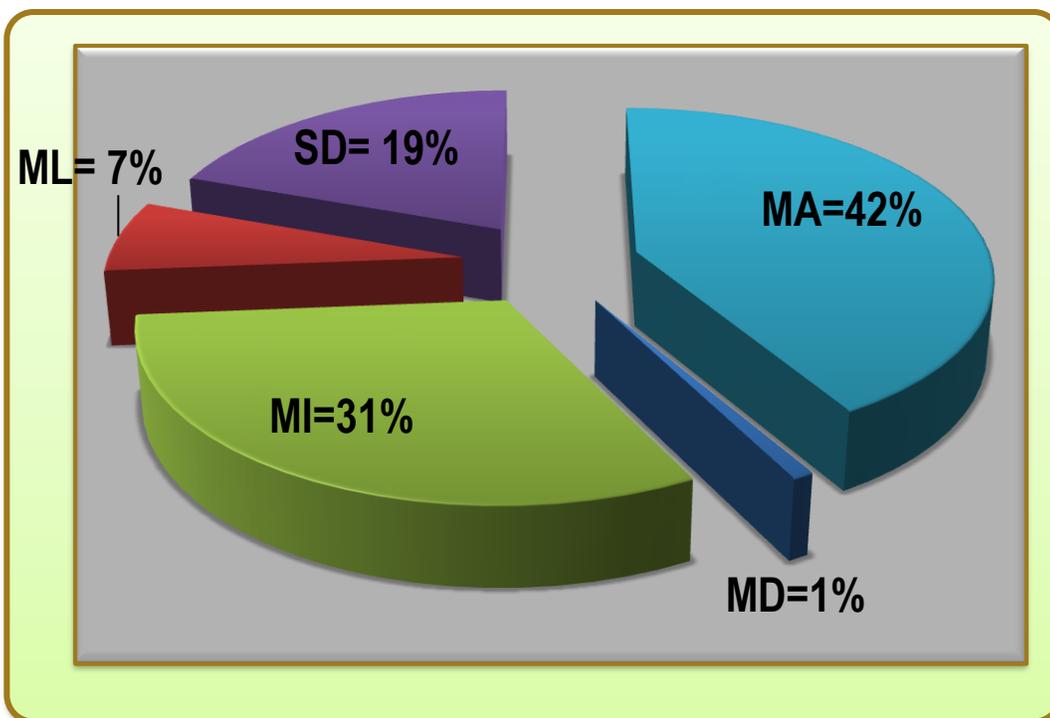


FIGURA 45. Tipo de daño de Vuelta Oscura, Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México. **SD**= Sin Daño (aparente); **ML**= Muerte Lateral; **MI**= Muerte Irregular; **MD**= Muerte Descendente; **MA** = Muerte Ascendente

. En el cuadro 7 observamos que los oyameles con una muerte ascendente en su mayoría posee la CI-1 de retención, mientras que la muerte irregular CI-3, para los árboles con muerte lateral su retención de copa es de CI-1 y 23 árboles retienen CI-4 de su copa, además de no presentan algún daño.

Cuadro 7. Número de árboles de *Abies religiosa* con porcentaje de retención de copa y tipo de daño en Vuelta Oscura, Estado de México.

% R. de Copa	Muerte Ascendente (MA)	Muerte Descendente (MD)	Muerte Irregular (MI)	Muerte Lateral (ML)	Sin Daño (SD)
CI-1 (25%)	24	0	5	7	0
CI-2 (50%)	12	1	9	1	0
CI-3 (75%)	12	0	24	0	0
CI-4 (100%)	0	0	0	0	23



8.7 CAÑADA DEL QUESERO

Se localiza en las coordenadas 19°21'09''N y 98°43'55''O (Figura 49), a una altitud de 3459 m. Geofoma de cañada con microrelieve irregular y una pendiente de 30°. Las actividades antrópicas existentes son las prácticas silvícolas. Cobertura vegetal: arbóreo 70 % dominado por *Abies religiosa*, el estrato arbustivo con 10 % y finalmente el herbáceo con 20 %. Se observa daño en la vegetación arbórea como individuos resinados, plagados, despuntados y tocones (Figura 46). Regeneración natural de *Abies* y reforestación con *Pinus*. Para el sitio Cañada del Quesero el total de árboles registrados fue de 80 oyameles, de estos 38 son brinzales, 6 juveniles y 36 adultos.



El cuadro 8 presenta el porcentaje de retención de copa y tipo de daño de árboles juveniles y adultos que se registraron en el sitio Cañada del Quesero, en esta parcela los árboles juveniles presentan en su mayoría una CI-4 de retención, lo que hace referencia a que no existe algún daño en sus copas. La CI-2 de retención no se registró en el arbolado joven, pero sí en los árboles adultos ya que la mayoría de ellos tiene CI-2 de retención y muerte lateral.



Cuadro 8. Porcentaje de árboles de *Abies religiosa* con retención de copa y tipos de daño en Cañada del Quesero, Estado de México.

Zona	PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE COPA (%)				Tipo de Daño (%)				
	CI-1 (25%)	CI-2 (50%)	CI-3 (75%)	CI-4 (100%)	SD	MA	MD	MI	ML
Cañada del Quesero									
Juveniles	17		33	50	60	17		33	
Adultos	20	39	22	19	19	22	6	25	28

Tipo de Daño **SD**= Sin Daño, **ML**= Muerte Lateral, **MI**= Muerte Irregular, **MD**= Muerte Descendente, **MA** = Muerte Ascendente.

La Figura 47 muestra que las copas de los oyameles en Cañada del Quesero retienen CI-2 con el 33%, mientras que el 19% posee el CI-1 de retención, seguido por la CI-3 y CI-4 con 24% cada uno, en esta zona pocos árboles tienen CI-1 de retención, por lo que las copas del arbolado son más completas, sin embargo la densidad arbórea es menor (80 árboles) comparado con los otros parajes.

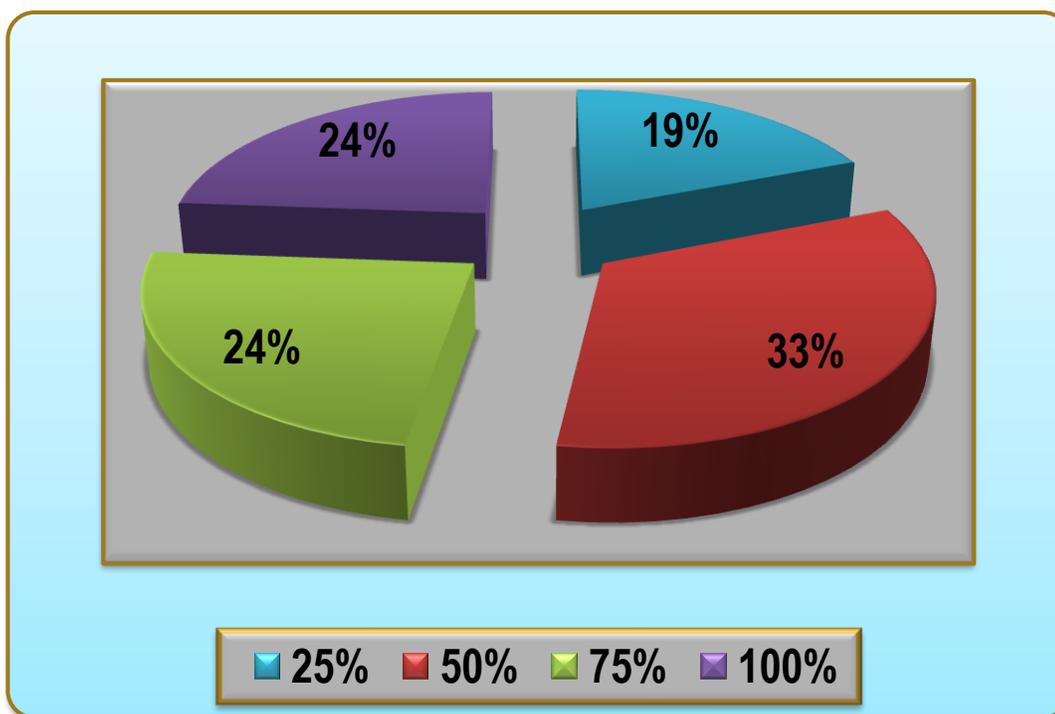


FIGURA 47. Porcentaje de retención de copa de *Abies religiosa* en Cañada del Quesero en el Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.



Cañada del Quesero es la parcela con mayor porcentaje de retención de copa, ya que posee más árboles con la CL-4, en comparación con las otras dos, aunque los árboles con la CL-2 son los más frecuentes para esta zona.

En Cañada del Quesero fue donde Ortiz (2013) registró más especies (25 spp) con 353 individuos, solo tiene una especie *Geranium latum*, dos asociadas a *Abies religiosa*, *Roldana angulifolia* y *Acaena elongata*. No se encontró alguna especie invasora, sin embargo esta zona presentó el mayor número de especies frecuentes en claros y zonas perturbadas (12 spp) *Achillea millefolium*, *Baccharis conferta*, *Barkleyanthus salicifolius*, *Gnaphalium semiamplexicaule*, *Roldana lineolata*, *Geranium potentifolium*, *Geranium seemannii*, *Stipa ichu*, *Acaena elongata*, *Alchemilla procumbens*, *Erigeron galeotti* y *Valeriana clematitidis* (Figura 48, 49, 50 y 51)



FIGURA 48. *G. potentifolium*.



FIGURA 49. *Acaena elongata*.



FIGURA 50. *Erigeron galeottii*.



FIGURA 51. *Valeriana clematitidis*.



En Cañada del Quesero, el 26% de los árboles tienen muerte irregular, por otro lado, tanto muerte lateral como sin daño cada uno poseen el 24% de los oyameles. A diferencia de las otras parcelas pocos árboles presentan muerte ascendente, pero además el daño en sus copas es menor, ya que estos árboles conservan más follaje en comparación con los árboles de las otras parcelas.

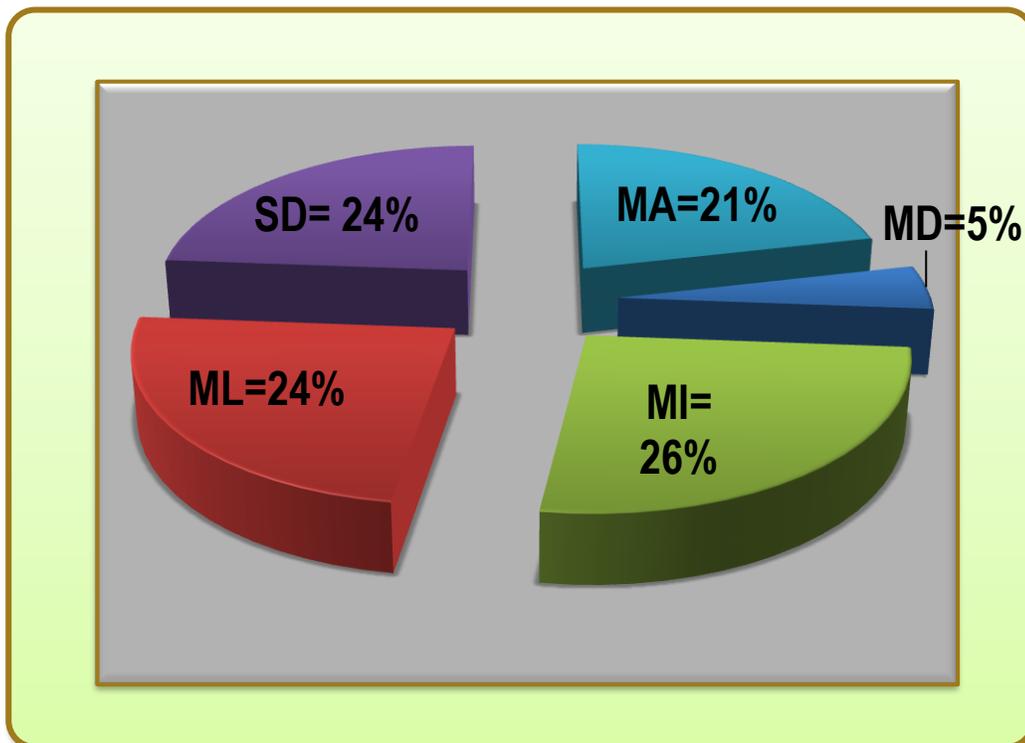


FIGURA 52. Tipo de daño de Cañada del Quesero, Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México. **S**= Sin Daño (aparente); **ML**= Muerte Lateral; **MI**= Muerte Irregular; **MD**= Muerte Descendente; **MA** = Muerte Ascendente

. En el cuadro 9 se observa que la mayoría de los oyameles con CI-1 tienen una muerte ascendente. Por otra parte los árboles CI-2 de retención presentan muerte lateral en sus copas, en el caso de los árboles con CI-3 la mortalidad predominante es la irregular.

A pesar de que en esta parcela los árboles retengan más follaje y tengan copas más completas, es lo que presenta más especies herbáceas y arbustivas (25 spp), a diferencia de Huilapan (17spp) y Vuelta Oscura (24spp).



Cuadro 9. Número de árboles de *Abies religiosa* con porcentaje de retención de copa y tipo de daño en Cañada del Quesero, Estado de México.

Porcentaje de Retención de Copa	Muerte Ascendente (MA)	Muerte Descendente (MD)	Muerte Irregular (MI)	Muerte Lateral (ML)	Sin Daño (SD)
CI-1 (25%)	6	1	0	1	0
CI-2 (50%)	2	1	2	9	0
CI-3 (75%)	1	0	9	0	0
CI-4 (100%)	0	0	0	0	10

En el cuadro 10 se observa que Cañada del Quesero es la zona que presenta mayor retención de copa, por contar con el menor porcentaje de árboles con CI-1, aunque el 33% presente CI-2, además de ser la zona con más oyameles sin algún daño. En el caso de Vuelta Oscura es el que se encuentra en condiciones medias, ya que el 50% de su población posee una copa por arriba de la CI-2 de retención y la otra mitad por debajo del mismo, no obstante es importante mencionar que en esta zona la presencia de claros fue abundante dentro del manchón de oyamel.

Cuadro 10. Porcentajes totales de retención de copa y tipo de daño de *Abies religiosa* de las tres zonas de estudio

Zona	Porcentaje de retención de copa				Tipo de Daño				
	CI-1 (25%)	CI-2 (50%)	CI-3 (75%)	CI-4 (100%)	SD	MA	MD	MI	ML
Huilapan	32%	28%	25%	15%	15%	40%	2%	33%	10%
Vuelta oscura	31%	19%	31%	19%	19%	42%	1%	7%	31%
Cañada del Quesero	19%	33%	24%	24%	24%	21%	5%	26%	24%

Tipo de Daño **SD**= Sin Daño, **ML**= Muerte Lateral, **MI**= Muerte Irregular, **MD**= Muerte Descendente, **MA** = Muerte Ascendente.

En cuanto a Huilapan, es el paraje que tiene menor retención de copa comparado con las otras dos zonas, debido a que sus árboles poseen entre CI-1 y CI-2, es el único sitio en el que se encontraron árboles muertos en pie. Para las tres zonas los tipos de daño más comunes son muerte ascendente,



muerte irregular y muerte lateral, aunque para Huilapan y Vuelta Oscura sus árboles tienen una muerte ascendente.

A pesar de que Cañada del Quesero, presenta mayor porcentaje de retención de copa, no obstante hay que considerar que es el de menor número de árboles registrados (80 árboles) y es el de mayor número de especies herbáceas y arbustivas (25 spp) de acuerdo a Ortiz (2013), en el listado florístico de esta zona.

Vuelta Oscura es la parcela con una densidad arbórea de 166 y sólo presenta 24 especies herbáceas y arbustivas, una menos que Cañada del Quesero. Los daños en las copas de sus árboles son intermedios, es decir posiblemente es la que pueda recuperarse con mayor rapidez del estrés al que está siendo sometida con un buen programa de manejo y recuperación forestal.

Por otra parte Huilapan presenta menor porcentaje de retención de copa y más árboles con algún tipo de daño, en comparación con los otros dos sitios, sin embargo es la que tiene menos especies herbáceas y arbustivas (17 spp) y mayor densidad arbórea (505).

Se observa en la Figura 53, ya que muestra una imagen aérea de la ubicación de las zonas de estudio de acuerdo a sus coordenadas geográficas, en la cual la coloración verde oscuro en Huilapan (indica mayor densidad arbórea), mientras que en Vuelta Oscura y Cañada del Quesero la tonalidad de verde grisácea, confirman la poca presencia de árboles.

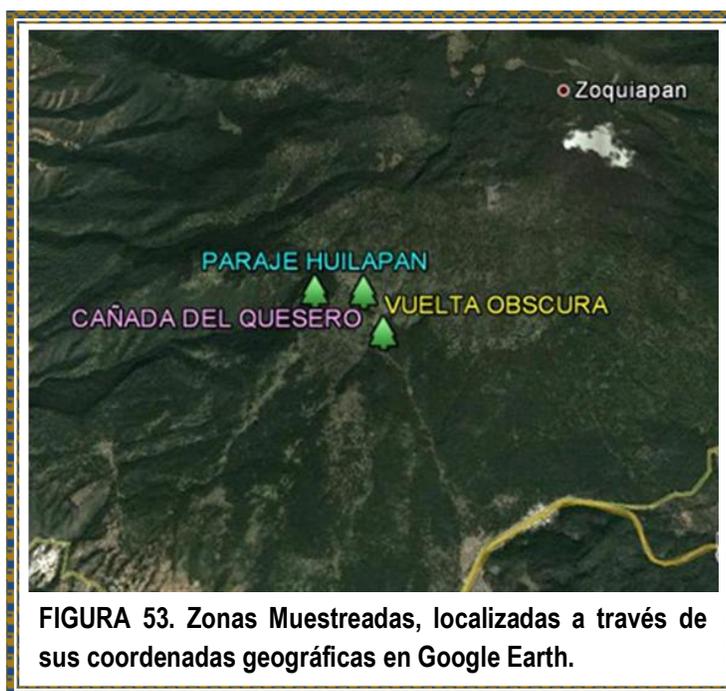


FIGURA 53. Zonas Muestreadas, localizadas a través de sus coordenadas geográficas en Google Earth.



El aumento de luz, tiene repercusiones, ya que provoca cambios en la tasa fotosintética, temperatura del suelo y del aire, disponibilidad del agua y actividad de los microorganismos del suelo (Dai, 1996; Maycotte *et al.*, 2002) (Figura 54). En el caso del bosque de *Abies religiosa* el que los árboles permitan mayor paso de la luz al suelo, afecta a los brinzales, ya que estos necesitan la protección de las copas de los adultos y seniles, así como el microclima que ellos generan y al no presentar la cobertura suficiente se dificulta su supervivencia, los brinzales son muy susceptibles a la intensidad luminosa alta, por lo que en espacios abiertos exhiben una gran mortandad (Camacho, 1996).



La retención de copa que presentan los árboles registrados en los tres parajes y debido a que sus semillas no forman bancos de semillas duraderos, dada su corta longevidad (Román y Franco, 2001; Nieto de Pascual, *et al.*, 2003), podrían no estar recibiendo las condiciones adecuadas para la regeneración natural del bosque y como consecuencia permitir la presencia de vegetación secundaria.



En un bosque de *Abies religiosa* la presencia de herbáceas o arbustivas es escasa, ya que si la humedad baja y coincide con un aumento de temperatura, este tipo de vegetación puede inducir incendios y al no tenerlas, le permite defenderse de los mismos (Rosas *et al.*, 2006). Por ello, la presencia de especies herbáceas y arbustivas sugiere, disturbios pues en condiciones naturales en donde los abetos alcanzan alturas de más de 30 metros, esta vegetación es escasa (Rzedowski y Rzedowski, 1979; Nieto de Pascual 1995; Ávila-Akerberg, 2002, Santibañez, 2009).

Por ello cuando un bosque de este tipo es deforestado o dañado, no se puede recuperar fácilmente pues los jóvenes requieren la protección contra la insolación intensa que les proporcionan los adultos.

La mayor absorción de radiación tiene lugar en las partes superiores de las copas (Lambers *et al.*, 2008). La distribución de la radiación depende de la densidad y la distribución del follaje, además de la densidad de la población, generalmente las hojas que se encuentran en la parte superior reciben mayor intensidad de luz y a diferencia de las hojas en la parte baja (Pallardy, 2005). En un bosque de abetos jóvenes (6 m aproximadamente), la temperatura media diaria va de 21.6 °C a 18.3 °C y oscila entre 16.4 °C y 14 °C, simultáneamente el porcentaje de radiación va disminuyendo (del 91% al 5%) cuando llega al suelo (Calva, 2012).

La temperatura es diferente en toda la copa y para el caso del bosque de oyamel, la periferia de la copa llega a tener hasta 3 °C más con respecto al follaje interno o cercano al tronco, las hojas de sombra (follaje en el interior y parte baja de la copa) pueden supervivir y realizar fotosíntesis en presencia de poca luz, también se encuentran bajo menos estrés por agua en días claros que las hojas de sol (hojas de la parte superior y periferias de la copa). Cuando a las hojas de sombra se les expone repentinamente a una mayor cantidad de luz, como sucede después de una apertura del dosel, estas son incapaces de supervivir, esto debido a la excesiva pérdida de humedad y entrada de luz a los



cloroplastos, bajo estas condiciones las hojas mueren y se caen, por tanto la supervivencia de las ramas depende de ello. La inestabilidad de variación de la temperatura en la población afecta la evotranspiración, con su consecuente gasto en la fotosíntesis fenómeno que se incrementa en bosques abiertos (Calva 2012).

En la interacción medio-plantas, los rodales arbóreos ejercen una marcada influencia sobre el microclima creándose un sistema interactivo que cualquier cambio en alguno de sus componentes conduce a un ajuste con el resto (Figura 55). La cubierta arbórea, receptora de la



FIGURA 55. Especies herbáceas y arbustivas dentro de un claro presente en Vuelta Obscura, Estado de México.

radiación solar reduce la cantidad de radiación que se transmite a través de la copa y modifica parcialmente su espectro, la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR por su siglas en inglés) es menor bajo cubierta (Aussenac, 2001).

Asimismo, el dosel arbóreo actuará como pantalla interceptora de las precipitaciones, su densidad será factor influyente en la evaporación potencial; la arquitectura de la copa, la morfología y anatomía de las hojas afectarán no sólo el status hídrico del arbolado y parámetros fisiológicos, sino también condicionarán la disponibilidad de agua para la regeneración; y todo ello implicará adaptaciones fisiológicas a las modificaciones microclimáticas (Pardos, 2005).

En algunas de las zonas de estudio se realizaron corta de saneamiento, muchas veces estos tratamientos no sólo aumentan los niveles de radiación, cualitativa y cuantitativamente, lo que tiene un



efecto directo sobre la fotosíntesis, mejora la disponibilidad de agua y reduce el estrés hídrico, también favorece la rápida mineralización del humus, liberación de nitrógeno, derivada de la mayor iluminación y disponibilidad de agua, conduce al aumento de la tasa de crecimiento en diámetro y aumento de la biomasa (Kozlowsky *et al.*, 1991). Sin embargo, al existir especies arbustivas y herbáceas, y a que la germinación de las semillas es más rápida, aprovechan las condiciones del rodal para poder establecerse y ganar terreno a *Abies religiosa*.

Por lo tanto, la formación de claros en el dosel del bosque determina grandes cambios (Figura 56) tanto en las condiciones de luz como de temperatura, humedad y riqueza de nutrimentos del suelo, y las especies vegetales pueden ordenarse a lo largo de estos gradientes según sus requerimientos de luz, temperatura, agua y nutrimentos (Ellenberg *et al.*, 1991; Damascos y Rapoport 2002, Valladares, 2005).



El daño que sufren los bosques denominado decline forestal, no sólo es consecuencia de un factor o a la presencia de un solo tipo de estrés, más bien, es un fenómeno multifactorial; (Kozlowski 1979) denominan al decline forestal como estrés ambiental, al considerar que el decaimiento es un



complejo con muchas tensiones actuando secuencialmente o colectivamente. El abeto puede presentar diferentes estados a la presión o estrés, de diferentes factores que influyen de manera negativa a la supervivencia.

Se ha indicado que el depósito de contaminantes causa daño en las cutículas de las plantas, provocando que estas tiren las hojas antes de tiempo y al no existir quien intercepte los elementos que se depositan a través de lluvia, puede causar la lixiviación de iones y modificar la caída de la lluvia a través de las ramas de los árboles. El depósito ácido lixivia calcio y magnesio del suelo, lo cual provoca a su vez la movilización de iones de aluminio que dañan las raíces de los árboles, lo que influye en la recarga de nutrientes y agua (Granados *et al.*, 2001).

La acidificación del suelo provoca la pérdida de bases catiónicas, causando una deficiencia de nutrientes, además, al aumentar las concentraciones de aluminio en el suelo esta afecta el crecimiento de pelos radicales inhibiendo el intercambio catiónico (De Vries *et al.*, 2000b).

Por lo tanto, los pocos nutrientes presentes en el suelo no son aprovechados por los árboles, si no por la vegetación secundaria encontrada en esta zona, y debido a que la MA es la más frecuente entre los tipos de daños, probablemente sea consecuencia de la pérdida de nutrientes. De acuerdo con el dendograma (Figura 28), existe una asociación entre la muerte ascendente y muerte irregular, donde se encuentren cualquiera de estos dos tipos de daño, muy probablemente se encontrará el otro (Figura 56).

La defoliación de las copas de los árboles, es importante para establecer el estado de salud de cualquier bosque y debido a que es una respuesta inmediata de los árboles a algún cambio en el ambiente, la retención de las hojas es un parámetro del vigor, éste refleja rápidamente la condición del árbol ante un factor de estrés (González, 2005).



La muerte de ramas en superficies extensas y la presencia de árboles muertos en pie, son síntomas asociados al decline forestal, en las áreas de poco follaje la desprotección del suelo por arrastre y lixiviación nutrimental causa la pérdida de nitrógeno, materia orgánica, carbono y otros nutrimentos, además de favorecer la pérdida de micorrizas, alteración de comunidades vegetales del sotobosque, al igual que los contaminantes, la lluvia ácida, la captación y extracción del agua, afectan los procesos bioquímicos y someten al bosque a un mayor estrés (González, 2005).

Aunque existe poca presencia de árboles muertos en pie, en las tres parcelas, no se debe descartar la posibilidad de que muchos de los árboles con muerte irregular y muerte ascendente, puedan presentar una muerte en pie en un futuro, si los diferentes factores siguen ejerciendo presión sobre este bosque.



FIGURA 57. Muerte ascendente de árboles adultos en el Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México.



IX. CONCLUSIONES

- ❖ Se registró un daño moderado en la copa de *Abies religiosa* en 1997, pasando a severo en 2012.
- ❖ Los árboles censados en 1997 poseen mayor retención de copa, que los encontrados en 2012.
- ❖ El daño más común es la muerte ascendente, irregular y lateral, asociados a la trayectoria de los vientos cargados de contaminantes atmosféricas.
- ❖ El menor porcentaje de retención de copa se registró en árboles adultos en ambos muestreos (1997 y 2012).
- ❖ La densidad arbórea registrada en 2012 en una hectárea, es menor a la referida para un bosque natural de *Abies religiosa*.
- ❖ La estructura poblacional se caracteriza por la presencia de tres estratos arbóreos superior, intermedia e inferior, con mayor presencia de árboles en los estratos intermedio e inferior.
- ❖ Las tres primeras clases diamétricas confirman abundancia de árboles juveniles.
- ❖ La pérdida de adultos y seniles no proporciona las condiciones micro-ambientales adecuadas para el desarrollo de los brinzales y juveniles.
- ❖ La presencia de especies herbáceas y arbustivas en las parcelas sugieren que este bosque esta perturbado.



X. LITERATURA CITADA

- Alvarado, R.D. 1989. *Declinación y muerte del bosque de oyamel (Abies religiosa) en el sur del Valle de México*. Tesis Maestría. Colegio de Posgraduado, Texcoco Estado de México 78pp.
- Alvarado, R.D., L.I. Bauer y A. J. Galindo. 1993. Decline of Sacred Fir (*Abies religiosa*) in Forest Park South of Mexico City. *Environmental Pollution* **80**: 115-121.
- Alvarez, D., G. Laguna y I. Rosas. 1998 Macroscopic and microscopic symptoms in *Abies religiosa* exposed to ozone in a forest near Mexico City. *Environmental Pollution* **103**: 251-259.
- Augustaitis, A., I. Augustaitiene, y R. Deltuvas. 2007. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Crown Defoliation in Relation to the Acid Deposition and Meteorology in Lithuania. *Water Air Soil and Pollution* **182**: 335–348.
- Aussenac, G. 2001. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science* **57**: 287-301.
- Ávila-Akerberg, V. 2002. *La vegetación en la Cuenca alta del Río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural*. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 92 pp.
- Bonneau, M. y G. Landmann. 1989. ¿De qué está enfermo el bosque?. *Mundo Científico* **88**:190-205
- Bartuska, A.M. 1990. *Air pollution impacts on forests in North America in Ecological Risks. Perspectives from Poland and the United States*. National Academy Press, Washington DC.
- Bauer, L .E. 1972. Uso de plantas indicadoras en la ciudad de México. *Agrociencia* **9**: 139-141.
- Bauer, I. L. y V. S. Krupa. 1990. The Valley of Mexico: Summary of Observation Studies on its Air Quality and Effects on Vegetation. *Environmental Pollution* **65**: 109-118.
- Bauer, M. de L., y T. T. Hernández. 2006. A review of ozone-induced effects on the forests of central Mexico. *Environmental Pollution* **147**: 446-453.



- Blank, L. W. 1985. Annes type of forest decline in Germany Nature. *London* **214**: 311-314.
- Blank, K.W, T.M. Roberts y R. A. Skeffington. 1988. New perspectives on forest decline. *Nature* **336**:27-31.
- Bravo, J. L. y 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 de México. 139-144.
- Buchmann, N., E. D. Schulze y G. Gebauer. 1995. ¹⁵N-ammonium and ¹⁵- nitrate uptake of a 15-year-old *Picea abies* plantation. *Oecologia* **102**: 361-370.
- Bytnerowicz, A. y N.E. Grulke. 1992. Physiological effects of air pollution on western forests-In: Olson R. K., Binkley D. y M. Bohm. (eds). *The response of western forests to air pollution*. New York. 233 pp
- Bytnerowicz, A. 1996. Physiological Aspects of Air Pollution Stress in Forests. *Phyton (Horn, Austria)* **36**: 15-22.
- Calva, V G., M de L. Bauer, H. Padilla-Gordon, J. J. Vargas-Hérendez y A. Velázquez-Martínez 2006. La corteza arbórea como biomonitor del depósito ácido en la Cuenca de México. *Ciencia forestal* **100**: 69-103.
- Calva, V. G. 2009. *Medidas para la evaluación del estado sanitario del arbolado*. Manuscrito no publicado, UNAM. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Calva, V. G. 2012. *Dendroquímica en estudios ecológicos y ambientales*. Alemania: Académica Española.
- Camacho, C. A. 1996. Germinación de *Abies religiosa* en condiciones naturales. *Primera Reunión Científica Nacional. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales*. México, D.F. 28pp.
- Carnier, L. 1986. *Decline in Quebec's forests; Assessment of the situation*. Canadá, Quebec: Service de la Recherche Applique. Direction de la Recherche et du Development Ministere de l'Energie et des Ressources. 30pp.



- Castillo, F. J. D. 2011. *Factores de influencia en el enraizamiento de estacas de Abies religiosa (H.B.K.) Schl. et Cham.* Tesis Maestría. Colegio de Posgraduados, Texcoco Estado de México 58pp.
- Cibrán, T. D. 1989. Air Pollution and Forest decline Near Mexico City. *Ciencia forestal* **12**: 49-58.
- Cibrán, T. D., R. D. Alvarado y D. S. García. 2007. *Enfermedades forestales en México.* Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México.
- Ciesla, W.M. 1989. Aerial photos for Assessment on Forest decline *A multinational Overview* **87**: 37-41.
- Ciesla, W.M. y E. Donaubauer. 1994. *Decline and Dieback of Trees and Forests.* A Global Overview.
- Corvalán, V. P. y P. J. Hernández. 2006. *Estructura de rodal.* Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 1-10.
- Chadwick, D. y B. Larson. 1990. *Forest Stand Dynamics.* USA: McGraw-Hill.
- Chavarría, P. V. 2007 *Monitoreados (1997-2004) de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Iztapopocatepetl.* Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México. D.F. 91pp.
- Chavéz, G. A., M. E. Fenn, G. A. H. J. Gómez, Vargas, y R. W. Aorwath. 2006. Absorción foliar de nitrógeno por depósito húmedo simulado en follaje nuevo de *Abies religiosa* (H.B.K.). SCHL. ET CHAM. *Agrociencia* **003**: 273-381.
- Dai, X. 1996. Influence of light conditions in canopy gaps on forest regeneration: a new gap light index and its application in a boreal forest in east-central Sweden. *Forest Ecology and Management* **84**: 187-197.
- Damascos, M.A. y E.H. Rapoport. 2002. Differences in the herb and shrub flora growing under canopy gaps and under closed canopies in a *Nothofagus pumilio* forest of Argentina. *Revista Chilena De Historia Natural* **75**: 465-472.
- Davis D.D. y J.M. Skelly. 1992. 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**: 309-311.



- De Vries, W., J. M. Klap y J. W. Erisman. 2000a. Effects Of Environmental Stress On Forest Crown Condition In Europe. Part I: Hypotheses And Approach To The Study, *Water, Air, and Soil Pollution* **119**: 317–333
- De Vries, W., J. G. Reinds, J. M. Klap, E. P. Van Leeuwen y J. W. Erisman. 2000b. Effects of Environmental Stress on Forest Crown Condition in Europe. Part III: Estimation of Critical Deposition and Concentration Levels and their Exceedances. *Water, Air, and Soil Pollution* **119**: 363–386
- De Vries, W., Vel E., G. J. Reinds, H. Deelstra, J.M. Klap, E.E.J.M. Leeters, C.M.A. Hendriks., M. Kerkevoorden, G. Landmann, J. Herkendell, T. Hausmann, y J.W. Erisman. 2003. Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe: 1. Objectives, set-up and evaluation strategy. *Forest Ecology and Management*. **174**: 77-95.
- Dubrasich, M.E., D.W. Hann y J.C.H. Tappeiner. 1997. Methods for Evaluating Crown Area Profiles of Forest Stands. *Canadian Journal of Forests Research* **27**: 385-392.
- Durlo, M. y L. Denardi. 1998. Morfometría de *Cabralea canjerana* (Well.) Mart Secundaria Nativa de Rio Grande de Sol. *Ciencia Forestal* **8**: 55-66.
- Ellenberg, H., H.E. Weber, R. Düll, V. Wirth y W. Werner. 1991. *Indicator values of plants in Central Europe - Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Erich Goltze KG. Scripta Geobotanica 18 Göttingen.
- Environment Canada. 2003. Environmental Signals. Headline Indicators. Canada.
- Estado de los Bosques en Europa. 2003. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (Informe Ejecutivo, 2003).
- Ezcurra, E. 1996. *De las Chinampas a la megalópolis. El medio ambiente en la Cuenca de México*. México. Fondo de Cultura Económica.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2010. *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales*. (Informe Principal). 346pp.



- Figueroa, R. B. L. y M. V. Olvera. 2000. Dinámica de la composición de especies en bosques de *Quercus crassipes* H.ET B. en Cerro Grande, Sierra de Manantlán, *Agrociencia*. **34**: 91-98.
- Ford, D. E. y A. R. Kiestler. 1990. Modeling the effects of pollutants on the processes of tree growth. **IN** Dixon, R. K., R. I. Meldah, G. Rowork y W. Worren. (1990). *Process Modeling of Forest Growth Responses the Enviromental Stress*. Oregon. USA: Timber Prees. 441pp.
- Fredericksen, T. S., B. J. Joyce, J. M. Skelly, K. C. Steiner, T. E. Kolb, K. B. Kouterick, J. E. Savage y K. R. Snyder. 1994. Physiology, Morphology, and Ozone Uptake of Leaves of Black Cherry Seedlings, Saplings, and Canopy Trees. *Environmental Pollution* **3**: 273-283.
- Galindo, I. 1989. *Transformaciones Energéticas en la Atmosfera Urbana Originadas por la Contaminación Atmosférica*. Ecología Urbana
- González, A. y L. Víctor M. Sánchez. 1961. *Los Parques Nacionales de México. Situación actual y problemas*. Instituto Nacional de Estadística. México, D.F. 149pp.
- González, M. R. E. 2005. Caracterización espacial de la declinación forestal del oyamel *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones. Tesis de Doctorado en Ciencias, Colegio de Posgraduados, Texcoco Estado de México. 90pp.
- González, M. R. E., B. M. Mendoza y R. D. Alvarado. 2010. Exposición a ozono en relación a vitalidad en un bosque de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltldl. & Cham). *Madera y Bosques* **4**: 7-19.
- Granados, S. D. y R. G. F. López. 2001. Decline Forestal. *Revista Champingo, Serie Ciencias Forestales y de Ambiente* **7**: 5-13.
- Hain, F. P. 1987. Interactions of insects, trees and air pollutants. *Tree Physiology* **3**: 93-102.
- Harold W. y Jr. Hocker. 1984. Introducción a la Biología Forestal, México D.F. A.G.T.
- Hernández, T.T, y L. I. Bauer. 1984. Evolución del daño por gases oxidantes en *Pinus hartwegii* y *P. moctezumae* var. *Lindleyi* en el Ajusco, D.F., *Agrociencia* **66**: 71-82.



- Hernández, T.T., L. I Bauer y D. M. L. Ortega. 1986. Identificación y Determinación de los Principales Pigmentos Fotosintéticos de Hojas de *Pinus hartwegii* Afectados por Gases Oxidantes. *Agrociencia* **66**: 71-82.
- Heinrich, S. Jr. 1996. Ozone And Plant Health. *Annual Reviews Phytopathology* **34**: 347–366
- Hinrichsen, D. 1987. Multiple Pollutans and Forest Decline. *AMBIO* **15**: 258-265.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censo Económico. México.
- Jáuregui, E. 1987. "Climas", *Atlas de la Ciudad de México*, Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México. México. 37-40.
- Jauregui, O. E. 1993. Algunas Consideraciones del clima de la Ciudad de México debidas a la Urbanización. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* **3**: 12-24.
- Kandler, O. 1992. *The german forest decline situation a complex disease or a complex of deseases*. IN Manion, P. D. y Lachance, D. Forest decline concepts APS Press. Minnesota, 59-84.
- Karlsson, P.E., E.L. Medin, H. Wickstrom, G. Sellden, G. Wallin, S. Ottoson, y 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.
- Klap, J. M., V. Oude, W. De Vries, y J.W. Erisman. 2000. Effects of Environmental Stress on Forest Crown Condition in Europe. Part IV: Estimation of Stress Induced by Meteorology and Air Pollutants, *Water, Air and Soil Pollution* **119**: 387–420.
- Kozlowski, T. T. 1971. *Growth and development of trees*. Academic Press, New York.
- Kozlowski, T. T. 1979. *Tree Growth and Environmental Stresses*. University of Washington Press, Seattle. 192pp.
- Kozlowski, T. T., P. J. Kramer y S. G. Pallardy. 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic Press, San Diego.



- Labau, V. J. 1993. Regional Monitoring With Plot Networks. *Environmental Monitoring and Assessment* **26**: 283-294.
- Lambers, H., S. F. Chapin y T. L. Pons. 2008. *Plant Physiological Ecology*. (2° ed). New York: Springer.
- Larcher, W. 1977. *Ecofisiología Vegetal*. Barcelona: Omega.
- Lendzian K. J. y M. S. Unsworth. 1983. *Ecophysiological effects of atmospheric pollutants*. En: Encyclopedia of Plant Physiology, Physiological Plant Ecology,
- Lindberg. S. E., D. S. Shilner y W. A. Hoffman. 1982. *The interaction of wet and dry deposition with the forest canopy*. IN *Acid precipitation Effects on Ecological Systems*. Inglaterra D'itri, F.M,
- Lopez, L. M. A., M. A. Velázquez, M. J. Acosta y B. E. Estañol. 2006. Biomass distribution in declining sacred-fir seedings to manganese. *Interciencia* **30**: 456-467.
- Macías, F. V., M. A. Camps, L. L. Rodríguez y E. M. Barreal. 2002. Cargas críticas de contaminantes: un criterio de evaluación de la sensibilidad de la naturaleza para la ordenación de las actividades humanas. En *Avances en Calidad Ambiental*. Salamanca.149-187
- Madrigal S. X. 1964. *Contribución al conocimiento de la ecología de bosques de oyamel (Abies religiosa (H.B.K.), SCHL et CHAM.) en el valle de México*. Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional.
- Manzanilla, H. 1974. *Investigaciones Epidemiométricas y Silvícolas en Bosques Mexicanos de Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAG, México. 165pp.
- Malhotra. S. S y D. Hocking. 1976. Biochemical and cytological effects of sulphur dioxide on plant metabolism. *New Phytologist*. **76**: 227-237.
- Malhotra. S. S. 1977. Effects of aqueous sulphur dioxide on chlorophyll destruction in *Pinus contorta*. *New Phytologist*. **76**: 239-245.
- Matyssek, R, y J. L. Innes. 1999. Ozone – a Risk Factor for Trees and Forests in Europe? *Water, Air and Soil Pollution* **116**: 199-226.



- Martínez, H. E. 2012. Registro del daño por ozono y senescencia en *Abies religiosa* en dos parajes de Parques Nacionales Iztaccíhuatl-Popocatepetl y Zoquiapan. Tesis Licenciatura Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México. D.F. 62pp.
- Market, M. V., T. Markova, J. Kalina. y D. Janous. 1997. Effect of thinning of parameters of photosynthetic characteristics of Norway spruce canopy. Light penetration and photosynthesis. *Lesnictvi (Prague)* **43**:141-153.
- Mass, J., R. Pavón, A. Suarez, G. Caballos y C. Galindo. 1981. *Ecología de la estación Experimental Zoquiapan UACH*. México: Colección Cuadernos de la Universidad.
- Mastache, M. A. *COMP. PER* 2001 Manuscrito no publicado. CORENA.
- Maycotte, M.C.C., M. A. Velázquez, H. J. J. Vargas, S. A. Trinidad y G. C. Vera. 2002. Radiación Fotosintéticamente Activa y Propiedades Físico-Químicas en Suelos Forestales con y sin Incendio. *Madera y Bosques* **002**: 39-55.
- Mendoza, G. de la Ll. C. C. 1998. Ozono: Causas, Efectos y Soluciones en la ZMCM. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias. UNAM. 85pp.
- Melo G. Carlos. 1987. *Guía Geográfica para el conocimiento, Planeación, Manejo y desarrollo de los Parques Nacionales*. Tesis Doctorado en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 266pp.
- Melo, G., C. y O. O. Oropeza. 1982. Bases para la Restructuración Operativa del Parque Nacional Zoquiapan. *Boletín del instituto de Geografía* **12**: 19-56.
- Miller, P. R., O. C. Taylor y R. G. Wilhour. 1982 Oxidant air pollution effects on western coniferous forest ecosystem. Corvallis, OR: U.S. Environmental Protection Agency. Springfield.
- Miller, J. M y F. P. Keen. 1960. Biology and control of the western pine beetle. Misc. Publ.800. Washington, DC: U.S. *Department of Agriculture*; 381 pp
- Molina, L. T. y M. J. Molina. 2002. *Air Quality in the Mexico Megacity. An Integrated Assesment*. Klower Academic Publishers USA. 375pp.



- Mosser, F. 1987. "Geología", *Atlas de la Ciudad de México*, Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México. México. 23-29.
- Nieto de Pascual, P. C. 1995. Estudio Sinecológico del Bosque de Oyamel de la Cañada de Contreras. *Ciencia Forestal* **77**:4-34.
- Nieto de Pascual, P. C., M. A. Musálem y A. J. Ortega. 2003. Estudio de algunas Características de conos y semillas de *Abies religiosa* (HBK) SCHL.ET CHAM. *Agrociencia* **005**: 521-231.
- Olvera, V., S. Moreno y B. Figueroa. 1996. *Sitios permanentes de Investigación Silvícola: Manual para su Establecimiento*. Libros del Instituto Manantlán. Universidad de Guadalajara. Jalisco. 55pp.
- Oropeza, O. 1980. Evaluación de la erosión hídrica (sedimentos en suspensión) en las cuencas de los ríos Texcoco y Chapingo. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México 178 pp.
- Orozco, L. y C. Brumér. 2002. *Inventarios Forestales para Bosques Latifoliados en América Central*. (3°ed) .Costa Rica. CATIE.
- Ortiz, R. Ma. Del P. 2013. Comparación de la composición florística del bosque de *Abies religiosa* en el Parque Nacional Zoquiapan. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México D.F. 80pp.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). Climate Change. 2001. *The scientific basis* Cambridge University Press. United Kingdom.
- Pallardy, S. G. 2005. *Physiology of Woody Plants*. (3°ed). Columbia, Missouri: Elsevier.
- Pardos, J. A. C. 2005. La Ecofisiología en el Ámbito Forestal. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* **20**:11-23.
- Percy, K.E. y M. Ferretti 2003. Air pollution and forest health: toward new monitoring concepts. *Environmental Pollution* **130**: 113–126.



- Pérez, S. M. 2000. Patrón de retención de copa como un reflejo del vigor del Bosque de Oyamel (*Abies religiosa*) en relación con la contaminación atmosférica en los Parques Nacionales Izta-Popo y El Chico. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México D.F. 58pp.
- Pérez, S. M. 2000. Cuantificación del Throughfall en un bosque templado (*Abies religiosa*, Pino sp. Y *Cupressus lindleyi*) en la Cuenca de México. Servicio Social. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México D.F. 53pp.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2003. Anuario. New York.
- Román, I. R. y M. Franco B. 2001. Relación entre tamaño, viabilidad y fotosensibilidad con la posible formación de un banco de semillas de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham. del parque nacional "Cumbres del Ajusco" XV Congreso Mexicano de Botánica, Querétaro, Qro. México Resúmenes CD.
- Red de Seguimiento de Daños en los Montes (Red CE de Nivel I. Resultados). 2006. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España
- Red de Seguimiento de Daños en los Montes (Red CE de Nivel II). 2001-2. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España.
- Rehfuss, K. E. 1988. Damage to norway spruce. Research site: Elendalm. In: Krahl-Urban, B.; Papke, H. E.; Peters K. Schimansky, Chr. Cause-effect research in the United States of North America and the Federal Republic of Germany: Forest decline. Jülich Nuclear Research Center for the U.S. Environmental Protection Agency and German Ministry of Research and Technology. pp. 84-87.
- Rivera, A.R., L. M. A. López y C. R. Bolaños. 2006. Nutrición y Síntomas de Declinación de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl, et Cham. en el Desierto de los Leones. DF. *Revista Champingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* **12**: 47-48.
- Roberts, T. M. 1987. *Acidification in Tropical Countries*. Ed SCOPE, ICSU.-UNEP and John Wiley and Sons. Gran Bretania. 405pp.
- Rogers, P., D. Atkins, M. Frank y D. Parker. 2001. *Forest Health Monitoring in the Interior West: A baseline summary of forest issues, 1996-1999*. USDA, USA 41pp. Román, I. R. y Franco, M. B.



- (2001). Relación entre tamaño, viabilidad y fotosensibilidad con la posible formación de un banco de semillas en semillas de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. del parque nacional "Cumbres del Ajusco" XV Congreso Mexicano de Botánica, Querétaro. Qro. México. Resúmenes CD.
- Rosas, P.I. y S.G. Ruiz. 2006. *Calidad del Aire y la Relación Ciudad-Bosque en la Cuenca Atmosférica del Valle de México*. UNAM. 87-113pp.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. México D.F.: Limusa.
- Rzedowski, J. y G. C. Rzedowski. 1979. *Flora fanerogámica del Valle de México*. México D.F. Limusa.
- Sandermann, H. Jr. 1996. Ozone and Plant Health. *Annual Review of Phytopathology* **34**: 347–366.
- Santibañez, A. G. 2009. Composición y Estructura del bosque de *Abies religiosa* en función de la heterogeneidad ambiental y determinación de su grado de conservación en la cuenca del Río Magdalena, México, D.F., Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias. UNAM. 134pp.
- Schütt, P. y E. B. Cowling. 1985 "Waldsterben, a general decline, of forest in central Europe: symptoms, development and possible causes." *Plant diseases* **7**: 548-558.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1984. Patrón de Evaluación para el daño arbóreo utilizado para el Inventario Forestal Estado de México. SAGAR, México, 135pp.
- Secretaría del medio ambiente (SMA). 2009. Informe de la Calidad de Aire de la Ciudad de México. México. D.F.
- Secretaría del medio ambiente (SMA). 2010. Informe de la Calidad de Aire de la Ciudad de México. México. D.F.
- Segura M. Patricia. 1991. Efecto de la exposición a ozono en la respuesta de contracción a la hitoria, en tráquea y parénquimas pulmonares de caballos normales y asmáticos. Tesis de licenciatura. Facultad de Veterinaria y Zootecnia. UNAM. México.
- Secretaría del medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT). 2005. *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México: 2005*. Secretaría del Medio Ambiente. México. D.F. 311pp.



- Secretaria del medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT). Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998.
- Secretaria del medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT). Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010.
- Sierra Pineda A., Trejo D. Rodríguez, Ángeles V. Bonilla, V. Flores Rodríguez, R. González. Olguín Cadena, H. Acosta Domínguez, M. Ruíz Herrera, R. Valladares Meléndez y F. Gómez-Santamaría. 1988. *Estructura y dinámica del bosque de oyamel afectado por la declinación forestal en el Desierto de los Leones*, COCODER, D.F. 36pp
- Skärby C.M., H. Ro-Poulsen, A.M. Florence, W. Sheppard y L. J. Sheppard. 1998. Impacts of the ozone on forest: a European perspective. *New Phytology* **139**: 109-122.
- Skelly, J. M., J. E. Savage, M. de L. Bauer y D. Alvarado. 1996. Observations of Ozone-Induced Foliar Injury on Black Cherry (*Prunus serotina*, Var. Capul1) within the Desierto De Los Leones National Park, Mexico City. *Environmental Pollution* **2**: 155-158.
- Smith W.H. 1990. *Air Pollution and Forests*. (2°ed): Springer-Verlag.
- Stephen, H S. y V.B. Burton. 1984. *Ecología Forestal*. (3°ed). México: ATG Editores, S.A.
- Tamm, C. O. 1991, *Nitrogen in Terrestrial Ecosystems. Questions of Productivity, Vegetational Changes and Ecosystem Stability*, Ecological Studies 81. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona.
- Taylor, G. E. 1978. Plant and Leaf Resistance to Gaseous Air Pollution Stress. *New Phytologist*. **80**:523-534.
- Tietema, A., B. A. Emmett, P. P. Gundersen y O. J. Kjonaas. 1998. The fate of ¹⁵N- Labeled nitrogen deposition in coniferous forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* **101**: 19-27.
- Toledo, V. M. y M. J. Ordóñez. 1993. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds) *Diversidad Biológica de México*. Instituto de Biología, UNAM. México. 739-757.



- Van Leeuwen, E. P., K. C. M. A. Hendriks, J. M. Klap, W. De Vries, E. De Jong y J. W. Erisman. 2000. Effects Of Environmental Stress on Forest Crown Condition in Europe. Part II: Estimation of Stress Induced by Meteorology and Air Pollutants. *Water, Air and Soil Pollution* **119**: 335–362.
- Vázquez, S.J. 1987. *El saneamiento y la limpia forestales en el Desierto de los Leones*. DDF, COCODER. México, D.F. 22pp
- Valladares, F. 2005. Cambio Global y Ambiente Lumínico en Ecosistemas Forestales Mediterráneos: Consideraciones Ecológicas e Implicaciones para la Gestión. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* **20**: 37-46.
- Villaseñor, G. E. 2011. *Caracterización del gradiente Altitudinal de ozono y su impacto en bosques aledaños a la Ciudad de México*. Tesis Doctorado, Colegio de Posgraduados, Texcoco Estado de México. 53 pp.
- Waring, R.H 1987. Characteristics of Trees Predisposed to Die. *Bioscience* **37**: 569-574
- Wark, K. y C. F. Warner. 1994. *Contaminación del aire y control*. México: Limusa.
- Webber J. A., D. T. Tingey y C. P. Andersen. 1994. *Plant response to air pollution*. In: *Plant-Environment Interactions* by Robert E. Wilkison. Dekker. E.U. 357-389pp.
- Xiusheng, Y., J. J. Witcosky y D. R. Miller. 1999. Vertical Overstory Canopy Architecture of Temperate Deciduous Hardwood Forests in the Eastern United States. *Forest Science* **45**: 349-354.
- Zambrano, A. y III, T. H. Nash. 2000. Lichen responses to short-term transplantation in Desierto de los Leones, Mexico City. *Environmental Pollution* **107**: 407-412.
- Zhang J., J. A. Fedinang, D.J. Vanderheyden, J. M. Skelly y J. L. Innes. 2001. Variation of gas exchange within native plant species of Switzerland and relationships with ozone injury: an open-top experiment. *Environmental Pollution* **113**:117-185.