

19

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

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.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I O L O G A
P R E S E N T A:
MARLÍN PÉREZ SUÁREZ

DIRECTOR: M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ

MÉXICO, D.F.

2000.

981161



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.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento:

Al M. en C. Germán Calva Vázquez por ser más que un maestro. Por toda su paciencia, dedicación y esfuerzo... mil gracias.

Al M. en C. Armando Cervantes Sandoval por su valiosa colaboración durante el desarrollo de la presente investigación.

A la Biól. Ma. de los Ángeles Galván Villanueva por su ayuda incondicional e invaluable durante mi formación académica.

Al M. en C. Efraín Ángeles Cervantes por sus palabras de aliento y contribución durante la revisión del presente trabajo.

Al M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas por su aportación en la revisión de este trabajo.

Al Proyecto de Investigación e Innovación Tecnológica IN220998 por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo.

A todos los profesores y compañeros que en todo momento manifestaron su aprecio y apoyo desinteresados.

A la FES-ZARAGOZA por contribuir a mi formación profesional.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento:

Al M. en C. Germán Calva Vázquez por ser más que un maestro. Por toda su paciencia, dedicación y esfuerzo... mil gracias.

Al M. en C. Armando Cervantes Sandoval por su valiosa colaboración durante el desarrollo de la presente investigación.

A la Biól. Ma. de los Ángeles Galván Villanueva por su ayuda incondicional e invaluable durante mi formación académica.

Al M. en C. Efraín Ángeles Cervantes por sus palabras de aliento y contribución durante la revisión del presente trabajo.

Al M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas por su aportación en la revisión de este trabajo.

Al Proyecto de Investigación e Innovación Tecnológica IN220998 por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo.

A todos los profesores y compañeros que en todo momento manifestaron su aprecio y apoyo desinteresados.

A la FES-ZARAGOZA por contribuir a mi formación profesional.

Esta tesis representa una de las metas más importantes de mi vida, por ello la dedico...

... a mi madre la Sra. Elodia Suárez Valdez por haberme dado la vida y con ello un sin número de satisfacciones... te quiero mamá.

... a mi padre y mejor amigo el Sr. Tomás Pérez Ordóñez por quien siento un profundo cariño, orgullo y agradecimiento por el apoyo que siempre me ha brindado... GRACIAS PAPA.

... a mi hermano el Ing. Víctor T. Pérez Suárez... es difícil describir todo lo que significas para mí, pero quiero que sepas que me siento muy, pero muy orgullosa de ti.

... a mi abuelita "Pachita" por haber sido más que una abuela y haberme inculcado el amor a mis raíces... me siento orgullosa de ser su nieta.

... a Karen Pérez Centeno, una personita entusiasta y emprendedora a quien espero que este logro le sirva como un estímulo más de superación.

... a mi primo César Pérez Centeno por su fortaleza ante las vicisitudes de la vida... estoy segura de que lograras cumplir con éxito todas sus metas.

... a mi ahijado Alan... aunque lo que hagamos parezca insignificante, todos nuestros esfuerzos por pequeños que éstos sean, siempre se verán recompensados. Recuerda que la voluntad de ser mejores esta en nosotros mismos.

... a Gris. Dicen que la amistad es una planta que crece con lentitud y tiene que aguantar las sacudidas de la adversidad antes de merecer su nombre... estoy segura que nos merecemos el título.

... a Eduardo por todo lo que significa en mi vida... te adoro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PROBLEMÁTICA	3
III. OBJETIVOS	4
III.1. Objetivo General.	
III.2. Objetivos Particulares.	
IV. HIPÓTESIS	5
V. MARCO TEÓRICO	6
V.1. Ecofisiología arbórea.	
V.2. Mecanismos de incorporación de los contaminantes atmosféricos a los ecosistemas forestales.	
V.3. Efectos del depósito atmosférico en los ecosistemas forestales.	
V.4. Efectos del depósito de contaminantes atmosféricos en la copa arbórea.	
VI. ANTECEDENTES	15
VII. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	18
VII.1. Parque Nacional Izta-popo.	
VII.2. Parque Nacional El Chico.	
VIII. MÉTODO	22
VIII.1. Fase de campo.	
VIII.1.1. Porcentaje de Retención de Copa.	
VIII.1.2. Colecta de las hojas.	
VIII.2. Fase de laboratorio.	
VIII.3. Fase de gabinete.	

IX.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	24
	IX.1. DAÑO EN LOS BOSQUES DE <i>Abies religiosa</i>.	
	IX.1.1. Clases del Porcentaje de Retención de Copa y tipos de daño.	
	IX.1.2. Frecuencia del %RC en <i>Abies religiosa</i> .	
	IX.1.3. Frecuencia de las clases diamétricas en Izta-popo y El Chico.	
	IX.1.4. Dispersión del %RC y del D.N. en los bosques de <i>Abies religiosa</i> .	
	IX.1.5. Dispersión del diámetro con relación al %RC en Izta-popo y El Chico.	
	IX.1.6. Análisis de las diferencias significativas del %RC y el D.N. entre Izta-popo y El Chico.	
	IX.2. DEPÓSITO ÁCIDO EN LOS BOSQUES DE <i>Abies religiosa</i>.	41
	IX.2.1. Distribución del depósito atmosférico de los iones SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- .	
	IX.2.2. Diferencias en el depósito de los iones SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- entre Izta-popo y El Chico.	
X.	CONCLUSIONES	46
XI.	RECOMENDACIONES	47
XII.	LITERATURA CITADA	48
	ANEXOS	I-VII

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Simulación del Sistema aire-planta-suelo.	6
2	Mecanismos de Incorporación de los contaminantes atmosféricos a los ecosistemas forestales.	8
3	Partición de la depositación atmosférica total.	10
4	Daños causados por la depositación atmosférica en la vegetación.	11
5	Efectos de la contaminación atmosférica en el paisaje de Nueva Inglaterra.	13
6	Ubicación geográfica de la zona de estudio.	19
7	Representación del área muestreada.	22
8	Comparación de las escalas de evaluación del %RC establecidas por: Blank <i>et al</i> (1988), Bonneau and Landman (1989) y SAGAR (1984)	26
9	Comparación espacial de las frecuencias relativas de los %RC de <i>Abies religiosa</i> entre los Parques Nacionales Izta-popo y El Chico.	27
10	Frecuencia relativa de los %RC de <i>Abies religiosa</i> en el Parque Nacional Izta-popo.	27
11	Frecuencia relativa de los %RC de <i>Abies religiosa</i> en el Parque Nacional El Chico.	28
12	Porcentajes de Retención de Copa de <i>Abies religiosa</i> en los Parques Nacionales Izta-popo y El Chico.	29
13	Frecuencia relativa de las clases diamétricas de <i>Abies religiosa</i> en el Parque Nacional Izta-popo.	34
14	Frecuencia relativa de las clases diamétricas de <i>Abies religiosa</i> en el Parque Nacional El chico.	34
15	Dispersión de medias del %RC de <i>Abies religiosa</i> en Izta-popo y El Chico.	36

16	Dispersión de medias del D.N. de <i>Abies religiosa</i> en Izta-popo y El Chico.	36
17	Dispersión de medias del D.N. con relación al %RC en ambas zonas de muestreo.	37
18	Dispersión de medias del D.N. con relación al %RC en Izta-popo y en El Chico.	38
19	Diferencia de medias (95%) del %RC de <i>Abies religiosa</i> en Izta-popo y El Chico.	39
20	Diferencia de medias (95%) del D.N. de <i>Abies religiosa</i> en Izta-popo y El Chico.	39
21	Comparación diferencia de medias (95%) del D.N. de <i>Abies religiosa</i> con relación al %RC entre Izta-popo (I) y El Chico (CH).	40
22	Diferencia de medias (95%) del diámetro de <i>Abies religiosa</i> con relación al %RC en Izta-popo y El Chico.	40
23	Dispersión de medias del depósito de sulfatos en las zonas de muestreo.	41
24	Dispersión de medias del depósito de cloruros en las zonas de muestreo.	42
25	Dispersión de medias del depósito de nitratos en las zonas de muestreo	42
26	Diferencia de medias (95%) del depósito de sulfatos en hojas de <i>Abies religiosa</i> entre Izta-popo y El Chico.	43
27	Diferencia de medias (95%) del depósito de cloruros en hojas de <i>Abies religiosa</i> entre Izta-popo y El Chico.	44
28	Diferencia de medias (95%) del depósito de nitratos en hojas de <i>Abies religiosa</i> entre Izta-popo y El Chico.	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Cuadro resumen de los trabajos más relevantes a nivel mundial, acerca de la evaluación visual de las copas arbóreas del género <i>Abies</i> .	24
2	Clases diamétricas (cm) de <i>Abies religiosa</i> por centímetro.	33
3	Distribución de edades por año y estadio biológico en <i>Abies religiosa</i> .	33

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		Página
1	Patrones de Retención de Copa realizados por la SAGAR (1984)	II
2	Formato de registro de los Porcentajes de Retención de Copa Diámetro Normal (D.N.)	III
3	Diagrama de flujo para la cuantificación del depósito iónico en hojas de <i>Abies religiosa</i>	IV
4	Determinación de sulfatos por turbidimetría.	V
5	Determinación de cloruros por turbidimetría.	VI
6	Determinación de nitratos por el método de ion selectivo.	VII

RESUMEN

La distribución espacial de las ramas de la copa es determinante en la depositación e incorporación del depósito atmosférico ácido a los ecosistemas forestales. Dicho depósito daña procesos vitales como la fotosíntesis, susceptibilidad al estrés natural, como el hídrico, fotosintético y el enmure (a plagas e insectos). De esta manera, la principal manifestación del debilitamiento de un árbol es el amarillamiento y pérdida de sus hojas. Por ello desde 1980, se han establecido métodos para la evaluación visual de las copas a fin de determinar el estado de salud de los bosques, siendo más exactos que los métodos satelitales.

Se evaluó el estado de salud de *Abies religiosa* debido a que es una especie sensible a la contaminación atmosférica y a que su biota es cada vez mas restringida. Así, el presente estudio tuvo por objeto el estimar a través de un método visual, el patrón de retención de copa del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) ubicado en los Parques Nacionales Iztapopo y El Chico. También se evaluó el Diámetro Normal y se cuantificó el depósito de los iones sulfatos (SO_4^{2-}) y cloruros (Cl^-) mediante la técnica de nefelometría, y nitratos (NO_3^-) por la de ion selectivo.

Los resultados mostraron que el %RC de Iztapopo fue de 50% y de El Chico de 75%, con respecto a las categorías diamétricas los individuos pertenecientes a la clase diamétrica I (0 y 10 cm) fueron los más frecuentes en ambas zonas.

El depósito iónico por su parte, mostró diferencias significativas entre Izta-popo y El Chico, el primero, arrojó el menor depósito en SO_4^{2-} (30 ppm) y NO_3^- (50 ppm) y el mayor correspondió a El Chico con 90 y 140 ppm para SO_4^{2-} y NO_3^- , respectivamente.

Después del análisis de resultados de vigor de copa, se llegó a la conclusión de que el bosque de *Abies religiosa* ubicado en el Parque Nacional Izta-popo es un bosque menos vigoroso que El Chico, a pesar de que este último registro el mayor depósito de sulfatos y nitratos, no así para cloruros.

Así, se determino que en general el bosque de *Abies religiosa* ubicado en el Parque Nacional Izta-popo es un bosque menos vigoroso que el de El Chico, a pesar de que este último registro en promedio mayor depósito de sulfatos y nitratos; no así de cloruros. En cuanto a las escalas de evaluación del estado de las copas establecidas en Alemania por Blank *et al.* (1988) y Bonneau and Landman (1989), se determino que estas son iguales a la de la SAGAR (1989), con base en las cuales el bosque de *Abies religiosa* ubicado en el Parque Nacional Izta-popo es considerado como un bosque con daño moderado y El Chico con daño ligero.

I. INTRODUCCIÓN

Las sustancias emitidas a la atmósfera en grandes cantidades (494, 288 Ton/año), causan graves daños a los ecosistemas boscosos (Leal *et al.* 1996); ya que la elevada concentración de gases primarios, origina la formación de diversos tipos de ácidos atmosféricos, dando origen a su depositación y afección directa sobre dichos ecosistemas (Manahan, 1998; Mohnen, 1988); en especial sobre aquellas especies más sensibles a la depositación atmosférica entre las que se encuentran: *Abies alba*, *Picea abies*, *Abies religiosa* (Shütt and Cowling, 1985; Schulze, 1989; Gilmore and Seymour, 1997).

El efecto de la depositación atmosférica se refleja principalmente en la copa de los árboles, por lo que durante más de dos décadas se ha pretendido analizar la forma de la misma para determinar la salud del bosque. Lo anterior parte del hecho, de que la copa del oyamel se encuentra en contacto directo con la atmósfera contaminada, realizando un intercambio gaseoso con ella (junto con el CO₂ se introducen gases primarios); en consecuencia, se alteran las propiedades físicas y químicas de las células de las hojas (menguando el pigmento fotosintético y la fotosíntesis), por consiguiente, la depresión celular y hasta su muerte (Bredemeier, 1988; Schulze, 1989). Así es como se observa que la frondosidad de la copa va en constante decaimiento hasta perder su arquitectura original (Kozlowski and Constantinidou, 1986).

La distribución espacial de los elementos de la copa tiene efecto sobre 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 como la depositación atmosférica (Xiusheng *et al.* 1999; Ford and Kiester, En Dixon *et al.* 1990). Al respecto, Lindberg y Lovett (1985), mencionaron que hay gran variabilidad en la concentración de los elementos depositados en la copa debido a la morfología de las hojas y la orientación de las ramas que dan forma a la estructura y vigor a la copa.

Por su parte, Marek *et al.* (1997), mencionaron que la tasa fotosintética no es igual a lo largo de la copa de *Picea abies* siendo mayor de la corona a la mitad de la copa (44%) y menor (38%) en la base, por lo que es muy importante que la copa conserve su arquitectura original. Así, cuando la copa de una conífera va perdiendo hojas y ramas, se van formando espacios en la copa (Dubrasich *et al.* 1997). De acuerdo con Xia *et al.* (1996), los espacios pequeños y grandes en los bosque de abeto rojo cubrieron el 19% y el 41%, respectivamente, provocando una disminución en la tasa fotosintética y por tanto en la productividad del bosque.

Así, las primeras hipótesis que adjudicaron el decremento de la salud de los bosques de oyamel a la contaminación atmosférica, surgieron a principios de 1980 en la República de Alemania, en donde la muerte masiva de grandes extensiones de bosques obligo a establecer un sistema de estimación visual del estado de las copas (pérdida de hojas y ramas, y coloración de las hojas), en comparación con un árbol "normal" (Blank *et al.* 1988; Bonneau y Landmann, 1989).

Puesto que la principal manifestación exterior del debilitamiento de un árbol es la pérdida de sus hojas (defoliación), el sistema propuesto en la República de Alemania y adoptado por varios países Europeos entre ellos Francia, esta integrado por cinco grupos de pérdida de hojas: 0-10%, 10-25%, 25-60%, 60-99% y 100% (árbol muerto), considerando el 60% de pérdida de hojas como un grado de daño irreversible. Esta forma de evaluación permitió dar seguimiento correcto a la evolución de los daños, año con año (Bonneau y Landmann, 1989).

Por otra parte, a escala mundial los estudios a cerca de la química de la deposición ácida, son numerosos, pero para la República Mexicana, son escasos. Ahora bien, la cantidad se reduce cuando se trata de la Cuenca de México (Centro de Ciencias de la Atmósfera y Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM) y más aún, de aquellos que vinculan la retención de copa y el porcentaje de daño en los árboles, cuando estos se encuentran en contacto con la depositación atmosférica.

La SAHR (1984; actualmente SAGAR), elaboro un patrón de daño de las copas de los árboles; sin embargo, no se tienen referencias de la relación entre esos patrones y la cantidad de contaminantes depositados en la masa forestal. La única publicación hasta el momento es la de Alvarado *et al.* (1993), quienes reportaron para el Parque Nacional Desierto de los Leones que la mayor parte de los árboles muestreados fueron ubicados en una categoría de daño severo, con porcentajes de daño en copa entre 26.2 y 53.8%. De esta manera, los estudios acerca de la arquitectura de la copa en los ecosistemas forestales son importantes para obtener mayor conocimiento sobre la productividad, la dinámica de las poblaciones animales y vegetales, acentuando a aquellas especies indicadoras de importantes disturbios y condiciones sucesionales (Cade, 1997; Xiusheng *et al.* 1999), además de proporcionar mayor información respecto a la cantidad, tipo y distribución de las emisiones contaminantes.

En cuanto a *Abies religiosa*, esta es una especie de gran importancia biológica ya que es endémica de la parte centro de la República Mexicana, de gran importancia económica, estético-recreativa, de gran interés en la captación del agua de lluvia y en la conservación de la fauna silvestre (Manzanilla, 1974; Vázquez y Tovar, 1981; Chacalo y Tapia, 1992), cuya extensión total se ha visto reducida drásticamente en los últimos años (IFPEM, 1994; CORENA 1996). Así, el presente tubo por objeto determinar el vigor del bosque de *Abies religiosa* a través de su patrón de retención de copa en las comunidades de oyamel ubicadas en los parques Nacionales Ixta-popo y El Chico, identificando el estado de salud actual de dichos bosques.

II. PROBLEMÁTICA

Halfiter y Ezcurra (1983) publicaron que en la Cuenca de México se concentraban el 85% de la capacidad de refinación de PEMEX, el 98% de la industria petroquímica, el 98% de la industria siderúrgica integrada y el 80% de la industria cementera, que sumaban un total de 131 mil industrias (aproximadamente 37.5%) del total nacional (350, 000). Tales industrias emitan, de acuerdo con el Centro de Ciencias de la atmósfera (UNAM) de entre 1, 460 000 y 4, 454 000 Ton/año de gases tóxicos (Ocampo, 1986).

Por su parte, la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México reportó en su informe anual de 1994, que la emisión únicamente de gases primarios era de 79 mil Ton/año, 34, 500 Ton/año de óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, y NO₃) y 44,500 Ton/año de óxidos de azufre, principales precursores de sustancia acidificantes. Hay una gran ambigüedad y discordancia entre los registros de los niveles de contaminación atmosférica expuesta por las diversas instituciones dedicadas al estudio de la contaminación atmosférica. Lo que es un hecho, es que los contaminantes atmosféricos son acarreados y dirigidos hacia los ecosistemas boscosos que rodean al Distrito Federal, por ejemplo los bosques de Oyamel.

Actualmente, la superficie ocupada por los bosques de oyamel se ha reducido notablemente, ya que de acuerdo con Manzanilla (1974) estimo para ese año, que estos bosques ocupaban entre 40 000 y 50 000 ha. de las cuales únicamente el 10-20% eran Parques Nacionales. Sin embargo según informes de la CORENA en 1996 el bosque de *Abies religiosa* ocupaba apenas 20 000 has.

Por su parte, el Inventario Forestal Periódico del Estado de México (IFPEM, 1994) publicó que el 40% de la superficie total del bosque de oyamel sólo tenía el 40% de cobertura en copa, lo que indica no sólo la reducción del área foliar sino además la reducción del número de árboles por hectárea. Así, la biota de los bosque de *Abies religiosa* es cada vez más restringida situación que se complica por la susceptibilidad de esta especie a la contaminación atmosférica de la Cuenca de México, la cual es considerada como la segunda más contaminada del mundo.

Otros factores como explosión demográfica, incendios forestales, enfermedades, plagas también son la causa de la reducción del área ocupada por los bosques de oyamel (Vázquez y Tovar (1981). De ahí, la importancia de estudiar la superficie forestal de *Abies religiosa* desde un ámbito bioecológico y no sólo desde el punto de vista del crecimiento y productividad, lo cual permitirá realizar la evaluación puntual del daño en los bosques de oyamel y determinar su estado de salud actual, a través de su Porcentaje de Retención de Copa (%RC).

III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo general

Determinar el vigor del bosque de *Abies religiosa* a través de su patrón de retención de copa en dos zonas boscosas de la Cuenca de México.

III.2. Objetivos particulares

1. Evaluar el patrón de retención de copa del *Abies religiosa* en los Parques Nacionales Izta-Popo y en El Chico, usando el patrón de la SAGAR (1984).
2. Establecer categorías diamétricas en ambas zonas a través del registro de el Diámetro Normal (DN).
3. Determinar el Porcentaje de Retención de Copa con respecto a la categoría diamétrica y compararlos en una misma zona y entre las zonas.
4. Cuantificar la concentración de los iones SO_4^{2-} , Cl^- , depositados en las hojas de *Abies religiosa* por nefelometría, y los iones NO_3^- por ion selectivo, en cada una de las zonas de muestreo.
5. Determinar diferencias estadísticamente significativas entre los registros de la concentración de los iones SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- con respecto a las zonas.
6. Relacionar la concentración iónicas del deposito en hojas con los patrones de retención de copa de *Abies religiosa*.

IV. HIPÓTESIS

El depósito de contaminantes atmosféricos en los ecosistemas forestales tienen efectos negativos (defoliación prematura) sobre la forma de la copa de los árboles; lo cual puede ser evaluado mediante el registro de los %RC; entonces al ser *Abies religiosa* una especie sensible a la contaminación atmosférica de la Cuenca de México, la comunidad de oyamel de el Parque Nacional Izta-popo resultará ser la de menor %RC (menor vigor) y mayor depósito atmosférico (SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^-) que aquella ubicada fuera de los límites de la Cuenca de México el Parque Nacional El Chico en el Estado de Hidalgo.

V. MARCO TEÓRICO

I. Eco fisiología arbórea

La copa tiene como funciones fisiológicas la intercepción de la luz solar, la fotosíntesis, la respiración y la evapotranspiración (Chen and Gómez, En Dixon *et al.* 1990), en *Picea mariana* la copa intercepta más del 60% del total de la precipitación en pequeños eventos y aproximadamente 15% en eventos grandes. En una estación larga, la intercepción de la copa es de 23%, lo cual juega un papel clave en torno a los efectos de erosión del suelo por el agua (Price *et al.* 1997; González *et al.* 1997).

Así, las funciones de la copa son parte del sistema aire-planta-suelo (Figura 1), en donde se integran los factores necesarios, y consecuentemente limitantes, para el crecimiento arbóreo tales como: luz solar, agua, ciertos nutrimentos minerales, temperaturas convenientes, oxígeno y dióxido de carbono, los cuales deben estar disponibles para el árbol en la forma y ubicación adecuada, resultando en el crecimiento del árbol (Chadwick *et al.* 1990). Por ejemplo: la distribución de nitrógeno y carbono foliar son afectados por las dimensiones y condiciones de luz en la copa de *Picea abies*, lo cual es determinante en la morfología de las agujas causando incremento en todos los parámetros lineales (amplitud, engrosamiento y longitud de las agujas: Ninnemets, 1997).

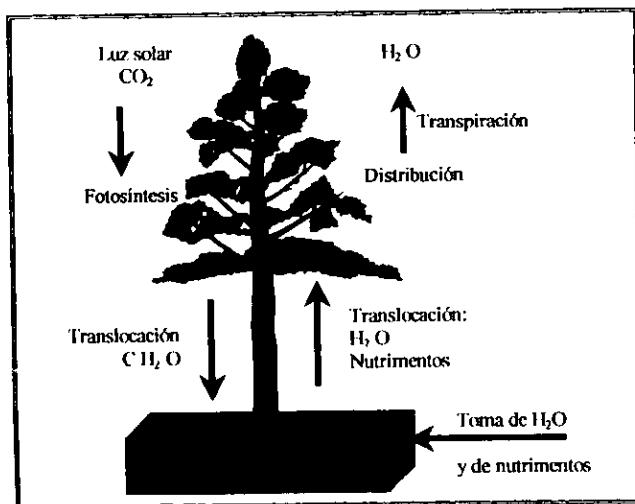


Figura 1. Simulación del sistema aire-planta-suelo (Chen & Gómez, En Dixon, 1990).

De esta manera el área foliar de la copa, junto con el crecimiento y la eficiencia fotosintética, proporcionan información sobre la productividad del ecosistema, por lo que

en un ambiente favorable, el crecimiento de la madera por unidad de área foliar también se incrementa como resultado del mejoramiento de la eficiencia fotosintética (Waring, 1983).

Por otra parte, existen factores como la depositación ácida de contaminantes atmosféricos que pueden afectar el crecimiento arbóreo (Chadwick *et al.* 1990), ya que cerca del 50% de la superficie de las coníferas esta expuesta a la atmósfera, siendo los estomas los que regulan el intercambio gaseoso y de vapor de agua entre ésta y el árbol (Spurr and Barnes, 1982). Así mismo, Kozłowski y Constantinidou (1986) mencionan que durante las primeras etapas de desarrollo del árbol, el mecanismo activo de estrés crónico provocado por la contaminación atmosférica, involucra cambios en la velocidad del metabolismo y producción de carbohidratos, *per se*, dañando la velocidad de crecimiento, además de reducir el vigor de los árboles.

La forma y estructura de la copa de un árbol depende de las interacciones entre el complemento genético del árbol y el medio ambiente en el cual esta creciendo (Harold and Hocker, 1984) y que incluye tanto efectos directos como indirectos (estrés fotosintético, nutricional y/o hídrico) de la depositación ácida (Harold and Hocker, 1984; Kozłowski and Constantinidou, 1986; Waring, 1987; Ulrich, 1990). Por ejemplo, se sabe que las concentraciones elevadas de ozono y de óxidos de azufre reducen el crecimiento y la retención de agujas del árbol, por lo que la copa pierde poco a poco la capacidad de retención de sus hojas y por tanto, su arquitectura original (Schütt and Cowling, 1985; Kozłowski and Constantinidou, 1986); así los árboles del género *Abies*, en estado saludable, llegan a retener sus hojas hasta 6 años; sin embargo, los árboles viejos y/o con poco vigor, son menos capaces de ajustarse a las fluctuaciones en el ambiente, en especial para tolerar condiciones adversas como la depositación atmosférica (Chadwick and Larcon, 1990).

Por su parte, la proyección del área foliar de la copa en diferentes posiciones puede servir para predecir la cantidad del depósito iónico en los ecosistemas forestales pudiendo así, predecir el estado de salud de dichos bosques bajo ciertas condiciones; de tal forma que el área foliar de la copa puede determinarse a través de un modelo transformado logarítmicamente; para lo cual se usan el área del tronco (a la altura del pecho) y la longitud de la copa (Gilmore *et al.* Maguire, 1996), permitiendo identificar a aquellos individuos, poco comunes, que son indicadores de importantes disturbios y condiciones sucesionales (Cade, 1997).

Según Ford and Kiester (En Dixon, 1990), los modelos de árboles integran la fisiología y morfología en un modelo de "Simple Árbol Completo" permitiendo obtener información acerca de la respuesta del árbol a los efectos de la contaminación y aproximarse a la evaluación de diferentes mecanismos hipotéticos de la relación árbol - contaminación atmosférica; lo cual puede realizarse mediante la determinación de la correlación significativa entre los estados de vitalidad y las variables ambientales (SO_x , NO_x), proporcionando así, la oportunidad de reconocer tempranamente el decline forestal (Schulz *et al.* 1996).

La proporción de hojas retenidas por la copa de un árbol se encuentra en relación con la contaminación atmosférica, ya que esta provoca a través de diversos mecanismos la defoliación, por lo que la evaluación de los porcentajes de retención de copa sea

indispensable para la elaboración y aplicación de modelos sobre contaminación atmosférica - salud arbórea.

2. Mecanismos de incorporación de los contaminantes atmosféricos a los ecosistemas forestales.

Una vez que los contaminantes son emitidos a la atmósfera estos son arrastrados por el viento y son removidos de la misma a través de diversos mecanismos de transformación fisicoquímica resultando en el sustancial depósito de iones inorgánicos (deposición ácida) en los ecosistemas forestales (Mohnen, 1988; Calva, 1999).

El depósito se incorpora comúnmente a través de dos vías a saber (Figura 2): la seca y la húmeda (Manahan, 1993; Erisman *et al.* 1994). La deposición seca se hace presente, cuando los gases y aerosoles se depositan directamente de la atmósfera a la superficie terrestre, esta vía depende en gran medida de la concentración del contaminante en el aire, procesos de turbulencia en la atmósfera, difusión molecular, naturaleza física y química, y de la capacidad de la superficie para capturar o absorber gases o partículas (Bredemeier, 1988; Erisman *et al.* 1994).

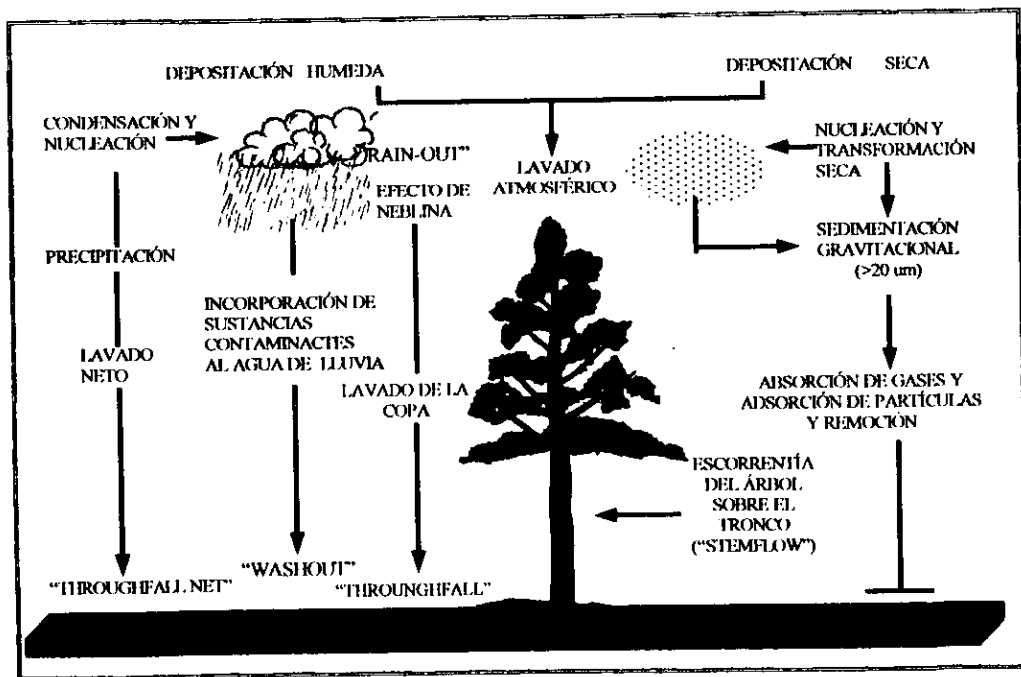


Figura 2. Mecanismos de incorporación de los contaminantes atmosféricos a los ecosistemas forestales (Modificado de Calva, 1999).

De esta manera, cuando un constituyente del depósito seco es liberado a la copa en forma disponible (soluble en agua) provoca cambios fisiológicos y bioquímicos en el crecimiento arbóreo (Lindberg and Shiner, 1982; En D'ietri, 1982; Schütt and Cowling, 1985). En la vía de depositación seca intervienen mecanismos como la sedimentación (partículas entre 10 y 30 μm de diámetro), impactación (partículas menores a 10 μm de diámetro) y difusión molecular, a través de las hojas de la vegetación (Padilla, 1985; Galloway and Parker, In Hutchinson and Havas, 1986; Erisman, *et al.* 1994).

Por lo que respecta a la depositación vía húmeda, esta consiste en la incorporación de contaminantes atmosféricos a los ecosistemas a través de la lluvia granizo, rocío o nieve (Padilla, 1985; Erisman *et al.* 1994; Calva, 1999), en cuyo proceso, se formarían los ácidos¹ correspondientes. Este mecanismo de incorporación, a diferencia de la vía seca, no depende de las propiedades de la superficie receptora (Figura 3).

Por su parte la depositación atmosférica puede ser cuantificada mediante métodos de superficies de exposición, ya sean naturales (hojas y corteza arbóreas) o inertes (embudos, cajas petri, papel filtro, etc.); permitiendo así, evaluar procesos como el "rainfall" (precipitación total), "stemflow" (escurrimiento sobre el tronco) y "throughfall" (lavado de la copa por agua de lluvia), como así lo concluyeron Erisman *et al.* (1994).

3. Efectos biológicos y ecológicos de la depositación ácida en los ecosistemas forestales.

La depositación ácida depende tanto de factores bióticos como abióticos, por lo que las formas químicas y los patrones espaciales de la depositación se dan en función de condiciones meteorológicas (sequía, lluvia, vientos) y de factores abióticos como la concentración de oxidantes fotoquímicos (ozono, Peróxido Acetil de Nitrógeno) y de otros contaminantes² presentes en la atmósfera, de la difusión molecular y de la fuerza gravitacional (Grennfelt *et al.* In Hutchinson and Havas, 1980; Crane and Crocks, 1987).

Así mismo, el depósito de contaminantes atmosféricos en la vegetación depende de la cantidad y composición química. El efecto de dichos contaminantes a su vez, dependen de la especie, genotipo, de la capacidad de la superficie para absorber gases o partículas, de la edad, fisiología y estado nutricional de la vegetación, del número y tamaño de los estomas y, de la apertura estomática (Grennfelt *et al.* En Hutchinson and Havas, 1980; Kozlowski *et al.* 1991). De acuerdo con Mohren (1988) existe una correlación evidente entre el deterioro de los árboles, un foco de contaminación específico y una concentración mínima del contaminante.

¹ El SO_2 y los NO_x , reaccionan con el agua formando ácido sulfuroso (H_2SO_3) y ácido nitroso (HNO_2); ácidos débiles, los cuales son fácilmente oxidados a ácidos fuertes, ácido sulfúrico y ácido nítrico respectivamente (Mohren, 1988; Wilkinson, 1994; Manahan, 1993; Ray, 1995)

² La concentración en la atmósfera de un contaminante es afectada por la cantidad de compuesto emitido por unidad de tiempo desde la fuente, la velocidad del viento durante la dispersión, y la estabilidad atmosférica (Wilkinson, 1994).

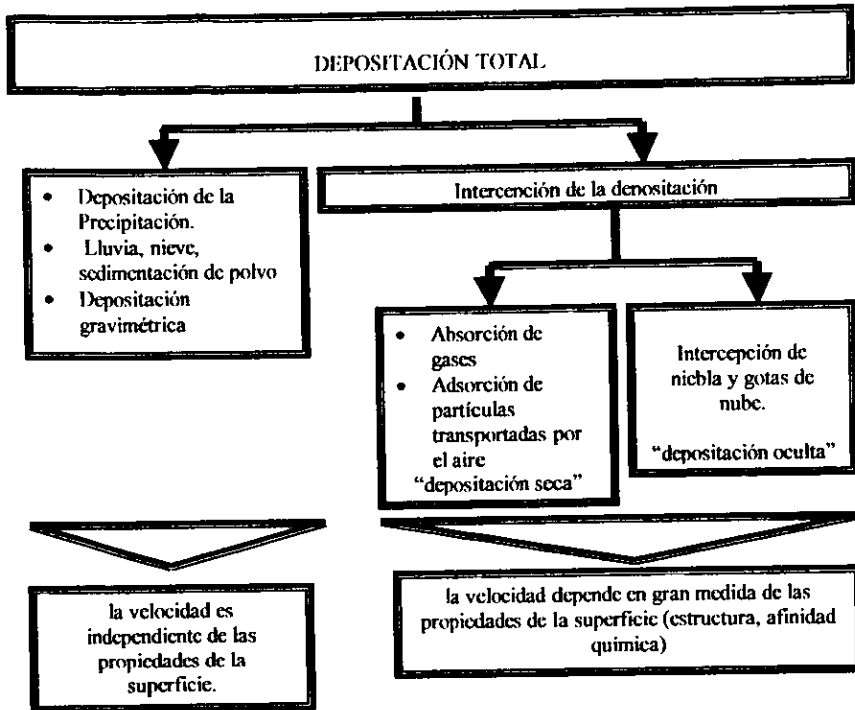


Figura 3. Distribución de la deposición atmosférica total (Bredemeier, 1988).

Una vez que los contaminantes atmosféricos se incorporan a los ecosistemas pueden influir directamente sobre y fisiología de los árboles, en general los contaminantes atmosféricos provocan un decremento en las funciones vitales del árbol, reduciendo la velocidad de crecimiento de los individuos, del *cambium* y de las raíces, además de disminuir la capacidad reproductora (Lange *et al.* 1989), síntomas asociados al decline forestal. Sin embargo, no todos los contaminantes provocan los mismos efectos, por lo que se dificulta el desarrollo de generalizaciones (Wilkinson, 1994).

El primer contacto de la deposición ácida y el árbol (Figura 4), es a través de la cutícula (membrana no viva que protege a la hoja de la evaporación, lixiviación de especies iónicas y/o nutrimentos y del intercambio gaseoso), inhibiendo la formación de la misma o bien degradándola (Kozłowski *et al.* 1991).

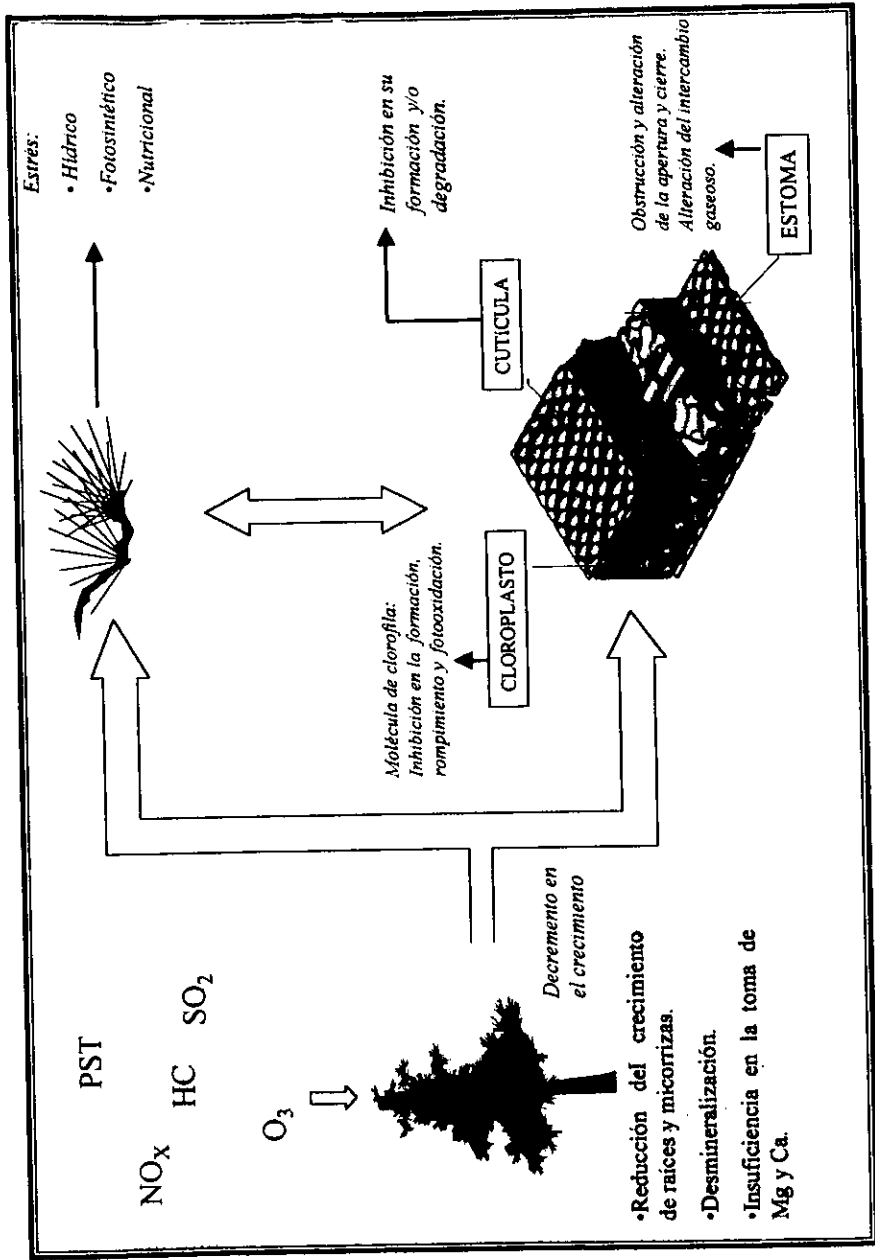


Figura 4. Daños causados por la deposición atmosférica a la vegetación (integrado por Pérez, Calva y Chavez, 1999).

Interferencia con el funcionamiento de las células guarda estomatales, ya que el grado de turgidez de estas células es influenciada por el pH del citoplasma, el cual puede ser afectado por el pH de la precipitación. Un efecto en las células guarda podría resultar en un decremento del control sobre la apertura estomatal y esto sobre la velocidad de transpiración y el flujo de CO₂, O₂, y otros gases (Freedman, 1989). Así, durante el intercambio gaseoso entre la atmósfera y la copa arbórea, no sólo se introduce el CO₂ necesario para la fotosíntesis, sino también gases primarios como los óxidos de azufre y los de nitrógeno (entre otros) cuyo efecto negativo en la vegetación ha sido comprobado mediante diversos estudios (Spurr and Barnes, 1982).

El daño metabólico (“daño oculto”) podría traer como consecuencia cambios en la velocidad de la fotosíntesis, respiración o algunos otros funciones metabólicos. Esto no causa daño agudo pero puede resultar en un decremento del crecimiento, disfunción del desarrollo o senescencia prematura (Freedman, 1989).

En cuanto a la respuesta de los árboles, a la depositación atmosférica, esta varía según la ruta que el contaminante tome una vez que es absorbido por los poros estomatales de la hoja, por ejemplo: cuando el SO₂ y el NO_x entran en contacto con la hoja reaccionan produciendo ácidos, provocando la defoliación prematura y acelerada, la presencia y expansión de necrosis y alterando el proceso de la fotosíntesis mediante diversos mecanismos (Kozłowski *et al.* 1991).

La fotosíntesis es considerada como el proceso metabólico más sensible a la depositación atmosférica; así, el NO_x, SO₂ y el O₃, intervienen principalmente en la disminución de la capacidad fotosintética y en los procesos de transpiración y translocación de nutrimentos (Lange *et al.* 1989; Potter and Rasgdalf, 1991), siendo la depresión fotosintética (asociada a la decoloración del pigmento) una característica típica de árboles dañados. El SO₂ provoca el amarillamiento de las hojas ya que interfiere con la formación y el funcionamiento de la clorofila; además, el material particulado (PST, SO₄²⁻, NO₃⁻, etc.) altera las propiedades ópticas de las hojas por cambios en la reflexión y el decremento en la intensidad de luz alterando el proceso fotosintético (Kozłowski *et al.* 1991; Caselli, 1992).

Otra vía de daño es el rompimiento de la molécula de clorofila, alterándose: los procesos de fijación de carbono, la actividad enzimática de los cloroplastos, la velocidad de fosforilación y capacidad de amortiguamiento de pH (Kozłowski *et al.* 1991).

Por otra parte, aunado a los daños que cada contaminante ejerce por si mismo, su toxicidad se ve acentuada debido al sinergismo existente entre los contaminantes y otros factores de estrés (hídrico, fotosintético, de sombra, etc.); así, por ejemplo, el efecto del SO₂ sobre las plantas se ve acentuado por la presencia de ozono (Shutt and Cowling, 1985; Kozłowski, *et al.* 1991; Caselli, 1992), además de que las combinaciones sequía-ozono y ozono-sombra, producen el empequeñecimiento del árbol, probada así en una simulación de 10 años (Chen and Gómez, En Dixon 1990).

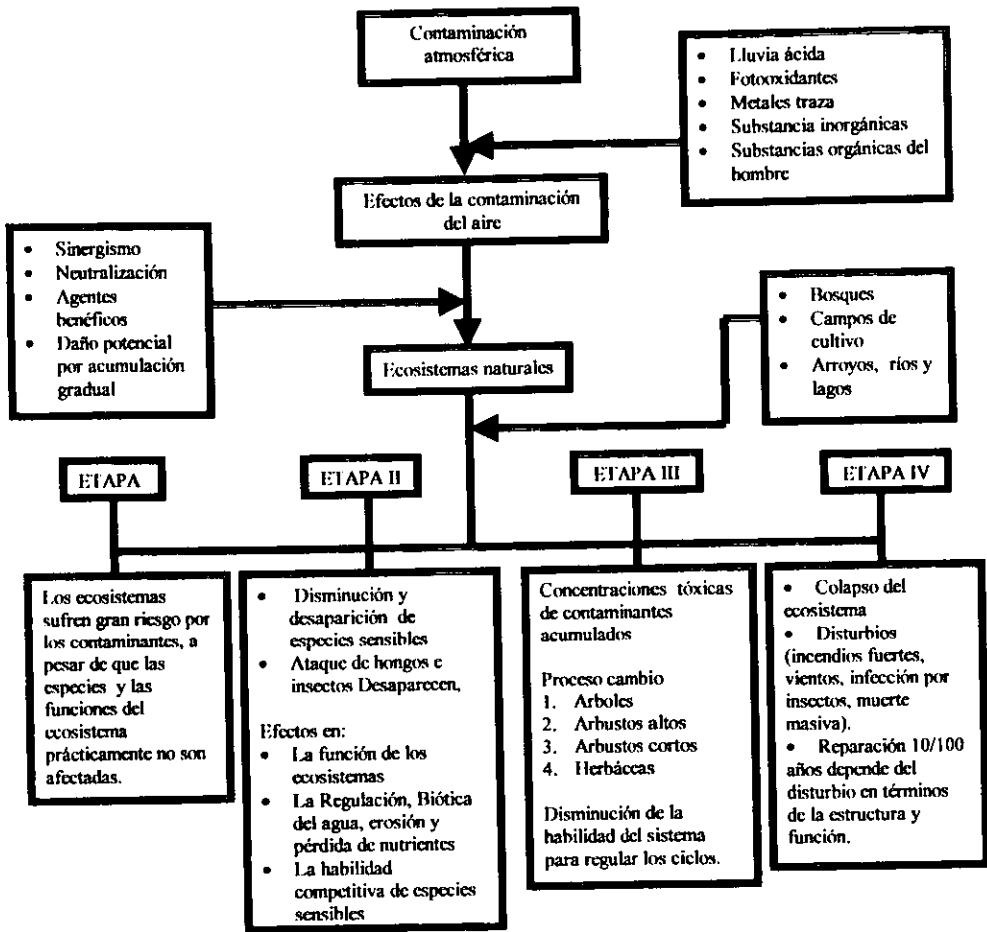


Figura 5. Efectos de la contaminación del aire en el paisaje de Nueva Inglaterra (Bormann, 1982).

En resumen, los contaminantes atmosféricos provocan la pérdida del vigor de los árboles, lo cual, se manifiesta gradualmente; primero, con síntomas foliares (áreas cloróticas y necróticas), finalizando en la pérdida de biomasa foliar, y consecuentemente en el decremento de la fotosíntesis y otras funciones vitales como el aumento de la altura y del diámetro del tronco, llevando finalmente a la muerte del árbol. (Shütt and Cowling, 1985). No obstante, los efectos de los contaminantes no son inmediatos; si no a través de una serie de etapas que encabezan el colapso del ecosistema (Figura 5).

4. Efectos del depósito de contaminantes atmosféricos en la copa arbórea.

Dado que las funciones principales de la copa son el intercambio gaseoso con la atmósfera, la intercepción y evaporación de agua, el primer contacto de los contaminantes atmosféricos en los ecosistemas forestales es con la copa y la superficie foliar, siendo precisamente en estos donde se manifiestan los daños visibles.

De acuerdo con Mohnen (1988) existe una correlación evidente entre el deterioro de los árboles, un foco de contaminación específico y una concentración mínima de contaminantes. No obstante la contaminación atmosférica y particularmente la depositación ácida no es un agente letal pero, sí es un factor de estrés que contribuye y acelera el proceso de decline y muerte de las especies sensibles como las del género *Abies*.

Existe gran controversia debido a que la defoliación es un proceso natural, sin embargo este deja de serlo cuando el síntoma afecta a una fracción importante de la población. De acuerdo con Bonneau and Landman (1989) el primer síntoma en la pérdida de vigor de un árbol es el amarillamiento y caída de sus hojas y ramas. Así, el oyamel pierden su vigor gradualmente y la forma cónica de la copa acompañada por severa defoliación y mortalidad en la parte baja del árbol (Alvarado *et al.* 1993). El amarillamiento de las hojas viejas es el segundo síntoma que se observa a menudo y es particularmente intenso en los abetos afectando tanto a los árboles adultos como a los jóvenes, mientras que la defoliación siempre es más marcada en los árboles viejos (Bonneau and Landmann, 1989).

Así, mediante diversos estudios se ha determinado que las especies del género *Abies* (*Picea abies*, *Norway spruce*, *Abies balsamea*), son especialmente susceptibles a la depositación de contaminantes atmosféricos. Por lo que se han adaptado sistemas de evaluación del estado de salud para este género en particular, a los cuales se hará referencia en el apartado siguiente.

VI. ANTECEDENTES

Los efectos de la contaminación atmosférica en el vigor de los ecosistemas forestales fueron observados por primera vez en Alemania alrededor de 1980. Posteriormente, este fenómeno se extendió a varias ciudades del centro de Europa (Bonneau & Landmann, 1989), a parte del sureste de China, Nigeria, Brasil, Venezuela y Norteamérica incluyendo México (Rodhe & Herrera, 1988; Gorham, 1989; Alvarado *et al.* 1993; Cunningham & Saigo, 1999).

A continuación se presentan los trabajos más relevantes acerca de la evaluación visual del estado de las copas, basados en el %RC y en el color del follaje como síntomas de vitalidad.

Bonneau y Landmann (1989), mencionan que la clórosis y subsiguiente defoliación de las copas de los árboles son los síntomas visibles de decline forestal, por tal motivo, los países Europeos adoptaron un sistema de estimación visual basado en la evaluación del estado de las copas, establecido en la República Federal Alemana en la década de 1980. Este sistema, involucra la pérdida de agujas y ramas del árbol, y la condición de la hoja (coloración); estableciendo cinco grupos sobre el primer aspecto: 0-10%, 10-25%, 25-60%, 60-99% y 100% (árbol muerto), considerando el 60% de pérdida de hojas como un grado de daño irreversible. De la misma manera, la proporción de hojas con color anormal se estima en tres grupos: 0-25%, 25-60% y 60%-100%.

Blank, Roberts & Skeffington (1988) realizaron un inventario de daño forestal en Alemania del este, basándose en la estimación del porcentaje de pérdida de follaje comparada con un árbol saludable en la misma área y usando como criterio secundario la coloración de las hojas. Para esto, crearon las siguientes clases: Saludable \leq 10% (Clase 0), Primera señal de Alarma 11-25% (Clase 1), Daño Moderado 26-60% (Clase 2), Daño Severo $>$ 60% (Clase 3), Muerte --- (Clase 4).

En otro inventario realizado en el mismo país que el antes citado, se estimó la vitalidad de los árboles a través de mediciones cualitativas del grado de agujas pérdidas considerando las categorías de Saludable (menor al 10%), ligeramente dañado (10-25%), daño medio (25-30%) y daño severo (más del 60% de agujas pérdida); resultando un incremento del área dañada de 8% a 34% en un año y a cerca del 50% en el año subsiguiente, de tal manera que las categorías de daño medio y severo cubrieron el 10% del área forestal en 1983 y en 1985 - 1986 fue del 20% (Roberts, 1987).

En 1985, Neugebauer encontró que en los bosques de la República de Alemania, el daño provocado por el depósito ácido tuvo un incremento de 3.6% en 1980 a 50% en 1984, resultando ser *Abies* uno de los géneros más sensibles a dicho fenómeno, ya que el 60% de bosques de abetos (2% del total Nacional) se encontraban dañados.

Así mismo, Nellman & Frogner (1994), evaluaron patrones de defoliación de *Picea abies* en Noruega, basándose en la edad, altura y grado de defoliación, registrando el 75% de defoliación en la mayoría de los individuos. Al comparar estos resultados con una zona de

referencia en la que presumiblemente había un menor depósito se encontró que el depósito de sulfatos excedió los niveles críticos en el área de estudio, llegando a la conclusión de que el depósito atmosférico pueden ser correlacionado con la defoliación y los daños forestales.

A partir de los estudios antes citados, entre muchos otros, se crearon redes de monitoreo atmosférico alrededor del mundo destacando: *Response of Plant to Interacting Stresses (ROPIS)*, *the air Quality/Forest Health Program of the National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement (NCASI)*, *study of the Electric Power Research Institute (EPRI)* y *The Forest Response Program (FRP)* el cual es componente del programa de *NAPAP (The National Acid Precipitation Assessment Program)*. En dichos programas evaluaron los parámetros de mayor relación en la química de la precipitación y del depósito atmosférico.

En la ciudad de México existe el fenómeno de la deposición ácida debido a las grandes emisiones de precursores ácidos (por ejemplo: SO_x y NO_x), los cuales dañan fuertemente a la vegetación (además de: la salud humana, los materiales y ecosistemas acuáticos). Por tal motivo, a partir de 1987, se inició el estudio de la precipitación ácida en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, a través de la determinación de los parámetros químicos establecidos mundialmente (CMPCCAVM, 1998). De esta manera, se han realizado evaluaciones principalmente del depósito atmosférico húmedo.

Recientemente, Calva³ (1999), ha monitoreado la deposición ácida en zonas boscosas de la Cuenca de México, usando como superficie de exposición la corteza arbórea de tres pináceas. Expresando que el depósito de sulfatos tuvo una ocurrencia del 80% ($X \cong 240$ ppm), cloruros del 40% ($X \cong 280$ ppm) y nitratos del 20% ($X \cong 100$ ppm), lo cual permite asegurar que existe una selectividad en la deposición de los iones. El depósito de SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- , mostró diferencia durante los periodos secos y húmedo. Además, encontró que la zona ubicadas en el oeste de la cuenca (Iztapopocatépetl), registro mayor variación estadística en hidronios y un mayor depósito que "El chico", demostrando la existencia de depósito ácido en los ecosistemas boscosos de la cuenca.

No obstante, en México la evaluación del decline forestal como posible efecto de la contaminación atmosférica ha sido insuficiente y por tanto las publicaciones sobre este fenómeno muy escasas. Sin embargo, en 1984, Ferrel y Miller realizaron ciertas observaciones de la mortalidad de *Abies religiosa* en el Parque Desierto de los Leones, encontrando que la gran mortandad del abeto es el resultado de la combinación de factores bióticos y abióticos, entre los que se encuentra la contaminación atmosférica de la ciudad

³ Este autor desarrolla su línea de investigación en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y los primeros estudios (Soto-Tellez, 1996; Sánchez-Reyna, 1996; Saavedra-Romero, 1996) se enfocaron al registro ácido (químico) usando la corteza como superficie de exposición, a escala regional (DF), posteriormente se amplió la escala mesoregional (Cuenca) y se incluyó otra superficie de exposición (hojas), permitiendo así, cubrir las desventajas que presentó la primera superficie utilizada. Una parte de la información hasta ahora generada, corresponde al ámbito del conocimiento básico y aplicado del tema en cuestión, el cual se comparte con el Instituto del Medio Ambiente Sueco (SEI), para el programa de la sensibilidad de los ecosistemas terrestres al efecto del depósito ácido (SEI, 1997), en donde también se incluyen análisis de suelo.

de México junto con otros factores como el ataque de escarabajos que debilitan al árbol y contribuyen a la mortalidad y decline de dicha especie.

Uno de los trabajos más conocidos, es el de Alvarado, Bauer y Galindo (1993) quienes evaluaron la sensibilidad de *Abies religiosa* y adaptaron una escala de daño específica para esta especie, en la cual se evaluó el color del follaje y la retención de ramas y agujas. Dicha escala, fue la siguiente: de 0-10 (daño muy severo), de 11-20 (severo), de 21-30 (moderado), 31-40 (ligero) y, > 40 (muy ligero). Además, fueron evaluados factores como el manejo forestal, la extracción de agua, la precipitación, la presencia de patógenos, de insectos y ácaros, llegando a la conclusión de que estos; son procesos secundarios del decline forestal del Oyamel en el Parque Nacional Desierto de los Leones, ya que la causa principal es la contaminación atmosférica de la Ciudad de México.

VII. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Zona Metropolitana es parte de una cuenca endorreica; es decir, es una planicie rodeada por montañas, la cual tiene una altura promedio de 2,250 m.s.n.m y una superficie de 9,560 Km² que abarca 1,320 Km² del D.F. 4,800 Km² del Estado de México, 2,500 Km² de Hidalgo, 840 Km² de Tlaxcala y 100 Km² de Puebla. La parte más baja de la cuenca, es una planicie lacustre con una altitud de 2240 metros sobre el nivel del mar (Salas *et al.* 1992; Ezcurra, 1998). Estas características aunadas al crecimiento de la Ciudad de México han proporcionado condiciones favorables para la presencia y permanencia de una gran cantidad y diversidad de contaminantes atmosféricos en la cuenca de México.

Por otra parte, en 1975 Rezendowski identificó diez comunidades vegetales en la Cuenca de México, entre las que se encuentra el bosque de Oyamel (*Abies religiosa*) comunidad que forma bosques densos entre las cotas de 2,700 y los 3,500 m de altitud, generalmente en las serranías de la parte meridional donde las condiciones son más favorables para su desarrollo (Ezcurra, 1998).

El Parque Nacional Iztapopocatepetl fue seleccionado como zona de estudio por presentar síntomas de daño similares a aquellos reportados (Schütt and Cowling, 1985; Hinrichsen, 1986; Boneau and Landmann, 1989) para el decline forestal y, por ubicarse en los límites de la Zona Metropolitana (Figura 6). Por su parte, el Parque Nacional "El Chico", fue elegido como zona de referencia por ubicarse fuera de la Cuenca de México, planteando así, que no hay influencia de los contaminantes atmosféricos sobre el bosque de oyamel.

1. Parque Nacional Iztaccihuatl – Popocatepetl

El Parque Nacional "Izta-Popo" con aproximadamente 25,679 Ha., se ubica en el Eje Neovolcánico Transversal en el límite de tres estados (México, Morelos y Puebla), aproximadamente a 80 km. al suroeste de la Ciudad de México y 50 Km. al oeste de la Ciudad de Puebla.

Se localiza entre las coordenadas geográficas 18° 59' 00" y 19° 16' 25" de latitud norte; 98° 34' 54" y 98° 42' 08" de longitud oeste. Su límite corresponde a la cota de 3600 m.s.n.m.

a) Clima

Los climas de esta región dependen principalmente de la altitud y corresponden a templado y frío, éste último con la variante muy frío (hielos perpetuos), según la clasificación de García (1973):

C(W₂) (w) big (clima templado) se encuentra desde el límite inferior del Parque hasta una altura aproximada de 4000 m.s.n.m.

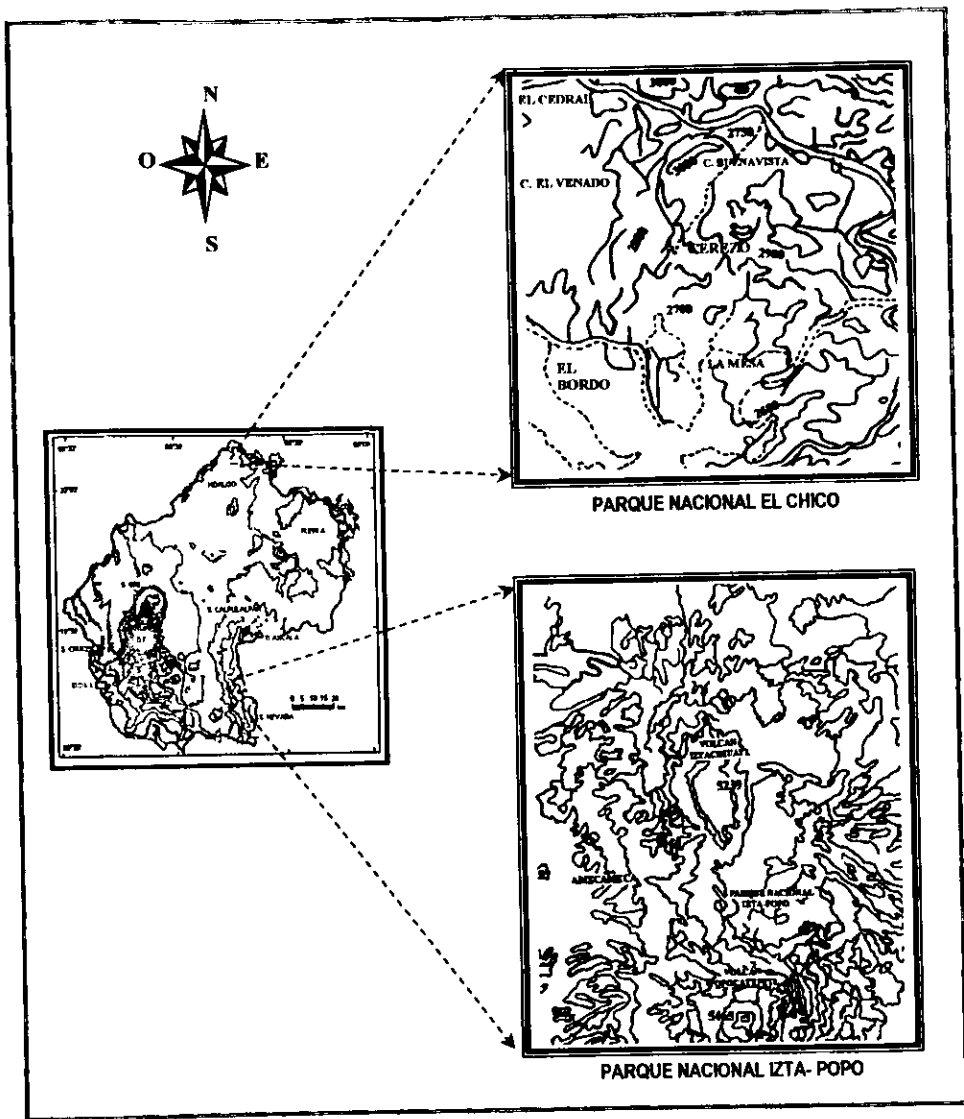


Figura 6. Ubicación geográfica de la zona de estudio (Integrado de Calva, 1999; INEGI carta topográfica 1: 25 000).

ETHWi (clima frío) de los 4000 a 5000 m.s.n.m.

EFH (muy frío) circunscrito en la parte más elevada de los altos picos de altitud superior a los 5000 m.s.n.m.

b) Suelo

Basamento rocoso de flujo de lava andesítico, en diferentes regiones hay rocas sedimentarias y Vulcano sedimentarias, Basalto y taba intermedia.

c) Flora

La vegetación del Parque Nacional (Izta-Popo) se encuentra relacionada con los pisos altitudinales de los mismos, el límite de la vegetación arbórea en estos volcanes se ubica en una altitud de 4000 msnm florísticamente se distinguen 3 pisos fundamentales de vegetación.

- Pinar abierto de *Pinus hartwegii* (3300-4300 m) con abundantes gramíneas amacolladas, el bosque en altitudes más bajas se mezcla con abetos y aile.
- Pradera subalpina (zacatonal alpino) (3800-4300 m).
- Pradera alpina (vegetación de páramos de altura) (4000-5000 m.s.n.m.)

2. Parque Nacional El Chico

Se localiza en el Municipio de Mineral del Chico, Estado de Hidalgo entre los meridianos 98°41'47" y 98°45'31" longitud oeste y entre los paralelos 20°10'05" y 20°13'25" latitud norte. El área fisiográfica del Parque pertenece a la Sierra de Pachuca siendo una cordillera escarpada en la que sobresalen numerosos cerros, entre las que destacan: Las Monjas (2,960 m.s.n.m.), La Muela (2,040 m.s.n.m.), La Cueva Blanca (3,060 m.s.n.m), El Monte Copado (3,020 msnm). En este lugar, afloran rocas volcánicas extrusivas y materiales sedimentarios cuyas edades van del Terciario al Reciente (Vargas, 1998).

a) Clima

Presenta un clima templado subhúmedo, con lluvias en verano y semifrío, con una temperatura media anual de 21°C y una mínima de 5°C. La precipitación media anual es de 1,479 mm, sin embargo la mayor cantidad de lluvia cae en Junio con 240.7 mm y la menor en febrero con 18.6 mm (Vargas, 1998).

b) Suelo

Los suelos se caracterizan por contener cambisoles húmicos, feozem háplico, litosoles y regosoles, todos derivados de rocas ígneas extrusivas.

c) Vegetación y Flora

El área del Parque Nacional "El Chico", de acuerdo con Rzedowski (1978) pertenece a la Provincia Florística de las Serranías Meridionales de la Región Mesoamericana de Montaña, correspondiente esta última al Reino Holártico. Dicha provincia se distingue por incluir las elevaciones más altas del país y por la predominancia de los bosques de encino y de pino en forma equiparable (Zavala, 1995).

En este lugar se encuentran seis de los nueve géneros de coníferas presentes en México. En el Parque se encuentran los siguientes tipos de comunidades vegetales: Bosque de Cedro (*Cupressus*), bosque de Quercus, Pinus-Quercus, Pinus, Matorral de *Juniperus*, Pastizal y Bosque de Oyamel (Zavala, 1995).

La comunidad de oyamel es la que cubre mayor superficie en el Parque Nacional El Chico y es una de las que presenta mayor densidad en el Valle de México. En el área se le encuentra en las porciones relativamente más frías y húmedas. El estrato arbóreo está formado por *Abies religiosa* como especie dominante, además del oyamel colorado o romerillo (*Pseudotsuga macrolepis*), el encino hoja de laurel (*Quercus laurina*), encino hoja ancha (*Q. rugosa*), ciprés (*Cupressus benthamii* y *C. lindleyi*), madroño (*Arbutus glandulosa* y *A. xalapensis*) y aile o *Alnus firmifolia* (Zavala, 1995).

El área del bosque de oyamel frecuentemente presenta algunas porciones relativamente pequeñas que han sido severamente alteradas y se encuentran parcial o totalmente ocupadas por otras especies. Esto sucede con algunas partes del centro y sureste del área, las cuales han sido ocupadas de tal manera por *Juniperus* y *Pinus*, respectivamente.

VIII. MÉTODO

La selección de las áreas de estudio se realizó con respecto a sitios monoespecíficos del bosque de *Abies religiosa* y que manifestaron síntomas de daño, durante el período seco (noviembre-abril) de 1998, en ambas zonas (Izta-popo y El Chico), con un total de 30 muestras foliares de oyamel y 950 registros de retención de copa para cada zona.

1. Fase de campo

1.1. Patrones de decline

Dentro del bosque monoespecífico de oyamel, se seleccionaron 4 sitios de muestreo de acuerdo a la exposición del bosque, a los vientos dominantes y su incidencia con la Ciudad de México. Cada sitio con una distancia entre sí de 50 m²; haciendo un muestreo en una área total de 2000 m², en cada zona (Figura 7).

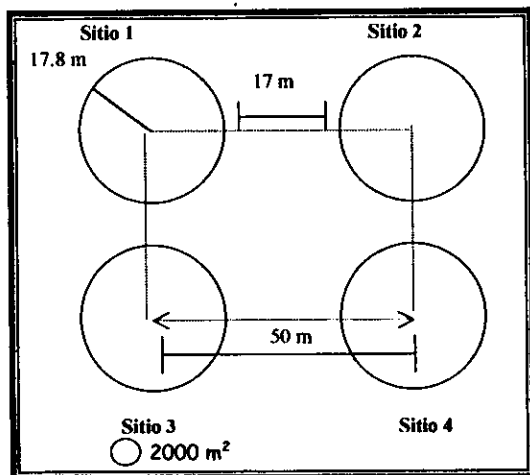


Figura 7. Representación del área muestreada (Labau, 1993).

En estos sitios se registró el diámetro normal (D.N.) y el Porcentaje de Retención de Copa (ANEXO 1) de cada abeto presente, los datos obtenidos se registraron en formatos como el que se muestra en el ANEXO 2. El diámetro se midió con una cinta métrica a una altura aproximada de 1.30 m en sentido contrario de la pendiente. El

Porcentaje de Retención de Copa (%RC) fue registrado basándose en el método usado por la SAGAR (SAHAR, 1984) y la República de Alemania.

1.2. Colecta de hojas

La colecta de las hojas se realizó de acuerdo con Potter y Ragsdale (1991) y Erisman, *et al.* (1994); colectando hojas de 30 Abetos. Las hojas colectadas (ANEXO 3) fueron hojas saludables, sin presencia de plagas, ni daño físico además de haber sido colectadas con guantes y colocadas inmediatamente en frascos de polipropileno de 250 ml, cuidando de no agitarlas para evitar la pérdida de depósito. Posteriormente fueron transportadas al laboratorio para su tratamiento.

2. Fase de laboratorio

El mismo día de la colecta, las muestras se hidrataron con agua desionizada, llevándolas a un volumen de 250 ml y se conservaron en refrigeración. Posteriormente, la cuantificación de sulfatos y cloruros (ANEXO 4 y 5, respectivamente) se realizó por el método Nefelométrico de acuerdo con Snell and Snell (1949), el cual se basa en la dispersión de la luz por partículas en suspensión de una solución. El aparato utilizado fue un Turner Designs (Mod. 40), el cual tiene una precisión del 2% de la escala utilizable (de 0 a 9.99 y de 0 a 99.9 NTUs) y una resolución de 0.01 a 1.0, dependiendo de la escala ($\times 1$ ó $\times 10$). Los iones NO_3^- se midieron por el método de ion selectivo descrito en el ANEXO 6.

3. Fase de gabinete

Con los datos obtenidos del %R.C., D.N., exposición, SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- se realizó una base de datos para las dos zonas estudiadas (Izta-popo y El Chico), posteriormente se realizó lo siguiente:

- a) El Análisis estadístico de las variables con ayuda del Software de Análisis estadístico Statgraphics (V5.0) para fines descriptivos e inferenciales.
- b) Se comparó gráficamente (frecuencia y distribución) el comportamiento de los registros obtenidos de D.N., SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , con respecto al %R.C y a la zona.
- c) Se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar los criterio de significancia estadística de las siguientes variables: Izta-popo vs El Chico, %R.C vs zona, %R.C vs [SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^-].
- d) Interpretación de los análisis y elaboración de conclusiones.

IX. RESULTADOS Y ANÁLISIS

IX.1. DAÑO EN LOS BOSQUES DE *Abies religiosa*

1.1. Clases de Retención de Copa y tipo de daño.

En el cuadro 1 se presenta un resumen de los principales estudios a cerca de la evaluación visual de las copas de los árboles del género *Abies*, el cual se ha comprobado son de las especies más sensibles a la depositación de contaminantes atmosféricos (Shitt and Cowling, 1985; Schulze, 1989; Gilmore and Seymour, 1997).

Cuadro 1. Cuadro resumen de los trabajos más relevantes, a nivel mundial, acerca de la evaluación visual de las copas arbóreas del género *Abies*.

AUTOR (ES)/AÑO	APORTACIÓN			
	CLASE	%RC	%PC (DAÑO)	TIPO DE DAÑO
Blank <i>et al.</i> 1988.	1	≥ 90	≤ 10	Nulo
	2	89 - 75	11 - 25	Primera señal de alarma
	3	40 - 74	26 - 60	Moderado
	4	< 40	> 60	Severo
	5	-----	-----	Muerte
Bonneau and Landman, 1989.	1	90 - 100	0 - 10	Irreversible Árbol muerto
	2	75 - 90	10 - 25	
	3	40 - 75	25 - 60	
	4	1 - 40	60 - 99	
	5	0	100	
Roberts, 1987.	1	> 90	< 10	Nulo
	2	75 - 90	10 - 25	Ligeramente dañado
	3	70 - 75	25 - 30	Daño medio
	4	< 40	> 60	Severo
Alvarado <i>et al.</i> 1993.	1	0 - 10	90 - 100	Muy severo
	2	11 - 20	80 - 89	Severo
	3	21 - 30	70 - 79	Moderado
	4	31 - 40	60 - 69	Ligero
	5	> 40	< 60	Muy ligero
SAGAR 1984	1	25	75	Severo
	2	50	50	Medio
	3	75	25	Ligero
	4	100	0	Nulo

%PC = Porcentaje de pérdida de copa = daño

%RC = Porcentaje de retención de copa = vigor

Como puede observarse Blank *et al.* (1988), Bonneau and Landmann (1989) y Alvarado *et al.* (1993) consideran en su escala de evaluación cinco clases de retención de copa; a diferencia de Roberts (1987) y la SAGAR (1984) los cuales únicamente consideran cuatro clases. Destacando el hecho de que Bonneau and Landmann (1989) no especifican el tipo de daño que correspondería a las clases 1, 2 y 3, y Roberts (1987) por su parte, no menciona nada acerca del intervalo entre 40 y 75% de RC en su escala de evaluación.

Por otra parte, los tres estudios realizados en Europa coinciden con considerar que el %RC menor al 40% significa daño severo en el caso de Blank *et al.* (1988) y Roberts (1987) e irreversible en el caso de Bonneau and Landmann (1989). En México sin embargo, el daño se considera severo hasta que la copa ha perdido el 75% de sus hojas (25 %RC) para el caso de la SAGAR (1984) y más de 80 % (<20 %RC) en el caso de Alvarado *et al.* (1993). Así, mientras que en otras escalas el 40% de RC es considerado como daño severo e irreversible, para Alvarado *et al.* (1993) un árbol con 40 %RC apenas presenta un daño ligero.

Hace falta que se especifiquen con mayor claridad los intervalos de las escalas publicadas, ya que estas no se publican completas.

Por otra parte, no se reportan concentraciones de depósito iónico en los estudios publicados (Cuadro 1), lo cual es necesario para poder establecer la relación entre los porcentajes de retención de copa y la contaminación atmosférica. Cabe hacer mención que Alvarado *et al.* (1993) mencionan que la contaminación atmosférica de la ciudad de México es la responsable del deterioro de la salud del bosque de oyamel del Parque Nacional Desierto de los Leones, sin embargo no reporta concentraciones de depósito atmosférico.

Así, a pesar de que Bonneau and Landmann (1989) especifican el tipo de daño únicamente para las clases 4 y 5, su escala es prácticamente igual a la de Blank *et al.* (1988), por lo que se podrían extrapolar los tipos de daño de este último al primero. Las escalas mencionadas son prácticamente las mismas (Figura 8) que de la SAGAR (1984), por lo que podría utilizarse cualquiera de las tres para evaluar el %RC en *Abies religiosa*.

1.2. Frecuencia de los %RC en *Abies religiosa*.

Al comparar los %RC registrados en los bosques de *Abies religiosa* de los Parques Nacionales Izta-popo y El Chico (Figura 9, pag. 27), se encontró en el primero los %RC de 25 y 50% fueron los de mayor frecuencia con 28.5% y 34.8%, respectivamente; no así para el caso del 75 y 100% de RC cuya frecuencia (35.6% y 26.7%) fue mayor en El Chico. De tal forma que en ambas zonas la mayoría de los individuos muestreados conservan un %RC \geq 50.

Del total de árboles muestreados en cada bosque (950), en Izta-popo sólo se registraron 137 árboles sanos, es decir con el 100% de RC no así en El Chico donde la cantidad de árboles sanos fue prácticamente del doble (253), indicando que en general, El Chico es un bosque con mayor vigor que Izta-popo.

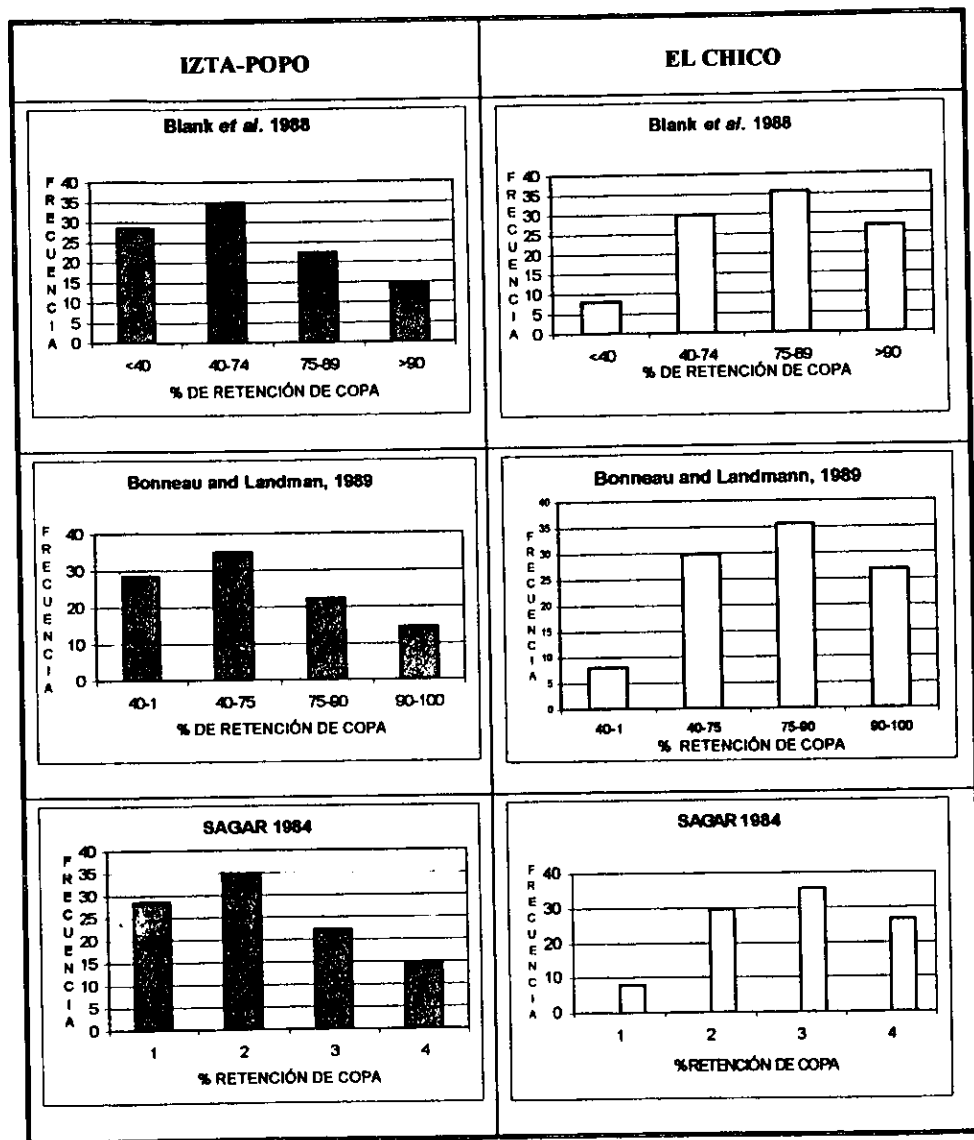


Figura 8. Comparación de las escalas de evaluación del %RC establecidas por Blank *et al.* (1988), Bonneau and Landmann (1989) y SAGAR (1984).

En El Chico (Figura 11) el %RC con mayor frecuencia (35.6 %) la registro el 75% RC, que de acuerdo a la SAGAR (1984) indica un daño ligero; no así para Blank *et al.* (1988) quienes consideran que con ese %RC se manifiesta la primera señal de alarma.

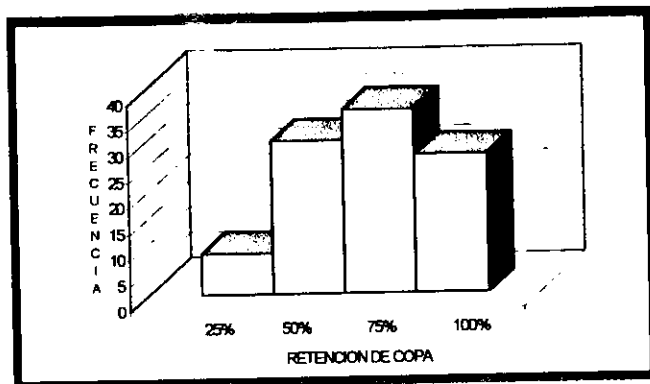


Figura 11. Frecuencia relativa de los %RC de *Abies religiosa* en el Parque Nacional El Chico.

De acuerdo con Dubrasich *et al.* (1997), los espacios en las copas de un rodal estructuralmente simple son de entre 69 y 85% y para un rodal estructuralmente complejo son de 86 a 91%, lo cual proporciona la base para discernir entre la arquitectura de las copas forestales y para evaluar los espacios de las mismas.

Xia *et al.* (1996) realizaron un estudio en *Picea abies* encontrando que los intersticios de la copa cubrieron 19% del total del área foliar a diferencia de los espacios inducidos por factores externos, los cuales cubrieron el 41% del área foliar.

En la figura 12 se muestran ejemplos de los %RC encontrados en los Parques Nacionales Izta-popo y El Chico, los cuales fueron evaluados con base en los criterios establecidos por la SAGAR (1984) presentados en el ANEXO I.

A manera de resumen: el %RC del Parque Nacional Izta-popo (50%) resulto ser menor a la de El Chico (75%); por lo que se considera que el bosque de *Abies religiosa* ubicado en Izta-popo es menos vigoroso que el de El Chico.

De acuerdo con la SAGAR (1984), Blank *et al.* (1988) y Bonneau and Landmann (1989) Izta-popo es un bosque con daño moderado y El Chico un bosque con daño ligero.

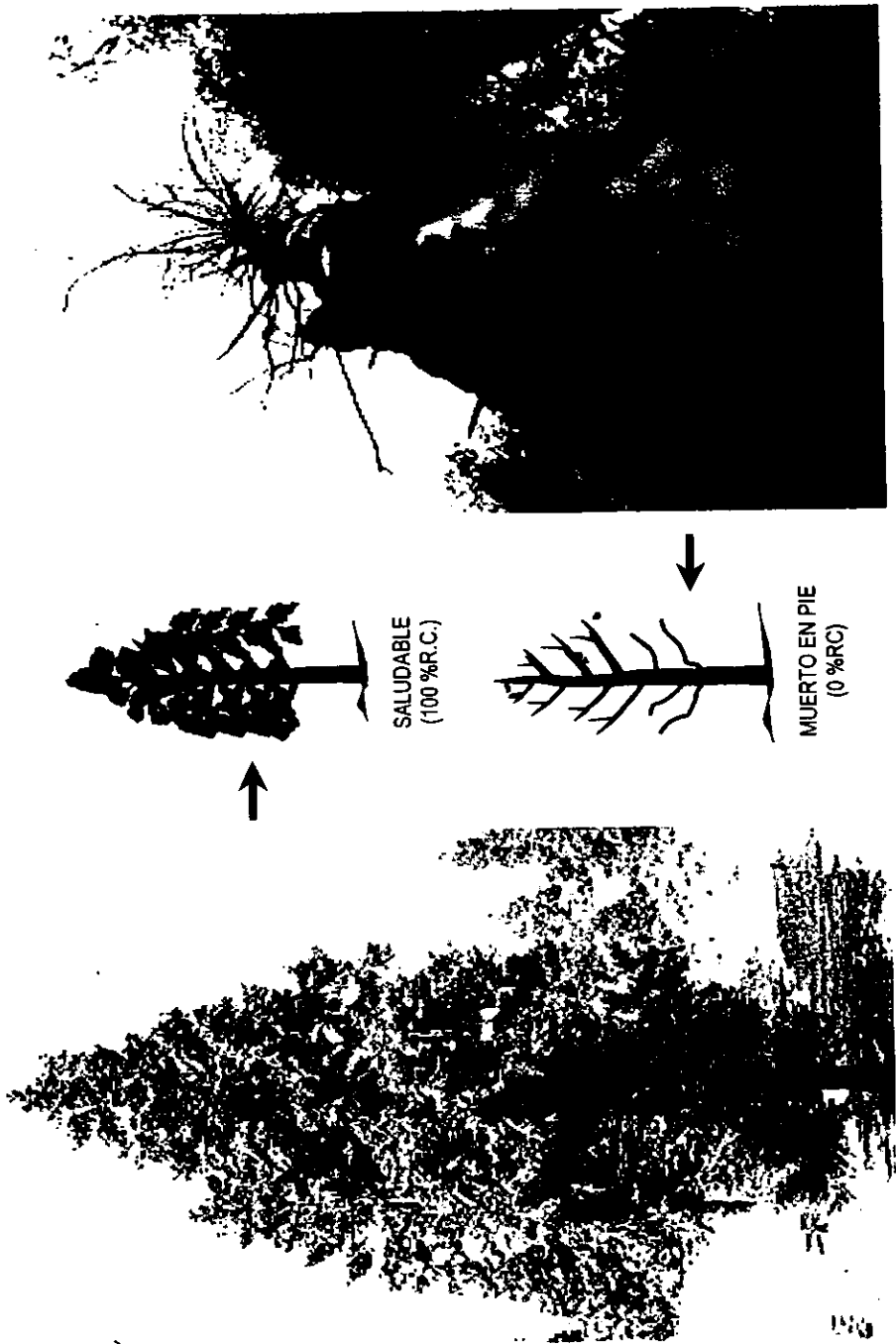
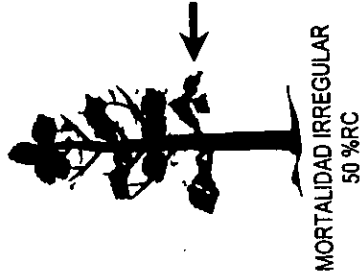
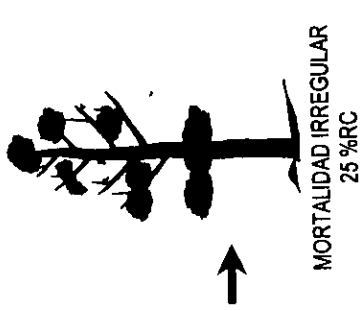
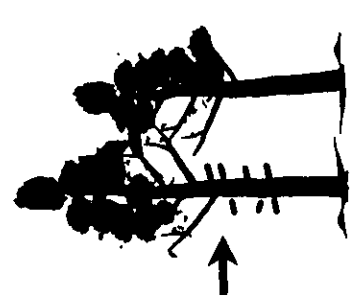


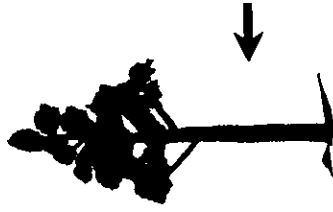
Figura 12. Porcentajes de Retención de Copa de Abies religiosa en los Parques Nacionales Ixta-popo y El Chico (SAGAR, 1984: ANEXO 1).



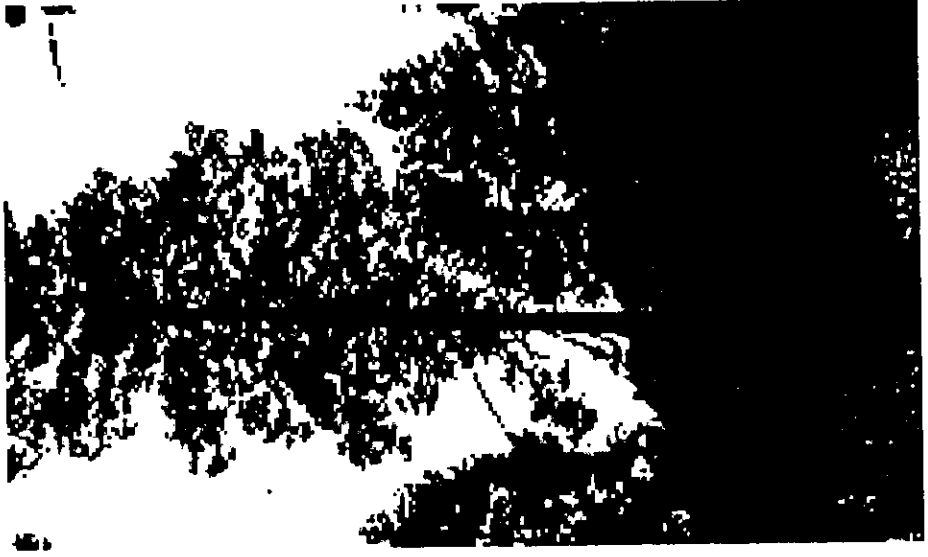
Continuación Figura 12. Porcentajes de Retención de Copa de Abies religiosa en los Parques Nacionales Ixta-popo y El Chico (SAGAR, 1984: ANEXO 1).



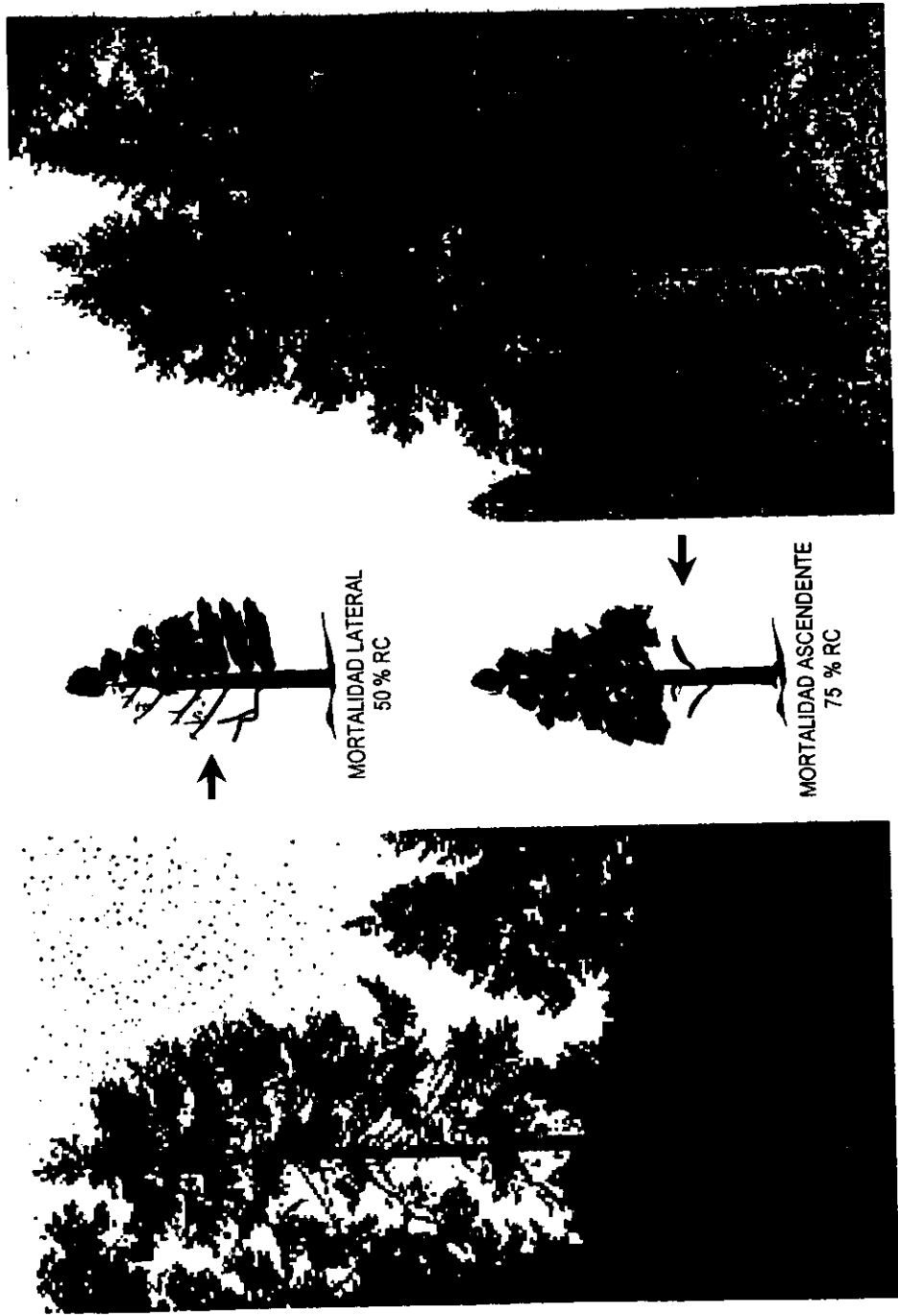
MORTALIDAD ASCENDENTE
25 % RC



MORTALIDAD ASCENDENTE
50 % RC



Continuación Figura 12. Porcentajes de Retención de Copa de Abies religiosa en los Parques Nacionales Iza-popo y El Chico (SAGAR, 1984: ANEXO 1).



Continuación Figura 12. Porcentajes de Retención de Copa de Abies religiosa en los Parques Nacionales Ixta-popo y El Chico (SAGAR, 1994: ANEXO 1).

1.3. Frecuencia de las clases diamétricas en Iza-popo y El Chico.

Con el fin de realizar el tratamiento estadístico de D.N. se establecieron las clases diamétricas presentadas en la cuadro 2, dichas clases fueron establecidas con base a las de Manzanilla en 1974. No obstante se realizaron modificaciones, ya que dicho autor no considera a los individuos cuyo diámetro es entre 0 y 10 cm diámetros encontrados en brinzales (altura mayor a 30 cm).

Cuadro 2. Clases diamétrica (cm) de *Abies religiosa*.

CLASE DIAMÉTRICA	DN (cm)
I	0-10
II	11-20
III	21-40
IV	41-60
V	61-80
VI	81-100
VII	101-200
VIII	> 200

De acuerdo con Spurr & Barnes (1982), el diámetro de crecimiento de los árboles en las zonas templadas esta típicamente caracterizado por un anillo anual simple; no obstante el incremento anual del diámetro no es constante ya que depende directamente del tamaño de la corona, la cantidad de reguladores de crecimiento y del material fotosintético producido por el follaje. A pesar de lo anterior el diámetro sí se puede tomar como un parámetro de la edad, tal y como se hizo en el presente estudio con base a lo establecido por Manzanilla en 1974 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Distribución de edades por año y estadio biológico en *Abies religiosa* (Manzanilla, 1974).

DISTRIBUCIÓN DE EDADES (AÑOS)	ESTADO BIOLOGICO
0 - 10	Brinzal
10 - 60	Juvenil
61 - 100	Adulto
101 - 140	Viejo
> 140	Cenil

Así, en la figura 13 se observa que la clase fuertemente dominante en el Parque Nacional Iza-popo es la I (0-10 cm) con aproximadamente 713 (75%) registros disminuyendo el número de árboles progresivamente a medida que el diámetro aumentan; la clase VII (101-

200 cm) presento un registro de aproximadamente 66 árboles y cero registros en la clase VIII (>200 cm); lo que indica que en el bosque de oyamel ubicado en Iztapopo, la mayoría de los individuos son árboles brinzales, muy pocos son adultos y particularmente este bosque no presenta individuos viejos.

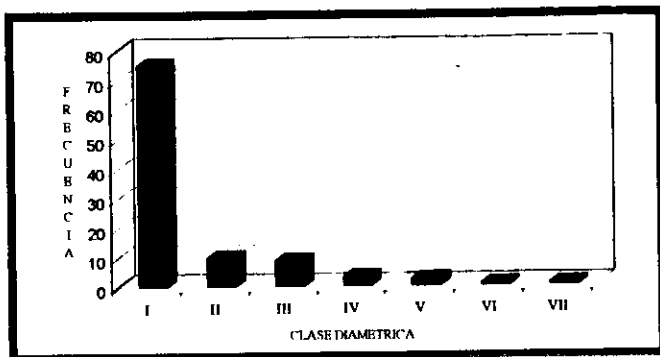


Figura 13. Frecuencia relativa de las clases diamétricas de *Abies religiosa* en el Parque Nacional Iztapopo.

En lo que respecta al Parque Nacional El Chico (Figura 14) los individuos pertenecientes a las clases diamétricas I (0-10 cm) y III (21-40 cm) fueron los más frecuentes con el 43.8% y 24.5%, respectivamente; seguidas de las clases II (11-20 cm: 8%) y la IV (41-60 cm: 10.3%). Esto muestra que a partir de la clase III las frecuencias disminuyen a medida que el diámetro aumenta, siendo los menos frecuentes los registrados en la clase VIII (>200 cm) con 0.2%; así, en el bosque de oyamel de El Chico, prácticamente la mitad de los árboles son juveniles (42.8 %) y aunque en menor cantidad también se encuentran árboles viejos (0.2%).

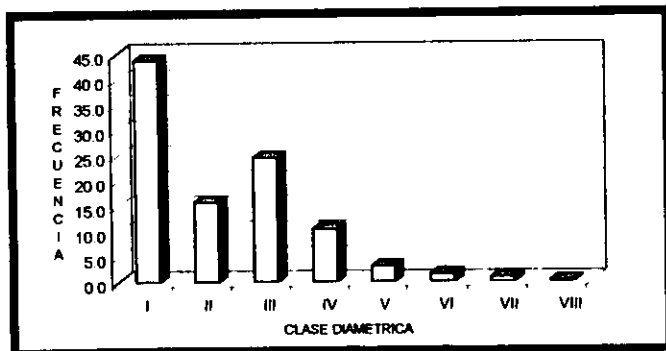


Figura 14. Frecuencia relativa de las clases diamétricas de *Abies religiosa* en el Parque Nacional El Chico.

Cabe destacar que en El Chico estuvieron presentes en mayor cantidad individuos de diferentes diámetros o clases diamétricas, es decir la muestra del estudio fue más heterogénea.

Además, mientras en la zona de referencia hubo registro de individuos muy viejos en Izta-popo no estuvieron presentes. De esta manera, El Chico conserva un mayor número de individuos adultos e incluso viejos por lo que el grado de regeneración no es tan alto como en Izta-popo donde los árboles mayores a 10 cm de diámetro son poco frecuentes (24.9%).

En resumen, los individuos pertenecientes a la clase diamétrica I (0-10) fueron los de mayor frecuencia 75.1% y 43.8% en Izta-popo y El Chico, respectivamente. Estos individuos son considerados por Manzanilla (1974) como plantas de semillero, cuyo establecimiento depende de que se encuentren las condiciones favorables durante la etapa crítica. Así según, Spurr & Barnes (1982), los oyameles son individuos con tolerancia a la sombra y de crecimiento lento, cuya sobrevivencia depende de que se den condiciones favorables entre el primer y tercer año posterior a la germinación (etapa crítica).

1.4. Dispersión del %RC y del D.N. en los bosques de *Abies religiosa*.

Como puede observarse en la figura 15, la media (μ) del % RC en Izta-popo se distribuye alrededor del 50% y en El Chico alrededor del 75%. Cabe destacar que en la zona de estudio, existen tanto valores máximos como mínimos, siendo mayores los primeros a diferencia de la zona de referencia donde hay un mayor número de valores mínimos; así, en Izta-popo la media se distribuye entre el 25 y 75% de RC y en El Chico entre el 50 y el 100%.

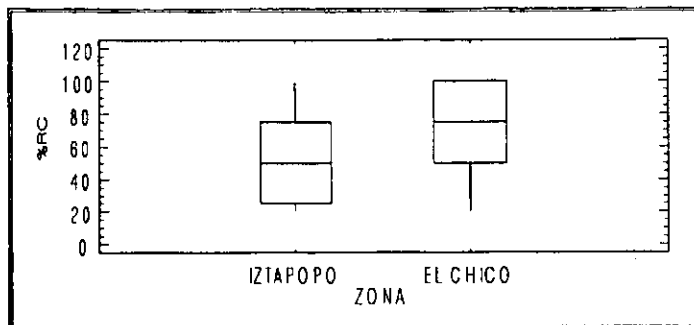


Figura 15. Dispersión de medias del %RC de *Abies religiosa* en Izta-popo y El Chico.

Las medias (μ) del D.N. respecto a las zonas de muestreo (Figura 16) oscilan alrededor de los 40 cm, sin embargo, en Izta-popo se registraron cúmulos de valores extremos cerca de los 80 cm y en El Chico valores extremos de hasta 280 cm. En el Parque Nacional Izta-popo la distribución de los registros en torno a la media es prácticamente uniforme a diferencia de El Chico en donde se definió una distribución con sesgo negativo en torno a la desviación estándar (2σ), no obstante existen valores extremos del D.N. en ambos bosques.

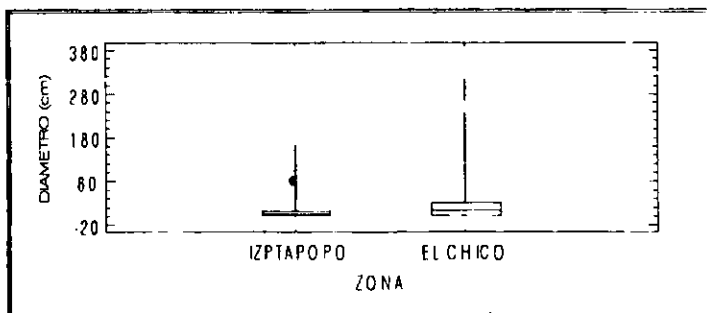


Figura 16. Dispersión de medias del D.N. de *Abies religiosa* en Izta-popo y El Chico.

1.5. Dispersión del diámetro con relación al %RC en Izta-popo y El Chico.

Al comparar la distribución de los diámetros arbóreos con respecto a los niveles de daño en copa entre las zonas de muestreo (Figura 17), se determinó que:

- El rango de distribución de los porcentajes de Retención de Copa en el Parque Nacional Izta-popo oscila entre 0 y 20 centímetros de diámetro.
- En Izta-popo no se define una distribución normal en los porcentajes de retención de copa del 25 y 100% cuyos diámetros oscilan entre 0 y 20 cm.
- La distribución del diámetro en los porcentajes de Retención de Copa de el 50 y 75% presentan sesgo de la media hacia los valores mínimos.
- Los porcentajes de retención de copa de 25, 50 y 75 % en El Chico (0-40 cm) presentan un rango de distribución mayor en cuanto al diámetro que Izta-popo (0 - 20 cm).
- El 100 % de Retención de Copa en ambas zonas se distribuye entre 0 y 20 cm de diámetro; indicando que tanto en Izta-popo como en El Chico, los individuos que conservan el 100% de su copa son aproximadamente del mismo diámetro (edad) en ambas zonas.

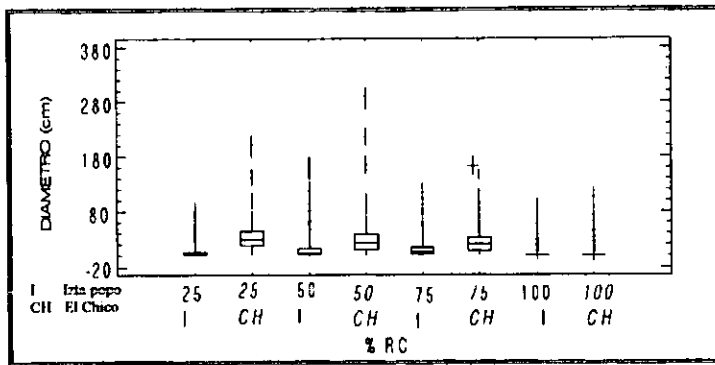


Figura 17. Dispersión de medias del D.N. con relación a los %RC en los bosques de *Abies religiosa*.

Al analizar la dispersión de los valores promedio del diámetro contra los porcentajes de Retención de Copa en cada uno de los parques estudiados, se registró que en Izta-popo (Figura 18a) tales valores tienen un rango de distribución entre 0-20 cm. Los porcentajes de retención de copa del 25, 50 y 75 presentan sesgo de la media hacia los valores mínimos; no así para el 100% de RC, ya que en este último no se puede ver claramente la distribución. El nivel de daño tres correspondiente al 75 %RC fue el que presentó una distribución mayor en Izta-popo.

En El Chico (Figura 18b) por su parte, la dispersión promedio del diámetro es entre 0 y 40 cm. Las medias de los porcentajes de Retención de Copa del 50 y 75% presentan una distribución homogénea; no así el 25% de RC cuya media presenta sesgo hacia los valores mínimos. Por su parte, el 100% de RC presenta una distribución acumulada.

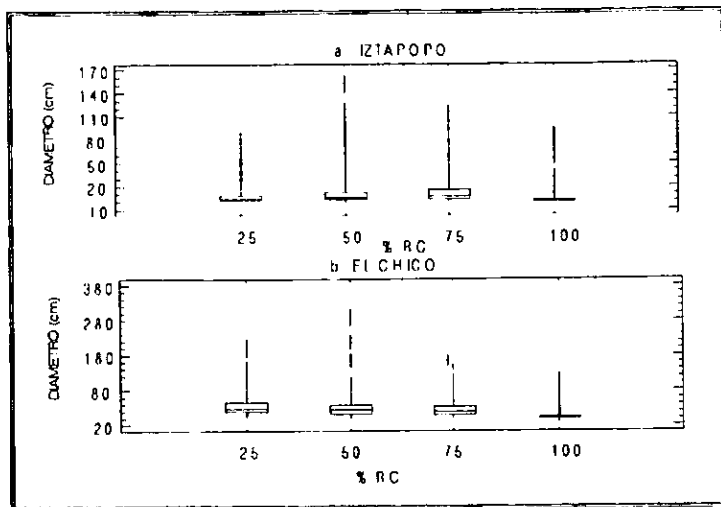


Figura 18. Dispersión de medias del D.N. respecto a los %RC en copa en a. Izta-popo y en b. El Chico.

En resumen, se encontró que los %RC de Izta-popo (0 – 20 cm) se distribuyen en un rango de diámetro inferior al de El Chico (0 - 40 cm) y que en ambas zonas los diámetros de los individuos que presentaron el 100 %RC se distribuyen de manera acumulada en torno a la media.

1.6. Análisis de las diferencias significativas del %RC y el D.N. entre Izta-popo y El Chico.

Los registros del porcentaje de Retención de Copa (Figura 19) sí presentan diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%; siendo menor el valor promedio en Izta-popo (56% de RC) y mayor en El Chico (70 %RC). El menor registro promedio en Izta-popo permite asegurar que la Retención de Copa se encuentra en menor magnitud que la de El Chico, en consecuencia, este último sería un bosque más "saludable".

Así, el menor diámetro (11 cm) y el menor %RC (56%) fue para la zona de Izta-popo; ubicando así a esta zona la clase diamétrica II y al El Chico (Figura 20) en la III con 21 cm de diámetro.

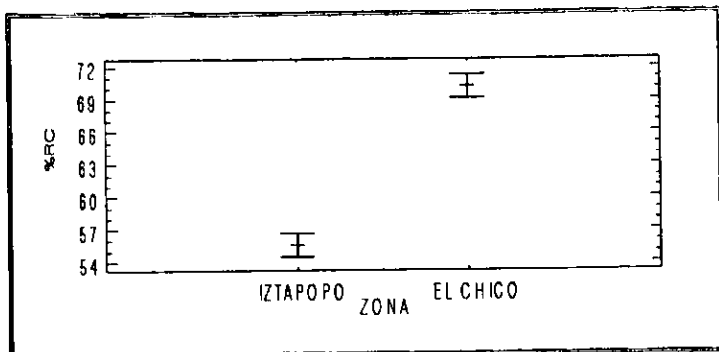


Figura 19. Diferencia de medias (95%) del %RC de *Abies religiosa* en Izta-popo y El Chico.

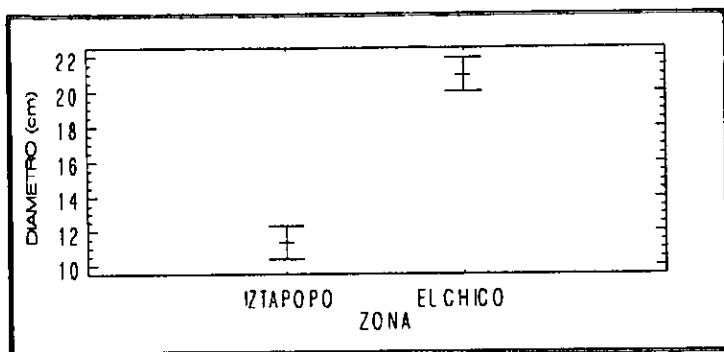


Figura 20. Diferencia de medias (95%) del D.N. de *Abies religiosa* en Izta-popo y El Chico.

Si se registraron diferencias estadísticas significativas entre los porcentajes de Retención de Copa del 25, 50 y 75 de Izta-popo y El Chico (Figura 21) a excepción del 100%. El intervalo de la diferencia fue mayor entre los 25 % de RC con 26cm, seguidos de los 50 %RC con 15 cm y los 75 %RC con 10 cm de diferencia, es decir disminuye la diferencia a medida que aumenta la retención de copa, por lo que no se registraron diferencias entre los 100%, comprobando así que los individuos con 100% de RC son del mismo diámetro en ambos bosques.

Destaca el hecho de que en los valores promedio del diámetro registrados en El Chico fueron mayores en Izta-popo. Así, el valor medio más elevado de Izta-popo fue de 15 cm con el 75% RC y en El Chico de 36 cm correspondiente al el 25% de RC. Los registros más pequeños de diámetro fueron de 6 cm (100%) y 4 cm (100%) para Izta-popo y El Chico, respectivamente. Así, destaca el hecho de que en ambos bosques los individuos que presentaron el 100% de RC son los de menor diámetro, coincidiendo así con la distribución por edad, de ahí que los brinzales conservaron mayor porcentaje de sus copas.

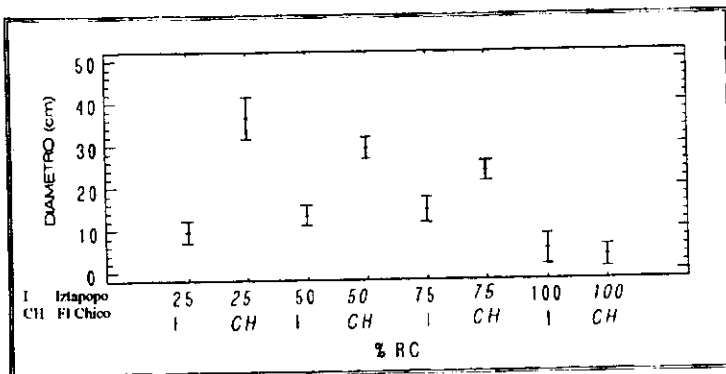


Figura 21. Comparación de las diferencias de medias (95%) del D.N. de *Abies religiosa* con relación al %RC entre Izta-popo (I) y en El Chico (CH).

El diámetro respecto a los porcentajes de retención de copa en Izta-popo (Figura 22a) si registró diferencias significativas (95%) entre el 25% con el 50%, 75% y 100%; también se encontraron diferencias de el 50 % con el 100% y de el 75% con el 100%. La mayor diferencia fue encontrada entre el 75% y el 100% de retención de copa con un diámetro de 14 y 6 cm de diámetro. Destaca el hecho de que, con un nivel de confianza del 95%, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el 50% y el 75%, por lo que se recomienda que se aplique una prueba de hipótesis a fin de determinar si hay o no diferencias entre ambos niveles de daño.

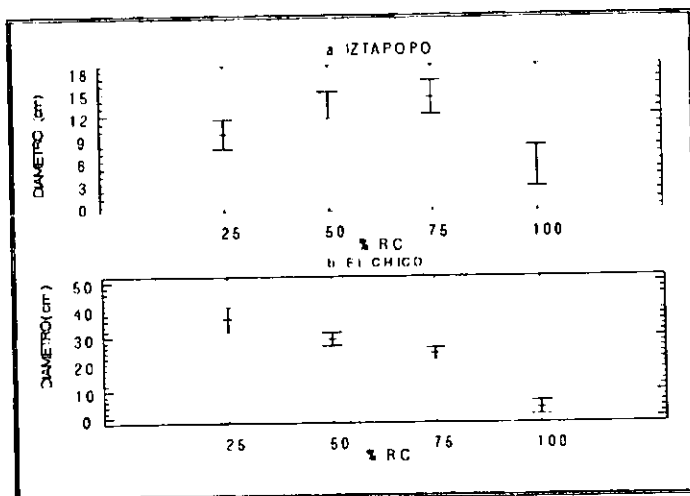


Figura 22. Diferencia de medias (95%) del D.N. de *Abies religiosa* con relación al % RC en a. Izta-popo y b. El Chico.

En El Chico (Figura 22b), sí se registraron diferencias estadísticas significativas entre los cuatro niveles de %RC. Se obtuvieron medias de 36, 30, 24 y 4 cm, para los niveles 1,2,3 y 4 de daño en copa, respectivamente. Esto indica que en El Chico, los árboles que presentaron un diámetro mayor (mayor edad) registraron una retención de copa menor, es decir fueron los menos vigorosos.

A manera de resumen, los resultados obtenidos del análisis de los porcentajes de retención de copa contra el diámetro confirmaron que el diámetro de un árbol es determinante en su capacidad para retener las hojas y por tanto la arquitectura original de la copa tanto en la comunidad de oyamel del Parque Nacional Izta-popo como en la de El Chico.

IX.2. DEPÓSITO ÁCIDO EN LOS BOSQUES DE *Abies religiosa*.

2.1. Distribución del depósito atmosférico de los iones SO_4^{2-} , Cl^- Y NO_3^- .

En la distribución de los registros del ion sulfato por zona (Figura 23) se determinó que en Izta-popo la media se distribuye normalmente ($50-10=40$) en un rango inferior al de El Chico ($150-10=140$). En El Chico, por su parte, la media (μ) presentó una distribución con sesgo hacia los valores mínimos en torno a la desviación estándar (2σ); el rango ($10-290$) de dispersión fue de 280 ppm de sulfatos. De esta manera, la distribución del depósito de sulfatos en Izta-popo resultó ser más homogéneo y acumulado en torno a la media. En Izta-popo se presentó un cúmulo de valores aberrantes (sobresalen de la desviación estándar) de 130 ppm cuyos valores aberrantes indican que en cierto momento se dió un depósito de sulfatos mucho mayor al valor promedio de depósito, quizás debido a una emisión volcánica.

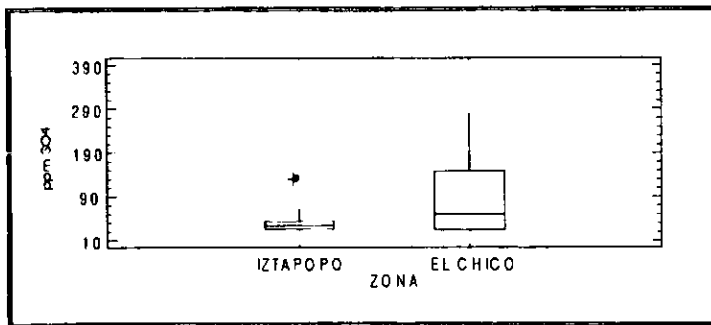


Figura 23. Dispersión de medias del depósito de sulfatos en las zonas de muestreo.

En cuanto al depósito de cloruros por zona (Figura 24), se presentó el mismo rango de amplitud tanto en Izta-popo ($200-60=140$) como en El Chico ($180-40=140$), indicando que el depósito de cloruros se da prácticamente con la misma intensidad en ambos bosques. Sin embargo, destacan los registros aberrantes de hasta 400 ppm que se presentan en Izta-popo y

la distribución normal que se presenta en ambas zonas, indicando que en los dos bosques el depósito de cloruros es homogéneo en torno al valor promedio.

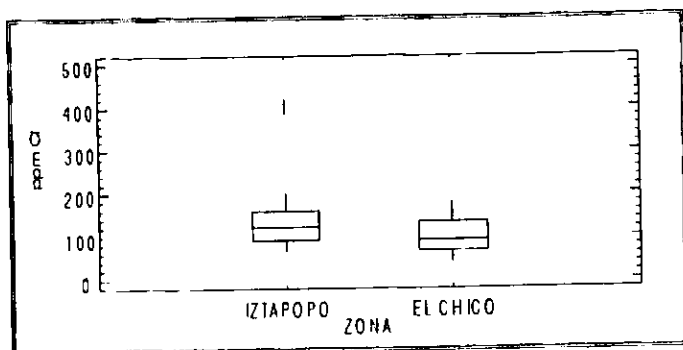


Figura 24. Dispersión de medias del depósito de cloruros en las zonas de muestreo.

En lo que al depósito de nitratos (Figura 25) se refiere, el valor promedio registrado en Iztaopo se distribuye en un rango de amplitud menor (110-10= 100) que en El Chico (330-30=300), este último presentó un valor aberrante de aproximadamente 400 ppm. No obstante, en ambas zonas la media se distribuye de manera normal, por lo que la distribución es prácticamente uniforme. Así, en Iztaopo el depósito de nitratos es prácticamente constante en torno al valor promedio, a diferencia de El Chico en donde los registros presentan un rango de distribución más amplio, con valores por encima de la desviación estándar.

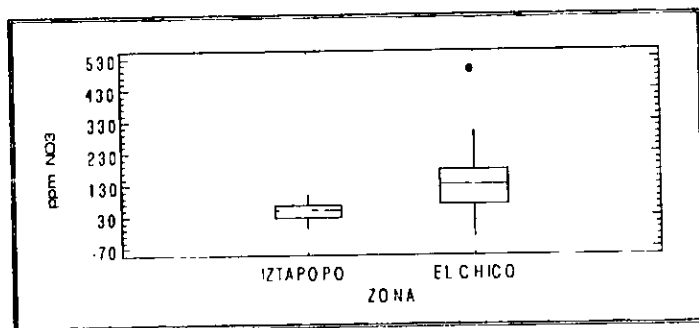


Figura 25. Dispersión de medias de el depósito de nitratos en las zonas de muestreo.

De acuerdo con Hauhs & Wright (1986 en Calva, 1999), en el agua de lluvia existían de 4 a 70 ppm de sulfatos y de 0-41 ppm de nitratos, condiciones bajo las cuales destaca la clorosis y mancho café claro en las hojas de los árboles de los bosques de Suecia, Checoslovaquia, Alemania, Austria y Escandinava. Los resultados obtenidos en el presente estudio tanto en Iztaopo (30 ppm de SO_4^{2-} y 50 ppm de NO_3^-) como en El Chico (90 ppm de SO_4^{2-} y 140

ppm de NO_3^-) indican que el depósito atmosférico de estos iones es superior a los reportados en esos países por lo que es claro que tal depósito afecta directamente la capacidad de los individuos de *Abies religiosa* para retener las agujas de sus copas.

2.2. Diferencias en el depósito de los iones SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- entre Izta-popo y El Chico.

Los resultados del análisis de varianza demostraron, que las medias del depósito de sulfatos en el bosque de *Abies religiosa* de el Parque Nacional Izta-popo (30 ppm) y El Chico (90 ppm) si presentaron diferencias estadísticas significativas (Figura 26); por lo que se puede asegurar, con un nivel de confianza del 95% que el depósito de sulfatos no se da en la misma intensidad en ambos bosques, siendo mayor el depósito en El Chico y no como se esperaba en Izta-popo.

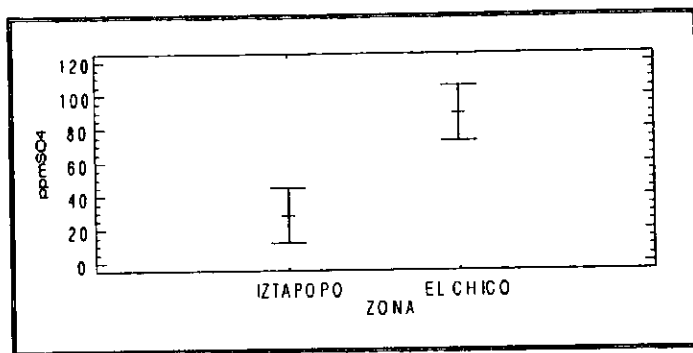


Figura 26. Diferencia de medias (95%) del depósito de sulfatos en hojas de *Abies religiosa* entre Izta-popo y El Chico.

Respecto al depósito de cloruros por zona (Figura 27), si se determinaron diferencias estadísticas significativas entre Izta-popo (140 ppm) y El Chico (100 ppm); es decir, en la zona de estudio se presentó un mayor depósito de cloruros que en la zona de referencia (contrariamente a lo que sucede en el depósito de sulfatos), cabe mencionar que el intervalo de confianza para el depósito de sulfatos en Izta-popo es de 25 ppm, siendo inferior al de El Chico (30 ppm).

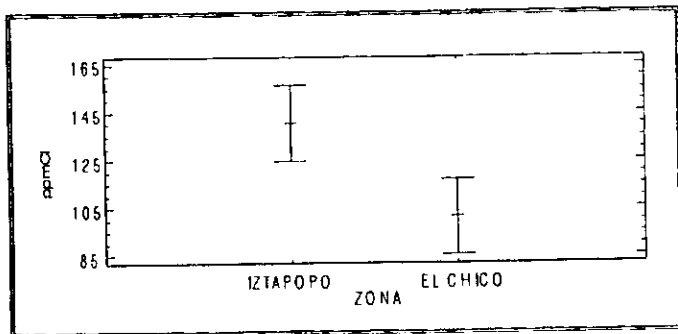


Figura 27. Diferencia de medias (95%) del depósito de cloruros en hojas de *Abies religiosa* entre Izta-popo y El Chico.

Si se registraron diferencias estadísticas significativas en el depósito de nitratos entre las zonas de muestreo (Figura 28), resultando ser menor el valor promedio para la zona de estudio (50 ppm) que para la zona de referencia (140 ppm), lo cual indica que hay un mayor depósito de nitratos en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo.

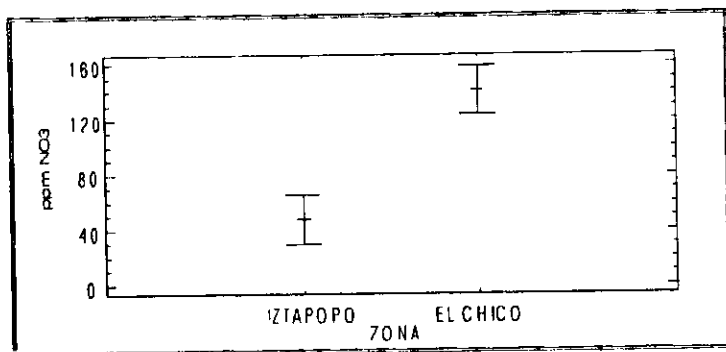


Figura 28. Diferencia de medias (95%) del depósito de nitratos en hojas de *Abies religiosa* entre Izta-popo y El Chico.

Con base en las concentraciones encontradas en los dos bosque de *Abies religiosa* se determino que:

- El depósito de Cl^- fue 1.4 mayor en Izta-popo que en El Chico.
- El depósito de SO_4^{2-} fue 3 veces menor en Izta-popo que en El Chico.
- El depósito de NO_3^- fue 2.8 veces menor en Izta-popo que en El Chico.

Al comparar los datos anteriores con los de la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica del Valle de México (CMPCCAAM, 1998), el registro del "depósito total" (seco + húmedo) en la Zona Metropolitana del Valle de México para los iones SO_4^{2-} y NO_3^- , cuantificados mediante las mismas técnicas del presente, fueron de 6.81 ppm y 4.26 ppm, respectivamente, se encontró que:

- No se reportan concentraciones de Cl⁻
- El depósito de SO_4^{2-} en el Parque Nacional **Izta-popo** fue 4.4 veces superior al de la CMPCCAAM.
- El depósito de NO_3^- en el Parque Nacional **Izta-popo** fue 11.7 veces superior al de la CMPCCAAM.
- El depósito de SO_4^{2-} en el Parque Nacional **El Chico** fue 13.21 veces superior al de la CMPCCAAM.
- El depósito de NO_3^- en el Parque Nacional **El Chico** fue 32.86 veces superior al de la CMPCCAAM.

En otras palabras, los registros obtenidos mediante el presente estudio, confirman que gran parte de los contaminantes emitidos a la atmósfera se aereotransportan y se depositan en los bosques que rodean a la Zona Metropolitana sobrepasando los niveles que se registran en la misma zona urbana.

Al relacionar los niveles de depósito iónico con los %RC se encontró que Izta-popo registro menor %RC (50) y mayor depósito de Cl⁻ que El Chico, este último a su vez registro mayor %RC (75) y mayor depósito de SO_4^{2-} y NO_3^- .

A diferencia de los resultados obtenidos en el presente estudio y lo obtenido por Calva (1999) en corteza de *Abies religiosa*, si se registraron diferencias estadísticas significativas en el depósito iónico entre los Parques Nacionales Izta-popo y El Chico. Así, las hojas son un indicador más sensible para la evaluación de la depositación atmosférica que la corteza, debido a que durante la temporada de lluvia el depósito es lavado de las hojas (Throughfall) y a que la corteza del tronco acumula mayor depósito por lo que no se percibieron diferencias entre dichas zonas.

X. CONCLUSIONES

- ▶ La escala establecida por la SAGAR (1984), Blank *et al.* (1988) y Bonneau and Landmann (1989), pueden ser utilizadas indistintamente para evaluar el %RC y la salud de los bosques de oyamel.
- ▶ Con base en la escala de la SAGAR (1989) el bosque de *Abies religiosa* del Izta-popo se considera con daño moderado y El Chico con daño ligero.
- ▶ El bosque de *Abies religiosa* del Izta-popo resultó ser menos vigoroso que el de El Chico.
- ▶ La edad predominante del estudio fue la de brinzal tanto en Izta-popo (75.1%) como en El Chico (43.8%).
- ▶ Los individuos de mayor edad fueron los de menor Porcentaje de Retención de Copa en ambas zonas.
- ▶ La categoría de 100 %RC (sano) se presentó en brinzales y juveniles.
- ▶ El depósito atmosférico (sulfatos y nitratos) fue mayor en El Chico.
- ▶ El Parque Nacional Iztapopo registró el mayor depósito de cloruros.
- ▶ El depósito atmosférico de los iones sulfato y nitrato es superior a lo reportado en Suecia, Checoslovaquia, Alemania, Austria y Escandinava. Por ello se prueba que su depositación afecta la salud de los bosques de oyamel.
- ▶ El depósito atmosférico de los iones sulfatos y nitratos en los bosques de *Abies religiosa* es superior al de la Zona Metropolitana.
- ▶ Las hojas de oyamel de mayor sensibilidad para cuantificar el depósito de los iones sulfatos, cloruros y nitratos, que la corteza.
- ▶ En Izta-popo se registró menor %RC (50) y mayor depósito de Cl⁻ y El Chico, a su vez registró mayor %RC (75) y mayor depósito de SO₄²⁻ y NO₃⁻, por lo que la hipótesis planteada no se cumple totalmente. Por ello, se plantean las siguientes recomendaciones.

XI RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio dendroecológico en *Abies religiosa* que permita determinar la edad en relación a sus condiciones de vida.
- Incluir en la evaluación del depósito: [pH, C.E. NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}] a fin de determinar específicamente su papel en la salud del bosque de *Abies religiosa*.
- Comparar la concentración en el depósito de los iones sulfatos, cloruros y nitratos, el % de Retención de Copa y el diámetro normal, por exposición.
- Aplicar una MANOVA:
 - a) para probar la relación de cada nivel de retención de copa con el total del depósito.
 - b) Relación del depósito de cationes con el diámetro y la edad.
- Comprobar mediante un diseño experimental (parcelas en el centro del bosque natural) el efecto del depósito iónico en la copa de *Abies religiosa* de manera periódica.
- Aplicación de modelos matemáticos de la estructura de la copa de *Abies religiosa* para poder determinar la tasa de depositación ácida en los bosques de dicha especie en la Cuenca de México.

XII. LITERATURA CITADA

- **Alvarado, R.D.; L.I. de Bauer and A.J. Galindo.** 1993. Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico city. *Environmental Pollution* 80:115-121.
- **AWWA, APHA.** 1989. *Standard Methods for Waste and Wastewater*. 18th. New York. USA.
- **Blank K. W.; T. M. Roberts and R. A. Skeffington.** 1988. New perspectives on forest decline. *NATURE*. 336 (3): 27-31.
- **Bonneau, M. y G. Landmann.** 1989. El deterioro de los bosques europeos *Mundo Científico*. 88(9):190-205.
- **Bormann F. H.** 1982. The effects of air pollution on the New England land scape. *Ambios*. 11(4):338-346.
- **Bredemeier, M.**1988. Forest canopy transformation of atmospheric deposition. *Water, Air and Soil Pollution* 40:121-138.
- **Cade-B-S.** 1997. Comparison of tree basal area and canopy cover in habitat models: subalpine forest. *Journal of Wildlife Management*. 61(2):326-335.
- **Calva, V. G.** 1999. Monitoreo de la depositación ácida con corteza de tres pináceas en cinco zonas boscosas de la cuenca de México. Tesis de Maestría (Colegio de Postgraduados de Montecillos-Instituto de Recursos Naturales). Montecillos, Edo. México.
- **Caselli, M.** 1992. *La contaminación atmosférica. Siglo Veintiuno*. México. 192 pp.
- **Chacalo A. and S. Tapia.** 1992. Beneficios de los árboles en las ciudades. *Información Científica y Tecnológica*. CONACYT. 14(186):18-23.
- **Chadwick D. and B. Larcen.** 1990. *Forest Stand Dynamics* . McGraw-Hill. Inc. USA. 8-55.
- **CMPPCAVM** (Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México). Red Automática de Monitoreo Atmosférico). 1994. "La contaminación en el Valle de México". *Acciones para su control 1988-1994*. México. 91 pp.
- **CMPPCAVM** (Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México). Informe Anual. 1998. *Precipitaciones ácidas en la ZMCM*. Gobierno del Distrito Federal. Secretaria del Medio Ambiente. 68 pp

- **Crane A. J. and A. T. Crocks.** 1987. The transport, transformation and deposition of airborne emissions from power Station Research. 20:13-20.
- **Cunningham W. and B. W. Saigo.** 1999. Environmental Science a Global Concern. 15ª. WCB McGraw-Hill. USA. 650 pp.
- **Dawson-Saunders B. and R.G. Trapp.** 1997. Bioestadística médica. El Manual Moderno. México. 402 pp.
- **D'ietri F.** 1982. Acid precipitation Effects on Ecological Systems. ANN ARBOR SCIENCE. The Bifferwoth Group England. 404 pp.
- **Dixon R. K.; R. Meldahl; G. Rawork and W. Worren.** 1990. Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress. Ed. Timber Press. Oregon, USA. 441 pp.
- **Dubrasich-M-E.; Hann-D-W and Tappeiner-J-C-H.** 1997. Methods for evaluating crown area profiles of forest stands. Canadian Journal of Forest Research 27(3):385-392.
- **Erisman J.W.; C.Beier; G. Draaijers and S. Lindberg.** 1994. Review of deposition monitoring methods. Tellus. 46:79-93.
- **Ezcurra E.** 1998. De las Chinampas a la Megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México.2ª. Fondo de Cultura Económico, SEP, Conacyt. México, D.F. 119 pp.
- **Fenn M. E.; L.L. de Bauer; A. Quevedo-Notasco and C. Rodríguez-Frausto.** 1999. Nitrogen and Sulfur Deposition and Forest Nutrient Status in the Valley of Mexico. *Water, Air and Soil Pollution.* 113:155-174.
- **Ferrel G. y P. Miller.** 1984. Observaciones de la mortalidad de *Abies religiosa* en el Parque recreativo y cultural desierto de los leones. Forest Service. USDA. Pacific South West Station. Barjet & Riverside, California.USA. Reporte preliminar.
- **Freedman B.** 1989. ENVIRONMENTAL ECOLOGY. The impacts of pollution and other stresses on ecosystems structure and function. Academic Press, Toronto, Canada. 424 pp.
- **Gilmore-D. y R-S-Seymour.** 1997. Crown architecture of *Abies balsamea* from four canopy positions. *Tree Physiology.* 17(2):71-80.
- **Gilmore-D.W.; R-S-Seymour and D-A-Maguife.** 1996. Foliage Sapwood area relationships for *Abies balsamea* in central Maine, USA. Canadian Journal of Forest Research. 26(12).
- **Gonzalez-Hidalgo J. C.; J-Reventos and M-T-Echeverria.** 1997. Comparison of sediment ratio curves for plants with different architectures. CATENA 29(3-4):333-340.

- **Gorham E.** 1989. Scientific Understanding of Ecosystem Acidification: A Historical Review. *AMBIO*. 18(3). 150-154.
- **Halfiter y E. Ezcurra.** 1983. Diseño de una Política ecológica para el Valle de México. *Ciencia y Desarrollo*. 53:89-96.
- **Harold W. and Jr. Hocker.** 1984. Introducción a la Biología Forestal AGT EDITOR, S.A. México. 446 pp.
- **Hinrichsen D.** 1986. Multiple Pollutants and Forest Decline. *AMBIO*. Vol. 15. No. 2-3. 258-265.
- **Hutchinson T.C. and M. Havas.** 1986. Effects of precipitation on terrestrial ecosystems Ed. Published NATO & Plenum Corporation. Canadá. 654 pp.
- **IFPEM (Inventario Forestal Periódico del Estado de México).** 1994. Subsecretaria Forestal y de Fauna Silvestre. SARH. Plan de desarrollo 1989-1994.
- **Kozłowski T.T; Kramer P.J. and Pallardy S. G.** 1991. The Physiological Ecology of Woody Plants. Academic Press. USA. 657 pp.
- **Kozłowski T. T. and H. A. Constantinidou.** 1986. Environmental Pollution and Tree Growth. *Forestry Abstracts*. 47(2):105-132.
- **Labau V.** 1993. Regional Monitoring with plot networks. *Environmental Monitoring and Assessment* 26:283-294.
- **Lange, O. L; U. Huber, D. Schulze and H. Zeigler.** 1989. Atmospheric Pollutants and Plant Metabolism *Ecological Studies*. 77:238-273.
- **Leal M.; V. Chavez y L. Larralde.** 1996. Temas Ambientales Zona Metropolitana de la Ciudad de México. 126 pp.
- **Lindberg S. E. and G. M. Lovett.** 1985. Field Measurements of Particle Dry Deposition Rates to Foliage and Inert Surfaces in Forest Canopy. *Environmental Science Technology*. 19(3):238-244.
- **Manahan V.A.** 1998. Fundamentals of environmental of environmental chemistry. Lewis
- **Manzanilla H.** 1974. Investigaciones Epidométricas y Silvícola en bosque mexicanos de *Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAGAR. México. 165 pp.
- **Marek-M-V.; Markova-T; Kalina-J and Janous-D.** 1997. Effect of thinning of parameters of photosynthetic characteristics of Norway spruce canopy: I. Light penetration and photosynthesis. *Lesnictvi (Prague)*. 43(4):141-153.






- **Mohnen V. A.** 1988. El desafío de la lluvia ácida *Investigación y Ciencia*. 145:8-18.
- **Nelleman, C. and T. Frogner.** 1994. Spatial patterns of spruce defoliation relation to acid deposition, critical loads, and natural growth conditions in Norway. *AMBIO*. 23(4-5):255-259.
- **Neugebauer B.** 1985. Proyección de los fenómenos de la contaminación ambiental en el caso de la República Federal Alemana. 1-19.
- **Niinemets-U.** 1997. Distribution patterns of foliar carbon and nitrogen as affected by tree dimensions and relative light conditions in the canopy of *Picea abies*. *Tree*. 11(13):144-154.
- **Ocampo M. Z.** 1986. Inversión térmica y contaminación. *Información Científica y Tecnológica*. 8(115): 19-22.
- **Padilla, G.H.P.** 1985. "Determinación del pH de la precipitación pluvial en el Valle de México y Zonas Circundantes. Principales Mecanismos de formación de la lluvia ácida". Tesis de Licenciatura en Química Facultad de Química. UNAM.
- **Pérez S. M.; Calva V. G. y Chávez A. G.** 1999. "Cuantificación del Depósito en hojas de cuatro especies arbóreas en el Parque Nacional de Zoquiapan, Edo. de México" IV Congreso Nacional de Ciencias Ambientales.
- **Potter C. and Rasgdalf H.** 1991. Dry Deposition Washoff From Forest Tree Leaves By Experimental Acid Rainfall. *Atmospheric Environmental*. 25:141-149.
- **Price A. G.; K Dunham; T. Carleton and L. Band.** 1997. Variability of water fluxes through the black spruce (*Picea mariana*) canopy and feather moss (*Pleurozium schreberi*) carpet in the boreal forest of Northern Manitoba. *Journal of Hydrology*. 196(1-4):310-323.
- **Ray B.** 1995. *Environmental Engineering*. PI US Publishing Company. USA. 496 pp.
- **Roberts, T. M.** 1987. Effects of air pollutants on agriculture and forestry. *Research. CEGB*. 20:39-52.
- **Rodhe H. and R. Herrera.** 1988. Acidification in Tropical Countries. Ed. SCOPE, ICSU. -UNEP and John Wiley & Sons. Grain Britain . 405 pp.
- **Saavedra-Romero, L. L.** 1996. Análisis Espacio-Temporal de la depositación ácida, utilizando como biomonitor de exposición la corteza arbórea de especies perennes del Parque Nacional Desierto de los Leones. Tesis de Licenciatura en Biología. UNAM. FES-Z, UNAM.
- **Salas, R.; M. Cuesta, C. Gómez y A. García.** 1992. La ciudad de México. Ediciones la Viga. México. 113 pp.

- **Sanchez-Reyna, M.G.** 1996. Estudio de la depositación ácida en la Ciudad de México. mediante bioindicadores (corteza arbórea) Tesis de Licenciatura en Biología, FES-Z, UNAM.
- **Schulz H.; M. Weidner; M. Baur; U. Lauchert; V. Schmitt and B. Schroer.** 1996. Recognition of air pollution stress on Norway spruce (*Picea abies* L.) on the basis of multivariate analysis of biochemical parameters: A model field study. *Journal of Applied Botany.* 70(1-2):19-27.
- **Schulze E.D.** 1989. Air Pollution and Forest Decline in a Spruce (*Picea abies*) Forest. *Science.* 244:776-782.
- **SEL.** 1997. Global Assessment of Ecosystem Sensivity to Acidic. Swedish International Development Cooperation Agency (SIDA).
- **Shütt P. and E. Cowling.** 1985. Walsterben, a General Decline of Forests in Central Europe: Syntoms, Development and Possible Causes. *Plant Disease.* 69(7)548-558.
- **Snell, D.F. and Snell, C.T.** 1949. Colorimetric methods of analysis (Including some turbidimetric and nephelometric methods) 3th. Ed.(Vol.II) Van Nostrand Reinhold Company. NY, USA.
- **Soto-Tellez, J.A.** 1996. Estimación de la depositación ácida en tres parques urbanos del Distrito Federal. Tesis de Licenciatura en Biología, FES-Z, UNAM.
- **Spurr S. H. and B. V. Barnes.** 1982. Ecología Forestal. AGT EDITOR, S.A. México. 690pp.
- **Stanislav V. and Lepa J.** 1996. Spatial dynamics of forest decline: The role of neighbouring trees. *Journal of Vegetation Science* 7(6):789-798.
- **Ulrich B.** 1990. *Waldsterben:* Forest decline in West Germany. *Environmental Science and Technology.* 24(4): 436-441.
- **Vázquez, E.H. y Tovar D.C.** 1981. Observaciones sobre la biología de *Scolytus mudus*. Wood, un descortezador de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. At. Cham. En El Parque Nacional El chico, Hgo. Chapingo, Nueva época. 31-32:327-354
- **Waring, R.H.** 1983. Estimating Forest Growth and Efficiency in Relation to Canopy Leaf Area. *Advances in Ecological Research.* 13:327-354
- **Waring, R.H.** 1987. Characteristics of Trees Predisposed to Die. *BioScience.* 37(8):569-574.
- **Wilkinson R.E.** 1994. *Plant Environment Interactions* Dekker Inc. USA. 599 pp.

- **WMO**. 1976. Report of Expert Meeting and Siting Criteria, Mainz, FRG.
- **Xia-B; Lan-Tao; He-Shan-An; Deng-Fei and Yao-Gan**. 1996. Canopy gaps in subalpine spruce-fir forests of the hills around Bitahai Lake, Yunnan Province. *Journal of Plant Resources and Environment*. 5(4): 1-8.
- **Xiusheng Y.; J. J. Witcosky, and D. R. Miller**. 1999. Vertical Overstory Canopy Architecture of Temperate Deciduous Hardwood Forests in the Eastern United States. *Forest Science*. 45(3). 349-354.

ANEXOS

ANEXO 1
PATRONES DE RETENCIÓN DE COPA REALIZADOS POR LA SAGAR
(SAHAR, 1984)

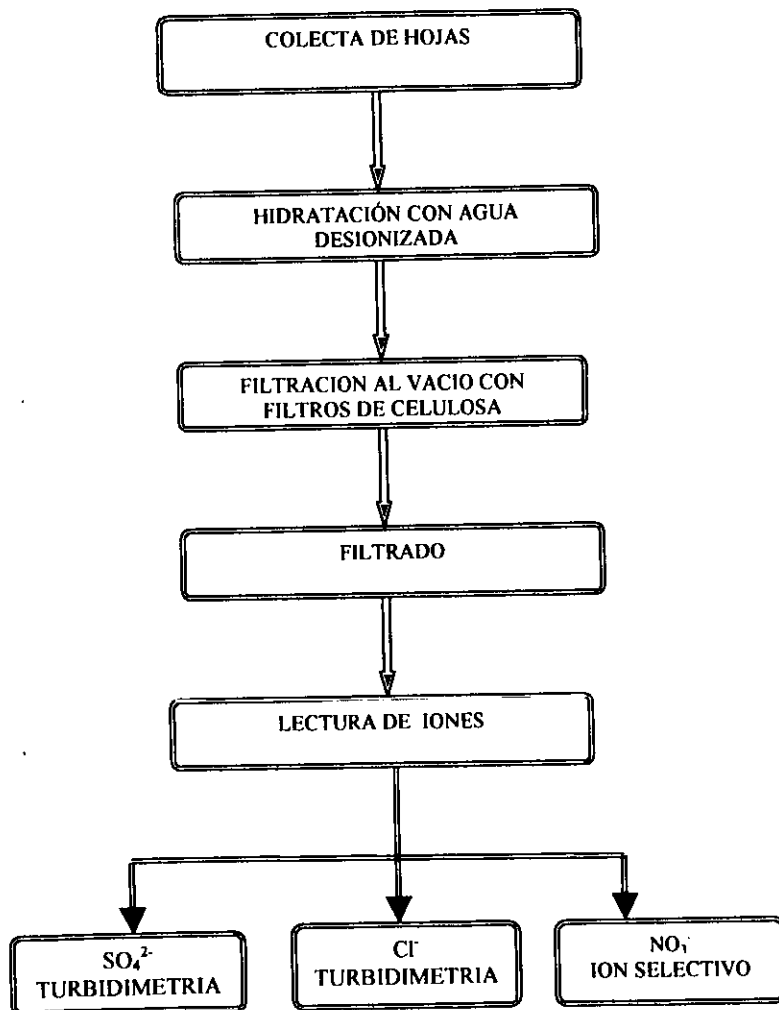
% DE COPA RETENIDA	0	25% ¼	50% 2/4	75% ¾	100% 4/4
TIPO DE MORTALIDAD					
Irregular (I)	 MP	 I1	 I2	 I3	 S
Descendente (D)					
Ascendente (A)					
Lateral (L)					

S = SALUDABLE
 MP = MUERTO EN PIE

LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
 FES-ZARAGOZA UNAM

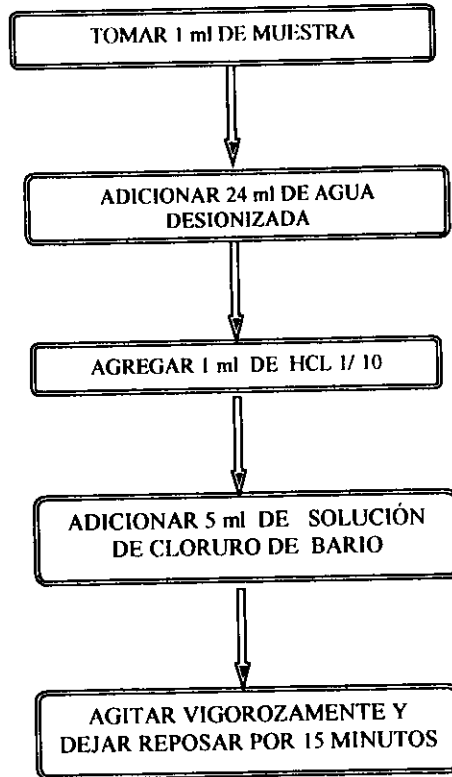
ANEXO 3

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL DEPOSITO IONICO EN HOJAS DE *Abies religiosa*



ANEXO 4

DETERMINACIÓN DE SULFATOS POR TURBIDIMETRIA*



* AWWA, 1989

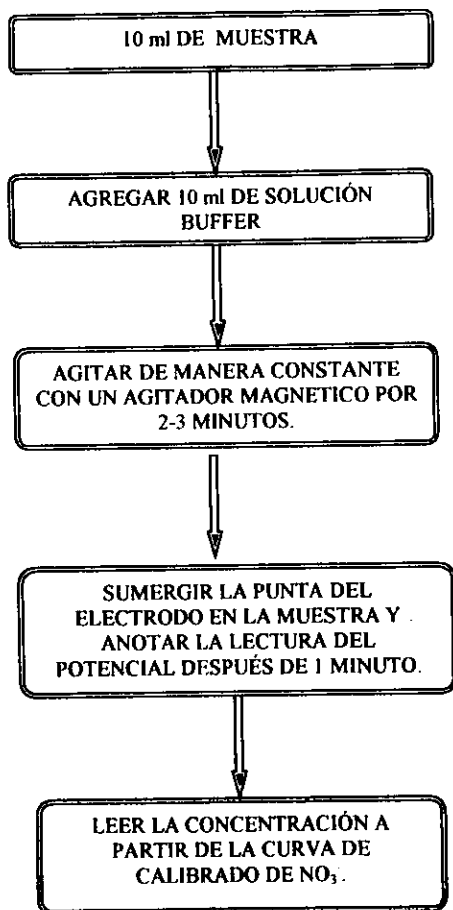
ANEXO 5

DETERMINACIÓN DE CLORUROS POR TURBIDIMETRIA*



*OMM, 1976

ANEXO 6
DETERMINACIÓN DE NITRATOS POR EL METODO DE ION SELECTIVO*



* ESTÁNDAR METHODS 15th ed.
J. RODIER, 1978