



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

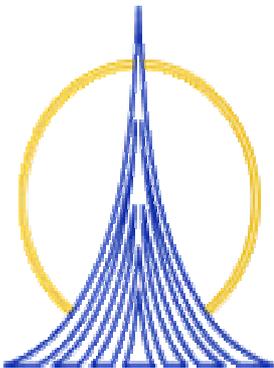
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

REGISTRO DE LOS INDICADORES DE SALUD DEL BOSQUE DE
"OYAMEL"
MONITOREADOS (1997- 2004) DE LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO DEL
PARQUE NACIONAL IZTAPOPOCATEPETL.

TESIS PARA OBTENER ÉL TITULO DE BIOLOGO,
PRESENTA: VERÓNICA CHAVARRIA PALACIOS.

DIRECTOR DE TESIS:

M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ



México, D. F.

Marzo 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Dedico esta tesis a mis hijos como ejemplo del esfuerzo y valor.

Agradezco a mi madre y a mi padre por apoyarme a terminar mis estudios de licenciatura y mi tesis.

Agradezco a mi Director de tesis M.C. German Calva Vázquez por ser un amigo sincero y transmitirme sus experiencias profesionales. Gracias por enseñarme y preocuparse siempre por mí, mis logros profesionales siempre se los dedicare a usted.

Agradezco a la Maestra Ángeles Galván por sus consejos y su apoyo para terminar esta tesis. Nunca deje de tener amor a la docencia, gracias.

Agradezco a mi esposo J. Ruben Salazar Torres por el apoyo incondicional.

Agradezco a mis compañeras (os) del Laboratorio de Contaminación Ambiental por el apoyo y cariño que me brindaron siempre.

Agradezco a todos mis sinodales por el apoyo que me brindaron.
M. en Ramiro Ríos, M. en C. German Calva, M en C. Efraín Ángeles, Biol. Maria de los Ángeles Galván, M. en C. Faustino López

Agradezco a mi hermano por tener paciencia en los momentos más difíciles de mi carrera.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema.....	7
1.2. Justificación.....	9
1.3. Hipótesis.....	10
II. Objetivos	11
III. ANTECEDENTES	12
IV. MARCO TEÓRICO	19
4.1. Estado de salud de los bosques de México y otros países.....	19
4.2. Síntomas que manifiestan los bosques enfermos.....	24
4.2.1. Crecimiento decreciente.....	25
4.2.2. Crecimiento anormal.....	26
4.3. Factores que afectan el estado de salud del bosque.....	29
4.4. Estado de salud de la copa	37
V. METODOLOGÍA	41
5.1. Sitio de estudio.....	41
5.2. Muestreo del sitio de estudio.....	45
5.2.1. Fase de gabinete.....	45
5.2.2. Fase de campo.....	46

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
6.1. Densidad y Estructura de la población oyamel.....	49
6.2. Densidad y estructura de los sitios de muestreo.....	54
6.3. Registro de indicadores de salud por cada sitio.....	62
6.3.1. Indicadores contra la influencia de la exposición.....	62
6.3.2. Influencia de la exposición con respecto a los indicadores.....	64
6.3.3. Crecimiento del rodal.....	65
6.4. Comparación de variables entre población.....	69
6.5. Registro del estado de la copa del bosque de oyamel.....	70
6.6. Tipo de mortalidad.....	82
6.7. Daño de fuste.....	84
6.8. Color de hoja.....	84
VII. CONCLUSIÓN	89
VIII. RECOMENDACIONES	91
IX. REFERENCIAS	92
X. REFERENCIAS ELECTRONICAS	97
XI. ANEXOS I	99

INDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINAS
1.1. Rutas de contaminantes atmosféricos.....	2
1.2. Defoliación de <i>Picea Abies</i>	7
4.1. Diferentes grados de daño de defoliación	20
4.2. Elementos de un programa de monitoreo forestal.....	22
4.3. Efectos por contaminantes atmosféricos.....	27
4.4. Incendio del bosque.....	30
4.5. Tala del bosque.....	32
4.6. Deposito ácido.....	36
4.7. Patrón de copa existente y mortalidad.....	38
4.8. Defoliación de un oyamel en el Parque Nacional Iztapopocatepetl.....	40
5.1. Mapa del Parque Nacional Iztapopocatepetl.....	41
5.2. Muestreo del sitio de estudio	47
5.3. Diagrama del flujo de estudio	48
6.1. El bosque talado.....	50
6.2. Distribución del indicador altura 1997 y 2004.....	50
6.3. Distribución del indicador diámetro 1997 y 2004.....	52
6.4. Estructura irregular.....	54
6.5. Estructura del sitio norte	55
6.6. Estructura del sitio noroeste	57
6.7. Estructura del sitio sur	59
6.8. Estructura del sitio sureste	60
6.9. Comparación de medias en alturas en 1997 y 2004.....	62
6.10. Comparación de medias del diámetro en 1997 y 2004.....	63
6.11. Comparación de los indicadores en 1997 y 2004.....	64
6.12. Relación de la altura con la edad por medio de la regresión lineal simple.....	67
6.13. Relación del diámetro con la edad por medio de la regresión lineal simple.....	67
6.14. Relación del diámetro con la altura por medio de la regresión lineal.....	68
6.15. Análisis de cluster de los indicadores 1997.....	69
6.16. Análisis de cluster de los indicadores 2004.....	70
6.17. Porcentaje de daño en copa, sitio norte	72

6.18. Tipos de defoliación.....	73
6.19. Porcentaje de daño de copa sitio noreste.....	74
6.20. Porcentaje de daño de copa sitio sur.....	75
6.21. Tipos de defoliación del oyamel.....	76
6.22. Muestra de árbol trozado	76
6.23. Porcentaje de daño de copa sitio sureste.....	77
6.24. Representación de un árbol sano	78
6.25. Comparación de retención de copa de 1997 con 2004.....	79
6.26. Estructura del rodal 2004.....	80
6.27. Comparación de medias en Retención de copas.....	81
6.28. Tipo de mortalidad 1997.....	82
6.29. Tipo de mortalidad.....	82
6.30. Bosque de oyamel que presenta defoliación.....	83
6.30. Daño de copa 1997 y 2004.....	84
6.31. Color de follaje 1997 y 2004.....	85

INDICE DE TABLAS

TABLAS	PÁGINAS
3.1 Categorías diamétricas.....	13
4.1 Inventario de emisiones por sector en 1989.....	34
4.2 Clases de defoliación y decoloración de acuerdo por la UNECE y EU.....	37
6.1 Distribución de alturas 1997 y 2004.....	50
6.2 Varianza de los indicadores 1997.....	61
6.3 Varianza de los indicadores 2004.....	61
6.4 Ecuaciones de regresión lineal.....	66
6.5 Clase de defoliación 1997.....	71
6.6 Clases de defoliación 2004.....	71

RESUMEN

Desde los años 70' los bosques del Valle de México han presentado síntomas de Decline Forestal o Waldsterben que es una respuesta del arbolado al estrés, causado por factores medioambientales y/o antropogénicos. La contaminación atmosférica (depósito ácido, traza de metales, O₃), la tala inmoderada y el sobre pastoreo. Por ello la salud del arbolado se ve afectada en un corto periodo de tiempo. Los síntomas que presenta el árbol son: defoliación, daño en las estructuras reproductoras, reducción de crecimiento en raíces y micorrizas, pérdida de microflora, carencia de minerales, depresión fotosintética, bajando el vigor del arbolado y aumento de la mortalidad.

Para detener estos efectos, se han implementado programas nacionales para la conservación del bosque, sin embargo aun se sigue deteriorando miles de hectáreas. México necesita cambiar su sistema de política forestal y alcanzar el nivel de países europeos con programas de monitoreo para la evaluación de salud del bosque en donde se englobe la investigación de diferentes áreas con el fin de la "sustentabilidad de los bosques de México". Con esta motivación se lleva a cabo la evaluación de la salud del bosque del oyamel en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Iztapopocatepetl durante 1997 y 2004 por medio de: la altura, diámetro y % de daño en copa y retención de ella.

En 1997 se observo cambios en la estructura de la población no representaba con una uniformidad edades. Para 1997 al 2004 la población disminuyo drásticamente de 788 árboles/ha a 273 árboles/ha afectando las condiciones del sitio. Los cambios en la estructura por edades del oyamel brinzales, juveniles, adultos y seniles que se encuentran en proporción para el 2004; se presenta con mayor frecuencia la etapa joven y adulta, quedando casi desaparecidos juveniles y seniles. La cobertura de copa ha disminuido considerablemente, el % R C del 25% y 75% lo coloca en un daño moderado a severo, similar a lo determinado por el Inventario Forestal 1974, afectando las condiciones del sitio atribuido por los contaminantes atmosféricos. La sobre vivencia hace que aumente la competencia intraespecifica, manteniendo a los más fuertes y vigorosos. La interespecifica esta excluyendo al oyamel, confinándolo ha habitats más específicos y ganando el espacio del pino y por herbáceas.

Se concluyo que la copa rala, lo diámetros pequeños y las bajas alturas, permiten el episodio de la luz solar, y con ello, las consecuencias son: aumento de la vaporación del agua, aumento del albedo del suelo, favoreciendo a las oportunistas (herbáceas y arbustivas) tolerantes a la sequía.

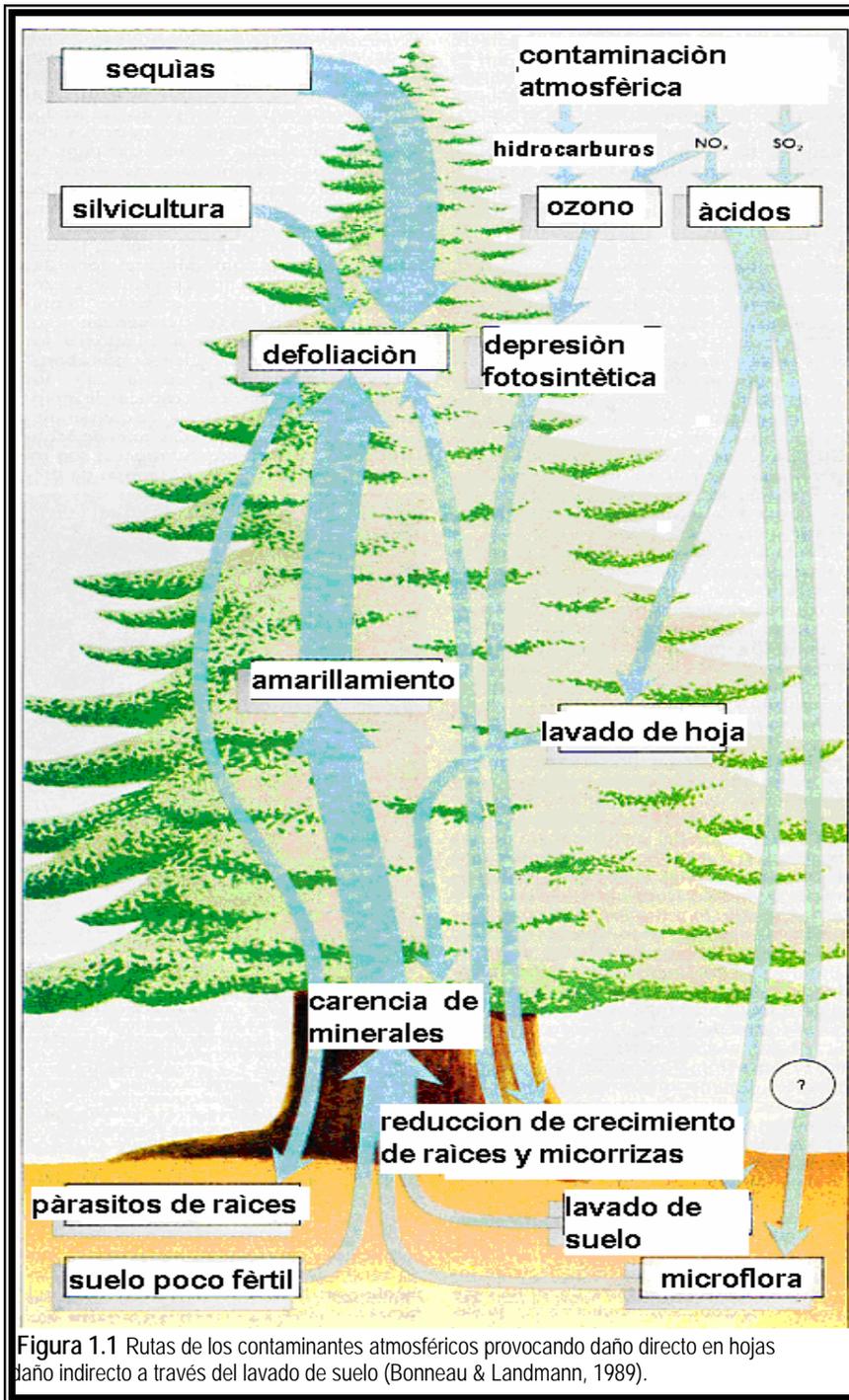
I. INTRODUCCIÓN

La tala, el pastoreo, los incendios, y los contaminantes atmosféricos están afectando al estado de salud de los bosques, y son evaluados por medio de la vitalidad de la copa y el crecimiento forestal. La salud del bosque es la condición donde tiene la capacidad para regenerarse, restaurarse de los disturbios y amenazas y de mantener su resistencia ecológica, para esto se guía de ciertos indicadores que permitan evaluar y describir el fenómeno, su naturaleza, estado o evolución de esta manera permite ver el estado de salud del bosque para determinar su manejo sostenible.

La contaminación del aire afecta la salud forestal a una escala nacional, continental e intercontinental. Percy y McLaughlin (1999) en Percy y Ferreti (2004) definen a la salud forestal como la capacidad que tiene el ecosistema para suministrar agua, nutrientes y energía, de manera que incremente su productividad, sin dejar de mantener la resistencia hacia los factores bióticos y abióticos (Figura 1.1). Los contaminantes atmosféricos son los responsables de los cambios del régimen climático y a su vez, son factores que promueven el cambio climático global, amenazando la salud del bosque de forma indirecta, cambiando los ciclos de producción de semillas y yemas de crecimiento apical y lateral (Percy, 2004). *El decline forestal es reflejo responsable del desequilibrio en la salud del bosque* y para su entendimiento, se determinaron los síntomas a través de estudios realizados en los bosques de Europa y de Norte América (Fernández, 1986; Hinrichsen, 1987; Klein y Perkins, 1987), a saber:

- **Estrés general**, expresado en el decremento de la fotosíntesis neta y producción de diversos fotosintatos para la movilización de carbohidratos y la evacuación de metabolitos secundarios potencialmente tóxicos.
- **Estrés crónico primario**, los contaminantes atmosféricos ejercen un daño directo sobre el estrato vegetal del ecosistema, durante un largo periodo del tiempo, el daño se va sumando quinquenio tras

quinquenio, predisponiendo a las comunidades y poblaciones vegetales a sus efectos. Un efecto indirecto es la alteración de las rutas bioquímicas y del estatus energético del árbol.



También, la modificación química que sufre el suelo forestal podría incluirse de este, cuando es a largo plazo se origina movilidad elemental por el efecto del depósito ácido atmosférico que a corto, los metales traza (Cu, Ni, Zn) fertilizan o incrementan el estado nutricional del suelo, pero si se acumula la concentración podrían llegar los niveles tóxicos, y algunos otros tóxicos Pb, Cd, Hg.

- Entres secundario, es resultado del daño que ejercen las plagas (insectos, hongos, virus, nematodos), el erróneo manejo silvícola o saneamiento.

- **La precipitación ácida**, (HCl , H_2SO_4 y HNO_3) es un fenómeno que degrada a los bosques y sus suelos. Sus precursores, atacan desde la atmósfera hacia las hojas, yemas de crecimiento y estructuras reproductivas. Los citados gases, dióxido y trióxido de nitrógeno (NO_2 , NO_3) (Figura 1.1) hasta el medio día igualan sus concentraciones y por la tarde-noche comienza la síntesis del HNO_3 , de ahí que esta molécula sea un integrante principal del Smog fotoquímico. La lluvia, nieve, neblina y también por depósito seco son los mecanismos de incorporación elemental para completar con los ciclos biogeoquímicos (gases y partículas) y vapor de agua (Percy, 2004). Los aportes ácidos afectan a las hojas, al depositarse sobre su superficie (Figura 1.1), las aguas de lluvia extraen del interior de los tejidos vegetales, elementos nutritivos, especialmente K, Ca y Mg (Bonneau y Landmann, 1989).
- La **exposición de contaminantes atmosféricos** hacia los ecosistemas forestales (Figura 1.1) interfiere en la fotosíntesis y el crecimiento forestal, reduce la absorción de nutrientes y ocasiona que las hojas se pongan amarillas o de color café marrón ocasionando defoliación. El ozono es un contaminante secundario que se forma en la atmósfera bajo la luz solar a partir de la oxidación de un contaminante primario NO_x y en presencia de un componente orgánico volátil (solventes, hidrocarburos y gases de putrefacción), este provoca necrosis foliar. Los metales traza pueden ser transportados a grandes distancias en la atmósfera y depositados en forma húmeda o seca en los ecosistemas forestales.

Desde los años setenta se ha observado un deterioro en los bosques europeos principalmente en: Hungría, Suecia, Bélgica, Francia, Reino Unido, España, e Italia, también se presentó en Norte América. Se manifiestan diversos síntomas como: amarillamiento en las hojas, incremento de transparencia en la copa debido a la pérdida de hoja; reducción de biomasa de raíces y micorrizas; disminución continua del diámetro y crecimiento de los árboles crecimiento anormal; abscisión en las hojas y raíces poco desarrolladas; poco crecimiento en altura y longitud de las raíces; aparición de manchones en hojas cambios en la talla y forma de las hojas,

producción excesiva de conos y semillas y muerte de la vegetación herbácea (Hinrichsen, 1987). A este fenómeno se le conoce como decline forestal o Waldsterben, Manion (1991) en Colinas, (2004) define el fenómeno como una enfermedad causada por la interacción de factores abióticos y bióticos, que producen un deterioro general y gradual en el ecosistema forestal, y finalmente muerte del arbolado, este reduce su capacidad metabólica y altera sus funciones haciéndolo susceptible al ataque de parásitos, insectos y hongos y finalmente la muerte del arbolado

La República Federal de Alemania en los años 70's (Bonneau y Landmann, 1989) comenzó a estudiar el fenómeno del decline, puso en marcha programas de evaluación de los daños durante periodos de tiempo, a ellos se sumaron diversos grupos de investigación, tales como Francia (DEFORPA), los Países Bajos (Dutch Priority Programme on Acidification), entre otros no menos importantes (Anexo 1).

Los programas de monitoreo tenían en común, evaluar los efectos de la contaminación atmosférica en los bosques, comparando los síntomas, para poder así evaluar la salud del bosque. Los indicadores color de hoja (decoloración), retención de agujas (densidad de la copa), retención de copa (transparencia del follaje), área basal (crecimiento del árbol) y composición de especies. Estos se usan actualmente para comparar cambios en las condiciones del rodal en tiempo y espacio (O'Laughlin y Cook, 2003).

De acuerdo con Nieto de Pascual (1995) el bosque de oyamel, abetos u oyamental (*Abies religiosa*, [HBK] Schl. y Cham.) es una comunidad clímax de coníferas que predomina en las partes altas de los montes que rodea el Valle de México, y cuya conservación es determinante para la calidad de vida del área metropolitana de la Ciudad de México. Asimismo refirió que el *Abies Religiosa* es la única especie de este género oyamel que vegeta en la zona y que se tiene conocimiento de haber estado presente en el territorio desde tiempos prehispánicos, sin embargo, a través de los años el deterioro del hábitat ha empeorado por la extracción de

recursos naturales. En el Parque Nacional Iztapopocatepetl se registró que una tercera parte de la población de *Abies religiosa* presentaba daño medio (50%) en sus copas y muy pocos individuos se presentaban sanos, aplicando el patrón retención de copa (SAGAR, 1984). Blank (1988) considera que el daño moderado en porcentaje de retención de copa, oscila entre 40 y 74% de su cobertura total. Al relacionar los porcentajes de retención de copa con el diámetro se pueden determinar, la retención de la hoja y su arquitectura original de la copa. Las variables que tomó en cuenta son: diámetro, altura, y vigor del árbol y a su vez las relaciono con el daño que causa la contaminación atmosférica hacia el árbol (Pérez, 2000). La preservación de los bosques de oyamel se ve amenazada por un agente abiótico exógeno: la contaminación atmosférica, ya que es un factor de daño, la cual ejerce un impacto determinante en las masas arbóreas, independiente a la especie, desarrollo o edad, y en particular las de la cuenca de México manifiestan síntomas de enfermedad del bosque (Nieto de Pascual, 1995).

En México el fenómeno del decline forestal, se observó en los 70's según Alvarado *et al* (1993), y sus investigaciones las realizó en el bosque del Parque Nacional Desierto de los Leones y también, en los bosques Parque Nacional Cumbres del Ajusco localizados al sur y los Dinamos al suroeste de la Ciudad de México. A partir de 1995 se ha realizado una investigación por parte del Laboratorio de Contaminación Atmosférica de la FES-Zaragoza (UNAM) con el fin de evaluar los síntomas del decline forestal con el programa "Cuantificación de Depósito Atmosférico en cuatro Zonas Boscosas del Valle de México", cuyo meta es realizar estudios de suelo, análisis químico del depósito y sus efectos ecológicos en el ecosistema forestal del Valle de México.

En este contexto los programas estatales y particulares no dan seguimiento a los indicadores de salud de los bosques, para su conservación, manejo y aprovechamiento de sus recursos naturales. México se rezaga, ya que no organiza, ni sistematiza los inventarios forestales con fines de conservación, tampoco, agrupa la

investigación que se realiza en las universidades y sector privado. El conocimiento básico del bosque garantiza el manejo sustentable para tomar acciones por parte Organización Mundial de la Salud y en particular el gobierno mexicano mejore su sistema de vigilancia de la calidad del aire. La política forestal tiene que reducir los errores, deficiencias en general modificar las actividades forestales de raíz y en todos sus aspectos para el desarrollo sostenible.

En nuestro país dada la reducción de políticas de mitigación y los efectos de la deforestación en los últimos años, para conservar los ecosistemas forestales se planifico una reforestación en el Distrito Federal (D.F.) y Estado de México. Durante 1998-2000 se plantaron 40.2 millones de árboles en 31, 100ha en la zona rural del D. F. (GDF, 2000) encargándose desde la producción de la planta hasta la plantación. Otros programas fueron encargados de reforestar la zona Norte-Noreste de la zona conurbana de la Ciudad de México, por ejemplo, más de 740 mil hectáreas entre 1997 al 2003, (Programa Proplan) además una reconversión de más de 1.3 millones de ha de tierras agropecuarias para la productividad forestal. Sin embargo la deforestación registrada tiene una tasa de 700 mil hectáreas al año, las causas son varias: la tala, los incendios (1,200 en el año 2004), la contaminación, el pastoreo, patógenos, entre otros.

Por lo anterior se requiere de programas que evalúen las causas y los efectos de la defoliación de los bosques con el fin de conservación, algo similar a la experiencia realizada por los bosques europeos, por el Programa de Cooperación Internacional, con la evaluación y el monitoreo de los efectos que causa la contaminación del aire. Por otro lado la red de Reservas de la Biosfera de México se ha convertido en el sistema primordial de la conservación de la biodiversidad de México. La diferencia ahora es la mayor visibilidad nacional e internacional, los apoyos de grupos conservacionistas nacionales e internacionales y el apoyo económico tanto del Gobierno como de fuentes financieras internacionales (Gómez-Pompa, 1998).

Sin embargo aún prevalece la incertidumbre en la tenencia y uso de la tierra y sus recursos así como la falta de presupuesto para vigilar y manejar todas las reservas activas. Faltan instrumentos legales para vigilar que se obedezcan las limitaciones en el uso del suelo y los recursos de las reservas. La participación local esta ausente o es mínima. La investigación científica sobre la biodiversidad y su conservación de las áreas es casi inexistente. Se requiere que México se encuentre a un nivel internacional con un programa de monitoreo que evalúe el estado de salud de los bosques para la conservación de los mismos, o bien, un programa interno nacional en cuyos objetivos se incluya la conjunción de la información básica generada por la universidades y su convergencia con la instituciones estatales y para estatales, similar a los programas europeos. Mientras no se resuelvan estos problemas nos parece que su futuro es aún incierto (Gómez-Pompa 1998).

1.1. PROBLEMÁTICA

Desde los años ochenta, en el bosque de oyamel del Parque Nacional Iztapopocatepetl se ha registrado algunos síntomas que podrían identificarse como de decline forestal, a saber: defoliación, formación irregular de copa, decoloración y variación de crecimiento forestal; debido a los contaminantes atmosféricos como un agente casual (Calva, G. y Corona, B. 1990).



Figura 1.2. Comienza a perder hojas y se vuelve más sensible a las enfermedades, insectos, hongos, parásitos hasta que muere.

Evaluación de la copa es un parámetro importante para determinar la salud del bosque, siendo así la defoliación (Figura 1.2) se caracteriza porque comienza a perder hoja desde abajo hacia arriba y desde la parte inferior hacia el exterior. Pérez, (2000)

al evaluar la defoliación en el bosque de oyamel concluye que la mayor frecuencia de retención de copa fue de 25% y 75% por lo tanto el bosque presenta daño moderado a severo; si es así podremos esperar que el índice de mortalidad sea mayor.

La mortalidad de un árbol traería como consecuencia cambios de muchos procesos ecológicos como: la abertura del dosel es ventaja para los árboles intolerantes permitiendo la regeneración de esas especies del cual pasarían a ser dominantes del rodal. Por ejemplo el pino que es menos tolerante a la sombra que el oyamel compite fuertemente por los microhabitats a una altitud de 2,800 msnm y hasta los 3,100 msnm. De ahí que el oyamel se haya establecido en los vértices de la cañadas y en sitios muy abruptos. Sin embargo, se puede desarrollar un rodal estratificado con especies intolerantes a la sombra en el máximo nivel, especies intermedias a bajo de ellas y especies tolerantes. La variación en la estructura por edades de la población ha permitido la estratificación de los rodales y un incremento en la composición en especies favoreciéndose el desarrollo de las suprimidas, reflejo del efecto de desocupación. El establecimiento del oyamel al espacio microhabitats muy específicos (cañadas y vertientes).

Al desestabilizar la estructura de las edades (brinzal, juvenil, adulto, senil) pone en riesgo la continuidad de la población del oyamel y también se somete al efecto de ser excluido por herbáceas y arbustivas de rápido crecimiento, ganando el espacio dejado por el oyamel.

El bosque del parque a pesar de estar vigilado y protegido por el ejército que regula los visitantes y por el servicio oficial forestal, tiene apariencia de abandono que se aprovecha para las extracciones clandestinas de madera. Los tocones propicia el desarrollo de patógenos causantes de enfermedades en la superficie de la corteza de los árboles contiguos.

A pesar de los programas de manejo sustentable de recursos naturales y junto con las políticas de protección ambiental no se han implementado de manera eficiente ya que el deterioro ambiental persiste. México hoy en día a perdido alrededor de 14 4300 K² de recurso forestal en los últimos 25 años (Velásquez *et al*, 2002).

1.2. JUSTIFICACIÓN

Es importante evaluar los indicadores de salud para determinar el estado en salud que se encuentra el bosque de oyamel del Parque Nacional Iztapopo y observar y registrar los cambios estructurales que se han presentado desde 1997 hasta el 2004 para decidir orientaciones futuras del bosque.

Al evaluar las condiciones de salud del bosque se puede encontrar los factores medioambientales que determinan el estrés del bosque de oyamel y de esta forma poder aplicar acciones a través de programas y/o proyectos que aseguren la sustentabilidad del bosque.

En México aun estamos muy lejos de poder realizar estudios que evalúen, registren y concentren el decline de los bosques, reuniendo los resultados de los centros de investigación y las realizadas por instituciones privadas. Con el único fin de entender su distribución en la zona de amortiguamiento en el Parque Nacional Iztapopocatepetl, ello nos dará pauta para evitar la ruptura de la estructura del ecosistema. También se podrían describir las condiciones específicas del fenómeno decline en la Cuenca de México, si este estudio lo integramos con otras investigaciones (homologando métodos) que integren información del suelo, clima y desarrollo del árbol, entonces podríamos realizar una evaluación completa para poder dar estrategias de conservación, mantenimiento, sustentabilidad y manejo de selvicultura.

1.3. HIPÓTESIS

La vitalidad de la copa es el reflejo del estado de salud de los bosques por lo tanto si existe síntomas de defoliación, decoloración, daño en el fuste y alteración en el crecimiento de la población arbórea en el bosque de oyamel del Parque Nacional Iztapopo entonces se encuentra deteriorada por contaminantes atmosféricos sin excluir los factores naturales o antropogénicos.

II. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Evaluar la salud del estrato arbóreo del bosque de oyamel- pino, de la zona norte del Parque Nacional Iztapopocatepetl durante el periodo 1997 y 2004 da través de la comparación de los indicadores de salud

Objetivos Particulares:

- ✓ Registrar los indicadores de salud: altura, diámetro y vigor de copa (retención de copa y defoliación) del año 1997 y 2004.
- ✓ Comparar la distribución en altura, diámetro y copa del bosque de oyamel en 1997 y 2004 para seguir una evaluación del daño que presenta el bosque

III. ANTECEDENTES

Las investigaciones sobre la salud forestal han sido realizado desde los años 70', todos los trabajos tienen la finalidad de evaluar la salud de los ecosistemas forestales a través de programas de monitoreo y modelos estadísticos. En las investigaciones que se encontraron para nuestro objetivo han concluido que el factor que mas afecta la salud del bosque es la contaminación atmosférica, por otro lado evalúa los parámetros ecológicos de los ecosistemas forestales cuando han sido afectados por una perturbación.

Manzanilla, H. (1974), llevo a cabo un trabajo en el bosque de oyamel en las faldas de los volcanes Iztaccihuatl, Popocatepetl, nevado de colima y volcán de Colima, fueron divididos por Bosque virgen (rodales sin alteraciones humanas aparentes); bosque natural (rodales alterados por el hombre por medio de incendios y explotaciones ilegales); bosque de explotación (rodales explotados según el sistema mexicano de ordenación). Se analizaron 50 sitios con una superficie de 10.35 has en los cuales se realizaron muestreos dasometricos. Se obtuvieron 5 estructuras del bosque virgen, tres del bosque natural y una estructura del bosque de explotación.

Los resultados fueron: el bosque natural presenta el mayor número de árboles en todas las estructuras, forman un solo estrato arbóreo en la fase inicial y final de su vida, el área basal mayor se encuentra en el bosque virgen, las alturas mayores se encuentran en el bosque virgen y de explotación el índice de esbeltez mayor lo presento el bosque natural, los mayores grados de cobertura se encuentran en el bosque natural y explotación. Las estructuras presentan diferente valor económico, el oyamel sé esta regenerando bien. Reporta 8 clases diametricas (Cuadro 3.1) de las cuales la clase II (21-40) y III (41-60) son de mayor frecuencia para el bosque de explotación, con edades de 41-60 años. En el bosque de explotación se encontraron 198 árboles por hectárea de la especie *Abies religiosa* esta especie de alto valor económico.

Cuadro 3.1. Manzanilla (1974) presenta nueve estructuras donde se observa las clases diamétricas de mayor frecuencia, la edad, el piso que corresponde y la altura.

ESTRUCTURA	DIAMETROS cm.	EDAD(años)	PISO (cota)	ALTURA (m)
I	> 140	21 - 60	Superior 100-200	5-23-4
II	21-40	41 - 60	Medio-inferior	4-25-61
III	21 - 40	40 - 200	medio	5-27-61
IV	>60	60	inferior	6-29-61
V	21 - 80	60	Medio-inferior	8-32-55
VI	21-60	21 - 60	medio	5-24-51
VII	21-40	21 - 60	medio	4-18-47
VIII	10 - 40	10-40	inferior	4-18 47
IV	21 - 80	41 - 60	superior	6-29-55

Schutt y Cowling (1985), trabajaron con ecosistemas forestales de diferentes países como Alemania, Bélgica, Francia, Italia, Austria, y Europa, dando a conocer el fenómeno llamado decline causas y efectos. Describen los síntomas que presentan los bosques de cada país, el crecimiento de diferentes especies en diferentes condiciones, tipo de suelo, sitio, y clima. Nos proporcionan el conocimiento del depósito de contaminantes atmosféricos, la acidificación del suelo y su alteración química relacionado con el crecimiento. El decline llamado también Waldsterben involucra al conocimiento de la patología de la planta, la fisiología de la planta, la ciencia del suelo, la ecología forestal y la química atmosférica.

Pineda *et al.* (1989), analizó la regeneración, composición, estructura, incremento y dinámica, así como el vigor, mortandad y daños en el bosque del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones. Utilizó un muestreo de conglomerado, registró medidas diamétricas, cálculo de volumen de pino y oyamel. Obtuvo los valores de importancia resaltando *Abies religiosa*, esta especie presenta un diámetro a la altura del pecho

entre 30-60cm para el 60.4% del arbolado. La mortandad afecta más a las categorías de métricas bajas de *Abies religiosa* para el vigor de copa fue del 48% y el arbolado presentó el 50% de retención de copa.

Cibrian (1989), una investigación la realizó en el Parque Desierto de los Leones de los cuales registro la mortalidad de los árboles y evaluó las condiciones de la copa, (muerte de ramas, retención de hojas, color de follaje, y forma de la copa). Este encuentra que las condiciones de la copa son pobres afectando principalmente a los árboles adultos, se estima que la causa principal son los depósitos de contaminantes atmosféricos.

Schulze (1989), presento los síntomas de decline forestal del pino en Europa, los cuales fueron hojas amarillas y defoliación en los árboles así como mortalidad. Las áreas de estudio fueron al norte de Bavaria y al este de Alemania, donde el decline del bosque es debido a las a concentraciones altas de contaminantes atmosféricos (SO_x , NO_x , y O_3) afectando a las agujas y agentes secundarios como patógenos, debido a que los contaminantes afecta la química del suelo y la nutrición de la planta y se cuantifico las concentraciones de los contaminantes en verano e invierno por un periodo de 24 horas durante un periodo de 3 años. También se cuantificaron los elementos Ca, Mg, K, durante los meses de marzo a octubre de 1987.

De Isla de Bauer y Krupa (1990), en 1970 realizaron un estudio en la Ciudad de México, utilizando plantas bioindicadoras para tomar datos de daños visibles provocados por diferentes contaminantes que son emitidos a la atmósfera por diferentes fuentes, las plantas muestran daño causado por ozono como el fotooxidante que causa más daño al valle de México.

Alvarado *et al*, (1993). realizaron en el Desierto de los Leones, donde examinaron los efectos que produce la contaminación de la ciudad de México en los bosques y ellos evaluaron la defoliación de la copa y los anillos

de 101 árboles, de los cuales se manifiesta el depósito de contaminantes cuando baja el vigor del árbol gradualmente y se pierde la forma cónica de la copa, provoca una severa defoliación y mortalidad en la parte inferior de la copa y si agregamos que la deficiencia en Mn y Zn, la extracción de agua y las plagas contribuyen al decline forestal, la vulnerabilidad del bosque es alta.

Cairns, *et al* (1995) dan a conocer la evaluación de índices de deforestación, en el presente estado del bosque de México, y factores responsables de la deforestación en 8 estados: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán de la región suroeste del país, el bosque de hoja perenne es el de mayor distribución en los ocho estados y por orden decreciente según su importancia Deciduos, coníferas, de hoja ancha, pastizales, agricultura y vegetación acuática. El mayor índice de deforestación (2.00%) fue para el bosque perenne y la pérdida de bosque durante 13 años (1980-1993) fue un total de 5.434 millón ha. Las razones de la deforestación son muchos (uso de suelo para la agricultura, sobre pastoreo, incendios, huracanes, tala).

Skelly, *et al* (1997) encontró que en el Desierto de los Leones *Prunus Serotina* (nombre común, Capulín) presentó daño foliar inducido por el ozono; se evaluaron las copas de 18 árboles revelando evidencia significativa en las hojas, síntomas como clorosis prematura y senescencia en la hoja se apegan a los efectos que produce la exposición de ozono.

Alexander y Palmer (1999), a través del programa de protección del medio ambiente y monitoreo ambiental realizaron un programa de monitoreo de salud forestal del cual se aplicó en 4 regiones para evaluar los indicadores de salud: condición de copa, diversidad de especies, plantas bioindicadoras de ozono, morfología del suelo y composición química, y hábitat de las aves. Realizado en diferentes regiones por 5 años,

identificando daño foliar por contaminantes atmosféricos que provocan efectos directos y/o indirectos. El programa demuestra que nos proporciona información para estimar la salud de los ecosistemas forestales.

Lindenmayer, (1999), los programas de monitoreo se diseñan para la conservación de la biodiversidad y el manejo de los bosques de los cuales se evalúa los indicadores de especies, estudios de impactos ambiental. El trabajo se basó en crear estrategias para la sustentabilidad del stand y mantener la estructura y los atributos florísticos que forman los componentes del hábitat de la fauna. Mantener la heterogeneidad del paisaje que incluye los trabajos sobre protección de zonas de reservas y corredores.

Yeh y Wensel (2000). Determinaron la relación entre el diámetro y clima de las coníferas en el norte de California, del cual se utilizó un método para evaluar el crecimiento en función del clima. Las variaciones de crecimiento atribuyen a los factores biológicos y culturales para ello se utilizó un programa de simulador de salida de madera de la conifera de California. También, se incluye la elevación, la densidad del rodal y las especies para determinar sus efectos en cierta magnitud con relación al clima y crecimiento. Los resultados indican que la variación esta asociado con los cambios climáticos de precipitación y temperatura en verano.

Hummel (2000), se llevo a cabo una investigación para la especie *Cordia alliodora* asociado con la densidad, los campos fueron en el norte de Costa Rica, representando rangos de densidades (100-195883por ha), edad (1-45 años), y elevación (30-43m), fueron medidos entre 1993 y 1996. Se utilizó una técnica de regresión para relacionar la altura, edad, diámetro, diámetro de la copa. Los resultados sugieren que la técnica desarrollada en los bosques templados se puede utilizar para especies tropicales.

Eid y Tuhus (2001), desarrollaron un modelo logístico predictivo que se aplicara a todas las estructuras forestales y para las especies de interés en Norway. El modelo se basó en campos registrados por el Instituto de Investigación Forestal a partir de 1986 a 1993 y remediados en 1994 a 1998. Este modelo puede incluir

mortalidad regular e irregular y también puede ser aplicable a ocotones o ecotones, con especies puras o mixtas. Las variables para este modelo fueron la altura, el diámetro a la altura del pecho, índice del sitio y proporción del área basal. Estos modelos predicen la mortalidad y crecimiento de cada árbol individual a una escala grande.

Hopkin *et al* (2001), evaluaron las condiciones de la copa y los sitios de productividad en Ontario. Canadá, se realizaron medidas dasométricas y descripción de suelo, vegetación y composición química de follaje, aplicando diversos programas de monitoreo que evalúan la salud forestal del bosque a sí como la sustentabilidad del mismo.

Moravie y Audrey (2003), desarrollaron un modelo para relacionar la dinámica y la estructura espacial del rodal forestal con la finalidad de la estructura espacial puede ser un indicador de la dinámica stand. Los resultados obtenidos nos muestran la función de la estructura del stand en relación con la competencia, la mortalidad, y el crecimiento del árbol.

Franklin y Van (2004), evaluaron la estructura de los bosques de crecimiento en adulto, se discute la distribución vertical del follaje y la heterogeneidad espacial donde es evidente la abertura del dosel. El cambio de mortalidad a partir de una competencia en rodal jóvenes debidos a que es importante en la heterogeneidad espacial y la complejidad de la estructura.

Spies (2004), se basó en los conceptos ecológicos y en la diversidad de los bosques de crecimiento adulto, para poder desarrollar la estructura forestal y contribuir en la dinámica y vitalidad del bosque, así como en la complejidad del mismo para su conservación y la sustentabilidad para llevar a cabo prácticas forestales bien establecidas.

Percy y Ferretti (2004), trabajaron con 49% de los bosques (17 millones Km.) que fueron dañados por concentraciones del ozono O₃. El bosque se encuentra dañado por la precipitación ácida, amonio, metales pesados, componentes orgánicos, dióxido de carbono del cual afecta a la salud del bosque, la finalidad es conocer los daños que causa cada contaminantes y estimar que dirección tendrá el futuro del bosque para ello se recurren a programas de monitoreo para evaluar las condiciones de salud del bosque y mantener la productividad.

Coulston *et al* (2004), evaluaron la contaminación del aire como un estresor ecológico que influye en la conservación de la salud del ecosistema forestal, en las regiones de la costa del pacífico, la montaña Rocky y al sur y al norte de los Estados Unidos, se monitorearon los niveles de nitrato, amonio, sulfatos y de ozono, a partir de 1994 al 2000, el 50% del bosque de la región norte y sur reciben mas de 15 Kg/ha/año de deposito de amonio en el periodo 1994-2000, la Costa del Pacífico y la Montaña Rocosa aproximadamente el 50% del bosque recibe menos de 2 Kg/ha/año. En todas las regiones el ozono es el que produce mayor daño foliar a especies sensibles como cerezo negro.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. ESTADO DE SALUD DEL BOSQUE EN MÉXICO Y EN OTROS PAÍSES.

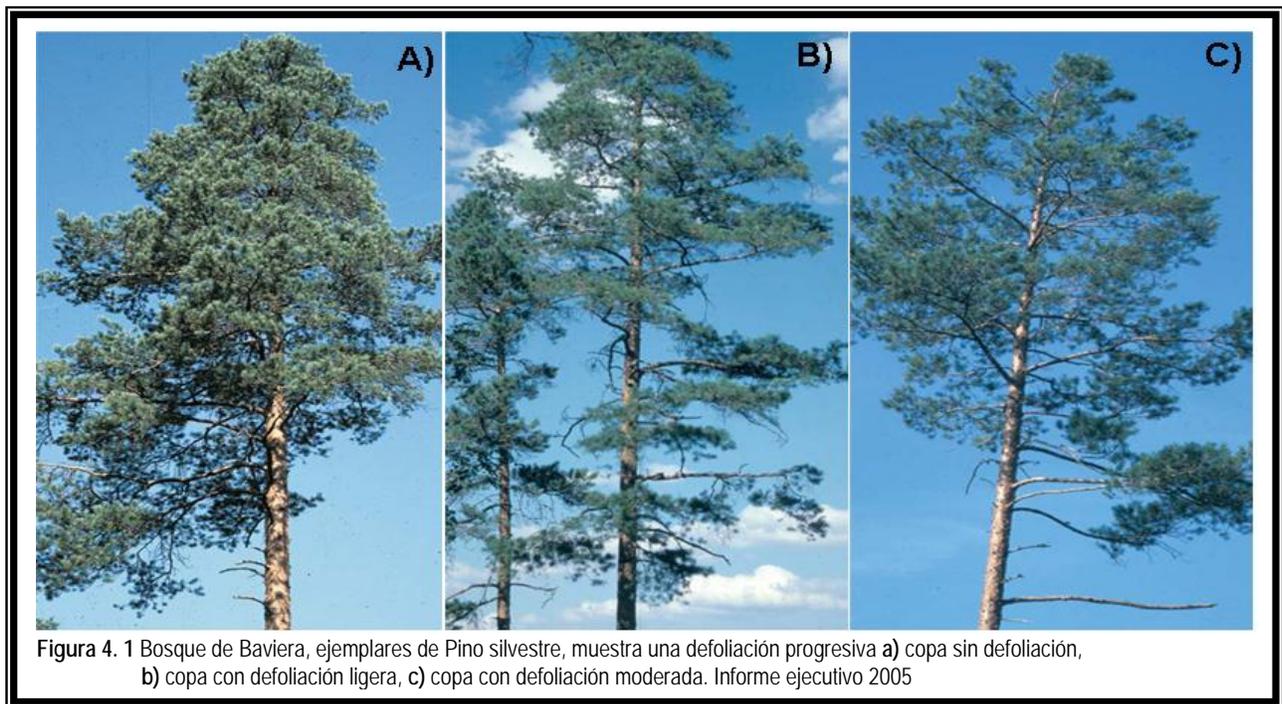
En México el abeto (*Abies religiosa*), es de suma importancia por su valor económico, estético, recreativo y cultural. Desde los años 70' los bosques de México han presentado cambios en su salud, disminuyendo la vitalidad, sin tener respuesta de la causa principal que esta alterando la estructura del bosque. Diversas Organizaciones como la Universidad Nacional de Chapingo, Sanidad forestal, la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, comenzaron a buscar las causas de los daños provocados en la salud del bosque (William, *et al*/1987).

La salud del bosque pueda ser considerada como una condición donde las influencias bióticas y abióticas no amenacen los objetivos de manejo prospectivo desde el punto de vista utilitarios hacia el futuro. La definición de salud forestal debe incluir índices de procesos ecológicos, números y arreglos de los elementos de la estructura que caracteriza a la diversidad, productividad y los ecosistemas forestales en los principales regiones biogeográficas (Kolb, *et al*/1994). El concepto de salud forestal se usa para describir los complejos factores que influyen en el ecosistema, usa el crecimiento de un periodo que demanda los recursos naturales que comprenden los problemas de salud (Kolb, *et al*/1994).

El diccionario de silvicultura define salud forestal como una condición comprendida derivada a partir de los conocimientos acerca de edad, estructura, composición, función, vigor, presencia de niveles fuera del común de insectos o enfermedades y resistencia a las perturbaciones (O'Laughlin y Cook. 2003). La salud forestal es un concepto que se aplica a todos los sistemas complejos y dinámicos que se usen para describir y evaluar sus condiciones. La Sustentabilidad, organización de sistemas de mediciones a multiescala, resistencia,

función y productividad, son propuestos como concepto de la estabilidad o ausencia de enfermedades, es decir, elementos para evaluar un bosque sano.

Desde hace décadas, los servicios forestales alemanes empezaron a inquietarse, primero en Baviera, después en la selva negra, por la degradación del estado de salud del abeto, el roble, picea. Su deterioro parecía ser un fenómeno de causas múltiples y mal delimitadas, (Bonneau y Landmann, 1990), en Francia, también se observó daño en el macizo de los Vagos, principalmente defoliación en coníferas (Figura 4.1). En resultados preliminares se encontró que los mismos síntomas de enfermedad que se presentan en Europa se observan en América del norte (Hinrichsen, 1987).



Los síntomas que presentan los bosques son varios afectando el crecimiento, la vitalidad y teniendo como resultado la muerte, conocido como decline forestal o llamado fenómeno Waldsterben (Schütt, y Cowling, 1985). Este síndrome se caracteriza por reducir pérdida de nutrientes, la producción primaria, incrementa la

fluctuación en diferentes tipos de poblaciones, retrogresión en estructuras bióticas, pérdida de biodiversidad, frecuencia general y severa de enfermedades.

Debido a los síntomas que provocaban el decaimiento de los bosques (principalmente hacia el abeto) surgió una gran inquietud que reinaba en la República Federal Alemana a principios de los años ochenta, a propósito de un fenómeno que parecía afectar considerablemente grandes extensiones de superficies forestales y que constituye uno de los principales factores que han estimulado la puesta en marcha de programas de evaluación de los daños y la investigación sobre las causas del fenómeno en la casi totalidad de los países europeos y en Norteamérica.

Los programas de monitoreo de salud forestal (FHM) son programas que marcan una evaluación anual de las condiciones, cambios y direcciones en salud de los ecosistemas forestales en los países europeos y de Estados Unidos. Los principios ecológicos de acuerdo al criterio son productividad, diversidad, vitalidad, conservación de suelo y agua y ciclo de carbón (Binkley, *et al* 2000).

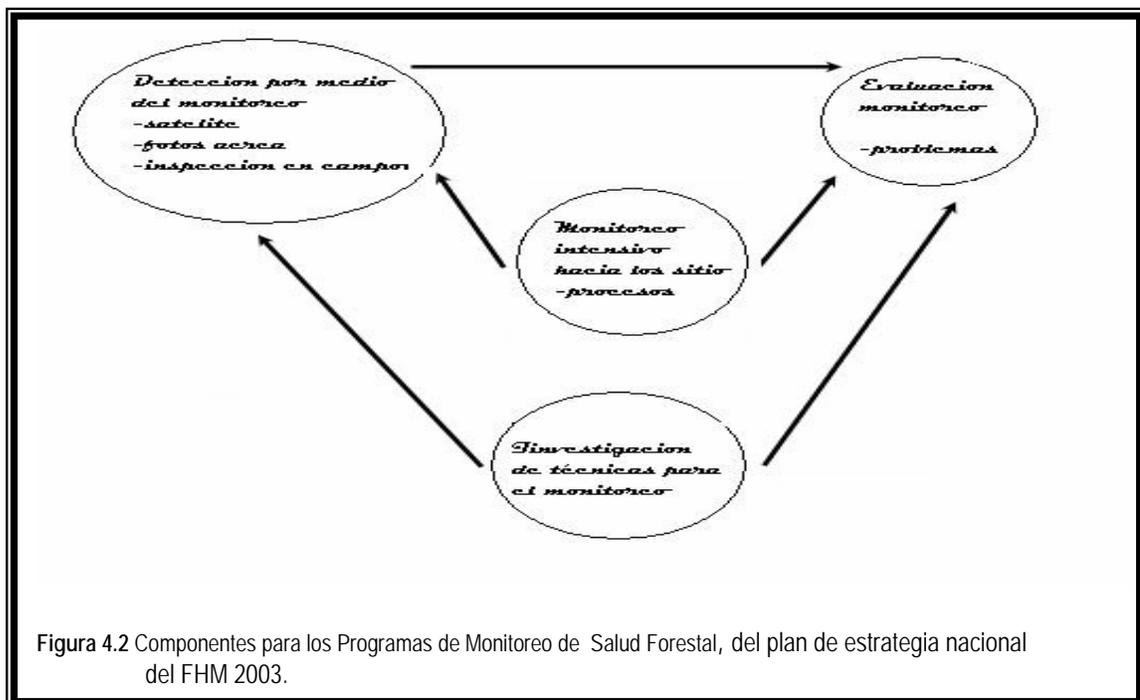
El programa FHM realizan actividades necesarias para:

- Estimar y conocer el estado actual, cambios y direcciones en seleccionar los indicadores de las condiciones del ecosistema forestal.
- Identificar asociaciones entre cambios y direcciones de los indicadores del ecosistema forestal e indicadores de estrés causado naturalmente y por el humano, incluyendo cambios en la extensión del bosque y la distribución.
- Identificar mecanismos de la estructura del ecosistema y función a través de un monitoreo de los procesos del ecosistema de sitios monitoreados intensivamente.
- Suministrar información de la salud de los ecosistemas forestales anualmente y reportar periódicamente las políticas y las decisiones de manejo.

El programa FHM esta interrelacionado con otras actividades de monitoreo, como son:

- Detección de monitoreo- aéreo estandarizado y grupos que examinen para evaluar el estado y cambios en las condiciones de los ecosistemas forestales;
- Evaluación de monitoreo- proyectos para determinar extenso, severo y causas de cambios indeseables en la salud forestal identificados a través de la detección en el monitoreo;
- Monitoreo intensivo en los sitios- el intercambio que comprende la relación causa –efecto y problemas a escala a espacio múltiple y temporal;
- Investigación de técnicas para el monitoreo: desarrollar indicadores, sistemas de monitoreo y técnicas analíticas, detectar especies invasoras, análisis multivariable de los indicadores de salud forestal y estadísticas geoespaciales,
- Análisis y reporte- síntesis de información a partir de varios datos interno o externos del FHM, de los daños producidos –manejar reportes del estado y cambios de salud del bosque en el ámbito regional, estatal, nacional.

Todos los componentes se unen (Figura 4.2) la información de los indicadores de salud es a partir del monitoreo que conduce a la evaluación de una extensión, severidad y probables causas de cambio en la salud



del bosque en la evaluación por monitoreo. El monitoreo de sitio conceptualmente une a otros componentes para una evaluación más rigurosa de la relación causa- efecto, determinando los indicadores de salud del bosque y uniendo los estudios de los procesos de los ecosistemas que forma el ecosistema forestal. La investigación de las técnicas de monitoreo confirma el monitoreo en todas las escalas. Los resultados del análisis y reporte de todos los componentes suministran información que ayuda a mantener las políticas y decisiones en el manejo de la tierra.

El programa FHM tiene la responsabilidad de monitorear y reportar la salud de los ecosistemas, incluyendo los efectos de contaminación del aire y enfermedades e insectos y otros efectos estresantes en el ecosistema forestal a una escala regional. Examinar por medio del programa el crecimiento de los árboles, mortalidad y apariencia de la copa y daño del árbol causado por insectos, patógenos, agentes abióticos.

www.rms.nau.edu/publications/rm.

Las metas del FHM son:

1. - Detectar los cambios de salud del bosque a escalas espacial múltiple
2. - Identificar y evaluar las causas de los cambios de salud del bosque.
3. - Reportar la salud del bosque puntualmente de manera que facilite el manejo.
4. - Desarrollar y aplicar nuevas técnicas de monitoreo para la detección de los problemas de salud del bosque.
5. – Evaluar las respuestas o cambios significativos de la salud del bosque en sus procesos y mecanismos funcionales del ecosistema.
6. – Garantizar la credibilidad, eficiencia y justificación de los programas.
- 7.- Adscripción a los programas internacionales para la conservación y preservación de los recursos naturales.

La información de los indicadores de salud forestal, obtenida por el monitoreo continuo de ellos mismos, evalúa los cambios en los factores bioecológicos del ecosistema. Por ejemplo, Canadá propone la utilización de parcelas específicas, totalmente protegidas dentro del bosque en estudio, se monitorean bajo un protocolo de investigación (ARNEWS, 2000) previamente establecido, en el cual se incluyen los indicadores. El monitoreo intensivo en los sitios une a otros componentes para evaluar la relación causa y efecto del decline forestal. La evaluación es a todas las escalas (regional, meso regional, continental) en orden inductivo (parcela- biota- comunidad- ecosistema) es la técnica de monitoreo más precisa. El análisis y reporte de los resultados de todos los componentes suministran información para (FHM) conformar una base de datos regional-meso regional (como se utiliza en la Unión de Países de la Comunidad Europea) para ayudar a mantener el manejo de políticas y decisiones (USDA, 1994)

Los indicadores son mediciones, de los procesos bioecológicos que permiten entender la función y estructura del ecosistema forestal. La elaboración de los protocolos de investigación se construye a partir de la información básica de los inventarios forestales, junto con otras investigaciones con enfoque ambiental y ecológico. De acuerdo a Angermerer y Karr (1994) los indicadores responden al estrés, fácilmente medidos y evaluados, distinguibles a partir de una variación natural y socialmente significativa. Mucho de esos indicadores son basados en simple variables, cuando describen parte limitada de los sistemas y no retratan la funcionalidad y complejidad estructural de los ecosistemas. Un método multivariado referido como un índice de una integración biótica que fue compuesta de medidas para abundancia de especies, composición, riqueza, trópico y función reproductiva y condición (Karr, 1981).

Ya establecidos los programas de monitoreo para la evaluación de la salud forestal se ha trabajado sobre la definición de " salud forestal", la definición es el producto de una colaboración interdisciplinaria, y muchos autores la han desarrollado como Kolb *et al* (1994) propone que " *todos los problemas que giran alrededor de*

la sustentabilidad, resistencia y mantenimiento, de la estructura y funciones del ecosistema forestal y proporcione múltiples beneficios y productos"; Percy y McLaughlin (1999) proponen " *la capacidad de suministrar agua, nutrimentos y energía que conduzca a la productividad donde mantenga la resistencia de los estresores bióticos y abióticos*" Percy (2002) hace un listado de atributos que contribuyen a la salud forestal: producción primaria neta, ciclos bioquímicos, flujo de agua, ciclo de materia orgánica, ciclo de insectos, incidencia de enfermedades. Estos procesos son el producto de las influencias/características del pasado y presente del la estructura del ecosistema, incluyendo la estructura del rodal, la historia de la vida de las especies, la diversidad genética, calidad del suelo, la historia del sitio y las prácticas manejadas. También hace referencia de que la contaminación del aire conduce a un mal estado de salud (Percy y Ferretti, 2004).

Sin embargo el servicio forestal USDA aun no ha adaptado una definición oficial de salud forestal, pero se tiene una definición provisional. Twery y Gottschalk (1996) proponen que "*la salud forestal es una condición donde el bosque tiene la capacidad a través del paisaje para renovarse y recuperarse a partir de un rango ancho de perturbaciones y para retención de la resistencia ecológica, donde reúna las necesidades actuales y futuras de la población, desencadenar niveles de valores, usos, productos y servicios*" (www.rms.nau.edu/publications/rm), y esta sería mi propuesta de conceptualizar la salud forestal de los bosques de México.

4.2. SÍNTOMAS QUE MANIFIESTAN LOS BOSQUES ENFERMOS EN TODO EL MUNDO.

Schutt & Cowling (1985) presenta las manifestaciones de las enfermedades en tres síntomas generales:

4.2.1. Crecimiento decreciente.

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

b) La disminución de entrada de nutrimentos a la biomasa de raíces: Hay menor abundancia de micorrizas, se reduce la capacidad para formar nuevas raíces alimentadoras e incrementa la frecuencia de infecciones

c) Decrece el crecimiento: Reduce el crecimiento del diámetro, la fotosíntesis se ve afectada, se presenta senescencia prematura en las hojas, se incrementa la susceptibilidad al ataque de patógenos en las raíces y en la hoja, comienzan a morir como resultado de de la disminuyan de crecimiento, así como también muerte de las herbáceas.

4.2.2. Crecimiento anormal y estrés provocados por varios factores.

a) El rompimiento de la actividad en las agujas y raíces; la formación de nido de cigüeña, este síntoma ocurre solamente en el abeto. La formación es a partir de los 130 años sin embargo se esta presentando a partir de los 25 a 30 años, este síntoma puede ser típica de senescencia prematura.-alteración de las ramas.

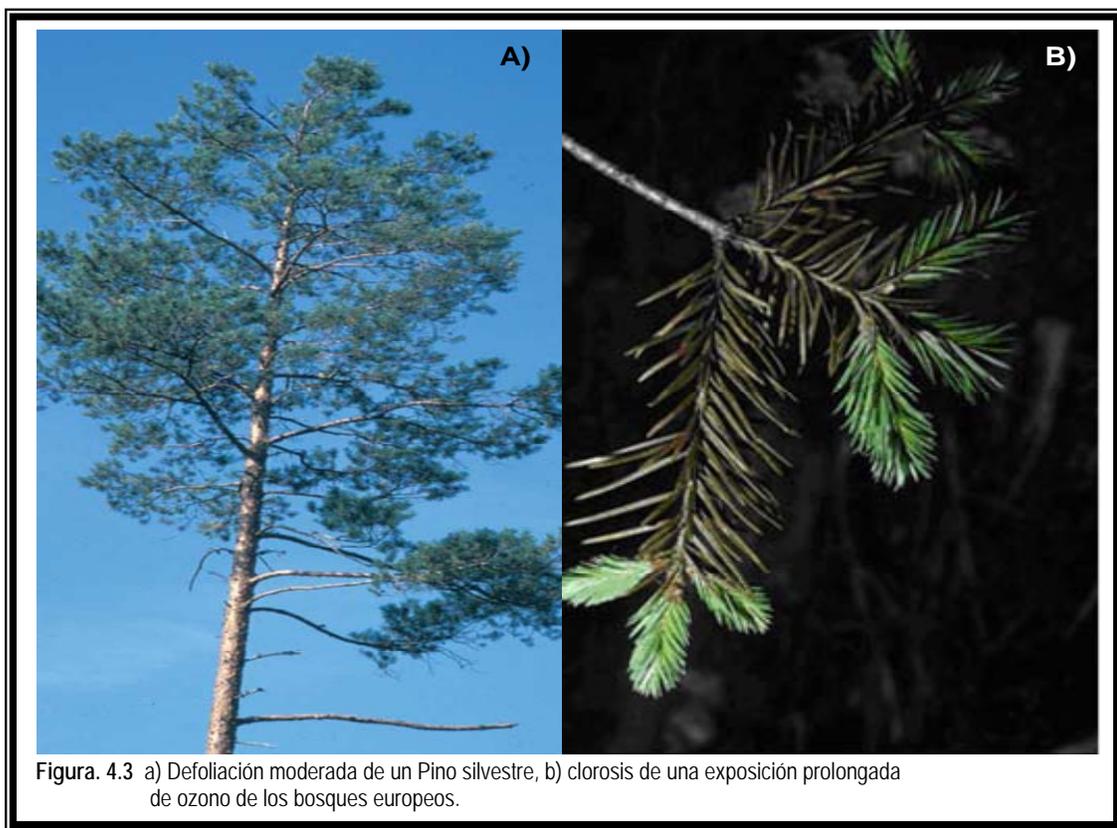
b) Alteración morfológica y fisiológica del árbol: excesiva producción de semillas y conos, clorosis foliar, cambios morfológicos en la hoja.

Waldsterben o decline forestal se caracteriza por asociarse con factores secundarios de estrés, afecta a especies nativas y exóticas incluyendo las dos coníferas más importantes (*abeto, pino*) y angiospermas (*haya, abedul, roble, fresno, arce*); afecta a varias especies arbustivas, los síntomas son heterogéneos para una región, ocurre con intensidad en suelos ricos o pobres, ácidos o básicos, húmedos o secos, independientemente de su origen geológico. Los síntomas son mas frecuentes en lo alto de la montaña a diferencia de lo bajo de la montaña.

La intensidad de los síntomas varía de acuerdo a la especie, en el abeto afecta más a los árboles de 80-100 años que a los jóvenes, el tiempo a partir del primer síntoma a la muerte dura aproximadamente 5 años.

El primer síntoma que se presenta es la defoliación (Figura 4.3A), se caracteriza por la pérdida prematura de hojas, la copa se vuelve cada vez más transparente.

La defoliación es una respuesta del árbol a condiciones de estrés. Sin embargo, los árboles en decaimiento no recuperan el área follaje y además presentan otros síntomas de menor significado, la copa progresivamente se vuelve transparente; el segundo síntoma en importancia es la decoloración o clorosis (Figura 4.3B). Este síntoma se muestra en manchas en los extremos de las acículas o en la unión de estas con las ramas, las agujas enfermas se caracterizan por color verde grisáceo sus raíces se ven afectadas y su regeneración es pobre y las raíces se vuelven más susceptibles a patógenas como *Phytophthora sp.* *O. armillaria*.



Norway spruce (Picea abies) es muy susceptible a la sequía y huracanes, en ellos los primeros síntomas ocurren en los árboles adultos y afecta a los jóvenes solo en lo alto de la montaña, en las ramas el color cambia a amarillo, el tamaño, la transparencia por la pérdida de hojas, se ven afectados por parásitos secundarios tales como *Rhizosphaera kalkhoffii* o *Lophodermium spp.* causa cambio de color marrón a las

agujas y después caen. Es muy común y notable el síntoma de la abundancia de adventicios cortos formados en la parte superior de la rama de primero y segundo orden. El periodo de tiempo entre el primer síntoma y el estado de daño se presenta en semanas a 3 años. Para Pino de Escocia (*Pinus sylvestris*) distribuido en muchas parte de la Europa central, presenta síntomas de decoloración y pérdida de agujas afectando a los árboles de edad 40 a 80 años; la defoliación comienza en la base de la copa y se extiende hacia la parte superior, las agujas llegan a presentar la banda necrótica, el periodo entre el primer síntoma y el estado final de daño varia entre 1 y 3 años.

Para beech (*Fagus silvatica*) se ve afectado a partir de los 80 años, los síntomas más notables son la forma de la copa y la disminución de la densidad de la copa debido a los cambios morfológicos en las ramas, tamaño, forma y retención de hojas. La hoja comienza a caerse en junio, se incrementa la intensidad durante los meses de verano (Schütt, y Cowling, 1985). Se han observado muchos síntomas específicos como la formación de brotes epicormicos y la pérdida de crecimiento en la aguja terminal (Schütt y Cowling, 1985). A parte de la estimación del decline por síntomas externos, numerosos estudios han intentado explicar el decline mediante mediciones de crecimiento (Innes, 1993 en Colinas, 2004). Este es un buen indicador del vigor y la salud del árbol (Colinas, 2004) sin embargo, varios estudios concluyen que el abeto esta creciendo hoy mas que anteriormente, a pesar de la tendencia generalizada al alza en la década de los 70s, precediendo a los periodos del decaimiento en Europa, hubo un periodo bajo de crecimiento también generalizado en todo el continente.

Este periodo de bajo crecimiento no fue exclusivo del abeto, otras especies siguieron el mismo patrón lo que implicaría un periodo climático adverso en el ámbito europeo. Las masas arbolado de los Vagos, en Europa sufrieron unas heladas tardías dentro de este periodo y sus masas estaban más susceptibles a la sequía de los años 70's; así los fenómenos climáticos locales deben ser tendidos en cuenta para la comprensión del problema. Existe una relación clara entre crecimiento y clima y entre crecimiento y decaimiento, sin embargo, esta relación no es tan clara cuando hablamos de decaimiento y clima (Colinas, 2004).

El síntoma del decaimiento más importante en la masa forestal, es la falta de regeneración natural. El abeto se considera una de las especies más tolerantes a la sombra, este temperamento lo hace especialmente apto para estructuras irregulares del bosque (Gras *et al* 2004, en Colinas, 2005) A pesar de esto, la especie muestra una gran plasticidad de captación a diferentes grados de insolación. La viabilidad de la regeneración del abeto esta afectada por factores externos en la fase de instalación de las semillas y supervivencia de las plántulas.

En la fase de instalación el regenerado precisa de protección, dada la sensibilidad de la viabilidad de las plántulas en función de características micro climático. Posteriormente existe un efecto de toxicidad de los lixiviados procedentes de la copa y tronco de los árboles dominantes.

4.3. PERTURBACIONES O CAUSAS QUE PROVOCAN DECLINE FORESTAL.

El programa FHM reporto perturbaciones hacia el paisaje del bosque estas perturbaciones son: procesos geológicos (volcanes, terremotos y temblores) son eventos geológicos ocurridos durante el movimiento de la tierra, la duración de estos eventos puede destruir vegetación sobre grandes áreas (Dale, 2000).

Fuerza climática: La atmósfera y el océano actualmente influyen en el clima a escala global. Las condiciones regionales y topografía local afectan fuertemente a los ciclos climáticos. Estos ciclos provocan muchas perturbaciones, incluyendo viento o tormenta, sequía e inundaciones, avalanchas y derrumbes. La temperatura y la humedad a los insectos y plantas y hospedero. El cambio de clima influye en la sustentabilidad del sitio. Una especie puede morir en un área en condiciones menos favorables o invadir nuevas áreas más favorables.

Las sequías afectan el crecimiento de los árboles produciendo deficiencias de agua en sus tejidos. Las deficiencias internas de agua son controladas por las tasas relativas de absorción de agua, transpiración y por

la redistribución interna de la misma. Cuando disminuye el contenido interno de humedad de los árboles, se afecta procesos fisiológicos dando como resultado una reducción de crecimiento. Las sequías inhiben tanto el crecimiento de los brotes como el diámetro durante el año que ocurren, pero el efecto se prolonga en años posteriores. Muchas veces en situaciones extremas se desprenden hojas verdes.

El fuego: Dependiendo de la frecuencia e intensidad sobre la vegetación los incendios pueden tener un papel importante para dar forma al panorama forestal. Su frecuencia y su intensidad determinan parcialmente si la mayoría de los rodales serán jóvenes o viejos, coetáneos o de todas las edades, de sucesión inicial o clímax. Estas características afectan las poblaciones de vida silvestre, el crecimiento forestal y las condiciones de insectos y de enfermedades. Los incendios superficiales ligeros queman gran parte de la capa de hojarasca y una parte de la vegetación en el subnivel. Los incendios (Figura 4.4) son provocados por rayos o negligencia y prácticas agrícolas.



Figura. 4.4 Representación de un incendio en el bosque de coníferas, en los años 70 en Europa (Tomado de informe ejecutivo 2004, estado de los bosques europeos).

Las especies que son resistentes a los incendios poseen características que les permite colonizar rápidamente y dominar a las áreas severamente quemadas. Una especie tolerante puede crecer relativamente bien cuando disponen de poca luz, pero no manifiesta grandes aumentos de crecimiento a medida que se eleva los niveles

de esta. Una especie intolerante manifiesta las tendencias opuestas, un crecimiento muy pobre, a bajos niveles de luz, pero tasa de crecimiento mas rápidas que las especies tolerantes.

Insectos y enfermedades: Los insectos y enfermedades tradicionalmente están enfocados a la salud forestal; Se integran a la función del ecosistema forestal. Ellos tienen el papel de reciclaje de nutrientes y perturbación a pequeña escala (Dale, *et al*/2000). Las perturbaciones bióticas y abióticas del bosque, como el incremento en las poblaciones de insectos y proliferación de enfermedades, sequía, heladas o fuego, son influencias naturales en los ecosistemas forestales, que operan a intervalos regulares o irregulares.

La frecuencia de estas perturbaciones y su intensidad sobre el paisaje son variables. Cuando se evalúa la significancia de un insecto determinado o la aparición de una enfermedad, es de importancia crucial comparar la magnitud de la perturbación con la pauta histórica, especialmente en términos de extensión, intensidad y frecuencia. Si esta se incrementa fuera del rango histórico de variación es probable que la salud del bosque, medida por los criterios e indicadores, este declinando.

Las epidemias no reducen substancialmente la salud del bosque sino que son un factor de su transformación. La muerte del piso dominante, maduro y estancado, permite que más luz y nutrientes lleguen a las especies de pisos superiores, que entonces muestran un crecimiento acelerado y ocupan el espacio libre. Sin embargo, el pernicioso avance de las enfermedades de las raíces suprime durante largos periodos áreas de productividad forestal (Singh, 1981).

La influencia humana: en el pasado y presente actúan sobre los bosques en tala (Figura 4.5) cosecha e indirectamente la contaminación. Estas perturbaciones provocadas por los humanos afectan a los bosques, a una escala que esta lejos de ser natural y si ocurre por primera vez en la historia del ecosistema, el sistema

carece de recuperación. La escalada de impactos humanos exagera las fluctuaciones en las relaciones entre plaga y anfitrión, forzando la aparición de condiciones que son demasiado rápidas para que las relaciones simbióticas se ajusten a ellas.



La tala clandestina en el Parque Nacional Iztapopo, mas otros factores impactantes nos entrega en la actualidad un bosque con una cubierta vegetal arbórea menor al 60 % de su capacidad total (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2006).

Sus efectos sobre el crecimiento y la mortalidad de los árboles han ocupado el primer plano en los años recientes. Estos factores han afectado la concentración de CO₂ en la atmósfera, los ciclos de nitrógeno de los suelos, la concentración de ozono atmosférico y la modificación de las temperaturas ambientales. En general los contaminantes reducen el vigor, haciendo a los árboles más susceptibles al ataque de insectos y enfermedades como se ha visto el incremento de actividad y densidad de población de larvas de lepidópteros,

polillas, barrenadores y los escarabajos que se alimenta de médula (como el *Agilus bilineatus*) en los bosques de roble y nogal americano, lo que corresponde con el incremento en la acidez del suelo (Alfaro y Sing, 1997)

Los contaminantes atmosféricos tienen un significado acumulativo de efectos en los ecosistemas forestales afectando la regeneración, productividad, composición de especies (Nebel y Wright, 1999). Los contaminantes conducen a diferentes cambios en los procesos fisiológicos que influyen a futuro en la salud del bosque. En el oyamel provoca disminución en el vigor del arbolado y generando condiciones que resultan propicias para el desarrollo de plagas o enfermedades, hasta ocasionar su muerte.

Los contaminantes del aire se dividen en primarios y secundarios; los primarios son:

1. Partículas suspendidas: Se trata de una mezcla compleja de partículas sólidas y aerosoles (partículas líquidas) suspendidas en el aire. Los vemos como polvo, humo y niebla.
2. Compuestos orgánicos volátiles: gasolina, solventes de pintura y soluciones limpiadoras orgánicas, monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NOx), óxido de azufre, sobre todo dióxido de azufre (SO₂), plomo y otros metales pesados; estos son los productos directos de la combustión y evaporación. El resultado de la oxidación incompleta del carbono es el monóxido de carbono (CO), en tanto que el de la completa es el dióxido (CO₂). La oxidación ocurre en el aire, que es el 78% de nitrógeno y 21% de oxígeno y se convierte en dióxido de nitrógeno (NO₂) y tetróxido (N₂O₄) de nitrógeno, compuesto que se llama en conjunto óxidos de nitrógeno.

Los contaminantes secundarios son:

3. Ozono y otros oxidantes fotoquímicos. Se forman como resultado de reacciones químicas entre óxido de nitrógeno y dióxido de azufre con los compuestos orgánicos volátiles del carbono; en presencia de la luz solar.
4. Sustancias tóxicas y el radón.

Los ácidos sulfúricos y nítricos también se consideran contaminantes secundarios, ya que son producto de la reacción del dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno con la humedad del aire y oxidantes como el hidroxilo (Nebel y Wright, 1999).

En la zona Metropolitana de la Ciudad de México, las industrias y vehículos generan una emisión estimada de 4,356 391 ton (Cuadro 4.1) de los contaminantes más importantes: dióxido de azufre y oxido de nitrógeno, hidrocarburos, monóxido de carbono y partículas suspendidas. El ozono puede causar daño foliar y es frecuentemente medido por niveles fototóxicos. El ozono causa daño foliar visible, reduciendo la actividad fotosintética, e incrementando senescencia en la hoja, otros efectos en exposición prolongada ocasionada, reducción de crecimiento y predisposición a plagas. Algunas especies son más sensibles al ozono y otras son más tolerantes (Coulston *et al*/2004).

Cuadro 4.1 Inventario de emisiones por sector en 1989(Tons/año) (Sánchez, 1996) Tomados de Quadri. 1992.

Sector	Fuentes	NO _x	HC	CO	PST	SO ₂	Total
Energía	PEMEX.	3233	1730	52645	1154	14781	103543
	Termo-Elec.	6613	113	560	3545	58247	69078
Industria y servicio	Ind. Elec...	28883	39981	15816	10242	65732	160654
	Mercantiles	3988	121	466	2469	22060	29104
Transporte	Privados	41796	141059	1328133	4398	3577	1519123
	Taxis	9518	319864	301162	997	806	344469
	Combis y microbuses	10059	2748	404741	1062	856	459196
	R-100	8058	2439	6260	240	5554	22221
	Autobuses	18262	5298	12612	601	13062	49835
	A gasolina	16994	67864	779585	1186	955	866584
	A diesel	26126	7293	16515	923	20063	70920
Otros: avión, tren, etc.	2698	1693	5040	142	251	9820	
Degradación ecológica	Erosión	0	0	0	419439	0	419439
	Incendios y otros	931	199776	27362	4201	131	232401
Totales		177339	572101	2950627	450599	205725	4356391

El depósito ácido está formado por emisiones de dióxido de sulfuro (SO₂), óxido de nitrógeno (NO_x) y amonio, sulfato (SO₄) nitrato (NO₃) y amoníaco (NH₄), estos son depositados en forma de humedad (lluvia, nieve granizo)

La entrada de sulfuro y nitrógeno puede depositarse en forma seca; los efectos pueden ser indirectos tales como acidificación de suelo y agua, nutrición del árbol y efectos directos tales como daño foliar (Coulston, *et al* 2004).

May *et al* en 1990 discute las investigaciones dirigidas a los efectos de la lluvia ácida en los ecosistemas forestales de Canadá concluyendo que:

- Los depósitos ácidos hacen sensible al ecosistema forestal
- Las deficiencias foliares en los rodales están asociadas con el balance de catión en el suelo, se incrementa la acidez del suelo y decrece la saturación de bases.
- El depósito seco y lluvia ácida alteran las características químicas y físicas de la cutícula-la delgada capa cerosa cubre la superficie de las hojas el daño de la cutícula acelera el envejecimiento natural generalmente marca niveles de menor vigor. Así el daño gira en la capacidad del árbol con otros estresores tales como sequía, enfermedades, plagas e incremento de radiación ultravioleta-B (UV-B)
- Los contaminantes gaseosos causan un decremento en la fotosíntesis y en la entrada de nutrimentos.
- La prolongación de depósito ácido altera la composición química del suelo causando menor disponibilidad de nutrimentos en el suelo e incrementa la concentración de aluminio, del cual interfiere en la entrada de calcio y otros nutrimentos de plantas.
- Las deficiencias nutrimentales son el resultado inicial de un crecimiento bajo y como consecuencia el declive de la productividad afectándose el bosque.

En la troposfera sube el smog industrial y el smog fotoquímico, llevándose a cabo diversas reacciones, la destrucción fotoquímica del ozono es el principal proceso de su descomposición en la troposfera; el radical hidroxilo reacciona al instante con muchos contaminantes que vuelven a la tierra por precipitación (Figura 4.6). Los contaminantes gaseosos como dióxido de azufre, óxido de nitroso, ozono y los PANs ocasionan daño directo a las hojas de plantas de cultivo y árboles cuando entran por los poros o estomas. La exposición

crónica de las hojas a los contaminantes del aire, hacen mas delgada la cubierta cerosa y ayudan a evitar la pérdida de agua y heladas.

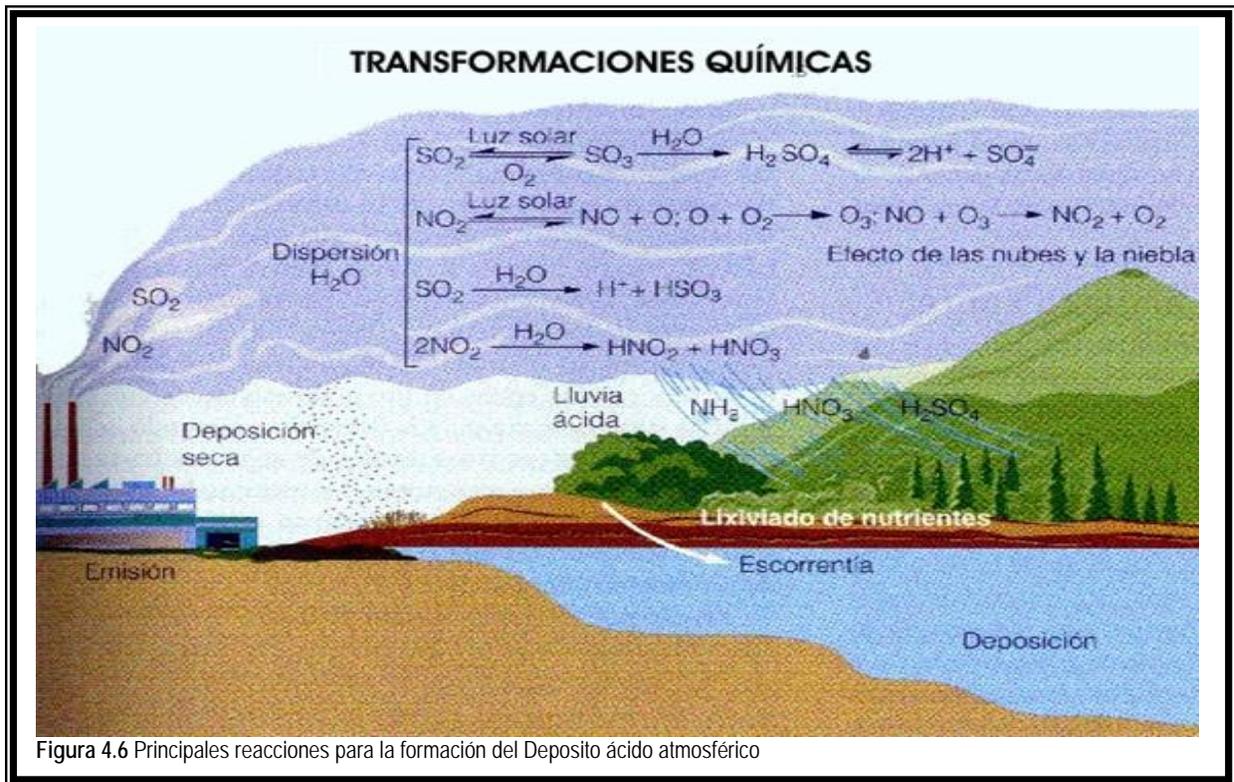


Figura 4.6 Principales reacciones para la formación del Depósito ácido atmosférico

Dicha exposición también interfiere en la fotosíntesis y el crecimiento de la planta, reduce la absorción de nutrimentos y ocasiona que las hojas y agujas se pongan amarillas o de color café y se caigan. El abeto, pino y otras coníferas, especialmente en grandes altitudes son altamente vulnerables ante los efectos de la contaminación del aire debido a su larga vida y a la exposición crónica durante todo el año de sus agujas al aire contaminante, además de ocasionar el daño directo a agujas y hojas, la depositación ácida puede lixiviar nutrimentos como calcio, magnesio y potasio del suelo y mata a los microorganismos indispensables del suelo.

Los contaminantes gaseosos también libera iones aluminio, que normalmente están unidos a partículas del suelo, hacia el agua edáfica o suelo, ahí dañan los finos pelos de las raíces, modificando la capacidad de

éstas para absorber agua del suelo, reducir degradadores de materia orgánica, hacer a los nutrientes disponibles para las plantas y a estas más vulnerables a los daños o a la muerte por sequías o heladas, insectos, hongos, musgos y enfermedades.

En general las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno reaccionan con los radicales hidroxilos y el vapor de agua de la atmósfera para formar sus ácidos respectivos, que caen como deposición ácida seca o húmeda, provocando varios efectos hacia los ecosistemas.

4.4. ESTADO DE LA COPA

La condición de la copa es un indicador importante para el desarrollo de la condición del bosque. La decoloración y defoliación son los mayores parámetros en la evaluación de la copa en la reexaminación transnacional. El estado de la defoliación es evaluada por 5 a 10% a partir de un árbol sano. Dentro de los rangos de defoliación se tiene 5 clases, como aparece en la tabla, del mismo modo se tiene para la decoloración.

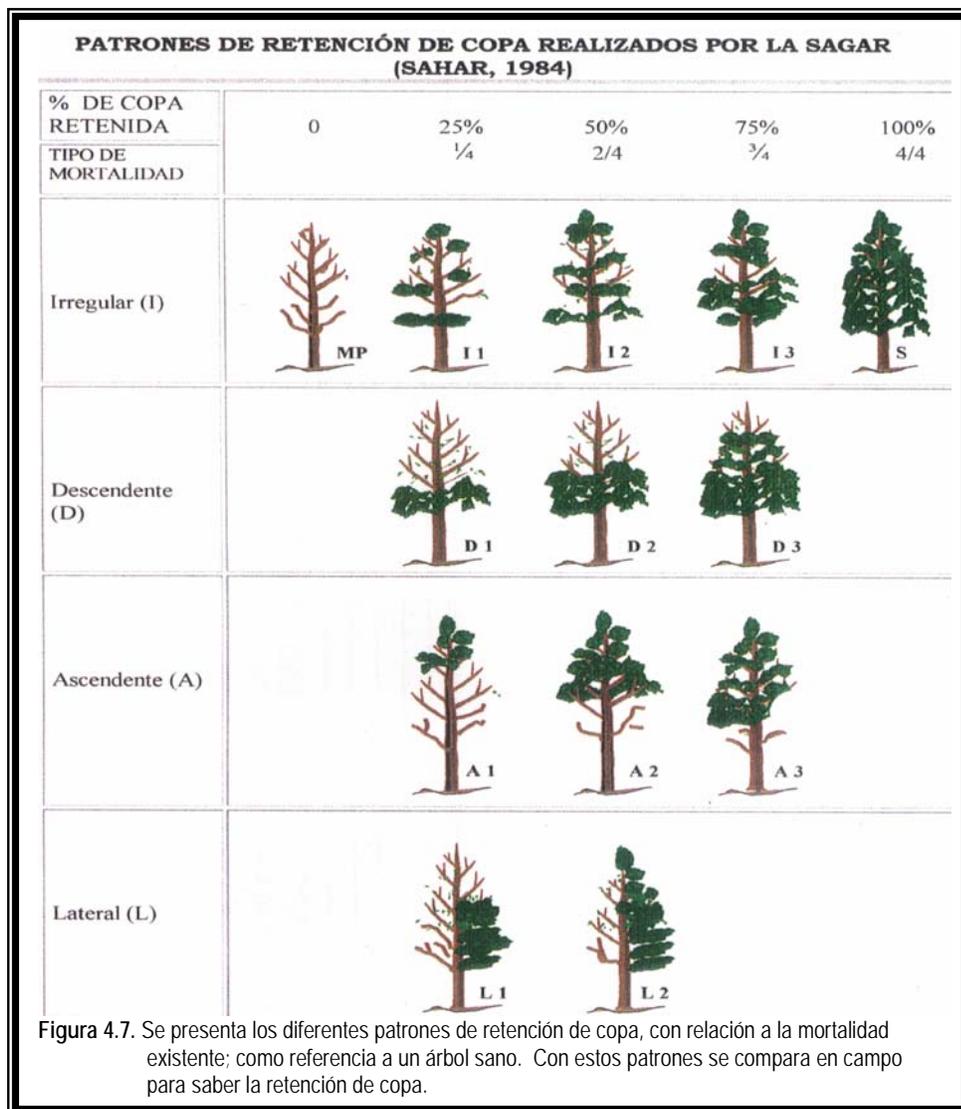
El programa UN ECE hizo mención a cerca de la reexaminación de 33 estados de los cuales la reexaminación puede ser muy intensa dependiendo del estado de salud. Por ejemplo en Finlandia se uso 5 variables (Cuadro 3.2) para evaluar la vitalidad del árbol: defoliación, degeneración de copa, decoloración de hoja o aguja, años del cono (Mulgrew y Peter, 2000).

Cuadro 4.2. Clases de defoliación y decoloración de acuerdo a UN ECE y EU (Lorenz 1999 en Mulgrew y Peter, 2000)

CLASES DE DEFOLIACIÓN	PERDIDA DE HOJA/AGUJAS	GRADO DE DEFOLIACIÓN
0	> 10%	NINGUNO
1	> 10-25%	LIGERO
2	> 25-60%	MODERADO
3	> 60- <100%	SEVERO
4	100%	MUERTE
CLASES DE DECOLORACIÓN	DECOLORACION DE FOLIAJE	GRADO DE DECOLORACIÓN
0	> 10%	NINGUNO
1	> 10-25%	LIGERO
2	> 25-60%	MODERADO
3	> 60- <100%	SEVERO
4	100%	MUERTE

El daño visible que afecta a las coníferas es observado como respuesta a SO₂. Las agujas jóvenes muestran clorosis y son libremente desarrollados el rodal. A edad media frecuentemente muestra decoloración amarillo y rojo marrón sucedido por necrosis, la necrosis afecta la primera punta (Mulgrew y Peter, 2000).

El sistema propuesto por la República Federal Alemana, adoptado por muchos países europeos, entre ellos Francia, se basa en la estimación visual de la pérdida de hojas o agujas del árbol (Figura 4.7), a comparación de un árbol normal es la defoliación. Del mismo modo se procede para la estimación de la proporción de Follaje que presenta una alteración de color; en general se trata de un amarillamiento. La obtención de



resultados estrictamente comparables de una región a otra es sensiblemente más difícil por la gran variabilidad de forma de los árboles en función de las condiciones ecológicas, así como el sesgo atribuible a los observadores que ha pesar de los esfuerzos de homogeneización, no tienen la misma percepción de "árbol

sano". La definición de los umbrales adecuados desde un punto de vista fisiológico es claramente problemática.

Por supuesto podría admitirse que un 10% de defoliación corresponde al umbral detectable por el ojo humano, que el 25% de defoliación corresponde, al menos para algunas especies, al umbral de pérdida de crecimiento con respecto a los árboles sanos y que un 60% de defoliación corresponde a un umbral de irrevisibilidad de la afección. Pero estos no son válidos para todas las especies ni todos los aceptan (Bonneau y Landmann, 1989).

Alvarado y Galindo, (1993) realizaron un estudio en el bosque desierto de los leones y el bosque del ajusco para evaluar las condiciones de la copa, utilizando el sistema de estimación visual propuesto por la Republica Federal Alemana y realizaron un análisis químico a las hojas para detectar las posibles alteraciones celulares en sus tejidos y en los cambios de concentración de elementos Cu, Fe, Zn, y Mn.

El color rojo-marrón de las hojas es observado ya que las células del tejido de palisade muestran una acumulación de material. Estas substancias fueron de compuestos fenolicos; el análisis químico de estas hojas indicaron deficiencia de Mg con relación a la salud de estas. Como hipótesis de este estudio fue: la posible relación que la contaminación del aire de la ciudad de México que al ser transportada por los vientos a los bosques del valle de México causa el decline forestal. Este estudio confirma que la aparición de diversos síntomas ya mencionados es debido a las concentraciones de ozono, responsable del bajo vigor de oyamel.

La secuencia de síntomas a parecen en los árboles del parque suponiendo la posibilidad que el aire contaminado es el agente casual o el agente predisposición al decline.

Las razones son las siguientes, las áreas más afectadas son localizadas por el barlovento donde las masas de aire contaminados son arrastradas desde la Ciudad de México; los árboles pierden vigor gradualmente la forma cónica de la copa.



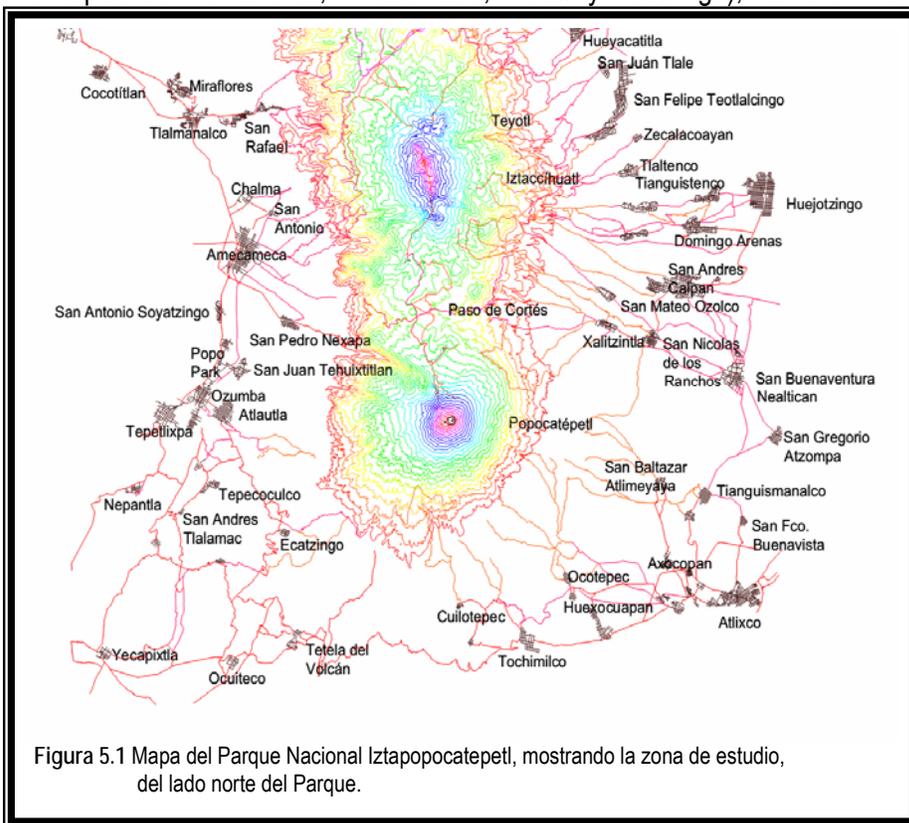
Figura 4.8 Oyamel con una defoliación del 25 % de retención de copa en el Parque Nacional Iztapopocatepetl.

Acompañado por una intensa defoliación y mortalidad de ramas en la parte baja de la copa (Figura 4.8), como consecuencia de la continua acción de un factor sobre muchos años, estos efectos son más severos al paso del tiempo (Alvarado y Galindo, 1993).

V. METODOLOGIA

5.1 SITIO DE ESTUDIO

a) *Localización*.-El Iztaccihuatl es un volcán con una altura de 5286 msnm que presenta tres elevaciones alineadas de norte a sur, conocidas como la cabeza (5116msnm) el pecho (5286 msnm) y los pies (4740msnm), el significado del nombre es de origen náhuatl significa “mujer blanca”. Se encuentra en el sistema ortográfico de la Sierra Nevada originado durante el terciario por actividad volcánica. Su ubicación geográfica se localiza entre los meridianos de coordenadas $98^{\circ} 42' 54''$ y $98^{\circ}42'40''$ longitud oeste y entre los paralelos $18^{\circ}54''$ y $19^{\circ}15'30''$ de latitud norte. El Parque Nacional Izta-popo tiene un área de 25, 679ha ubicado en el eje neovolcanico transversal y se encuentra localizado entre los límites de los Estados de México, Puebla y Morelos, aproximadamente a 80Km al suroeste de la ciudad de México; (con los Municipios de Tlamanalco, Amecameca, Alauta y Ecatzingo); También Municipios de Huejotzingo, San



Salvador el verde, Domingos Arenas, San Nicolás de los Ranchos, Tochimilco (Puebla), Municipio de télela del volcán (Morelos) tiene una superficie de 25,679 ha y un rango latitudinal que va de los 3600msnm a los

5452 msnm (www.ecoturismolatino.com/esp/ecoviajeros/guia/paises/mexico/destinos/anp/pniztapopozoquiapan.htm).

El sitio de estudio fue de lado norte del Parque Nacional Iztapopocatepetl, en el bosque de oyamel, con una extensión de 3,848.5 m², las coordenadas son 19°05'04 N y 98°40'47W a 3035m (Figura 5.1). En esta área posee la mayor densidad, frecuencia, abundancia y diversidad, cuya cota altitudinal va de los 2600 a los 1850msnm A priori a esta zona de amortiguamiento contiene la reserva de la biodiversidad más importante en el mismo Parque Nacional.

b) Suelo.- Los suelos predominantes que se encuentran en esta zona es Andosol, esto es, suelo joven derivado de cenizas volcánicas. Se extiende en el 22% del estado, se considera de baja calidad agrícola. Le siguen los Foezem que cubren el 2.15 del territorio estatal y se localiza en las partes intermedias y bajas de montañas. Los vertisoles con 14% del territorio, seguido con un 11% los Regosoles y con pedregosidad (www.ecoturismolatino.com/esp/ecoviajeros/guia/paises/mexico/destinos/anp/pniztapopozoquiapan.htm

c) Clima.-El Parque tiene una de sus características principales en torno a las diversas condiciones climáticas, debido a su topografía y ubicación. La variedad de clima abarca desde un clima de tipo templado húmedo hasta un clima frío a muy frío. Existe una red de estaciones meteorológicas en el área de influencia del Parque, sin embargo no se cuenta con estaciones a una altura mayor a 4000 msnm. Por lo que no se tienen registros de las zonas más frías y que es donde se presentan los glaciares y las nieves eternas (www.ecoturismolatino.com/esp/ecoviajeros/guia/paises/mexico/destinos/anp/pniztapopozoquiapan.htm).

d) Vegetación.- La vegetación se divide en matorrales áridos (xerófilos), bosques templados, bosques de encino, bosque de oyamel, bosques mesófilos de montaña, vegetación de humedales (acuática y subacuática) y la selva baja caducifolia (www.ecoturismolatino.com/esp/ecoviajeros/guia/paises/mexico/destinos/anp/pniztapopozoquiapan.htm).

e) Descripción de la especie.- El área de estudio es un bosque de oyamel del cual esta compuesto por la especie *Abies religiosa* desde el punto de vista económico es la especie arbórea dominante de la región a estudiar; fue clasificada por primera vez en 1803 por Humboldt y Bonpland (Martínez, 1963). *Nombre*

común: OYAMEL, ABETO, PINABETE, pertenece a la familia: *PINACEAS* y el nombre científico *Abies religiosa*.

El nombre actualmente reconocido como religiosa dado por Schelechtendahl y Chamizo (1830); en México la especie es conocida como "oyamel". El *Abies religiosa* es muy rara vez atacado por enfermedades e insectos que son causantes de la muerte de árboles aislados y de pequeños grupos. Las principales plagas y enfermedades son conocidas como causantes de algún daño *Pseudobylesinus mexicanos*, *Evita hyalinaria* que causa descortezamiento de la punta, la defoliación del árbol (Barret, 1965).

Los bosques de oyamel ocupan un lugar especial en la vegetación de México por sus características fisonómicas, florísticas y ecológicas. Restringida en sitios de alta montaña, altitudes entre los 2400 y 3500 m.

La distribución natural del oyamel se encuentra entre los 17°30' y 21°00' latitud norte y entre los 97° 104' de longitud oeste. De todas las especies forestales, son indudablemente las coníferas las de mayor importancia actual, no solamente en el área de la cuenca de México donde se encuentran 10 especies y 2 variedades silvestres, (Madrigal et al 1967), sino en todo el territorio nacional como internacional. Su importancia en las diversas cuencas de captación también es grande, en todos los bosques se registran altas precipitaciones y por las características de la cobertura de los diferentes estratos de la comunidad y las propiedades físicas del suelo, permiten una eficiente absorción y retención de agua de lluvia.

Son árboles corpulentos de hojas alternas dispuestas en espiral lineares, con aice agudo y corneo, base torcida, de color verde oscuro en el haz y glaucas en el envés, de 20 a 45 m de altura, troncos con diámetros de 40 a 150 cm de ancho.

El oyamel es una especie monoica. Los órganos masculinos y femeninos aparecen al mismo tiempo que las yemas vegetativas desde diciembre, los primeros continúan su desarrollo para alcanzar la madures de marzo

y abril, que es cuando se efectúa la polinización. Una vez efectuada la polinización se desprenden los gametos masculinos, los cuales se encuentran prácticamente en todo el árbol en las ramillas laterales, lo que no sucede con las inflorescencias femeninas, las cuales se forman en la parte Terminal aunque a veces también en las ramas inferiores.

Simultáneamente con la maduración de los conos, las yemas vegetativas continúan su desarrollo y alcanzan su máximo en los meses de agosto y septiembre. Desprenden las hojas viejas desde fines de junio sobre todo las ramillas de dos o más años anteriores.

Se puede esperar en promedio que haya producción de semillas cada 2 años. Con respecto a la fructificación, indican que se inician cuando los árboles tienen de 21- 25 años con una altura de 13-25 m. y tienen un diámetro de hasta cerca de 30 cm (Madrigal, 1967).

Las grandes áreas boscosas de oyamel se encuentran sobre todo en aquellas laderas sombreadas y húmedas con pendientes más o menos fuertes, así como en barrancas y hondadas con alta humedad en el suelo y en el aire. Entre los bosques de oyamel se encuentran extensas áreas cubiertas por otras comunidades arbóreas. Aun en las mismas zonas de distribución típicas no siempre se encuentran rodales puros de oyamel, principalmente en los lugares próximos a los límites latitudinales superior e inferior donde se mezclan con otras especies.

- Características físicas y mecánicas más importantes de la madera de *Abies religiosa* son: albura de color rojizo, duramen amarillo con tinte café claro y menos gruesa que la de la primavera, que es más clara. Se presentan aproximadamente dos anillos de crecimiento por centímetro y la transición es gradual entre las dos maderas de cada anillo. La madera es moderadamente ligera y relativamente blanda.

La madera del oyamel es de textura mediana, suave y sin olor ni sabor, la madera de la albura es amarilla con tinte café claro y se diferencia de color rojizo del duramen.

Las asociaciones de coníferas con las cuales forman ecotono la comunidad de *Abies* en la Cuenca son: la asociación de *Pinus Moctumae* en el límite altitudinal inferior, *P. pseudostrobus*, *P. rudis* y *Cupressus Lindleyi* en la parte latitudinal media, y *Pinus hartwegii* que siempre limita el bosque de oyamel por la parte altitudinal superior.

Los bosques maduros de oyamel son densos de 20 a 40 m de alto, poco tolerantes a la presencia de arbustos y plantas herbáceas. Su tasa de generación depende de la intensidad y tipo de disturbio, cuando este ocurra es posible reconocer especies indicadoras.

- Usos.-Sirve para obtener pulpa para papel, se emplea para madera aserrada en la fabricación de cajas y canastas y por su color claro, peso ligero, ausencia de manchas y de resina y carencia de olor puede servir para la fabricación de empaques para alimentos. Es susceptible de usarse en la obtención de tablillas de persianas, tablillas de lápices construcción tosca de puertas, etc. (Madrigal, 1967.) Los campesinos utilizan la corteza de árboles viejos para hacer carbón, aunque en ocasiones emplean la madera como leña combustible y para construcción de casas. El árbol es utilizado como árbol de navidad y para adornos navideños.

La producción anual de diferentes productos de *Abies religiosa* fue un promedio de 1966-1970 de 267 m³ como un valor de 31 millones de dólares. El 78% de madera aserrada y el resto 8% se distribuyó en diferentes productos.

5.2 MUESTREO DEL SITIO

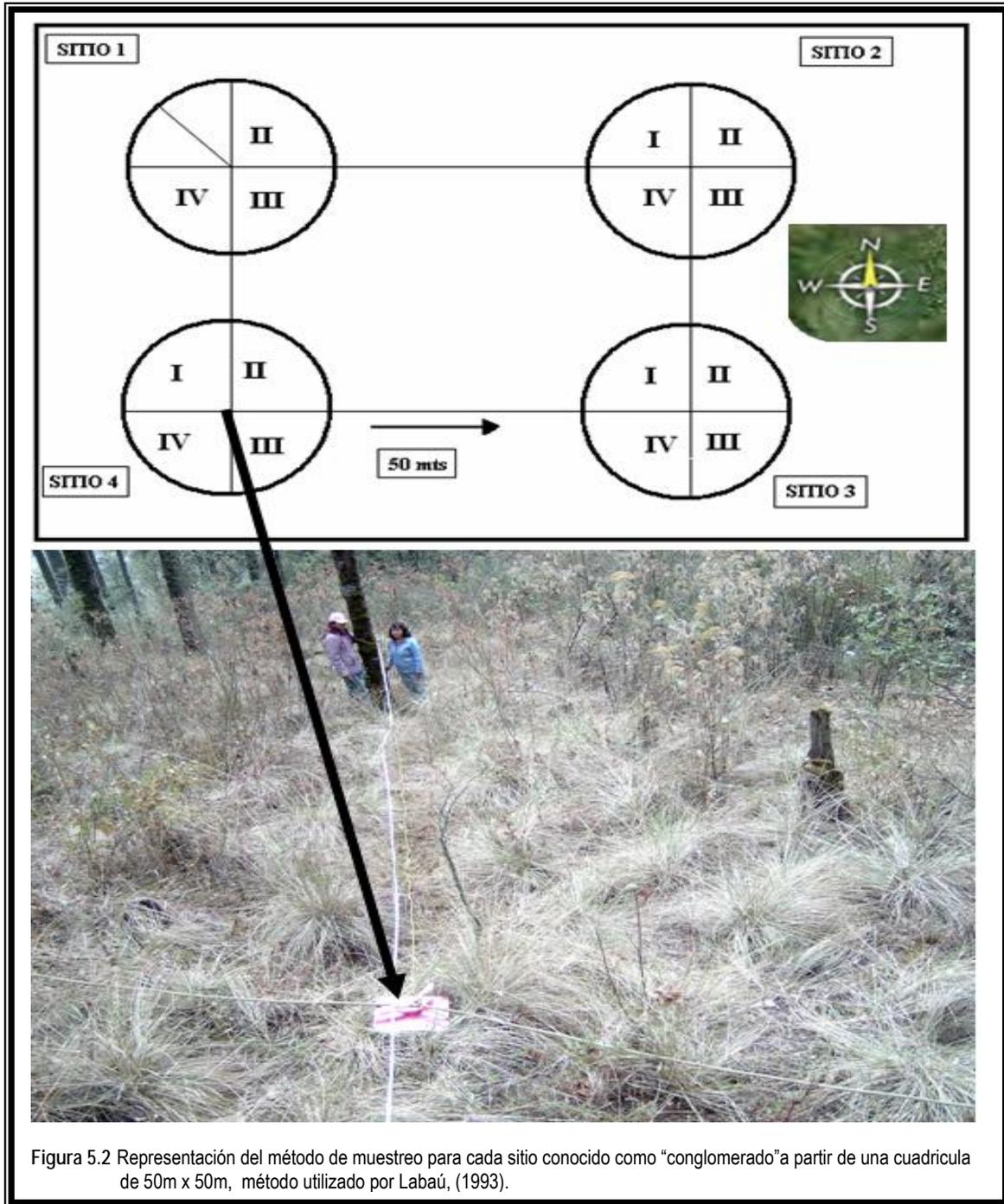
5.2.1. - Fase de gabinete:

En un mapa topográfico 1:25,000, (figura 4.1) del Parque Nacional Iztapopocatepetl; se ubico y delimito la zona de estudio de acuerdo a la exposición del bosque, a los vientos dominantes y su incidencia con la ciudad

de México. El área de estudio en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Izta-popo. Los sitios de monitoreo se eligieron para hacer posible una comparación de las poblaciones arbóreas con relación a diferentes escenarios geomorfológicos.

5.2.2. Fase de campo:

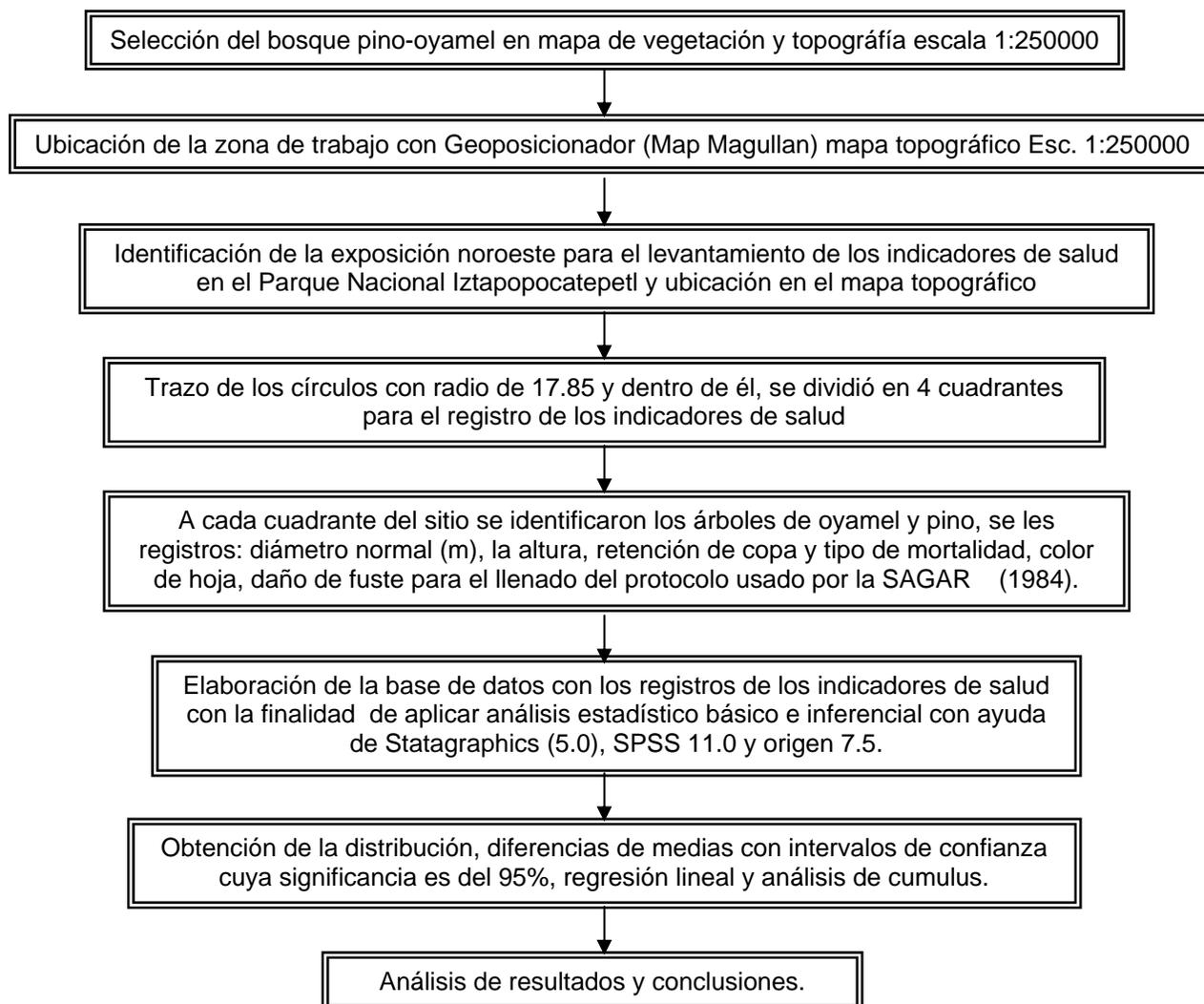
- 1.- Se reconoce la zona de estudio en la salida a campo con ayuda de un geoposicionador geográfico GSP (Magullan) para con fines de compararlos en el futuro.
- 2.- En el bosque de oyamel se llevo a cabo el método de muestreo de conglomerado de 4 sitios circulares dispuestos en forma de "L" formando un cuadro imaginario (figura 4.2).
- 3.- Se realizo un cuadrante de 50 m x 50m en campo, se traza la primera línea y en ambas puntas se establece el centro del circulo (sitios I, II, III, IV) cuyo radio es de 17.80 m (Figura 4.2). A cada sitio se le Dividió en cuadrantes formando una cruz, y se asigno número romano progresivo conforme a las manecillas de reloj. Una segunda línea corrió perpendicular a la primera atravesando el punto de muestreo formando 4 cuadrantes. Para los demás sitios se utiliza la segunda línea de cada sitio como la primera línea y se realiza los mismos pasos, para tener 4 sitios, cada sitios fue elegido de forma azarosa con una superficie de 962.5m² de un área de 3.850m² (Figura 5.2.).
4. - Ya establecidos los cuadrantes, se realizan el muestreo de todos los árboles dentro de los círculos del cuadro establecido; se mide el diámetro a la altura del pecho con un flexometro, la altura de cada árbol, estado en que se encuentra el árbol (vivo, muerto, derribado, despuntado), relieve (plano, accidentado), daño de fuste (ocoteado, cinchado, deformado y descortezado) color de las hojas basándose en las tablas Mueller y el vigor de la copa: retención de copa (0%, 25%, 50%, 75% y 100%), y mortalidad existente (mortandad irregular, mortandad descenderte, mortandad ascendente, mortandad lateral), siguiendo la copa existente por el método de SAGAR Y República Alemania. (Anexo)



Fase de gabinete

Con los datos colectados en campo se elaboro una base de datos con un paquete software Excel, esta base se copia en un hoja de calculo del programa Herramienta de Estadística Práctica para el Análisis de Datos

SPSS para obtener la distribución en frecuencias para los diámetros obteniendo las clases diamétricas y las alturas, se realizó graficas para alturas; retención de copa, mortalidad, color de hoja, daño de fuste y edad. Posteriormente, se utilizó statgraphics 5.0, para el análisis de varianza en diámetros y alturas. Y el análisis de cluster. Para ver las relaciones entre los indicadores se realizo el análisis de regresión. Finalmente los resultados fueron comparados con los resultados de los datos de banco de 1997, elaborando las mismas gráficas para poder correlacionar, se realizó el análisis de resultados de ambos 1997 y 2004.



VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. DENSIDAD Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD ARBÓREA.

En la zona de trabajo se registró una multiestratificación, dominada por el oyamel (*Abies religiosa* (HBK) Schk et Cham., estando presente cinco pinos de la especie *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus hartwegii* Lindl.

El área de muestreo tiene una densidad promedio de los 4 sitios en total de 788 árboles/ha correspondiente al año de 1997 y para el 2004, disminuyó a 273 árboles/ha; al respecto, Manzanilla (1974) reportó para un bosque natural (615 oyamel/ha). Esta variación drástica en la densidad del rodal promueve la competencia intra específica pino-oyamel, pero no la íter específica, es decir la estructura por edades se ve acentuada en los adultos y senil; los árboles de menor tamaño, se encuentran altos y esbeltos. La densidad arbórea es un parámetro importante y como lo menciona O'Laughlin (2003) se ve reflejada en la productividad, por que a mayor densidad, mayor competencia por humedad, nutrientes, espacio, luz y entonces las tallas son esbeltas, cuando las necesidades de la madera se requieran para insumos pequeños (palillos, lápices, abate lenguas etc...) por el contrario si, para el caso de necesitar madera para construcción de casas.

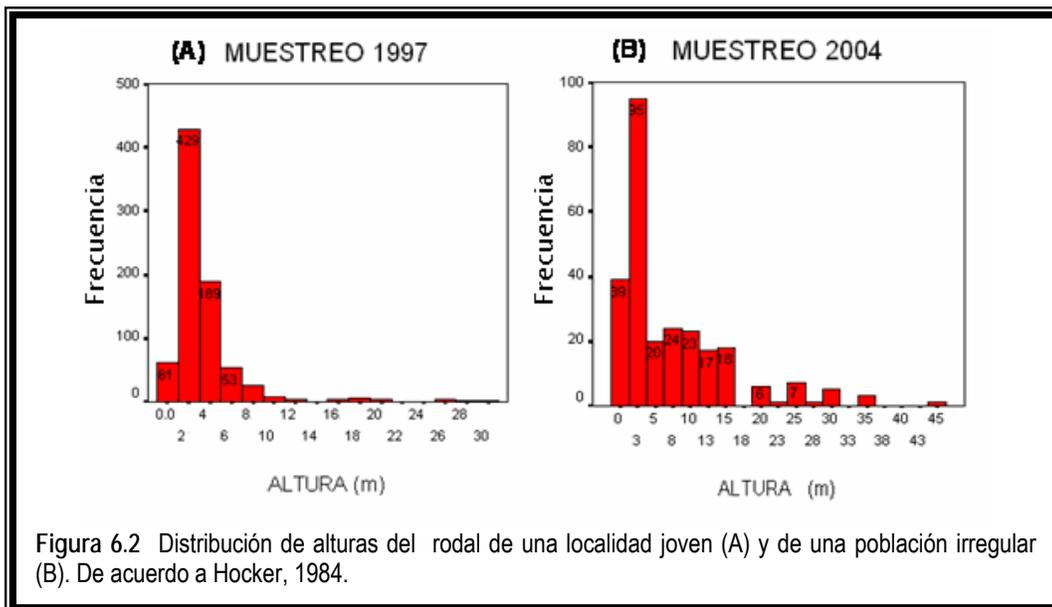
La muerte de los árboles "Padre" propicia que la protección de los renuevos y la conservación del microclima se pierde, consecuentemente no se promueva el desarrollo de los brinzales y juveniles. El espacio que libera al morir el árbol padre, tiene por consecuencia el aumento del albedo del suelo, la incidencia de la luz y se modifican algunas condiciones edafológicas.

En 1997 la altura de mayor frecuencia es entre los 2-4 m, los diferentes estratos que presenta el sitio de trabajo da el aspecto arquitectónico de que los árboles dominantes que forma son de menor frecuencia y los árboles intermedios son los de mayor frecuencia. En el Parque Nacional se observan demasiado tocones

(Figura 6.1) y algunos derribados, esto, podría explicar la ausencia de árboles y menor densidad, en el muestreo 2004. La altura promedio del oyamel es de 30 a 40 m y los resultados observados en la Figura 6.2A del área de estudio no presentan tal promedio; se considera dos aspectos que influyen en el crecimiento: el suelo y la densidad debido a que aumenta la competencia de espacio, luz y nutrimentos.



Otro factor que consideramos es la lluvia ácida a través de ciertos mecanismos que se hacen más vulnerables a los vientos, sequías e insectos.



Al comparara la conducta de las dos gráficas (Figura 6.2: A y B) del 2004, se observa que las alturas son muy variables, en 1997 la altura de mayor frecuencia es entre 1 y 3 m, esta población presenta alturas de 30 m como máximo no encontrando alturas mayor a esas, con lo que corresponde al 2004 la altura de mayor frecuencia es de 3 m también presenta alturas de 20 25, 30,35, que se encuentra entre las alturas promedio que presenta el oyamel. La representación gráfica de la altura del año 2004 expresa una forma multimodal (figura 6.2. B), reflejo directo de presencia de adultos al paso del tiempo (7 años).

La altura que presentan los arbolados indica que la densidad fue un parámetro limitante en el crecimiento, la variabilidad de alturas (cuadro 6.1.) hace referencia de las distintas edades que presenta el bosque. Las alturas máximas registradas corresponden al muestreo de 1997 y las menores, par el muestreo del 2004. El bosque de oyamel debido a la competencia, su crecimiento fue rápido y en consecuencia se presenta con diferentes estratos.

Cuadro 6.1 Registro de altura de la población oyamel en la zona de muestreo del Parque Nacional Iztapopocapetl.

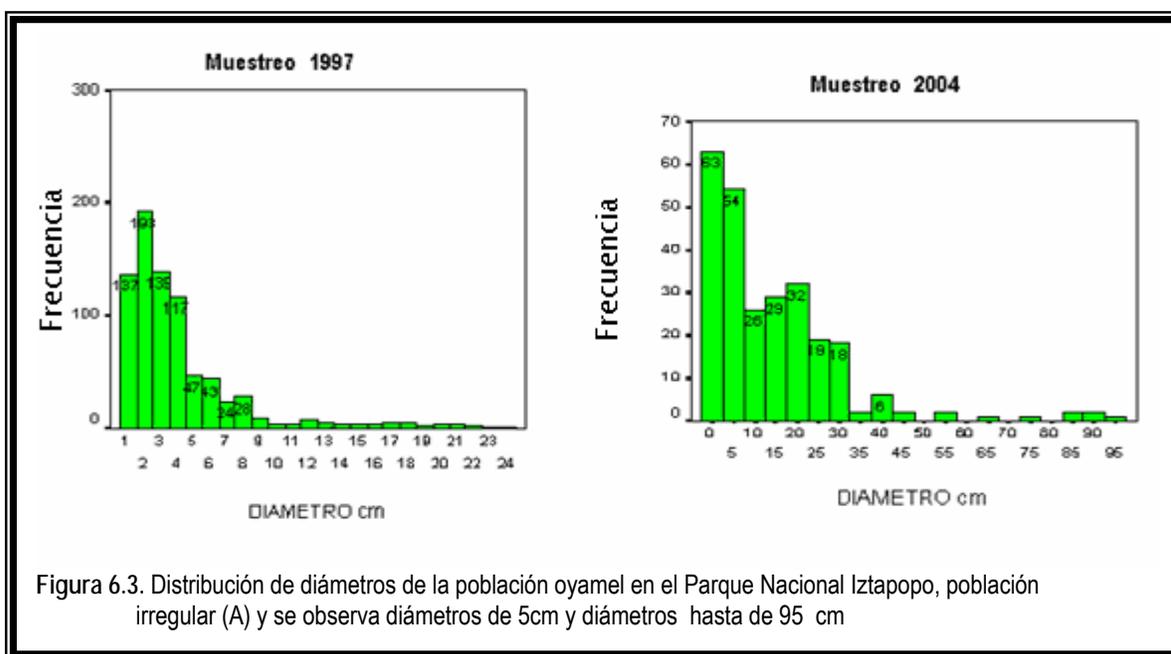
CARACTERISTICAS Y EXPOSICION SITIOS	ALTURAS (m) REGISTRADAS 1997	ALTURAS (m) REGISTRADAS 2004
	MINIMA--- MAXIMA	MINIMA --- MAXIMA
1	0.70 - 6	0.60 - 45
2	0.70 - 5	0.50 - 25
3	0.70 - 32	0.60 - 10
4	0.70 - 9	0.6 0- 30

Durante los 7 años, de 1997 a 2004 el número de árboles se fue disminuyendo de 788 a 273 árboles/ ha, con diferentes estratos arbóreos. De acuerdo con los reportes de Manzanilla (1974) el bosque Izta-popo fue dividido en tres grupos: el estrato arbóreo superior (20 a mas de 40m) estrato medio (19 a 20m en promedio) y el estrato arbóreo inferior de (9 a 19 m). El crecimiento es un buen indicador del vigor y salud del oyamel.

La intervención del hombre a través de la provocación de incendios o explotaciones de tala (aclareo, limpieza de muertos en pie y podas de liberación) que clandestinamente se practican, lo cual ha alterado su ciclo

natural de vida. Pérez (2000) menciona que la disminución de crecimiento acompañado de un defoliación son causas de la precipitación ácida, y al comparar las alturas de 1997 con respecto al 2004 se hubo un crecimiento y cambio a nivel estructural, este crecimiento se considera como lo que menciona Colinas (2004) que el crecimiento del abeto ahora esta creciendo más que anteriormente, su crecimiento se acelera en cuanto a su altura pero su diámetro disminuye.

La población de oyamel en 1997 se caracteriza por la distribución de diámetros que va de 1 a 24 cm. Es una población abundante que no permite su espacio de crecimiento, dejando morir a los más débiles, ya que no pueden competir con los más fuertes y vigorosos (Hocker 1984). La forma de la distribución que se presenta en la figura 6.3a, esta representando a un patrón de masa irregular.



En el sitio de muestreo correspondiente a 2004 fue notorio un gran número de tocones, y se desconoce la razón de la tala, sin embargo, esta práctica provoco un aclareo en el rodal, permitiendo que la luz, agua y nutrimentos estén disponibles para árboles contiguos. En consecuencia su diámetro se incrementa y acelera su crecimiento, lo cual se ha descrito por Raymonol, 1991. Para el 2004 el crecimiento de los árboles (diámetro) aumento; es algo común y se registro diámetros de más de 10 cm hasta 95 cm.

Las categorías diamétricas fueron similares a las que Manzanilla propuso en 1974, excepto que Manzanilla comenzó desde 10 cm y para este estudio las categorías comenzaron desde diámetros de 5, 7, 8, 9, 10 cm. Las categorías diamétricas que se establecieron fueron de ≤ 10 , 11-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100, ≥ 120 .

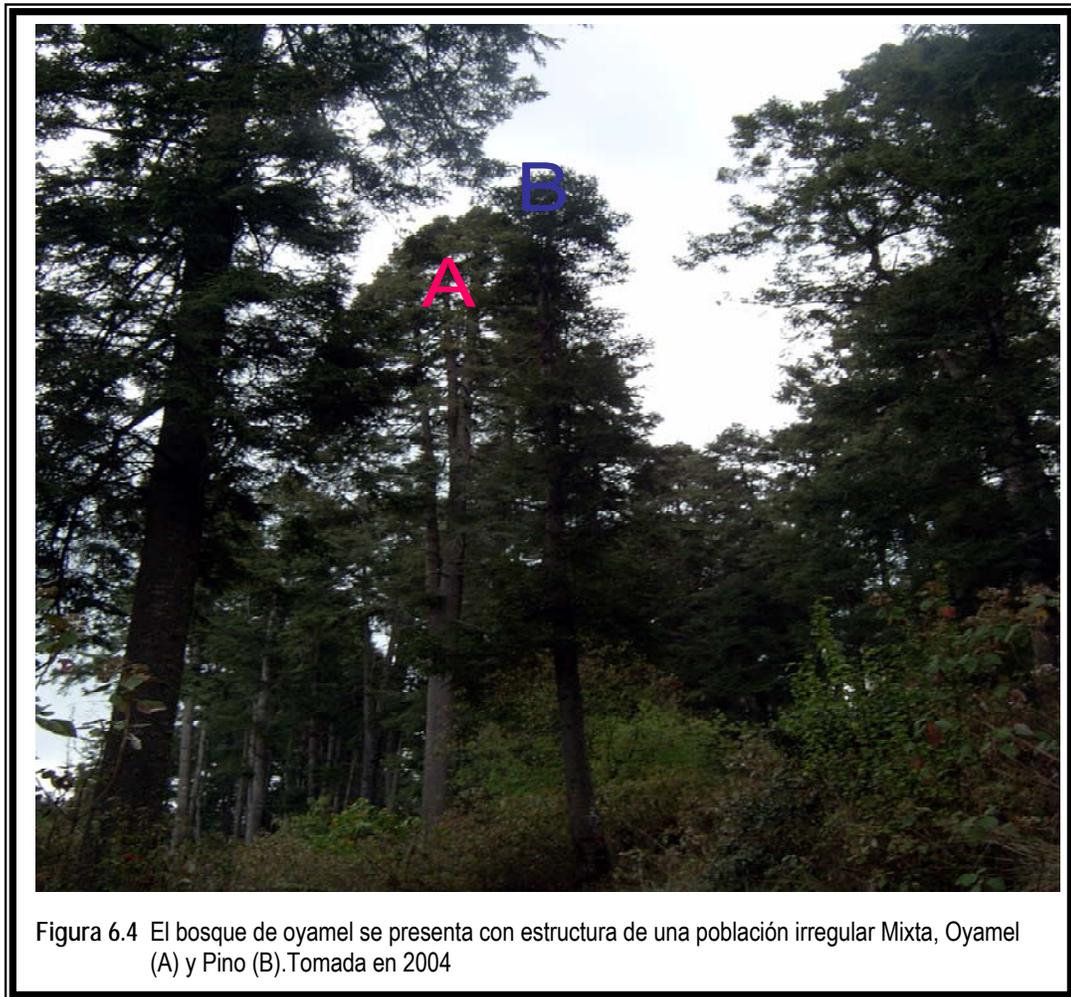
Pérez (2000) evaluó el bosque Nacional Iztapopo y las categorías que registro con base a las de manzanilla fueron: 0-10, 11-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100, 101-200, >200. Las categorías diamétricas son similares a las que presentamos. (Spurr y Barnes 1982 en Pérez, 2000) menciona algunas de las especies de *Abies* que son individuos con tolerancia a la sombra y de crecimiento lento, cuya sobre vivencia depende de que se de condiciones favorables entre el primer y tercer año posterior de la germinación (etapa crítica).

El diámetro es un parámetro importante porque nos sirve “como crecimiento de diámetro” para poder evaluar la vitalidad del árbol. El diámetro en cuanto sea mas pequeño el índice de mortalidad es mas rápida en los árboles, si el diámetro es grande el decline es moderado, bajo ciertas condiciones de clima y de competencia entre las especies en un periodo prolongado (Tuhus, 2001).

En el muestreo correspondiente 1997 la categoría diamétrica que presenta un porcentaje mayor es de 0-20 descendiendo en cuanto aumenta la categoría, y para el caso del 2004 las categorías de 20-40, 41-60, 61-80 presenta mayor por ciento con respecto a 1997, si a esto se relaciona con la edad consideramos que la mayoría de la población son brinzales, juveniles y muy pocos adultos, por lo tanto se considera un rodal de masa regular. Para el año 2004 se presentan diferentes estratos arbóreos (figura 6.4), con copa dominante, codominante e intermedia.

La población esta formada de brinzales, juveniles, adultos y algunos viejos y escasos seniles considerando un rodal de masa irregular, pura, multiestratificada. Un factor determinante observado en los cuatros sitios fue la

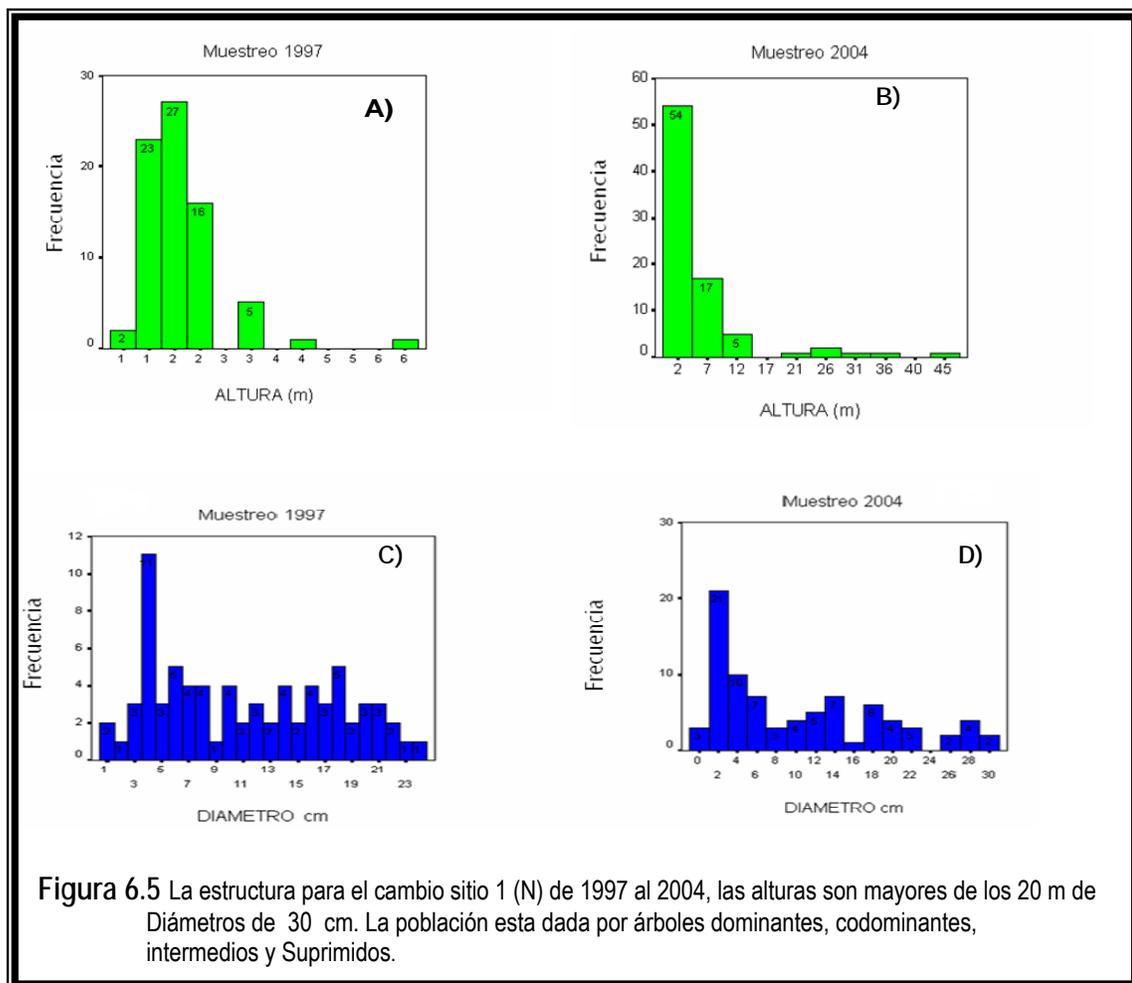
presencia de renuevos en microhabitats muy exclusivos, cuya característica es alta humedad y sombra; y en algunos de ellos, hacen sombra y retienen humedad por la gran cantidad de herbáceas y ramas acumuladas.



6.2. DENSIDAD Y ESTRUCTURA DEL OYAMEL EN LOS 4 SITIOS DE MUESTREO.

Sitio 1 (norte): En el se registro en promedio 57 árboles/ha con una distribución de alturas que va de 1 a 6m (figura 5.5A), la mayor frecuencia va de 1a 2 m de altura, no hay árboles con altura de 3m. En comparación con respecto del 2004 la densidad fue mayor, registrándose en promedio 82 árboles/ha, con distribución de 2 a 45 m de altura, su mayor frecuencia en alturas es de 1a10 m correspondiente al 1997. Su

tasa de crecimiento es de 5.57 m/año. Los resultados antes descritos nos indican que son pocos los árboles que se suman de la etapa juvenil a adulto, es por ello que observamos en las gráficas de frecuencias (figuras 6.2A y 5.3B Pág.49 y 52) una discontinuidad en la distribución diamétrica a partir de los 45cm, haciéndose los diámetros de los adultos-seniles mas escasos.(Figura 6.5 C y D) De acuerdo a la altura de los árboles (Figura 6.5 A) del sitio 1 el bosque se considera juvenil, ya que se ubica entre la transición de plántula y joven de acuerdo a Hocker, 1984.



Es importante indicar que los cambios estructurales de la población arbórea registrados en los diferentes bosques de encinos y pinos, son diferentes en las condiciones ambientales, suelo, convivencia con otras poblaciones vegetales, fisiográfica, factores metereológicos y la incidencia del viento N-S. En la mayoría de

las especies la tasa de crecimiento en altura es mayor en las primeras etapas de desarrollo, mientras que los incrementos en diámetro son relativamente mayores en etapas posteriores.

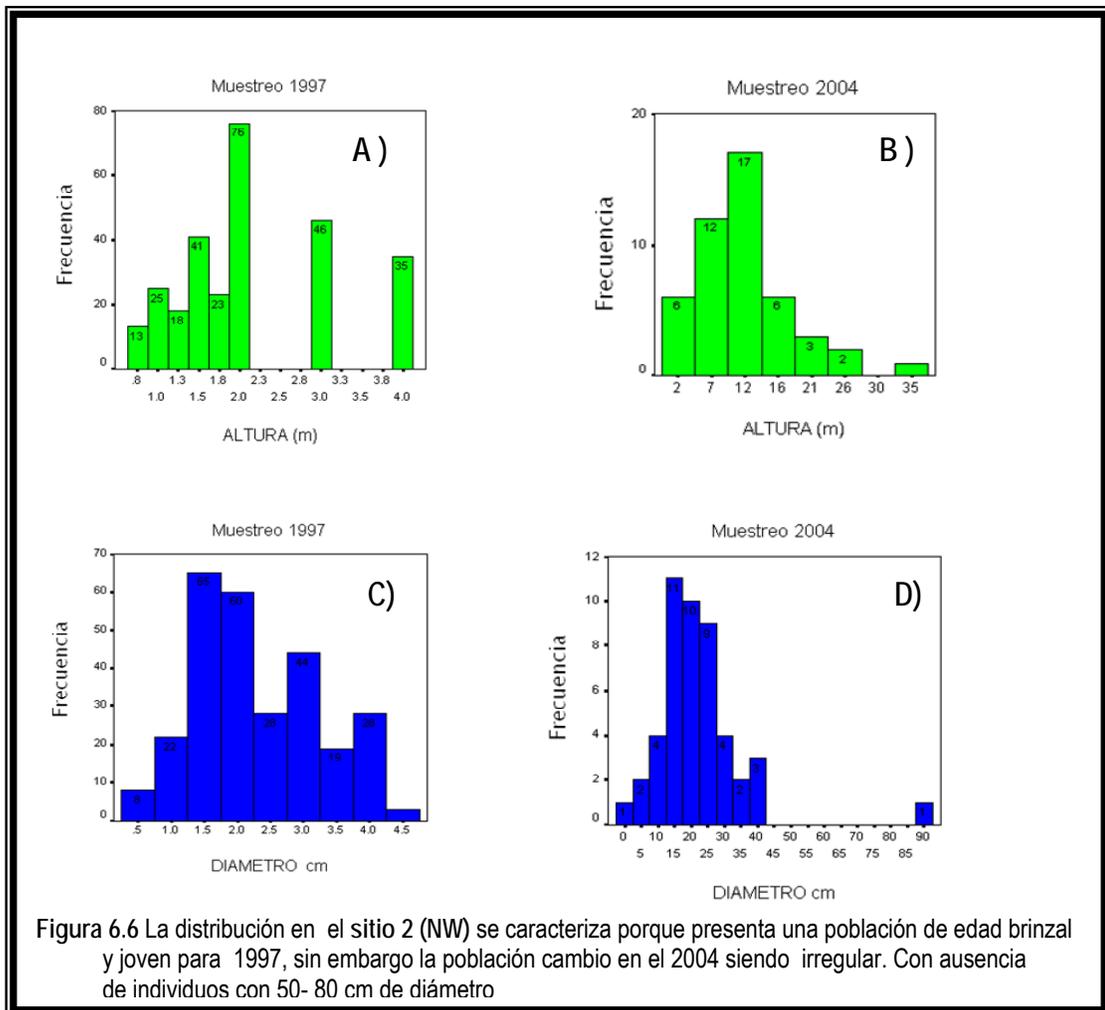
De acuerdo con los reportes de manzanilla divididos en tres grupos: el estrato arbóreo superior (19 a 20m) en promedio de 20 a más de 40m pertenecer a la estructura 3, pertenecen al estrato arbóreo medio y de 9 a 19 m. pertenecen al estrato arbóreo inferior. Es importante indicar que los cambios en de la población arbórea registrados en los diferentes bosques de encinos y pinos, son diferentes en las condiciones ambientales, suelo, cohabitación con otras poblaciones vegetales, fisiográfica, factores meteorológicos y la incidencia del viento N-S.

En cuanto al diámetro (1997) los árboles presentaron una distribución que va de 1 a 23cm (Figura 5.5 C) con un pico máximo de frecuencia a los 4cm lo que corresponde a individuos de un crecimiento de diámetro menor comparado con el 2004 (Figura 5.5 D); su distribución comienza de 1 30cm. Una asociación con diámetro pequeño (Figura 5.5 C) se caracterizan por ser un bosque joven, la competencia entre ellos por luz, espacio y nutrimentos, no tienen la misma magnitud en bosques irregulares (caracterizados por diferentes clases de diámetro) (Figura 5.5 D) en su mayoría con diámetros entre 30 y 60cm considerado como bosque maduro.

Sitio 2 (noreste): Se registraron en promedio 277 árboles/ha, para 1997 disminuyendo su densidad en el 2004 del cual se registraron 47 árboles/ha, esta disminución puede ser consecuencia de la tala, o bien de un incendio registrado en el 2001 y de estrés atmosférico. Las alturas muestran una forma multimodal y el primer grupo oscila entre 1.5 m; el segundo grupos, entre 2.8 y otro 4.0 m (Figura 6.6 A) con respecto al muestreo 1997. En el 2004 la distribución es de 2-35 m (Figura 6.6 B).

Hocker y Harold 1984 hace referencia que la altura es un indicador importante para poder determinar la calidad del sitio, si hay una tala entonces la altura promedio se modifica con árboles dominantes y codominantes.

La figura 6.6 B se presentan un crecimiento constante en cuanto altura y diámetro, este aumento provoca una competencia por el espacio vacío del área que dejó en su desaparición. La demanda que tiene cada árbol por más espacio y de la muerte eventual de otros individuos, incluso los más dominantes son resultados de un cambio en la estructura y composición del bosque (Sprurr, 1982).

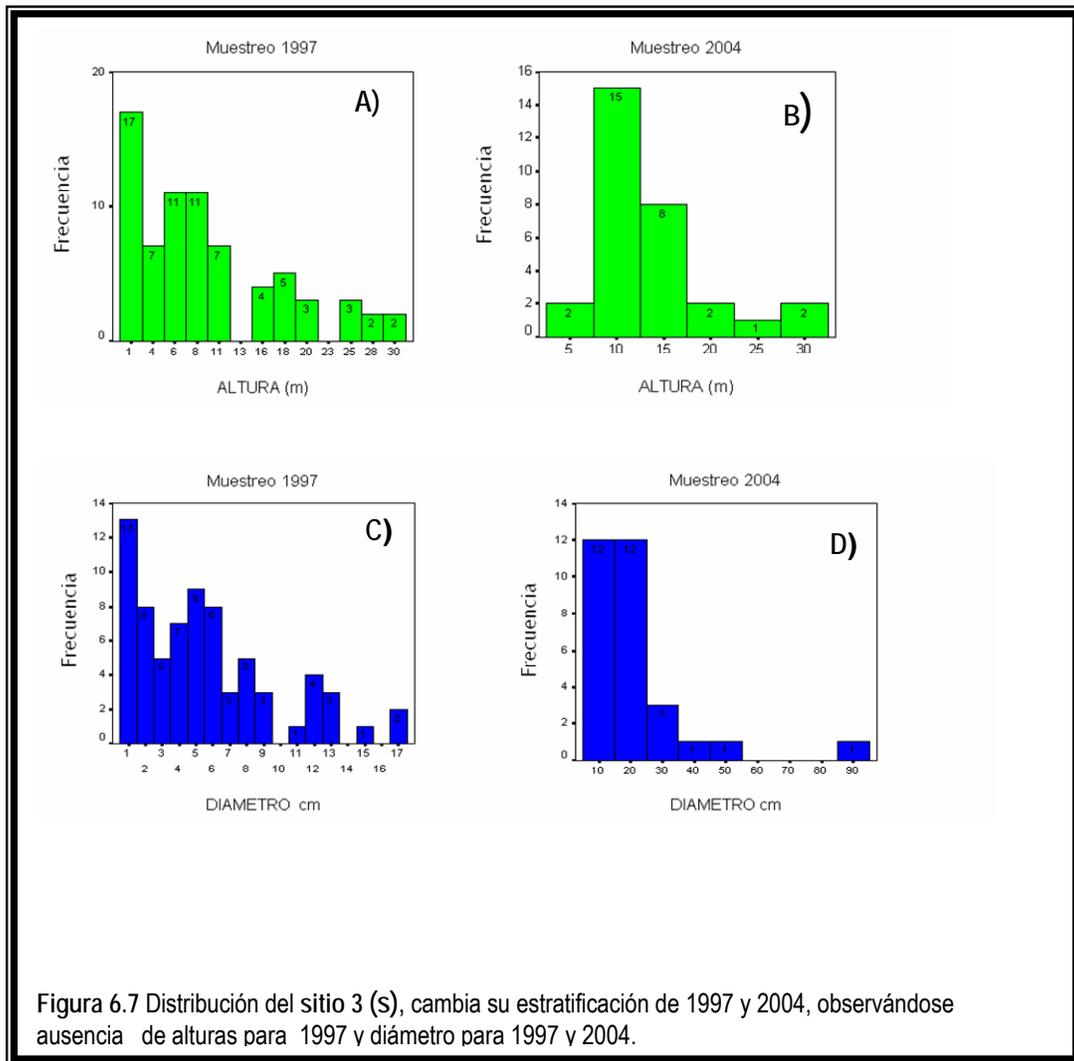


En el sitio 2 la muerte de árboles se le atribuye a los factores ya mencionados y además a relámpagos (en el valle de México se registran 260 días)¹, sitios viento, insectos y enfermedades e incluso el envejecimiento, liberando en la localidad un espacio que es ocupada por el crecimiento y desarrollo de las especies que componen el sotobosque. También, la presencia de tocones nos proporciona información de la competencia intraespecífica o bio-ecológica.

Sitio 3 (Sur): Se registro en promedio 72 árboles/ ha, en 1997 cuya distribución osciló de 1 a 30m de altura (Figura 6.7 A) con la forma multimodal se puede interpretar como que la mayor cantidad de individuos de la población fue para las alturas de 1m, 6-8 m, 18m y 28m En el caso del 2004 se registraron 30 árboles/Ha, con altura 5 a 30 m (Figura 6.7 B) es probable que la disminución de la densidad se deba simplemente al efecto de mortalidad ecológica, sobre vivencia del 50% de una clase de edad a otra. En ambos se presenta tres clases de estrato superior, medio e inferior.

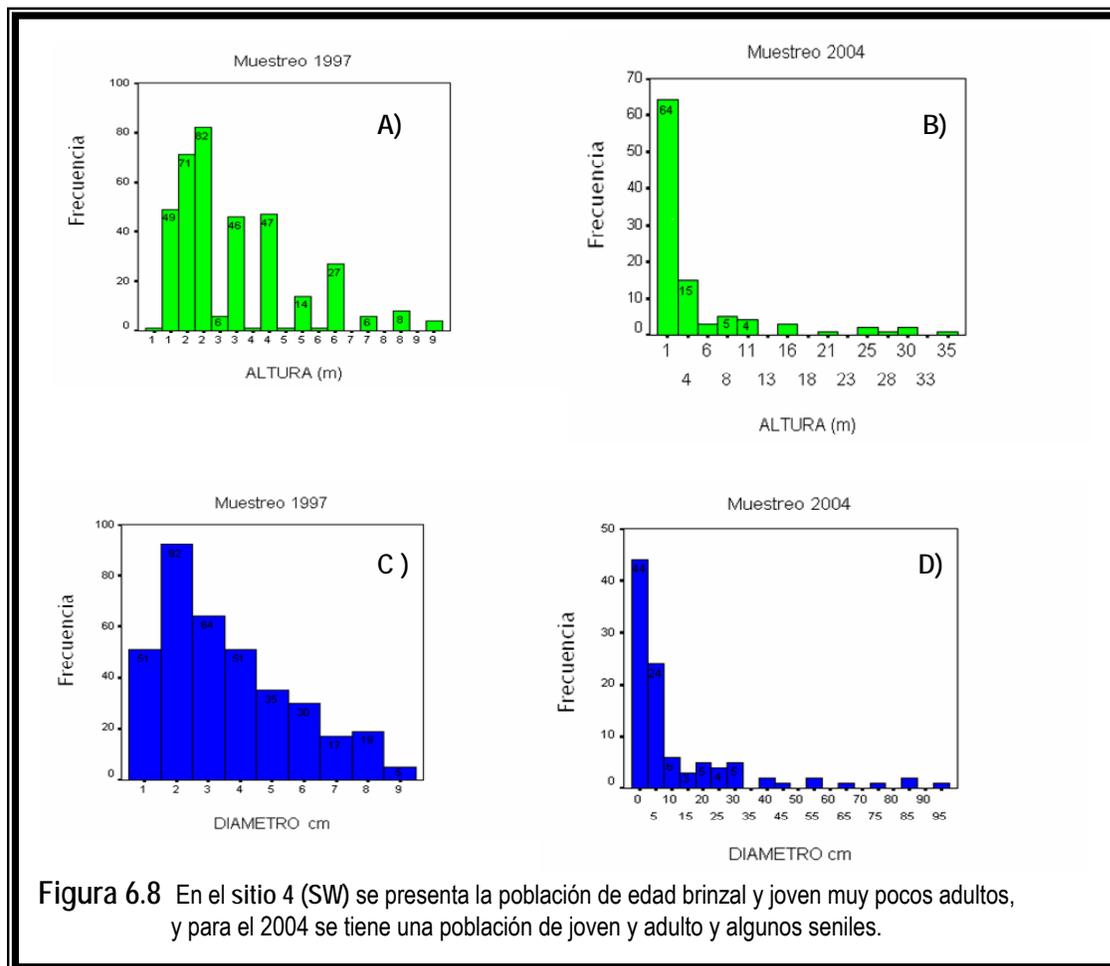
Al comparar la altura de 1997 es notorio que no hay un cambio significativo para el 2004. Hay factores como la topografía y suelo que las alturas en diferentes partes dentro del rango de las especies. El crecimiento “se mantuvo” constante cuando en el bosque maduro su crecimiento disminuye con el paso del tiempo. Las clases de altura en 1997 son de tres estratos, con árboles dominantes, codominantes e intermedio al igual para el caso 2004. Los cambios en el bosque son por, diurnos y nocturnos, días, semana, años, al igual varían de norte a sur y de este a oeste.

¹ La lluvia de relámpagos fotoliza el NO₂ y NO₃ acelerando la formación de las correspondientes moléculas dañando el sistema fotosintético



En este último los resultados nos indican que la estructura varía con respecto al sitio, ya que se encontró en el sitio norte (Figura 6.7A) que los tamaños de los árboles son similares, al igual para el sitio 2 (Figura. 6.7A) en cambio en el sur la estructura es diferente de tamaños diferentes por lo tanto el sitio es una localidad irregular la cual por los diversos tamaños de los árboles se asegura que si se produce un daño físico la localidad no se perderá completamente. En cuanto al diámetro su distribución en 1997 es de 1 a 17 cm (figura 6.7C) y para 2004 la distribución es de 10 a 90 cm del cual aumentó el crecimiento del diámetro pero la densidad disminuyó, aumentando la competencia entre ellos.

Sitio 4 (sureste): Se registraron en promedio 364 árboles/ha correspondiente a 1997 su altura es de 1 a 9 m (Figura 6.8A) con diámetros de 10-9cm y para el 2004 se registraron 102 árboles/ha con una altura de 10 a 35 m (Figura 6.8 B) y diámetro de 10 a 9cm. Destaca el hecho, en los círculos muestreados, que todos presentan una conducta multimodal con ambos indicadores (diámetro y altura) para el año de 1997 y 2004, los indicadores se agregan a las clases siguientes. Para tener una mayor exactitud se realiza una prueba de media para la variable altura y diámetro y dar una aproximación del valor real de los datos. Las siguientes tablas nos indican la de día de los indicadores muestreados en cada sitio en 1997 y 2004.



En 1997 la estructura varía para cada sitio, el sitio 1 y sitio 2 muestran una gran diferencia de densidades con el sitio 2 y el sitio 4 el número reducido de individuos se puede deber a varios factores bióticos, principalmente

la tala, índice alto de mortalidad debido a la susceptibilidad del árbol por contaminación ambiental, y el fuego producido hace 10 o 15 años. Presenta una media de 2.25 ± 0.13 en altura y 2.29 ± 0.11 en diámetro, el sureste presenta una media de 2.95 ± 0.19 en altura y 3.53 ± 0.21 en diámetro (cuadro 6.2).

Cuadro 6.2 Distribución altura y diámetro 1997 con respecto a la media con un intervalo de confianza al 95%.

Año. 1997	# De árbol/ha.	Valor de medias \pm En alturas.	Valor de medias \pm en diámetro.
1	75	1.63 ± 0.18	11.17 ± 1.46
2	277	2.25 ± 0.13	2.29 ± 0.11
3	72	9.91 ± 1.92	5.50 ± 0.95
4	364	2.95 ± 0.19	3.53 ± 0.21

Para el 2004 la diferencia de estructuras viene dada por la densidad, del cual varia en cada sitio, presentándose una densidad mayor para el sitio 4 en comparación con los demás, esto significa que la población del rodal es de alta productividad en comparación con los sitios, sin embargo el valor de medias para los parámetros altura y diámetro muestra un crecimiento menor con el sitio 2 y 3 que son los de menor densidad, mostrando una relación proporcional de densidad con altura y diámetro (cuadro 6.3).

Cuadro 6.3 Distribución altura y diámetro 2004, con respecto a la media con un intervalo de confianza al 95%

Año 2004	# De árbol/ ha.	Valor de medias \pm en alturas	Valor de medias \pm en diámetro.
1	82	5.52 ± 1.67	10.12 ± 1.89
2	42	11.45 ± 9.57	22.06 ± 3.98
3	31	13.41 ± 2.27	21.35 ± 5.98
4	102	4.68 ± 1.39	12.44 ± 3.91

Los árboles que se suman de manera gradual son muy pocos, con ellos no podría asegurarse la distribución de edades en la población. Para cada etapa de la vida del bosque (brinzal, juvenil, adulto y senil). No cuenta con el número suficiente para pasar de una etapa a la siguiente y simultáneamente enfrenta la movilidad y mortalidad de los individuos.

En otro contexto, la cercanía de los poblados del Iztapopo como Amecameca, Ozumba, Atlixco entre otros podría ser un factor determinante y selectivo de la densidad de los sitios.

6.3. INDICADORES DE LA SALUD DEL BOSQUE DE OYAMEL DURANTE 1997 VS. 2004.

6.3.1. Indicadores: Diámetro y altura VS Influencia de la Exposición (Sitios).

Para comprobar el efecto a la salud del bosque del oyamel por parte de los factores (sitio y año de muestreo) con respecto a los indicadores de salud (diámetro, edad, copa etc.) se procedió a la aplicación de una prueba de diferencia de análisis multivariado de comparación de medias con un intervalo de confianza al 95%, prueba de Tukey.

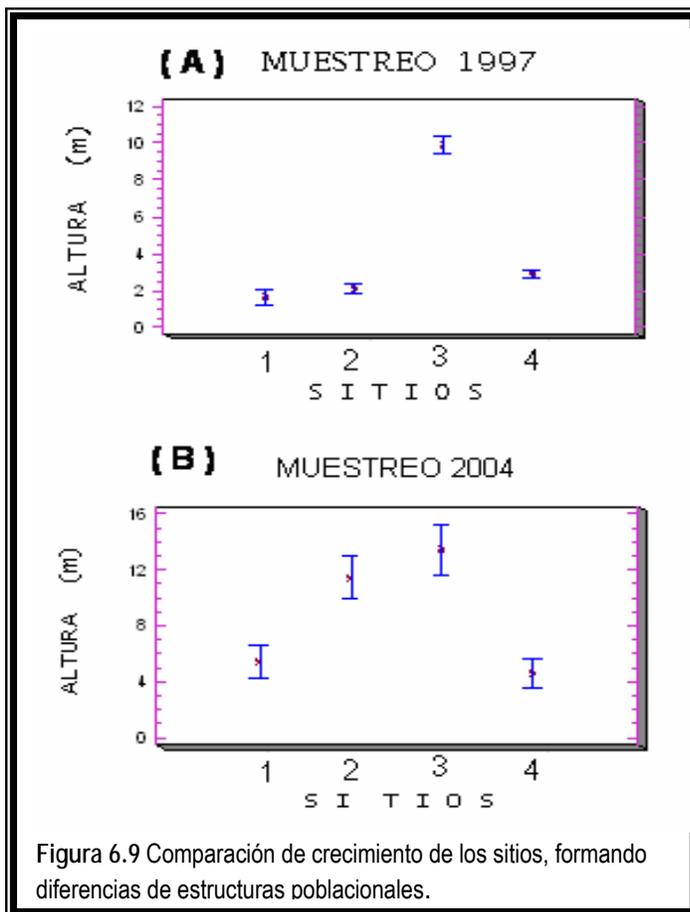


Figura 6.9 Comparación de crecimiento de los sitios, formando diferencias de estructuras poblacionales.

Se determinó diferencia significativa del indicador altura con respecto a los sitios de muestreo correspondientes al año 1997. El sitio S (3) se diferencio con el resto de los sitios N(1), Nw(2) y S(3) (Figura 6.9A), lo cual implica que la media de las alturas registradas en el muestro de 1997 estaban muy cercanas unas de otras (aproximadamente a 2.5 m). Con respecto a la comparación de cada sitios del año 1997 Vs. 2004 se hace evidente que los sitios de muestreo norte, y sureste son diferentes significativamente (95% de confianza) con el NE

(2) y S(3), pero ellos entre sí, pese a que sus medias son próximas en magnitud, requieren de aplicar una prueba de hipótesis para probar diferencia entre la media de las varianzas.

Cabe hacer mención que los intervalos de confianza (IC) correspondientes al año 1997 resultaron menos amplios en relación con sus iguales del año 2004, en especial con el número de muestras de los sitios NE(2) y S, los cuales requieren de un incremento de “n” para acortar el IC. La altura registrada en el sitio NE(2) y S(3) es alrededor de 9.5m, permite reportar una diferencia en las alturas al paso de los siete años, para lo cual la población se ve beneficiada por permitir contar con diversas tallas.

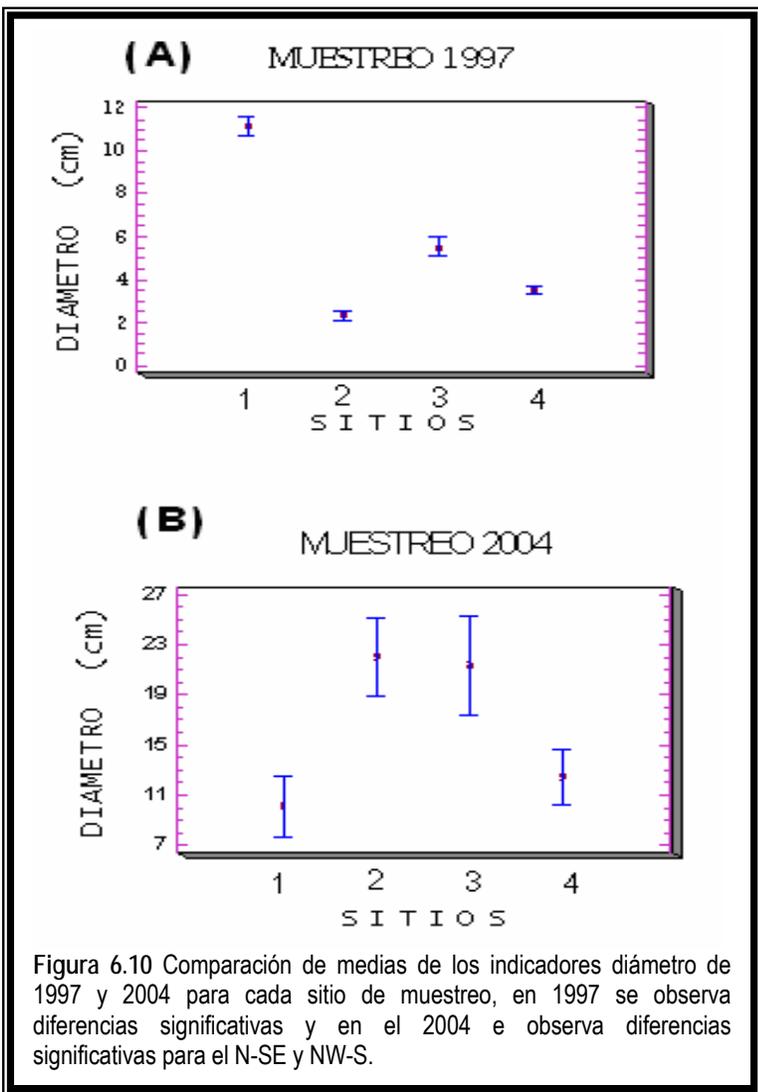


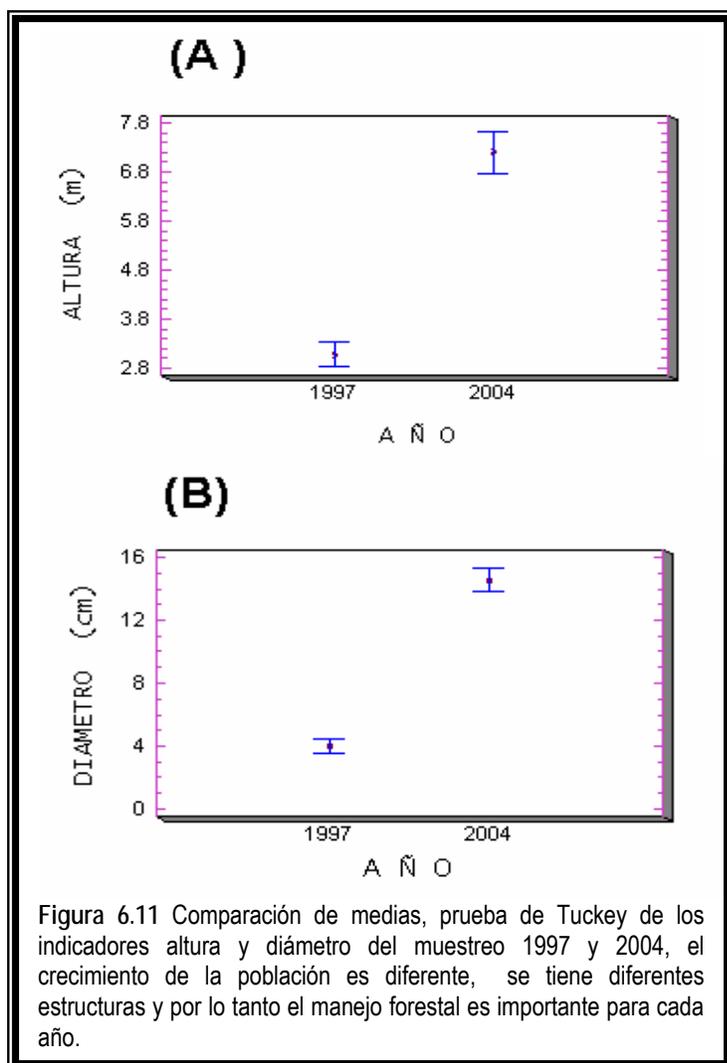
Figura 6.10 Comparación de medias de los indicadores diámetro de 1997 y 2004 para cada sitio de muestreo, en 1997 se observa diferencias significativas y en el 2004 se observa diferencias significativas para el N-SE y NW-S.

Con respecto al diámetro, con éste indicador de salud forestal correspondiente al muestreo 1997 (Figura 6.10 A) arrojó diferencias significativas en todos los sitios (NE(2), N(1), S(3), SW(4)) cuyas medias correspondientes oscilan entre los 11cm a 2.5m; destacando que en los sitios NE(2), S(3) y SE(4), la media es aproximadamente a 4cm (Figura. 6.10 A). En este sitio se presenta una población del estadio adulto I, de acuerdo a la clasificación dada por Ávila, (2000); los sitios 2, 3 y 4 pertenecen a un estadio de juvenil II (2-7 cm. DAP).

En relación al año 2004 los sitios NE(2) y S(3), las medias del diámetro mostraron diferencias significativa con respecto a los sitios SE(4) y N(1), la magnitud promedio del diámetro osciló alrededor de los 11 cm.

De la comparación sitios del año 1997 vs. 2004, se determinó que entre las medias del diámetro del sitio N(1), S(3) y NE(2) ganaron poco más dos veces la magnitud del diámetro registrado en 1997. Destaca que el sitio N (1) la media de los diámetros no varía durante siete años que transcurrieron. También destaca que la población de oyamel presentó una clase diamétrica de 20-40 cm (Figura 6.10 B) en año 2004, esto representa una población de adultos con respecto a 1997, dichos sitios presentan una clase diamétrica de 2-7 cm, representando una población juvenil (Ávila, C. 2004) esto significa que la población continuo con su etapa de desarrollo, por lo que muestra un sitio no perturbado.

6.3.2. INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN (SITIOS) DEL DIÁMETRO Y ALTURA CON RESPECTO AL TIEMPO.



La variación promedio de las alturas correspondientes al muestreo de 1997 fue significativamente (95%) diferente a la media del 2004, aumentando los diámetros de 2.9 a 7 m (Figura 6.11A).

Al comparar los indicadores diámetro de 1997 con respecto al diámetro 2004 se encontró que hay diferencia significativa, cambiando el diámetro de 4 cm en 1997 a 7.2 cm (Figura 6.11 B). Presenta similitud con un bosque estratificado, su estructura esta dada por árboles dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos. Por ello, es importante mencionar que la especie *Abies*

religiosa (especie dominante), es intolerante a la luz, deberá mantener esta distribución de categorías diamétricas y de altura, por tal motivo, se mantiene la probabilidad de que el oyamel se reproduzca de manera natural, contando con la protección (sombrea) del padre. Cualquier perturbación puede influir en la sobrevivencia de las semillas viables. Un bosque no cotaneo muestra una distribución irregular y pequeñas aberturas dando lugar a un crecimiento de un primer nivel de árboles jóvenes y plántulas llenando vacíos para un segundo nivel. Esto sucede en la distribución que presenta en el 2004. Es importante mencionar entonces que tener un estadio adulto de mayor frecuencia (Figura 6.11B) significa una etapa reproductiva más importante que puede afectar al reclutamiento de individuos nuevos. Además al tener un estadio adulto involucra una mayor competencia provocando un índice alto de mortalidad.

6.3.3. CRECIMIENTO DEL RODAL: RELACIÓN DIÁMETRO VS EDAD

La altura está relacionada con la edad (Figura 6.12 A) en 1997 la población tenía una edad alrededor de los 40 años, presentando una altura de 10 a 30 m. La población de oyamel está dada por la estructura II, esta estructura II está compuesta por plántulas y árboles jóvenes principalmente, esto significa que hubo fuertes limitaciones al establecimiento y sobrevivencia de los individuos.

La población en ese momento no alcanzaba su etapa reproductiva es por eso que en 2004 las semillas y plántulas que sobreviven fueron pocas, es evidencia que años atrás factores aun no identificados fueron resultado de tal estructura, podrían identificarse como sequías, fuego que años atrás se presentó, tala y contaminantes atmosféricos, ya que este último tiene relaciones entre la deposición atmosférica, el estado de los suelos, la química foliar, el crecimiento arbóreo y el estado de la copa (informe ejecutivo 2004). El crecimiento entre 1997 y 2004 aumentó significativamente, es bien sabido que bajo ciertas condiciones del

sitio y de la masa, las deposiciones pueden enriquecer el suelo con nitrógeno (eutrofización), también el incremento de las temperaturas y de las concentraciones de CO2 pueden tener un efecto estimulante.

Para mayor interpretación se realizó un análisis de regresión en los indicadores de salud (Cuadro 6.4). La ecuación del modelo es $Y = a + b(x)$ definiendo a las variables diámetro y altura (1997 y 2004), la correspondiente muestra una relación lineal significativa entre las variables diámetro y altura.

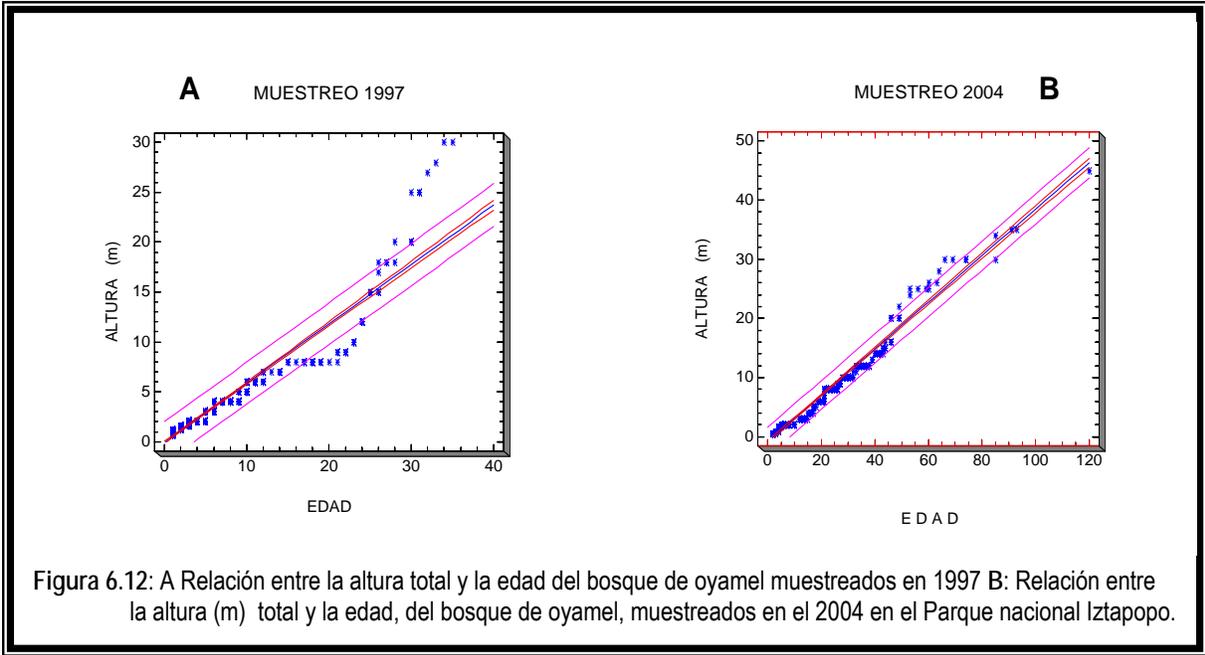
Cuadro 6.4 brinda las ecuaciones de ajuste para los indicadores altura y diámetro de los sitios establece una relación lineal

Modelo lineal Y= a+b*x	Variables: Dependiente E independiente	Coefficiente de correlación	R ² ajustada	Error medio	ecuación	P < F
1997	Y= altura X= edad	0.9511	90.447	0.5408	Altura = - 0.0712+0.59424*edad	0.001
1997	Y=diámetro X=edad	0.998291	99.6581	0.1891	Diámetro = 0.40514+0.6762*edad	0.001
1997	Y= altura X= diámetro	0.998291	99.6581	0.189141	Diámetro = 0.405141+0.6762*edad	0.001
2004	Y=altura X=edad	0.98772	97.56	0.96402	Altura = - 0.82452+0.39301*edad	0.001
2004	Y=diámetro X=edad	0.97905	95.85	1.87099	Diámetro = -1.6549+0.79718*edad	0.001
2004	Y= altura X= diámetro	0.96916	93.92	1.05828	Altura = 0.272588+0.473574* Diámetro.	0.001

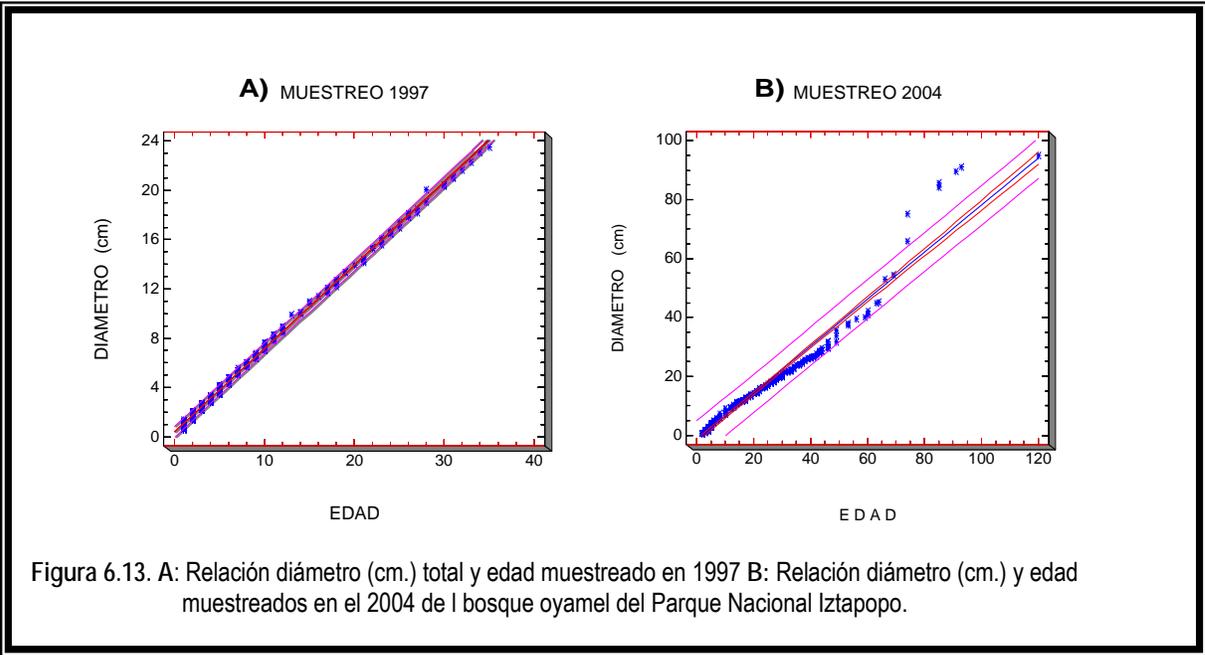
Las ecuaciones que se obtienen con los indicadores diámetro y altura en los diferentes muestreos (1997 y 2004) nos arrojan un coeficiente de correlación alto para el año 1997.

Los indicadores muestran relación con la edad, lo cual es importante para definir la edad del bosque joven.

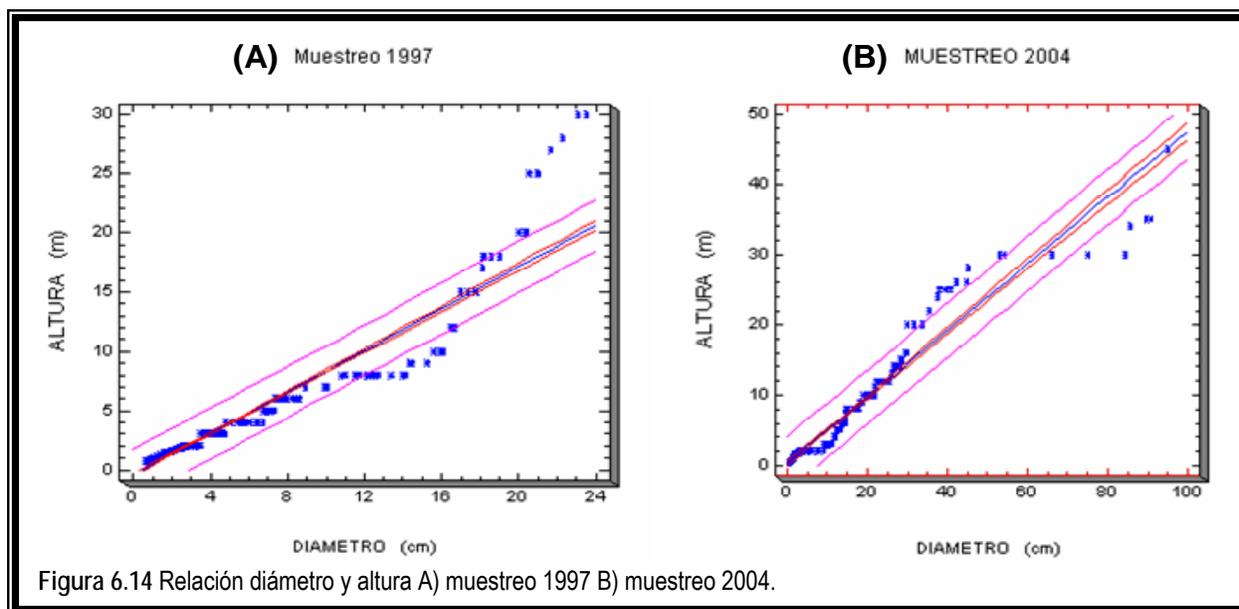
Esto confirma que los bosques están sujetos al impacto de numerosos cambios medioambientales, estos cambios amenazan el manejo sostenible de los bosques y por lo tanto las funciones.



La relación altura con la edad en el 2004 (Figura 6.12B) se observa que existe una relación, la edad presente es de 10 a 120 años con alturas de 10 a 50 metros. La población presenta una estructura I donde disminuye la frecuencia de los individuos al aumentar los tamaños. Este bosque esta espeso a que los árboles sean talados, y pierden los adultos como individuos importantes por su etapa reproductiva.



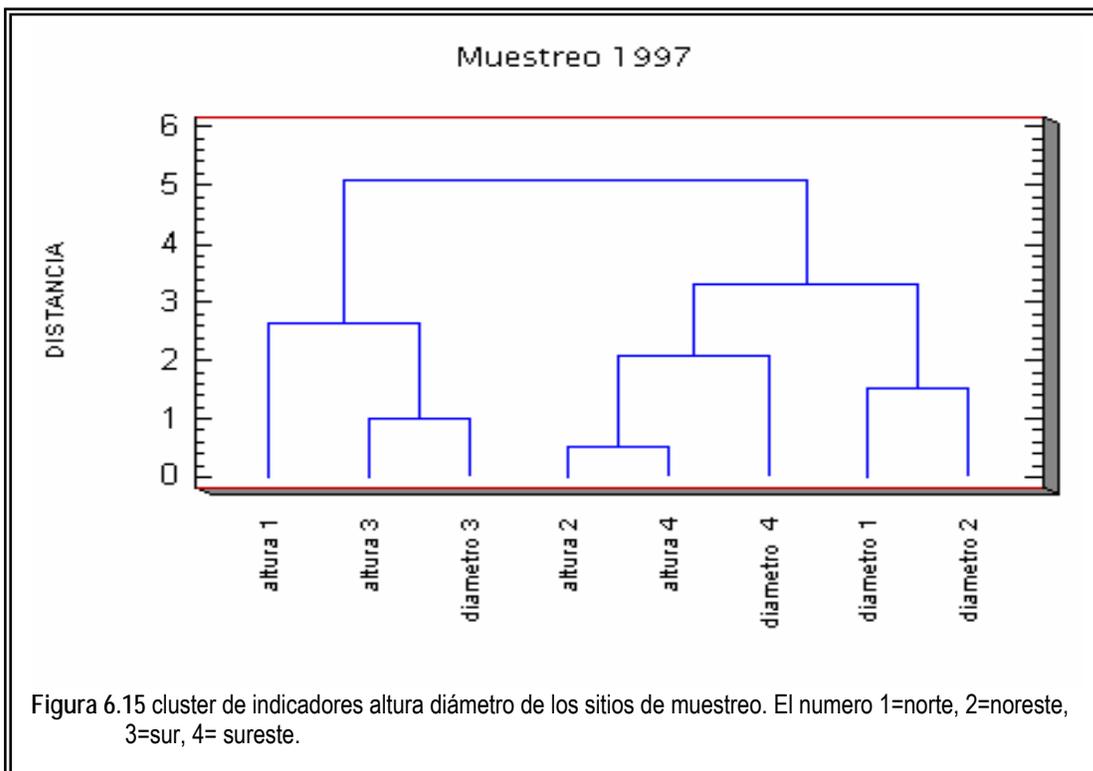
El indicador diámetro muestra relación con la edad (Figura 6.13A) la de la población es de 10 a 40 años con diámetros de 10-24cm En el 2004 (Figura 6.13B) el diámetro esta relacionado con la edad. Los diámetros de mayor frecuencia son de 10a 40cm. con edad de 0 a 60 años, presenta pocos árboles de 80a 120 años con diámetros de 60a 80cm.



Esta población también se ha visto afectado por fuertes impactos, debido a que ha disminuido el crecimiento forestal, y esta sujeto de una tala clandestina. Existe relación entre el diámetro y la altura (Figura 6.14A), su crecimiento fue de manera ascendente, se mantuvo constante en un periodo de tiempo, su crecimiento se inhibe por un factor que altera de alguna manera su metabolismo, desde que las raíces comienzan. En el 2004 (Figura 6.14B) el crecimiento fue ascendente de manera acelerada en este año su crecimiento fue mayor respecto a 1997.

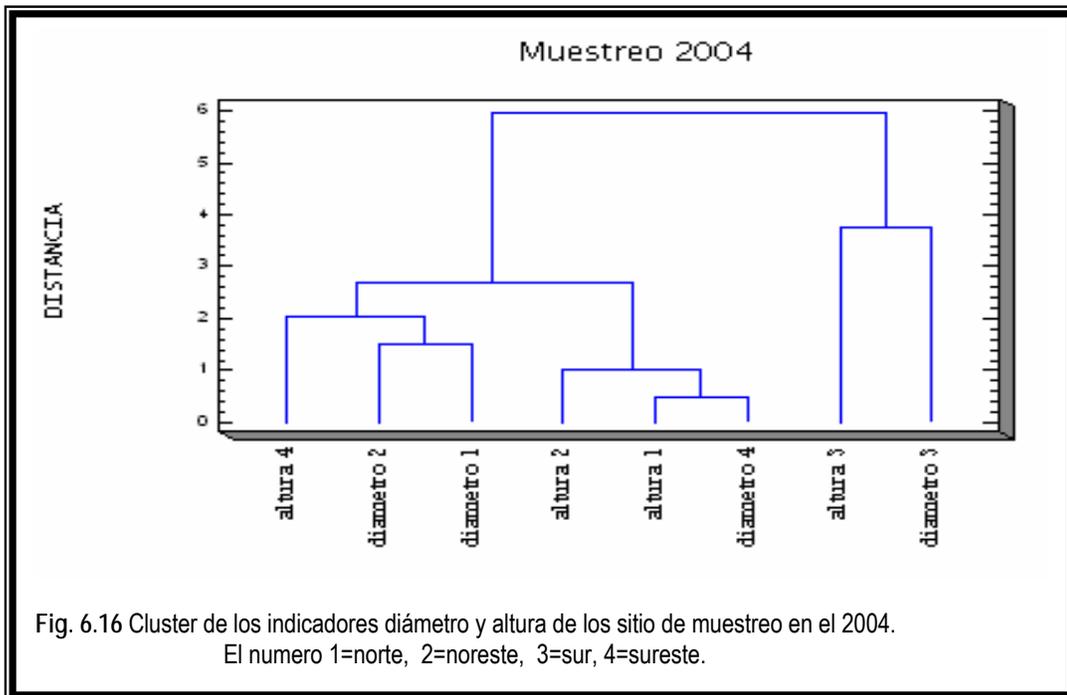
6.4. AGRUPACIÓN DE INDICADORES PARA DEFINIR LA ESTRUCTURA DEL RODAL

Se utilizó la técnica de cluster para identificar las variables de mayor similitud y diferencias. Se observa que la altura 3 está relacionada con el diámetro 3, estos están dentro del mismo sitio, y tienen relación con la altura del sitio 1, este grupo forma un tipo de estructura poblacional, no se identifican las características pero se sabe que presentan similitudes muy parecidas, altura 2 y la altura 4 forman otro grupo, presentan similitudes, relacionados con el diámetro del sitio 4 pero lejanos y el último grupo está el diámetro del sitio 1 y el diámetro



del sitio 2 estos indicadores forman un tipo de estructura (Figura 6.15).

Primero tenemos dos grupos: el primero presenta similitudes parecidas y el segundo presenta similitudes lejanas después se forman tres grupos estos grupos forman cierta estructura en la población, las variables que constituyen es la altura del sitio 4 se presenta relacionada con el diámetro del sitio 2 y diámetro del sitio 1, el segundo grupo lo conforman la altura del sitio 4 que se relaciona con la altura del sitio 1 y diámetro del sitio 4, estos grupos forman una estructura en la población (Figura 6.16).



6.5. ESTADO DE LA COPA DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN EL PARQUE NACIONAL IZTAPOCATEPETL.

La defoliación es un parámetro clave para ver el estado de la copa, la densidad es el reflejo del vigor de copa, el Parque Nacional Iztapocatepetl se ha manifestado con diversos síntomas de daño entre ellos es la pérdida de hojas y la pérdida de la forma cónica del bosque de oyamel.

Con el criterio (cuadro 6.5) que maneja el programa de seguimiento paneuropeo en la salud de los bosques europeos. Se utilizó para clasificar los árboles por sitio en categorías ligero, moderado, severo y muerto, para el sitio norte 1997, mas de la mitad de los árboles (60.8%) presenta un daño severo, pérdida de hoja 75% y pertenece a la clase 3 (ver, cuadro 6.5), el 13.9 % de árboles presentan un daño ligero, clase 2, pérdida de hoja 25%, muy pocos (5.3%) o presentan daño moderado.

El sitio noroeste presenta daño de copa severo, clase 3 de un 55.4 % de árboles y el resto se encuentra entre daño ligero y moderado, clase 2 y 3. Para los sitios sur y sureste los daños son similares.

Cuadro 6.5 Clases de defoliación de cada uno de los sitios de muestreo hechos en 1997, cada perdida corresponde a un grado de defoliación y decoloración.

Sitios de muestreo	Perdida de hoja % y proporción de árboles %	Grados de defoliación
1	75 (60.8)	Severo
	25 (13.9)	ligero
	50 (5.3)	moderado
2	75 (55.4)	severo
	25 (42)	ligero
	50 (32.6)	moderado
3	75 (43.15)	severo
	25 (27.8)	ligera
	50 (26.4)	moderado
4	75 (45)	severo
	50 (37.4)	moderada
	25 (16.89)	ligero

El sitio noroeste presenta daño de copa severo, clase 3 de un 55.4 % de árboles y el resto se encuentra entre daño ligero y moderado, clase 2 y 3. Para los sitios sur y sureste los daños son similares.

Para el 2004 el sitio con más pérdida de hoja es el sur (87.7) con grado severo, clase 3 (Cuadro 6.6). El resto de los sitios presentan daño severo, ligero y moderado, el sitio norte, noroeste y sureste presentan 0% de pérdida de hoja, clase 1, estos se mantienen sanos.

El daño de copa disminuyo en el 2004, se presentaron árboles sanos, en cambio en 1997 no hay ningún sano, sin embargo el 75% de perdida siempre presento el mayor porcentaje de árboles muestreados, por lo tanto se les considera al rodal de 1997 un daño severo-moderado y al 2004 el rodal presento un daño severo-ligero. Se observo que algunos árboles dominantes presentaban una clase 3 y 2 de defoliación, por lo tanto la entrada de luz era mayor, la competencia aumenta y el desarrollo del bosque se ve afectado.

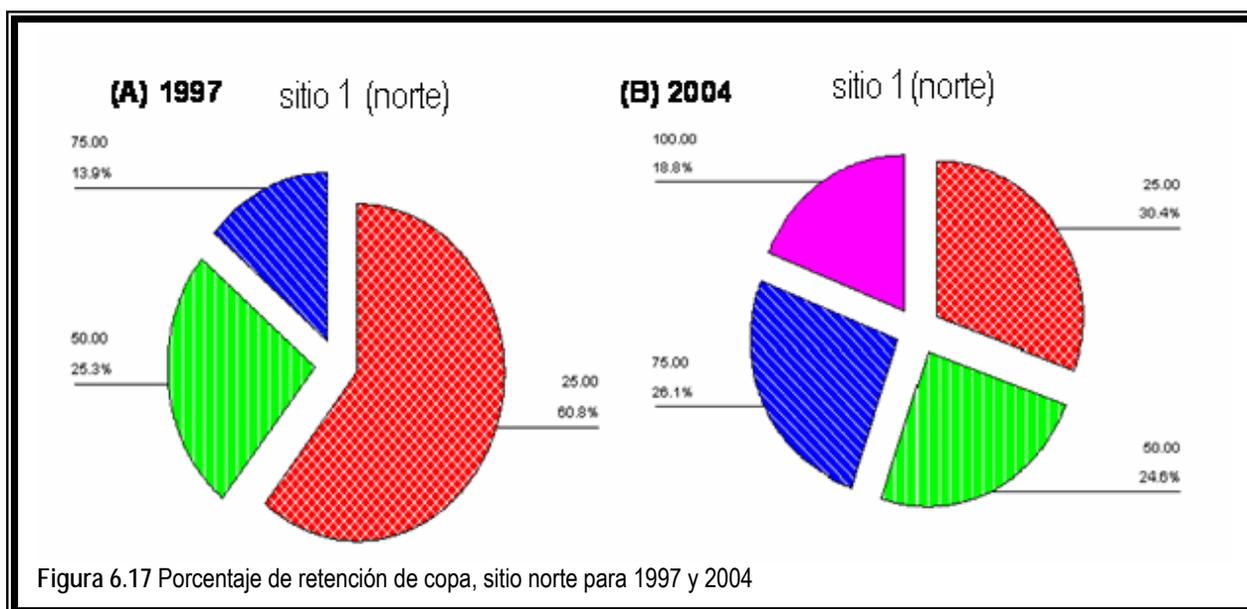
Cuadro 6.6 Clases de defoliación de cada uno de los sitios de muestreo hechos en 2004, cada perdida
Corresponde a un grado de defoliación y decoloración

Sitio de muestreo	Perdida de hoja % y proporción de árboles	Grados de defoliación
1	75 (30.4)	severo
	25 (26.1)	ligero
	50 (24.65)	moderado
	0 (18.8)	
2	75 (43.7)	severo
	25 (35.4)	ligero
	50 (18.7)	Moderado
	0 (2.1)	
3	75 (87.7)	severo
	25 (65)	Ligero
	50 (28.8)	Moderado
4	75 (35.4)	severo
	50 (23.2)	Moderado
	25 (18.3)	ligero
	0 (16.8)	

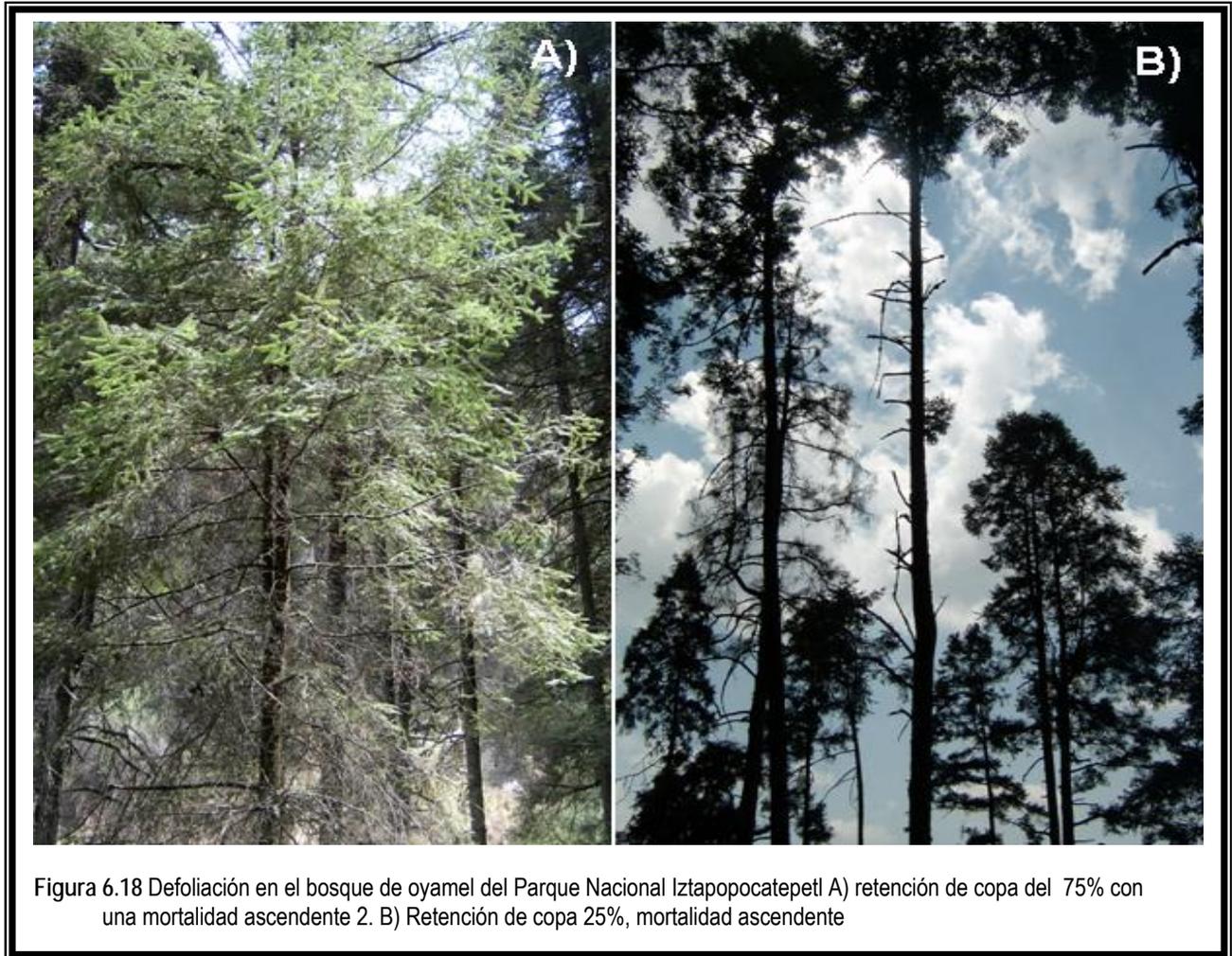
Para la evaluación de los resultados de la defoliación en forma visual se utilizo el sistema de Republica Federal Alemania (Figura 4.7) conocida como retención de copa y mortalidad existente, teniendo los siguientes resultados.

SITIO 1 (norte):

En 1997 el mayor porcentaje de retención de copa es del 25% (Figura 6.17 A) 60.8% del total de individuos registrados), continua el 50% que corresponde a 5.3% del total de árboles y un 75% 13.9% total de árboles.



Para el 2004 se observa que también el 25% de retención de copa es de mayor proporción con un 30.4% del total de individuos (Figura 6.18 B), seguido por el 75% en 26.1% y el 50% con 24.65 del total de individuos registrados. Se registro árboles con retención de copa del 100% en 18.8% de árboles registrados.

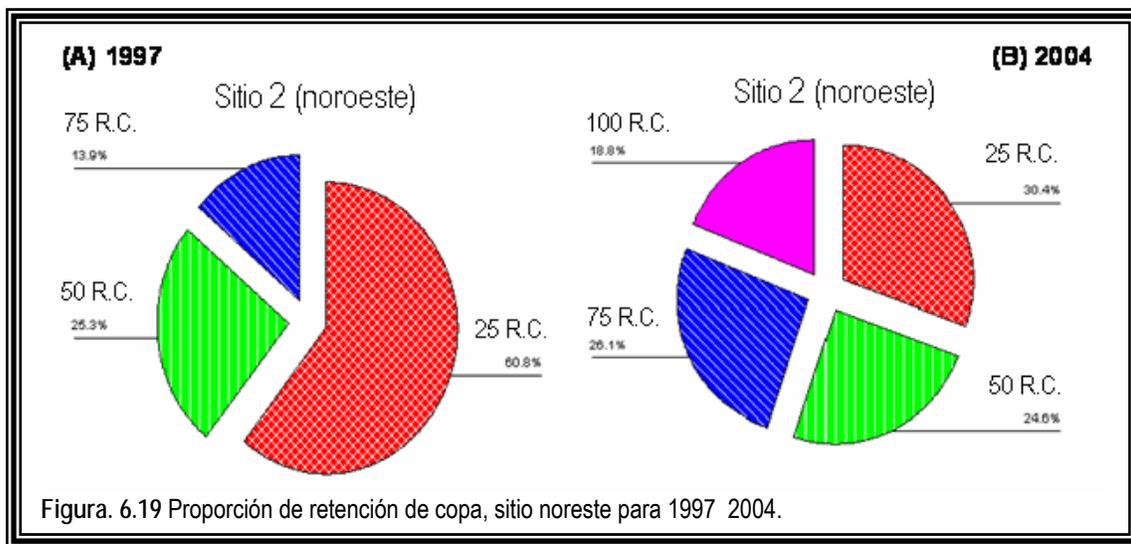


Los resultados indican que la población de oyamel se encontraba en estado crítico debido a que presenta un porcentaje grande de defoliación, sin embargo para el 2004 cambio, ya que la defoliación disminuyo, esto podría deberse a que se han estado mejorando los programas ambientales de control de calidad del aire, por lo que se ha reducido considerablemente, teniendo en cuenta los demás factores medioambientales.

Se tomaron fotos de copas arbóreas del 2004, de esta manera se garantizo la evaluación de copa de manera visual en el Parque (Figura 6.18).

SITIO 2 (noreste):

En 1997 (Figura 6.19A) se obtuvo que el 25% de retención de copa fue la de mayor proporción con 55.4% del total de árboles registrados, le continua el 50% de retención de copa con un 25.3 % del total, y el 75% de R.C. en 13.9% de los individuos registrados. El tiempo de exposición a los contaminantes atmosféricos afecto al arbolado que tan solo poseía un 25% RC, seguramente murieron, pero fueron repuestos por juveniles que aparecen con un 100% de RC en el año 2004 (Figura 6.19B). Por el otro lado los jóvenes se mantienen con daño ligero, y la otro mitad son árboles adultos que han estado mucho tiempo expuestos a los factores ambientales.



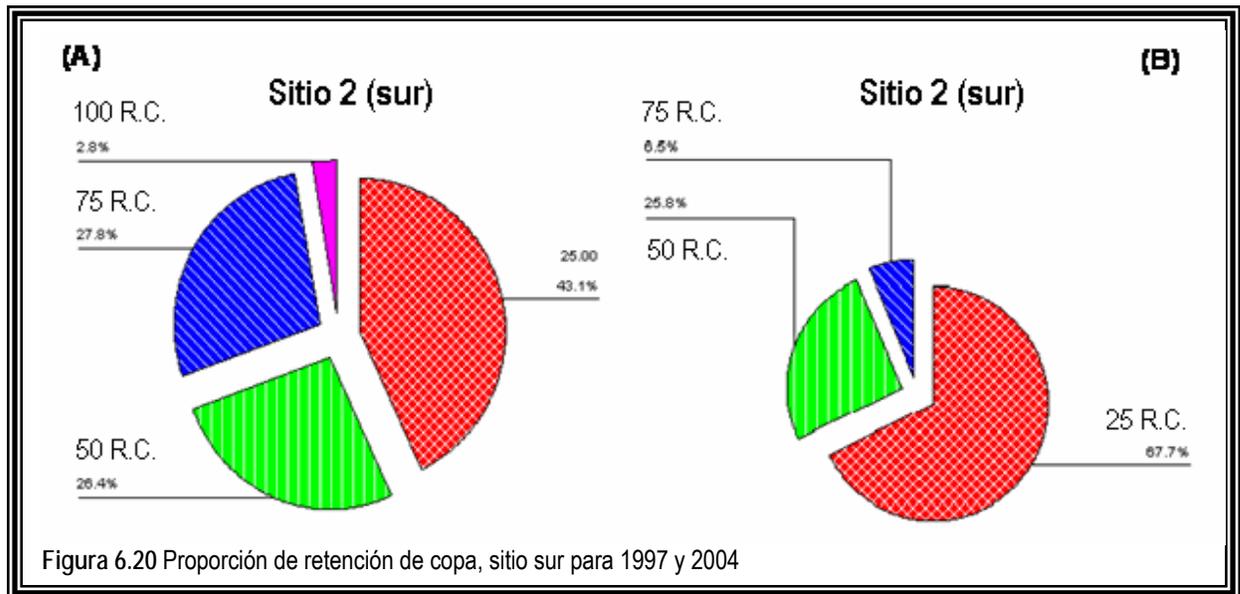
Lo mismo sucede con el sitio norte, solo que aquí más de la mitad se encuentra en defoliación del cual tiene un daño severo. Hay árboles con 100% de retención de copa, estos se encuentran sanos, lo que sería importante poder protegerlos de una tala, ya que si desaparecen ponen en riesgo el desarrollo productivo.

Para el 2004 el 25% de retención de copa es 30.4% del total de individuos (Figura 6.20B), sigue el 75% en 26.1% del total de individuos registrados, seguido por el 50% de retención de copa en 24% del total de árboles, en este sitio se tiene 100% de retención de copa en 18.1% del total. La defoliación es menor en comparación con 1997, el bosque se mantiene más saludable, encontrando árboles totalmente sanos, ahora

estos árboles presentan una mayor competencia que con todos los demás, necesita mantenerlo, en buen estado.

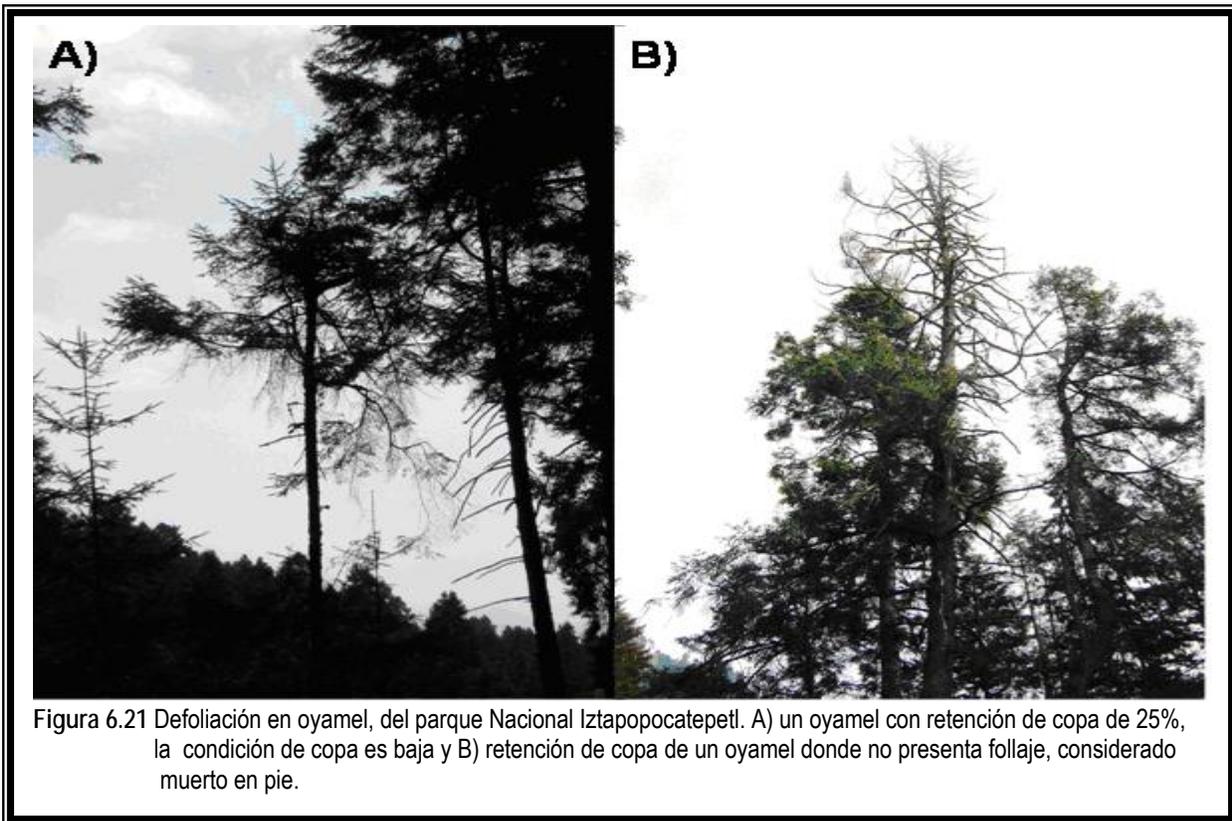
SITIO 3 (sur):

En 1997 (Figura 6.20A) el 25% de retención de copa es en 43.15 del total de individuos registrados, seguido por el 75% de retención de copa en 27.8% del total de Individuos registrados, un 50% de R.C. en 26.4% para los mismos, y se observa que se presenta 100% de R.C. en 2.8% es mínimo de árboles comparado con los porcentajes anteriores, se aprecia que la mitad de la población en ese sitio tiene un grado del 75% de defoliación y para el resto va disminuyendo el grado de defoliación, por lo que hace estar en un daño moderado.



Para el 2004 (Figura 6.20B) se observa que el 25% de R.C. es en 87.7% del total de árboles registrados es decir la mayoría de la población del sitio sur en 2004 presentan defoliación severa, en segundo lugar esta el 50% de R.C. en 25.8% del total de árboles registrados y tercer lugar esta el 75% de R.C. en 6.5% del total de árboles; comparado con 1997 la población se encuentra en mayor daño.

El crecimiento del oyamel esta relacionado con la defoliación, un árbol que se desarrolla de manera normal llega alcanzar una altura de 35-40 m, el estrato arbóreo es bien desarrollado, sin embargo cuando sucede una



defoliación con daño moderado a severo la localidad se ve afectada, comienza haber cambios, se presenta un claro permitiendo la entrada de luz, esto favorece a las planta tolerantes pero no a las intolerantes.

Permitiendo el espacio a las herbáceas, cuando se presenta esto, sucede dos cosas: el claro favorece el



Figura 6.22 Un oyamel con la punta trozada (sur), conocida como die back en los bosques de Europa, defoliación provocado por insectos.

crecimiento de los árboles más vigorosos, sobresaliendo los dominantes y codominantes, por otro lado puede causar la muerte de los menos vigorosos, ya que la competencia íter específica más intensa.

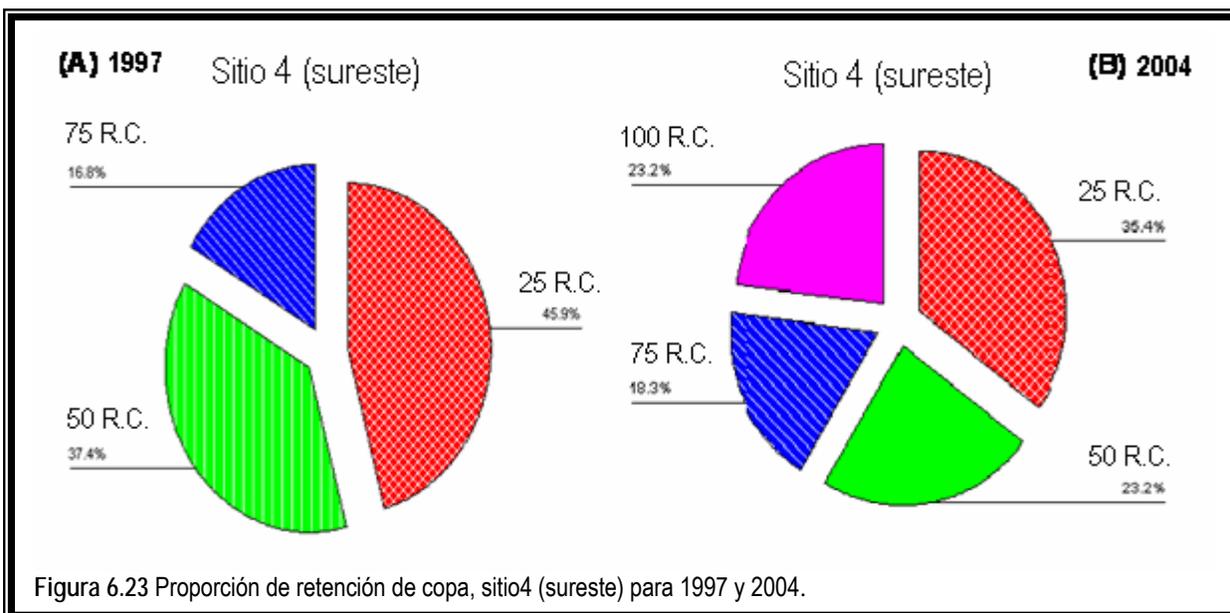
La foto (Figura 6.22) de abajo es una típica daño por insecto, principalmente por insectos desfoliadores, aunque se desconoce, por lo tanto una interpretación más detallada sería

cuando se continué el trabajo, para dar información sobre la extensión, intensidad y el tipo de insecto y hongo, lo que se predice es que un insecto aparece en árboles debilitados por diversos factores (sequías, fuego, heladas) por ello puede conducir a una desestabilización de las masas. Un factor importante que se atribuye es la contaminación ambiental y se ha demostrado en otros trabajos publicados.

SITIO SURESTE (4):

En 1997 se observa (Figura 6.23A) un 25% de R.C. en 45.9% del total de árboles registrados, seguido por un 50% de R.C. en 37.4% del total de árboles registrados, como tercer lugar el 75% en 16.8% del total de árboles registrados.

En comparación con el 2004 (Figura 6.23B) la defoliación fue menor, se encontraron árboles que presentaban una defoliación de 50% y 100% de retención de copa con un 23.2% del total de árboles registrados. Por otro lado, el % RC del 25% arrojo estar presente en el mayor por ciento (35.4) de la población arbórea registra, contrario al 75% RC, que resulto ser el menor (18.3%).



El porcentaje de retención de copa para este oyamel (Figura 6.24) es 100% del cual de considera sano, en comparación con todos los que se observan presentan defoliación del 25% de R.C. la causa de estas

variaciones son el efecto de la edad del árbol, los extremos meteorológicos, los factores bióticos y la contaminación Atmosférico (deposito ácido). Alvarado 1982 comenta que un análisis químico que se realizo a la agujas del pino en el Desierto de los Leones confirmó que las altas o bajas concentraciones de elementos como cu, Fe, Zn y Mg alteran la función celular y sus tejidos. Provocando síntomas en las hojas como decoloración y defoliación.

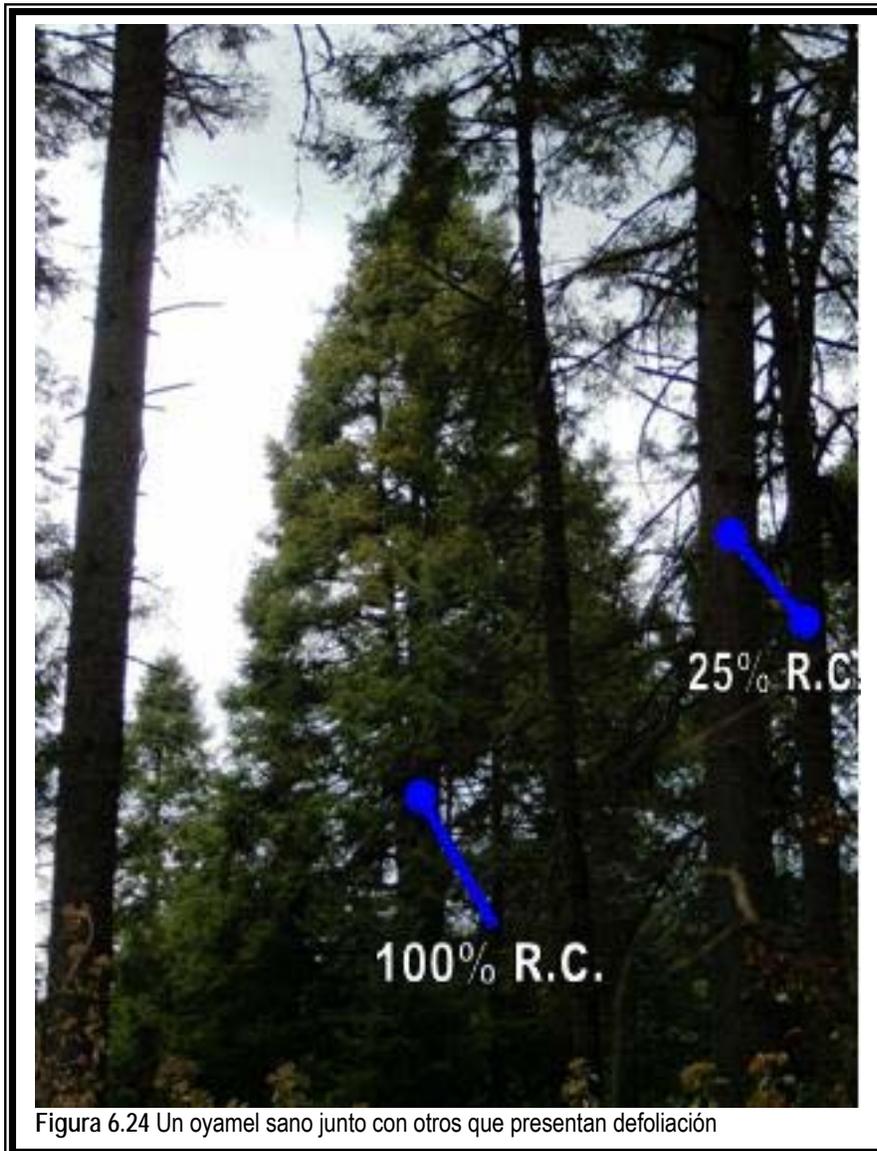


Figura 6.24 Un oyamel sano junto con otros que presentan defoliación

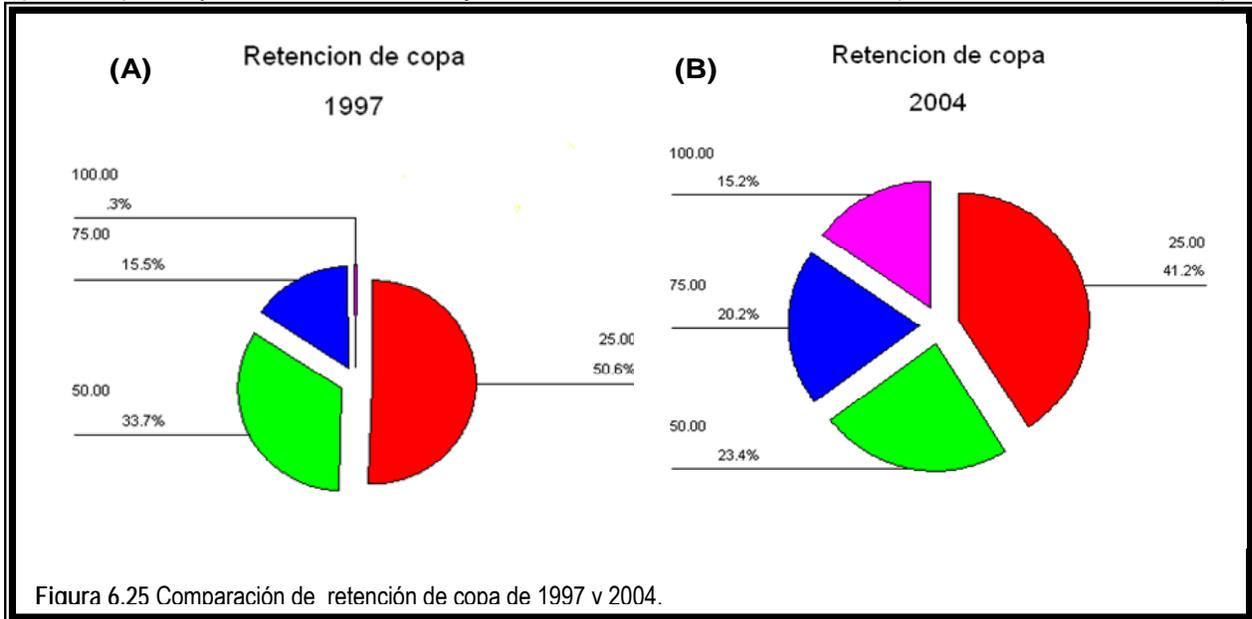
Las tendencias regionales son sorprendentemente paralelas en muchos puntos sin tener en cuenta su tipo de terreno y estructura, esto sugiere que la salud de las especies arbóreas no solo depende de las influencias locales sino también de los factores de estrés a gran escala.

En 1997 se registro un mayor porcentaje del 25 % de Retención de copa (Figura 6.25 A) con el 2004, el porcentaje disminuyo un poco pero aun se

presenta el 25% de retención con 41.2% (figura 5.25 B) por tal motivo la población aun se encuentra con daño moderado a severo. Skelly *et al* (1997) realiza un estudio del daño inducido por el ozono en el parque desierto

de los Leones y registro que de 169 árboles con diámetros a la altura del pecho, mayor a los 5 cm., el 69 (41%) fueron sensibles a la exposición del ozono y 100 (59%) fueron tolerantes al ozono.

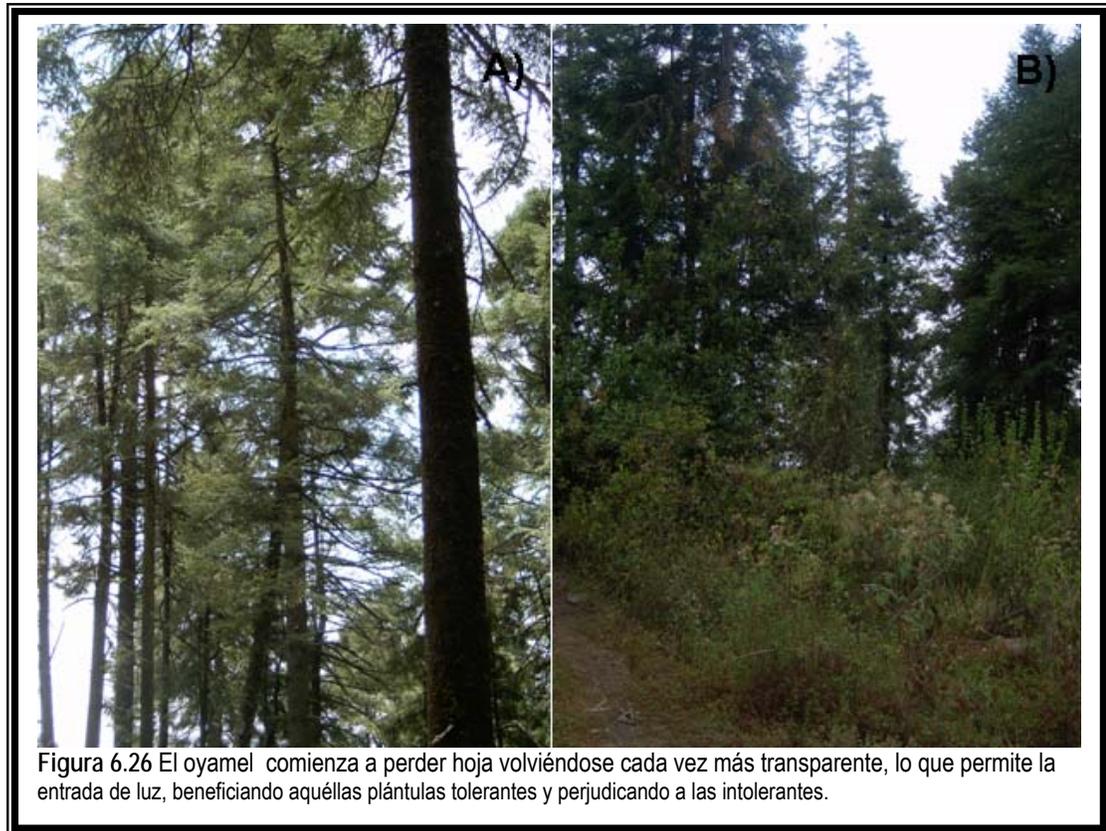
Los árboles tolerantes carecen de síntomas de daño, se presentan como árboles vigorosos, robustos, con copas completas y color verde de las hojas; en cambio los árboles sensibles presentan defoliación en la parte



superior de la copa 42 (60%) y en parte inferior.

Notó que los árboles que muestran avances de síntomas fueron encontrados a los 3000-2950 m esto significa, que la distribución con gradiente de elevación, contribuye a los síntomas de daño, mas o menos en un árbol.

El porcentaje de árboles dañados en el DDL fue menor a los que se han encontrado en Pennsylvania y Senandoah. (Skelly *et al* 1997).



La defoliación comienza desde la parte interior hacia la parte exterior y desde abajo hacia arriba de la copa, cada vez que se pierde hoja, en el transcurso de la defoliación se vuelve más transparente la copa (Figura 6.26A) lo que permite la entrada de luz por lo tanto comienza a crecer las hierbas y arbustos (figura 6.26B) de tal manera que comienza a cubrir gran parte de la superficie. Logrando ocupar un espacio importante para aquellas plántulas que comienzan a crecer.

En el bosque oyamel del Parque Nacional Iztapopocatepetl el fenómeno de declive forestal se ha registrado desde los años 80' corroborando con este estudio que todavía se sigue presentando los síntomas de defoliación, decoloración y bajo vigor de la copa y como consecuencia se ha presentado transparencia de follaje y deformación de la forma cónica de la copa, como también se observó la explotación de madera (tala) permitiendo la competencia de espacio entre las especies. Este fenómeno presentado en muchos estudios

presume que los síntomas mencionados son causa de la contaminación del aire como agente casual del decline forestal.

En el 2000 Pérez reporto que el 25% de daño en copa presentan una frecuencia semejante para el 75% (96 y 88 individuos, respectivamente), 50% y 25% (126 y 120 individuos,) de R.C. y concluye que el bosque presenta daño moderado a severo y que el índice de mortalidad sea mayor continuando así hasta este momento donde el bosque presenta un grado de daño severo y siendo así la mortalidad crece continuamente, además de esto, atribuye que la practica forestal de 1984 y 1985 permitió la liberación de lo arboles juveniles y brínzales permitiendo un mayor crecimiento de copa.

La densidad de copa ha disminuido considerablemente y cada vez es menor, debido a la condición del sitio, el estatus social de cada árbol y a la forma de las ramas de cada árbol (Solberg & Strand, 1999). Esto tiene consecuencias en forma grupal ya que los árboles dejan de ser coodominantes o dominantes, no hay que olvidar la competencia que existe entre ellos, cuando en un bosque, su competencia se vuelve más intensa ocasiona que las capas de lento crecimiento se topen cada vez más y finalmente son cubiertas por los árboles adyacentes de crecimiento rápido creando una estratificación vertical (Young,1991), esto pasa en un bosque no dañado pero cuando hay una perturbación se altera el desarrollo del bosque ocasionando la mortalidad.

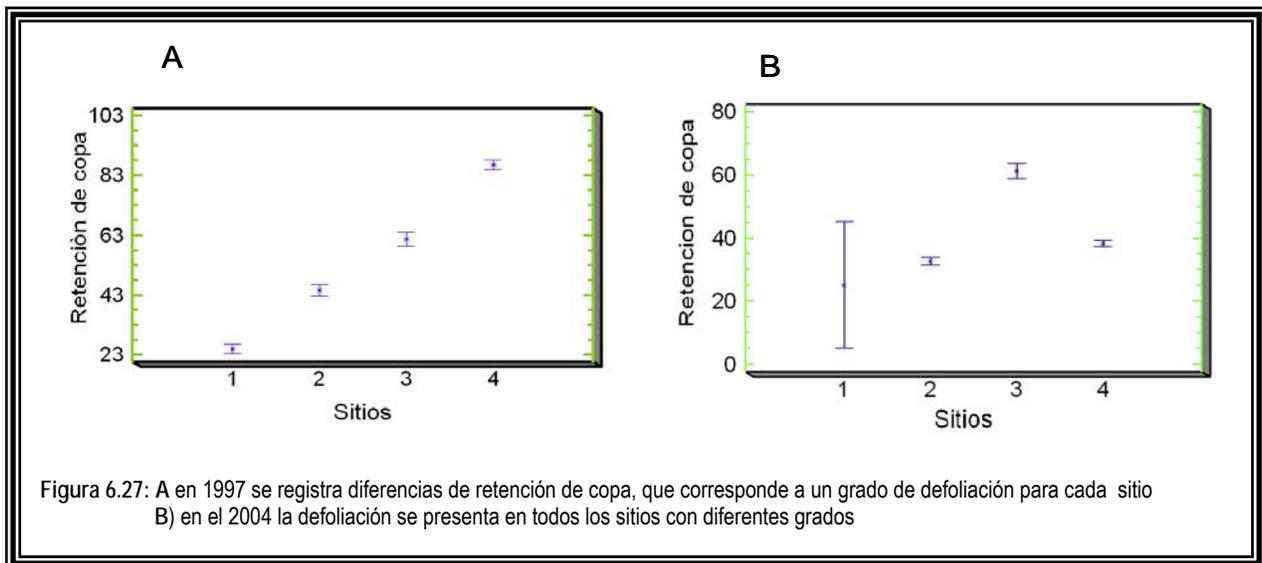


Figura 6.27: A en 1997 se registra diferencias de retención de copa, que corresponde a un grado de defoliación para cada sitio B) en el 2004 la defoliación se presenta en todos los sitios con diferentes grados

La defoliación de la copa implica su transparencia, que va de la parte inferior hacia la parte superior de la copa ocasionando la entrada de luz para la regeneración de otras especies. Se registra en 1997 que la población del sitio 4 tiene mayor retención de copa, el grado de defoliación no es severo como el que presenta el sitio 1 (Figura 6.27A); en comparación con el 2004 los sitios 1, 2, y 4 presentan los mismos daños de defoliación (Figura 6.27B)

6.6. TIPO DE MORTALIDAD

Se observa que el tipo de mortalidad para 1997 de mayor porcentaje es ascendente1 de un 25% de copa

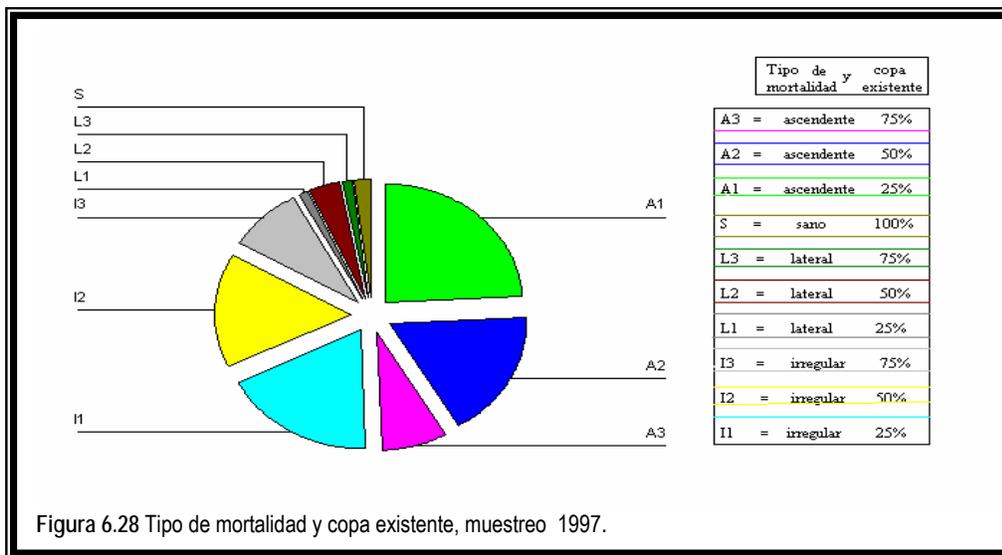


Figura 6.28 Tipo de mortalidad y copa existente, muestreo 1997.

existente (Figura 5.28) y de menor porcentaje son de mortalidad lateral 2 (Figura 6.28) con 25 % de copa existente, y lateral 3 con 75% de copa existente.

Para el 2004 de mayor porcentaje de mortalidad es de tipo ascendente1 con 25% (Figura 6.29) de copa

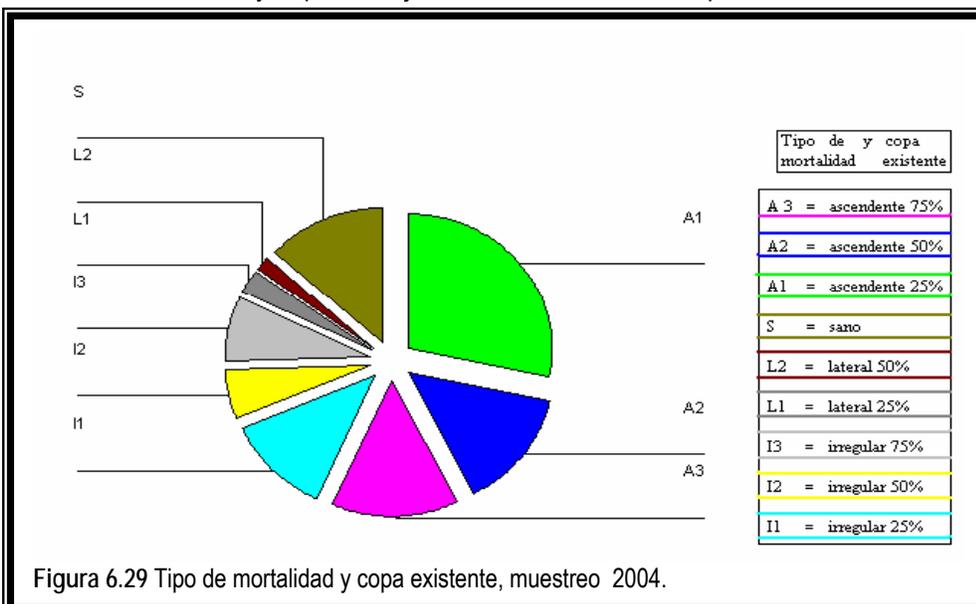


Figura 6.29 Tipo de mortalidad y copa existente, muestreo 2004.

existente y el menor porcentaje (1.8%) es tipo lateral 2 con 50% de copa existente. Tanto para el muestreo del año 1997 y el muestreo 2004 se observa que predomina

la mortalidad ascendente 1 con un 25% de copa, seguido por ascendente 2 y 3 (Figura 29, rebanada azul y lila); se ha completa con mortalidad irregular 1, 2 estos datos nos permite visualizar la vitalidad y dinámica del bosque

La dinámica (crecimiento y mortalidad) conduce a diferentes estructuras espaciales que forman características comunes aunque sea insignificante en algunos casos. La composición del suelo o modificación de capacidad de luz puede dar una modificación en la intensidad de competencia.

Cuando un rodal sea más complejo las existencias de diferentes especies y de diferente tamaño del árbol constituye factores que puede explicar desviación a partir de un patrón regular. La competencia se da en diferentes grados de acuerdo al tamaño del árbol, ya que un árbol grande es más competitivo que uno pequeño.

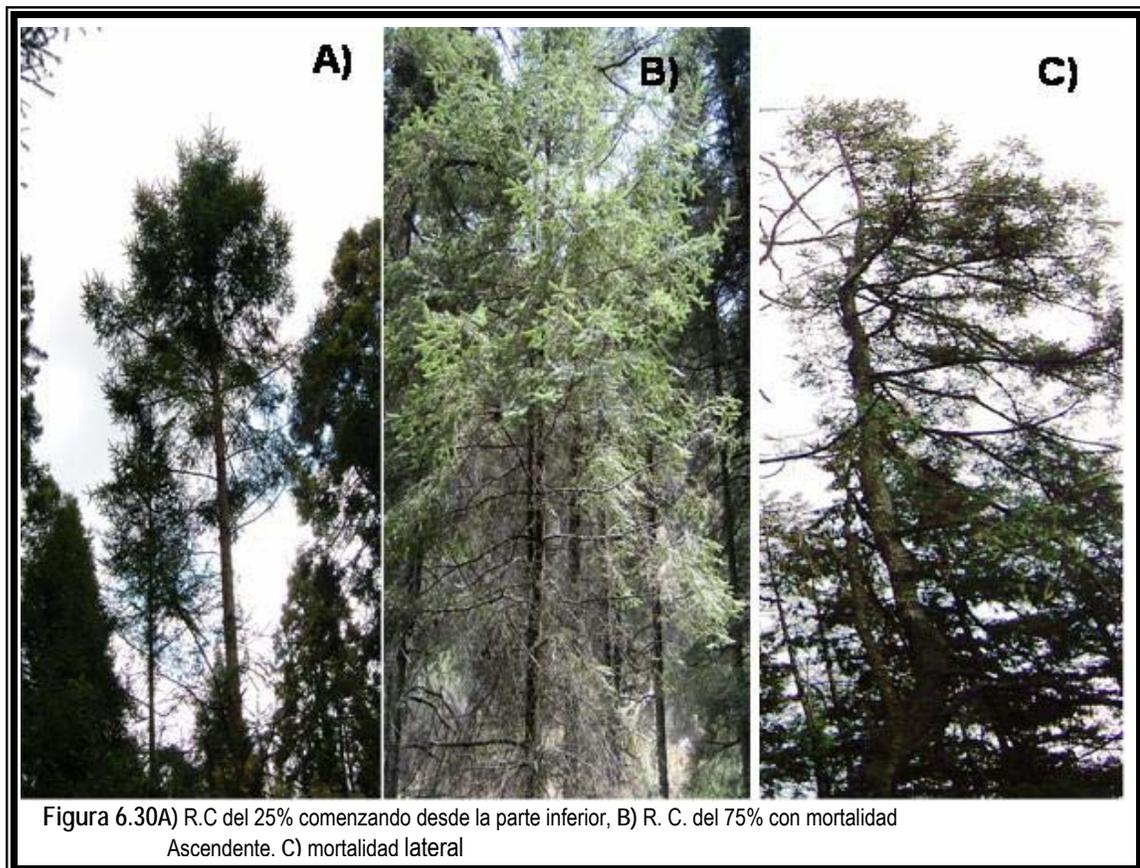


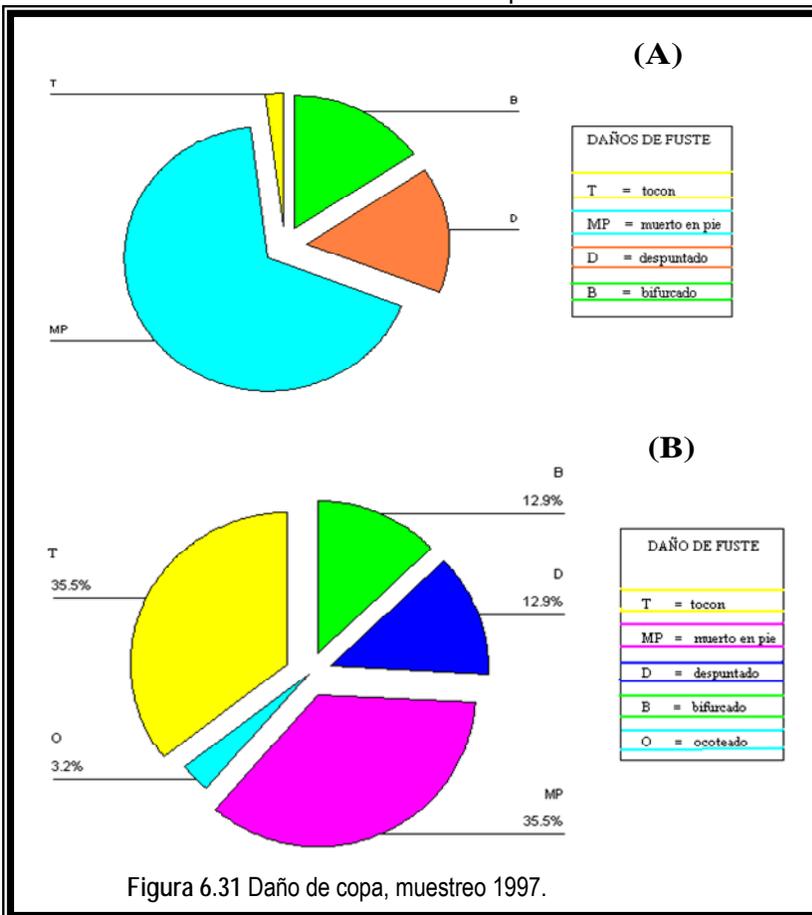
Figura 6.30A) R.C del 25% comenzando desde la parte inferior, B) R. C. del 75% con mortalidad Ascendente. C) mortalidad lateral

De acuerdo al análisis que realizó Moravie: una variación en la intensidad de competencia de dos modifica el crecimiento de todos los árboles, cuando las variaciones de competencia de una ladera solamente afecta el crecimiento del árbol con $DBH \leq 50$ cm.

6.7. DAÑO DE COPA

Para 1997 (Figura 6.31A) se encontró una gran cantidad de árboles muertos en pie, seguido por árboles despuntados.

Para el 2004 (Figura 6.31B) se encontró un gran número de árboles muertos en pie, seguido por tocones. Con poco daños por despuntado, bifurcado y muy pocos son ocoteados. Nieto (1995) hace mención que las oqueteadas en los fustes puede deberse al impacto físico derivado del troce de ramas o bien por necrosis debido a una herida mal cicatrizada. Las puntas trozadas no tienen significados en términos de salud pero

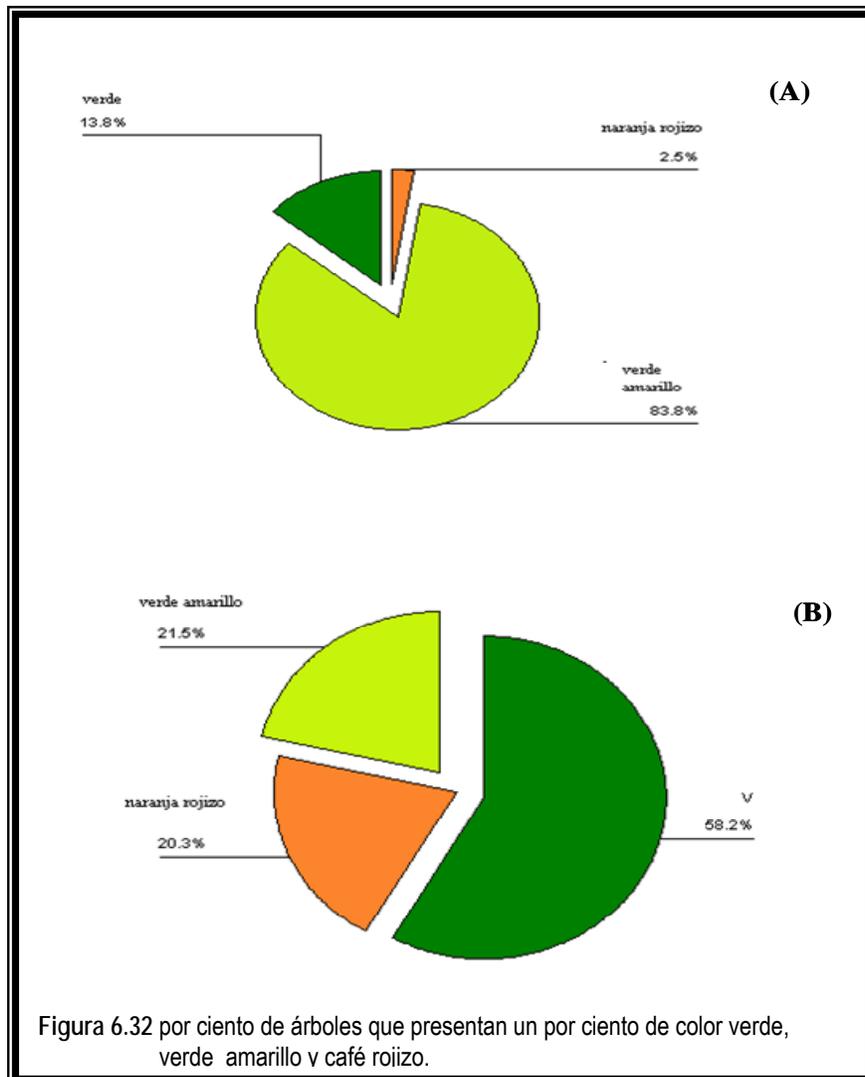


eventualmente conduce a un desarrollo anormal de la copa, pues de ser árboles con forma cónica, adquieren formas esferoidales o de candelabro y no alcanzan alturas sobresalientes al estar ausente el meristemo apical. Por lo general obedecen a efectos meteorológicos. Las bifurcaciones se presentan con mayor frecuencia con los síntomas anteriores.

6.7. COLOR DE LAS AGUJAS

El color del follaje es otro parámetro para estimar las condiciones de salud que se encuentra el bosque de oyamel-pino. Para 1997 (Figura 6.32 A) se encontró que el color verde limón (83.8% de 237 árboles) dominaba mas en todos los árboles registrados, seguido por el verde (13.8 de 237 árboles) y después el verde amarillo (2.5 de 237 árboles). Para 2004 el color verde será el más dominante (Figura 6.32 B), seguido por el verde limón y después el verde amarillo.

En la copa el color se puede presentar en la parte superior de la copa o en la parte inferior o en ambas. En el Desierto de los Leones se registro 339 árboles de los cuales 149 presentaron color verde amarillo en la parte



inferior de la copa y 248 presento verde normal en la parte superior de la copa. Skelly *et al* en Nieto. 1995 menciona que el color verde amarillo y color café rojizo son síntomas observados que se caracterizan por un moteado clorótico que se colapsa en placas que pueden convertirse en una banda amarillo que eventualmente se torna café, y como lo menciona de acuerdo a la literatura estos son indicadores por presencia de gases oxidantes particularmente ozono O₃.

Como se ha mencionado anteriormente estos síntomas van a acompañados de la defoliación y finalmente muere teniendo como consecuencia diferencias de densidades.

Laughlin *et al* (2003) *año* menciona que la densidad de un stand refleja la productividad ya que se ve afectada debido a la diferentes condiciones ecológicas y ambientales, por lo tanto es interesante mencionar que en el 2004 el tamaño de muestreo fue menor su densidad fue diferente en las 4 regiones como se observa en 1997 que para el noreste y suroeste vario de un 92 a 404 árboles, esto demuestra la competencia por humedad, nutrientes, espacio y luz y también afecta la productividad. En 1990 a 1993 la productividad forestal maderable anual vario de 8.2 millones de pesos a 6.3 millones de pesos. Para 1998 se registro incrementos importantes de volúmenes destinados a la industria de aserrio, tableros, postes y combustibles; lo que representa aumentos de 10%, 15% y %, con respecto al destino de la producción de 1997 (www.unfcc.int/resource/docs/natc/mexnc2pdf->)

La densidad en un rodal hace que los árboles sean pequeños, donde su volumen es igual la cantidad de madera producida por el bosque; sí existe un aclareo, los elementos como luz, agua y nutrientes disponibles son consumidos por un menor número de árboles, por lo tanto su diámetro se incrementa y se acelera el crecimiento de los árboles Raymonol, (1991).

El bosque dañado representa millones de pérdidas de volúmenes maderables al año del cual se reduce la producción más en árboles viejos. Las causas de daño como el viento, nieve, enfermedades y ataque de los insectos, afectan a diferentes categorías de árbol y una combinación de estas causas produce la muerte de los árboles (Valinger, E. & Fridman, 1999).

Cada uno de los sitios se caracterizo por pertenecer a un tipo de estructura, manzanilla (1974) considera que el bosque de oyamel puros de *Abies religiosa* tienen composiciones estructurales sumamente diferentes, lo

que también significa que tiene un valor socioeconómico muy diferente así como distintas posibilidades silvícola.

Estructura 1: se caracteriza por que la distribución diamétrica es de 2-10 cm. de diámetro, presentan una altura de 0.7-10m de altura, la defoliación es de grado moderado a severo este tipo de estructura la presenta el sitio norte y sureste de 1997. De acuerdo a manzanilla (1974) pertenece a la estructura VIII donde la mayoría son jóvenes, con edades de 41-60 años.

Estructura 2: se caracteriza por la distribución diamétrica de 2-45 cm., y la altura es de 0.7-30-35 m de altura para el sitio noreste 1997 y sur 2004, el daño de copa es de grado moderado, el daño de copa es moderado-severo-ligero de acuerdo a manzanilla entra en la estructura II donde el piso medio inferior presenta de 21-40 cm, con edades de 41-60 años y alturas de 4-25-61m.

Estructura 3: se caracteriza por tener una distribución diamétrica de 0-90 cm, altura de 0-30 m, su daño de copa es moderado a severo, los sitios que presentan esta estructura es sur, sureste y noreste del 2004. Pertenece a la estructura 4, con diámetros mayores de 60 cm y edades de 60 años y alturas de 6-29-61-m

Estructura 4. Se caracteriza por tener clases diamétricas de 0-10 cm de diámetro, con alturas mayores de 20m, el único sitio que lo presenta es el sureste de 1997, este es un bosque relativamente joven, muy poco desarrollado, el bosque ha presentado incendio hace 20 años y este tipo de estructura tiene su origen en el incendio. Las competencias son intraespecíficas e inter específicas, debido a su alto índice de esbeltez y mortalidad.

La influencia de los incendios afecta en el ciclo de desarrollo, si llego a tener una tala sin técnica alguna provoca daños indirectos a los que permanecen en pie y a la regeneración.

- En resumen el progreso de daño como el grado de daño va depender de muchos factores:
- La dirección de los vientos dominantes desde la ciudad de México que es de N-NE a S-SW ya que llevan grandes cantidades de contaminantes especialmente por el ozono (Hernández y Bauer, 1984, Cibrián 1989, Vertucci 1989, Solberg y strand 1999 entre otros) por diferentes fuentes.

- La contaminación como agente casual hacia una agente predisposición, es decir el árbol es más sensible al ataque de los insectos y enfermedades. Como también las deficiencias de Mg y Zn en el suelo provocando decline forestal.
- El mal manejo del bosque en prácticas de selvicultura.
- La competencia por humedad, nutrientes, luz etc., debido a los efectos producidos por factores bióticos y abióticos.
- Los incendios en época de sequía y los inducidos por la gente de las comunidades cerca del bosque.
- La tala, el pastoreo y desmonte.

VII. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los síntomas que presenta el bosque, relacionado con su crecimiento en altura y diámetro y en el vigor del arbolado, se asocia con daños de contaminantes atmosféricos, sin embargo no destacamos la tala, y el pastoreo debido a la cercanía de los poblados.
- La productividad del bosque ha disminuido debido a una baja densidad durante 1997 al 2004.
- La población se encuentra en riesgo de no continuar sus etapas de vida y tener su permanencia.
- La competencia ha permitido a la diversidad de especies una estratificación vertical y horizontal, tomando diferentes conductas para su sobrevivencia y permanencia.
- El vigor de la copa ha disminuido debido a que la población presenta el mas del 60% de de defoliación, y decoloración correspondiente a un daño moderado a severo.
- El crecimiento de la población ha disminuido en cuanto a su altura y diámetro en los años 1997 y 2004.
- La recuperación de la población es lenta, sin embargo la degradación en el bosque continua.
- La degradación del bosque ha disminuido su capacidad de proporcionar productos y servicios.
- La población se ha recuperado, ya que en 1997 la frecuencia de individuos eran jóvenes, presentándose pocos adultos, estos crecieron a lo largo de 7 años, pata el 2004 se considera una población joven y adulta con arboles representativos de la edad senil, es por eso que se encontró una relación de crecimiento con árboles defoliados.
- La estructura que presenta el bosque en el 2004 depende de regeneración y renuevos ya que no tienen una distribución homogénea.

- El monitoreo a través de los indicadores vigor de copa, y crecimiento del árbol nos ha permitido evaluar la salud del bosque de oyamel del Parque Nacional Iztapopo, sin embargo se requiere de un seguimiento sistemático en conjunto a una política de protección ambiental y manejo sostenible.

VIII. RECOMENDACIONES

Para mejorar la evaluación de salud del bosque se debe incluir en el monitoreo:

- El indicador retención de hojas,
- Conteo de anillos de crecimiento, para determinar la edad de los árboles,
- Medir el área base de la copa
- Monitoreo continuo anual de los indicadores de salud y
- La vinculación de trabajos de investigación afines al área forestal.
- Cuantificar los tocones y la proyección de tamaño de copa.
- Calcular el índice de esbeltez
- Elaboración de protocolos de investigación dirigidos a los ecosistemas forestales para la sustentabilidad de los mismos.

IX. REFERENCIAS

- Alvarado, D.R., de Bauer, L.I., Galindo, A. 1993 "Decline Of. Sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of México city." *Environmental pollution*, (80): 115-121.
- Alexander, S., y Palmer, J.C. 1999 "Forest health monitoring in the United States; first four years". *Environmental monitoring and assessment*, (55): 267-277.
- Alfaro, R. y Singh, P. Gestión de la sanidad forestal: Una perspectiva cambiante. XI Congreso Forestal Mundial, 13-22 de octubre 1997, Antalya, Turquía. Volumen 1, tema 5.1997. pp.:149-156.
- Angermeier, P and Karr. 1994. Biological integrity versus biological diversity as policy directives. *Bioscience* 44: 690-697 p.
- Ávila, C. 2000. Ecología poblacional de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, Veracruz. Informe final del proyecto L172. programa de Agro ecología, Colegio de postgraduados. Pp97.
- Bauer, L.I de y Krupa, S.V. 1990. "The valley of México: Summary of observational studies on its air quality and effects on vegetation" *Environmental pollution*, 65: 109-118.
- Bonneau, M. y Landmann, G.1989 "El deterioro de los bosques europeos". *Mundo científico*. Vol. 9, (88): 190-205.
- Bredemeier, M. 1988. "Forest canopy transformation of atmospheric deposition". *Water, air and soil pollution*, (40):121-138.
- Cairns, A.M., Dirzo, R. y Zadroga, F. 1995. "Forest of México a diminishing resource". *Journal of forestry*, Vol. 93 (7): 21-23.
- Ciesla, W.M. y Macias-Samano, J. 1987. "Desierto de los leones A forest in crisis". *American forest*, vol.93, (11): 2-5.

- Cibrian, D.T. 1989. "Air pollution and forest decline near México city", *Environmental monitoring and assessment*. (12): 49-58.
- Comisión forestal para América Latina y el Caribe. Los programas forestales nacionales en la región. Vigésima primera reunión. Santa fe de Bogota, Colombia, 2000.nota de la secretaria.
- Coulston, W.J., Ritters, H.K., y Smith, C.G. 2004. "A preliminary assessment of the Montréal process indicators of air pollution for the United States". *Environmental monitoring and assessment*, (95): 57-74.
- Dale, J., Campbell, S., Hooper, C., Ripley, K., Schlz, B. y Hardin, R. Forest health in west coast forest 1997-1999, Servicio forestal USDA, Estación de investigación del noroeste del pacifico y el departamento de silvicultura en Oregon. May 2000, p 20.
- De Bauer y Krupa, S.V. 1990. "The valley of México: Summary of observational studies on its air quality and effects on vegetation". *Environmental pollution. Elsevier*, (65): pp109-118.
- Dovciak, M., Frelich, E.L. y Reich, P. 2001 "Discordance in spatial patterns of white pine (*Pinus strobes*) size-classes in a patchy near-boreal forest", *Journal of ecology*, (89): 280-291.
- Eid, T. y Tuhus, E. 2001 "Models for individual tree mortality in Norway", *Forestry ecology and management*, (154): 69-84.
- Environmental Canadian 1988. Effects of air pollution on forest health and biodiversity in FO 1997 "Canadian Acid rain assessment", volume 1, 334p
- Evertt, S.B. 1993.Hierarchical clustering techniques, Analysis de cluster, 3 editions, Nuevo York, ed. Arnol, pp5-89.
- Fernandez, I. 1986. Air pollution. Synthesis of the role of major air pollution in
- Franklin, F.J. y Van, R. 2004. "Spatial aspects of structural complexity" *Journal of forestry*, (102): 22-28
- Freedman, B. 1989. "Medio ambiente ". Los impactos de la contaminación y otros estresantes en la estructura del ecosistema y función. Ed. Academia press, INC, Nueva Cork, pp. 81-82

- Gómez-Pompa, 1998. la conservación de la biodiversidad en México: mitos y realidades Dep. de Botánica, conferencia magisterial presentada en VII congreso latinoamericano de Botánica.
- Hijinosa, M. 1958, Capítulo I: Una nueva política forestal, capítulo II: una industria estable y progresista, Los bosques de México, México, DF. Instituto mexicano de investigaciones económicas, p 128,133.
- Hopkin, A., Fenech, A., Liljalehto, H., McLaughlin, D., y Williams, T. 2001 "The Ontario forest data co-operative". *Environmental monitoring and assessment*, (67): 131-139.
- Hocker, J y Harold, W. 1984. La localidad, Introducción a la biología forestal, 1 edición, ed. AGT, pp 93-119.
- Hollanoh, Ph.D. y Rulfe, G.L. 1990. Forest and forestry, 1 edition, ed. Illinois. pp 1-3, 31-37, 41-47, 115-155.
- Hummel, S. 2000 "Height, diameter and crown dimensions of Cordia alliodora associated with tree density". *Forest ecology and management*, Elsevier, (127), pp31-40.
- Hinrichsen, D. 1987 "The forest decline enigma". *Bioscience*, vol. 37(8): 542-545.
- Karr, J.R.1981."Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6:21-27.
- Kolb, T.E. Wagner, M.R. y Covington, W.W. 1994 "Concepts of forest health", *Journal of forestry*, vol. 92(7): 10-15.
- Lindermayer, D.B. 1999 "Future directions for biodiversity conservation in managed forests: indicator species, impact studies and monitoring programs". *Forest ecology and management*. Elsevier, (115): 277-287.
- Lorenz, N., Becher, G., Fischer, R and Seidling, W. 1999. Forest condition in Europe results of their crown condition survey. UN/ ECE: Ginebra y EC: Bruselas.

- Lundquist, E.J. y Beatty, J.S. 1999 "A conceptual model for defining and assessing condition of forest stands. *Environmental management*, vol 23 (4): 519-525.
- Madrigal, S. 1967 Contribución al conocimiento de la Ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* H.B.K SCHL. ET CHAM) en el valle de México. Boletín Técnico No 18. Secretaria de Agricultura y ganadería.
- Manzanilla, B., H. 1974 Investigaciones Epidométricas y Silvícola en bosques mexicanos de *Abies religiosa*, banco de México, México, 165 pp.
- Martínez, H. 1951. Distribución y estructura de la población del *Abies religiosa* (H.B.K) SCHL ET CHAM; en el Cofre de Perote, Estado de Veracruz, México. *Acta botánica mexicana* 16:45-55.
- Manion, P: D: 1991. *Tree disease concepts*, 2ad edition. Ed. prentice-hall, Englewood Cliffs, EUA. 402 pp.
- Maravie-Agnes, M. and Audrey, R. 2003 "A model to asses relationships between forest dynamics and spatial structure". *Journal of vegetation science* (14): 823-834.
- Nebel, J. y Wright, T. *Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible*. 1999. Sexta edición, ed. Prentice hall, México, pp 371-405.
- Nieto de Pascual, P.C. 1995. "Estudio sinecológico del bosque de oyamel de la cañada de Contreras, Distrito Federal". *Ciencia Forestal en México*, vol.20 (77):3-34.
- O'Laughlin, J. y Cook, P. 2003 "Inventory-based forest health indicators", *Journal of forestry*, vol.101 (2):11-17.
- Percy, K.E. y Ferretti, M. 2004 "Air pollution and forest health: toward new monitoring concepts", *Environmental pollution*, (130): 113-126.
- Pérez, M. 2000. Patrón de retención de copa como un reflejo del vigor del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en relación con la contaminación atmosférica en los Parques Nacionales Iztapopo y El Chico. UNAM. Facultad de estudios Superiores Zaragoza.

- Pollmann, William. 2003 "Stand structure and dendroecology of an old-growth *Nothofagus* forest in Conguillio National Parck, south Chile" *Forest ecology and management*, (172): 87-103.
- Raymond, A. 1991. *Introducción a las ciencias forestales, Fisiología del crecimiento del árbol*, ED. Limusa, México. pp105- 115.
- Sánchez, R. 1996. *Estudio de la depositación ácida en la Ciudad de México mediante bioindicadores (corteza arbórea)*, Tesis Professional, Facultad de estudios superiores Zaragoza, UNAM, México, D.F. 150 pp.
- Schütt, P. and Cowling, E.B. 1985 "Waldsterben", a general decline, of forest in central Europe: symptoms, development and possible causes." *Plant diseases*, vol. 69(7):548-558.
- Schulze, E.D. "Air pollution and forest decline in a Spruce (*Picea abies*) forest". *Science*, vol. 24, (4), 1989, pp776-783.
- Singh, P. 1981. Some observations on the behaviour of *Armillaria mettea* and the damage caused by Scots pine in Newfoundland. P78-93. In Proc. European Regional meeting of the IUFRO working party 52.06.01 on root and butt rots in Scots pine Stands, Poznan, Poland. Sept. 21-26.
- Solberg, S. y Strand, L. 1999 "Crown density assessments, control surveys and reproducibility" *Environmental monitoring and assessment*, (56): 75-86.
- Sokal, R. y Rohlf, J.F. 1979. *Estadística descriptiva, regresión, Biometría*. ED. Blume, Nueva Cork, pp.: 51-75,444-537.
- South, D.B. y Buckner, E.R. 2003 "Decline of southern yellow pine timberland". *Journal of forestry*. Vol. 10 (7):30-35.
- Skelly, M. J., Savage, E. J., de Bauer, M.L., y Alvarado, D. 1997 " Observations of ozone-induced foliar injury on black cherry (*Prunus serotina*, var. capuli) within the Desierto de los Leones National park, México city." *Environmental pollution*, vol.95 (2):155-158.

- Spies, A.T. 2004 "Ecological concepts and diversity of old-growth forests" *Journal of forestry*, 102(3): 14-19.
- Spurr, S. y Barnes. 1982. Ecología forestal, 1 ed. AGT editor, S.A. México, 690 p
- Stephen, S. y Barnes, B. 1982. Ecología forestal, capítulo 12: Localización. ED. GAGT, México, pp. 297-467.
- Kuuluvainen, Timo, Syrjänen, Kimmo y Kalliola, R. 1998 "Structure of a pristine *Picea abies* forest in northeastern Europe" *journal of vegetation science*, (4): 563-574.
- Valinger, E. y Fridman, J. 1999 "Models to assess the risk of snow and wind damage in Pine, Spruce, and Birch forest in Sweden", *Environmental management* vol. 24(2): pp209-217.
- Velásquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta 62. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT, México pp. 21-37
- Youngblood, A, Max, T. Coe, K. 2004. "Stand structure in eastside old-growth ponderosa pine forest of Oregon and northern California". *Forest ecology and management*, (199): 191-217.
- USDA Forest Service 1994, Forest health monitoring: a national strategic plan. Research triangle park, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Monitoring Program. 13 p.
- William, P. 2003. "Stand structure and dendroecology of an old-growth *Nothofagus* forest in Conguillio National Park, south Chile." *Forest Ecology and Management*, 167:87-103.

X. REFERENCIAS ELECTRONICAS

- D'Eon, S: P; Magasí; Lachance, D. R.; DesRochers; P, 1994. ARNEWS: Canada National Forest Health Monitoring, [en línea], Canada, Environment Canada, information actualized 2000.
< <http://www.eman.rese.ca/eman/reports/publications/arnews/arnews.html>>

- Binkley, D y Stohlgreen, J.T. . . . 2000 Forest health monitoring vegetation indicator polot, Service forestall USDA.[en línea]
< <http://www.nrel.colostate.edu/proyectos/fhm/> >.

- Bonilla, J.A. La influencia del suelo y el clima en el crecimiento de los árboles en las regiones templadas.
< http://www.iii.to.cnr.it/publicaz/jl_supl/07_fabbio.pdf >.

- Bridges, T., Hall, P y Lourcks, O. "Forest Health and decline" Un reported del trabajo de Muskoka en 2000 y el recorrido a campo.
< www.eman-rese.ca/eman/reports/publications/2003_fhad/-16k>

- Colinas, C. la sintomatología del decaimiento del abeto (*Abies alba* Mill.) en el Pirineo español.
<<http://labpatfor.ud.es/tptpfc/jonasoliva.pdf>. >

- Economic commission for Europe. Executive body for the convention on long-range transboundary air pollution. Nineteenth sesión, Geneva, 23-25 agosto 2000. Monitoring Of. Forest Condition in Europe, resumen del reporte por el centro de coordinación del programa cooperativo internacional en la evaluación y monitoreo de los efectos de contaminación del aire sobre los bosques,
<<http://www.unecer.org/env7documents2003/eb7wgl/eb.air.wgl.20035%20.pdf> >

- Ecoturismo latino.com guiaa de parques y áreas protegidas parque nacional Iztapopo-Zoquiapan México 23 de abril 2006
<<http://www.ecoturismolatino.com/esp/ecoviajeros/guia/paises/mexico/destinos/anp/pniztapopozoquiapan.htm> >

- Forest health monitoring: A national strategic plan.
< <http://fhm.fs.fed.us/amc/strategic.plan03.pdf> >.
- García, L.J. La ecología del paisaje como base para el desarrollo sustentable en América Latina. Levantamiento de suelos en la cuenca del Río pilón, Nuevo León México. Instituto de Geografía, UNAM, México. Febrero 28, 2006.
< <http://www.brocku.ca/epi/lebk/lopez1.html> >.
- Gorte, W.R. Forest fires and forest health. CRS Report for congress: 95-511, librería nacional del medio ambiente. Julio 14, 1995.
< <http://www.ncseonline.org/NLE/CRSreports/Forests/for-5.cfm>>.
- Grace, R.J. Forest health components. Pennsylvania bureau Of. forestry. Departamento de conservación y recursos naturales. Dic 31, 2003. State forest recourse management plan, departamento de silvicultura. 2003.
< <http://www.dcnr.state.pa.us/forestry/index.aspx> >
- Landmann,G. Forest health in France, 1996: a synopsis santé des forest. DSF échelon central (Paris).
<http://www.agriculture.gouv.fr/spip/artucule.php3?id_articule=1419>.
- Mahoney, R. Monitoring tree health on private woodlands. UI Extension forestry information series, University Idaho, Forest management no 21.
< <http://www.cnr.vidaho.edu/extforest7FM21.pdf>>.
- Mulgrew, A y Peter, W. Biomonitoring o fair quality using plants air higiene report No. 10. Who for air quality management an air pollution control, febrero 2000.
<<http://www.umweltbundesamt.de/whocc/titel/titel2.htm>.
- Terrádez, M. Análisis de conglomerados. Proyecto e-Math, financiado por la secretaria de estado de educación y universidades (MECD).
< <http://ciberconta.unizar.es/leccion/cluster/inicio.html> >.

ANEXO I

PROGRAMAS DE EVALUACION EN LA SALUD DE LOS ECOSISTEMAS

- Internacional Cooperative Programme on Assessment and monitoring of Air Pollution Effects on Forest (ICIP Forests).
- International Cooperative Programmed on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes (ICP Waters).
- International Cooperative Programmed on Effects of Air Pollution on materials, Including Historic and Cultural Monuments (ICP Materials).
- International Cooperative Programmed on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops (ICP Vegetation).
- International Cooperative Programmed on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (ICP IM).
- International Cooperative Programmed on Modeling and mapping (ICP M y M).
- Centro de Extensión para el Manejo Integrado de Recursos Costeros (MIRC).
- Programa Ambiental Institucional (PAM)
- Programa Forestal de la asociación Cutivireni ACPC.
- Confederación de las Naciones Unidas sobre el medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD).
- Programa Estratégico para el Sector Forestal.
- Programa para el Desarrollo Forestal Sostenible PRODEFOR.