

255462

54
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DISTRIBUCIÓN DE HONGOS ECTOMICORRÍZICOS EN RODALES DE *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. Y LA RELACIÓN CON SU DECLINACIÓN.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

ROSA MARÍA GARCÍA BASTIÁN

Director de Tesis: M. en C. Jesús Pérez Moreno



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

BIBLIOTECA INSTITUTO DE ECOLOGIA UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ALTA DE CRISIS
TESIS CON
NO. 21281



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: "Distribución de Hongos Ectomicorrízicos en rodales de Abies religiosa (H.B.K.) Schl. et Cham, y la Relación con su Declinación"

realizado por ROSA MARIA GARCIA BASTIAN

con número de cuenta 7581141-9 , pasante de la carrera de BIOLOGO

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

M. EN C. JESUS PEREZ MORENO

Propietario

MC MIGUEL ANGEL LOPEZ LOPEZ

Propietario

DRA. EVANGELINA PEREZ SILVA

Suplente

M. EN C. MARGARITA VILLEGAS

Suplente

MC ALFREDO ECHEGARAY ALEMAN

RÍOS
FACULTAD DE CIENCIAS
U. N. A. M.

Consejo Departamental de Biología

M. en C. Alejandro Martínez Mena



El presente trabajo se realizó bajo el proyecto CONACYT 3637-A
"Declinación forestal de bosques de *Abies religiosa* en el Parque
Nacional Desierto de los Leones, D.F."

DEDICATORIA

A LA MEMORIA DE MI PADRE:

ING. MANUEL GARCÍA ALVAREZ

A MI MADRE:

SRA. ROSA BASTIÁN VDA. DE GARCÍA

CON TODO MI AMOR A MI ESPOSO E HIJAS:

ALEJANDRO, ALMA ROSA Y PAULINA

AGRADECIMIENTOS

Al M. en C. Miguel Angel López López, Investigador de la Especialidad Forestal del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados, por haberme dado la oportunidad de asociarme a su proyecto de investigación, y por su invaluable apoyo en la dirección y asesoría de este trabajo. Su paciencia y amistad, hicieron posible la culminación de esta tesis.

Al M. en C. Jesús Pérez Moreno, Investigador de la Especialidad de Edafología (Micología) del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados, por su apoyo en la dirección de este trabajo, especialmente en el proceso de identificación de los hongos. Asimismo, por su paciencia y amistad a lo largo del tiempo en que se desarrolló el presente estudio.

A los Profesores: Dra. Evangelina Pérez Silva, M. en C. Margarita Villegas Ríos y al M. en C. Alfredo Echegaray Alemán, por su colaboración en la revisión de la tesis. Sus observaciones y sugerencias, mejoraron significativamente la presentación de la misma.

Al personal académico y secretarial de la Especialidad Forestal del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados, por las facilidades brindadas durante el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Alejandro Velázquez Martínez, por sus valiosas sugerencias para mejorar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	6
Generalidades acerca de las micorrizas.....	6
Proceso de formación de micorrizas.....	10
Importancia de las micorrizas en ecosistemas forestales.....	13
Declinación forestal y su relación con las micorrizas.....	17
Declinación de oyamel en el Desierto de los Leones.....	19
Otros grupos tróficos de hongos y su relación con la declinación de bosques.....	20
OBJETIVOS	22
HIPÓTESIS	23
MATERIALES Y MÉTODOS	24
Descripción de las áreas de trabajo.....	24
Rodal 1.....	24
Rodal 2.....	28
Rodal 3.....	29
Experimento 1.....	31
Descripción del procedimiento de campo.....	31
Etapa de laboratorio.....	32
Experimento 2.....	33

	Página
Diseño experimental	34
Establecimiento del grado de daño	34
Recolección de muestras de suelo	35
Procedimiento de laboratorio	37
Análisis estadístico	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
Proporciones de los grupos tróficos de los hongos recolectados en los sitios de muestreo	39
Diversidad de hongos en los tres sitios de muestreo	44
Resultado de la cuantificación de micorriza en la zona del Cementerio 1.....	55
Resultados de la primera evaluación según los datos del primer muestreo.....	55
Segunda evaluación con respecto al segundo muestreo	60
Algunos comentarios sobre los parámetros estadísticos obtenidos...	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
LITERATURA CITADA	64

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Análisis de varianza de la cantidad de micorrizas en raíces de <i>Abies religiosa</i> del paraje El Cementerio I del Desierto de los Leones, México, D.F.	56
Cuadro 2. Porcentajes de ectomicorrización en raíces de árboles de <i>Abies religiosa</i> con diferentes grados de declinación en el Desierto de los Leones, D. F. (Evaluación: marzo de 1996).....	57
Cuadro 3. Análisis de varianza de la cantidad de micorrizas en raíces de <i>Abies religiosa</i> del paraje El Cementerio del Desierto de los Leones, D. F.....	60
Cuadro 4. Porcentajes de ectomicorrización en raíces de árboles de <i>Abies religiosa</i> con diferentes grados de declinación en el Desierto de los Leones, D. F. (Evaluación: marzo de 1996).....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

- Figura 1. Estructura de raíces de coníferas. A: Raíz no infectada con potencial de ectomicorrización. 1) Corteza primaria madura en senescencia, 2) Estele, 3) Endodermis, 4) Zona de infección micorrízica, 5) Región meristemática apical activa, 6) Cofia. B: Ectomicorriza. 1) Red de Hartig, 2) Capa de taninos, 3) Manto. C: Ectomicorriza donde ha cambiado el micobionte. 1) Micobionte original, 2) Zona de tejido amorfo muerto, separando los dos tipos, 3) Nuevo tipo de micorriza (Marks y Foster, 1973)..... 11
- Figura 2. Ubicación de las áreas de los rodales de muestreo de carpóforos en el Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, D. F..... 25
- Figura 3. Vista parcial de a) Paraje El Cementerio I. Partes central e inferior, regeneración artificial después de la muerte del arbolado natural. Parte superior, límite superior del sitio, mostrando alta mortalidad del arbolado natural. b) Paraje Casamanero, aún con arbolado natural, aunque en muy mal estado de salud. Obsérvese las reducidas copas de los árboles, la presencia de árboles muertos y la baja densidad de arbolado. c) Valle El Conejo, mostrando un rodal de árboles sanos de *A. religiosa*. Nótese la existencia de copas robustas desde la base de los árboles y la presencia de regeneración natural..... 27
- Figura 4. Ubicación del área de muestreo de carpóforos en el municipio de Ocoyoacac, Estado de México..... 30

	Página
Figura 5. Diagrama del procedimiento de toma de muestras de suelo con raíces.....	35
Figura 6. Diseño de la pala utilizada en la extracción de muestras de suelo con raíces de árboles de <i>Abies religiosa</i>	36
Figura 7. Proporción de hongos saprobios y micorrízicos en los rodales estudiados.....	42
Figura 8. Porcentaje de a) Familias, b) Géneros y c) Especies de hongos con respecto al total de familias, géneros y especies colectadas en los sitios de muestreo. Valle El Conejo = Sitio con daño ligero, Casamanero = Sitio con daño intermedio y Cementerio I = Sitio con daño severo.....	51
Figura 9. Frecuencia de las categorías diamétricas de los árboles en el paraje Casamanero dentro del Parque Desierto de los Leones y en el rodal de Valle El Conejo, Mpio. de Ocoyoacac, Edo. de México.....	54

RESUMEN

En el Desierto de los Leones, D. F. se ha presentado desde hace aproximadamente dos décadas un agudo proceso de declinación de varias especies forestales, dentro de las que destaca por las altas tasas de mortalidad, *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. *et* Cham., misma que por otro lado, es la especie arbórea dominante en la región. El problema de la declinación en el área ha sido estudiado desde diversos puntos de vista tales como contaminación, plagas y nutrición; sin embargo, el estudio de la relación entre las estructuras micorrízicas y el proceso de declinación no ha sido abordado.

El presente estudio tuvo por objeto establecer el estado que guarda la presencia de los distintos grupos de hongos, incluyendo los micorrízicos, así como determinar la posible relación que existe entre este grupo de simbioses con el proceso de declinación de la especie en estudio. Para alcanzar estos objetivos se llevaron a cabo dos recorridos en tres rodales con diferente grado de declinación. Durante estos recorridos se colectó la totalidad de carpóforos encontrados. Cuando fue posible se efectuaron identificaciones a nivel de especie y cuando no se identificaron a nivel de género. Por otro lado, se estableció un experimento factorial 3x2 en el que se probó la relación de tres niveles de daño de brinzales de *Abies religiosa* y dos distancias del tronco al punto de toma de las muestras de suelo conteniendo raíz, para evaluar la abundancia de las estructuras ectomicorrízicas.

Los resultados obtenidos mostraron que el mayor porcentaje de especies y de familias de hongos se presentó en el rodal con mejor estado sanitario, atribuyéndose esta situación a la mayor diversidad de edades presente en ese sitio. El porcentaje de especies de hongos en el rodal más afectado fue ligeramente inferior al del rodal sano; sin embargo, la mayoría de especies en este rodal corresponde al grupo de los saprobios. Se determinó una clara relación entre el grado de declinación de los rodales de oyamel y la proporción de hongos saprobios y micorrízicos en las tres áreas. Esta relación disminuyó conforme mejoró el estado sanitario de los rodales.

La cantidad de estructuras micorrízicas en las raíces de los brinzales se relacionó, aunque sin diferencias estadísticas significativas, en forma inversa con el grado de daño de los árboles, independientemente de la ubicación del punto de toma de la muestra de suelo dentro del área de goteo.

INTRODUCCION

A partir de la década de los 70's, en el Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, D.F., se ha venido observando una declinación de la vegetación forestal, especialmente en rodales del género *Abies* (oyamel). Las investigaciones realizadas en el área indican que la causa primaria de la declinación de esta especie es la contaminación atmosférica presente en la zona (Alvarado *et al.*, 1993; Hernández y De la I. 1989; De la I. y Hernández, 1986), principalmente por ozono y bióxido de azufre (Jáuregui, 1989; Suárez y Pedrero 1989), aunque este último contaminante ha disminuido considerablemente en los últimos años a raíz de algunas medidas emprendidas por las autoridades (Jáuregui, inédito). Dada la complejidad del funcionamiento del ecosistema, es posible que otros elementos del mismo, además del componente arbóreo, estén siendo afectados.

Estudios recientes, han detectado la presencia de desórdenes nutrimentales caracterizados por deficiencias de potasio, fierro y manganeso, lo cual pudiera estar incidiendo en algún grado sobre el proceso de declinación (López, 1993). Existe una considerable presencia de plagas, especialmente *Pseudohylesinus variegatus*, que aunque de acuerdo con Cibrián (1989) atacan exitosamente sólo a árboles previamente debilitados, juegan un papel importante en la mortalidad de la población de la especie.

A pesar de que algunos factores de importancia en el proceso de declinación del oyamel del Desierto de los Leones son conocidos, existen muchos otros

componentes del ecosistema de los cuales poco o nada se conoce, y que juegan importantes papeles para el adecuado funcionamiento del mismo. Tal es el caso de las ectomicorrizas, cuya presencia es de suma importancia debido a que mejora el abastecimiento de agua y nutrimentos del suelo hacia el árbol (Marx, 1972) y pueden proteger a la planta del ataque de patógenos, alargando el tiempo de vida de raíces pequeñas. Existen evidencias también de que las micorrizas reducen la competencia entre raíces de plantas de diferentes especies (Perry *et al.*, 1992).

La formación de ectomicorrizas (la relación simbiótica entre raíces y hongos), es un proceso normal en un desarrollo radical saludable en bosques de clima templado (Meyer, 1973), y está influenciado tanto por el ambiente del medio como por el estado fisiológico del árbol hospedero. Estudios realizados en los últimos años han demostrado que la declinación forestal también está asociada con la degradación y disminución de las poblaciones de micorrizas, con el consecuente agotamiento de las reservas en la raíz (Manion, 1981; Rehfuss, 1988).

El entendimiento del papel que juegan las micorrizas como parte del funcionamiento del ecosistema forestal, es un tema que en nuestro país está en proceso de investigación, existiendo algunos estudios desarrollados en invernadero (Candelario, 1983; Iglesias, 1986; Plascencia., 1995.), principalmente examinando ciclos nutrimentales y productividad de especies forestales; sin embargo, en condiciones naturales ha sido más difícil su evaluación, debido fundamentalmente a la gran cantidad de factores que ahí operan.

En base a lo anterior, en el presente trabajo se planteó como objetivo el estudiar la relación que guarda el grado de declinación en un bosque de *Abies religiosa* (H.B.K. Schl. et Cham. con poblaciones de hongos, principalmente ectomicorrízicos.

ANTECEDENTES

Generalidades acerca de las micorrizas

Hace aproximadamente 400 millones de años ocurrió la colonización de la tierra por los vegetales, proceso que se hipotetiza que ocurrió cuando algunas plantas acuáticas se pudieron asociar con microorganismos del suelo, que les proporcionaron alimentos minerales para poder subsistir. Entre estos microorganismos pudieran estar los hongos, quienes formaron las primeras micorrizas (Azcón y Barea, 1980). Existe evidencia fósil del período Devónico temprano de algunas vesículas, arbusculos e hifas penetrando en paredes celulares, formando estructuras morfológicamente iguales a las micorrizas arbusculares vivientes, fenómeno que pudiera haber existido desde el inicio de la colonización (Taylor *et al.*, 1995).

Lewis (1973) asumió que en la microbiota del suelo se encontraron rizosporas que alcanzaron o pegaron con alguna raíz parasitándola, pues ahí se encontraba un lugar de almacén de nutrimentos, rompiendo su pared y venciendo sustancias defensivas hasta introducirse entre sus células. Otras únicamente formaron una red sobre ella y al estar la planta absorbiendo agua y nutrimentos para la fotosíntesis y el hongo se implantó ahí. Aparentemente la planta perdió entonces su habilidad para producir enzimas

y el hongo se especializó en hacerlo, evolucionando probablemente así a una asociación.

Bowen (1979) afirmó que los hongos del suelo primero explotaron los nutrientes de la rizósfera y conforme el proceso de competencia y adaptación continuó, entonces penetraron en busca de nutrientes a las células corticales

formándose una asociación micorrízica vesículo-arbusculares, la cuál representa una primera línea evolutiva, mientras que otros formaron redes de hifas sobre la superficies radicales llamándoseles hongos ectomicorrízicos y formaron una segunda línea evolutiva.

Las dos líneas de desarrollo evolutivo que se piensa han tenido las micorrizas, son presentadas por primera vez en un esquema por Melin´s en 1923 y en él se observa que a partir de una espora, se derivan las micorrizas vesículo-arbusculares que son las más comunes y reportadas en todos los continentes, las cuales se asocian con briofitas, pteridofitas, gimnospermas y angiospermas, y en otra línea derivan las ectomicorrizas formadoras de manto, registrándose éstas en las familias Pinaceae, Betulaceae y Fagaceae. Existen otras ramificaciones a partir de ectomicorrizas tales como las monotropoides, ectendomicorrizas, ericoides y orquidales que son micorrizas específicas para ciertas familias como las orquideaceas y ericaceas (Marks, 1991).

Nicholson (1975), comprobó la existencia de micorriza en plantas primitivas del género *Rhynia*, por lo cual se considera que las primeras asociaciones

micorrízicas han existido desde que las plantas poblaron la tierra. En la actualidad, con la excepción de muy pocas familias de plantas, existe una mutua coexistencia entre plantas vasculares (huésped) y hongos superiores (hospedante), fenómeno denominado micotrofia (del griego *mykes*=hongo, *trophia*=nutrición). El micelio del hongo se combina con determinadas partes subterráneas, particularmente con las raíces y forman una estructura singular denominada micorriza (del griego *mykes*= hongo, *rhiza*=raíz), término que por conveniencia ha sido comúnmente extendido hasta incluir otros órganos aparte de las raíces.

Salvo algunas excepciones, las micorrizas se encuentran en la mayoría de los grupos taxonómicos a partir de las talofitas (Daubenmire, 1979). Una de las explicaciones más aceptadas acerca de la aparición de las micorrizas, es que la parte fungal es la más beneficiada con dicha asociación, pues estos organismos viven en un microambiente del suelo dominado por depredación y competencia, en el que los organismos siempre están luchando por subsistir, de tal manera que al establecerse esta relación, el hongo casualmente ha encontrado una manera de alimentarse y sobrevivir.

Antes de la aparición de la asociación simbiótica, el hongo tiene que sobrevivir a procesos defensivos naturales creados por la planta antes y después de la invasión (Marks, 1991), además de verse sujeto a la influencia de una gran cantidad de factores más. Frankland y Harrison (1985) encontraron que el contenido de materia orgánica, el pH del suelo y las características físicas del mismo, influyen de manera importante en el implante de la asociación micorrízica. Estos mismos autores, indican que la

mayoría de las raíces secundarias proveen del almacén para el soporte de las hifas y dependerá de la forma y tamaño del almacén, la asociación del hongo, que al encontrar sustento, se incrusta en la punta de las raíces secundarias.

La forma y anatomía de las micorrizas varía según las plantas y la naturaleza de las relaciones recíprocas. En raicillas cortas del pino se observan las invasiones de hongos lo cual no ocurre en las raíces largas, y como resultado, las raíces son estimuladas para ramificarse repetitivamente de tal manera que adquieren una apariencia coraloide (Daubenmire, 1979). Last *et al.* (1990, in Marks, 1991), en contraste, indican que el desarrollo de la micorriza es independiente del tipo de raíz y sólo se relaciona con el crecimiento de la copa del árbol, ya que el crecimiento de raíces es guiado por las estaciones del año y en períodos desfavorables en árboles perennes, siempre existe una pérdida de raíces que se compensa cuando el estrés del medio ambiente cambia y vuelven a regenerarse más.

Importantes estudios hechos por O'Neil *et al.* (1987) mostraron que la micorriza actúa como tejido de demanda de fotosintatos y que los fotosintatos usados por la micorriza son compensados por la incorporación de CO₂ de la atmósfera a la planta.

En la asociación micorrizógena, pueden estar involucrados basidiomicetos, ficomicetos y ascomicetos, son ectotróficas cuando el micelio forma una capa densa ó manto sobre la superficie de las raíces con hifas extendidas, muchas hacia el suelo y otras hacia adentro de la epidermis y de la corteza.

Por otro lado, las micorrizas son endotróficas cuando no hay una capa sobre la superficie de las raíces, y las hifas aparecen dentro del protoplasto y en los tejidos parenquimatosos.

Proceso de formación de micorrizas

La dispersión de las esporas de hongos micorrízicos es efectuada por aves, por mamíferos pequeños y grandes y por insectos. En el caso de las trufas se piensa que los dispersores primarios son los pequeños mamíferos. Al consumir las esporas son defecadas junto con otros microorganismos y componentes de la orina como el nitrógeno y de esta manera llegan al suelo. En 1980 se descubrió que las trufas contienen las mismas feromonas sexuales producidas por los jabalíes. Por medio de estas feromonas, las trufas atraen a los jabalíes, los cuales al comerlas, las dispersan por excreción (Perry, 1994).

Se piensa que en el proceso de formación de micorrizas, primeramente la planta es invadida por el hongo al igual que lo hace un patógeno. Ya que ha logrado la penetración y el establecimiento, almacena agua que el árbol aprovecha, iniciándose así la asociación simbiótica (Chilver y Gust, 1982). En el caso de las enfermedades, sin embargo, se reduce la superficie disponible de raíces, mientras que las micorrizas estimulan el crecimiento de las mismas, lo cual contradice la aseveración anterior, que se apoya en que existen infecciones secundarias que sí estimulan el crecimiento radical (Last *et al.*, 1990, citado por Marks, 1991).

Marks y Foster (1973), describieron en un esquema una zona receptiva de infección y la llamaron, zona de infección micorrízica sobre la corteza primaria joven (Figura 1). Estos autores indicaron que el proceso de infección puede deberse a esporas, hifas ó partes de ellas, cuyo crecimiento, cuando se trata de ectomicorrizas, es estimulado por los exudados de las raíces (Theodorou y Bowen, 1987)

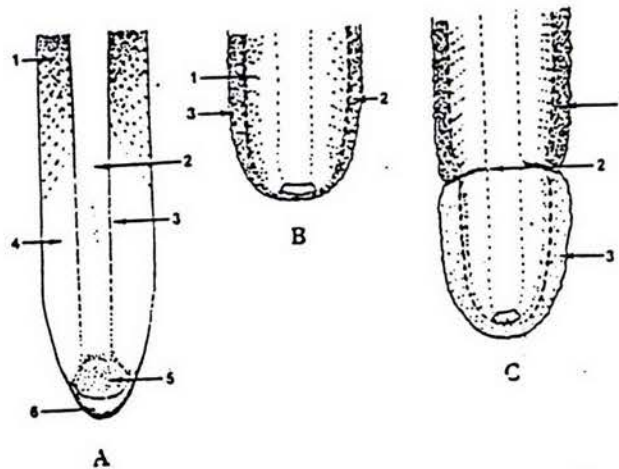


Figura 1. Estructura de raíces de coníferas. A: Raíz no infectada con potencial de ectomicorrización. 1) Corteza primaria madura en senescencia, 2) estele, 3) endodermis, 4) zona de infección micorrízica, 5) región meristemática apical activa 6) cofia. B: Ectomicorriza. 1) Red de Hartig, 2) capa de taninos, 3) manto. C: Ectomicorriza donde ha cambiado el micobionte. 1) Micobionte original, 2) zona de tejido amorfo muerto, separando los dos tipos, 3) nuevo tipo de micorriza (Marks y Foster, 1973).

Nylund (1981) encontró en sus estudios histológicos y químicos en células de *Picea abies* L. Karst y *Pinus sylvestris* L. que las paredes celulares contenían grandes cantidades de polisacáridos, lo cuál no ocurre en células corticales viejas. Esto puede representar el proceso mecánico de penetración.

Una vez que el hongo penetra, se observa un cambio morfológico en las células de la punta de la raíz, observándose un surco de tejido muerto que separa la punta del resto de la raíz y la llena de tejido hifal provocando así turgencia.

El investigador arriba citado, dividió el proceso de infección en cinco etapas que son:

1.) exudación, 2.) propágulo fungal sobre la raíz, 3.) germinación y penetración intracelular, 4.) incubación y 5.) producción de exudados por el hongo, afectando el crecimiento y la morfología radical.

El proceso anterior, provoca la deformación de la raíz y afecta al crecimiento celular debido al intercambio hormonal que ahí ocurre. Todos los cambios que tienen lugar con la penetración intracelular son de tipo enzimático, atribuibles a componentes fungitóxicos fenólicos de las paredes celulares de la planta, que también harán cambiar al hongo. El establecimiento del hongo sobre el huésped, ocurre con un cambio mínimo en la estructura celular para evitar la activación de defensas (Foster y Marks, 1966).

Se ha comprobado también, que el establecimiento y penetración intracelular ocurre en etapas jóvenes de formación de la pared celular de la raíz o en etapas de síntesis donde el hongo puede actuar para desactivar ó acelerar procesos y así invadir las células más fácilmente.

Las relaciones mutualistas entre las plantas y los hongos son bastante comunes; el hongo invade y vive entre las células de la corteza de las raíces secundarias. La asociación trae como consecuencia un aumento en la eficacia con que la planta huésped absorbe minerales del suelo. Algunos hongos micorrízicos secretan antibióticos que pudieran contribuir a proteger al huésped contra la invasión de parásitos. La ventaja de la relación micorrízica para el hongo, es que él obtiene su alimento a partir de los azúcares que la planta transfiere a la raíz (Kimbal, 1968).

Importancia de las micorrizas en ecosistemas forestales.

Las micorrizas son estructuras que se forman en las raíces de las plantas, como resultado de la asociación con el micelio de algunas especies de hongos (Spurr y Barnes, 1982). A la fecha se ha demostrado que las micorrizas proporcionan diversos beneficios a los árboles, muchos de los cuales son derivados de una mayor extensión radicular inducida por la asociación micorrízica. De esta manera, los árboles con raíces infectadas con hongos micorrízicos, exploran un volumen mayor de suelo que los árboles sin micorrizas, lo que a su vez redundará en una mayor absorción de

agua y nutrientes por parte de la planta (Spurr y Barnes, 1982; Vogt *et al.*, 1991; Wilkins, 1991). Se ha comprobado también que las raíces de árboles formadores de ectomicorrizas, secretan fitohormonas que influyen en el desarrollo y control de los hongos, relación que se ha establecido midiendo las concentraciones de dichas sustancias (Gogala, 1989; Pérez-Moreno y Ferrera-Cerrato, 1993).

Otro fenómeno que se observa como consecuencia de la asociación ectomicorrízica es la reducción de la respiración debido a la disminución de trabajo enzimático puesto que ha recaído en el hongo asociado, lo cual trae como consecuencia un ahorro energético al árbol y por lo tanto un aumento en su longevidad. (Marshall y Perry, 1987). A la vez, los hongos ectomicorrízicos reciben como beneficio de sus huéspedes un aporte de vitaminas que les ayuda a aumentar el tamaño del micelio (Harley y Smith, 1983).

La presencia de hongos micorrízicos aumenta enormemente la eficiencia con que la planta huésped absorbe elementos químicos minerales del suelo (Marks y Kozłowski, 1973), lo cual se torna especialmente importante cuando los árboles crecen en sitios pobres en nutrientes (Spurr y Barnes, 1982). Además de este mecanismo directo por el cual las micorrizas incrementan la absorción de nutrientes por las plantas, la retención de nutrientes móviles en el suelo, tales como nitrógeno, potasio, calcio y magnesio, en los tejidos de los hongos, previene la lixiviación de los mismos del suelo, cumpliendo así con una importante función a nivel ecosistema (Vogt *et al.*, 1991).

En áreas con problemas de contaminación con metales pesados, se ha comprobado que la asociación de la vegetación con hongos micorrízicos de los géneros *Amanita*, *Paxillus*, *Pisolithus*, *Rhizopogon*, *Scleroderma* y *Suillus*, disminuyen la toxicidad de zinc, cobre, níquel y aluminio, al acumularse en las hifas extramatriciales de los hongos (Wilkins, 1991).

Marx (1969, citado por Spurr y Barnes, 1982), mencionó que otros de los beneficios importantes de los hongos micorrízicos hacia los árboles consiste en la protección contra parásitos y patógenos de la raíz. La protección contra parásitos es proporcionada por la barrera física que representan las vainas micóticas, mientras que la protección contra patógenos debe a la producción de antibióticos por los hongos micorrízicos. Por otro lado, al mejorar la nutrición de las plantas, los hongos micorrízicos proporcionan también mecanismos de regulación en el crecimiento de las mismas y protección contra patógenos (Harley y Smith, 1983).

Los hongos micorrízicos pueden también indicar la calidad del suelo, pues se les ha asociado a fracciones orgánicas debido a que se encuentran en mayores porcentajes en esta fracción de suelo (Harvey *et al.*, 1976).

Pérez-Moreno y Ferrera-Cerrato (1993), propusieron un esquema cíclico planta-suelo, donde el micelio de los hongos ectomicorrízicos establece un puente regulador, para el mejor aprovechamiento de los minerales y agua, esto incrementa la salud y vigor del árbol, lo que trae como consecuencia un aporte al suelo de un mayor porcentaje de fuentes carbonadas, modificando

así las condiciones del mismo y permitiendo un mejor desarrollo de los hongos micorrízicos.

A nivel mundial se ha encontrado que la micorriza es dominante en comunidades templadas (Read, 1993). En México, un mayor porcentaje de hongos ectomicorrízicos se distribuye en comunidades templadas y un porcentaje más reducido en el trópico (Pérez-Moreno y Ferrera-Cerrato, 1993). La menor cantidad de hongos ectomicorrízicos en los trópicos, quizá está relacionada entre otros factores con el pH de esos suelos, cuya característica alcalinidad regula el desarrollo de hongos, así como con el tipo de árboles presentes en los sistemas tropicales.

En ecosistemas que han sido fuertemente alterados o erosionados, los hongos ectomicorrízicos son necesarios si se pretende su recuperación (Grove y Letacon, 1993, citado por Pérez-Moreno y Ferrera-Cerrato 1993). Existen varios ejemplos de fracaso de proyectos de forestación y reforestación, debidos a ausencia de hongos micorrízicos (Spurr y Barnes, 1982).

Estudios recientes en Carolina del Norte han demostrado que la acidez de lluvia simulada, influye en la formación de ectomicorrizas en plántulas de *Pinus taeda*. Las plántulas expuestas a lluvias repetidas a pH de 4 ó inferiores exhibieron un efecto negativo en la asociación de raíces y hongos ectomicorrízicos, declinando rápidamente y con efectos necróticos, lo cual, eventualmente se reflejó en los árboles (Bruck, 1988).

En el invernadero, la falta de hongos micorrízicos a nivel radicular provoca gran mortandad de plántulas de especies forestales (Paz, 1989), dado que la asociación micorrízica es imprescindible para muchas especies forestales.

Declinación forestal y su relación con las micorrizas.

La declinación forestal es un fenómeno ampliamente difundido y su estudio ha llevado a establecer numerosas hipótesis de las causas y efectos en los ecosistemas forestales (Rehfues, 1988; Oren *et al.*, 1989). Algunas de las hipótesis planteadas involucran factores climatológicos como sequías o heladas, otras relacionan el fenómeno de declinación con aspectos nutrimentales, algunas más, con daños directos de diversos contaminantes del aire o del suelo y otras incluyen deficiencias de micorrizas en las raíces de los árboles.

La dificultad de identificar con precisión el factor responsable del proceso de declinación se debe a que este proceso es en realidad, como lo es el propio crecimiento del árbol, el resultado de una gran cantidad de factores que interactúan entre sí y que han dado como resultado disminución de la cantidad de follaje, decoloración ó follaje anormal, reducción en el crecimiento, mortalidad de ramas y ramillas, enfermedades sucesivas del árbol y muerte precoz (Paz, 1989), factores que difícilmente se pueden estudiar en forma conjunta. Por ello, una posibilidad en el estudio de la declinación consiste en llevar a cabo un análisis preliminar de cada uno de los posibles factores que se considere que tienen efecto importante sobre el

proceso, con el objeto de detectar si en realidad influyen y el grado en que lo hacen, para definir posteriormente posibles mecanismos de corrección del problema.

En el caso del estudio de las micorrizas en relación a la declinación de especies forestales, existen reportes en Europa en los que se ha estudiado la diversidad de hongos micorrízicos y la cantidad de micorrizas, relacionando estas variables con algunas características típicas de declinación de árboles.

Jansen (1991) realizó una evaluación del estado que guardan las micorrizas en bosques con problemas de contaminación del aire y bosques libres de contaminación, encontrando que en el bosque contaminado existieron menos micorrizas por unidad de volumen de suelo. Este autor detectó que cuanto mayor fue la carga de contaminantes, existió menor cantidad de micorrizas y menor número de especies de hongos micorrízicos. En el mismo estudio, el autor encontró también que a mayor cantidad de micorrizas y cuerpos fructíferos de hongos, se observó menor transparencia de la copa de los árboles, menor caída de ramillas y menor daño a la corteza de los árboles.

Otros autores también han encontrado la relación inversa entre grado de contaminación atmosférica y la diversidad de hongos micorrízicos, la tendencia general de las conclusiones de estos trabajos apuntan hacia el daño que contaminantes atmosféricos como bióxido de azufre (SO_2) y ozono (O_3) presentan sobre los hongos micorrízicos (Carney *et al.*, 1978; Jansen y Van Dobben, 1987, citados por Arnolds, 1991b), aunque mencionan que la

pérdida de vitalidad de los árboles puede ser importante en la disminución de la diversidad de hongos micorrízicos (Arnolds, 1991a; Jansen, 1991)

La literatura al respecto de las relaciones entre declinación forestal y micorrizas, señala que existe una gran dificultad para establecer las relaciones de causa-efecto entre los simbioses, pues ambos agentes dependen uno del otro, y cualquiera que sea afectado en principio por algún factor externo, afecta en alguna forma el desarrollo del otro.

Declinación de oyamel en el Desierto de los Leones



Se han realizado diversos estudios que han determinado posibles causas de declinación en este Parque Nacional, como los de Alvarado (1989), Hernández y De la Isla, 1989), Paz (1989), que la asocian básicamente con la contaminación por Ozono y Bioxido de Azufre. Sin embargo las investigaciones relacionadas con las poblaciones de hongos son nulas.

La observación personal y comunicación con los habitantes de las comunidades de los alrededores del área, indican que tanto la diversidad de especies, como la cantidad de cuerpos fructíferos han disminuido drásticamente en los últimos años.

De la misma manera, se ha señalado que la producción de hongos comestibles en algunas áreas ha llegado a alcanzar valores cercanos a cero.

Considerando que el 46% de los hongos comestibles en México corresponde a los hongos formadores de micorrizas (Pérez y Ferrera-Cerrato, 1993), es posible suponer que la población de hongos micorrízicos en el área, también sea restringida.

Otros grupos tróficos de hongos y su relación con la declinación de bosques

La literatura internacional respecto a la presencia de diversos grupos tróficos de hongos, fundamentalmente en Europa, muestra que por lo general, el proceso de declinación de los bosques es acompañado por la extinción local de varias especies de hongos micorrízicos, así como por un aumento en la proporción de especies de hongos saprobios y parásitos (Jansen, 1990).

La declinación forestal se entiende de manera general como la pérdida gradual del vigor de los árboles. Cuando esta declinación inicia, el debilitamiento de los árboles los hace cada vez más susceptibles al ataque no sólo de plagas, sino también de enfermedades, entre ellas las fúngicas. Por ejemplo, en bosques de *Picea* en Alemania, una de las hipótesis sobre las causas de la declinación de éstos, involucra como responsables importantes a especies de hongos tales como: *Lophodermium picea*, *L. macrosporum* y *Rhizosphaera kalkhoffii* (Cowling, 1988).

En México, en el área de estudio que nos ocupa, Cibrián (1989) encontró un hongo parásito que produce pudrición de las raíces gruesas de árboles con follaje verde, el cual fue identificado como *Fomes* aff. *annosus*.

Respecto a las poblaciones de hongos saprobios en los bosques en declinación en otros países, la tendencia general citada en la literatura indica que la cantidad de especies de este grupo trófico, incrementa conforme aumenta el grado de daño en los árboles (Meyer *et al.*, 1988; Jansen, 1990). La descripción más común del proceso de declinación de los bosques incluye una fuerte mortalidad inicial de ramas, algunas veces iniciando por las ramas inferiores (mortalidad ascendente), aunque en ocasiones esta mortalidad comienza por la parte superior de la copa de los árboles (mortalidad descendente). La muerte y desprendimiento de las ramas de los árboles, indudablemente incrementa la cantidad de materia orgánica en la superficie del suelo. El aumento de material orgánico no sólo de ramas sino también de follaje y fustes completos en el suelo, probablemente promueve el incremento de las poblaciones de hongos saprobios.

De acuerdo con la revisión anterior, se considera que es importante iniciar con el estudio de este tipo de relaciones en el área, comenzando por un estudio general de las relaciones entre diversas especies de hongos y el grado de deterioro del bosque. De esta manera, el presente trabajo tiene como objetivo estudiar la relación que guarda el grado de declinación de un bosque de *Abies religiosa*, con las poblaciones de hongos.

OBJETIVOS

1. Continuar con los trabajos de investigación relacionados con los hongos y la declinación de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones, México, D. F.
2. Evaluar la proporción de especies de hongos saprófitos, parásitos y ectomicorrízicos en sitios dominados por *Abies religiosa* con diferente grado de declinación.
3. Relacionar el grado de declinación con el porcentaje de micorrización en árboles de *Abies religiosa*.

HIPOTESIS

1. La proporción de especies de hongos saprófitos, parásitos y ectomicorrízicos en bosques dominados por *Abies religiosa* varía en función de su grado de declinación.
2. Conforme incrementa el grado de daño en los árboles de *Abies religiosa* por el síndrome de declinación, el porcentaje de micorrización decrece.

MATERIALES Y METODOS

Descripción de las áreas de trabajo

El criterio principal que se utilizó en la selección y caracterización de los sitios de trabajo, fue el grado de daño a que ha estado sujeto el bosque natural. El grado de daño fue determinado de manera visual en base principalmente a la forma y cantidad de copa de los árboles y a la mortalidad que se ha presentado en cada una de las áreas.

El estudio se realizó en tres rodales con diferente grado de declinación:

Rodal 1.

Este rodal se denomina El Cementerio I y está ubicado dentro del área del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, en la delegación Cuajimalpa, D. F. ($19^{\circ} 18'$ latitud norte y $99^{\circ} 18'$, longitud oeste (Figura 2). Este sitio se encuentra a un rumbo S60E con respecto al área del Convento, que es el centro cultural del parque. Partiendo de El Convento hacia el Sur, por la carretera a San Angel, el rodal se localiza a 4.5 Km. La exposición del rodal es norte y noreste, con una altitud entre 3,050 y 3,250 m. La pendiente en la parte baja es de 21 %, mientras en las partes intermedia y alta es de 65 %.

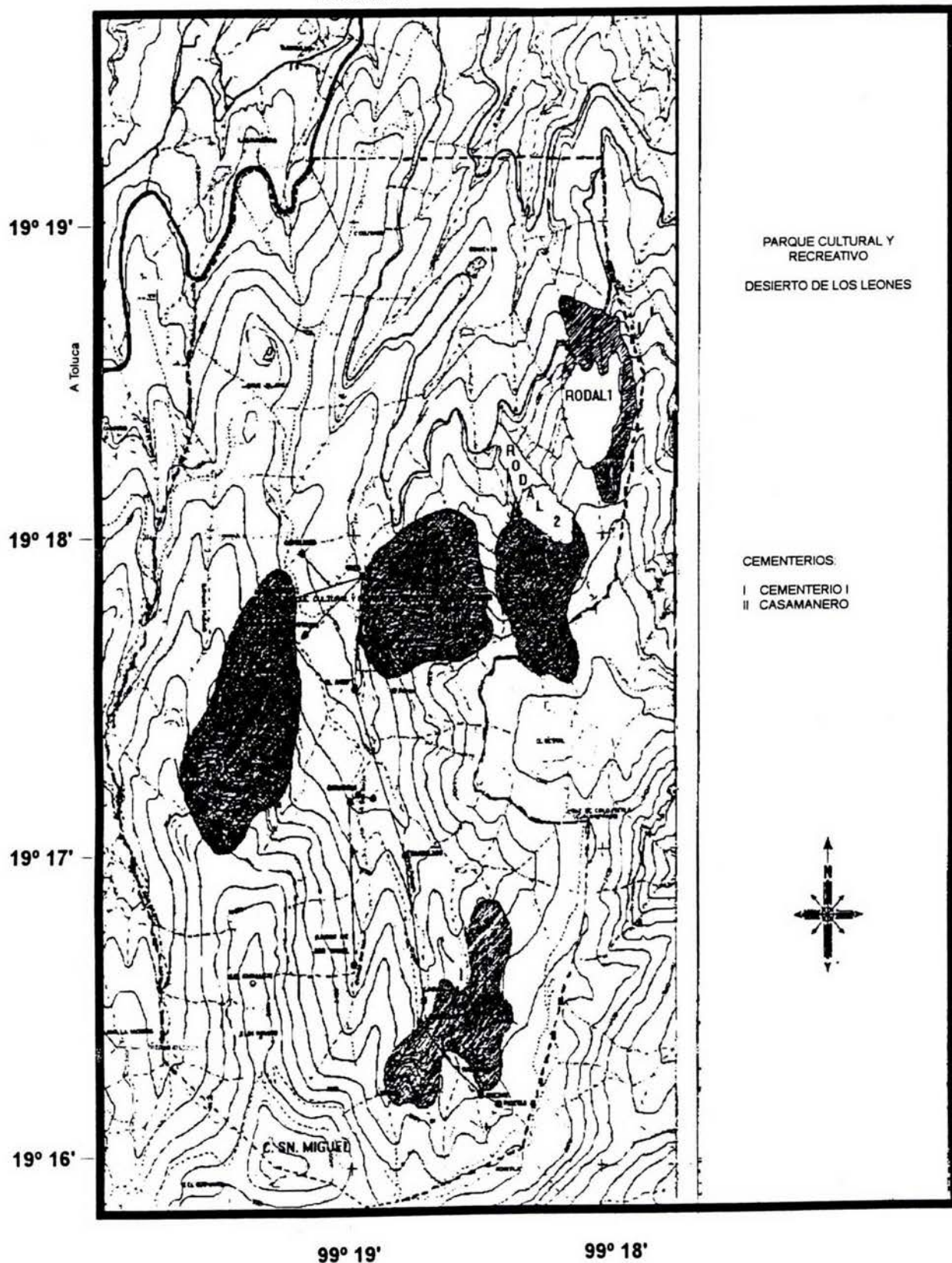


Figura 2. Ubicación de los rodales de muestreo de carpóforos en el Parque Cultural y recreativo Desierto de los Leones, D.F.

Este sitio se caracteriza por presentar vegetación secundaria y una área de plantación con varias especies de pino: *Pinus ayacahuite*, *P. montezumae*, *P. radiata* y *P. patula*, y *Abies religiosa*. Estas especies se encuentran principalmente en la parte baja del rodal. En la parte media dominan especies arbustivas nativas como *Arbutus jalapensis*, *Baccharis conferta*, *Senecium sp*, principalmente, que presentan una alta densidad, mientras que en la parte alta, se encuentra vegetación arbustiva nativa y algunos ejemplares de *A. religiosa* en avanzado proceso de declinación.

Este rodal se considera el más dañado de los tres sitios en estudio, pues en esta área, durante los últimos años de la década de los 70's y principios de los 80's, murió la totalidad del arbolado (Alvarado, 1989). Actualmente, el daño sigue avanzando de manera acelerada en los alrededores del área, especialmente hacia la parte sur, donde aún existen algunos árboles adultos, aunque éstos están en franco proceso de declinación, conformando un panorama verdaderamente desolador (Figura 3).

Los árboles adultos que se encuentran alrededor de este rodal presentan una cantidad mínima de copa que quizá varía entre 0 y 10 % de la copa que caracteriza a un árbol sano de esta especie. La copa de estos árboles consiste generalmente en ramas demasiado cortas, distribuidas a lo largo del fuste o bien, agrupadas en ciertas porciones del tronco, formando lo que se ha denominado nidos de cigüeñas.

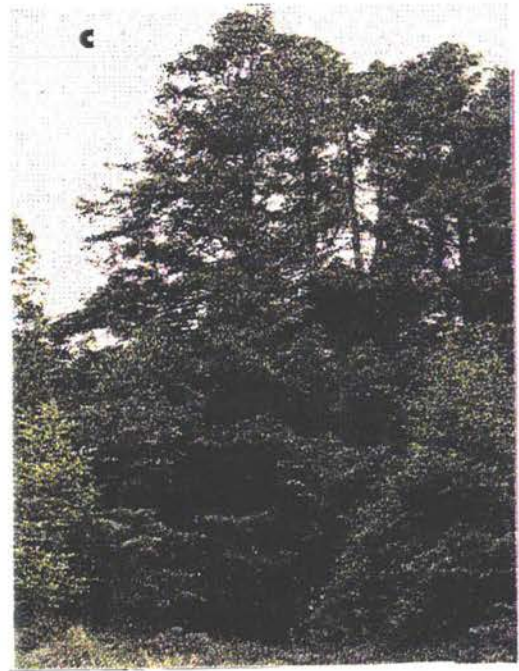
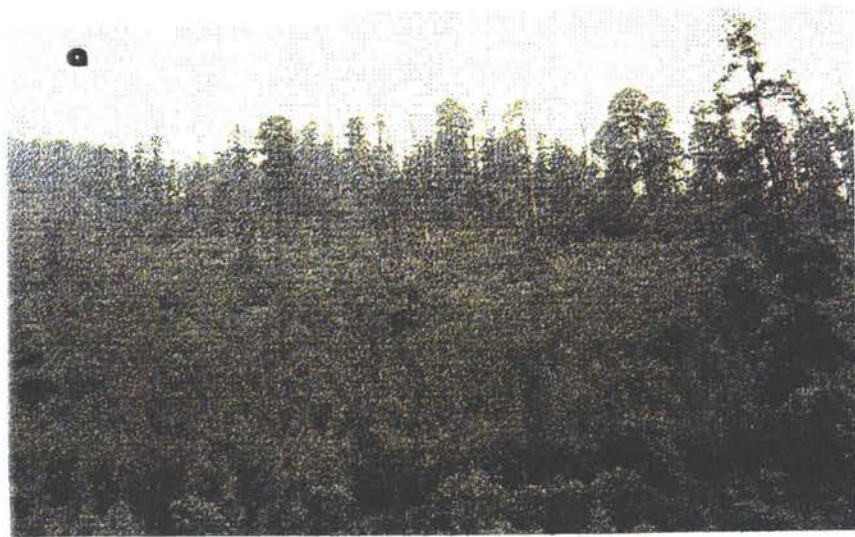


Figura 3. Vista parcial de a) Paraje El Cementerio. Partes central a inferior, regeneración artificial después de la muerte del arbolado natural, parte superior mostrando alta mortalidad del arbolado natural. b) Paraje Casamanero, aún con arbolado natural, mostrando las reducidas copas de los árboles, la presencia de árboles muertos y la baja densidad del arbolado. c) Valle El Conejo, mostrando un rodal de árboles sanos de *Abies religiosa*. Nótese la existencia de copas robustas desde la base de los árboles y la presencia de regeneración natural.

En el área no existen individuos jóvenes de *A. religiosa* ni *Pinus sp.*, lo que indica que por lo menos en las dos últimas décadas no se ha presentado regeneración natural de estas especies, lo que está determinando de manera importante su sustitución por especies principalmente arbustivas. Esta falta de regeneración natural, es la característica dentro del proceso de declinación, que anuncia la desaparición de la especie en una importante porción del parque (Sierra *et al.*, 1980).

Rodal 2.

El rodal 2, localmente denominado Casamanero, está ubicado también dentro del área del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, en la delegación Cuajimalpa, D. F. (Figura 2). Este sitio se encuentra a un rumbo S5E con respecto al Convento. Partiendo de El Convento hacia el sur, por la carretera a San Angel, el rodal se localiza a 3.5 Km.. La exposición del rodal es noroeste con una altitud entre 3,050 y 3,250 m. La pendiente general del rodal es de 32 %, siendo ligeramente menor en la parte baja del sitio (26 %), cerca de la carretera.

El rodal presenta una vegetación de *Abies religiosa-Pinus sp.* y algunas especies de *Quercus sp.*, así como *Alnus sp.* y algunas arbustivas. Los ejemplares de *Abies religiosa* del sitio, se encuentran en un proceso de declinación que podría ser calificado como intermedio, pues

se ha registrado una ligera mortalidad de individuos de esta especie, especialmente en la parte baja del rodal; sin embargo, los árboles que aún permanecen, mantienen todavía entre 10 y 50 % de la copa que un individuo sano de esa especie podría presentar (Figura 3). Existe una considerable cantidad de tocones de árboles adultos que murieron y fueron extraídos durante las operaciones de saneamiento realizadas en el parque en la década de 1980; sin embargo, actualmente aún existe una densidad importante de arbolado en el sitio. La regeneración natural en este sitio probablemente no se ha presentado en las dos últimas décadas, pues no se encuentra arbolado joven de *A. religiosa* ni de ejemplares del género *Pinus*.

Rodal 3.

El rodal 3 está ubicado en la parte poniente de Valle El Conejo, en el municipio de Ocoyoacac, Estado de México (Figura 4). Este rodal está constituido por una masa pura de *Abies religiosa* que presenta un estado sanitario visiblemente superior al de las dos áreas descritas anteriormente. Los tipos de daño que se presentan en diferente grado en los dos primeros sitios, se presentan con mucho menor frecuencia en el rodal 3. La estructura de la copa del arbolado de este sitio, es la que normalmente caracteriza a los árboles sanos de esta especie, se observan árboles vigorosos, con follaje de un color verde oscuro brillante, se encuentra follaje de edades superiores a dos años y la forma de la copa es sensiblemente cónica. La estructura general del rodal, por otro lado, consiste en la presencia de varios estratos,

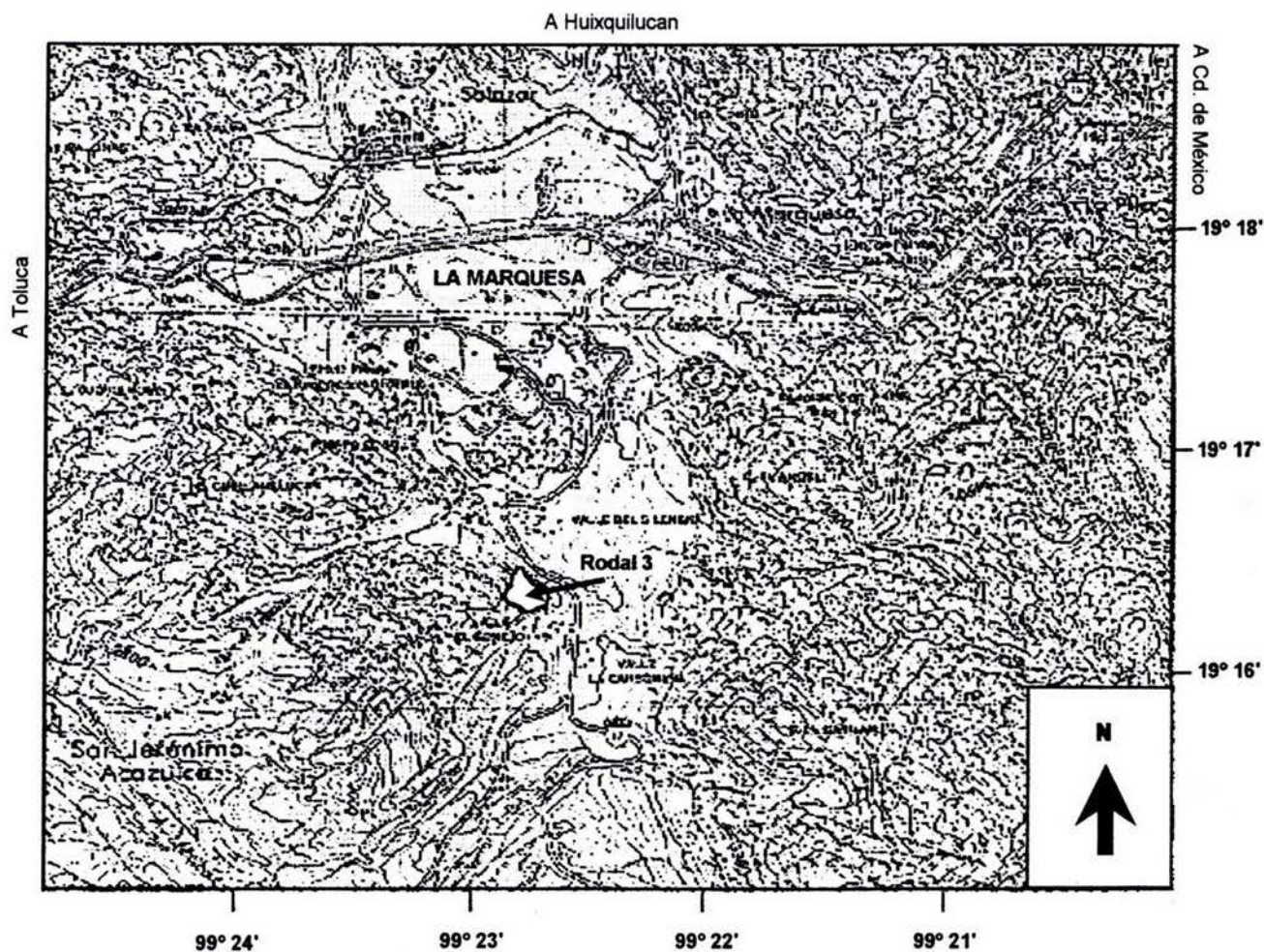


Figura 4. Ubicación del área de muestreo de carpóforos en el municipio de Ocoyoacac, Estado de México.

resultado de la existencia de árboles de muy diversas edades (Figura 4), lo cual es característico de los bosques de *Abies religiosa*, por ser ésta una especie tolerante a la sombra.

Experimento 1

Para cumplir con los objetivos planteados, se diseñó un muestreo de campo a través del cual se recolectaron los cuerpos fructíferos de hongos ya fueran saprobios, parásitos o micorrízicos en las tres áreas de trabajo.

Descripción del procedimiento de campo

Durante el periodo otoñal, es decir después del periodo de lluvias entre los meses de septiembre y noviembre se llevaron a cabo los muestreos correspondientes para la recolección de carpóforos en dos fechas por cada sitio, con un mes de distancia entre la primera y la segunda fecha de recolección aproximadamente. Para la elección de las zonas de estudio se tomaron en consideración las características fisonómicas principalmente del arbolado en pie de *Abies religiosa* y la densidad del mismo, así como la cantidad de árboles muertos.

En cada una de las zonas se llevó a cabo la recolección de todos los carpóforos visibles. Durante los recorridos por las áreas de estudio se recolectaron cuerpos fructíferos tanto del suelo como de troncos

mueritos tirados sobre él, con el objeto de obtener las proporciones de hongos saprófitos, parásitos y micorrízicos.

Los carpóforos fueron recolectados desde su base con una espátula o cuchillo de campo, obteniendo al ejemplar completo. Los ejemplares fueron colocados en papel periódico y etiquetados, anotándose los datos correspondientes al lugar de recolecta. La caracterización de los especímenes en fresco, se realizó inmediatamente después de la colecta, en donde se incluyó un dibujo de cada ejemplar de tamaño aproximadamente natural y, cuando fue posible, se tomaron fotografías de éstos. Posteriormente, en laboratorio, se secaron en una estufa de circulación forzada durante 48 h a 45°C aproximadamente, para su posterior identificación en el laboratorio.

Etapa de laboratorio



BIBLIOTECA
INSTITUTO DE ECOLOGIA
UNAM

Los carpóforos se analizaron para su identificación siguiendo las técnicas usuales en la identificación taxonómica de macromicetos, y para la observación de esporas u otras estructuras microscópicas, se siguieron las técnicas propuestas por Largent *et al.* (1977). Las características obtenidas se compararon con claves de identificación: Guzmán (1980) y Lincoff (1984). La determinación de los grupos tróficos se basó principalmente en Trappe (1962), Lincoff (1984), Castellano y Molina (1989) y Read (1993) .

Se consideró como un 100% a toda la diversidad de hongos encontrada, excepto aquellos de los cuales no fue posible conocer su grupo trófico, se determinó la proporción en (%) de cada uno de los grupos de hongos: saprófitos, parásitos y ectomicorrízicos, con el objeto de relacionar la variación de estas proporciones con el grado de daño aparente en cada una de las tres áreas de estudio.

Experimento 2

Este experimento tuvo por objeto relacionar el grado de daño (severo, intermedio y ligero) en los árboles de una zona determinada, con la cantidad de micorrizas presentes en sus raíces. Este estudio fue realizado independientemente del anterior censo de la primera parte del trabajo y se desarrolló únicamente en la zona más dañada de una plantación de *Abies religiosa* del paraje El Cementerio I del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, debido a que en ese lugar se encuentra una plantación de 7 años de edad, y en algunos de los árboles se presentan síntomas de declinación en varios grados. Este trabajo servirá de patrón de comparación para investigaciones posteriores en otras áreas de estudio, y sugiriéndose también que se evalúe durante diferentes épocas del año, cuando las temperaturas y condiciones de humedad sean diferentes a las condiciones estudiadas en este trabajo. Adicionalmente, el experimento se aprovechó para estudiar la posible variación en el porcentaje de micorrización con

respecto a la distancia de toma de muestra de suelo con raíz, a partir del tronco del árbol.

Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue un factorial 3x2 con el arreglo de las unidades experimentales al azar. Los factores probados fueron: 1) Grado de daño de los árboles y 2) Distancia de la muestra de raíces con respecto al tronco del árbol. El grado de daño incluyó tres niveles cuantitativos: árboles relativamente sanos, intermedios y dañados, de los cuales se tomó 4 como número de muestra base con 4 repeticiones cada uno (16 árboles sanos, 16 intermedios y 16 dañados), y para el factor distancia se incluyeron dos niveles: parte media de la zona de goteo y límite exterior de la misma área (Figura 5). En cada árbol se tomaron dos muestras, del interior y del exterior.

Establecimiento del grado de daño

La determinación de los diferentes grados de daño medidos de acuerdo con los grados de clorosis y bronceado del follaje, se llevó a cabo mediante una escala fotográfica diseñada y probada por López *et al.* (1995), a través de la cuál es posible determinar un índice de clorosis, bronceado ó defoliación para una ramilla, una rama, un verticilo ó un árbol.

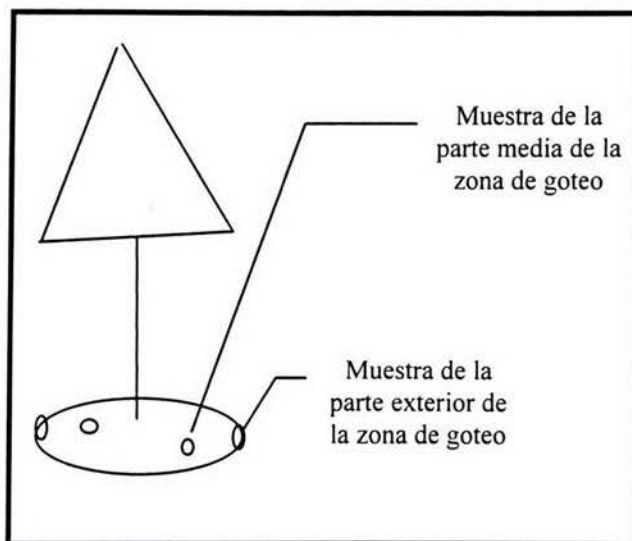


Figura 5. Diagrama del procedimiento de toma de muestras de suelo con raíces.

Recolección de muestras de suelo

El muestreo de suelos conteniendo raíces se llevó a cabo entre los meses de enero y principios de marzo de 1996 para el primer análisis y, en el mes de marzo, para el segundo. La recolecta de campo se llevó a cabo en etapas, evitando así, el almacenaje de las muestras por periodos prolongados.

La colecta de las muestras de suelo se llevó a cabo siguiendo una modificación de la metodología de Harvey *et al.* (1976), mediante el uso de una pala diseñada exprofeso, la cual siempre extraía un volumen volumen de 2.5 dm^3 de suelo con raíz. (Figura 6).

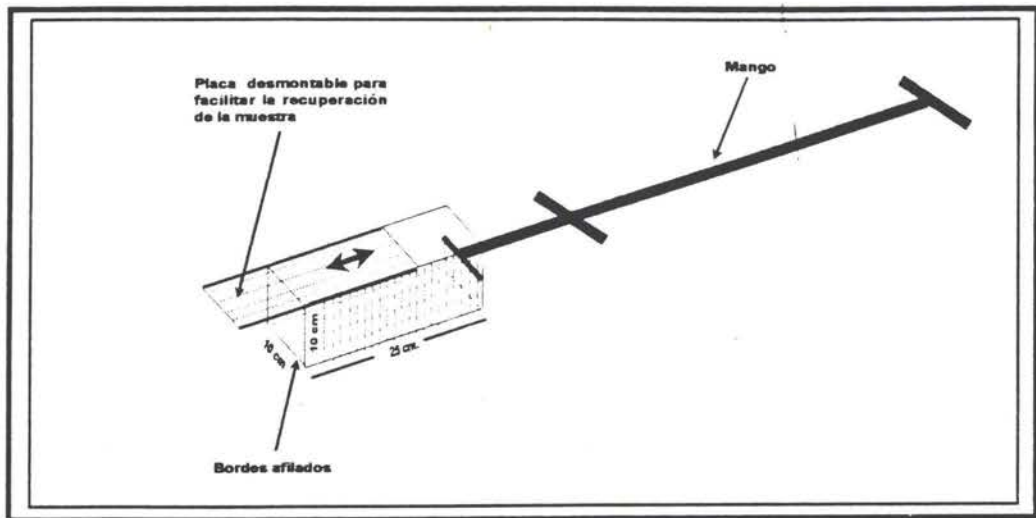


Figura 6. Diseño de la pala utilizada en la extracción de muestras de suelo con raíces de *Abies religiosa*.

Las muestras recolectadas de esta forma fueron colocadas en bolsas de polietileno transparente y etiquetadas para su posterior transporte al laboratorio en donde se procedió a realizar el conteo de las raíces cortas con ectomicorriza. En algunas ocasiones se almacenaron algunas muestras en refrigeración por períodos de tiempo relativamente cortos (de uno a siete días).

Procedimientos de laboratorio

Cada una de las muestras de suelo, se depositó en una charola de plástico para extraer todas las raíces con la ayuda de pinzas largas y puntiagudas. Las raíces se lavaron cuidadosamente con el objeto de eliminar residuos de suelo, conservando la integridad de las mismas. Del total de raíces limpias se seleccionaron en forma aleatoria diez de ellas para tomar de cada una tres secciones de 2 cm de longitud, una de la base, una de la parte media y una de la parte terminal.

Las secciones fueron colocadas en cajas de Petri con un poco de agua para su posterior observación al microscopio estereoscópico (50 X), donde se llevó a cabo el conteo de las raíces cortas con ectomicorriza.

Los criterios de identificación de la ectomicorriza fueron los utilizados por Castellano y Molina (1989) e incluyeron la observación del micelio en las raíces, la turgencia (hinchazón visible) y sanidad de la raíz y en algunos casos la forma dicotómica ó policotómica que presentaron las raíces cortas.

Algunas muestras de las porciones utilizadas de raíz se colocaron en una solución de formol al 10% para su conservación.

Análisis estadístico

Mediante el uso del paquete estadístico SAS se procedió a llevar a cabo los análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental planteado, así como las pruebas de comparación de medias usando Tukey ($\alpha=0.05$) para cada uno de los factores considerados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Proporciones de los grupos tróficos de los hongos recolectados en los sitios de muestreo

Dentro de las especies de macromicetos recolectadas en los sitios de muestreo considerados en el presente estudio, se identificaron sólo hongos saprobios y micorrízicos, no así, hongos parásitos.

En el primer sitio de muestreo (rodal 1 ó paraje El cementerio I) se encontraron un total de 34 ejemplares: 10 micorrízicos, 21 saprobios y 4 con un grupo trófico no definido, por lo que se excluyeron del análisis porcentual. Los hongos micorrízicos representaron el 33%, mientras que los saprobios, el 67%.

Los géneros micorrízicos encontrados en El cementerio I fueron: *Cantharellus cibarius*, *Hebeloma sp.*, *Inocybe sp.*, *Inocybe fastigiata*, *Inocybe aff. geophylla*, *Chroogomphus sp.*, *Paxillus sp.*, *Thelephora sp.*, y *Laccaria sp.* mientras que los géneros de saprobios encontrados fueron: *Scutellinia scutelata*, *Clavaria sp.*, *Corticium sp.*, *Rhodopyllus sp.*, *Fomes sp.*, *Fomes annosus*, *Fomes roseus*, *Fomes pinícola*, *Ganoderma sp.*, *Gloeophyllum sepiarium*, *Hexagonia hymenochaete*, *Hirschioporus aff. abietinus*, *Lenzites sp.*, *Polyporus (sensu lato)*, *Agaricus sp.*, *Agaricus sp.2*, *Pholiota sp.*, *Mycena sp.*, *Tricholoma sp.*, *Lentinus sp.* y *Lycoperdon pyriforme*.

En el segundo sitio de muestreo (rodal 2 ó Casamanero) se encontraron un total de 22 ejemplares: 7 micorrízicos y 11 saprobios, los 4 restantes con un grupo trófico indefinido, también excluyéndose del análisis porcentual. Los micorrízicos representaron un 38% y los saprobios un 62%. Los géneros micorrízicos encontrados fueron: *Xerocomus chrysenterum*, *Cantharellus cibarius*, *Inocybe sp.*, *Inocybe aff. fastigiata*, *Inocybe aff. geophyllum*, *Collybia sp.* y *Collybia dryophylla*. Por otro lado, los géneros de saprobios fueron: *Galerina sp.*, *Mycena sp.*, , *Laccaria sp.*, *Ganoderma sp.*, *Naematoloma fasciculare*, *Rhodophyllus sp.*, *Coprinus sp.*, *Panaeolus sp.*, *Lycoperdon sp.*, *Hirschiophorus aff. abietinus.*, *Gloephyllum seapiarium* y *Fomes sp.*

En el tercer sitio de muestreo (rodal 3 ó Valle El Conejo) se encontraron 25 ejemplares: 14 micorrízicos y 10 saprobios y 2 indefinidos, por lo que, al igual que en los sitios anteriores, éstos se excluyeron del análisis porcentual. Los micorrízicos representaron el 61% del total y los saprobios representaron el 39% . Los géneros de hongos micorrízicos encontrados fueron: *Helvella crispa*, *Helvella lacunosa*, *Morchella sp.* , *Morchella sculenta*, *Cantarellus cibarius*, *Gomphus floccosus*, *Inocybe sp.*, *Inocybe aff. fastigiata*, *Inocybe geophylla*, *Russula foetens*, *Russula mexicana*, *Russula aff. lepida*, *Lactarius sp.*, *Geastrum sacatum* , *Hebeloma sp.* y *Laccaria sp.*. Los géneros saprobios encontrados fueron: *Peziza sp.*, *Peziza aff. badia*, *Sarcosphaera sp.*, *Leotia lubrica*, *Ramaria sp.*, *Tremellodendron sp.*, *Marasmius sp.*, *Mycena sp.* y *Panaeolus sp.*

En los tres rodales se pudo observar una relación numérica clara entre el grado de declinación de los rodales de oyamel y la proporción de especies de hongos saprobios y micorrízicos (Figura 7). En el área más dañada (paraje El Cementerio I) existió una mayor proporción de hongos saprobios (67%) en relación a los hongos micorrízicos (33%). Esta proporción de hongos saprobios disminuyó en el paraje Casamanero (62%) al tiempo que incrementó la población de hongos micorrízicos (38%). La proporción de hongos micorrízicos siguió aumentando conforme mejoró el estado sanitario hasta un 65 % en el Valle El Conejo.

Es muy probable que la elevada población de especies de hongos saprobios en las áreas más dañadas (parajes El Cementerio I y Casamanero) tenga una relación estrecha con la existencia de considerables cantidades de materiales orgánicos resultantes del apilamiento de las trozas de los árboles que murieron y que, de acuerdo con Vázquez (1987), fueron distribuidas en el área con el objeto de controlar la erosión en la superficie descubierta. En el paraje Casamanero, aunque la mortalidad de arbolado no ha sido tan elevada como en El Cementerio, el estado sanitario del arbolado es inferior al de Valle El Conejo, lo cual implica que en el paraje Casamanero ha tenido lugar una considerable mortalidad de ramas con la consecuente depositación de material orgánico sobre el piso.

En concordancia con éstos resultados, está el estudio de Jansen (1990) realizado en Holanda, acerca de la declinación de hongos ectomicorrízicos en el bosque, encontrando que conforme declina la presencia de hongos

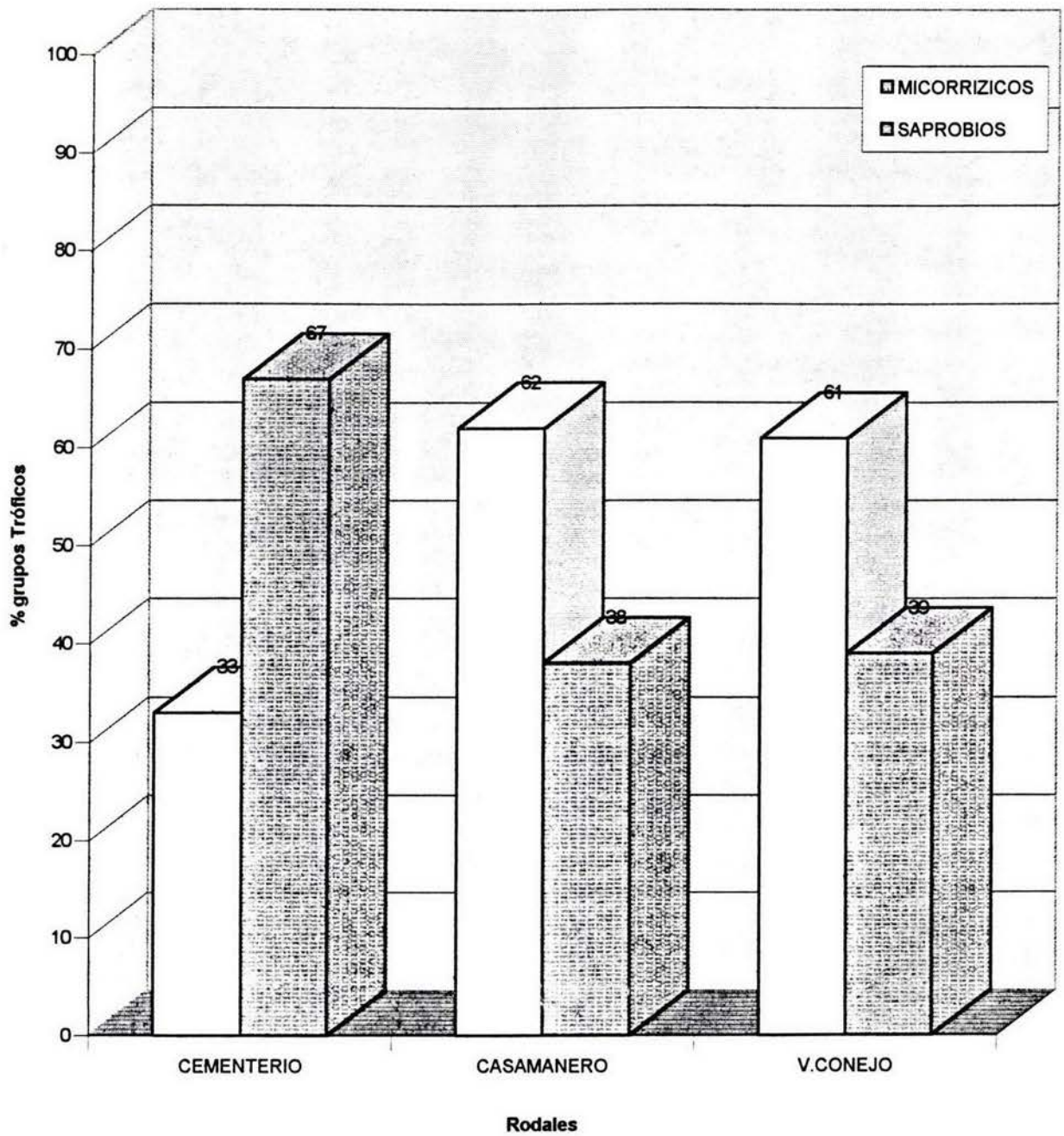


Figura 7. Proporción de hongos saprobios y micorrízicos en los rodales estudiados.

ectomocorrízicos , incrementa la cantidad de hongos saprobios del suelo y aún más los que crecen sobre madera.

Meyer *et al.* (1988), mencionan que aun cuando la cantidad de carpóforos y micorrizas declina en función del vigor de los árboles, la cantidad de puntas de raíz en árboles dañados es sensiblemente parecida a la de árboles relativamente sanos, lo que indica que probablemente la disminución de la cantidad de micorrizas y carpóforos, esté controlada por algún factor que ha cambiado en el suelo, aunque se debe considerar que también los carpóforos están sujetos a la presencia de contaminantes en la atmósfera. De acuerdo con ésto, es poco probable que la escasez de micorrizas esté determinada por un reducido flujo de carbohidratos provenientes de la parte aérea del árbol, puesto que tal flujo existe y la presencia de abundantes puntos de crecimiento de la raíz así lo indican, sin embargo se desconoce si este flujo es de la misma proporción en árboles sanos con respecto a los deteriorados .

En el caso del Desierto de los Leones , no existen antecedentes sobre estudios relacionados con distribución de biomasa en los árboles con síntomas de declinación, por lo que en éste caso se desconoce si el flujo de carbohidratos hacia la raíz tiende a ser normal como lo reportan Jansen (1991) y Meyer *et al.* (1988), en bosques europeos.

No obstante lo anterior, existen estudios relacionados con problemas de declinación forestal que hacen referencia a la escasez de raíces finas como una de las características importantes dentro del proceso (Hennon *et al.*, 1992; Kandler, 1992; Ciesla, 1989). De acuerdo con ésto, es probable que la

pérdida del vigor de los árboles, juegue un papel importante en el desarrollo de los carpóforos de hongos micorrízicos, puesto que éstos dependen para su desarrollo de los carbohidratos producidos en el follaje de los árboles (Agerer, 1985; Schlenchte, 1986 y Jansen y de Vries, 1988, citados por Arnolds, 1991a). De esta manera, si el árbol ha perdido biomasa foliar, la producción de carbohidratos disminuye y el crecimiento de cuerpos fructíferos y demás estructuras de los hongos se dificulta. Sin embargo, debemos reconocer que muchas veces la producción de cuerpos fructíferos está influenciada por otros factores, y que no obstante la ausencia de éstos, la parte somática sigue persistiendo e incluso formando asociaciones, por lo que esto no podría considerarse como un parámetro puntual para evaluar micorrización.

Diversidad de hongos en los tres sitios de muestreo

A continuación se enlistan los grupos encontrados en los rodales bajo estudio:

Rodal 1 (El cementerio I) :

ASCOMYCETES

Pezizales

Familia Pyromataceae

Scutellinia scutallata

BASIDIOMYCETES

Homobasidiomycetos

Familia Cantharelaceae

Cantharellus cibarius

Familia Clavariaceae

Clavaria sp.

Familia Corticiaceae

Corticium sp.

Familia Cortinareaceae

Hebeloma sp.

Inocybe geophylla

Inocybe aff. fastigiata

Inocybe sp.

Familia Entolomataceae

Rhodophyllus sp.

Familia Hygrophoraceae

Hygrophorus sp.

Hygrocybe sp.

Familia Polyporaceae

Fomes annosus

Fomes pinicola

Fomes roseus

Ganoderma sp.

Gloeophyllum sepiarium (Fr.) Karst.

Hexagonia hymenochaete

Hirschioporus aff. *abietinus*

Lenzites sp.

Polyporus (sensu lato)

Hymenobasidiomycetes

Agaricales

Fam. Agaricaceae

Agaricus sp. 1

Agaricus sp. 2

Agaricus sp. 3

Familia Gomphidaceae

Chroogomphus sp.

Familia Paxillaceae

Paxillus sp.

Familia Strophariaceae

Pholiota sp.

Familia Thelephoraceae

Thelephora sp.

Familia Tricholomataceae

Laccaria sp.

Lentinus sp.

Mycena sp.

Tricholoma sp.

GASTEROMYCETES

Familia Lycoperdaceae

Lycoperdon sp.

Lycoperdon pyriforme

Rodal 2 (Casamanero):

BASIDIOMYCETES

Homobasidiomycetes

Familia Boletaceae

Xerocomus chrysenteron

Familia Cantharellaceae

Cantharellus cibarius

Familia Cortinariaceae

Galerina sp.

Inocybe sp.

Inocybe aff. geophylla

Inocybe aff. fastigiata

Dermocybe sp.

Familia Polyporaceae

Polyporus aff. hirsutus

Ganoderma sp.

Hymenobasidiomycetes

Agaricales

Familia Tricholomataceae

Collybia sp.

Collybia dryophylla

Laccaria sp.

Mycena sp.

Familia Strophareaceae

Naematoloma fasciculare

Familia Entolomataceae

Rhodophyllus sp.

Familia Coprinaceae

Coprinus sp.

Panaeolus sp.

GASTEROMYCETES

Familia Lycoperdaceae

Lycoperdon sp.

Rodal 3 (Valle El Conejo):

ASCOMYCETES

Familia Helvellaceae

Helvella lacunosa

Helvella crispa

Familia Morchellaceae

Morchella sp.

Morchella esculenta

Familia Pezizaceae

Peziza sp.

Peziza aff. badia

Sarcosphaera sp.

Familia Leotiaceae

Leotia lubrica

BASIDIOMYCETOS

Heterobasidiomycetos

Familia Tremellaceae

Tremellodendron sp.

Homobasidiomycetes

Familia Cantharellaceae

Cantharellus cibarius

Gomphus floccosus

Familia Clavariaceae

Ramaria sp.

Familia Cortinariaceae

Hebeloma sp.

Inocybe sp.

Inocybe aff. *geophylla*

Inocybe aff. *fastigiata*

Familia Hygrophoraceae

Hygrophorus aff. *conicus*

Hymenobasidiomycetes

Agaricales

Familia Tricholomataceae

Laccaria sp.

Marasmius sp.

Mycena sp.

Familia Coprinaceae

Panaeolus sp.

Familia Russulaceae

Lactarius sp.

Russula aff. *lepida*

Russula foetens

Russula mexicana

GASTEROMYCETES

Familia Lycoperdaceae

Geastrum saccatum

La cantidad de familias de hongos presentes en Valle El Conejo (Figura 8a), representa un 40.5% del total de hongos recolectados en los tres rodales, siendo este sensiblemente superior en comparación con los rodales del

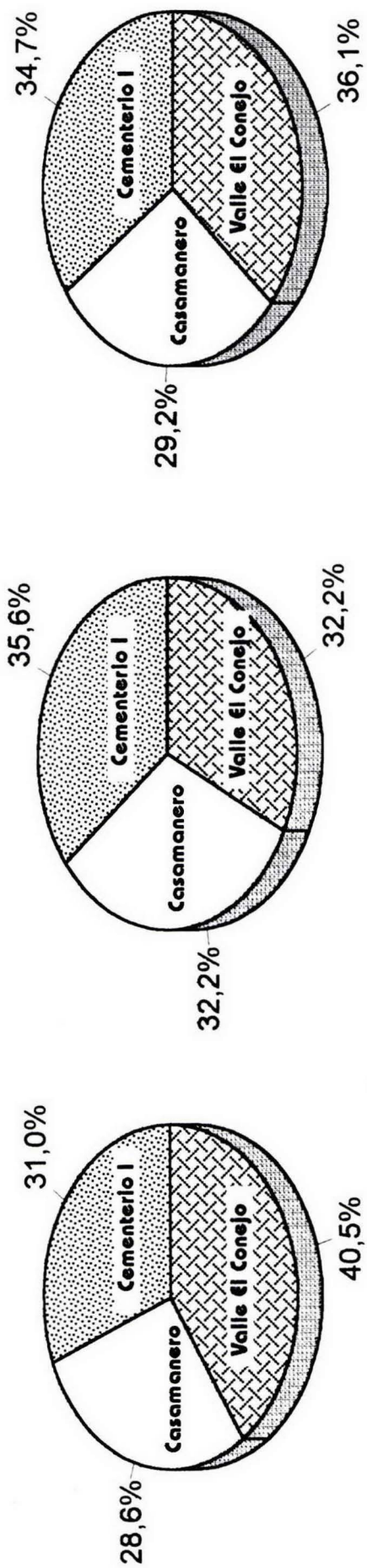


Figura 8. Porcentaje de a) Familias, b) Géneros y c) Especies de hongos con respecto al total de familias, géneros y especies colectadas en los sitios de muestreo. Valle El Conejo = Sitio con daño ligero, Casamanero = Sitio con daño intermedio y Cementerio I= Sitio con daño severo.

Parque Desierto de los Leones, aunque cada una de las familias de hongos en Valle El Conejo, estuvo representada por una menor cantidad de géneros puesto que de acuerdo con la Figura 8b, la cantidad de géneros presentes en Valle El Conejo es igual a la del paraje Casamanero y ambas son inferiores a la del paraje El Cementerio.

A nivel de especies de hongos, la tendencia es muy parecida aunque menos pronunciada que en el caso de las familias, encontrándose un mayor porcentaje de especies de hongos en el rodal ubicado en Valle El Conejo, que en los sitios localizados dentro del parque Desierto de los Leones (Figura 8c).

Aun cuando los valores mostrados en la Figura 8 indican una mayor diversidad de hongos en Valle El Conejo, una diversidad intermedia en El Cementerio I y una inferior en el paraje Casamanero, estos valores presentan poca importancia si no se hacen algunas precisiones acerca de los tipos de hongos al que se refieren los porcentajes. En el caso de Valle El Conejo, la diversidad de hongos encontrados es evidente. En el paraje Casamanero, por otro lado, la variedad de hongos es muy baja y es necesario invertir un tiempo considerable para recolectar una cantidad importante de hongos, resultando, en muchos de los casos, en una repetición frecuente de los mismos. Sin embargo, en El Cementerio I, la cantidad de hongos es demasiado reducida en cuanto a número y diversidad de especies, y la elevada diversidad de géneros y especies de saprobios en Valle El Conejo y en El Cementerio, resultaron muy parecidas, siendo las áreas más dañadas (Figura 8).

Es probable que la mayor diversidad de familias de hongos presentes en el rodal 3 ubicado en el Valle El conejo, tenga relación con las características de tolerancia de *Abies religiosa*, que forma masas incoetáneas (edades diferentes) (Manzanilla, 1974), condiciones requeridas para llevarse a cabo la regeneración natural (González *et al.*, 1991).

En los sitios ubicados en el parque Desierto de los Leones, los rodales presentan una distribución de edades tendiente a la formación de masas coetáneas (de la misma edad). En el caso del paraje El Cementerio I, esta condición se debe a que el arbolado establecido proviene de una plantación realizada durante la temporada de lluvias de un solo año (1985), mientras que en el caso del paraje Casamanero, la tendencia a la coetaneidad tiene su origen en la nula regeneración natural del oyamel (*Abies religiosa*), que es característica de esta especie en diferentes zonas del parque desde hace varios años. Esta falta de regeneración se puede detectar en la Figura 9, la cual muestra que la menor frecuencia en las categorías diamétricas encontradas corresponde a árboles de menor edad.

Quizá la diversidad de edades presente en Valle El Conejo sea en buena medida responsable de la existencia de mayor diversidad de familias de hongos, puesto que existen evidencias de que en rodales jóvenes se presenta una mayor cantidad de especies, así como mayor cantidad de cuerpos fructíferos y micorrizas que en rodales viejos (Jansen, 1991) y en el caso de este rodal, se encuentran individuos de muy diversas edades y dimensiones (Figura 9).

Existen otros estudios que evidencian cambios en las especies de hongos micorrízicos dependiendo de la edad de los árboles en el bosque y el tipo de suelo (Danielson, 1991). Tal vez esto también explica en forma parcial la

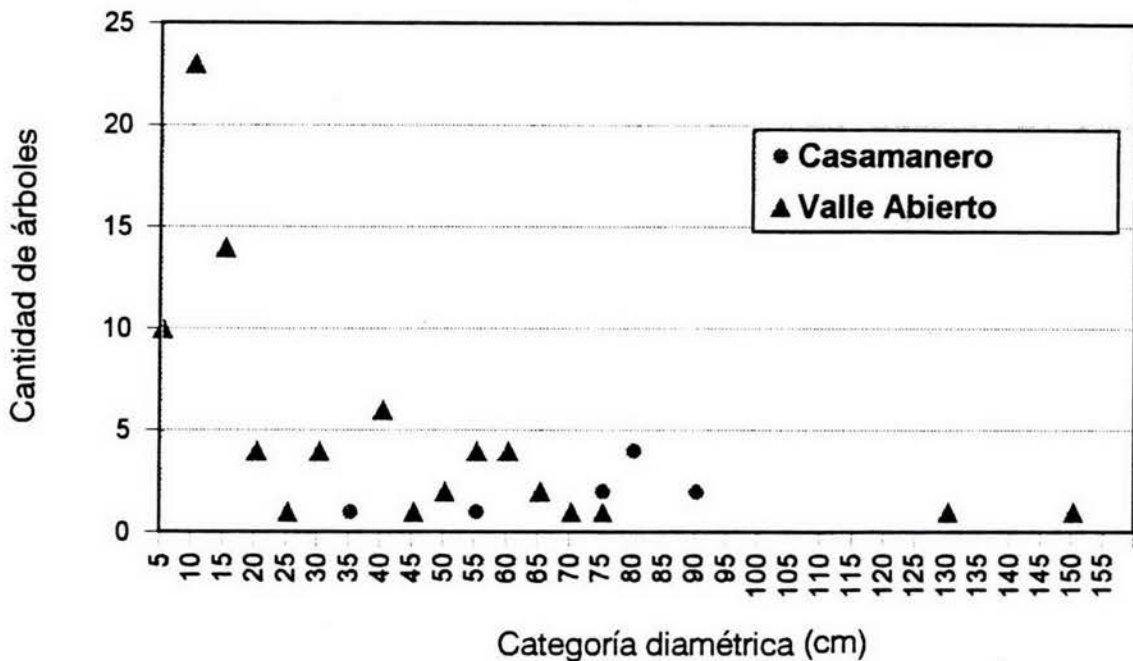


Figura 9. Frecuencia de las categorías diamétricas de los árboles en el paraje Casamanero, dentro del Parque Desierto de los Leones y en el rodal de Valle El Conejo, Mpio. de Ocoyoacac, edo. de México.

menor cantidad de familias de hongos micorrízicos presentes en los sitios ubicados en el Desierto de los Leones, dado que, como se mencionó

anteriormente, los rodales donde se localizan los sitios de muestreo en este paraje presentan una mayor homogeneidad de edades.

Los especímenes recolectados en el presente trabajo están depositados en el herbario de la Especialidad de Posgrado Forestal del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados en Montecillo, México.

Resultados de la cuantificación de micorriza en la zona de El cementerio

I

Resultados de la primera evaluación según los datos del primer muestreo:
(18 de enero - 18 de marzo 1966)

En el modelo utilizado para tratar de explicar la variación de la cantidad de micorrizas en función del daño del arbolado y distancia del centro a la periferia del árbol no muestra diferencia estadística significativa ($\alpha = 0.7071$). Sin embargo, dentro de estas variables, la que mayor efecto presentó, fue el grado de daño ($\alpha = 0.3056$). Los niveles de significancia del efecto de la distancia del punto de muestreo al tronco del árbol y de la interacción daño-distancia fueron muy bajas ($\alpha = 0.7684$ y $\alpha = 0.8489$, respectivamente), situación que probablemente se presentó porque el número de repeticiones no fue el adecuado para este modelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza de la cantidad de micorrizas en raíces de *Abies religiosa* del paraje El cementerio I del Desierto de los Leones, México D.F.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	PR > F
Modelo	5	0.7071
Daño	2	0.3056
Distancia	1	0.7684
Daño-Distancia	2	0.8489
Error	18	
Total	23	

$$R^2 = 0.1410$$

$$\text{Coeficiente de variación} = 32.75$$

No obstante que las pruebas de Tukey indican que no existen diferencias significativas entre las medias correspondientes a los niveles de daño considerados, se puede observar una tendencia bastante clara en términos numéricos en cuanto a la cantidad de micorrizas en relación con el grado de daño en términos de amarillamiento del follaje. La relación que se presenta entre el grado de daño y la cantidad de estructuras micorrízicas en las raíces de los árboles es de tipo inversa; es decir, a mayor grado de daño, menor es la cantidad de micorrizas en términos de porcentaje de presencia de estructuras en las muestras de raíz analizadas (Cuadro 2).

La relación inversa entre el grado de declinación de los árboles y la cantidad de estructuras micorrízicas se puede definir como típica, pues la generalidad de estudios al respecto han encontrado este comportamiento (Meyer *et al.*,

1988; Jansen, 1991; Arnolds, 1991a). Cuando se han estudiado varios factores posiblemente determinantes de la cantidad de estructuras micorrízicas, se ha encontrado que el pH y la concentración de calcio y magnesio se relacionan en forma directa con la cantidad de estructuras micorrízicas en la raíz, mientras que la concentración de nitrógeno guarda una relación inversa con la misma variable (Meyer *et al.*, 1988).

Cuadro 2. Porcentajes de ectomicorrización en raíces de árboles de *Abies religiosa* con diferentes grados de daño en el Desierto de los Leones, D. F. (Evaluación: marzo de 1996).

DAÑO	PORCENTAJE DE MICORRIZACION	DISTANCIA	PORCENTAJE DE MICORRIZACION
0 (Mínimo)	78.19 a	1 (Interior)	69.958 a
1 (Intermedio)	67.07 a	2 (Exterior)	67.217 a
2 (Severo)	60.50 a		

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

El estudio de Meyer *et al.* (1988) señaló que la escasa cantidad de ectomicorrizas está en función del pH, concentración de calcio, magnesio y nitrógeno en el suelo, y también de la relación molar entre calcio y aluminio. De acuerdo con el trabajo del mismo autor, en los sitios con arbolado sano, a mayor pH, mayor es la cantidad de ectomicorrizas, presentándose el mismo tipo de relación en el caso de los sitios con arbolado en declinación; sin embargo, en estos sitios el pH no llega a alcanzar niveles superiores a 4.5, lo

que trae consigo una menor cantidad de estructuras micorrízicas. Esta misma situación se presenta para todas las variables consideradas por los mencionados autores.

Lo anterior es una excepción a la generalización mencionada por algunos autores en el sentido de que los sustratos ácidos propician más el desarrollo de hongos que los medios alcalinos, mientras que éstos estimulan el desarrollo de bacterias (Pritchett, 1986).

En el caso del Desierto de los Leones, de acuerdo con la información obtenida por López (1993), es poco probable que la escasez de micorrizas se relacione con un pH bajo (el cual se ha estimado en 6.24 para el caso de El Cementerio I), ó deficiencia de calcio (7.27 me 100g⁻¹ de suelo), puesto que la diferencia de pH entre los suelos de El Cementerio I y los de 18 sitios con *Abies religiosa* en buen estado sanitario cercanos a la zona que fueron medidos (López, 1993) no es grande (6.24 Vs 6.43).

En relación a la concentración de calcio en el suelo, la comparación de los grupos de sitios mencionados, indicó que ésta es significativamente más baja en El Cementerio I, que en los oyametales sanos (7.27 Vs 11.10 me 100 g⁻¹ de suelo); sin embargo, es probable que esta concentración de calcio de 7.27 me 100 g⁻¹ en El Cementerio I sea adecuada para la especie, puesto que al llevar a cabo una evaluación nutrimental de *A. religiosa* en El Cementerio I mediante el DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System), el calcio en el follaje nuevo de los brinzales de la especie, resultó ser uno de los nutrimentos presentes en concentraciones elevadas (López, 1993).

En el caso del magnesio y nitrógeno, podría pensarse que es poco probable que estos -nutrimentos presenten efectos importantes sobre la cantidad de ectomicorrizas en el caso del paraje El Cementerio I, puesto que la concentración de magnesio en este sitio es ligeramente superior a la de sitios con arbolado sano de oyamel, mientras que la concentración de nitrógeno fue significativamente inferior en El Cementerio I, por lo que difícilmente puede estar imprimiendo su efecto negativo sobre la cantidad de micorrizas, sin embargo los efectos del nitrógeno combinado ó acompañado de otros compuestos puede denotar otros efectos.

La distancia del tronco del árbol hasta el punto en que se tomó la muestra de suelo con raíz, tampoco presentó un efecto significativo sobre la cantidad de estructuras micorrízicas en las raíces de los árboles (Cuadro 2). Esto significa que dentro del área de goteo, no tiene importancia el sitio en que deba tomarse la muestra de suelo con raíces, aunque Jansen (1991) indicó que las muestras de suelo tomadas a $3/4$ partes del radio de la copa de los árboles, a partir del tronco del árbol, produce resultados reproducibles.

Dado que de acuerdo con esta primera evaluación del porcentaje de micorrización, la distancia desde el tronco del árbol al punto de toma de muestra no presentó efecto significativo, en la segunda evaluación sólo se tomó muestra de suelo con raíces de la parte exterior de la zona de goteo.

Segunda evaluación con respecto al segundo muestreo (Marzo de 1996):

Los resultados obtenidos a partir del segundo muestreo de suelo con raíces indican que, similarmente a lo ocurrido durante el primer muestreo, las variables incluidas en el modelo utilizado, que en este caso no incluyó la distancia entre el tronco del árbol y el punto en que se tomó la muestra, no presentaron efecto significativo sobre el número de estructuras micorrízicas en las raíces de los árboles. Lo anterior se realizó de esa manera, en virtud de que los conteos de micorrizas resultaban similares en número.

Cuadro 3. Análisis de varianza de la cantidad de micorrizas en raíces de *Abies religiosa* del paraje El Cementerio I del Desierto de los Leones, D.F.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	PR > F
Modelo	2	0.4726
Daño	2	0.4726
Error	9	
Total	11	

$$R^2 = 0.1534$$

$$\text{Coeficiente de variación} = 35.64$$

A pesar de lo anterior, la tendencia mostrada por los resultados obtenidos durante este segundo muestreo, sigue siendo bastante parecida a la resultante a partir de la primera etapa (Cuadro 4). A diferencia del primer muestreo, los resultados del segundo indicaron una disminución de la cantidad de estructuras micorrízicas cuando el daño en los árboles fue máximo. Esto puede deberse a que los árboles más dañados presentan una deficiencia en sus

los resultados del segundo indicaron una disminución de la cantidad de estructuras micorrízicas cuando el daño en los árboles fue máximo. Esto puede deberse a que los árboles más dañados presentan una deficiencia en sus funciones fotosintéticas que los intermedios y sanos, dado que mucho de ese follaje es clorótico, rojizo o se ha desprendido de las ramillas (Castañeda *et al.*, 1995).

Cuadro 4. Porcentajes de ectomicorrización en raíces de árboles de *Abies religiosa* con diferentes grados de daño, en el Desierto de los Leones, D. F. (Evaluación: marzo de 1996).

DAÑO	PORCENTAJE DE MICORRIZACION
0 (Mínimo)	78.17 a
1 (Intermedio)	67.07 a
2 (Severo)	56.53 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

La disminución de la biomasa fotosintética implica una disminución de la producción de fotosintetizados. A principios de la época de crecimiento, que para la especie corresponde a los meses de marzo y abril, inmediatamente después del rompimiento de yemas vegetativas, la demanda de carbohidratos por parte de los nuevos tejidos se incrementa (Waring y Schlesinger, 1985), provocando quizá un aumento en la competencia por carbohidratos dentro del árbol, lo cual tal vez promueva la desaparición de algunas estructuras micorrízicas.

Algunos comentarios sobre los parámetros estadísticos obtenidos.

porcentaje de micorrización fue explicado principalmente por dos fuentes de variación: el grado de daño y la distancia de toma de muestra de suelo con respecto al tronco, que aunque no fueron significativas, el grado de daño presentó un nivel de significancia mucho mayor.

En la segunda fecha de muestreo, el grado de daño por sí solo, explicó el 15.3 % de la variación del porcentaje de micorrización. Esto indica que quizá durante el mes de marzo, la relación entre el grado de daño en los árboles y el porcentaje de micorrización se torna más estrecha, probablemente debido a lo explicado anteriormente en lo referente al incremento de la demanda de carbohidratos por parte del nuevo flujo de crecimiento, el cual inicia en el mes de marzo.

Las pruebas de Tukey (Cuadros 2 y 4) indican que entre los diferentes grados de daño no se presentan diferencias significativas en cuanto al porcentaje de micorrización, aún cuando las tendencias son bastante claras en términos numéricos. La falta de diferencias significativas es probable que se deba a la amplia variación que presentó el grado de micorrización en el experimento (C.V =32.7 en la primera fecha de muestreo y 35.6 en la segunda). Un mecanismo para haber evitado este efecto de la variación hubiese sido el uso de un mayor tamaño de muestra; es decir, haber establecido una mayor cantidad de repeticiones por tratamiento; sin embargo, esto no fue considerado debido a la falta de antecedentes al respecto.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La proporción de hongos saprobios /hongos micorrízicos, en términos de cantidad de especies, se incrementó al aumentar el grado de daño de los árboles.
2. La diversidad de familias y especies de hongos micorrízicos fue superior en el rodal con mejor condición sanitaria que en las áreas más dañadas.
3. En ninguno de los sitios de muestreo se encontraron ejemplares de hongos parásitos.
4. Existe una clara, aunque no estadísticamente significativa, relación numérica de tipo inverso entre el grado de daño de los árboles y la cantidad de estructuras micorrízicas en sus raíces.
5. Dentro de la zona de goteo de los árboles del paraje El Cementerio (doce años de edad), la distancia del tronco hasta el punto de muestreo de raíces no tuvo influencia sobre la cantidad de estructuras micorrízicas.
6. Dada la considerable variación que en forma natural se presenta en cuanto al porcentaje de micorrización, en estudios futuros que incluyan esta

LITERATURA CITADA

- Agerer, R. 1985. Color atlas of ectomycorrhizae. Einhorn Schwabisch Gmünd. 18 pp.
- Alvarado R. D. 1989 Declinación y muerte del bosque de oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. *et* Cham) en el sur del Valle de México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 78 p.
- Alvarado R. D., M. L. de la Isla de B. and J. Galindo A. 1993. Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico City. *Environmental pollution*. 80:115-121.
- Arnolds, E. 1991a. Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 35:209-244.
- Arnolds E. 1991b. Mycologists and nature conservation. *In*: D. L. Hawksworth. Ed. *Frontiers in mycology*. Honorary and general lectures from the Fourth International Mycological Congress, Regensburg, 1990. pp. 243-264.
- Azcón, G. C. y Barea J. M. 1980 Micorrizas. *Investigación y ciencia*. 47:8-16. México, D.F.
- Bowen, G. D. 1979. Integrated and experimental approaches to the study of growth of organisms around roots. *In*: Schippers, B. and W. Gams (Editors). *Soil-Borne plant pathogens*. Academic Press. London. pp. 209-227.
- Bruck, R. J. 1988. Decline of red spruce and fraser fir. *In*: Krahl-Urban, B., H. E. Papke, K. Peters and Chr. Schimansky (Eds.) *Forest decline. Cause-effect research in the United States of North America and Federal Republic of Germany*. Jülich-Nuclear Research Center for the U.S. Environmental Protection Agency and German Ministry of Research and Technology. Corvallis, Oregon U.S.A. pp. 108-111.


- Candelario R. D. J. 1983. Inducción a la formación de ectomicorrizas con *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker y Couch en siete pinos mexicanos. Tesis profesional. Dpto. de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. 74 p.
- Carney, J. L., H. Garrett, and H. G. Hedrick. 1978. Influence of air pollutant gases on oxygen uptake of pine roots with selected ectomycorrhizae. *Phytopathology* 68:1160-1163.
- Castañeda G. M. I., M. A. López L y A. Velázquez M. 1995. Efecto de tratamientos de fertilización sobre algunos síntomas de declinación en una plantación de oyamel. *In*: II Congreso mexicano sobre recursos forestales. Desarrollo sustentable: redefiniendo el papel de los recursos forestales. Montecillo , Edo. de México. p. 52.
- Castellano, M. A. and R. Molina. 1989. Mycorrhizae. *In*: T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald y J. P. Barnett (Eds.) The container tree nursery manual. Vol. 5. United States Department of Agriculture. Washington, D.C. pp. 110-167.
- Chilvers, G. A. and L. W. Gust. 1982. The development of mycorrhizal populations on pot-grown seedlings of *Eucalyptus St. Johnii* R. T. Baker. *New phytol* 90: 679.
- Cibrián, T. D. 1989. The air pollution and the forest decline near México city. *Environmental monitoring and Assessment*. 10: 1-10
- Ciesla, W. W. 1989. Aerial photos for assessment of forest decline: A multinational overview. *Jour. For.* 87(2):37-41.
- Cowling, E., B. Krahl-Urban and Chr. Schimansky. 1988. Hypotheses to explain forest decline *In* : Krahl-Urban, B. H. E. Papke , K. Peters and Chr. Schimansky. Forest Decline: Cause-effect research in the United States of North America and Federal Republic of Germany. Assessment Group for Biology, Ecology and Energy of the Jülich Nuclear Research Center for the U. S. Environmental Protection Agency and Germany Ministry of Research and Technology. pp. 120-125.

- Danielson, R. M. 1991. Temporal changes and effects of amendments on the occurrence of sheathing (ecto-) mycorrhizas of conifers growing in oil sands tailings and coal spoil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 35:261-281.
- Daubenmire R. F. 1979 *Ecología Vegetal*. Ed. Limusa, México, D. F. 496 p.
- De la I. de Bauer M. L y T. Hernández T. 1986. Contaminación: una amenaza para la vegetación en México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 84 p.
- Foster, R. C. and G. C. Marks. 1966. The fine structure of mycorrhizas of *Pinus radiata* D. Don. *Austr. J. Biol. Sci.* 18:1027-1038.
- Frankland, J. C. and A. F. Harrison. 1985. Mycorrhizal infection of *Betula pendula* and *Acer Pseudoplatanus*: Relationship with seedling growth and soil factors. *New Phytol.* 101:133-151
- Gogala, N. 1989. Growth substances in root exudate of *Pinus sylvestris*-their influence on mycorrhizal fungi (effects of Jasmonic acid.). *Agric. Ecosystems Environment*. 28: 151-154
- González G. M., M. A. Musálem, G. Zárate de Lara y A. Velázquez M. 1991. Estudio de la germinación del oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham) en condiciones naturales en Zoquiapan, México. *Revista Chapingo*. Jul-Sep. 1991. 59-66 p.
- Guzmán, G. 1980. Identificación de los hongos comestibles, venenosos y alucinantes. Limusa, México , D.F. 452 p.
- Harley, J. L. and S. E. Smith, 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London. 483 p.
- Harvey, A. E., M. J. Larsen and M. F. Jurgensen. 1976. Distribution of ectomycorrhizae in a nature Douglas-fir/larch forest soil in western Montana. *For. Sci.* 22:393-398.

- Hennon, P. E., C. G. Shaw III and E. M. Hansen. 1992. Alaska yellow-cedar decline: Distribution, epidemiology, and etiology. *In*: P.D. Manion and D. Lachance (Eds.). Forest decline concepts. APS PRESS. St. Paul, Minnesota. pp. 108-122.
- Hernández T. T. y M. L. De la I. de Bauer. 1989. La supervivencia vegetal ante la contaminación atmosférica. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 79 p.
- Iglesias G., L. 1986. Efecto de fungicidas en la micorrización de pinos con *Physolitus tinctorius* Pers (Coker y Couch). Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 107 p.
- Jansen, A. E. 1990. How Netherlands mycologists started worrying about decline of fungi?. *In*: A. E. Jansen, and M. L. Rinowicz. (Eds.) Conservation of fungi and other cryptogams in Europe. Eódz Society of Sciences and Arts. Part I. pp. 17-23.
- Jansen, A. E. 1991. The mycorrhizal status of douglas fir in the Netherlands: its relation with stand age, regional factors, atmospheric pollutants and tree vitality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 35:191-208.
- Jáuregui, O. E. 1989. Aspectos metereológicos de la contaminación del aire en la ciudad de México. *In*: L.M. Guerra, Impactos económicos y ecológicos del cambio de combustibles en México. Friedrich Eber stiftung México. pp. 113-127.
- Jáuregui O. E. (inédito). Clima urbano y contaminación atmosférica en la Cd. de México. Conferencia dictada en el Programa Forestal del Colegio de Postgraduados en septiembre de 1994. 11 p.
- Kandler, O. 1992. The German forest decline situation: A complex disease or a complex of diseases. *In*: P. D. Manion, and D. Lachance (Eds.). Forest decline concepts. APS Press. St. Paul, Minnesota. pp. 59-84.
- Kimball, J. W. 1968. Biología. Addison- Wesley Eds., U.S.A. 896 p.

- Landis, T.D. 1993. A practical look at mycorrhizal fungi in nurseries-Part I.
In: Forest Nursery Notes. April 1993. USDA For. Serv. Pp. 9-12.
- Largent, D. L., D. Johnson and R. Watling. 1977. How to identify mushrooms to genus, II: Microscopic features. Mad River press, Eureka, California. 197 p.
- Lewis, D. H. 1973. Concepts in fungal nutrition and the origin of biotrophy.
Biol. Rev. 48:261-278.
- Lincoff, G. H. 1984. The Audubon Society Field Guide To North American Mushrooms. Alfred A. Knopf, New York. 937 p.
- López L. M. A. 1993. Evaluación nutrimental de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones D.F. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo Edo. de México. 108 p.
- López L. M. A., M. I. Castañeda G. y A. Velázquez M. 1995. Sistema de evaluación del grado de daño de árboles de oyamel en proceso de declinación. *In: II Congreso mexicano sobre recursos forestales. Desarrollo sustentable: redefiniendo el papel de los recursos forestales*. Montecillo, Edo. de México. p. 51.
- Manion, D. P. 1981. Tree disease concepts. Prentice-Hall Englewood Cliffs. New York. pp. 329-337.
- Manion D. P. y D. Lachance. 1992. Forest decline concepts. The American Phytopathological Society. St. Paul Minnesota. U.S.A pp. 112-113.
- Manzanilla H. 1974. Investigaciones epidemétricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 165 p.
- Marks, G. C. 1971. Some structural factors in roots related to ectomycorrhiza formation and tree nutrition. *In: R. Boardman (Ed.). The Australian Forest-Tree Nutrition Conference. 1971. Contributed papers*. Forestry and Timber Bureau, Canberra.

- Marks, G. C. 1991. Causal morphology and evolution of mycorrhizas. Department of Conservation Forests and Lands. *Agric. Ecosystem Environment*. 35:89-104.
- Marks, G. C. and T. T. Kozlowski (eds). 1973. Ectomycorrhizae: their ecology and physiology. Academic Press. New York. 444 p.
- Marks, G. C. and B. C. Foster. 1973. Structure, morphogenesis and ultrastructure of ectomycorrhiza. *In*: Marks, G. C. and T. T. Kozlowski (Editors). Ectomycorrhiza: their ecology and physiology. No. 7. Academic Press, New York. pp. 1-91.
- Marx, D. H. 1972. *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae: their ecology and physiology. Academic Press. London. 444 p.
- Marshall, J. D. y D. A. Perry. 1987. Basal and maintenance respiration of mycorrhizal and nonmycorrhizal root systems of conifers. *Can J. F. Res.* 17: 872-877
- Meyer, F. H. 1973. Distribution of ectomycorrhizae in native and man-made forests. *In*: Marks G. C. y T. T. Koslowski. (Eds.) Ectomycorrhizae: their ecology and physiology. Academic press. London, pp 79-105.
- Meyer, J., B. U. Schneider., K. Werk., R. Oren and E.-D. Schulze. 1988. Performance of two *Picea abies* (L.) Karst. stands at different stages of decline. *Oecologia* 77(1):7-13.
- Nicholson, T. H. 1975. Evolution of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *In*: F. E. Sanders, B. Mosse and P. B. Tinker (Eds.) Endomycorrhizas. Academic Press. New York. pp. 25-34.
- Nylund, J. E. 1981. The ectomycorrhizal infection zone and its relation to acid polysaccharides of cortical cell walls. *New Phytol.* 106:505-516.
- O'Neil, E. G., R. J. Luxmore and R. J. Norby. 1987. Increases in mycorrhizal colonization and seedling growth in *Pinus echinata* and *Quercus alba* in an enriched CO₂ atmosphere. *Can J. For, Res.* 17:878-883.

- Oren, R., K. S. Werk., J. Meyer and E. D. Schulze. 1989. Potentials and Limitations of field studies on Forest Decline Associated with Anthropogenic Pollution. *Ecological studies* 77: 23- 36.
- Paz E. D. 1989. Sistema de calificación de riesgo para estimar la muerte de oyamel (*Abies religiosa* Schl. et Cham.) en el parque Desierto de los Leones, D.F. Tesis Profesional, División de Ciencias Forestales, UACH, Chapingo, Méx. 93 p.
- Plascencia E., F.O. 1995. Efecto de la micorrización sobre la respuesta a la sequía en plántulas de Eucalipto. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 110p.
- Pérez-Moreno J. y R. Ferrara-Cerrato. 1993. Los hongos ectomicorrízicos de México, un importante componente de la Biodiversidad de los Ecosistemas Forestales. *In*: I Simposio Internacional y II Reunión Nacional. sobre Agricultura Sostenible. Colegio de Postgraduados. pp. 247-252.
- Perry, D. A. 1994. Forest ecosystems. The Johns Hopkins University Press. Baltimore  London. 649 p.
- Perry, D. A., T. Bell and M. A. Amaranthus. 1992. Mycorrhizal fungi in mixed-species forests and other tales of positive feedback, redundancy and stability. *In*: Cannel, M. G. R., D. C. Malcolm and P. A. Robertson. The ecology of mixed-species stands on trees. Special publication No. 11 of the British Ecological Society. Blackwell, London. pp. 151-179.
- Pritchett, W. L. 1986. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Traducción del inglés por: José Hurtado Vega. Ed. Limusa. México. 634 p.
- Read, D. J. 1993. Mycorrhiza in plant communities. *Adv. Plant Pathol.* 9: 1-29
- Rehfuess, K. E. 1988. Damage to Norway spruce. Research site: Luchsplatzi. *In*: Krahl-Urban, B., H.E. Papke K. Peters y Chr. Schimansky

- (Eds.). Cause-effect research in the United States of America and Federal Republic of Germany: Forest Decline. Jülich Nuclear Research Center for the US Environmental Protection Agency and German ministry of Research and Technology Corvallis, Oregon. pp. 72-75 y 84-87.
- Sierra P. A., D. A. Rodríguez T., V. O. Bonilla A., V. Flores R., M. A. González R., C. Olguín C., H. Acosta D., M. P. Ruíz H., R. Valladares M. y F. Gómez-Santamaría. 1980. Estructura y dinámica del bosque de oyamel afectado por la declinación forestal en el Desierto de los Leones. COCODER, D. F. 36 p.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. Traducción del inglés por: Carlos Luis Raigorodsky Z. AGT. Editor. México, D.F. 690 p.
- Suárez B. G. y R. Pedrero N. 1989. Consideraciones para usar alcohol de caña como aditivo oxigenado en combustibles automotrices. *In*: Guerra L. M. Impactos económicos y ecológicos del cambio de combustibles en México, D.F. pp. 11-86.
- Taylor, T. N., W. Remy, H. Hass and H. Kerp. 1995 Fossil arbuscular mycorrhizae from the Early Devonian. *Mycologia* 87:560-573.
- Trappe, J. M. 1962 . Fungus associates of ectotrophic mycorrhizae. *Bot. Rev.* 28: 538 - 606.
- Theodorou, C. and G. D. Bowen. 1987. Germination of basidiospores of mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Pinus radiata* D. Don. *New Phytol.* 106:217-223.
- Vázquez S. J. 1987. El saneamiento y la limpia forestales en el Desierto de los Leones. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural, Departamento del Distrito Federal. México. 24 p.
- Vogt, K. A., D. A. Publicover and D. J. Vogt. 1991. A critique of the role of ectomycorrhizas in forest ecology. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 35:171-190.

- Waring, R. H. and W. H. Schlesinger. 1985. Forest Ecosystems. Concepts and management. Academic Press Inc. pp. 7-37.
- Wilkins, D. A. 1991. The influence of sheathing (ecto-)mycorrhizas of trees on the uptake and toxicity of metals. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 35: 245-260.