

**AGENTES ASOCIADOS Y SU PAPEL EN LA DECLINACIÓN Y MUERTE DE
ENCINOS (*QUERCUS, FAGACEAE*) EN EL CENTRO-OESTE DE MÉXICO**

D. Alvarado-Rosales¹; L. de L. Saavedra-Romero¹; A. Almaraz-Sánchez¹; B. Tlapal-Bolaños²; O. Trejo-Ramírez³; J.M. Davidson⁴; J.T. Kliejunas⁴; S. Oak⁴; J.G. O'Brien⁴; F. Orozco-Torres⁵ y D. Quiroz-Reygadas⁶

¹*Colegio de Posgraduados, Montecillo, México*

²*Universidad Autónoma Chapingo, México*

³*Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Mexico, DF*

⁴*USDA Forest Service, USA*

⁵*SEMARNAT, Colima, Col. y*

⁶*SEMARNAT, Guadalajara, Jal. E-mail: dionicio@colpos.mx*

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo identificar y determinar el papel tanto de los factores bióticos como de los abióticos asociados a la declinación y muerte del encino en cinco estados de la República mexicana: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco y Nayarit. Para esto, se establecieron dos sitios permanentes de 0.1 ha en cada una de las áreas más representativas (con arbolado muerto, con muerte regresiva y cancros con exudado) de los estados mencionados (10 sitios en total), los cuales fueron muestreados durante 2003, 2004 y 2005. Se hicieron observaciones y colectas en campo de follaje, ramas, tronco y suelo, para identificar a los diferentes agentes de daño en cada sitio. Se realizaron aislamientos *in situ* de cancros con exudado en medios específicos. Los agentes bióticos más comunes fueron: *Phytophthora cinnamomi*, *Pythium* sp., *Hypoxyylon antropunctatum*, *Ganoderma* sp., *Armillaria* sp., *Apiognomonia quercina*, el muérdago enano (*Phoradendron villosum*), barrenaadores, defoliadores y sobrepastoreo.

Entre los abióticos causantes de estrés y muerte, destacaron los daños ocasionados por las bajas temperaturas-falta de agua y fuego. Con base en su incidencia, *P. cinnamomi*, *H. antropunctatum* y las bajas temperaturas-falta de agua son considerados los factores de mayor importancia en la declinación y muerte del encino. *P. cinnamomi* fue identificado en cuatro de los diez sitios, particularmente de Colima y Jalisco; *H. antropunctatum* fué detectado en seis de diez, principalmente en los rodales de Nayarit y Aguascalientes. Los cancros de troncos (rajaduras), debido a las bajas temperaturas-falta de agua, se observaron en cuatro sitios, afectando al 52% de los árboles en Aguascalientes y 24% en Guanajuato. Se concluye que *P. cinnamomi* está ocasionando la muerte de algunas especies de encino, *H. antropunctatum* está coloni-zando árboles debilitados y las bajas temperaturas-falta de agua están participando como agentes causantes de estrés y muerte en algunos casos.

Palabras clave: *Quercus* spp., encino, declinación, *P. cinnamomi*, *H. antropunctatum*, bajas temperaturas-falta de agua.

ABSTRACT

This study was carried out to identify biotic and abiotic agents and to determine their role in oak decline and death in five states of the Mexican Republic: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco and Nayarit. Two 0.1-ha permanent plots were established at the most representative forested areas with tree death, dieback and bleeding cankers in these states and sampled during 2003, 2004 and 2005 (10 plots in total). Field observations were made, and foliage, branch, trunk and soil samples were collected to identify the associated agents in each plot. Isolates from bleeding cankers were made *in situ*. The most commonly found biotic agents were: *Phytophthora cinnamomi*, *Pythium* sp., *Hypoxyylon antropunctatum*, *Ganoderma* spp., *Armillaria* sp., *Apiognomonia quercina*, the dwarf mistletoe (*Phoradendron villosum*), bark borers, insect defoliators and livestock overgrazing. Among the abiotic stress factors commonly found were the effects due to low temperature-lack of water and fire. Based on their incidence, *P. cinnamomi*, *H. antropunctatum* and low temperature-lack of water were considered the most important contributors to the decline and death of the oaks. *P. cinnamomi* was identified in four of the 10 plots, mainly in Colima and Jalisco; *H. antropunctatum* was detected in six plots, particularly in Nayarit and Aguascalientes. Stem cankers (cracks) due to low temperature-lack of water were observed in four plots, damaging 52% of

the trees in Aguascalientes and 24% in Guanajuato. It was concluded that *P. cinnamomi* is killing some oak species, *H. antropunctatum* is colonizing weakened trees, and low temperature-lack of water is causing stress and in some cases death in oaks.

Key words: *Quercus* spp., oak, decline, *P. cinnamomi*, *H. antropunctatum*, low temperature-lack of water.

INTRODUCCIÓN

El bosque de encino forma parte importante de la cubierta vegetal de las áreas de clima templado y semihúmedo de la República mexicana. Para el género *Quercus* existe un registro aproximado de 140 especies, de las cuales 46% pertenecen al subgénero *Lepidobalanus* (encinos blancos), 51% a *Erytrobalanus* (encinos rojos) y 3% a *Protobalanus*. A pesar de que los encinos están presentes en casi todas las entidades federativas de nuestro país, su distribución no se conoce de manera precisa (Zavala, 1998, 2002).

Los encinares desempeñan un importante papel en la estructura de los bosques templados, pero también tienen un alto valor comercial por la calidad de su madera y por la serie de productos (carbón, corcho, taninos y colorantes) y beneficios que aportan como plantas ornamentales y para refugio de la vida silvestre (Rzedowski, 1981; Nixon, 1993). Aunado a ello, su contribución en la recarga de mantos acuíferos es de vital importancia en muchas regiones del país. Desafortunadamente, en años recientes, en varios estados de la República mexicana se comenzó a observar una declinación y muerte de estos bosques de

etiología desconocida, por lo que algunos de estos beneficios se encuentran en peligro.

En el estado de Colima, hace más de 15 años se identificó, mediante aislamientos *in situ* y a través de pruebas de patogenicidad, a *Phytophthora cinnamomi* Rands., (patógeno de la raíz) como causa primaria de la muerte de especies nativas de encino en el ejido conocido como “El Arrayanal”, poblado muy cercano a la ciudad de Colima, México (Tainter *et al.* 2000). El centro de infección que en ese entonces abarcaba unas 300 ha de encinos mezclados (blancos y rojos), actualmente se ha incrementado a 800 ha. Los efectos que la enfermedad ha ocasionado son, principalmente, la reducción de las escorrentías, numerosos manchones de arbolado muerto, y posiblemente en la fauna.

En Manantlán, Jalisco, no se tienen antecedentes sobre un fenómeno similar, sin embargo, su cercanía a El Arrayanal, Col., aproximadamente 60 km, sugería que *P. cinnamomi* podría estar involucrado.

En “Sierra Fría” de Aguascalientes, la muerte de los encinos, a la cual los ejidatarios se refieren como “la secadura”, inició desde los años 60 pero se agudizó durante la década de los 90.

En “Sierra de Lobos”, Guanajuato, la problemática ha sido más reciente, se reporta que la muerte del encino se comenzó a observar en los años 1997-1998, periodo en el cual se presentaron fuertes heladas y sequías.

En Compostela, Nayarit, la muerte del encino inició en la década de los 80, pero fue

reportada hasta el año 2000, aunado a esto, se han venido presentando constantes sequías e incendios en diversas zonas. Considerando la importancia del problema, en el año 2003 se inició este estudio con el objetivo de identificar los agentes bióticos y abióticos causantes de estrés y muerte asociados con la declinación y muerte del encino en “Sierra Fría” de Aguascalientes; “El Arrayanal”, Colima; “Sierra de Lobos”, Guanajuato; Manantlán, Jalisco, y Compostela, Nayarit.

Los efectos negativos de esta problemática, con excepción de Colima, no se han documentado, sin embargo, se sospecha que son similares.

METODOLOGÍA

Con el fin de identificar los factores bióticos y abióticos asociados a la declinación y muerte del encino, dos sitios de muestreo permanente de 0.1 ha se ubicaron dentro de las áreas más representativas de cada estado, es decir: *a)* sitios con alta mortalidad de arbolado; *b)* árboles con muerte regresiva y *c)* árboles con cancros y exudado en el tronco. Las áreas de estudio fueron “Sierra Fría” de Aguascalientes; “El Arrayanal”, Colima; “Sierra de Lobos”, Guanajuato; Manantlán, Jalisco, y Compostela, Nayarit. Las características de cada uno de los sitios se describen en la tabla 1.

A) Áreas de estudio

Aguascalientes

Los sitios se ubicaron dentro del área natural protegida sujeta a conservación conocida como “Sierra Fría”. Dicha zona,

Tabla 1. Localización de los sitios permanentes de monitoreo.

Sitio	Clave	Estado	Ubicación	Altitud (m.s.n.m.)	Coordenadas
1. Mesa del Águila	MA	Ags.	La Sierra Fría	2 644	22° 12' 34.2" y 12° 36' 4.5"
2. Rancho Piletas	RP			2 481	102° 36' 14.5" y 22° 12' 15.1"
3. Los Naranjos	LN			998	19° 15' 29.3" y 104° 06' 21.8"
4. Arrayanal	A	Col.	El Arrayanal	889	19° 16' 30.7" y 104° 06' 4.9"
5. Pozo Redondo	PR	Gto.	Sierra de Lobos	2 590	102° 36' 28.4" y 21° 19' 13.6"
6. Vergel de la Sierra	VS			2 500	101° 38' 28" y 21° 22' 30.5"
7. Loma Colorada	LC	Jal.	Reserva de Manantlán	1 008	19° 28' 10.5" y 104° 09' 39.1"
8. El Mango	EM			950	19° 28' 7.9" y 104° 09' 7.3"
9. El Ranchito	ER			1 300	21° 16' 47" y 104° 51' 00"
10. Miravalles	MV	Nay.	Compostela	1 124	21° 18' 13" y 104° 52' 42"

se ubica en el margen occidental del estado y cubre una superficie de 112 090 ha, con coordenadas 22°00'-22°15'N y 102°30'-102°40' W, bordeada por fallas geológicas (Minnich *et al.* 1993). El área forma parte de los municipios de San José de Gracia, Calvillo, Rincón de Romos, Jesús María y Pabellón de Arteaga (Hesselbach-Moreno, 1998). <http://www.aguascalientes.gob.mx/english/Tourism/ecotourism/sierrafrria.htm>

En el área, los bosques templados cubren la mitad del área protegida. El 97% se encuentra cubierto por bosques de encino o asociaciones de encinos con otras especies. Los encinares se distribuyen sobre mesetas, laderas y cañadas, en manchones puros, o bien asociados a pinos, generalmente por arriba de los 2 450 m.s.n.m. y a táscate (*Juniperus deppeana*, *J. durangensis* y *J. martinezii*) por debajo de esta cota. Los encinos se encuentran, prácticamente, en todas las condiciones de suelo, clima y disturbio que se dan en la zona. Las especies de este bosque, son: *Quercus resinosa* (a menor altitud), *Q. potosina*, *Q. eduardii*, *Q. laeta*, *Q. grisea*, *Q. sideroxyla* y *Q. rugosa* (a mayor altitud). En menor abundancia se encuentra *Q. chihuahuensis*, *Q. aristata*, *Q. coccobifolia* y *Q. microphylla*, localizados preferentemente en laderas pedregosas, y en los límites con el matorral subtropical se observa *Q. uxorius*, *Q. gentryi* y *Q. laurina* que también son escasos (Hesselbach-Moreno, 1998).

El chaparral, formado por manzanita (*Arctostaphylos pungens*), es una comunidad normalmente densa muy generalizada en el área (12 821 ha), y algunas veces asociado con encinos arbustivos de las especies *Q. microphylla*, *Q. laeta* y *Q.*

potosina (Hesselbach-Moreno, 1998). Es importante destacar que *A. pungens* (Ericaceae) es un hospedante susceptible de *Phytophthora cinnamomi* (Edwin y Ribeiro, 1998) y de acuerdo con algunas observaciones, la manzanita está desplazando al encino en algunas áreas.

En “Sierra Fría”, se presentan tres tipos de climas: *a) C(wo)* templado, con temperatura media anual entre 12 y 18°C, precipitación anual de 200 a 1 800 mm; *b) BS1kw* semiárido, templado con lluvias de verano del 5% al 10.2% anual y *c) BS1hw* semiárido, templado con temperatura media anual mayor de 18°C. En invierno es posible llegar a -5°C a la intemperie. Cada tipo de clima representa al 50, 45 y 5% del área, respectivamente (http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_066.pdf).

La unidad de suelo dominante es Planosol éutrico PLE (FAO-UNESCO, 1989), con un horizonte A 100% ócrico, con un contenido significativo de arcilla, textura francoarenosa o muy fina (http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_066.pdf).

Colima

El ejido “El Arrayanal” se encuentra ubicado en el municipio de Minatitlán, en la porción noroeste del estado de Colima, a una distancia aproximada de 20 km en línea recta al sur de Minatitlán y a 45 km al oeste de la ciudad de Colima. El tipo de vegetación representativo del área es el encinar caducifolio y subperenifolio, mezclado con elementos de bosque mesófilo. Se pueden observar manchones de *Pinus oocarpa* en rodales bien delimitados (Moreno *et al.* 2001).

El área de estudio se clasifica dentro de un clima A(w0) y BS1 (h') cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad y semiseco muy cálido. La precipitación media anual es de 1 520 mm para el periodo comprendido entre 1988-1997, registrándose la mayor precipitación de junio a octubre. La temperatura promedio anual de 1965 a 1997 fue de 23°C.

Existe un predominio de regosoles éutrico y dístrico, aunque en pequeñas áreas se pueden encontrar cambisoles crómico y dístrico. Al margen de los arroyos y ríos se presentan suelos de tipo Feozem háplico y Fluvisol éutrico (Moreno *et al.* 2001).

Guanajuato

“Sierra de Lobos” es una área natural protegida que abarca tres municipios: León, Ocampo y San Felipe Torres Mochas en una superficie aproximada de 104 068 ha (<http://www.guanajuato.gob.mx/INEGI/ioeg/anpslobos.htm>).

Para Sierra de Lobos se reportan al menos 24 familias de plantas, representadas por nueve unidades vegetacionales, entre las que destacan los bosques de encino, con 49 especies; bosques de pino-encino, con 43 especies y matorral subinerme con más de 40 (INE, 1998). La vegetación en la zona, cumple una importante función con la recarga de los cuerpos de agua superficiales y acuíferos subterráneos de la región.

El clima es templado con lluvias en verano, la precipitación pluvial anual varía de los 600 a los 800 mm y la temperatura promedio anual es de 17°C, oscilando desde los 2.7°C hasta los 31 (INE, 1998).

Los suelos de cada uno de los municipios que conforman Sierra de Lobos varían, aunque existe un predominio de Xerosol háplico con Litosol con textura media. Además, el uso de suelo es diverso, existen zonas forestales, pecuarias, agrícolas y recreativas (INE, 1998).

Jalisco

La Sierra de Manantlán comprende una sección de la Sierra Madre del Sur. Se ubica entre la ciudad de Autlán al norte y la zona costera al sur. Su extensión es de 139 577 ha y ocupa terrenos de los municipios de Autlán, Casimiro Castillo, Cuautitlán, Tolimán y Tuxcacuesco en Jalisco; y en Colima a los municipios de Comala y Minatitlán (INE, 2000). La Sierra de Manantlán es un área cuya prioridad es el estudio y conservación de plantas y animales (SEMARNAT y UACH, 1999). El relieve es accidentado con un rango altitudinal de 400 a 2 860 m.s.n.m. (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

La silvicultura es una actividad importante en la región y ocupa una gran superficie en la zona. Su condición transicional propicia una variedad de condiciones ambientales que se traduce en una diversidad de ecosistemas y especies, como es la concurrencia de más de dos mil plantas vasculares, 24 de ellas endémicas del occidente de México (SEMARNAT y UACH, 1999). En Jalisco se han registrado 42 especies de encino, de este número, 33 se encuentran en la Sierra de Manantlán, siendo el género que cuenta con el mayor número de especies forestales del área (Vázquez-García *et al.* 1995).

En los sitios ubicados en la Sierra de Manantlán, Jal., se presentan dos tipos

de macrocomunidades, el encinar caducifolio y el perennifolio. En el primero predomina un clima cálido o templado con lluvias en verano, terrenos planos, suelos someros y alto porcentaje de rocosidad, pendientes ligeras o declives de litosoles y cambisoles, bien drenados. En el encinar perennifolio, por su parte, el clima es húmedo con suelos profundos, abundante materia orgánica y buen drenaje (Guzmán, 1985; citado por Zavala-Chávez, 2002).

De acuerdo a Gómez-Pompa y Dirzo (1995) los grupos climáticos que se presentan en Manantlán, yendo de abajo hacia arriba, son: el cálido-subhúmedo (Aw), semicálido A(C) w o (A) Cw y el templado subhúmedo Cw, según la clasificación de Koppen modificado por García.

Nayarit

El municipio de Compostela se localiza en la costa sur del estado, limita al norte con San Blas y Jalisco; al sur con el municipio de Bahía de Banderas y el estado de Jalisco; al este con los municipios de Santa María del Oro, San Pedro Lagunillas y el estado de Jalisco, y al oeste con el Océano Pacífico. Se ubica dentro de las coordenadas geográficas extremas entre los paralelos 21°22' a 20°52' de latitud norte, y los meridianos 104°49' a 105°22' de longitud oeste.

Su clima es semicálido, con lluvias de julio a septiembre, los meses calurosos son abril y mayo. La precipitación media anual alcanza los 968.5 mm. La temperatura media anual es de 22.9°C. La entidad es impactada por fenómenos meteorológicos, como son: heladas y granizadas. Las primeras se producen en invierno y su frecuencia está relacionada principalmente con los tipos de

clima y relieve, de tal forma que su distribución sigue un patrón acorde con esos factores; mientras que las granizadas ocurren en verano y no guardan, en el estado, una correlación evidente con los climas (<http://www.inegi.gob.mx>).

La vegetación es abundante, con plantas semitropicales hacia la costa y la parte boscosa de la sierra. La mayor parte de las tierras son de uso agrícola, forestal y minero. Compostela cuenta con una superficie de 184 800 hectáreas, de las cuales el 43.3% son de uso agrícola y el 6.9% son de uso forestal. La tenencia de la tierra es preponderantemente ejidal. <http://www.compostelamunicipios.com/Compostela/compostela1.htm>

B) Fase de campo

Para la identificación de los agentes bióticos y abióticos relacionados con la reducción del vigor y muerte del arbolado, en cada sitio de monitoreo y alrededores, se hicieron observaciones durante cada fecha de muestreo. Se procedió a la colecta de material vegetal (trozos de corteza y follaje) y suelo, y se realizaron aislamientos *in situ*, en medio PAR (pimaricina-ampicilina-rifampicina) y PARPH (pimaricina-ampicilina-rifampicina-PCNB e hymexazol) de tejidos procedentes de árboles con síntomas similares a los que causa el patógeno *Phytophthora cinnamomi*, esto es, presencia de canceros con exudado oscuro (Erwin y Ribeiro, 1996). Con la información obtenida, se elaboró un cuadro donde se puede observar presencia o ausencia de determinado agente.

Se tomaron cinco muestras de suelo de 1 kg por sitio, a partir de encinos que

presentaban cancros con exudado oscuro y síntomas de declinación. Cada muestra se conformó tomando tres submuestras alrededor del tronco de cada árbol a una profundidad de 5 a 15 cm. Se colectaron un total de 163 muestras de suelo a lo largo de los tres muestreos anuales, en otoño del 2003, 2004 y 2005, así como en primavera del 2004. Debido a que el nanche (*Byrsinima crassifolia*) es una especie común en los encinares de Colima y Jalisco, además de ser un hospedante susceptible a *P. cinnamomi*, también se tomaron y analizaron muestras de suelo de esta especie.

Finalmente, una vez identificados los factores asociados con ayuda de la literatura existente y experiencia del grupo, se determinó el papel de cada uno de éstos. Además se incluyeron aspectos de hospedantes y distribución, importancia y diagnosis.

C) Fase de laboratorio

Purificación de los aislamientos de tronco.

Una vez que crecieron colonias de hongos en las siembras *in situ*, se realizaron transferencias a PDA (papa-dextrosa-agar) con el fin de purificar y observar el crecimiento típico del patógeno *P. cinnamomi*.

Procesamiento de las muestras de suelo.

Se utilizó el método de trampío con discos de *Camellia japonica* y *Rhododendron indicum* (L.) Sweet (azalea) para aislar a *Phytophthora*. Los discos embebidos en una suspensión de suelo-agua (2:3.5) se sembraron en medio PAR y PARPH, 24 y 48 horas después.

Identificación de otros agentes. Las muestras de follaje y corteza colectadas en campo, fueron analizadas para identificar cuerpos fructíferos de algún hongo; para esto, se realizaron cortes y se utilizaron claves específicas. Para la identificación de basidiocarpos y plantas parásitas, también se utilizaron claves especiales.

D) Análisis de la información

La información no se trató estadísticamente. Los resultados presentados son un reflejo de los datos recopilados en campo y los obtenidos en laboratorio durante los tres muestreos de otoño y primavera del periodo 2003 a 2005. Los porcentajes de áboles dañados por determinado factor, se obtuvieron contando el número de individuos afectados en 0.1 hectáreas.

RESULTADOS

Los principales agentes de daño que se encontraron asociados al arbolado de encino durante el periodo de estudio (2003 a 2005) se ilustran en la tabla 2. Se puede observar la presencia de nueve agentes de tipo biótico y cinco abióticos. A continuación se incluye información referente a hospedantes y distribución, importancia y diagnosis de cada uno de los agentes asociados a los sitios de estudio.

I. Agentes bióticos

Agente causal. *Phytophthora cinnamomi* Rands.

Hospedantes y distribución. *P. cinnamomi* se aisló de tronco y suelo de la especie *Quercus elliptica* Neé (encino rojo) en Colima y por primera vez de *Q. salicifolia* x *acutifolia* (híbrido que presenta una

Tabla 2. Principales agentes bióticos y abióticos asociados al bosque de encino en los sitios de estudio.

ESTADO	SITIO	BIÓTICOS										ABIÓTICOS
		<i>Phytophthora</i> <i>cinnamomi</i>	<i>Hypoxylon</i> <i>anthracicatum</i>	<i>Phoradendron</i> <i>villosum</i>	<i>Apiochomonia</i>	<i>Defoliadores</i>	<i>Pasatoreo</i>	<i>Incendios</i>	<i>Heledas</i>	<i>Seqüia</i>	<i>Tala</i>	
Aguascalientes	Mesa del Águila	*										
	Rancho Piletas	*				*	*	*	*	*		
Colima	El Arrayanal	*	*									
	Los Naranjos	*		*								
Guanajuato	Vergel de la Sierra	*										
	Pozo Redondo	*										
Jalisco	EL Mango	*										
	Loma Colorada	*	*									*
Nayarit	EL Ranchito	*	*					*	*			
	Miravalle	*										

morfología foliar entre las dos especies; identificación realizada por el doctor Fernando Zavala Chávez, Universidad Autónoma Chapingo) en Manantlán, Jal. En el mismo sitio se aisló de suelo de *Byrsinima crassifolia* (nanche). Otro oomycete, frecuentemente encontrado fue el género *Pythium* en los sitios de Aguascalientes y Guanajuato y en uno de Nayarit.

Importancia. *P. cinnamomi* es un patógeno del suelo causante de la pudrición de la raíz en un amplio rango de hospedantes pertenecientes a las familias Pinaceae, Fagaceae (*Quercus* sp.); Cupressaceae y Ericaceae (*Erica*, *Gaulteria*, *Pieris*, *Rhododendron*, *Arctostaphylos*), incluyendo especies nativas y varias ornamentales de gran importancia económica (Zentmyer, 1980; Leary *et al.* 1982; Edwin *et al.* 1983; Benson y Campbell, 1985; Erwin y Ribeiro, 1996) y es el principal responsable de la muerte de bosques de encino en Colima (Tainter *et al.* 2000), y ahora también de Manantlán, Jalisco.

Diagnosis. La infección inicial en los encinos se manifiesta con un marchitamiento, amarillamiento y retención de follaje seco. Estos síntomas son el reflejo del ataque del patógeno sobre las pequeñas raíces absorbentes no lignificadas causando pudrición y, en muchos casos, también invade raíces grandes o el fuste de su hospedante; posteriormente, se desarrolla en la corteza interna y en la región cambial, derivando nutrientes de los tejidos recién muertos y de tejidos vivos, para finalmente reproducirse en el material muerto (Sinclair, 1987; Muñoz-López *et al.* 2003). Una planta con raíces dañadas por la infección del patógeno, no tiene la capacidad suficiente para absorber el agua del suelo y consecuentemente puede morir. En árboles de encino con la enfermedad, un

síntoma típico es la presencia de cancros con un exudado oscuro, principalmente en la base del tronco (figura 1).

Agente causal. *Hypoxyton antropunctatum*. (Schw. Ex Fr.) Cke.

Hospedantes y distribución. Las especies afectadas en las diferentes áreas fueron *Q. magnoliifolia* Neé, *Q. rugosa* Neé, *Q. potosina* Trel., y *Q. greggii* (A. DC.) Trel., (encinos blancos) y *Q. elliptica* Neé, *Q. eduardii* Trel., *Q. salicifolia* Neé y *Q. sideroxyla* Hump. & Bonpl. (encinos rojos) (figura 2). Este hongo se encontró en Jalisco (Loma Colorada), Aguascalientes (Rancho Piletas), Nayarit (Miravalles y El Ranchito), y en Colima (Arrayanal y Los Naranjos).

Importancia. Es responsable del deterioro de la madera y corteza de varias especies forestales, especialmente encinos rojos. El género *Hypoxyton* presenta una amplia gama de comportamientos. Algunos son oportunistas como *H. antropunctatum* que se desarrolla sobre árboles estresados por sequía (Lewis, 1981; Bassett *et al.* 1982) o suprimidos por competencia (Tainter y Baker, 1996) y se asume que es un posible factor de decline en encino (Starkey *et al.* 1989). Este hongo invade troncos, ramillas, corteza interna y albura, formando extensos estromas en la zona del cambium (figura 2B). Le favorecen los climas templados, pero se desarrolla rápidamente a temperaturas de 30°C. En este estudio se le encontró en una amplia variedad de climas, desde los templados y semiáridos con temperaturas de -5 a 18°C (Aguascalientes); en los cálidos húmedos con temperaturas de 23°C (Colima y Jalisco) y un semicálido (Nayarit).

Diagnosis. *H. antropunctatum* invade troncos y ramas de árboles debilitados, corteza deteriorada y albura, y forma un extensivo estroma en la región cambial. Durante la estación de crecimiento aparece

un estroma conidial y posteriormente se desarrollan los peritecios. La presión del estroma y la descomposición de la corteza promueven que ésta se abra exponiendo el estroma del hongo, el cual puede aparecer como polvo café, plateado o blanco, dependiendo de su estado de desarrollo y de su fase reproductiva (asexual o sexual) (Sinclair *et al.* 1987; <http://www.800oakwilt.com/artdec1/>). Las hojas de árboles infectados con *Hypoxylon* se tornan amarillentas y marchitas; la rama entera muere, pero estos síntomas son un indicador general de que el árbol se encuentra estresado y no necesariamente por el hongo.

Agente causal. *Ganoderma* spp.

Hospedantes y distribución. En el sitio conocido como Loma Colorada, se identificó a *Ganoderma orbiformum* creciendo en el tronco de varios encinos, así como otros hongos que pueden ser indicadores de disturbio, entre éstos: *Hexagonia ignoides*, *Trametes hirsuta*, *Picnoporus sanguineus*, *Scleroderma* sp. (Información proporcionada por la Biól. Teresa Cuevas, CONAFOR, Jalisco). En Guanajuato (Pozo Redondo y Vergel de la Sierra) se encontró a *G. curtisii* (figura 3AB). En Colima se encontró otra especie no identificada.

Importancia. Las especies de esta familia son pudridores blancos y frecuentemente capaces de delignificar selectivamente (Blanchette, 1984, Schwarze *et al.* 1995). El género *Ganoderma* y sus especies se encuentran comúnmente en regiones templadas causando pudrición de raíz y de duramen, las cuales llegan a ser patogénicas bajo ciertas condiciones. Algunas especies de importancia son *G. lucidum* (Curtis:Fr) P. Karst. (sinónimo *G. orbiformum*) (figura 3C) y *G. applanatum* (Pers.) Pat.

Diagnosis. La aparición de los basidio-carpos de *Ganoderma* es el primer signo externo de la enfermedad. Los árboles afectados eventualmente pierden vigor y se reduce el tamaño de sus hojas, algunas ramas mueren o se tornan amarillentas (Sinclair, 1987).

Agente causal. *Armillaria* spp. (Fr.).

Hospedantes y distribución. El género *Armillaria* comprende parásitos facultativos presentes en más de 600 especies de plantas en todo el mundo. Muchos bosques de coníferas y latifoliadas, así como arbustos y árboles ornamentales, son susceptibles a la enfermedad. El hongo se encontró en el sitio Los Naranjos, Colima.

Importancia. *Armillaria* ha sido detectada de manera aislada en plantaciones, bosques naturales y huertos frutícolas. Por el momento no se han detectado pérdidas económicas considerables en bosques.

Diagnosis. El signo más frecuente de la infección por *Armillaria* son los cuerpos fructíferos. El cuerpo fructífero de *Armillaria* aparece en la época de lluvias (julio-septiembre) pero no siempre. *Armillaria* produce un hongo comestible de color miel, solos o en grupos, sobre hospedantes vivos y muertos o en el suelo cerca de madera enterrada.

En algunos lugares sólo es posible encontrar los abanicos miceliares y rizomorfos (figura 4B). Una vez que el hongo infecta, en el caso de coníferas, es posible observar un cáncro y la exudación abundante de resina mezclada con suelo en el punto de infección. Enseguida el hongo se mueve hacia el cuello de la raíz y lo estrangula. Si se desprende una porción de la corteza, se puede observar una especie de abanico blanco (hifas del hongo) en el

cambium. Antes de morir, el follaje de los árboles infectados se torna clorótico y ralo.

Agente causal. *Apiognomonia quercina* (Kleb) Höhn.

Hospedantes y distribución. La antracnosis es una forma conveniente de agrupar un gran número de enfermedades foliares (áreas muertas en los márgenes). Éstas generalmente son causadas por hongos de Ascomycota, en especial del género *Apignomonia* (*Gnomonia*). Para el caso de encino se reporta a *A. quercina*. Este síntoma fue observado en *Q. magnoliifolia* en el sitio El Ranchito, Nayarit (figura 5A).

Importancia. Poca importancia tienen en rodales naturales, dado que la incidencia es baja.

Diagnosis. La antracnosis puede ser considerada como una enfermedad de transición entre una del follaje y tallo debido a que con frecuencia involucra la muerte de hojas, brotes, yemas y ramillas. Durante la elongación de brotes la infección resulta en un marchitamiento violento y muerte de los mismos, así como de hojas inmaduras (figura 5B). Si la infección se presenta temprano en la estación de crecimiento, y progresa rápidamente, la caída de hojas puede darse y en ocasiones la defoliación es total. El árbol generalmente emite follaje nuevo y asume una apariencia normal a mediados de verano. En algunas especies como encino blanco, la presencia de necrosis crónica en ramillas y ramas ocasiona una ramificación excesiva y angular. Estas especies en particular ilustran cómo las enfermedades pueden alterar la forma normal de un árbol, sin embargo, esto no es común. Las condiciones húmedas o de sequía pueden ayudar al desarrollo de la infección.

Agente causal. *Phoradendron villosum* (Nutt.) Nutt.

Hospedantes y distribución. Muérdago de la familia Viscaceae identificado en rodales de *Q. laeta* Liebm., *Q. potosina* Trel., y *Q. deserticola* Trel., del sitio Mesa del Aguila, Aguascalientes (figura 6).

Importancia. *Phoradendron* es un género que incluye quizás 170 especies. El daño económico causado por este muérdago se considera ligero, sin embargo, estas plantas parásitas causan el declinamiento de varias especies forestales, especialmente a través del SW de Estados Unidos de América (Sinclair *et al.* 1987). En Aguascalientes, este muérdago está infectando árboles dentro y fuera de los sitios de estudio, y al parecer está contribuyendo a debilitar al arbolado. Su incidencia es alta.

Diagnosis. Es dominante una atrofia y muerte regresiva de ramas. Con base en observaciones de campo fue evidente que los árboles de mayor diámetro que crecen en sitios abiertos y perturbados, a menudo son infectados en mayor grado que aquellos de menores diámetros, con copas cerradas y mejor calidad de sitio.

II. Agentes abióticos

Agente causal. Bajas temperaturas y falta de agua.

Por la dificultad que representa el separar el efecto de cada uno de estos factores, se tratan en conjunto.

Hospedantes y distribución. La presencia de estos factores se observó en los sitios Pozo Redondo y Vergel de la Sierra en Guanajuato, así como en Rancho Piletas de Aguascalientes.

Importancia. Estos factores, han causado la muerte y disminución del vigor del arbolado. El porcentaje de árboles afectados

oscila de 24.24 a 52.17% en los sitios de Guanajuato y Aguascalientes.

Diagnosis. El daño por bajas temperaturas se puede presentar en cualquier época del año cuando la temperatura cae abajo de los 0°C, principalmente en la estación de crecimiento cuando los tejidos son jóvenes y susceptibles. Las heladas pueden ser tardías (invierno) o tempranas (primavera-otoño). El mayor daño es causado por las heladas tardías, debido a que los árboles están más activos y tienen la mayor cantidad de tejido suculento en la primavera y principios de verano. Las latifoliadas son más propensas al daño por heladas tardías que las coníferas, esto debido a que comienzan su crecimiento a principios de la primavera.

Existe una considerable variación en los síntomas que presentan las plantas afectadas por bajas temperaturas, entre ellos: decoloración, marchitamiento y muerte de tejidos suculentos, rajaduras de madera y quemaduras de invierno.

Las hojas de latifoliadas se curvan y se tornan cafés o negras cuando las heladas son severas. Si son heladas tempranas, los principales daños serán el cambium y la muerte de puntas o de brotes inmaduros. La rajadura de la madera es un fenómeno común tanto en coníferas como en latifoliadas. Las rajaduras por frío (figura 7AB) se forman generalmente en la estación de dormancia, cuando se da una repentina y pronunciada caída en la temperatura de invierno. Las rajaduras generalmente se originan en la base del tallo, y se llegan a extender hacia arriba, de unos cuantos centímetros hasta más de un metro, el xilema se raja y la corteza se separa. El cicatrizado de la herida produce una considerable callosidad (figura 7C).

Es importante mencionar, que en Aguascalientes y Guanajuato, se observaron numerosos árboles con daño en el tronco, el cual, de acuerdo a la literatura (Smith, 1970; Sinclair *et al.* 1987) y experiencia del grupo de estudio, se deben a cambios de temperatura (rajaduras en el tronco). Esta condición fue observada con frecuencia y en gran número en el arbolado de los cuatro sitios. Aguascalientes, tiene el mayor porcentaje de árboles con rajaduras, 42.10% en Mesa del Águila, y 52.17% en Rancho Piletas. En Guanajuato el 36.76% de los árboles de Vergel de la Sierra se encontraron con rajaduras y en Pozo Redondo, 24.24% (figura 8). Cabe hacer mención que durante la primera evaluación (septiembre, 2003) se registró una alta mortalidad, específicamente en Rancho Piletas con un 24.63% y un 5.2% en Mesa del Águila, la cual también se le atribuye a estos factores.

Para el caso de Guanajuato, información verbal y escrita que se compiló, permitió detectar la presencia de períodos con temperaturas extremas en la década de los 90, las cuales hacen referencia de fuertes heladas y sequías durante 1997-1998 y altas temperaturas en 1970 (INEGI, 2002), así como de un descenso general en la temperatura (De Alba-Ávila y Maciel, 2004). En Aguascalientes ocurrió lo mismo, datos recientes muestran que existe un descenso en la temperatura máxima, lo cual puede influir en los ciclos biológicos de algunos organismos plaga como los descortezadores, y en el crecimiento de los árboles sensibles, ya que las horas calor a largo plazo se modifican (De Alba-Ávila y Maciel, 2004).

Las plantas que sufren la falta de agua, a menudo muestran síntomas severos de

estrés hídrico. Pero quizás, lo más importante es que predispone a las plantas a la infección por patógenos, ataque de insectos, y a daño severo por el clima extremo de verano e invierno.

Los períodos de estiaje, interfieren con el desarrollo normal de las plantas, y en suelos secos las plantas no son capaces de reemplazar el agua que han perdido, por lo cual desarrollan un estrés fisiológico. Si esta condición se intensifica, las hojas pierden su turgencia, se marchitan y tornan amarillas o cafés del ápice y de los márgenes, después de ello mueren (http://cipm.ncsu.edu/ent/Southern_Region/RIPM/CHAP4/OPM/chap3.html).

DISCUSIÓN

Con base en la información obtenida en los recorridos realizados por el grupo durante los años 2003 a 2005, y con la literatura que se presenta en cada una de las secciones correspondientes para cada agente, de todos los identificados, *Phytophthora cinnamomi* y las bajas temperaturas, en combinación con la falta de agua son considerados los de mayor impacto en la declinación y muerte del encino. *P. cinnamomi* está causando la pérdida de vigor y muerte de los árboles en El Arrayanal, Col. y Manantlán, Jal., lugares donde al parecer las condiciones de temperatura y humedad le están favoreciendo. A este patógeno también se le ha atribuido la muerte de encinos en otras partes del mundo (Shearer y Tippet, 1989; Benson y Grand, 2000; Colquhoun y Ardí, 2000; Tainter *et al.* 2000).

La importancia de las bajas temperaturas y falta de agua es alta en los estados de Aguascalientes, Guanajuato y Nayarit,

donde éstas estresan al arbolado y le causan la muerte, especialmente en los dos primeros. En México, pocos casos se han documentado, sin embargo, por referencia de otros lugares, se conoce su efecto en árboles (Smith, 1970; Sinclair *et al.* 1987).

En Nayarit, a pesar de que no fue posible aislar al patógeno *P. cinnamomi*, se identificaron otros agentes que se pueden asociar con la pérdida de salud del bosque de encino. En primer lugar, fue evidente la presencia de períodos secos e incendios. El tipo de suelo muy intemperizado, pedregoso y delgado es otro factor que contribuye; así como la presencia de defoliadores que atacan al 100% de los árboles; la presencia de hongos del follaje domina en un gran número de árboles y finalmente, un agente secundario como *Hypoxyylon antropunctatum* que invade los árboles más estresados y cuya incidencia es alta. Este tipo de comportamiento se ha observado para este hongo en otros casos (Bassett *et al.* 1982; Tainter *et al.* 1983).

El resto de los factores: *Armillaria*, *Ganoderma*, el pastoreo y el muérdago, se considera que su papel es localizado pero de gran importancia, a los cuales se les debe prestar mucha atención con el fin de prevenir futuros daños.

CONCLUSIONES

Los agentes bióticos más comunes que se encontraron asociados al arbolado de encino fueron: *Phytophthora cinnamomi*, *Pythium* sp., *Hypoxyylon antropunctatum*, *Ganoderma* sp., *Armillaria* sp., *Apiognomonia quercina*, el muérdago enano (*Phoradendron villosum*), barreñadores, defoliadores y sobrepastoreo.

Entre los abióticos causantes de estrés y muerte, destacaron los daños ocasionados por las bajas temperaturas-falta de agua y fuego.

P. cinnamomi y las bajas temperaturas-falta de agua son considerados los factores de mayor importancia en la declinación y muerte del encino.

La incidencia del resto de los factores fue baja y localizada.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo económico proporcionado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA Forest Service) para la realización del presente estudio. A la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por el apoyo de su personal técnico de las oficinas centrales y de cada uno de los estados. A la Comisión Nacional Forestal por el apoyo logístico y técnico. A las Comunidades de Miravalles y El Ranchito en Nay., Loma Colorada en Manantlán, Jal., El Arrayanal en Col., Rancho Piletas en Ags., y Sierra de Lobos en Gto., por permitirnos el acceso a sus predios y por el interés mostrado.

LITERATURA CITADA

- Basset, E.N., P. Fenn and M.A. Mead, 1982. Drought-related oak mortality and incidence of *Hypoxylon* canker. *Arkansas Farm Research*, **31**(1): 8.
- Benson, D.M., and C. L. Campbell, 1985. Spatial pattern of phytophthora root rot and dieback of azalea in container-grown nursery stock. *Plant Dis.*, **69**(12): 1049-1054.
- Benson, D.M. and L.F. Grand, 2000. Incidence of *Phytophthora* root rot of fraser fir in North Carolina and sensitivity of isolates of *Phytophthora cinnamomi* to metalaxyl. *Plant Dis.*, **84**: 661-664.
- Blanchette, R. A., 1984. Selective delignification of Eastern Hemlock by *Ganoderma tsugae*. *Phytopath.*, **74**, 153-160.
- Colquhoun, I.J., and Ardí, G.E. St., 2000. Managing the risks of *Phytophthora* root and collar rot during bauxite mining in the *Eucalyptus marginata* (Jarrah) forest of Western Australia. *Plant Dis.*, **84**: 116-127.
- De Alba-Avila, A., y P. L.H. Maciel, 2004. Cambio climático en Aguascalientes, Guanajuato, Zacatecas: su posible impacto en las masas forestales. *Memoria del Décimo Primer Simposio de Investigación y Desarrollo Tecnológicos*, 20-24 de septiembre, Aguascalientes. p. 16. ISSN 1405.
- Erwin, D.C., Bartnicki-Garcia, S., and P.H. Tsao, eds., 1983. *Phytophthora: Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology*. American Phytopathological Society, St. Paul, Minn. 392 pp.
- Erwin, D.C. and O.K. Ribeiro, 1996. *Phytophthora diseases worldwide*. APS Press. Printed in USA. 562 pp.
- INEGI, 2002. *Cuaderno Estadístico Municipal*. León Guanajuato. Instituto Na-

- cional de Estadística Geografía e Informática. 183 pp.
- Leary, J.V., Zentmyer, G.A., Klure, L.J., Pond, E.C., and Grantham, G.L., 1982. Variability in growth of *Phytophthora cinnamomi* isolates in response to antibiotics. *Phytopath.*, **72**: 750-754.
- Lewis, R. Jr., 1981. *Hypoxylon* spp., *Ganoderma lucidum* and *Agrilus bilineatus* in association with drought related oak mortality in the south. (Abstr.) *Phytopath.*, **71**(8): 890.
- Muñoz-López, C., Pérez-Forteá, V., Cobos-Suárez, P., Hernández-Alonso, R., y G. Sánchez-Peña, 2003. *Sanidad Forestal. Guía de imágenes de plagas, enfermedades y otros agentes presentes en los bosques*. Mundi-Prensa. Impreso en España. 575 pp.
- Nixon, K.C., 1993. The genus *Quercus* in Mexico. In: Ramamrathy, T.R., Bye, R., Lot, A., y Fa, J., 1993. *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*. Oxford University Press. 812 pp.
- Ochoa-Ascencio, S., 2000. Mecanismos de diseminación de *Phytophthora cinnamomi*. Boletín Informativo *El Aguacatero*, **3**(13): 1-9. <http://www.aproam.com/aguate13#.htm#4>
- Rzedowski, J., 1981. *Vegetación de México*. Limusa. Impreso en México. 431 pp.
- Shearer, B.L. and J.T. Tippett, 1989. Jarrah dieback: The dynamics and management of *Phytophthora cinnamomi* in the Jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest of south-western Australia. Department of Conservation and Land Management. *Research Bulletin*, No. 3. 76 pp.
- Sinclair, W.A., Lyon, H.H., and W.T. Johnson, 1987. *Disease of trees and shrubs*. Cornell University Press. Printed in China. 575 pp.
- Schwarze, F.W.M.R., Lonsdale, D. and Matteck, C., 1995. Detectability of wood decay caused by the basidiomycete *Inonotus hispidus* in comparison with other tree-decay fungi. *Eur. J. For. Path.*, **25**: 327-341.
- Smith, W., 1970. *Tree pathology. A short introduction*. Academic Press. Printed in USA. 309 pp.
- Starkey, D.A., S.W. Oak., G.W. Ryan, F.H. Tainter, C. Redmond and H.D. Brown, 1989. *Evaluation of oak decline areas in the south*. USDA Forest Service, Southern Region. Protection Report R8-PR 17. 33 pp.
- Tainter, F.H., T.M. Williams and J.B. Cody, 1983. Drought as a cause of oak decline and death on the South Carolina coast. *Plant Dis.*, **67**(2): 195-197.
- Tainter, F.H., and F.A. Baker, 1996. *Principles of forest pathology*. John Wiley & Sons. Printed in USA. 805 pp.
- Tainter, F.H., O'Brien, J.G., Hernández, A., Orozco, F., and O. Rebolledo, 2000. *Phytophthora cinnamomi* as a cause of oak mortality in the state of Colima, Mexico. *Plant Dis.*, **84**(4): 394-398.

- Vázquez-García, J.A., R. Cuevas-Guzmán, T.S. Cochrane, H.H. ILDIS, F.J. Santana-Michel y L. Guzmán-Hernández, 1995. Flora de Manantlán. *SIDA Botanical Miscellany*, No. **13**. 312 pp.
- Zavala-Chávez, F., 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica*, **8**: 47-64.
- Zavala-Chávez, F., 2002. *Encinos y Robles. Notas Fitogeográficas*. Universidad Autónoma Chapingo. Impreso en México. 44 pp.
- Zentmyer, G.A., 1980. *Phytophthora cinnamomi* and the diseases it causes. *Phytopathological Monograph* 10, *Am. Phytopathol. Soc.*, St. Paul, MN. 96 pp.
- http://cipm.ncsu.edu/ent/Southern_Region/RIPM/CHAP4/OPM/chap3.htm
- <http://www.aguascalientes.gob.mx/english/Tourism/ecotourism/sierrafria.htm>
- <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/>

Recibido: 2 agosto 2006. Aceptado: 26 octubre 2006.

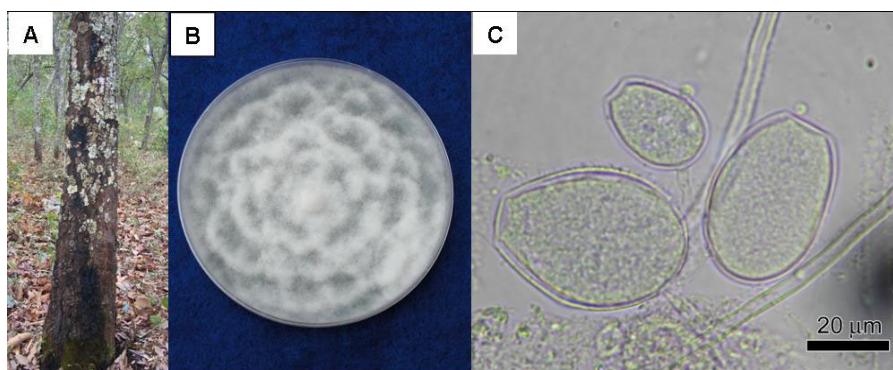


Fig. 1. A. Cancro típico con exudado por la infección de *Phytophthora cinnamomi*.
B. El hongo en medio de cultivo y C. Esporangios.

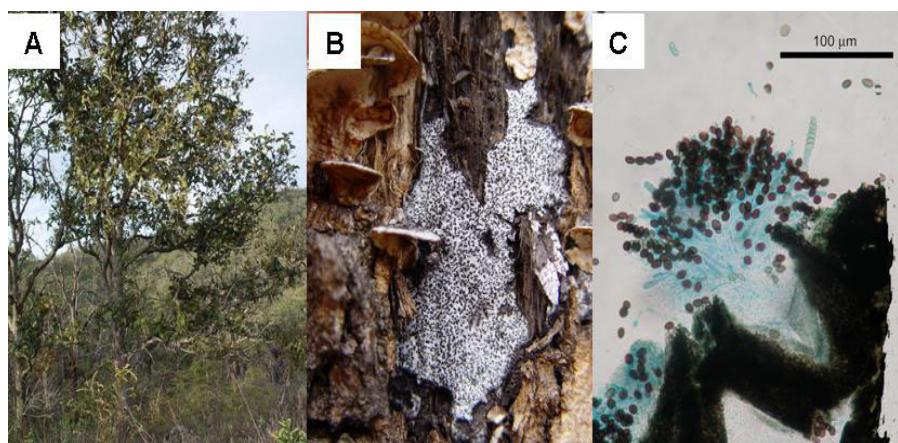


Fig. 2. A. Panorámica de un árbol infectado por *Hypoxylon antropunctatum*.
B. Acercamiento de los peritecios del hongo embebidos en un estroma y C. Ascas y las ascosporas del hongo.

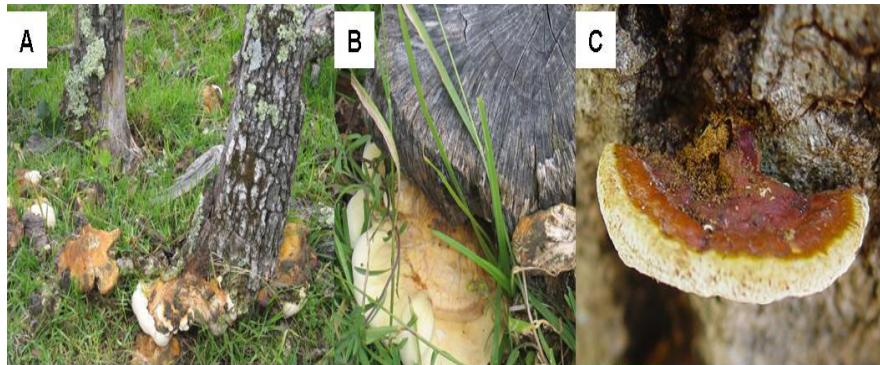


Fig. 3. A. Tronco mostrando varios basidiocarpos de *Ganoderma curtisii*. B. Acercamiento del mismo hongo en Pozo Redondo, Gto. C. *Ganoderma orbiformum* de Loma Colorada, Jal.

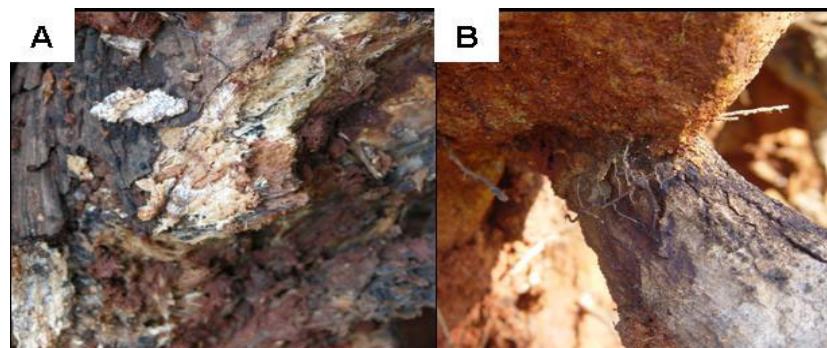


Fig. 4. A. Pudrición causada por *Armillaria* sp. B. Rizomorfos del hongo.

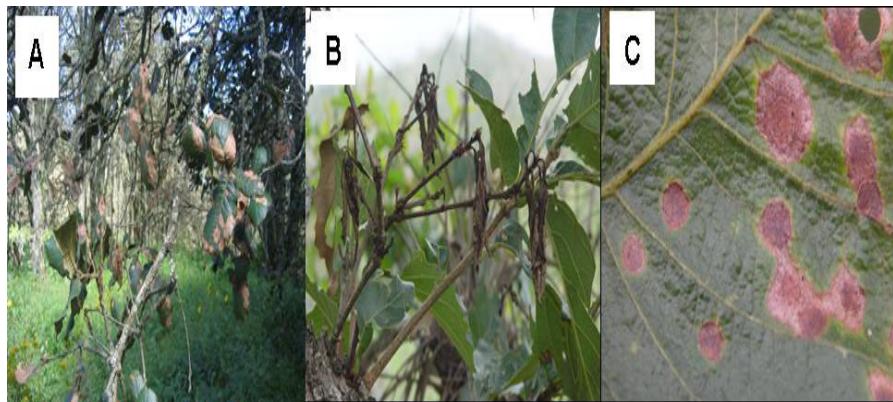


Fig. 5. A. Panorámica de un encino con antracnosis causada por *Apiognomonia quercina*. B. Tizón en *Q. magnoliifolia* del sitio El Ranchito, Nay. C. Cuerpos fructíferos inmaduros en hojas.

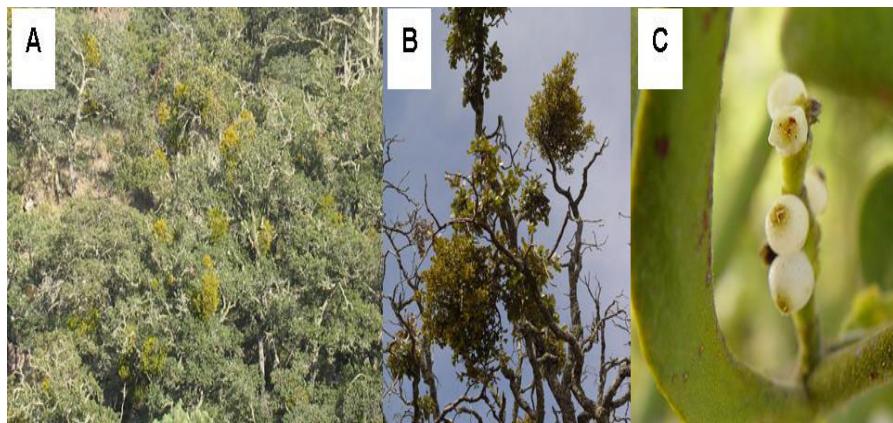


Fig. 6. A. Panorámica de *Phoradendron villosum* en encino de Mesa del Águila, Ags. B. Árbol debilitado con numerosas matas de muérdago. C. Frutos de *Ph. villosum*.

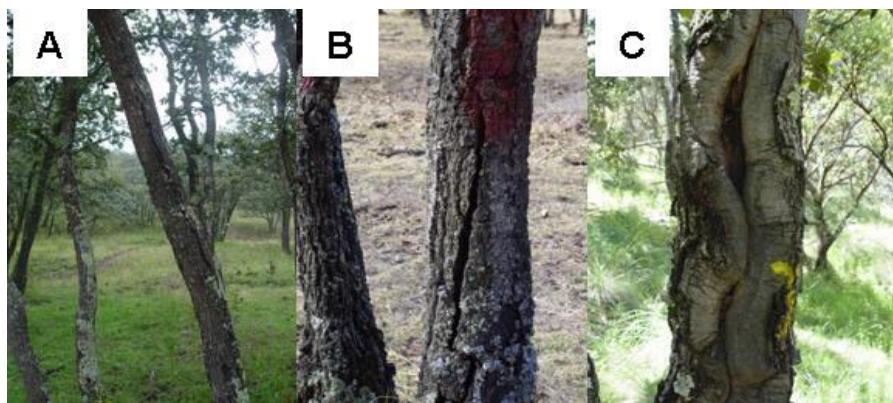


Fig. 7. Panorámica de una rajadura en Pozo Redondo, Gto. B. Acercamiento y C. Encino sellando la herida y formando un típico callo.

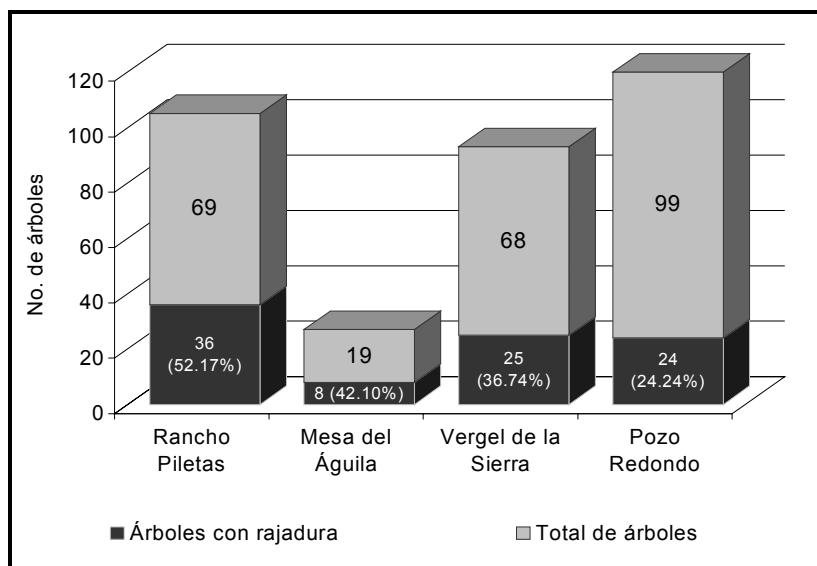


Fig. 8. Número de árboles con rajaduras en cuatro sitios de monitoreo.