



Acta Botanica  
Mexicana

# Influencia de parámetros físicos y microambientales en macromicetos degradadores de madera de *Abies religiosa* (Pinaceae)

## Influence of physical and microenvironmental parameters on wood-degrading macromycetes of *Abies religiosa* (Pinaceae)

Daniela Abigail Guzmán Ramírez<sup>1</sup>, Ibeth Rodríguez Gutiérrez<sup>1,3</sup>, Carlos Alejandro Rangel Patiño<sup>1</sup> y Sigfrido Sierra<sup>2</sup>

### Resumen

**Antecedentes y Objetivos:** Los organismos más importantes en la descomposición de la lignocelulosa son los macromicetos degradadores de la madera caída. Sin embargo, los estudios taxonómicos y ecológicos sobre estos hongos son escasos en bosques templados del Estado de México, México. El objetivo de este estudio fue proporcionar información sobre la diversidad de la comunidad fúngica de un bosque templado en Huixquilucan, Estado de México, y sobre las variables físicas y microclimáticas de la madera muerta de *Abies religiosa* que influyen en ella.

**Métodos:** En la temporada de lluvias, en septiembre y octubre de 2021, se exploró un bosque de *Abies religiosa* ubicado en Huixquilucan, Estado de México. Se recolectaron 100 troncos caídos de *A. religiosa*, a los que se les midieron las siguientes variables: pH, temperatura, volumen, densidad, humedad y dureza. Se registró el número de morfoespecies de macromicetos y abundancia de esporomas. Se determinaron los géneros y especies de los macromicetos y los valores de riqueza y abundancia se emparejaron con las características de la madera para determinar cuáles variables estaban relacionadas mediante un Análisis de Correspondencia Canónica.

**Resultados clave:** Se determinaron 46 géneros y 27 especies; 24 de ellas son nuevos registros para el sitio de muestreo. Al evaluar la posible asociación entre las características de la madera con la riqueza y diversidad de macromicetos, se reporta que la riqueza y diversidad de los esporomas están mayormente influenciadas por la dureza, densidad y humedad de los restos de madera.

**Conclusiones:** La diversidad de macromicetos degradadores en la madera de *A. religiosa* es muy alta. Particularmente en el bosque estudiado, la densidad, dureza y humedad de la madera son las variables más importantes que influyen en la riqueza y diversidad de los esporomas. La densidad de la madera está asociada con el contenido de humedad y parece no tener relación con la dureza de la madera.

**Palabras clave:** ecología de macromicetos, esporomas, Estado de México, hongos, oyamel.

### Abstract

**Background and Aims:** Wood-degrading macromycetes are the most important organisms in the decomposition of lignocellulose. However, taxonomic and ecological studies are scarce in temperate forests in the State of Mexico, Mexico. The main objective of the study was to provide information on the physical and microclimatic variation of the dead wood of *Abies religiosa* that influence the diversity of the fungal community in a temperate forest in Huixquilucan, State of Mexico.

**Methods:** During the rainy season, from September to October 2021, we conducted fieldwork in the *Abies religiosa* forest located in Huixquilucan, State of Mexico. We sampled 100 dead trunks of *A. religiosa* and measuring the following variables: pH, temperature, volume, density, humidity, and softness of the wood. Similarly, the number of morphospecies of macromycetes and the abundance of sporomes were recorded. The genera and species of the macromycetes were determined and the values of richness and abundance were compared with the characteristics of the wood through a Canonical Correspondence Analysis.

**Key results:** Forty six genera and 27 species were determined, 24 of them are new records for the sampling site. When evaluating the possible association between the dead wood characteristics with richness and diversity of macromycetes, we found that the richness and diversity of sporomes are mainly influenced by the hardness, density, and humidity of wood remains.

**Conclusions:** The diversity of wood-degrading macromycetes of *A. religiosa* is very high. Particularly in this forest, the density, hardness, and humidity of the wood are the most important variables modulating the richness and diversity of the sporomes. The density of the wood is related to the humidity and there is no clear association with the hardness of the wood.

**Key words:** ecology of macromycetes, mushroom, oyamel, sporomes, State of Mexico.

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, Licenciatura en Biología, Laboratorio de Micología, Paraje El Río s.n., La Magdalena Chichicapa, 52773 Huixquilucan, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología Comparada, Laboratorios de Micología, Laboratorio de Taxonomía de Hongos Tremeloides (Heterobasidiomycetes), Ciudad Universitaria, 04510 Coyoacán, Cd. Mx., México.

<sup>3</sup>Autor para la correspondencia: [ibeth.rg@huixquilucan.tecnm.mx](mailto:ibeth.rg@huixquilucan.tecnm.mx)

Recibido: 9 de agosto de 2022.

Revisado: 1 de diciembre de 2022.

Aceptado por Víctor Bandala Muñoz: 18 de enero de 2024.

Publicado Primero en línea: 11 de marzo de 2024.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 131(2024).

Citar como: Guzmán Ramírez, D. A., I. Rodríguez Gutiérrez, C. A. Rangel Patiño y S. Sierra. 2024. Influencia de parámetros físicos y microambientales en macromicetos degradadores de madera de *Abies religiosa* (Pinaceae). Acta Botanica Mexicana 131: 2118. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm131.2024.2118>



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0

Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

## Introducción

Los macromicetos degradadores de madera caída se consideran organismos clave en uno de los procesos más importantes para la vida en la Tierra, que es la descomposición de la lignocelulosa (Rolstad et al., 2004; Osono, 2007). Dichos hongos producen las enzimas más diversas y efectivas para la desintegración de celulosa, hemicelulosa y lignina, haciendo que los componentes de estos polímeros se reintegren al sistema suelo y a los ciclos de nutrientes (Floudas et al., 2012; Riley et al., 2014; Alshammari et al., 2021). Además, estos hongos son la base de una red compleja de organismos, que se ha calculado incluye de 400,000 a 1 millón de especies alrededor del mundo, asociados directa o indirectamente a la madera caída (Stokland et al., 2012).

La madera caída es desintegrada por los macromicetos por medio de tres tipos de pudrición, cuya clasificación se basa en una descripción visual, así como en los mecanismos que emplean los hongos para desintegrar la hemicelulosa, celulosa y lignina (Fukasawa, 2021). Así, hay especies de hongos que causan *pudrición café*, como los del Phylum Basidiomycota, en la cual los hongos involucrados metabolizan la celulosa y hemicelulosa, y modifican la lignina, de modo que la madera afectada adquiere un color oscuro y se fragmenta en forma de cubos (Pawlik et al., 2019). En la *pudrición blanca*, llevado a cabo por hongos del Phylum Basidiomycota y la familia Xylariaceae del Phylum Ascomycota, los hongos involucrados metabolizan celulosa, hemicelulosa y lignina, y la madera toma un color blanco y una textura fibrosa (Schmidt, 2006). En la *pudrición blanda*, realizada por especies del Phylum Ascomycota y sus anamorfos, los hongos metabolizan hemicelulosa y celulosa de la capa central de la pared secundaria, y la apariencia de la madera es similar a la pudrición blanca; la consistencia es suave de peso, ligera o bofa (Kuhad et al., 2013).

Existen diferentes factores abióticos y bióticos que influyen en la diversidad de hongos que habitan la madera caída y determinan la estructura de la comunidad fúngica (Lee et al., 2020; Yang et al., 2021). Entre esos factores destacan la precipitación, temperatura y tipo de vegetación, las características de los macromicetos como son la capacidad enzimática, especificidad de sustrato e interacciones ecológicas entre ellos y con otros organismos, así como las

características fisicoquímicas del sustrato (Siitonen et al., 2000; Purahong et al., 2016; Dighton y White, 2017).

Sobre las características fisicoquímicas del sustrato es importante mencionar que hay un efecto bidireccional entre estas y los macromicetos. Es decir, al inicio de la descomposición estas características influyen el establecimiento, crecimiento, reproducción, metabolismo y diversidad de los hongos; a su vez, las actividades biológicas de los hongos provocan cambios en la estructura química y física de la madera caída (Schwarze et al., 2000; Song et al., 2012; Brabcová et al., 2022).

La cuantificación de las características físicas de la madera caída es de gran importancia ya que puede reflejar diferentes aspectos de la descomposición y explicar, en cierta medida, la presencia y abundancia de los macromicetos degradadores (Mäkinen et al., 2006). Una de esas características, la densidad, es una de las variables más relacionadas con la composición y estructura de la comunidad fúngica, así como con la riqueza, abundancia de esporomas y sucesión de macromicetos (Kubartová et al., 2015; Rajala et al., 2015; Arnstadt et al., 2016; Hoppe et al., 2016; Purahong et al., 2016; Yang et al., 2021).

También se ha reportado la relación de la densidad con la humedad de la madera y su incorporación a los esquemas de etapas de descomposición (Rajala et al., 2012; Shorohova et al., 2022), que anteriormente estaban más determinados por aspectos visuales como la dureza de la madera (p. ej., cantidad de centímetros que se entierra un cuchillo dentro de los troncos caídos). En cuanto a dichos esquemas, algunos autores (Renvall, 1995; Heilmann-Clausen y Christensen, 2003; Penttilä et al., 2004) reportan una mayor diversidad de macromicetos en etapas intermedias y otros en etapas finales de la descomposición de la madera.

Otra de las características físicas bien documentadas es el tamaño de los troncos caídos, pues se ha reportado que los de gran tamaño o CWD (Coarse Woody Debris) con diámetro mayor a 10 cm presentan una mayor riqueza fúngica (Sippola y Renvall, 1999; Krah et al., 2018), que las pequeñas ramas o FDW (Fine Woody Debris) con diámetros entre 5 y 9 cm. Sin embargo, se sabe que estas últimas son de gran importancia para la diversidad de ciertos grupos



taxonómicos de hongos (Kruys et al., 1999; Nordén et al., 2004).

Por otro lado, el volumen de los troncos ha sido correlacionado con la riqueza y diversidad de los macromicetos, y se ha confirmado su influencia en la estructura de la comunidad (Pouska et al., 2011; Hoppe et al., 2016). Otras variables reportadas en participar tanto en la estructura como en la composición de la comunidad son el contenido de humedad, los microclimas alrededor y dentro de la madera, y el pH, que adicionalmente ha sido relacionado con la diversidad de los macromicetos y con la acidificación del microambiente que permite la acción de enzimas como las lacasas y peroxidasas (Kubartová et al., 2015; Müller et al., 2020; Yang et al., 2021; Li et al., 2022).

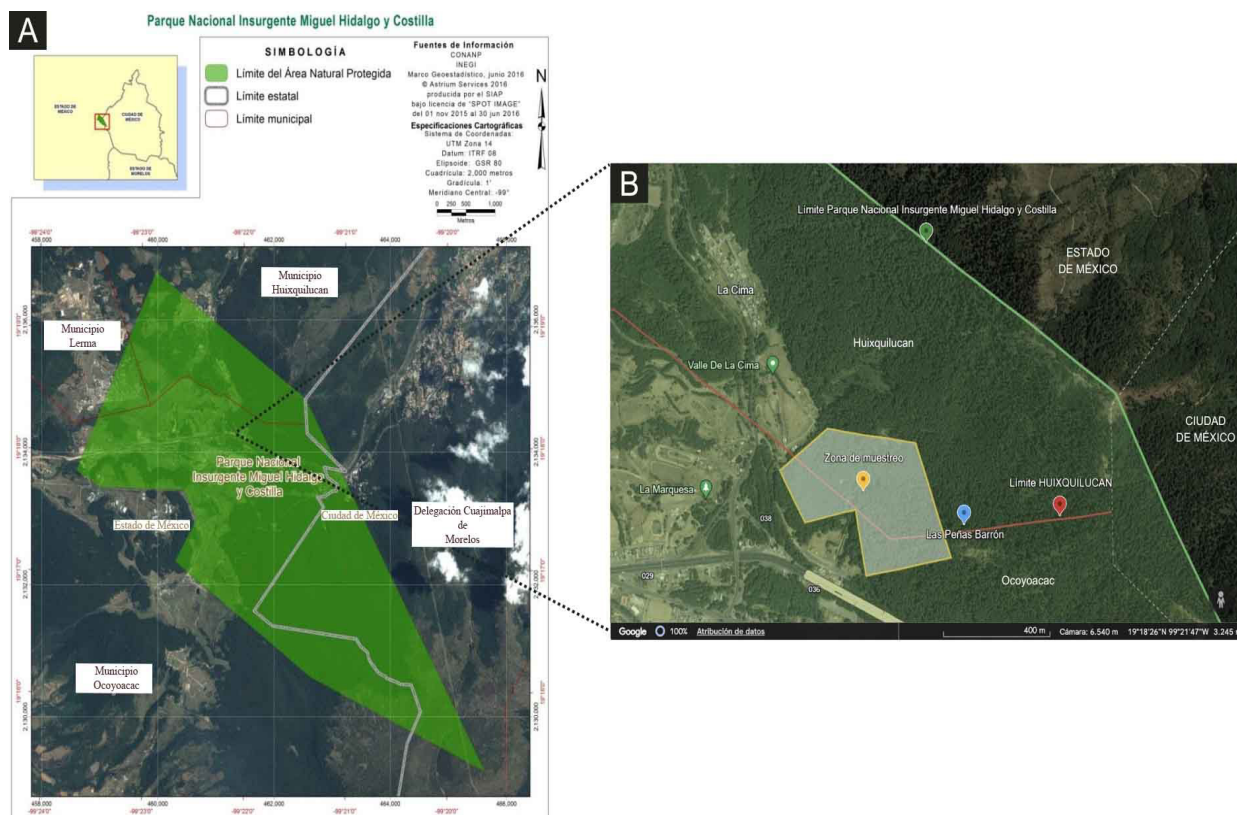
Considerando lo anterior, la presente contribución tiene como objetivo determinar cuáles características físicas y microambientales en torno a la madera de troncos caídos de *Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. & Cham. en la

localidad de Huixquilucan, Estado de México, México, podrían estar relacionándose entre sí y con la riqueza y abundancia de esporomas de los macromicetos degradadores. Estas relaciones no solo influyen en la comunidad fúngica, sino que ayudan a entender la importancia que tienen los hongos degradadores en estos ecosistemas y parte del funcionamiento de la degradación de la madera en los bosques de *Abies religiosa* (oyamel) que debido al cambio climático están en peligro de desaparecer (Argüelles-Moyao y Garibay-Orijel, 2018; Argüelles-Moyao et al., 2022).

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

La zona de muestreo se localiza en el centro del Estado de México, en la localidad Las Peñas Barrón dentro del Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, mejor conocido como La Marquesa (Fig. 1). Específicamente esta zona pertenece al municipio Huixquilucan (coordenadas



**Figura 1:** Área de estudio. A. mapa oficial del Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla (Modificado de CONANP, 2019); B. acercamiento a la zona de muestreo ubicada dentro del Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, en la localidad Las Peñas Barrón, municipios Huixquilucan y Ocoyoacac, Estado de México, México. Elaborado en Google Earth v. 10.41.2.1 (Google Earth, 2023).

19°18'14"N y 99°21'55"O) con una altitud que va de 2900 a 3800 m (CONANP, 2019; Google Earth, 2022). En el Parque Nacional se presenta un clima de tipo C (b) (w2) (w) semi-frío, subhúmedo con verano fresco largo (García, 1988). La temperatura media anual se reporta entre 5 y 12 °C, y la del mes más frío entre -3 y 18 °C, mientras que la del mes más caliente por debajo de 22 °C; además, se registra una precipitación promedio de 1306.5 mm con máxima mensual de 914.1 mm (CONANP, 2019).

La vegetación del sitio estudiado está dominada por *Abies religiosa*, que se distribuye principalmente en cumbrones y laderas de montañas, cañadas o barrancas hasta 3800 m s.n.m. y corresponde a un bosque monoespecífico. Más de 30 m es la altura promedio de los árboles que forman masas homogéneas y se distribuyen sobre suelos rocosos, profundos, bien drenados y ricos en materia orgánica (CONANP, 2019). El estrato arbustivo y herbáceo está bien desarrollado y su composición varía en función de la exposición a la luz solar, las condiciones de desarrollo del suelo y de humedad, así como el grado de perturbación (CONANP, 2019).

Se realizaron cinco muestreos en septiembre y octubre de 2021 durante la temporada de lluvias. En cada salida al campo se hicieron recorridos donde se seleccionaron troncos caídos y tocones de *Abies religiosa* cuyo diámetro midiera 10 cm o más y su superficie presentara uno o más esporomas. Se estudió un total de 100 troncos.

### Variables analizadas en la madera

Para la madera se evaluaron las siguientes variables físicas: pH, temperatura, dureza, humedad, densidad y volumen. De cada tronco, con cinta métrica de 50 m, se midieron largo y diámetro, y con estas medidas se estimó el volumen. El pH y la temperatura se obtuvieron insertando, dentro de cada tronco, la sonda de metal de un medidor digital (HSCo WEIGHING SOLUTIONS, Show Range SR3008, Mumbai, India). Como medida de dureza de la madera y siguiendo el método propuesto por Renvall (1995), se registraron los centímetros que se enterró un cuchillo de una hoja de aproximadamente 10 cm de largo, 2 cm de ancho y 2.5 mm de grosor, el cual se enterró, siempre por la misma persona tratando de aplicar la mis-

ma fuerza, una sola vez en el punto donde se encontraban la mayoría de los esporomas.

Con la finalidad de medir la humedad y la densidad, se tomó una muestra *in situ* de aproximadamente 200 g de peso fresco de madera, de cada uno de los 100 troncos estudiados. La muestra fue extraída de los sitios donde se encontró la mayor cantidad de esporomas, sin corteza y hasta una profundidad de 5 cm. Las muestras se trasladaron, en bolsas de plástico cerradas con ligas para evitar la pérdida de humedad, al Laboratorio de Hongos Tremeloides (Heterobasidiomycetes) de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Posteriormente fueron pesadas para la obtención del peso húmedo y secadas en un horno de secado (NOVATECH, HS35-ED, San Pedro Tlaquepaque, México) durante cinco días a 100 °C; enseguida se volvieron a pesar para obtener el peso seco. A continuación, las muestras se guardaron en bolsas de papel a temperatura ambiente en el Laboratorio de Hongos Tremeloides (Heterobasidiomycetes), para la posterior determinación de la humedad y densidad.

La humedad se determinó por el método propuesto por Núñez (2007), que consiste en la diferencia entre el peso húmedo y el seco, mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta P = PM - Pm$$

Donde:  $\Delta P$ =Diferencia entre los pesos. PM=Peso de la madera saturada o peso máximo. En el caso de la determinación de la humedad es el peso húmedo de la madera en campo. Pm=Peso seco o peso mínimo.

La densidad básica o aparente de la madera fue determinada usando el método de Arquímedes descrito en Valencia Manzo y Hernández (1997) mediante la siguiente fórmula:

$$Db = Po / Vv \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Donde: Db=Densidad básica. Po=Peso anhidro de la muestra o peso seco de la muestra. Vv=Volumen verde de la muestra o peso del agua desplazada por la muestra.



Para determinar la densidad, las muestras se pesaron y después se colocaron en un recipiente con agua donde permanecieron de 12 a 20 días hasta su saturación. Posteriormente, utilizando una probeta de 1000 ml con agua a la mitad de su capacidad se introdujeron las muestras de madera sin que tocaran las paredes ni el fondo de dicho instrumento. Esto se logró atando a cada muestra un hilo delgado a su alrededor; así fue posible medir la cantidad de agua que desplazaba cada muestra (que corresponde al volumen de la muestra). La densidad se calculó dividiendo el peso de la muestra antes de saturarla de agua entre la cantidad de agua desplazada (volumen) (Valencia Manzo y Hernández, 1997).

### Macromicetos y esporomas

Para determinar la abundancia y riqueza de esporomas de macromicetos presentes en los troncos, se contaron los esporomas por especie presente. Se tuvo en consideración el rango de hongos inhabituales (1-10 esporomas), escasos (11-100), abundantes (101-1000) y muy abundantes (más de 1000 esporomas). Se recolectaron los esporomas y se hizo un registro fotográfico de los taxones. Con esos datos se calculó riqueza, la abundancia absoluta (AA) por especie, la abundancia relativa de esporomas por especie (AR) y la frecuencia temporal (FT) y temporal relativo (FTR) de los macromicetos (Garibay-Orijel et al., 2009; Rodríguez-Gutiérrez et al., 2020).

Cabe señalar que el grupo funcional (tipo de pudrición u hongos ectomicorrízicos) se basó en lo publicado previamente por Valenzuela et al. (2004) y no se llevaron a cabo pruebas para su corroboración experimental. Esto aunado a que muchos hongos se determinaron únicamente hasta el nivel de género y por ende no se pudo establecer la asociación con su tipo de pudrición. De los ejemplares recolectados se hizo una descripción de características macroscópicas de los esporomas en fresco; posteriormente se colocaron en una secadora de aire caliente (ATVIO, modelo FH-05W, sin ciudad, China) para su deshidratación. A continuación, se guardaron en bolsas de papel para su posterior revisión.

Para determinar taxonómicamente los ejemplares recolectados, se revisaron macromorfológica y micromorfológicamente, y se consultaron claves taxonómicas especiali-

zadas (McNabb, 1973; Gilbertson, 1980; Sierra y Cifuentes, 2005; Shirouzu et al., 2009; Contreras-Pacheco et al., 2018). Los nombres y autores de las especies se actualizaron de acuerdo con Index Fungorum (2023). Todo el material se encuentra depositado en la colección de hongos del Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, Estado de México, México.

### Análisis estadístico

Para la madera se evaluaron las siguientes variables físicas: humedad, densidad, volumen, dureza, temperatura y pH. Para los macromicetos se evaluó la riqueza taxonómica (géneros) y la abundancia de esporomas. Para cada una de las muestras de madera (N=100) se obtuvo la abundancia relativa de sus esporomas, riqueza taxonómica (géneros) y diversidad a través del índice de Shannon. Posteriormente, se evaluó el posible efecto de las variables físicas (densidad, volumen y dureza) y microambientales (temperatura, humedad y pH) con las medidas de riqueza y diversidad utilizando un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el programa PAST v. 4 (Hammer et al., 2001) con un nivel de confianza al 95% ( $p < 0.05$ ).

## Resultados

### Macromicetos y esporomas

Se registró una riqueza de 150 taxones, agrupados en 46 géneros y 75 morfoespecies, determinando 27 a nivel de especie. Dentro de la comunidad hay cuatro grupos funcionales: macromicetos causantes de pudrición café (37%), pudrición blanca (43%), pudrición blanda y macromicetos micorrízicos (10% cada una) (Cuadro 1, Fig. 2). Se registró un total de 19,985 esporomas con un promedio de 200 por tronco. En septiembre se alcanzó un promedio de 124, mientras que para octubre fueron 222 por tronco.

Los taxones más abundantes fueron *Heterotextus* sp., *Trichaptum abietinum* (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarden y *Dacrymyces punctiformis* Neuhoff. En cuanto a la presencia de hongos por tronco, *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. se encontró en 44 de 100 troncos, seguida de *Trichaptum abietinum* en 43, *Dacrymyces punctiformis* en 29 y *Heterotextus* sp. en 17 (Cuadro 2, Fig. 3).



**Cuadro 1:** Listado taxonómico de hongos degradadores de madera de *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. & Cham. en el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, Huixquilucan, Estado de México, México. \*Registrados también por Valenzuela et al., 2004. Todo el material se encuentra depositado en la colección de hongos del Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, Estado de México, México.

Phylum	Orden	Familia	Taxones	Tipo de pudrición	Colector y núm. de identificador	
Ascomycota	Helotiales	Lachnaceae	<i>Lachnum bicolor</i> (Bull.) P. Karst.	Blanda	Guzmán-Ramírez 2021-14	
		Pezizales	Pezizaceae	<i>Peziza</i> sp.	Blanda	Guzmán-Ramírez 2021-27
	Discomycete sp.1		Blanda	Guzmán-Ramírez 2021-47		
	Discomycete sp. 2		Blanda	Guzmán-Ramírez 2021-56		
	Pyronemataceae		<i>Humaria</i> sp.	Blanda	Guzmán-Ramírez 2021-15	
			<i>Scutellinia scutellata</i> (L.) Lambotte	Blanda	Guzmán-Ramírez 2021-28	
	Ascomyceto sp. 1	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-48			
Basidiomycota	Agaricales	Agaricaceae	<i>Agaricus</i> sp.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-13	
			Agarical sp. 1	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-50	
			Agarical sp. 2	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-66	
			<i>Coprinus</i> sp.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-29	
		Crepidotaceae	<i>Crepidotus</i> sp. 1	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-12	
			<i>Crepidotus</i> sp. 2	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-57	
		Entolomataceae	<i>Entoloma</i> sp.	Ectomicorrízico	Guzmán-Ramírez 2021-65	
		Inocybaceae	<i>Inocybe</i> sp.	Ectomicorrízico	Guzmán-Ramírez 2021-70	
		Lycoperdaceae	<i>Apioperdon pyriforme</i> Schaeff.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-01	
		Mycenaceae	<i>Mycena pura</i> (Pers.) P. Kumm.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-31	
			<i>Mycena</i> sp. 1	Blanca y café	Guzmán-Ramírez 2021-30	
			<i>Mycena</i> sp. 2	Blanca y café	Guzmán-Ramírez 2021-16	
			<i>Mycena</i> sp. 3	Blanca y café	Guzmán-Ramírez 2021-49	
			<i>Mycena</i> sp. 4	Blanca y café	Guzmán-Ramírez 2021-58	
			<i>Xeromphalina</i> aff. <i>campanella</i>	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-02	
			Psathyrellaceae	<i>Homophron spadiceum</i> (P. Kumm.) Örstadius & E. Larss.	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-10
				Strophariaceae	* <i>Hypholoma</i> sp.	Blanca
		<i>Pholiota</i> sp.	Blanca		Guzmán-Ramírez 2021-17	
		Incertae sedis	<i>Calyptella</i> sp.	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-51	
			* <i>Tricholomopsis rutilans</i> (Schaeff.) Singer	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-32	
		Auriculariales	Auriculariaceae	<i>Exidia glandulosa</i> (Bull.) Fr.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-18
			Incertae sedis	* <i>Pseudohydnum</i> sp.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-19
		Boletales	Hygrophoropsidaceae	<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i> (Wulfren) Maire	Café	Guzmán-Ramírez 2021-20
		Cantharellales	Hydnaceae	<i>Clavulina</i> sp. 1	Ectomicorrízico	Guzmán-Ramírez 2021-43
				<i>Clavulina</i> sp. 2	Ectomicorrízico	Guzmán-Ramírez 2021-64
		Dacrymycetales	Dacrymycetaceae	<i>Calocera cornea</i> (Batsch) Fr.	Café	Guzmán-Ramírez 2021-54
				* <i>Calocera macrospora</i> Brasf.	Café	Guzmán-Ramírez 2021-55
<i>Calocera</i> sp.	Café			Guzmán-Ramírez 2021-44		
<i>Dacrymyces chrysospermum</i> Berk. & M.A. Curtis	Café			Guzmán-Ramírez 2021-33		
<i>Dacrymyces punctiformis</i> Neuhoff	Café			Guzmán-Ramírez 2021-34		



Cuadro 1: Continuación.

Phylum	Orden	Familia	Taxones	Tipo de pudrición	Colector y núm. de identificador
			<i>Dacrymyces</i> sp. 1	Café	Guzmán-Ramírez 2021-35
			<i>Dacrymyces</i> sp. 2	Café	Guzmán-Ramírez 2021-36
			<i>Dacrymycetoide</i> sp.	Café	Guzmán-Ramírez 2021-52
			<i>Dacryopinax</i> sp. 1	Café	Guzmán-Ramírez 2021-67
			<i>Dacryopinax</i> sp. 2	Café	Guzmán-Ramírez 2021-22
			<i>Ditiola radicata</i> (Alb. & Schwein.) Fr.	Café	Guzmán-Ramírez 2021-03
			<i>Guepinopsis alpina</i> (Tracy & Earle) Braasf.	Café	Guzmán-Ramírez 2021-04
			<i>Heterotextus</i> sp.	Café	Guzmán-Ramírez 2021-45
	Geastrales	Geastraceae	<i>Sphaerobolus stellatus</i> Tode	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-46
	Gloeophyllales	Gloeophyllaceae	* <i>Gloeophyllum abietinum</i> (Bull.) P. Karst.	Café	Guzmán-Ramírez 2021-09
			<i>Veluticeps abietina</i> (Pers.) Hjortstam & Tellería	Café	Guzmán-Ramírez 2021-22
	Gomphales	Gomphaceae	<i>Phaeoclavulina</i> sp.	Ectomicorrízico	Guzmán-Ramírez 2021-60
	Hymenochaetales	<i>Incertae sedis</i>	<i>Trichaptum abietinum</i> (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarde	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-21
	Polyporales	Dacrybolaceae	<i>Postia</i> sp.	Café	Guzmán-Ramírez 2021-53
		Fomitopsidaceae	<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	Café	Guzmán-Ramírez 2021-71
		Irpicaceae	<i>Vitreoporus dichrous</i> (Fr.) Zmitr.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-61
		Phanerochaetaceae	<i>Phlebiopsis gigantea</i> (Fr.) Júlich	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-05
		Polyporaceae	<i>Cyanosporus caesius</i> (Schräd.) McGinty	Café	Guzmán-Ramírez 2021-37
			<i>Perenniporia</i> sp.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-68
			<i>Trametes</i> sp.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-62
		Steccherinaceae	<i>Steccherinum</i> sp.	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-06
		<i>Incertae sedis</i>	* <i>Climacocystis borealis</i> (Fr.) Kotl. & Pozar	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-23
			Poliporoide sp. 1	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-24
			Poliporoide sp. 2	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-40
	Russulales	Bondarzewiaceae	* <i>Heterobasidion abietinum</i> Niemelä & Korhonen	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-72
		Peniophoraceae	<i>Asterostroma cervicolor</i> (Berk. & M.A. Curtis) Massee	Blanca	Guzmán-Ramírez 2021-25
		Russulaceae	<i>Lactarius</i> sp.	Ectomicorrízico	Guzmán-Ramírez 2021-75
		Stereaceae	<i>Stereum sanguinolentum</i> (Alb. & Schwein) Fr.	Blanca y café	Guzmán-Ramírez 2021-63
			Corticioide sp.	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-38
			Corticioide sp. 1	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-42
			Corticioide sp. 2	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-69
			Corticioide sp. 3	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-39
			Corticioide sp. 4	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-41
			Corticioide sp. 5	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-74



Cuadro 1: Continuación.

Phylum	Orden	Familia	Taxones	Tipo de pudrición	Colector y núm. de identificador
			Corticioide sp. 6	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-73
			Corticioide sp. 7	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-07
			Corticioide sp. 8	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-08
	Tremellales	Phragmoxenidiaceae	<i>Phyllogloea herrerae</i> S. Sierra & Cifuentes	Sin información	Guzmán-Ramírez 2021-26

## VARIABLES ANALIZADAS EN LA MADERA

En cuanto a las variables físicas y microambientales de la madera caída se encontró que el valor promedio para el pH es de 6.8 (min=6, máx=7, DE=0.27), la temperatura de 11.67 °C (min=8 °C, máx=17 °C, DE=1.66 °C), humedad de 2.22 H<sub>2</sub>O g (min=0.09, máx=5.3, DE=1.31), densidad 0.3 g/cm<sup>3</sup> (min=0.09, máx=0.94, DE=0.14), dureza 2.98 cm (min=0.5, máx=22, DE=2.99) y volumen de 0.56 m<sup>3</sup> (min=0.002, máx=7.39, DE=0.91).

Referente a la diversidad, se registraron troncos con valores de diversidad de Shannon mínimos de 0.13 y máximos de 1.72 (media=0.78, DE=0.47). Al evaluar la posible asociación entre las variables con la riqueza y diversidad se reporta que el modelo del ACC refleja que el eje 1 explica 99% de la varianza de los datos, donde la riqueza y diversidad de los esporomas está mayormente influenciada por la dureza, densidad y humedad de los restos de madera (Fig. 4).

La mayoría de los datos de riqueza y diversidad se ubican en los cuadrantes inferior y superior derecho de la figura 4 del ACC. En ella, la densidad, la humedad y la dureza son las variables que mejor explican el eje 1 y 2. En los cuadrantes mencionados se encontró una mayor densidad, mayor humedad y suavidad.

## DISCUSIÓN

El listado taxonómico que se obtuvo (Cuadro 1) representa una importante adición al conocimiento de los hongos para el municipio de Huixquilucan y para el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, ya que los trabajos sobre estos organismos en dichos lugares son muy escasos. El programa de manejo del parque, que fue presentado

por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) en 2019 (CONANP, 2019) contempla únicamente la flora y la fauna, y deja de lado a la microbiota. Sobre los hongos solamente se hace alusión a su recolecta como alimento y como parte de las áreas de bosque de pino, aun cuando estos organismos también están presentes en bosque de oyamel.

En el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, Valenzuela et al. (2004) reportaron 14 especies de macromicetos sobre *Abies religiosa*, de las cuales tres especies se registraron en el presente estudio (*Tricholomopsis rutilans* (Schaeff.) Singer, *Climacocystis borealis* (Fr.) Kotl. & Pozar y *Calocera macrospora* Brasf.), así como cuatro géneros (*Hypholoma* (Fr.) P. Kumm., *Gloeophyllum* P. Karst., *Heterobasidion* Masee y *Pseudohydnum* P. Karst.). Por ello, se están añadiendo al menos 42 géneros y 24 especies de macromicetos al listado de hongos de este Parque Nacional. Lo anterior deja en claro que la diversidad fúngica en el lugar es muy alta (Fig. 2) y faltan zonas por explorar.

Los hongos causantes de la pudrición blanca fueron los mejor representados. Lo anterior se debe, quizá, a su alta capacidad enzimática para degradar la madera, a que muchos de ellos están reportados como colonizadores primarios y a que en casi todas las etapas de descomposición aparecen como un grupo dominante en comparación con otros hongos degradadores de la madera (Renvall, 1995; Kuhad et al., 2013; Fukasawa, 2021).

El microambiente que se genera dentro de la madera caída presenta grandes variaciones de temperatura y pH. Si bien no obtuvimos asociaciones significativas en cuanto a esas variables y los macromicetos, sí identificamos algunas tendencias. Por ejemplo, un ligero incremento de riqueza







**Figura 2:** Diversidad de macromicetos degradadores de madera de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. A. *Calyptella* sp.; B. *Dacrymyces chrysospermus* Berk. & M.A. Curtis; C. *Heterotextus* sp.; D. *Trichaptum abietinum* (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarden; E. *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.; F. *Apioperdon pyriforme* Schaeff. Crédito de las fotos: Daniela Guzmán.

**Cuadro 2:** Variables ecológicas en la producción de esporomas de hongos degradadores de madera de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. en el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, Huixquilucan, Estado de México, México. AA: Abundancia absoluta; AR: Abundancia relativa; FT: Frecuencia temporal; FTR: Frecuencia temporal relativa. \*especies muy abundantes; \*\*especies abundantes; \*\*\*especies escasas; \*\*\*\* especies raras.

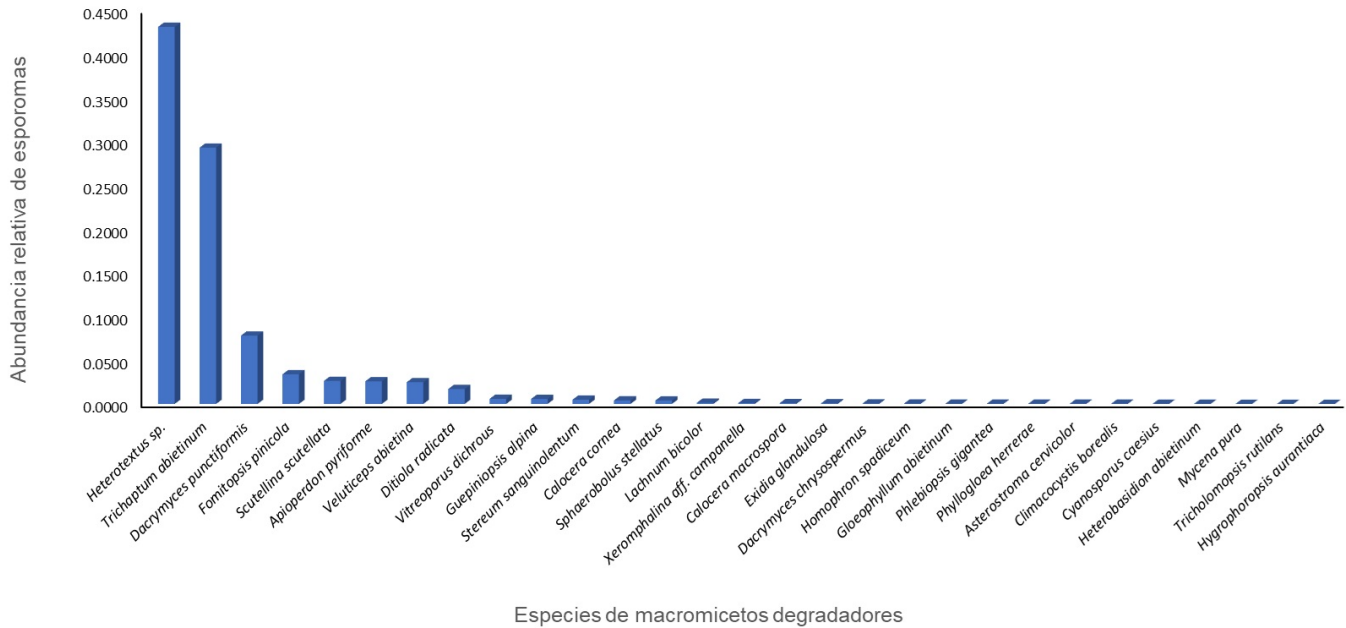
Especie	AA	AR	FT	FTR
* <i>Heterotextus</i> sp.	8620	0.4313	0.6	0.17
* <i>Trichaptum abietinum</i> (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarden	5858	0.2931	1	0.43
* <i>Dacrymyces punctiformis</i> Neuhoff	1563	0.0782	1	0.29
** <i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	677	0.0339	1	0.44
** <i>Scutellina scutellata</i> (L.) Lambotte	526	0.0263	1	0.31
** <i>Apioperdon pyriforme</i> Schaeff.	518	0.0259	0.2	0.03
** <i>Veluticeps abietina</i> (Pers.) Hjortstam & Tellería	497	0.0249	1	0.19
** <i>Ditiola radicata</i> (Alb. & Schwein.) Fr.	341	0.0171	1	0.16
** <i>Vitreoporus dichrous</i> (Fr.) Zmitr.	117	0.0059	0.2	0.02
** <i>Guepiniopsis alpina</i> (Tracy & Earle) Braasf.	114	0.0057	0.2	0.01
*** <i>Stereum sanguinolentum</i> (Alb. & Schwein) Fr.	97	0.0049	0.4	0.05
*** <i>Calocera cornea</i> (Batsch) Fr.	81	0.0041	0.2	0.03
*** <i>Sphaerobolus stellatus</i> Tode	79	0.0040	0.4	0.04
*** <i>Lachnum bicolor</i> (Bull.) P. Karst.	27	0.0014	0.4	0.02
*** <i>Xeromphalina aff. campanella</i>	20	0.0010	0.6	0.08
*** <i>Calocera macrospora</i> Brasf.	19	0.0010	0.2	0.01
*** <i>Exidia glandulosa</i> (Bull.) Fr.	15	0.0008	0.2	0.01
*** <i>Dacrymyces chrysospermus</i> Berk. & M.A. Curtis	11	0.0006	0.4	0.02
**** <i>Homophron spadiceum</i> (P. Kumm.) Örstadius & E. Larss.	8	0.0004	0.2	0.01
**** <i>Gloeophyllum abietinum</i> (Bull.) P. Karst.	6	0.0003	0.2	0.02
**** <i>Phlebiopsis gigantea</i> (Fr.) Jülich	6	0.0003	0.4	0.02
**** <i>Phyllogloea herrerae</i> S. Sierra & Cifuentes	6	0.0003	0.4	0.02
**** <i>Asterostroma cervicolor</i> (Berk. & M.A. Curtis) Massee	5	0.0003	0.4	0.04
**** <i>Climacocystis borealis</i> (Fr.) Kotl. & Pozar	5	0.0003	0.4	0.02
**** <i>Cyanosporus caesius</i> (Schrad.) McGinty	3	0.0002	0.4	0.02
**** <i>Heterobasidion abietinum</i> Niemelä & Korhonen	3	0.0002	0.4	0.02
**** <i>Mycena pura</i> (Pers.) P. Kumm.	1	0.0001	0.2	0.01
**** <i>Tricholomopsis rutilans</i> (Schaeff.) Singer	1	0.0001	0.2	0.01
**** <i>Hygrophoropsis aurantiaca</i> (Wulfren) Maire	1	0.0001	0.2	0.01

(hasta nueve géneros) y abundancia (hasta 4200 esporomas) cuando el pH es igual a 7, y mayor abundancia de esporomas cuando la temperatura es igual a 12 °C (hasta 4200 esporomas). Otros estudios (Müller et al., 2020; Li et al., 2022) sí reportan la influencia del microambiente en la comunidad fúngica, como la influencia del pH en la estructura de la comunidad y mayor actividad de enzimas fúngicas en pH bajos (3-5). También una adaptación de diferen-

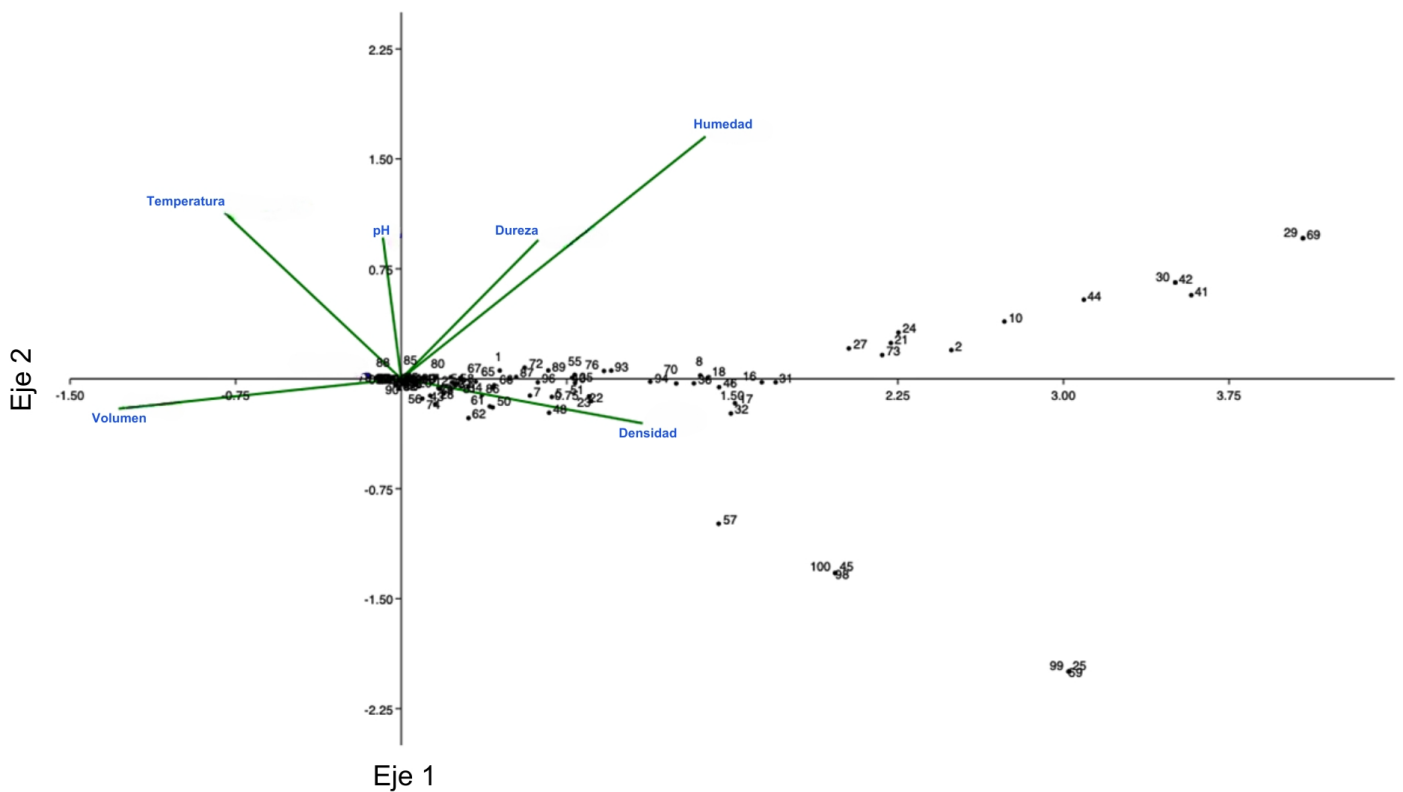
tes hongos a las distintas temperaturas que se presentan en lugares donde el dosel está abierto o en dosel cerrado y sombreado (Krah et al., 2018).

La riqueza y diversidad están influenciadas por la densidad, lo que refleja indirectamente el proceso de descomposición. En el presente trabajo en el ACC la variable densidad explica 99% de la varianza de los datos. Por lo general los troncos recién caídos son más densos y están





**Figura 3:** Abundancia relativa de esporomas de hongos degradadores de madera de *Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. & Cham. en el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, Huixquilucan, Estado de México, México.



**Figura 4:** Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) entre las variables físicas y microambientales con la riqueza y diversidad de especies de macromicetos en madera de *Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. & Cham. en el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, Huixquilucan, Estado de México, México.



poco descompuestos, por lo que contienen una baja humedad; por el contrario, los troncos menos densos y que están más descompuestos tienen mayores contenidos de humedad (Mäkinen et al., 2006). La relación entre densidad y humedad ya ha sido reportada en diferentes estudios (Christensen y Vesterdal, 2003; Fukasawa et al., 2009; Rajala et al., 2012; Shorohova et al., 2022) y se explica porque al avanzar el proceso de descomposición se crean espacios vacíos dentro de la madera y al ser ésta un material higroscópico, se almacena cada vez más agua en dichos espacios (Flournoy et al., 1991; Rawat et al., 1998; Karppanen et al., 2008). También se sabe que los cambios en el contenido de humedad pueden deberse a los cambios en la composición química y al agua que producen los hongos como resultado de la respiración fúngica (Thybring, 2017).

La dureza de la madera utilizando el método del cuchillo como un criterio para establecer etapas de la desintegración de la madera es una metodología que ha sido empleada por muchos años para los sistemas de clasificación de etapas de descomposición de la madera en estudios de plantas, animales y hongos que la habitan (Söderström, 1988; Renvall, 1995; Stokland, 2001; Heilmann-Clausen y Christensen, 2003; Pouska et al., 2011; Purahong et al., 2016). Sin embargo, se ha considerado como una variable cualitativa y susceptible a subjetividad humana, pues la suavidad de la madera no refleja por sí sola el proceso de descomposición (Grove et al., 2011). En nuestro estudio la mayor riqueza y diversidad de hongos se encuentra en aquellos troncos con menor dureza, lo cual corresponde a los troncos que presentan una menor densidad y alta humedad; por lo cual el método del cuchillo da un buen acercamiento de que en las etapas de mayor desintegración existe más cantidad de especies fúngicas.

## Conclusiones

La madera caída de *Abies religiosa* alberga una alta diversidad de macromicetos degradadores. El proceso de descomposición de sus troncos y la riqueza y diversidad de esporomas está influenciado, principalmente, por la humedad, la dureza y la densidad de su madera. Con la presente contribución se registran por primera vez para el municipio

Huixquilucan 27 especies, de las cuales 24 son nuevos registros de hongos descomponedores en *A. religiosa* para el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla.

## Contribución de autores

DA e IR concibieron, diseñaron el estudio, tomaron datos en campo y redactaron el manuscrito. DA y SS se encargaron de la revisión taxonómica de macromicetos. DA, IR y CA analizaron e interpretaron los resultados. Todos los autores contribuyeron a la discusión, revisión y aprobación del manuscrito final.

## Financiamiento

Este estudio fue apoyado por Consejo Mexiquense de Ciencias y Tecnología (COMECyT), particularmente por el programa Estancias de Investigación Especializadas COMECyT-EDOMEX, con el número de beca EESP2021-0001, a la primera autora.

## Agradecimientos

Se agradece a Ián Alberto Lazcano Sánchez, Jorge Alberto Argueta González, Marilyn Adela Cayetano Calzado, Agapcel Felipe Martínez Rodríguez, Areli Elizabeth González Mendoza y Jesús Villa Cesareo, por el apoyo en el trabajo de campo y recolección de datos.

## Literatura citada

- Alshammari, N., F. Ameen, M. D. F. AlKahtani y S. Stephenson. 2021. Characterizing the assemblage of wood-decay fungi in the forests of northwest Arkansas. *Journal of Fungi* 7(4): 309. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof7040309>
- Argüelles-Moyao, A., M. Benítez, A. E. Escalante y R. Garibay-Orijel. 2022. Unipartite and bipartite mycorrhizal networks of *Abies religiosa* forests: Incorporating network theory into applied ecology of conifer species and forest management. *Ecological Complexity* 50: 101002. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2022.101002>
- Argüelles-Moyao, A. y R. Garibay-Orijel. 2018. Ectomycorrhizal fungal communities in high mountain conifer forests in central Mexico and their potential use in the assisted migration of *Abies religiosa*. *Micorrhiza* 28: 509-521. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0841-0>



- Arnstadt, T., B. Hoppe, T. Kahl, H. Kellner, D. Krüger, J. Bauhus y M. Hofrichter. 2016. Dynamics of fungal community composition, decomposition and resulting deadwood properties in logs of *Fagus sylvatica*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management* 382: 129-142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.004>
- Brabcová, V., V. Tláškal, C. Lepinay, P. Zrůstová, I. Eichlerová, M. Štursová, J. Müller, R. Brandl, C. Bässler y P. Baldrian. 2022. Fungal Community Development in Decomposing Fine Deadwood Is Largely Affected by Microclimate. *Frontiers in Microbiology* 13: 835274. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.835274>
- Christensen, M. y L. Vesterdal. 2003. Physical and chemical properties of decaying beech wood in two Danish forest reserves. Nat-Man Working Report 24. University of Copenhagen. Copenhagen, Dinamarca. [https://static-curis.ku.dk/portal/files/49741933/working\\_report\\_24.pdf](https://static-curis.ku.dk/portal/files/49741933/working_report_24.pdf) (consultado enero, 2024).
- CONANP. 2019. Programa de manejo del Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Ciudad de México, México. [PMInsurgenteMiguelHidalgoYCostilla.pdf](https://static-curis.ku.dk/portal/files/49741933/working_report_24.pdf) ([conanp.gob.mx](https://static-curis.ku.dk/portal/files/49741933/working_report_24.pdf)) (consultado enero, 2024).
- Contreras-Pacheco, M. M., A. Argüelles-Moyao y R. Garibay-Orijel. 2018. Nuevos registros de hongos corticioides asociados a *Abies religiosa* del Estado de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89(1): 1-14. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.1605>
- Dighton, J. y J. F. White. 2017. The fungal community: its organization and role in the ecosystem. CRC Press. 4th ed. Boca Raton, EUA. 597 pp. DOI: <http://doi.org/10.1201/9781315119496>
- Floudas, D., M. Binder, R. Riley, K. Barry, R. A. Blanchette, B. Henrissat, A. T. Martínez, R. Otilas, J. W. Spatafora, J. S. Yadav, A. Aerts, I. Benoit, A. Boyd, A. Carlson, A. Copeland, P. M. Coutinho, R. P. de Vries, P. Ferreira, K. Findley, B. Foster, J. Gaskell, D. Glotzer, P. Górecki, J. Heitman, C. Hesse, C. Hori, K. Igarashi, J. A. Jurgens, N. Kallen, P. Kersten, A. Kohler, U. Kües, T. K. A. Kumar, A. Kuo, K. LaButti, L. s F. Larrondo, E. Lindquist, A. Ling, V. Lombard, S. Lucas, T. Lundell, R. Martin, D. J. McLaughlin, I. Morgenstern, E. Morin, C. Murat, L. G. Nagy, M. Nolan, R. A. Ohm, A. Patyshakuliyeva, A. Rokas, F. J. Ruiz-Dueñas, G. Sabat, A. Salamov, M. Samejima, J. Schmutz, J. C. Slot, F. St. John, J. Stenlid, H. Sun, S. Sun, K. Syed, A. Tsang, A. Wiebenga, D. Young, A. Pisabarro, D. C. Eastwood, F. Martin, D. Cullen, I. V. Grigoriev y D. S. Hibbett. 2012. The Paleozoic origin of enzymatic lignin decomposition reconstructed from 31 fungal genomes. *Science* 336(6089): 1715-1719. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1221748>
- Flournoy, D. S., T. K. Kirk y T. L. Highley. 1991. Wood Decay by Brown-Rot Fungi: Changes in Pore Structure and Cell Wall Volume. *Holzforschung* 45: 383-388. DOI: <https://doi.org/10.1515/hfsg.1991.45.5.383>
- Fukasawa, Y. 2021. Ecological impacts of fungal wood decay types: A review of current knowledge and future research directions. *Ecological Research* 36(6): 910-931. DOI: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12260><https://doi.org/10.1111/1440-1703.12260>
- Fukasawa, Y., T. Osono y H. Takeda. 2009. Dynamics of physicochemical properties and occurrence of fungal fruit bodies during decomposition of coarse woody debris of *Fagus crenata*. *Journal of Forest Research* 14(1): 20-29. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10310-008-0098-0>
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. Editorial Laros. México, D.F., México. 217 pp.
- Garibay-Orijel, R., M. Martínez-Ramos y J. Cifuentes. 2009. Disponibilidad de esporomas de hongos comestibles en los bosques de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80(2): 521-534. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2009.002.615>
- Gilbertson, R. L. 1980. Wood-rotting fungi of North America. *Mycologia* 72(1): 149. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.1980.12021153>
- Google Earth. 2023. Google Earth ver. 10.41.2.1. <https://www.google.com.mx/earth/> (consultado noviembre, 2023).
- Grove, S. J., L. Stamm y T. J. Wardlaw. 2011. How well does a log decay-class system capture the ecology of decomposition? - A case-study from Tasmanian *Eucalyptus obliqua* forest. *Forest Ecology and Management* 262(4): 692-700. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.05.005>
- Hammer, Ø., D. A. T. Harper y P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 1-9.



- Heilmann-Clausen, J. y M. Christensen. 2003. Fungal diversity on decaying beech logs – implications for sustainable forestry. *Biodiversity & Conservation* 12: 953-973. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1022825809503>
- Hoppe, B., W. Purahong, T. Wubet, T. Kahl, J. Bauhus, T. Arnstadt, M. Hofrichter, F. Buscot y D. Krüger. 2016. Linking molecular deadwood-inhabiting fungal diversity and community dynamics to ecosystem functions and processes in Central European forests. *Fungal Diversity* 77: 367-379. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13225-015-0341-x>
- Index Fungorum. 2023. Index fungorum base de datos. [www.indexfungorum.org](http://www.indexfungorum.org) (consultado noviembre, 2023).
- Karppanen, O., M. Venäläinen, A. M. Harju y T. Laakso. 2008. The effect of brown-rot decay on water adsorption and chemical composition of Scots pine heartwood. *Annals of Forest Science* 65: 610. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2008035>
- Krah, F. S., S. Seibold, R. Brandl, P. Baldrian, J. Müller y C. Bässler. 2018. Independent effects of host and environment on the diversity of wood-inhabiting fungi. *Journal of Ecology* 106(4): 1428-1442. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12939>
- Kruys, N., C. Fries, B. G. Jonsson, T. Lämås y G. Ståhl. 1999. Wood-inhabiting cryptogams on dead Norway spruce (*Picea abies*) trees in managed Swedish boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* 29(2): 178-186. DOI: <https://doi.org/10.1139/x98-191>
- Kubartová, A., E. Ottosson y J. Stenlid. 2015. Linking fungal communities to wood density loss after 12 years of log decay. *FEMS Microbiology Ecology* 91(5): fiv032. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiv032>
- Kuhad, R. C., S. Kuhar, S. K. K. Sharma y B. Shrivastava. 2013. Microorganisms and Enzymes Involved in Lignin Degradation Vis-à-vis Production of Nutritionally Rich Animal Feed: An Overview. In: Kuhad, R. y A. Singh (eds.). *Biotechnology for Environmental Management and Resource Recovery*. Springer. Chennai, India. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-81-322-0876-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-81-322-0876-1_1)
- Lee, M. R., B. Oberle, W. Olivas, D. F. Young y A. E. Zanne. 2020. Wood construction more strongly shapes deadwood microbial communities than spatial location over 5 years of decay. *Environmental Microbiology* 22(11): 4702-4717. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15212>
- Li, T., L. Cui, X. Song, X. Cui, Y. Wei, L. Tang, Y. Mu y Z. Xu. 2022. Wood decay fungi: an analysis of worldwide research. *Journal of Soils and Sediments* 22(6): 1688-1702. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03225-9>
- Mäkinen, H., J. Hynynen, J. Siitonen y R. Sievänen. 2006. Predicting the decomposition of Scots pine, Norway spruce, and birch stems in Finland. *Ecological Applications* 16(5): 1865-1879. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1865:PTDOSP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1865:PTDOSP]2.0.CO;2)
- McNabb, R. F. R. 1973. Taxonomic studies in the Dacrymycetaceae VIII. *Dacrymyces* Nees ex Fries. *New Zealand Journal of Botany* 11(3): 461-524. DOI: <https://doi.org/10.1080/0028825X.1973.10430296>
- Müller, J., M. Ulyshen, S. Seibold, M. Cadotte, A. Chao, C. Bässler, S. Vogel, J. Hagge, I. Weiß, P. Baldrian, V. Tláškal y S. Thorn. 2020. Primary determinants of communities in deadwood vary among taxa but are regionally consistent. *Oikos* 129(10): 1579-1588. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.07335>
- Nordén, B., M. Ryberg, F. Götmark y B. Olausson. 2004. Relative importance of coarse and fine woody debris for the diversity of wood-inhabiting fungi in temperate broadleaf forests. *Biological Conservation* 117(1): 1-10. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00235-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00235-0)
- Núñez, C. E. 2007. Relaciones de conversión entre densidad básica y densidad seca de madera. *Revista de Ciencia y Tecnología* 9(1): 44-50. <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/594> (consultado julio, 2022).
- Oberle, B., K. Dunham, A. M. Milo, M. Walton, D. F. Young y A. E. Zanne. 2014. Progressive, idiosyncratic changes in wood hardness during decay: Implications for dead wood inventory and cycling. *Forest Ecology and Management* 323: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.026>
- Osono, T. 2007. Ecology of ligninolytic fungi associated with leaf litter decomposition. *Ecological Research* 22(6): 955-974. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-007-0390-z>
- Pawlik, A., M. Ruminowicz-Stefaniuk, M. Frąc, A. Mazur, J. Wielbo y G. Janusz. 2019. The wood decay fungus *Cerrena unicolor* adjusts its metabolism to grow on various types of wood and light conditions. *PLoS One* 14(2): e0211744. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211744>



- Penttilä, R., J. Siitonen y M. Kuusinen. 2004. Polypore diversity in managed and old-growth boreal *Picea abies* forests in southern Finland. *Biological Conservation* 117(3): 271-283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.12.007>
- Pouska, V., J. Lepš, M. Svoboda y A. Lepšová. 2011. How do log characteristics influence the occurrence of wood fungi in a mountain spruce forest? *Fungal Ecology* 4(3): 201-209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2010.11.004>
- Purahong, W., T. Arnstadt, T. Kahl, J. Bauhus, H. Kellner, M. Hofrichter, D. Krüger, F. Buscot y B. Hoppe. 2016. Are correlations between deadwood fungal community structure, wood physico-chemical properties and lignin-modifying enzymes stable across different geographical regions? *Fungal Ecology* 22: 98-105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2016.01.002>
- Rajala, T., M. Peltoniemi, T. Pennanen y R. Mäkipää. 2012. Fungal community dynamics in relation to substrate quality of decaying Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) logs in boreal forests. *FEMS Microbiology Ecology* 81(2): 494-505. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2012.01376.x>
- Rajala, T., T. Tuomivirta, T. Pennanen y R. Mäkipää. 2015. Habitat models of wood-inhabiting fungi along a decay gradient of Norway spruce logs. *Fungal Ecology* 18: 48-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.08.007>
- Rawat, S. P. S., D. P. Khali, M. D. Hale y M. C. Breese. 1998. Studies on the moisture adsorption behaviour of brown rot decayed and undecayed wood blocks of *Pinus sylvestris* using the Brunauer-Emmett-Teller Theory. *Holzforschung* 52: 463-466. DOI: <https://doi.org/10.1515/hfsg.1998.52.5.463>
- Renvall, P. 1995. Community structure and dynamics of wood-rotting Basidiomycetes on decomposing conifer trunks in northern Finland. *Karstenia* 35(1): 1-51. DOI: <https://doi.org/10.29203/ka.1995.309>
- Riley, R., A. A. Salamov, D. W. Brown, L. G. Nagy, D. Floudas, B. W. Held, A. Lvasseur, V. Lombard, E. Morin, R. Otilar, E. A. Lindquist, H. Sun, K. M. LaButti, J. Schmutz, D. Jabbour, H. Luo, S. E. Baker, A. G. Pisabarro, J. D. Walton, R. A. Blanchette, B. Henrissat, F. Martin, D. Cullen, D. S. Hibbett e I. V. Grigoriev. 2014. Extensive sampling of basidiomycete genomes demonstrates inadequacy of the white-rot/brown-rot paradigm for wood decay fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(27): 9923-9928. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1400592111>
- Rodríguez-Gutiérrez, I., R. Garibay-Orijel, B. Santiago-Morales y R. Lindig-Cisneros. 2020. Comparación entre las abundancias de esporomas y ectomicorrizas del género *Laccaria* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91: e913340. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3340>
- Rolstad, J., M. Sætersdal, I. Gjerde y K. O. Storaunet. 2004. Wood-decaying fungi in boreal forest: are species richness and abundances influenced by small-scale spatiotemporal distribution of dead wood? *Biological Conservation* 117(5): 539-555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.09.008>
- Schmidt, O. 2006. *Wood and Tree Fungi*. Springer. Berlin Heidelberg, Alemania. 334 pp. DOI: <https://doi.org/10.1007/3-540-32139-X>
- Schwarze, F. W. M., J. Engels y C. Mattheck. 2000. *Fungal Strategies of Wood Decay in Trees*. Springer. Berlin, Heidelberg, Alemania. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-57302-6>
- Shirouzu, T., D. Hirose y S. Tokumasu. 2009. Taxonomic study of the Japanese Dacrymycetes. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi* 23(1): 16-34. DOI: <https://doi.org/10.3767/003158509X468443>
- Shorohova, E., E. Kapitsa, A. Kuznetsov, S. Kuznetsova, V. Lopes de Gerenyu, V. Kaganov e I. Kurganova. 2022. Coarse woody debris density and carbon concentration by decay classes in mixed montane wet tropical forests. *Biotropica* 54(3): 635-644. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.13077>
- Sierra, S. y J. Cifuentes. 2005. A new species of *Dacryopinax* from Mexico. *Mycotaxon* 92: 243-250.
- Siitonen, J., P. Martikainen, P. Punttila y J. Rauh. 2000. Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old-growth boreal mesic forests in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 128(3): 211-225. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00148-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00148-6)
- Sippola, A. L. y P. Renvall. 1999. Wood-decomposing fungi and seed-tree cutting: a 40-year perspective. *Forest Ecology and Management* 115(2-3): 183-201. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00398-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00398-3)
- Söderström, L. 1988. Sequence of bryophytes and lichens in relation to substrate variables of decaying coniferous wood in northern Sweden. *Nordic Journal of Botany* 8(1): 89-97. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1988.tb01709.x>



- Song, Z., A. Vail, M. J. Sadowsky y J. S. Schilling. 2012. Competition between two wood-degrading fungi with distinct influences on residues. *FEMS Microbiology Ecology* 79(1): 109-117. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01201.x>
- Stokland, J. N. 2001. The coarse woody debris profile: an archive of recent forest history and an important biodiversity indicator. *Ecological Bulletins* 49: 71-83.
- Stokland, J. N., J. Siitonen y B. G. Jonsson. 2012. Biodiversity in dead wood. Cambridge University Press. Cambridge, UK. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025843>
- Thybring, E. E. 2017. Water relations in untreated and modified wood under brown-rot and white-rot decay. *International Biodeterioration & Biodegradation* 118: 134-142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.01.034>
- Valencia Manzo, S. y J. V. Hernández. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques* 3(1): 81-87. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.1997.311381>
- Valenzuela, R., T. Raymundo y M. R. Palacios. 2004. Macromicetos que crecen sobre *Abies religiosa* en el Eje Neovolcánico Transversal. *Polibotánica* 18(9): 33-51.
- Wen, W., W. Zhang, S. He, H. Hu, H. Qiao, X. Wang, N. Rao y J. Yuan. 2023. The Classification of Log Decay Classes and an Analysis of Their Physical and Chemical Characteristics Based on Artificial Neural Networks and K-Means Clustering. *Forests* 14(4): 852. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14040852>
- Yang, S., J. Limpens, F. J. Sterck, U. Sass-Klaassen, J. H. C. Cornelissen, M. Hefting, R. S. P. van Logtestijn, L. Goudzwaard, N. Dam, M. Dam, M. T. Veerkamp, B. van den Berg, E. Brouwer, C. Chang y L. Poorter. 2021. Dead wood diversity promotes fungal diversity. *Oikos* 130(12): 2202-2216. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.08388>

