



Re-examining forest health amid changing environments: Fungal diseases in Philippine forests

Reevaluación de la salud forestal ante los cambios ambientales: Enfermedades fúngicas en los bosques de Filipinas

Jessa P. Ata

University of the Philippines Los Baños, Department of Forest Biological Sciences.
College, Laguna 4031, Philippines. E-mail: jpata@up.edu.ph.

Abstract

Introduction. Environmental changes, particularly climate, influence forest disease occurrences which could create a new challenge to many tropical forest ecosystems.

Objective. To analyze the current state of knowledge on forest fungal diseases in the Philippines to assess their vulnerability.

Materials and methods. Data was obtained from academic citation databases, Web of Science and Scopus. Search strings used were “tree AND disease AND Philippines”, “tree AND disease AND Philippines AND forest*” and “tree AND disease AND Philippines AND fung*.” No limit was set for the publication year. Only literature in the English language was considered (n = 511).

Results. Several disease outbreaks caused by fungal pathogens have been documented in Philippine forests and tree plantations since the 19th century. Considering worldwide patterns, certain fungal diseases may become more severe as a result of climate change. This is particularly concerning in the Philippines as the climate conditions have been projected to be highly conducive for numerous tropical pathogens.

Conclusions. Existing disease management practices in the Philippines should be enhanced to adopt a more proactive approach. Integrating innovative forest health management approaches into key aspects of forest management can deliver significant benefits in a dynamic, multi-stakeholder Philippine forestry system.

Keywords: climate change, disease management, forest pathogens, tree plantations, tropical forests.

Resumen

Introducción. Los cambios ambientales, particularmente los climáticos, influyen en la aparición de enfermedades forestales, lo que podría representar un nuevo desafío para muchos ecosistemas tropicales.

Objetivo. Analizar el estado actual del conocimiento acerca de las enfermedades fúngicas de los bosques en Filipinas con el fin de evaluar su vulnerabilidad.

Materiales y métodos. Los datos se recopilaron a partir de las bases académicas Web of Science y Scopus. Las cadenas de búsqueda utilizadas fueron “tree AND disease AND Philippines”, “tree AND disease AND Philippines AND forest*” y “tree AND disease AND Philippines AND fung*.” No se estableció un límite de año de publicación y solo se consideró literatura en inglés (n = 511).

Resultados. En Filipinas, desde el siglo XIX se han documentado varios brotes de enfermedades causadas por patógenos fúngicos en bosques y plantaciones forestales. De acuerdo con los patrones a nivel mundial, ciertas enfermedades fúngicas pueden agravarse como resultado del cambio climático. Esto es particularmente preocupante, ya que se prevé que las condiciones climáticas en Filipinas sean propicias para la proliferación de diversos patógenos tropicales.

Conclusiones. Es necesario mejorar las estrategias actuales de manejo de enfermedades en Filipinas con un enfoque más anticipativo y proactivo. La incorporación de enfoques innovadores para el manejo de la salud de los ecosistemas arbóreos puede aportar beneficios significativos en un sistema dinámico y diverso.

Palabras clave: cambio climático, manejo de enfermedades, patógenos forestales, plantaciones forestales, bosques tropicales.

Please cite this article as follows (APA 7): Ata, J. P. (2025). Re-examining forest health amid changing environments: Fungal diseases in Philippine forests. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 31, e24026. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.08.026>



Introduction

Changes in the environment have spawned and emerging disease problems in forests worldwide (Ghelardini et al., 2016). Temperature and water stress spurred the activity of many endophytes, i.e., microorganisms that thrive asymptotically on host plants (Terhonen et al., 2019a), that turn pathogenic as they struggle to adjust to new environments (Langer et al., 2021; Schulz et al., 2015). For example, the most damaging fungal species in Botryosphaeriaceae are found to be part of the endophytic community in woody plants that rapidly cause disease after an onset of host stress (Batista et al., 2021). Similarly, established fungal pathogens that are resistant to abiotic stressors become more active resulting in disease severity and spread. This was the case of warm temperature-adapted *Heterobasidion* sp. root pathogens that infected and caused mortality to new host trees under drought (Gomez-Gallego et al., 2022; Terhonen et al., 2019b). With climate change favoring many native and alien forest pathogens, disease forecasts generally point to a reduction of tree health as outbreaks become more severe and frequent (e.g., Contreras-Cornejo et al., 2023).

Philippine forests and managed landscapes have had a fair share of tree diseases and epiphytotics (Eusebio, 1998). The earliest yet sporadic published records of forest disease occurrences in the country could be traced back to 1890s during the onslaught of leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) on coffee that was introduced to the Philippines (Eusebio, 1998) followed by seedling damage due to damping-off in the 1920-30s (Kobayashi & de Guzman, 1988ab). Decades later, a survey from 1977 to 1985 by Kobayashi and de Guzman (1988ab) showed a diverse set of diseases occurring on natural forests, plantations, and forest nurseries in different regions of the country. Epiphytotics in Philippine forestry mostly occurred on monoculture plantations of non-native species which became increasingly extensive to meet increased demand for wood and fiber needed for construction and paper production (Philippine Council for Agriculture, Forestry and Natural Resources Research and Development [PCAARRD], 2015). For example, canker and gall rust (*Uromycladium falcatariae* Doungsa-ard, McTaggart & R. G. Shivas) diseases were two epidemic outbreaks caused by fungal pathogens that devastated large plantations and nurseries of *Falcataria falcata* (L.) Greuter & R. Rankin (Eusebio, 1998), a fast-growing non-native tree species commonly planted in Mindanao for pulp and paper production.

Fungal pathogens are equipped with a variety of evolutionary tools that enable them to transition from saprophytic to pathogenic and to overcome plant defenses (Masi et al., 2018), making these species highly efficient parasites. Fungal reproduction,

Introducción

Los cambios en el ambiente han generado problemas sanitarios forestales a nivel mundial (Ghelardini et al., 2016). La temperatura y el estrés hídrico estimularon la actividad de muchos endófitos; es decir, microorganismos que prosperan de forma asintomática en plantas hospedadoras (Terhonen et al., 2019a) y que se vuelven patógenos a medida que estas luchan por adaptarse a nuevos entornos (Langer et al., 2021; Schulz et al., 2015). Por ejemplo, algunas de las especies fúngicas más dañinas de la familia Botryosphaeriaceae forman parte de la comunidad endofítica en plantas leñosas y provocan enfermedades rápidamente tras la aparición del estrés en el hospedador (Batista et al., 2021). Del mismo modo, los patógenos fúngicos establecidos, que son resistentes a factores de estrés abióticos, se vuelven más activos, lo que resulta en empeoramiento y propagación de enfermedades. Este fue el caso de los patógenos de raíz *Heterobasidion* sp., adaptados a temperaturas cálidas, que infectaron y causaron la muerte de nuevos árboles hospedadores durante los períodos de sequía (Gomez-Gallego et al., 2022; Terhonen et al., 2019b). Dado que el cambio climático favorece la proliferación de diversos patógenos forestales nativos y exóticos, se prevé disminución en la salud de los árboles, debido al aumento en la intensidad y frecuencia de los brotes (e.g., Contreras-Cornejo et al., 2023).

Los bosques y paisajes gestionados de Filipinas han sufrido las consecuencias de numerosas enfermedades arbóreas y epidemias (Eusebio, 1998). Los primeros registros publicados, aunque esporádicos, sobre la aparición de enfermedades forestales en el país se remontan a 1890, durante la plaga de roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) del café, especie introducida en Filipinas (Eusebio, 1998), seguido por daños en plántulas debido al marchitamiento entre las décadas de 1920 y 1930 (Kobayashi & de Guzman, 1988ab). Décadas más tarde, un estudio realizado entre 1977 y 1985 por Kobayashi y de Guzman (1988ab) evidenció diversidad amplia de enfermedades en bosques naturales, plantaciones y viveros forestales en varias regiones del país. La epifitotia en la silvicultura filipina se presentó principalmente en plantaciones mono-específicas de especies no nativas, las cuales se expandieron considerablemente para satisfacer la demanda creciente de madera y fibra destinadas a la construcción y producción de papel (Philippine Council for Agriculture, Forestry and Natural Resources Research and Development [PCAARRD], 2015). Por ejemplo, la enfermedad de chancro y roya de agallas (*Uromycladium falcatariae* Doungsa-ard, McTaggart & R. G. Shivas) fueron dos brotes epidémicos causados por patógenos fúngicos que devastaron grandes plantaciones y viveros de *Falcataria falcata* (L.) Greuter & R. Rankin (Eusebio, 1998), una especie arbórea no nativa de crecimiento rápido comúnmente cultivada en Mindanao para la producción de pulpa y papel.

both asexual and sexual, may further act to expand disease outbreaks by introducing and spreading novel hypervirulent strains (Ashu & Xu, 2015). Additionally, environmental modifications due to human activity only exacerbate pathogen spread and may accelerate evolution of virulence (Burgess et al., 2022). In the Philippines, Kobayashi and de Guzman (1988ab) noted 81 pathogenic fungi infecting about 65 hosts out of 85 taxonomically identified forest pathogens on 72 woody plants. Among these, 44 asexual morph species (i.e., species with unknown sexual state) of Ascomycota and Basidiomycota dominated the group. Although the list of tree pathogenic fungi in the country has expanded since then, many of these pathogens remain largely understudied.

As the Philippines experiences a much warmer climate with projections of seasonal heavy rainfall and drought (Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration [PAGASA], 2022), the impact on forest health under such conditions needs to be carefully examined. Furthermore, a better understanding of forest diseases in the Philippines will help assess the potential effects of environmental changes, particularly climate, on forest health in the country. This paper revisits the current state of knowledge on forest diseases in the Philippines with a specific focus on diseases caused by fungal pathogens to assess the vulnerability of Philippine forests to known foliar, stem and root diseases. Drawing from emerging forest disease trends worldwide, this paper also presents an assessment of forest health in the country and discusses its implications to forest management.

Materials and methods

This paper reviews the current knowledge of important forest diseases. Forest diseases in the Philippines were categorized based on the location of symptomatic tissue within the tree (foliage, stem, and roots). The study specifically focuses on diseases caused by fungal pathogens mostly occurring on economically important forest tree species. This review was initially conducted according to the Reporting Standards for Systematic Evidence Syntheses (ROSES; Haddaway et al., 2018). Data was obtained from two academic citation databases, Web of Science and Scopus. Search strings used were “tree AND disease AND Philippines”, “tree AND disease AND Philippines AND forest*” and “tree AND disease AND Philippines AND fung*.” No limit was set for the publication year. Only literature in the English language from all publication years recorded in the database was considered (n = 511). Search results not related to fungal diseases of forest plants in the Philippines were eliminated. Removing duplicates and title and abstract screening further narrowed down the search results to 14. Thus,

Los patógenos fúngicos cuentan con diversas herramientas evolutivas que les permiten pasar de un estado saprofito a patogénico y vencer las defensas de las plantas (Masi et al., 2018), lo que los convierte en parásitos altamente eficientes. La reproducción fúngica, tanto asexual como sexual, puede contribuir a la propagación de brotes de enfermedades al introducir y dispersar nuevas cepas hipervirulentas (Ashu & Xu, 2015); además, las modificaciones ambientales provocadas por la actividad humana solo agravan la propagación y pueden acelerar la evolución de su virulencia (Burgess et al., 2022). En Filipinas, Kobayashi y de Guzman (1988ab) reportaron 81 hongos patógenos que infectaron aproximadamente 65 organismos hospedadores, de un total de 85 patógenos forestales taxonómicamente identificados en 72 especies leñosas. Dentro de este grupo, predominan 44 especies con morfología asexual (es decir, especies con estado sexual desconocido) de Ascomycota y Basidiomycota. Aunque la lista de hongos patógenos se ha ampliado desde entonces, muchos de estos carecen de investigación.

Dado que en Filipinas se experimenta un clima cada vez más cálido, con proyecciones de lluvias estacionales intensas y períodos de sequía (Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration [PAGASA], 2022), es necesario examinar el impacto de estas condiciones cuidadosamente. Además, una mejor comprensión de las enfermedades forestales en Filipinas ayudará a evaluar los posibles efectos de los cambios ambientales, en particular del clima, sobre la salud forestal del país. Por ello, este artículo analiza el estado actual del conocimiento acerca de las enfermedades de los bosques en Filipinas, con un enfoque específico en aquellas causadas por patógenos fúngicos, con el fin de evaluar la vulnerabilidad ante enfermedades que afectan hojas, tallos y raíces. A partir de las tendencias emergentes en materia de enfermedades forestales a nivel mundial, este artículo presenta también una evaluación de la salud forestal en el país y analiza las implicaciones en el manejo forestal.

Materiales y métodos

Este artículo ofrece una revisión del conocimiento actual sobre las principales enfermedades. Las enfermedades forestales en Filipinas se categorizaron según la ubicación del tejido sintomático en el árbol (follaje, tallo y raíz). El estudio se enfocó específicamente en enfermedades causadas por patógenos fúngicos que afectan principalmente a especies forestales de importancia económica. Esta revisión se llevó a cabo inicialmente conforme a los estándares para reportar síntesis sistemáticas de evidencia (ROSES; Haddaway et al., 2018). Los datos se recopilaron a partir de dos bases académicas especializadas en citas: Web of Science and Scopus. Las cadenas de búsqueda utilizadas fueron “tree AND disease AND Philippines”, “tree AND disease

literature search was also performed at local libraries and websites of the University of the Philippines and the Ecosystems Research and Development Bureau (2022). Other literature was further researched using Google Scholar. Fungal taxonomic names were verified using Mycobank, Index Fungorum, and the Global Biodiversity Information Facility databases.

Results and discussion

Foliar Diseases

Foliage diseases primarily affect the photosynthetic ability of plants by reducing chlorophyll production and damaging active leaf tissues (Debona et al., 2014). The majority of the foliar diseases are caused by fungi of the phyla Ascomycota and Basidiomycota that develop short multiple infections within a year or only a single year-long infection (Ata et al., 2024). Spores from either sexual or asexual structures are typically transmitted via wind and/or water splashes (Jain et al., 2019). Symptoms include leaf spots, anthracnose, blights, discoloration, and defoliation (Eusebio, 1998; Pacho & Quimio, 2015). Although foliar diseases tend to be of minor importance, mortality can occur on small, understored and highly compromised stands. In a full-sib family trial of *Pinus strobus* L. with more than 4000 trees, the prolonged severe *Lophodermium* needle cast was found to have strong negative impact on tree growth ($r = -0.25$ to -0.62 ; $p < 0.05$) and survival ($r = -0.70$, $p < 0.001$; Jansons et al., 2020). Foliar fungal diseases may be more damaging to conifers than hardwoods, which re-foliate after the shedding season (Nguyen et al., 2016). In a seasonally dry forest in Panama, synchronized leaf shedding and flushing were significantly negatively correlated (adjusted $R^2 = 0.6$; $p = 0.02$) with the species richness of foliar pathogenic microfungi (*Asterina*, *Phyllacora* and *Puccinia*), suggesting a potential plant adaptation to reduce disease incidence (Piepenbring et al., 2015).

Not surprisingly, leaf and needle diseases are common in the Philippines due to the warm and humid climate. Approximately 72 fungal pathogens that cause foliar diseases have been recorded in the country (Figures 1 and 2, Table 1; Eusebio, 1998; Kobayashi & de Guzman, 1988a; Pacho & Quimio, 2015) which, except for occasional problems in forest nurseries and plantations, have only caused minor damage. Some causes may include leaf anatomy, age-associated resistance, and unfavorable environmental conditions (Lan et al., 2022; Smith et al., 2018; Wyka et al., 2017). Many of the most severe leaf diseases documented in the Philippines were also significant diseases in tropical and subtropical areas. The leaf rust outbreak in Philippine coffee plantations caused by *H. vastatrix* in the late 1800s led to a steep decline in coffee exports, from 16 million pounds to nearly zero (McCook, 2006).

AND Philippines AND forest**” and “tree AND disease AND Philippines AND fung*.” No se estableció un límite de año de publicación. Solo se consideró literatura en inglés correspondiente a todos los años registrados en las bases de datos ($n = 511$). Se eliminaron los resultados no relacionados con enfermedades fúngicas en Filipinas. Tras la eliminación de duplicados y una revisión de títulos y resúmenes, los resultados se redujeron a 14 publicaciones. Por ello, también se efectuó una búsqueda bibliográfica en bibliotecas locales y en los sitios web de la Universidad de Filipinas y del Ecosystems Research and Development Bureau (2022). Asimismo, se consultó literatura adicional mediante Google Scholar. Los nombres taxonómicos de los hongos se verificaron en las bases de datos Mycobank, Index Fungorum y Global Biodiversity Information Facility.

Resultados y discusión

Enfermedades foliares

Las enfermedades foliares afectan principalmente la capacidad fotosintética de las plantas, ya que reducen la producción de clorofila y dañar los tejidos activos de las hojas (Debona et al., 2014). La mayoría de estas enfermedades son causadas por hongos pertenecientes a los filos Ascomycota y Basidiomycota, las cuales desarrollan múltiples infecciones de duración corta en un mismo año o una sola infección prolongada durante todo el ciclo anual (Ata et al., 2024). Las esporas, tanto de estructuras sexuales como asexuales, suelen diseminarse a través del viento y salpicaduras de agua (Jain et al., 2019). Los síntomas comunes incluyen manchas foliares, antracnosis, tizones, decoloración y defoliación (Eusebio, 1998; Pacho & Quimio, 2015). Aunque las enfermedades foliares normalmente no son graves, pueden causar la muerte de rodales pequeños ubicados bajo el dosel y con un grado alto de deterioro. En un ensayo con familias de hermanos completos de *Pinus strobus* L. con más de 4000 árboles, se determinó que el daño prolongado y severo de *Lophodermium* en las acículas tuvo consecuencias negativas en el crecimiento ($r = -0.25$ a -0.62 ; $p < 0.05$) y supervivencia ($r = -0.70$, $p < 0.001$; Jansons et al., 2020) de los árboles. Las enfermedades fúngicas foliares pueden ser más perjudiciales para las coníferas que para las especies de hoja ancha (latifoliadas), ya que estas reponen su follaje después de la temporada de caída (Nguyen et al., 2016). En un bosque estacionalmente seco de Panamá, la sincronización entre caída y brotación de hojas mostró correlación negativa significativa (R^2 ajustado = 0.6 ; $p = 0.02$) con la riqueza de especies de microhongos patógenos foliares (*Asterina*, *Phyllacora* y *Puccinia*), lo que sugiere una posible adaptación de las plantas para reducir la incidencia de enfermedades (Piepenbring et al., 2015).

En Filipinas, las enfermedades en hojas y acículas son comunes por el clima cálido y húmedo. Se han identificado alrededor de 72 hongos que provocan enfermedades foliares en el país (Figuras 1 y 2, Cuadro 1;

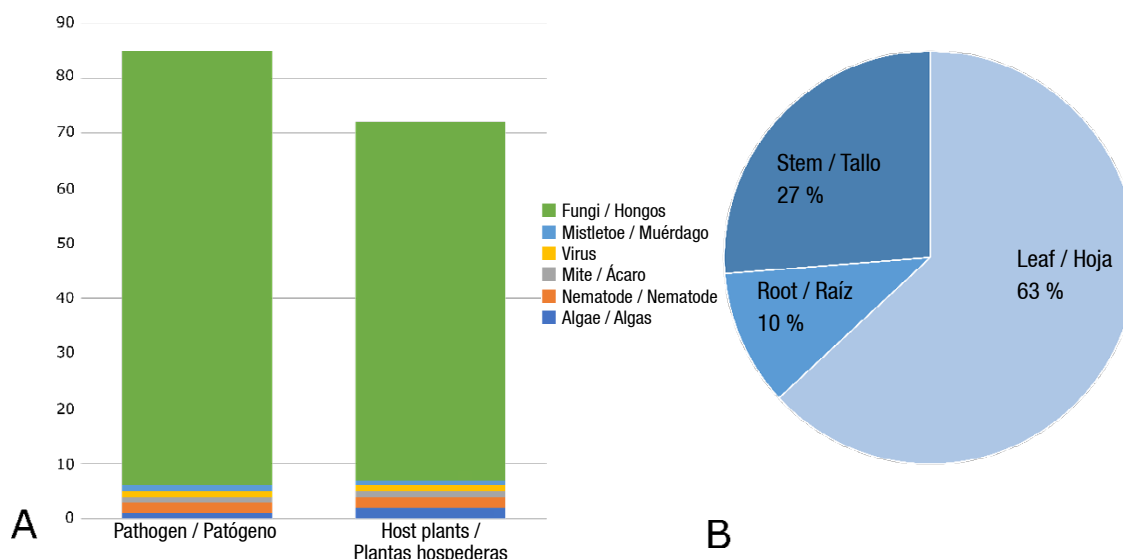


Figure 1. (A) Number of forest pathogens and woody host plants according to Kobayashi and de Guzman (1988ab), and (B) proportion of forest diseases on leaves, stems, and roots (Eusebio, 1998; Kobayashi & de Guzman, 1988a; Pacho & Quimio, 2015) in the Philippines.

Figura 1. (A) Número de patógenos forestales y plantas leñosas hospederas según Kobayashi y de Guzmán (1988ab) y (B) distribución de enfermedades forestales en hojas, tallos y raíces (Eusebio, 1998; Kobayashi & de Guzman, 1988a; Pacho & Quimio, 2015) en Filipinas.

Today, coffee leaf rust continues to cause significant yield losses, amounting to up to US\$2 billion annually, resulting in severe social and economic impacts in many coffee-producing regions (Talhinhas et al., 2017). Needle blight due to *Mycosphaerella gibsonii* H. C. Evans, a fungal pathogen that primarily affects pines in the tropics and subtropics, led to mortality in some nursery seedlings and natural regenerations including young stands of *Pinus* spp. in Luzon (i.e., Baguio, Mountain Province, Zambales, Laguna) and Mindanao (i.e., Agusan del Norte and Bukidnon) in the Philippines (Kobayashi et al., 1979). However, production losses have not been quantified. Rubber leaf fall disease caused by pestalotioid species is the most recent foliar disease outbreak on introduced *Hevea* sp. which plagued many growing regions in Southeast Asia, including more than 800-hectare plantations in Mindanao, the Philippines (Rodriguez, 2023). The disease can adversely affect latex production leading to subsequent economic losses (Alchemi & Jamin, 2022).

Foliage diseases are projected to become more prevalent as sporulation and infection of many foliar fungal pathogens intensify with frequent warm rain events (Ata et al., 2024). As in many regions worldwide, more intermittent outbreaks of foliar diseases could likely occur in the Philippines during warm and wet seasons, although seasonal drought may slow down foliar disease impact (Hoheneder et al., 2021). Nevertheless, Philippine forests remain likely candidates to host foliar diseases that are currently emerging in tropical and subtropical regions. For

Eusebio, 1998; Kobayashi & de Guzman, 1988a; Pacho & Quimio, 2015), los cuales, salvo por problemas ocasionales en viveros forestales y plantaciones, han provocado solo daños menores. Algunos factores de causa pueden incluir la anatomía foliar, la resistencia asociada a la edad y las condiciones desfavorables (Lan et al., 2022; Smith et al., 2018; Wyka et al., 2017). Muchas de las enfermedades foliares más graves documentadas en Filipinas también son importantes en regiones tropicales y subtropicales. Un ejemplo destacado es la roya del café causada por *H. vastatrix*, cuyo brote a finales del siglo XIX provocó una fuerte caída en las exportaciones de café, que pasaron de 16 millones de libras a casi cero (McCook, 2006). Actualmente, esta enfermedad sigue generando pérdidas importantes de rendimiento que ascienden a 2000 millones de dólares anuales, con graves impactos sociales y económicos en muchas regiones productoras de café (Talhinhas et al., 2017). Asimismo, la enfermedad conocida como ‘tizón de la aguja’ causada por *Mycosphaerella gibsonii* H. C. Evans, un hongo que afecta principalmente a pinos en regiones tropicales y subtropicales, provocó la muerte de plántulas en viveros y regeneraciones naturales, así como en rodales jóvenes de *Pinus* spp. en zonas como Luzón (Baguio, Provincia Montañosa, Zambales, Laguna) y Mindanao (Agusan del Norte y Bukidnon) en Filipinas (Kobayashi et al., 1979). No obstante, las pérdidas en producción no han sido estimadas. La enfermedad foliar más reciente en cultivos introducidos de *Hevea* sp. es la “caída de hojas en un árbol de caucho”, causada por especies pestalotioides, que han afectado gravemente diversas regiones de cultivo en el sudeste asiático, incluyendo más de 800 ha

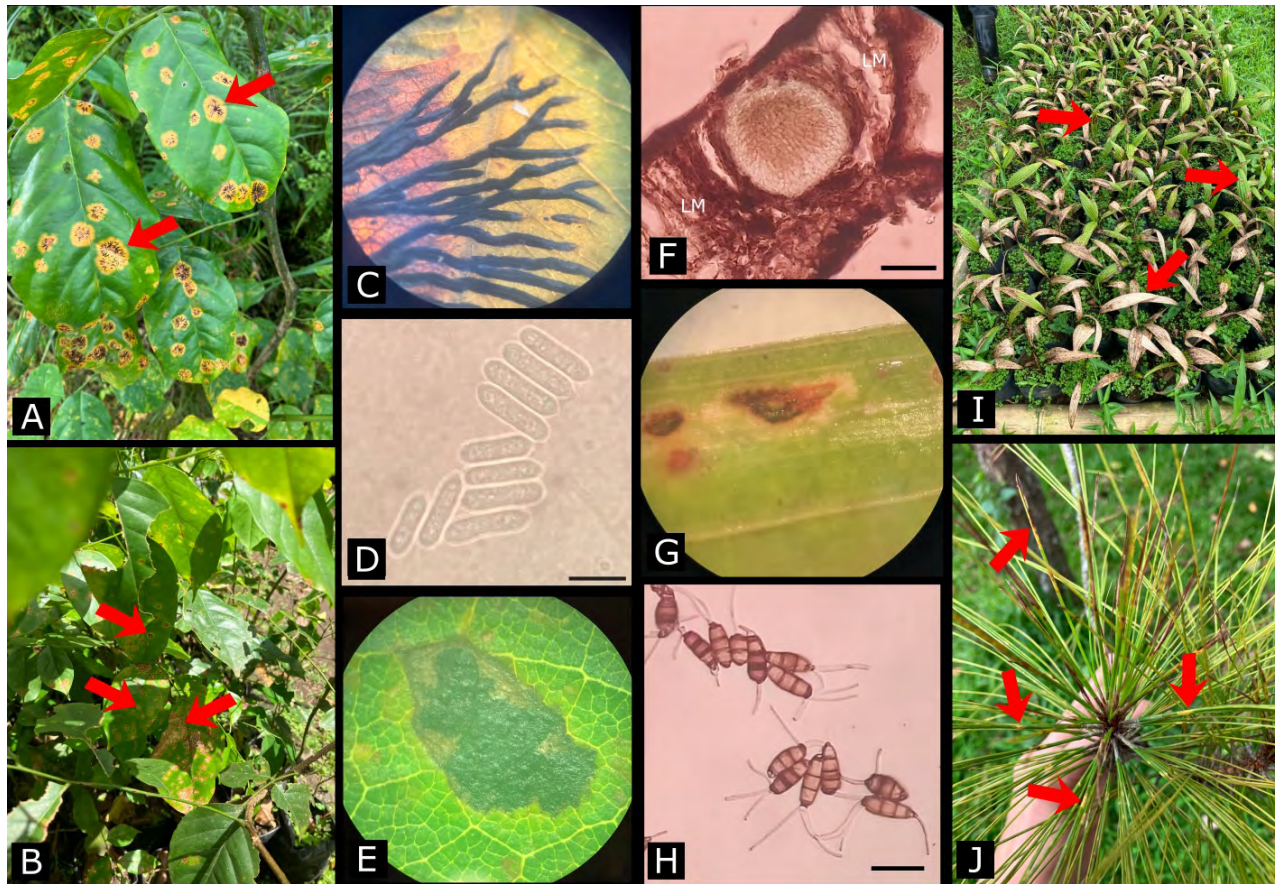


Figure 2. Example of foliar diseases of tree species observed in forests, plantations, urban environments and forest nurseries in the Philippines. Leaf spot on *Pterocarpus indicus* Willd. caused by *Aldona stella-nigra* Racib. (A) with linear, branching ascomata (C) on leaf surface. Leaf necrosis on *P. indicus* (B) associated with *Colletotrichum* sp. which produces spores (D) on agar. Tar spot on *Intsia bijuga* (Colebr.) Kuntze caused by *Phyllacora* sp. which produces dark shiny stromata (E) and ascomata (F) embedded on leaf mesophyll (LM). Leaf spot on *Areca* (G, I) caused by *Pestalotiopsis* sp. with conidia (H) produced on agar. Yellowish to reddish bands on needles of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (J) caused by unidentified agent. Red arrows show examples of symptoms on plant tissue. Scale bars for D, F and H measure 10 μ m, 0.25 mm and 15 μ m, respectively. Photo credits: *Colletotrichum* sp. spores (D) by C. A. Ramos, *Phyllacora* sp. on leaf tissue (F) by J. K. Saddoy, and *Pestalotiopsis* sp. conidia (H) by R. A. Mastrili.

Figura 2. Ejemplos de enfermedades foliares en especies observadas en bosques, plantaciones, entornos urbanos y viveros forestales en Filipinas. Mancha foliar en *Pterocarpus indicus* Willd. causada por *Aldona stella-nigra* Racib. (A) con ascomas lineales y ramificados (C) en la superficie de la hoja. Necrosis foliar en *P. indicus* (B) asociada con *Colletotrichum* sp., que produce esporas (D) en agar. Mancha de alquitrán en *Intsia bijuga* (Colebr.) Kuntze causada por *Phyllacora* sp., la cual produce estromas oscuros y brillantes (E) y ascomas (F) incrustados en el mesófilo foliar (LM). Mancha foliar en *Areca* (G, I) causada por *Pestalotiopsis* sp. con conidios (H) producidos en agar. Rayas amarillentas a rojizas en las acículas de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (J) causadas por un agente no identificado. Las flechas rojas indican ejemplos de síntomas en el tejido vegetal. Las barras de escala para D, F y H miden 10 μ m, 0.25 mm y 15 μ m, respectivamente. Créditos fotográficos: esporas de *Colletotrichum* sp. (D) por C. A. Ramos; *Phyllacora* sp. en tejido foliar (F) por J. K. Saddoy; y conidios de *Pestalotiopsis* sp. (H) por R. A. Mastrili.

example, the climate space of the country is predicted to be suitable for the pandemic biotype of myrtle rust *Austropuccinia psidii* (G. Winter) Beenken, an emerging invasive pathogen in the North America, South America, Asia and the Pacific, and Africa that affects plants in the family Myrtaceae (Stewart et al., 2018). Introduction of this biotype (e.g., international plant trade, poor implementation of phytosanitary regulations, etc.) poses a huge risk to the Philippines that is rich in highly susceptible Myrtaceae species.

de plantaciones en Mindanao, Filipinas (Rodriguez, 2023). Esta enfermedad puede afectar negativamente la producción de látex con pérdidas económicas significativas (Alchemi & Jamin, 2022).

Se espera que las enfermedades foliares aumenten a medida que la esporulación e infección de muchos patógenos fúngicos foliares se intensifiquen con eventos frecuentes de lluvia cálida (Ata et al., 2024). Al igual que en muchas otras regiones del mundo,

Table 1. Fungal pathogens known to occur in natural and planted forests and forest nurseries in the Philippines, excluding those associated with cultivated fruit trees and agroindustrial crops; including pathogens whose names have changed since they were originally reported in the country. Current species names cross-checked through Mycobank (M), Index Fungorum (I), and the Global Biodiversity Information Facility (G) databases.

Cuadro 1. Patógenos fúngicos registrados en bosques naturales, plantaciones forestales y viveros en Filipinas, excluyendo aquellos asociados con frutales cultivados y cultivos agroindustriales. Se incluyen patógenos cuyos nombres han cambiado desde que fueron reportados originalmente en el país. Los nombres actuales se verificaron en las bases de datos Mycobank (M), Index Fungorum (I) y Global Biodiversity Information Facility (G).

Species / Especie	Current name (Databases) / Nombre actual (bases de datos)	Disease / Enfermedades	Host / Hospedero	References / Referencias
<i>Aecidium mori</i> (Barclay) Barclay	<i>Peridiospora mori</i> (Barclay) K.V. Prasad, B.R.D. Yadav & Sullia (M)	Leaf rust / Mancha foliar	<i>Morus alba</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Botryodiplodia theobromae</i> Pat.	<i>Lasiodiplodia theobromae</i> (Pat.) Griffon & Maubl. (M, I, G)	Canker; Wildling blight on <i>Dipterocarpus grandiflora</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> / Cancro; Tizón en plántulas silvestres de <i>Dipterocarpus grandiflora</i> , <i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Acacia mangium</i> ; <i>Falcataria falcata</i>	Kobayashi and De Guzman, (1988a, 1988b); Pacho and Quimio (2015)
<i>Camptomeris albiziae</i> (Petch) E.W. Mason	<i>Helminthosporium albiziae</i> Petch (M, I, G)	Yellow leaf / Hoja amarilla	<i>Falcataria falcata</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Ceratocystis ips</i> (Rumbold) C. Moreau	<i>Ceratocystis montium</i> (Rumbold) J. Hunt (M)	Wood stain / Mancha en madera	<i>Pinus kesiya</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora artocarpi</i> Syd. & P. Syd.	<i>Pseudocercospora artocarpi</i> (Syd. & P. Syd.) Deighton (M, I, G)	Leaf spot / Mancha foliar	<i>Artocarpus altilis</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora bauhiniae</i> Syd. & P. Syd.	<i>Pseudocercospora bauhiniae</i> (Syd. & P. Syd.) Deighton (M, I, G)	Leaf spot / Mancha foliar	<i>Ptilostigma malabaricum</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora eucalypti</i> Cooke & Masee	<i>Teratosphaeria eucalypti</i> (Cooke & Masee) Crous (M, I, G)	Leaf Leaf spot / Mancha foliar	<i>Eucalyptus deglupta</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora gardeniae</i> Boedijn	<i>Pseudocercospora gardeniae</i> (Boedijn) Deighton (M, I, G)	Yellow leaf spot / Mancha foliar amarilla	<i>Gardenia philastreii</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora gliricidiae</i> Syd. & P. Syd.	<i>Passalora gliricidiae</i> (Syd. & P. Syd.) U. Braun & Crous (M, I, G)	Leaf spot / Mancha foliar	<i>Gliricidia sepium</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora gmelinae</i> J. M. Yen & Gilles	<i>Pseudocercospora gmelinae</i> (J.M. Yen & Gilles) J.M. Yen (M); <i>Pseudocercospora ranjita</i> (S. Chowdhury) Deighton (I, G)	Leaf spot / Mancha foliar	<i>Gmelina arborea</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora henningsii</i> Allesch.	<i>Clarohilum henningsii</i> (Allesch.) Videira & Crous (G)	Leaf spot / Mancha foliar	<i>Manihot carthaginensis</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora kurimensis</i> Fukui	<i>Pseudocercospora kurimensis</i> (Fukui) U. Braun (M, I, G)	Leaf spot / Mancha foliar	<i>Nerium oleander</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora lythracearum</i> Heald & F. A. Wolf	<i>Pseudocercospra lythracearum</i> (Heald & F.A. Wolf) X.J. Liu & Y.L. Guo (M, I, G)	Brown leaf spot / Mancha foliar café	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)

Table 1. Fungal pathogens known to occur in natural and planted forests and forest nurseries in the Philippines, excluding those associated with cultivated fruit trees and agroindustrial crops; including pathogens whose names have changed since they were originally reported in the country. Current species names cross-checked through Mycobank (M), Index Fungorum (I), and the Global Biodiversity Information Facility (G) databases. (cont.)

Cuadro 1. Patógenos fúngicos registrados en bosques naturales, plantaciones forestales y viveros en Filipinas, excluyendo aquellos asociados con frutales cultivados y cultivos agroindustriales. Se incluyen patógenos cuyos nombres han cambiado desde que fueron reportados originalmente en el país. Los nombres actuales se verificaron en las bases de datos Mycobank (M), Index Fungorum (I) y Global Biodiversity Information Facility (G). (cont.)

Species/ Especie	Current name (Database(s))/ Nombre actual (bases de datos)	Disease/ Enfermedades	Host/ Hospedero	References/ Referencias
<i>Cercospora paulowniae</i> Hori	<i>Pseudocercospora paulowniae</i> Goh & W.H. Hsieh (M); <i>Pseudocercospora horii</i> C. Nakash. & Tak. Kobay. (I, G)	Leaf spot/ Mancha foliar	<i>Paulownia taiwaniana</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora philippinensis</i> Tak. Kobay. & E. D. Guzman	<i>Pseudocercospora philippinensis</i> (Tak. Kobay. & E.D. Guzmán) U. Braun & Crous (M, I, G)	Leaf spot/ Mancha foliar	<i>Mussaenda philippica</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora pini-densiflorae</i> Hori & Nambu	<i>Pseudocercospora pini-densiflorae</i> (Hori & Nambu) Deighton (M); <i>Mycosphaerella gibsonii</i> H.C. Evans (I, G)	Needle blight/ Tizón de acículas	<i>Pinus caribaea</i> , <i>P. kesiya</i> , <i>P. merkusii</i> , <i>P. oocarpa</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora plumeriae</i> Chupp	<i>Pseudocercospora plumeriae</i> (Chupp) Tak. Kobay., Nishij. & C. Nakash. (M, I, G)	Brown leaf spot/ Mancha foliar café	<i>Plumeria alba</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora pterocarpicola</i> J. M. Yen	<i>Pseudocercospora pterocarpicola</i> (J. M. Yen) J. M. Yen (M, I, G)	Brown leaf spot/ Mancha foliar café	<i>Pterocarpus indicus</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora ranjita</i> S. Chowdhury	<i>Pseudocercospora ranjita</i> (S. Chowdhury) Deighton (M, I, G)	Leaf spot/ Mancha foliar	<i>G. arborea</i>	Pacho and Quimio (2015)
<i>Cercospora sequoiae</i> Ellis & Everh.	<i>Passalora sequoiae</i> (Ellis & Everh.) Y.L. Guo & W. H. Hsieh (M, I, G)	Needle blight/ Tizón de acículas	<i>Taxodium mucronatum</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora viticis</i> Ellis & Everh.	<i>Pseudocercospora viticicola</i> (J. M. Yen & Lim) J. M. Yen (M); <i>Pseudocercospora vitis</i> (J. M. Yen & Lim) J. M. Yen (G)	Leaf spot/ Mancha foliar	<i>Vitex parviflora</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cercospora zizyphi</i> Petch	<i>Pseudocercospora zizyphi</i> (Petch) Crous & U. Braun (M, I, G)	Leaf spot/ Mancha foliar	<i>Ziziphus mauritiana</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Coniothyrium zuluense</i> M. J. Wingf., Crous & T. A. Cout	<i>Teratosphaeria zuluensis</i> (M. J. Wingf., Crous & T. A. Cout.) M. J. Wingf. & Crous (M, I, G)	Canker/ Cancro	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	PCAARRD (2003)
<i>Corticium rolfsii</i> (Sacc.) Curzi	<i>Agroathelia rolfsii</i> (Sacc.) Redhead & Mullineux (M, I); <i>Athelia rolfsii</i> (Sacc.) C.C. Tu & Kimbr. (G)	Southern blight; Root rot/ Tizón del sur; Pudrición de la raíz	<i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Sindora supa</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b); Pacho and Quimio (2015)

Table 1. Fungal pathogens known to occur in natural and planted forests and forest nurseries in the Philippines, excluding those associated with cultivated fruit trees and agroindustrial crops; including pathogens whose names have changed since they were originally reported in the country. Current species names cross-checked through Mycobank (M), Index Fungorum (I), and the Global Biodiversity Information Facility (G) databases. (cont.)

Cuadro 1. Patógenos fúngicos registrados en bosques naturales, plantaciones forestales y viveros en Filipinas, excluyendo aquellos asociados con frutales cultivados y cultivos agroindustriales. Se incluyen patógenos cuyos nombres han cambiado desde que fueron reportados originalmente en el país. Los nombres actuales se verificaron en las bases de datos Mycobank (M), Index Fungorum (I) y Global Biodiversity Information Facility (G). (cont.)

Species / Especie	Current name (Database(s) / Nombre actual (bases de datos)	Disease / Enfermedades	Host / Hospedero	References / Referencias
<i>Corticium salmonicolor</i> Berk. & Broome	<i>Necator salmonicolor</i> (Berk. & Broome) K. H. Larss., Redhead & T. W. May (M, I, G)	Canker / Cancro	<i>Falcataria falcata</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Crossospora antidesmae- dioicae</i> (Racib.) Arthur & Cummins	<i>Crossospora antidesmatis- dioicae</i> (Racib.) Arthur & Cummins (M); <i>Cronartium antidesmatis- dioicae</i> Syd. & P. Syd. (I)	Leaf rust / Mancha foliar	<i>Antidesma ghaesembilla</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Cylindrocladium scoparium</i> Morgan	<i>Calonectria cylindrospora</i> (Ellis & Everhart) Rossman, L. Lombard & Crous (M); <i>Calonectria morganii</i> Crous, Alfenas & M. J. Wingf. (I, G)	Leaf spot / Mancha foliar	<i>E. camaldulensis</i>	Pacho and Quimio (2015)
<i>Ellisiopsis galesiae</i> Bat. & Nascim.	<i>Beltramiella portoricensis</i> (F. Stevens) Piroz. & S. D. Patil (M, I, G)	Leaf blotch / Mancha foliar	<i>P. indicus</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Exosporium leucaena</i>	<i>Camptomeris leucaenae</i> (F. Stevens & Dalbey) Syd. (M, I, G)		<i>Leucaena leucocephala</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Fomes rimosus</i> (Berk.) Cooke	<i>Phellinus rimosus</i> (Berk.) Pilát (M, I, G)	Wood decay / Pudrición de madera	Dipterocarpaceae	Pacho and Quimio (2015)
<i>Fomes pinicola</i> (Sw.) Fr.	<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst. (M, I, G)	Butt rot and heart rot / Pudrición del cuello y pudrición del corazón	<i>Agathis</i> sp.	Eusebio (1998); Pacho and Quimio (2015)
<i>Fusarium solani</i> (Mart.) Sacc.	<i>Neocosmospora solani</i> (Mart.) L. Lombard & Crous (M)	Damping off and root rot; top-killing (on <i>L. leucocephala</i>) / Marchitamiento y pudrición de raíz; supresión en la parte aérea de <i>L. leucocephala</i>	<i>F. falcata</i> , <i>E. deglupta</i> , <i>L. leucocephala</i> , <i>P. caribaea</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. kesiya</i> , <i>P. oocarpa</i> , <i>S. macrophylla</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Ganoderma sessile</i> Murrill	<i>Ganoderma resinaceum</i> Boud. (I, G)	Heart rot / Pudrición del corazón	<i>Anisoptera thurifera</i>	Pacho and Quimio (2015)
<i>Glomerella cingulate</i> (Stoneman) Spauld. & H. Schrenk	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.) Penz. & Sacc. (M, I)	Anthracnose (on leaves) / Antracnosis en hojas	<i>P. caribaea</i> , <i>Lansium domesticum</i> , <i>L. leucocephala</i> , <i>Mangifera indica</i> , <i>P. indicus</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Macrophoma micromegala</i> (Berk. & M. A. Curtis) Berl. & Voglino	<i>Sphaeropsis micromegala</i> Berk. & M. A. Curtis (M)	Needle blight / Tizón de acículas	<i>P. merkusii</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Meliola clerodendricola</i> var. <i>micromera</i> (Syd. & P. Syd.) Hansf.	<i>Meliola micromera</i> Syd. & P. Syd. (M, I, G)	Sooty mold / Moho negro	<i>G. arborea</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)

Table 1. Fungal pathogens known to occur in natural and planted forests and forest nurseries in the Philippines, excluding those associated with cultivated fruit trees and agroindustrial crops; including pathogens whose names have changed since they were originally reported in the country. Current species names cross-checked through Mycobank (M), Index Fungorum (I), and the Global Biodiversity Information Facility (G) databases. (cont.)

Cuadro 1. Patógenos fúngicos registrados en bosques naturales, plantaciones forestales y viveros en Filipinas, excluyendo aquellos asociados con frutales cultivados y cultivos agroindustriales. Se incluyen patógenos cuyos nombres han cambiado desde que fueron reportados originalmente en el país. Los nombres actuales se verificaron en las bases de datos Mycobank (M), Index Fungorum (I) y Global Biodiversity Information Facility (G). (cont.)

Species / Especie	Current name (Database(s) / Nombre actual (bases de datos)	Disease / Enfermedades	Host / Hospedero	References / Referencias
<i>Olivea tectonae</i> (T. S. Ramakr. & K. Ramakr.) J. L. Mulder	<i>Neolivea tectonae</i> (Racib.) Aime & McTaggart (M, I, G)	Teak rust (on leaves) / Roya de la teca (en hojas)	<i>Tectona grandis</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Phellinus noxius</i> (Corner) G. Cunn.	<i>Pyrrhoderma noxium</i> (Corner) L.W. Zhou & Y.C. Dai (M, I, G)	Root rot / Pudrición de raíz	Fabaceae, <i>Aleurites moluccanus</i> , <i>A. occidentale</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i> , <i>Dalbergia sissoo</i> , <i>Dracontomelon dao</i> , <i>Azadirachta indica</i> , <i>M. alba</i> , <i>Maranthes corymbosa</i>	Militante and Manalo (1999); PCARRD (2006)
<i>Phaeoisariopsis anthocephala</i> Ts. Kobay.	<i>Pseudocercospora anthocephali</i> (Ts. Kobay.) Deighton (M, I, G)	Brown leaf spot / Mancha foliar café	<i>B. chinensis</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Phaeoseptoria eucalypti</i> Hansf.	<i>Teratosphaeria epicoccoides</i> (Cooke & Masee) Rossman & W. C. Allen (M)	Black powdery spot (on leaves) / Punto negro polvoriento (en hojas)	<i>Eucalyptus</i> sp.	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Phakopsora gossypii</i> (Arthur) Dale	<i>Kuehneola gossypii</i> Arthur (M); <i>Phakopsora desmium</i> (Berk. & Broome) Cummins (I, G)	Rust (on leaves) / Roya (en hojas)	<i>Gossypium</i> sp.	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Phyllachora parkiae</i> Henn.	<i>Phyllachora acaciae</i> subsp. <i>parkiae</i> (Henn.) P. F. Cannon (M, I, G)	Tar spot (on leaves) / Mancha de alquitrán (en hojas)	<i>Parkia timoriana</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Phyllachora spinifera</i> (P. Karst. & Har.) Höhn. ex Rehm	<i>Phyllachora ficuum</i> var. <i>spinifera</i> P. Karst. & Har. (M); <i>Phyllachora aspidea</i> (Berk.) Sacc. (I, G)	Tar spot (on leaves) / Mancha de alquitrán (en hojas)	<i>Ficus odorata</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Puccinia psidii</i> G. Winter	<i>Austropuccinia psidii</i> (G. Winter) Beenken (M, I, G)	Leaf rust / Roya foliar	Myrtaceae	PCARRD (2006)
<i>Ravenelia berkeleyi</i> Mundk. & Thirum.	<i>Ravenelia cassiicola</i> G. F. Atk. (I, G)	Leaf rust / Roya foliar	<i>Senna multijuga</i>	Kobayashi and De Guzman (1988a, 1988b)
<i>Uromykladium falcatarium</i> Doungsa-ard, McTaggart & R. G. Shivas	<i>Uromykladium falcatariae</i> Doungsa-ard, McTaggart & R. G. Shivas (M, I)	Gall rust (on stem) / Roya con agallas (en tallo)	<i>F. falcata</i>	Doungsa-ard et al. (2015)

Stem diseases

Many stem diseases are economically important due to their direct impact on wood and its derivatives (Yurkewich et al., 2017). Stem diseases typically result in canker or necrosis on the xylem tissue, wilting, heart rot or gall on the main stem and on branches (Harsh, 2025). These occur when spores land on wounds of branches or stems and initiate infections on

en Filipinas podrían ocurrir brotes más frecuentes e intermitentes de estas enfermedades durante las temporadas cálidas y lluviosas, aunque la sequía estacional podría disminuir su impacto (Hoheneder et al., 2021). Sin embargo, los bosques filipinos siguen siendo muy propensos a albergar enfermedades foliares que están surgiendo actualmente en regiones tropicales y subtropicales. Por ejemplo, se predice que el clima del país es adecuado para el biotipo pandémico de la

stressed hosts (Ma et al., 2015). However, recent studies have shown that some fungal taxa from the family Botryosphaeriaceae can infect directly through natural openings of healthy plants (Slippers & Wingfield, 2007). Shi et al. (2024) found that the spatial pattern of host trees, in addition to host abundance and species composition, can influence the infection of fungal stem diseases. This finding has implications in the establishment of monoculture plantations and may also apply to tree diseases beyond those affecting stems. Economic losses resulting from reduced timber volume and wood quality due to stem diseases largely threaten the sustainability of pulp and solid-wood industries. For example, damage from canker disease (*Caliciopsis pinea* Peck) on *P. strobus* stands led to an average loss of 7.27 USD·m⁻³ in lumber value, and with even lower revenue from severely infected trees (Costanza et al., 2019). Tree mortality and forest decline are also warranted on severely cankered stands especially in anthropogenically disturbed sites (Paap et al., 2017).

The Philippine timber industry incurred production losses from stem diseases in tree plantations and natural forests (Pacho & Quimio, 2015). Recently, heart rot affected 20-38 % of planted overgrown exotic *Acacia mangium* Willd. (Rojo & Paquit, 2018), a tree species introduced to the Philippines. Causal agents are possibly fungal members of the phylum Basidiomycota including *Fomes*, *Phellinus* and *Ganoderma* (Figure 1, Table 1; Eusebio, 1998; Pacho & Quimio, 2015). Meanwhile, important canker and dieback diseases in the tropics caused by *Necator salmonicolor* (Berk. & Broome) K. H. Larss. and *Diaporthe eres* Nitschke, respectively, had also severely affected Philippine plantations of introduced *F. falcata* and *Acacia auriculiformis* A. Cunn ex Benth. in Surigao del Sur, Mindanao and in Nueva Ecija, Luzon, respectively. These plantations were established in likely compromised sites during the 1980s (Kobayashi & de Guzman, 1988a).

While incidence of some stem diseases seems to have dropped, others have persisted, and a few have newly emerged. Gall rust disease caused by *U. falcatariae* (Figure 3), a pathogen specific to *F. falcata* (Doungsa-ard et al., 2015), remains to exist in the Philippines since its first report in 1989 (Eusebio, 1998). On the other hand, a new canker disease caused by *Teratosphaeria zuluensis* (M. J. Wingf., Crous & T. A. Cout.) M. J. Wingf. & Crous was first spotted in the country on *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. plantations in 2002 (PCAARRD, 2003). Known to occur on nine *Eucalyptus* species including their hybrids, this pathogen is distributed across many countries and has continuously spread due to international trade (Aylward et al., 2019). In most cases, however, information on the economic losses caused by stem diseases in the Philippines remains scant.

roya del mirto, *Austropuccinia psidii* (G. Winter) Beenken, un patógeno invasor que afecta plantas de la familia Myrtaceae y que está emergiendo en Norteamérica, Sudamérica, Asia, el Pacífico y África (Stewart et al., 2018). La introducción de este biotipo ya sea por el comercio internacional de plantas o por una aplicación inadecuada de medidas fitosanitarias, representa un gran riesgo para Filipinas que cuenta con muchas especies de Myrtaceae altamente susceptibles.

Enfermedades del tallo

Muchas enfermedades caulinares son económicamente importantes debido a su impacto directo en la madera y sus derivados (Yurkewich et al., 2017). Estas generalmente provocan chancros o necrosis en el tejido del xilema, marchitamiento, pudrición del corazón o agallas en el tallo principal y en las ramas (Harsh, 2025). Dichas manifestaciones ocurren cuando las esporas aterrizan en heridas de ramas o tallos e inician infecciones en hospederos estresados (Ma et al., 2015). Sin embargo, los estudios también han demostrado que algunos taxones fúngicos de la familia Botryosphaeriaceae pueden infectar directamente a través de aberturas naturales en plantas sanas (Slippers & Wingfield, 2007). Shi et al. (2024) encontraron que el patrón espacial de árboles hospederos, junto con su abundancia y la composición de especies, también puede favorecer la aparición de enfermedades caulinares fúngicas. Este hallazgo tiene implicaciones en el establecimiento de plantaciones en monocultivo y también podría aplicarse a enfermedades que afectan otras partes del árbol. Las pérdidas económicas derivadas de la reducción en el volumen y la calidad de la madera, a causa de enfermedades caulinares, representan una amenaza considerable para la sostenibilidad de las industrias de celulosa y madera sólida. Por ejemplo, el daño causado por enfermedades de chancro (*Caliciopsis pinea* Peck) en rodales de *P. strobus* provocó una pérdida promedio de 7.27 USD·m⁻³ en el valor de la madera aserrada, con ingresos aún menores en árboles severamente infectados (Costanza et al., 2019). También se observa mortalidad y degradación forestal en rodales gravemente afectados por chancros, especialmente en sitios alterados por actividades humanas (Paap et al., 2017).

La industria maderera de Filipinas ha sufrido pérdidas en la producción a causa de enfermedades de tallos en plantaciones y bosques naturales (Pacho & Quimio, 2015). Recientemente, la pudrición del corazón afectó entre 20 y 38 % de los árboles exóticos de *Acacia mangium* Willd., una especie introducida en Filipinas que ha crecido en exceso (Rojo & Paquit, 2018). Los agentes causantes son posiblemente hongos del filo Basidiomycota, entre los que se incluyen *Fomes*, *Phellinus* y *Ganoderma* (Figura 1, Cuadro 1; Eusebio, 1998; Pacho & Quimio, 2015). Por otra parte, enfermedades de

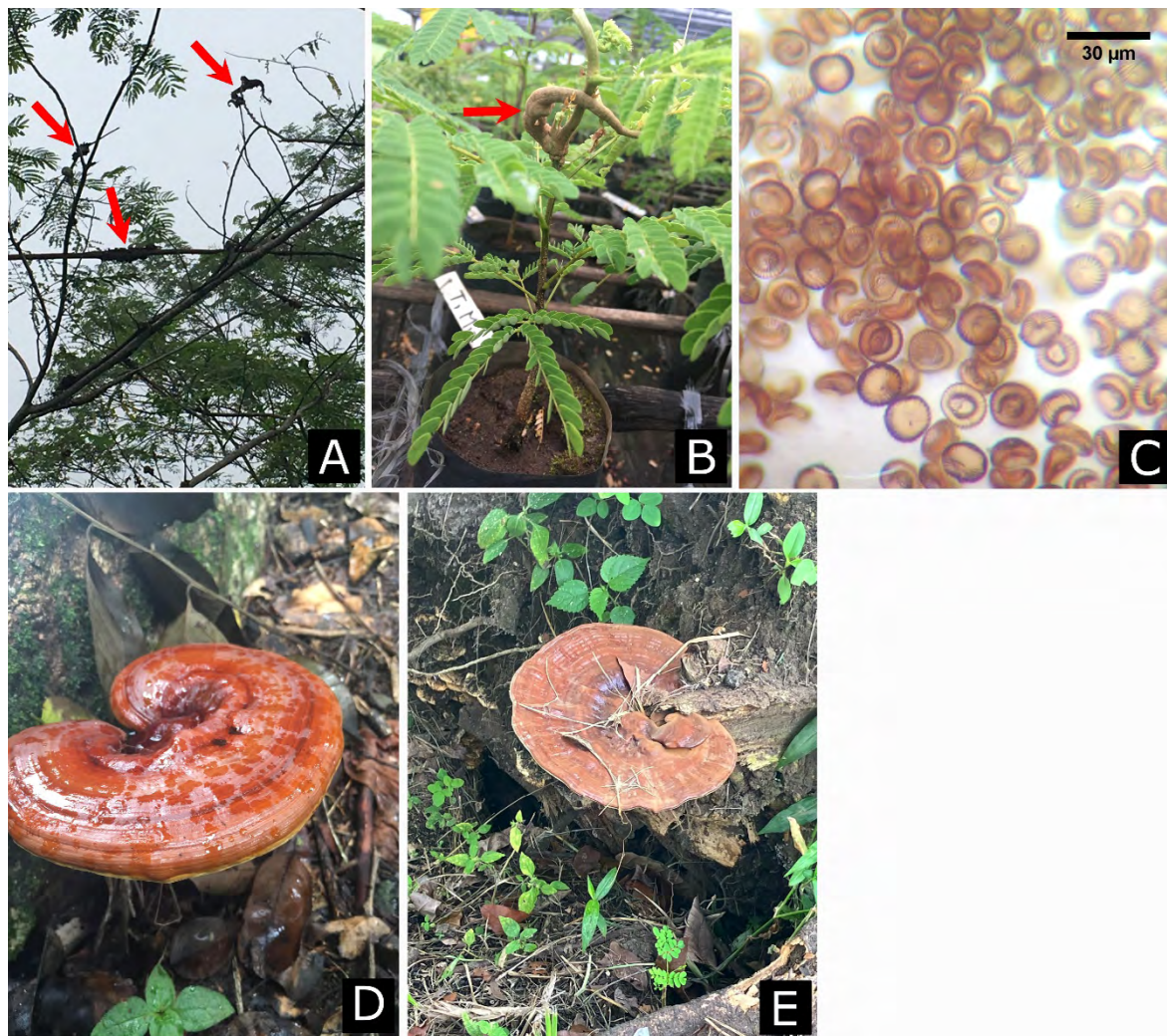


Figure 3. Example of stem and root diseases of tree species observed in forests, plantations, urban environments and forest nurseries in the Philippines. *Falcataria falcata* (L.) Greuter & R. Rankin showing hypertrophic symptoms such as galls on branches and distorted shoots (red arrows) on mature trees (A) and seedlings (B) due to the presence of *Uromycladium falcatariae* Doungsa-ard, McTaggart & R.G. Shivas which produces teliospores (C) on symptomatic tissue. Characteristic crown thinning and defoliation on Fabaceae species caused by *Ganoderma* spp. which typically produce sporocarps at the basal part of the stem (D, E). Photo of *U. falcatariae* (C) courtesy of J. K. Soriano.

Figura 3. Ejemplos de enfermedades que afectan el tallo y la raíz en especies arbóreas observadas en bosques, plantaciones, áreas urbanas y viveros forestales en Filipinas. *Falcataria falcata* (L.) Greuter & R. Rankin con síntomas hipertróficos como agallas en ramas y brotes deformados (flechas rojas) tanto en árboles maduros (A) como en plántulas (B), debido a la presencia de *Uromycladium falcatariae* Doungsa-ard, McTaggart & R.G. Shivas, el cual produce teliosporas (C) en el tejido afectado. También se presenta aclaramiento de copa y defoliación en especies de Fabaceae, causados por *Ganoderma* spp. que suele formar esporocarpos en la base del tallo (D, E). La foto de *U. falcatariae* (C) es cortesía de J. K. Soriano.

Climate change exacerbates stress on host trees which, in turn, increases host susceptibility to stem pathogens (Teshome et al., 2020). As successful infection and disease expression require hosts stressed by environmental factors, diseases and insects, stem diseases such as canker and decay are predicted to cause severe impact especially during warmer and drier seasons (Wang et al., 2023). Dry and warm weather also tends to favor insect vectors (Panzavolta et al., 2017) and, thus, forecasts

cancro y muerte regresiva en los trópicos causadas por *Necator salmonicolor* (Berk. & Broome) K. H. Larss. y *Diaporthe eres* Nitschke, respectivamente, también han afectado gravemente a las plantaciones de *F. falcata* y *Acacia auriculiformis* A. Cunn ex Benth. introducidas en Surigao del Sur, Mindanao y en Nueva Ecija, Luzón, respectivamente. Estas plantaciones se establecieron en sitios poco adecuados durante la década de 1980 (Kobayashi & de Guzman, 1988a).

of stem disease outbreaks caused by insect-vectorized pathogens come as no surprise. Interestingly, in addition to climate change-related disturbances (e.g. Choi et al., 2022; Davydenko et al., 2021), human activities have been implicated in the increasing trend of invasive tree diseases caused by ophiostomatoid fungi associated with tree-colonizing insects (Wingfield et al., 2017). In the Philippines, *Pinus kesiya* Royle ex Gordon wood (Kobayashi & de Guzman, 1988a) has been reported infested by the ophiostomatoid fungus *Ceratocystis*, associated with *Ips calligraphus* (Germar, 1824). However, its involvement in the recent increase in tree mortality remains unclear.

Although the focus of this review is on tree diseases caused by fungal pathogens, it is important to note that other insect-vectorized stem diseases such as pine wilt have recently become a serious global threat (Back et al., 2024). Pine wilt disease (PWD) is caused by an endoparasitic nematode *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner, 1934) Nickle, 1970 vectored by a pine sawyer beetle *Monochamus* and has reportedly invaded forests in Europe and Asia (Espada et al., 2022). Nematode infestation in tree vascular systems at favorable climate results to blockage of sap ascent which induces tracheid cavitation leading to mortality (Yazaki et al., 2018). No reports of entry have been recorded in the country despite its occurrence in neighboring Asian countries (Back et al., 2024). However, the invasion of PWD in forests in northern Philippines is highly likely to occur due to suitable climate and presence of susceptible *Pinus* species (Hirata et al., 2017).

Root diseases

Despite ecological and economic importance, root diseases often remain undetected and consequently understudied due to their inconspicuous occurrence and slow symptom development (Allikmäe et al., 2017). In mature stands, root-infecting fungal pathogens mainly under Basidiomycota phylum affect tree structure by attacking root cambium and xylem cells (e. g., Kedves et al., 2021). Some root pathogens spread through spores or rhizomorphs while others take advantage of root-to-root connections or root grafts (Devkota & Hammerschmidt, 2020; Załuma et al., 2019). Root pathogens can also spread through site preparation and thinning practices, where machinery both disperses inoculum and causes root injuries (Laflamme, 2008). Infected trees may initially appear to be nutrient-deficient showing discoloration to wilted leaves and growth decline attributed to altered physiological responses like stomatal conductance and chlorophyll fluorescence (Yazaki et al., 2018). Highly vulnerable to native root pathogens, exotic forest plantations can expect major losses from

Si bien la incidencia de algunas enfermedades en los tallos parece haber disminuido, otras han persistido y algunas han surgido recientemente. La roya causada por *U. falcatariae* (Figura 3), un patógeno específico de *F. falcata* (Doungsa-ard et al., 2015), sigue presente en las plantaciones desde su primera aparición en Filipinas en 1989 (Eusebio, 1998). Por otra parte, una nueva enfermedad del cancro causada por *Teratosphaeria zuluensis* (M. J. Wingf., Crous & T. A. Cout.) M. J. Wingf. & Crous se detectó por primera vez en el país en plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. en 2002 (PCAARRD, 2003). Se sabe que dicho patógeno, presente en nueve especies de eucalipto, incluidos sus híbridos, se distribuye por muchos países y se ha propagado continuamente debido al comercio internacional (Aylward et al., 2019). Sin embargo, en la mayoría de los casos, la información sobre las pérdidas económicas causadas por las enfermedades en los tallos de los árboles de Filipinas sigue siendo escasa.

El cambio climático intensifica el estrés en los árboles hospedadores y aumentan su vulnerabilidad frente a los patógenos del tallo (Teshome et al., 2020). Dado que la infección efectiva y la expresión de la enfermedad dependen del estrés del hospedador causado por factores ambientales, enfermedades e insectos, se espera que las enfermedades del tallo como el cancro y la pudrición tengan impacto considerable, en particular durante estaciones más cálidas y secas (Wang et al., 2023). El clima seco y cálido también tiende a favorecer a los insectos vectores (Panzavolta et al., 2017); en consecuencia, no es de extrañar que se pronostiquen brotes de enfermedades del tallo causadas por patógenos transmitidos por insectos. Curiosamente, además de las alteraciones relacionadas con el cambio climático (por ejemplo, Choi et al., 2022; Davydenko et al., 2021), las actividades humanas también han sido señaladas como un factor que contribuye al aumento de enfermedades invasivas en árboles, provocadas por hongos ophiostomatoides en asociación con insectos colonizadores del arbolado (Wingfield et al., 2017). En Filipinas, se ha detectado madera de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (Kobayashi & de Guzman, 1988a) infestada por el ophiostomatoide *Ceratocystis* asociada con *Ips calligraphus* (Germar, 1824), pero aún no se ha esclarecido su participación en el incremento reciente de mortalidad en las poblaciones arbóreas.

Aunque esta revisión se centra en enfermedades causadas por patógenos fúngicos, es importante señalar que otras enfermedades del tallo transmitidas por insectos, como el marchitamiento del pino, se han convertido recientemente en una grave amenaza a nivel mundial (Back et al., 2024). La enfermedad del marchitamiento del pino (Pine Wilt Disease, PWD) es causada por el nemátodo endoparásito *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner, 1934) Nickle, 1970, el cual

root diseases in sites with poor land conditions or a history of root disease (Eyles et al., 2008). For example, without proper site management, Malaysian rubber tree (*Hevea brasiliensis* [Willd. Ex A. Juss.] Müll. Arg.) plantations could face a 500 000 ha loss from white root rot caused by *Rigidoporus microporus* (Sw.) Overeem and consequently affect domestic latex production and supply chain (Olaniyi & Szulczyk, 2022).

While many of the root diseases recorded in the Philippines occur among forest nurseries (Figure 1; Table 1), a few have caused major losses in forest plantations. First reported in 1991, brown root rot caused by *Pyrrhoderma noxium* (Corner) L. W. Zhou & Y. C. Dai resulted in up to 25 % mortality in 4- to 10-year-old *A. mangium* plantations, particularly in Mindoro and Mindanao, where most trees in 1–4-hectare plantations were affected (Militante & Manalo, 1999). Interestingly, despite its unknown origin and complex migration histories (Kozhar et al., 2022), the pathogen remains categorized as invasive in the Philippines owing to its wide host range (11 native Philippine tree species; PCAARRD, 2006). However, the current incidence of *P. noxium* in the country has reportedly declined, despite the relatively large number of *A. mangium* hosts still present in Mindanao (Forest Management Bureau [FMB], 2022). On the other hand, *Ganoderma* spp. continues to exist, albeit at a slow rate, in pockets within forest stands and plantations in the Philippines (Figure 3). Interestingly, despite a broad host range, current incidence reports of *P. noxium* and *Ganoderma lucidum* (Fr.) P. Karst. in natural forests seem to be minor (Pinol et al., 2006).

Forests experiencing drier and warmer climate are predicted to be the most vulnerable to root diseases (Kim et al., 2021). This may be attributed to multiple factors such as higher production of pathogen rhizomorph, decline of symbiotic microbial communities (Kubiak et al., 2017), and reduced endogenous defense mechanisms of predisposed hosts (Aslam & Magel, 2018). As the country's temperature rises, with maximum levels expected to exceed 35 °C (PAGASA, 2022), the future climate conditions are likely to remain favorable for the growth of *P. noxium*, which can tolerate temperatures above 36 °C (Stewart et al., 2020). The same climate space however may be less suitable for other root pathogens like *Ganoderma boninense* Pat. (Paterson, 2020), a basal stem rot pathogen that aggressively attacks many Southeast Asian oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations but is currently of low incidence in the Philippines.

Implications for forest management

Global forest disease outbreaks and decline syndromes unravel the devastating effects of a changing climate (Ramsfield et al., 2016). As the climate worsens, predicted scenarios describe the likely winners and

es transmitido por el escarabajo longicornio del pino *Monochamus*, y se ha reportado su invasión en bosques de Europa y Asia (Espada et al., 2022). La infestación del nemátodo en el sistema vascular de los árboles, bajo condiciones climáticas favorables, provoca el bloqueo del ascenso de savia, lo que induce cavitación en las traqueidas y deriva en la muerte del árbol (Yazaki et al., 2018). Aunque no se han registrado reportes de su ingreso en el país, a pesar de su presencia en países vecinos de Asia (Back et al., 2024), la invasión de PWD en bosques del norte de Filipinas es altamente probable, debido al clima favorable y a la presencia de especies susceptibles de *Pinus* (Hirata et al., 2017).

Enfermedades radiculares

A pesar de su importancia ecológica y económica, las enfermedades radiculares a menudo pasan desapercibidas y, en consecuencia, son poco estudiadas debido a su aparición poco visible y al desarrollo lento de los síntomas (Allikmäe et al., 2017). En rodales maduros, los patógenos fúngicos que infectan las raíces, principalmente del filo Basidiomycota, afectan la estructura del árbol al atacar el cámbium radical y las células del xilema (v.g., Kedves et al., 2021). Algunos patógenos se propagan a través de esporas o rizomorfos, mientras que otros aprovechan las conexiones entre raíces o los injertos radiculares (Devkota & Hammerschmidt, 2020; Zaļuma et al., 2019).

Los patógenos radiculares también pueden propagarse a través de las prácticas de preparación del sitio y aclareo, donde la maquinaria dispersa el inóculo y causa lesiones en las raíces (Laflamme, 2008). Los árboles infectados pueden parecer inicialmente deficientes en nutrientes, mostrando decoloración, hojas marchitas y disminución en el crecimiento, atribuida a respuestas fisiológicas alteradas como la conductancia estomática y la fluorescencia de la clorofila (Yazaki et al., 2018). Las plantaciones forestales exóticas pueden sufrir pérdidas significativas en terrenos con malas condiciones o antecedentes de enfermedades en la raíz (Eyles et al., 2008). Por ejemplo, sin un manejo adecuado del sitio, las plantaciones de árboles del caucho malayos (*Hevea brasiliensis* [Willd. Ex A. Juss.] Müll. Arg.) podrían enfrentar una pérdida de 500 000 ha debido a la pudrición blanca de la raíz causada por *Rigidoporus microporus* (Sw.) Overeem, lo que afectaría consecuentemente la producción nacional de látex y la cadena de suministro (Olaniyi & Szulczyk, 2022).

Aunque muchas de las enfermedades radiculares registradas en Filipinas se presentan en viveros forestales (Figura 1; Cuadro 1), algunas han causado pérdidas importantes en plantaciones. Reportada por primera vez en 1991, la pudrición parda de la raíz causada por *Pyrrhoderma noxium* (Corner) L. W. Zhou & Y. C. Dai provocó hasta 25 % de mortalidad

losers in forest disease interactions and a rather uncertain state of the forest health landscape (Desprez-Loustau et al., 2018). This uncertainty can be attributed to the complex nature and cryptic geographic distribution of fungal tree pathogens (Desprez-Loustau et al., 2018), many of which remain understudied if not unknown. Also, in many forest pathosystems, host-pathogen co-existence under varying climatic and environmental changes induced by human activities is poorly understood and thus further confounds disease projections (Heinzemann et al., 2019). All these challenges are further amplified in countries like the Philippines where resources for forest health protection-related activities have been limited.

Despite projections of increased vulnerability, there is little current evidence linking declining forest health in the Philippines to climate-driven forest diseases, due to a lack of recent reports on forest pathogens in the literature. However, as Eusebio (1998) noted, marginal to no disease records in Philippine forests do not necessarily imply absence of infection nor perpetual immunity. The environmental situation in the Philippines, including the worsening climate (PAGASA, 2022) and still diverse yet declining ecosystem (Coritico et al., 2020; Parlucha et al., 2021), may have helped limit the spread of forest diseases. Alternatively, gaps in monitoring and research may have hindered an up-to-date record of these diseases. These significant information gaps are common in developing tropical countries, where the focus is often on more pressing issues. Greater attention is typically given to forest pressures such as deforestation from resettlement, large-scale agriculture, and shifting cultivation, which are seen as more critical than climate change (Zhao et al., 2005).

Uncertainties in forest disease projections present opportunities to establish and implement a more proactive forest management system in the country equipped with diverse and innovative practices (Gullino et al., 2022). Specifically, as the sensitivity of many forest fungal pathosystems to changing climate are high yet variable, forest managers must employ a more flexible forest management approach “that promotes reversible and incremental steps, and that favors ongoing learning and capacity to modify direction as situations change” (Millar et al., 2007). This entails a forest health management system that is fully integrated into four key aspects of forest management: monitoring, forecasting, planning and mitigation (Sturrock et al., 2011).

Monitoring

Regular and systematic tree health monitoring in permanent forest plots that incorporate other long-term ecological data can effectively track extensive, sudden

en plantaciones de *A. mangium* de entre 4 y 10 años, especialmente en Mindoro y Mindanao, donde la mayoría de los árboles en áreas de 1 a 4 hectáreas se vieron afectados (Militante & Manalo, 1999). Resulta interesante que, pese a su origen desconocido y a sus complejas trayectorias de migración (Kozhar et al., 2022), el patógeno continúe siendo clasificado como especie invasora en Filipinas, debido a su amplio rango de hospedadores (11 especies de árboles nativos; PCAARRD, 2006). Sin embargo, la incidencia actual de *P. noxium* en el país ha disminuido, a pesar de que todavía existe una cantidad considerable de *A. mangium* en Mindanao (Forest Management Bureau [FMB], 2022). Por otra parte, *Ganoderma* spp. se encuentra, aunque de forma esporádica, en áreas localizadas dentro de rodales y plantaciones forestales dentro del país (Figura 3). Cabe resaltar que, a pesar de su amplio rango de hospederos, los registros recientes de *P. noxium* y *Ganoderma lucidum* (Fr.) P. Karst. en bosques naturales son limitados (Pinol et al., 2006).

Se prevé que los bosques expuestos a climas más secos y cálidos sean los más vulnerables a enfermedades radiculares (Kim et al., 2021). Esto podría atribuirse a varios factores, como mayor producción de rizomorfos por parte del patógeno, disminución de comunidades microbianas simbióticas (Kubiak et al., 2017) y reducción de mecanismos endógenos de defensa en hospederos predispuestos (Aslam & Magel, 2018). A medida que aumenta la temperatura en Filipinas, con niveles máximos que podrían superar los 35 °C (PAGASA, 2022), es probable que las futuras condiciones climáticas sigan siendo favorables para el desarrollo de *P. noxium*, el cual puede tolerar temperaturas superiores a 36 °C (Stewart et al., 2020). Sin embargo, ese mismo espacio climático podría ser menos adecuado para otros patógenos radiculares como *Ganoderma boninense* Pat., un hongo causante de la pudrición basal del tallo, que causa daño severo en las plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el sudeste asiático, pero cuya incidencia actualmente es baja.

Consecuencias para el manejo forestal

Los brotes de enfermedades forestales a nivel mundial, junto con los síndromes de decaimiento, reflejan los efectos devastadores del cambio climático (Ramsfield et al., 2016). A medida que las condiciones climáticas continúan deteriorándose, los escenarios proyectados anticipan posibles ganadores y perdedores en las interacciones entre patógenos y bosques, lo que genera un panorama incierto para la salud forestal global (Desprez-Loustau et al., 2018). Esta incertidumbre se debe, en gran parte, a la complejidad inherente y a la distribución geográfica poco evidente de muchos hongos patógenos, los cuales, en su mayoría, siguen siendo poco estudiados o incluso desconocidos. Además, en varios patosistemas forestales, la dinámica de coexistencia entre

and at times subtle changes in stand health (Weldon & Grandin, 2019). This can be integrated into the national forest resources assessment program which currently focuses on tree biophysical characteristics and stocks and flow of wood and non-wood forest products and services. Monitoring data would be stored in a national online database, providing updated records of existing and emerging tree diseases, along with distribution maps (e.g., Zhang et al., 2024). This allows users to scale data from provincial to regional levels, supporting forest health research and policy needs. Furthermore, this information could be integrated into species suitability assessments that consider regional stress conditions to better inform forest planning, including reforestation and plantation establishment programs.

However, in the Philippines, this may represent a challenge, as the identification of many fungal pathogens, especially those affecting trees, largely relies on morphological descriptions and outdated taxonomic keys (Crous et al., 2016). The diversity of phenotypic traits within a single species can be confusing, as the plasticity of the few distinguishing characteristics under varying environmental conditions may result in multiple names being assigned to the same species (Ata et al., 2021; Boddy, 2016). Conversely, unrelated fungal species may develop similar morphologies through evolutionary convergence, further contributing to inaccurate characterization (Boddy, 2016). This challenge is compounded by the lack of trained personnel for the assessment and monitoring of forest diseases, as well as by the absence of specialized facilities, such as forest diagnostic clinics, to support the identification of tree diseases.

The Philippines may also capitalize on the surge of new diagnostic tools for efficient disease diagnosis and phytosanitary measures. DNA-based tools, which may be inaccessible for many scientists in developing nations like the Philippines, are already available for fast, reliable and accurate identification and detection of several cultivable and non-cultivable fungal phytopathogens on either symptomatic or asymptomatic plant tissues (Ata et al., 2022; Hariharan & Prasannath, 2021). While not without its challenges, the advancements in molecular diagnostics for identifying fungal tree pathogens are promising for early disease surveillance and plant biosecurity (Luchi et al., 2020). These tools, including polymerase chain reaction assays, isothermal amplification methods, and next-generation sequencing, use DNA and/or RNA to detect target pathogens without the need for culturing (Hariharan & Prasannath, 2021). They offer high sensitivity, enabling the detection of a single target molecule in complex mixtures, while being rapid and versatile (Hariharan & Prasannath, 2021). In the Philippines, some of these techniques have been gradually integrated in agriculture (De la Cueva et al.,

hospedero y patógeno bajo condiciones ambientales y climáticas variables, a menudo inducidas por actividades humanas, es poco conocida, lo que complica aún más las proyecciones sobre el comportamiento de las enfermedades (Heinzelmann et al., 2019). Todos estos retos se agravan en países como Filipinas, donde los recursos destinados a actividades relacionadas con la protección de la salud forestal son limitados.

A pesar de las proyecciones que indican mayor vulnerabilidad, actualmente, en Filipinas existe poca evidencia que relacione el deterioro de la salud forestal con enfermedades forestales inducidas por el clima, debido a la escasez de informes recientes sobre patógenos forestales en la literatura científica. Sin embargo, como señaló Eusebio (1998), la falta o escasez de registros no significa necesariamente la ausencia de infecciones ni inmunidad permanente. La situación ambiental del país, que incluye un clima cada vez más adverso (PAGASA, 2022) y un ecosistema aún diverso, pero en declive (Coritico et al., 2020; Parlucha et al., 2021), podría haber limitado hasta cierto punto la propagación de estas enfermedades. No obstante, también es posible que las deficiencias en el monitoreo y en la investigación hayan impedido el registro actualizado sobre la ocurrencia de enfermedades. Estas brechas de información significativas son comunes en países tropicales en desarrollo, donde la atención suele centrarse en problemáticas más urgentes. Con frecuencia, se priorizan presiones forestales como la deforestación causada por el reasentamiento, la agricultura a gran escala o la agricultura migratoria, las cuales se consideran más críticas que el cambio climático (Zhao et al., 2005).

Las incertidumbres en las proyecciones sobre enfermedades forestales representan una oportunidad para establecer e implementar un sistema de gestión forestal más proactivo en el país, basado en prácticas diversas e innovadoras (Gullino et al., 2022). En particular, dado que la sensibilidad de muchos patosistemas fúngicos forestales al cambio climático es alta, aunque variable, los gestores forestales deben adoptar un enfoque de manejo más flexible “que promueva acciones reversibles y graduales, y que favorezca el aprendizaje continuo y la capacidad de ajustar el rumbo conforme cambien las condiciones” (Millar et al., 2007). Esto implica un sistema de gestión plenamente integrado dentro de cuatro aspectos clave: monitoreo, pronóstico, planificación y mitigación (Sturrock et al., 2011).

Monitoreo

El monitoreo regular y sistemático del estado sanitario de los árboles en parcelas forestales permanentes, que integren otros datos ecológicos de largo plazo, puede ser una herramienta eficaz para detectar cambios extensos, repentinos y, en ocasiones, sutiles en la salud de los rodales (Weldon & Grandin, 2019). Este sistema

2021; Hussien et al., 2017) but have yet to be adopted in forestry.

A complementary, low-cost strategy to the more expensive molecular diagnostics is citizen science, which involves communities in data collection, project design, analysis, and dissemination. This approach has demonstrated potential for monitoring forest pests and engaging the public in forest health efforts across various regions, including Europe (Baker et al., 2019; de Groot et al., 2023), North America (Lanning et al., 2023), and in ecological research in Africa (Hulbert, 2016). While data from citizen science projects may be less accurate and biased (Baker et al., 2019), proper management can improve overall sampling efficiency. In regions like the Philippines, where support for forest health research and monitoring may be insufficient, the continuous emergence of pests and diseases highlights the value of centrally coordinated citizen science projects. These initiatives can significantly expand the network of observers and enhance monitoring efforts (Hurley et al., 2017).

In monitoring efforts within natural forests, particular attention should also be given to signs and symptoms of diseases caused by emerging and/or known invasive pathogens not yet reported locally but predicted to establish under Philippine climatic conditions, particularly those threatening hosts with small or fragmented populations. This is especially relevant in the Philippines, where resources for forest health management are limited. Focusing on high-risk species allows for early detection using field-based visual assessments, which require minimal equipment and training compared to molecular diagnostics or broad-scale surveys. For example, myrtle rust (*A. psidii*) poses a potential risk to *Eucalyptus deglupta* Blume in Mindanao, an endemic species classified as vulnerable by the International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2024) due to its declining and fragmented populations. Similarly, symptoms of PWD, although caused by a nematode rather than a fungal pathogen, warrant surveillance in native *Pinus merkusii* Jung. & de Vriese, which is also listed as vulnerable by the IUCN (2024).

Forecasting

Bioclimatic envelope models, although not without its limitations, are important tools that inform forestry professionals on the potential magnitude and future shifts in the forest disease landscape (Sturrock et al., 2011; Woods et al., 2010). These dynamic simulation models integrate various ecological and climatic data to predict suitable spaces for hosts and pathogens across future conditions. Modeling the influence of climate to forest pathosystems, particularly those involving high-risk invasive pathogens, can help identify priority areas in monitoring programs especially in countries with

puede integrarse al programa nacional de evaluación de recursos forestales, el cual actualmente se centra en las características biofísicas de los árboles, así como en el flujo y las existencias de productos forestales maderables y no maderables. Los datos de monitoreo se almacenarían en una base de datos nacional en línea, que proporcionará registros actualizados sobre enfermedades arbóreas existentes y emergentes, junto con mapas de distribución (por ejemplo, Zhang et al., 2024). Esto permitirá escalar la información desde el nivel provincial hasta el regional, respaldando la investigación y las necesidades políticas en materia de salud forestal. Además, esta información podría incorporarse en evaluaciones de aptitud de especies que consideren condiciones regionales de estrés con el fin de orientar la planificación forestal y que incluyan actividades de reforestación y establecimiento de plantaciones.

No obstante, en Filipinas, esto puede representar un desafío, ya que la identificación de muchos patógenos fúngicos, especialmente en árboles, se realiza en gran medida a partir de descripciones morfológicas y claves taxonómicas obsoletas (Crous et al., 2016). La diversidad de rasgos fenotípicos resulta confusa dentro de una misma especie, debido a la plasticidad de los escasos caracteres diferenciadores bajo distintas condiciones ambientales, lo cual puede llevar a la asignación de múltiples nombres a una misma especie (Ata et al., 2021; Boddy, 2016). De manera inversa, especies fúngicas no relacionadas pueden adquirir morfologías similares a través de trayectorias evolutivas, lo que contribuye aún más a una caracterización imprecisa (Boddy, 2016). Este desafío se agrava por la falta de personal capacitado para la evaluación y monitoreo de enfermedades forestales, así como por la ausencia de instalaciones especializadas, como clínicas de diagnóstico forestal, que apoyen en la identificación de enfermedades arbóreas.

En Filipinas también se podría aprovechar el auge de nuevas herramientas diagnósticas para lograr una identificación más eficiente y fortalecer las medidas fitosanitarias. Las herramientas basadas en ADN, aunque muchas veces inaccesibles para científicos en países en desarrollo como Filipinas, ya están disponibles y permiten una identificación rápida, confiable y precisa de diversos fitopatógenos fúngicos, tanto cultivables como no cultivables, en tejidos vegetales sintomáticos o asintomáticos (Ata et al., 2022; Hariharan & Prasannath, 2021). Si bien presentan ciertos desafíos, los avances en diagnóstico molecular aplicados a la identificación de patógenos fúngicos en árboles ofrecen gran potencial para fortalecer la vigilancia temprana de enfermedades y mejorar la bioseguridad vegetal (Luchi et al., 2020). Estas herramientas, como las pruebas de reacción en cadena de la polimerasa (PCR), métodos de amplificación isotérmica y secuenciación de nueva generación, utilizan ADN y/o ARN para detectar patógenos sin necesidad de

limited financial resources like the Philippines. An initial application of such modeling in the Philippines includes the bioclimatic analysis of myxomycetes (Limbo-Dizon et al., 2022), demonstrating the feasibility of these tools for forest management. But to apply this in emerging forest diseases, there is a need for research on ecological niches of fungal pathogens in the country, which is currently lacking and/or fragmented. Notably, the assessment of the potential susceptibility of *E. deglupta* to *A. psidii* identified critical areas in Mindanao that warrant close monitoring for possible myrtle rust outbreaks (Villasan, 2025). This study, which leveraged environmental data from external sources, underscores the feasibility of bioclimatic modeling despite data limitations, thus highlighting the importance of collaborative research and data-sharing initiatives.

Furthermore, the diverse and often competing interests of stakeholders (forest communities, national and local government, non-government organizations, timber industries, etc.) in Philippine forestry, most affected by current and future forest disease outbreaks, can guide model development, simulations, and counterfactual analysis (Gaydos et al., 2019). Therefore, integrating participatory modelling in developing epidemiological models for plant disease control may be explored (Gaydos et al., 2019). This approach not only leverages local knowledge but also helps bridge knowledge-practice gap through collaborative learning and stakeholder empowerment.

Planning

Forest management plans can benefit from risk assessments and plant health legislations with the aim of a strategic immediate response to reduce possible undesirable impacts of climate change on forest pathogens (Sturrock et al., 2011). While relatively unexplored for forest pathogens in the Philippines, pest risk analyses and risk-rating systems accounting for climate change can help assess potential impacts of forest pathogens and guide regulatory decisions related to forest health. Along with monitoring data, research data on fungal pathogens as well as environmental drivers of host tree-pathogen interactions in forest ecosystems can further strengthen risk factor models to best understand climate-disease relationships (Hennon et al., 2021). Apart from ecological and biophysical aspects, factors related to pathogen movement through forest trade are equally important in identifying critical control points for effectively mitigating the entry of emerging forest pathogens (Ristaino et al., 2021). This requires a strong collaboration between academic and national research laboratories and partnerships with forest industries, which should be fostered and maintained to develop a solid forest pathology research program in the Philippines. Scientists must pursue global research collaborations to enhance efforts

cultivo (Hariharan & Prasannath, 2021) y ofrecen alta sensibilidad, lo que permite la detección de una sola molécula objetivo en mezclas complejas, además de ser rápidas y versátiles (Hariharan & Prasannath, 2021). En Filipinas, algunas de estas técnicas se han integrado de forma gradual en el sector agrícola (De la Cueva et al., 2021; Hussien et al., 2017), pero aún no se han adoptado en el ámbito forestal.

Una estrategia complementaria y de bajo costo frente a los diagnósticos moleculares más costosos es la ciencia ciudadana, que involucra a las comunidades en la recolección de datos, diseño de proyectos, análisis de resultados y difusión del conocimiento. Este enfoque ha demostrado gran potencial para el monitoreo de plagas forestales y para fomentar la participación pública en iniciativas de sanidad forestal en diversas regiones, incluyendo Europa (Baker et al., 2019; de Groot et al., 2023), América del Norte (Lanning et al., 2023) y en investigaciones ecológicas en África (Hulbert, 2016). Aunque los datos generados a través de proyectos de ciencia ciudadana pueden ser menos precisos y estar sesgados (Baker et al., 2019), una gestión adecuada puede mejorar la eficiencia general del muestreo. En regiones como Filipinas, donde el apoyo a la investigación y monitoreo de la sanidad forestal puede ser limitado, la aparición continua de plagas y enfermedades subraya el valor de implementar proyectos de ciencia ciudadana coordinados a nivel nacional. Estas iniciativas pueden ampliar significativamente la red de observadores y mejorar los esfuerzos de monitoreo (Hurley et al., 2017).

Dentro de los programas de monitoreo en bosques naturales, es fundamental prestar atención a los signos y síntomas de enfermedades causadas por patógenos invasores, ya sean emergentes o conocidos, que aún no han sido reportados localmente, pero cuya presencia se prevé bajo las condiciones climáticas de Filipinas, en particular aquellos que amenazan a especies hospedadoras con poblaciones pequeñas o fragmentadas. Esto resulta especialmente relevante en este país, donde los recursos para la gestión de la sanidad forestal son limitados. Centrarse en especies de alto riesgo permite una detección temprana mediante evaluaciones visuales en campo que requieren equipo y formación mínimos en comparación con los diagnósticos moleculares o los estudios de gran escala. Por ejemplo, la roya de las mirtáceas (*A. psidii*) representa un riesgo potencial para *Eucalyptus deglupta* Blume en Mindanao, una especie endémica clasificada como vulnerable por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2024), debido a la disminución y fragmentación de sus poblaciones. De manera similar, los síntomas del PWD, aunque causados por un nemátodo y no por un patógeno fúngico, también deben ser objeto de vigilancia en *Pinus merkusii* Jung. & de Vriese, especie nativa igualmente clasificada como vulnerable por la UICN (2024).

and address topics more advanced in other regions, as demonstrated in South America's forest health initiatives (Villacide et al., 2023). Funding for such collaborations typically involves partnerships between government and the commercial sector (Wingfield et al., 2015). However, greater coordination is needed to promote investments in long-term, sustainable landscape-scale initiatives (Clark et al., 2018).

Mitigation

Tree diversity, particularly of non-host species, is widely recognized to greatly improve forest resilience against pathogens (Roberts et al., 2020; Saadani et al., 2021). For example, although forest communities consequently harbored diverse foliar fungal pathogens, those with diverse non-host trees significantly reduced foliar disease severity per tree species (Rutten et al., 2021). Thus, Philippine forest biodiversity conservation programs and silvicultural interventions (e.g., field trials for tree improvement programs; Figure 4) aimed at maintaining or enhancing natural tree diversity at both genetic and species levels are increasingly critical for promoting forest health under uncertain future conditions. These efforts contribute to the development of near-natural forests, which are more resilient to environmental changes and threats. In production forests, simply increasing diversity may not be sufficient to incentivize timber industries with private concessions to adopt this approach, as diversification strategies often yield lower economic returns (Hildebrandt & Knoke, 2011). Therefore, it is essential to use forest management practices to achieve resilient forests while maintaining stable long-term revenues. These practices may include targeted species harvesting, varied harvest systems, a combination of natural regeneration and planting, and the use of a broader range of planted species (Dymond et al., 2014).

For large-scale tree plantations, economic and ecological trade-offs associated with mixed cropping of non-host trees must be carefully analyzed considering the cost and long-term benefits of such practice to manage emerging diseases (Roberts et al., 2020). Planted forests of economically important trees can also greatly benefit from resistance breeding programs and use of genetically diverse and well-adapted seedlots. Due to the slow nature of breeding programs, investigating general resistances or tolerances aside from species-specific resistance may be needed to respond to a rapidly changing climate (Woods et al., 2010).

Conclusions

Philippine forests face significant threats from potential emerging fungal diseases largely driven by climate change, which may lead to more frequent and severe tree disease outbreaks. Despite past forest

Pronóstico

Los modelos de idoneidad climática, aunque no están exentos de limitaciones, son herramientas importantes que informan a los profesionales forestales sobre la magnitud potencial y los cambios futuros en el panorama de las enfermedades forestales (Sturrock et al., 2011; Woods et al., 2010). Estos modelos de simulación dinámica integran diversos datos ecológicos y climáticos para predecir los espacios adecuados para los huéspedes y patógenos en condiciones futuras. El modelado de la influencia del clima en patosistemas forestales, en particular aquellos que implican patógenos invasivos de alto riesgo, puede ayudar a la identificación de áreas prioritarias en los programas de monitoreo, especialmente en países con recursos financieros limitados como Filipinas. Una aplicación inicial de este modelo en este país incluye el análisis bioclimático de los mixomicetos (Limbo-Dizon et al., 2022), lo que demuestra la viabilidad de estas herramientas para el manejo forestal. No obstante, para aplicar esto a las enfermedades forestales emergentes, es necesario investigar los nichos ecológicos de los patógenos fúngicos en el país, lo que actualmente es inexistente o fragmentario. En particular, la evaluación de la susceptibilidad potencial de *E. deglupta* a *A. psidii* identificó zonas críticas en Mindanao que requieren un estrecho seguimiento para la detección de posibles brotes de roya del mirto (Villasan, 2025). Este estudio, que aprovechó datos medioambientales de fuentes externas, subraya la viabilidad de la modelización bioclimática a pesar de las limitaciones de los datos, destacando la importancia de la investigación colaborativa y las iniciativas de intercambio de información.

Por otra parte, los intereses diversos, y a menudo contrapuestos de las partes interesadas (comunidades forestales, gobiernos nacionales y locales, organizaciones no gubernamentales e industrias madereras) en la silvicultura filipina, la más afectada por los brotes de enfermedades forestales actuales y futuros, pueden orientar el desarrollo de modelos, simulaciones y análisis contrafactuales (Gaydos et al., 2019). Por consiguiente, la incorporación del modelado participativo en la elaboración de modelos epidemiológicos destinados al control de enfermedades vegetales representa una vía prometedora que merece ser explorada (Gaydos et al., 2019). Este enfoque no solo aprovecha los conocimientos locales, sino que también ayuda a salvar la brecha entre el conocimiento y la práctica mediante el aprendizaje colaborativo y el empoderamiento de las partes interesadas.

Planeación

Los planes de manejo forestal pueden beneficiarse de las evaluaciones de riesgos y legislaciones sobre sanidad vegetal con el objetivo de dar una respuesta estratégica

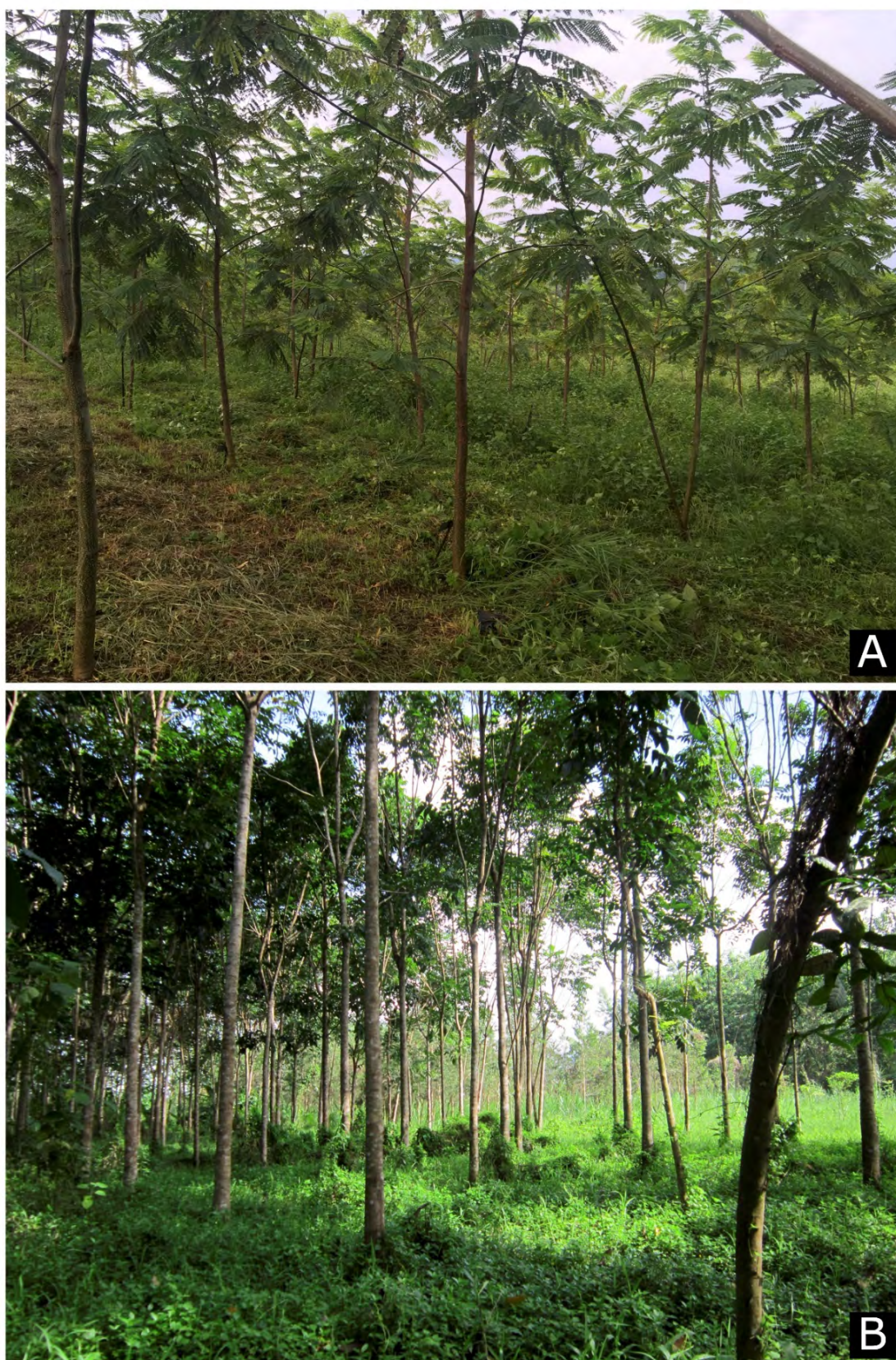


Figure 4. Progeny trials of *Falcataria falcata* (L.) Greuter & R. Rankin (A) and *Swietenia macrophylla* King (B) in Mindanao established from candidate mother trees representing diverse provenances from the regions of the Philippines.

Figura 4. Ensayos de progenie de *Falcataria falcata* (L.) Greuter & R. Rankin (A) y *Swietenia macrophylla* King (B) en Mindanao, establecidos a partir de árboles madre candidatos que representan diversas procedencias de las regiones de Filipinas.

epidemics, the country's forest management has shown limited capacity to anticipate and effectively respond to these emerging risks. Therefore, the implementation of a more proactive and integrated forest health strategy is urgently needed. Given the limited financial and technical resources for forest health monitoring in the country, low-cost strategies like citizen science and targeted monitoring offer practical solutions for early detection and community engagement. These strategies safeguard vulnerable forests cost-effectively. It is essential to close information gaps through solid research and development in key areas such as forest pathology, ecology, and silviculture. Broad and coordinated participation among stakeholders, including government, the private sector, local communities, and international partners, will be crucial to ensuring sustainable and effective forest health management in the country.

Acknowledgments

The author is grateful to former colleague Mutya Ma. Q. Manalo and the anonymous reviewers for their valuable insights to improve the manuscript.

Conflict of interest declaration

The author declares that he has no economic conflicts of interest or known personal relationships that could have influenced the research presented in this article.

End of English version

References / Referencias

- Alchemi, P. J. K., & Jamin, S. (2022). Impact of pestalotiopsis leaf fall disease on leaf area index and rubber plant production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 995(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/995/1/012030>
- Allikmäe, E., Laarmann, D., & Korjus, H. (2017). vitality assessment of visually healthy trees in Estonia. *Forests*, 8(7), 223. <https://doi.org/10.3390/f8070223>
- Ashu, E. E., & Xu, J. (2015). The roles of sexual and asexual reproduction in the origin and dissemination of strains causing fungal infectious disease outbreaks. *Infection, Genetics and Evolution*, 36, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2015.09.019>
- Aslam, A. J., & Magel, E. A. (2018). Influence of drought and season on compartmentalization of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) inoculated with *Armillaria mellea*. *European Journal of Plant Pathology*, 152(1), 21–31. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1444-5>
- Ata, J. P., Burns, K. S., Marchetti, S., Munck, I. A., Beenken, L., Worrall, J. J., & Stewart, J. E. (2021). Molecular characterization and phylogenetic analyses of *Lophodermella* needle pathogens (Rhytismataceae) on *Pinus* species in the USA and Europe. *PeerJ*, 9, e11435. <https://doi.org/10.7717/peerj.11435>

inmediata para reducir los posibles efectos indeseables del cambio climático sobre los patógenos forestales (Sturrock et al., 2011). Aunque este enfoque ha sido poco explorado en Filipinas, los análisis de riesgo de plagas y los sistemas de clasificación del riesgo con enfoque en el cambio climático pueden ayudar en la evaluación de los posibles efectos de los patógenos forestales y en la orientación de las decisiones normativas relacionadas con la salud forestal. Junto con los datos de monitoreo, la investigación sobre patógenos fúngicos, así como los factores ambientales que influyen en las interacciones entre árboles hospedadores y patógenos en ecosistemas forestales, puede fortalecer los modelos de factores de riesgo y mejorar la comprensión de las relaciones entre el clima y las enfermedades (Hennon et al., 2021). Aparte de los aspectos ecológicos y biofísicos, los factores relacionados con el movimiento de patógenos a través del comercio forestal son igualmente importantes para la identificación de los puntos críticos de control que permiten mitigar eficazmente la entrada de patógenos forestales emergentes (Ristaino et al., 2021). Esto requiere una colaboración estrecha entre los laboratorios de investigación académicos y nacionales del país y las alianzas con las industrias forestales, que deben fomentarse y mantenerse para desarrollar un programa sólido de investigación en patología forestal. Es fundamental que la comunidad científica del país fortalezca su participación en redes de colaboración internacional para avanzar en temas ya desarrollados en otras regiones, como lo demuestran las iniciativas sobre sanidad forestal en Sudamérica (Villacide et al., 2023). La financiación para este tipo de colaboraciones suele provenir de alianzas entre el gobierno y el sector privado (Wingfield et al., 2015). Sin embargo, aún se requiere mayor coordinación para promover inversiones sostenibles a largo plazo en iniciativas de escala paisajística (Clark et al., 2018).

Mitigación

La diversidad arbórea, en particular la de especies no hospedadoras, es ampliamente reconocida por mejorar significativamente la resiliencia de los bosques frente a los patógenos (Roberts et al., 2020; Saadani et al., 2021). Por ejemplo, aunque las comunidades forestales albergaban diversos hongos patógenos foliares, aquellas con árboles no hospedadores diversos redujeron significativamente la gravedad de las enfermedades foliares por especie arbórea (Rutten et al., 2021). Por lo tanto, los programas de conservación de la biodiversidad forestal y las intervenciones silvícolas en Filipinas (por ejemplo, ensayos de campo para programas de mejora en árboles; Figura 4) destinados al mantenimiento o mejora de la diversidad natural de los árboles, tanto a nivel genético como de especies, son cada vez más importantes para promover la salud de los bosques en condiciones futuras inciertas.

- Ata, J. P., Burns, K. S., Marchetti, S., Worrall, J. J., Mondo, S. J., & Stewart, J. E. (2022). Development of PCR-based markers for the identification and detection of *Lophodermella* needle cast pathogens on *Pinus contorta* var. *latifolia* and *P. flexilis*. *Journal of Microbiological Methods*, 200, 106546. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2022.106546>
- Ata, J. P., Burns, K. S., & Stewart, J. E. (2024). Needle pathogens of *Rhytismataceae*: Current knowledge and research opportunities for conifer foliar diseases. *Forest Pathology*, 54(1), e12851. <https://doi.org/10.1111/efp.12851>
- Aylward, J., Roets, F., Dreyer, L. L., & Wingfield, M. J. (2019). *Teratosphaeria* stem canker of *Eucalyptus*: Two pathogens, one devastating disease. *Molecular Plant Pathology*, 20(1), 8–19. <https://doi.org/10.1111/mp.12758>
- Back, M. A., Bonifácio, L., Inácio, M. L., Mota, M., & Boa, E. (2024). Pine wilt disease: A global threat to forestry. *Plant Pathology*, 73(5), 1026–1041. <https://doi.org/10.1111/ppa.13875>
- Baker, E., Jeger, M. J., Mumford, J. D., & Brown, N. (2019). Enhancing plant biosecurity with citizen science monitoring: Comparing methodologies using reports of acute oak decline. *Journal of Geographical Systems*, 21(1), 111–131. <https://doi.org/10.1007/s10109-018-0285-2>
- Batista, E., Lopes, A., & Alves, A. (2021). What do we know about Botryosphaeriaceae? An overview of a worldwide cured dataset. *Forests*, 12(3), 313. <https://doi.org/10.3390/f12030313>
- Boddy, L. (2016). Genetics – Variation, sexuality, and evolution. In S. C. Watkinson, L. Boddy, & N. P. Money (Eds.), *The Fungi* (pp. 99–139). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382034-1.00004-9>
- Burgess, T. I., Oliva, J., Sapsford, S. J., Sakalidis, M. L., Balocchi, F., & Paap, T. (2022). Anthropogenic disturbances and the emergence of native diseases: A threat to forest health. *Current Forestry Reports*, 8(2), 111–123. <https://doi.org/10.1007/s40725-022-00163-0>
- Choi, W. I., Lee, D.-H., Jung, J. B., & Park, Y.-S. (2022). Oak decline syndrome in Korean forests: History, biology, and prospects for Korean oak wilt. *Forests*, 13(6), 964. <https://doi.org/10.3390/f13060964>
- Clark, R., Reed, J., & Sunderland, T. (2018). Bridging funding gaps for climate and sustainable development: Pitfalls, progress and potential of private finance. *Land Use Policy*, 71, 335–346. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.013>
- Contreras-Cornejo, H. A., Larsen, J., Fernández-Pavía, S. P., & Oyama, K. (2023). Climate change, a booster of disease outbreaks by the plant pathogen *Phytophthora* in oak forests. *Rhizosphere*, 27, 100719. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100719>
- Coritico, F. P., Lagunday, N. E., Galindon, J. M., Tandang, D. N., & Amoroso, V. B. (2020). Diversity of trees and structure of forest habitat types in Mt. Tago Range, Mindanao, Philippines. *Philippine Journal of Systematic Biology*, 14(3). <https://doi.org/10.26757/pjsb2020c14006>
- Costanza, K. K. L., Crandall, M. S., Rice, R. W., Livingston, W. H., Munck, I. A., & Lombard, K. (2019). Economic implications of a native tree disease, Caliciopsis canker, on the white pine (*Pinus strobus*) lumber industry in the northeastern United States. *Canadian Journal of Forest Research*, 49(5), 521–530. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0380>
- Estos esfuerzos contribuyen al desarrollo de bosques seminaturales, que son más resilientes a los cambios y amenazas ambientales. En las áreas forestales destinadas a la producción, el simple aumento de la diversidad puede no ser suficiente para incentivar a las industrias madereras con concesiones privadas para adoptar este enfoque, ya que las estrategias de diversificación suelen producir menores rendimientos económicos (Hildebrandt & Knoke, 2011). Por lo tanto, es esencial el uso de prácticas de manejo forestal para lograr bosques resilientes y mantener al mismo tiempo ingresos estables a largo plazo. Entre estas prácticas se incluyen: tala selectiva de especies, sistemas de tala variados, combinación de regeneración natural y plantación, y una gama más amplia de especies plantadas (Dymond et al., 2014).
- En el caso de las plantaciones forestales a gran escala, resulta fundamental hacer un análisis detallado de las ventajas y desventajas económicas y ecológicas asociadas al cultivo mixto con árboles no hospedadores, que considere cuidadosamente los costos y beneficios a largo plazo de esta práctica para la gestión de enfermedades emergentes (Roberts et al., 2020). Los bosques plantados con especies de alto valor económico también pueden beneficiarse considerablemente de los programas de mejoramiento genético enfocados en la resistencia, así como del uso de lotes de semilla genéticamente diversos y bien adaptados. Dado el ritmo lento de estos programas, puede ser necesario investigar formas de resistencia o tolerancia general, más allá de la resistencia específica por especie, para poder responder eficazmente a un clima en rápido cambio (Woods et al., 2010).

Conclusiones

Los bosques filipinos enfrentan amenazas significativas debido a posibles enfermedades fúngicas emergentes, impulsadas en gran medida por el cambio climático, lo que puede derivar en brotes de enfermedades arbóreas más frecuentes y severas. A pesar de las epidemias forestales ocurridas en el pasado, la gestión forestal del país ha mostrado capacidad limitada para anticipar y responder eficazmente a estos riesgos emergentes. Por ello, resulta urgente la implementación de una estrategia de sanidad forestal más proactiva e integrada. Ante las restricciones en recursos financieros y técnicos para el monitoreo de la salud forestal en Filipinas, las estrategias de bajo costo como la ciencia ciudadana y la vigilancia selectiva se presentan como soluciones prácticas para la detección temprana. Estas iniciativas permiten proteger de manera más eficiente y económica los bosques vulnerables. Es fundamental cerrar las brechas de información mediante una investigación sólida y el desarrollo en áreas clave como la patología forestal, la ecología y la silvicultura.

- Crous, P. W., Groenewald, J. Z., Slippers, B., & Wingfield, M. J. (2016). Global food and fibre security threatened by current inefficiencies in fungal identification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1709), 20160024. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0024>
- Davydenko, K., Vasaitis, R., Elfstrand, M., Baturkin, D., Meshkova, V., & Menkis, A. (2021). Fungal communities vectored by ips sexdentatus in declining *Pinus sylvestris* in Ukraine: Focus on occurrence and pathogenicity of ophiostomatoid species. *Insects*, 12(12), 1119. <https://doi.org/10.3390/insects12121119>
- De la Cueva, F. M., Laurel, N. R., Dalisay, T. U., & Sison, M. L. J. (2021). Identification and characterisation of *Colletotrichum fructicola*, *C. tropicale* and *C. theobromicola* causing mango anthracnose in the Philippines. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 54(19–20), 1989–2006. <https://doi.org/10.1080/03235408.2021.1968234>
- De Groot, M., Pocock, M. J. O., Bonte, J., Fernandez-Conradi, P., & Valdés-Correccher, E. (2022). Citizen science and monitoring forest pests: A beneficial alliance? *Current Forestry Reports*, 9(1), 15–32. <https://doi.org/10.1007/s40725-022-00176-9>
- Debona, D., Rodrigues, F. Á., Rios, J. A., Martins, S. C. V., Pereira, L. F., & DaMatta, F. M. (2014). Limitations to photosynthesis in leaves of wheat plants infected by *Pyricularia oryzae*. *Phytopathology*, 104(1), 34–39. <https://doi.org/10.1094/PHTO-01-13-0024-R>
- Desprez-Loustau, M.-L., Massot, M., Toigo, M., Fort, T., Aday Kaya, A. G., Boberg, J., Braun, U., Capdevielle, X., Cech, T., Chandelier, A., Christova, P., Corcobado, T., Dogmus, T., Dutech, C., Fabreguettes, O., Favière d'Arcier, J., Gross, A., Horta Jung, M., Iturrutxa, E., ... Tack, A. Jm. (2018). From leaf to continent: The multi-scale distribution of an invasive cryptic pathogen complex on oak. *Fungal Ecology*, 36, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.08.001>
- Devkota, P., & Hammerschmidt, R. (2020). The infection process of *Armillaria mellea* and *Armillaria solidipes*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 112, 101543. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2020.101543>
- Doungsa-ard, C., McTaggart, A. R., Geering, A. D. W., Dalisay, T. U., Ray, J., & Shivas, R. G. (2015). *Uromycladium falcatarium* sp. nov., the cause of gall rust on *Paraserianthes falcataria* in south-east Asia. *Australasian Plant Pathology*, 44(1), 25–30. <https://doi.org/10.1007/s13313-014-0301-z>
- Dymond, C. C., Tedder, S., Spittlehouse, D. L., Raymer, B., Hopkins, K., McCallion, K., & Sandland, J. (2014). Diversifying managed forests to increase resilience. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(10), 1196–1205. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0146>
- Espada, M., Filipiak, A., Li, H., Shinya, R., & Vicente, C. S. L. (2022). Editorial: Global occurrence of pine wilt disease: Biological interactions and integrated management. *Frontiers in Plant Science*, 13, 993482. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.993482>
- Eusebio, M. A. (1998). *Pathology in forestry*. Ecosystems Research and Development Bureau.
- Eyles, A., Beadle, C., Barry, K., Francis, A., Glen, M., & Mohammed, C. (2008). Management of fungal root-rot pathogens in tropical *Acacia mangium* plantations. *Forest Pathology*, 38(5), 332–355. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2008.00549.x>

La participación amplia y coordinada de los actores involucrados (gobierno, sector privado, comunidades locales y socios internacionales) será crucial para garantizar una gestión sostenible y eficaz de la salud forestal en el país.

Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento a su excolega Mutya Ma. Q. Manalo y a los revisores anónimos por sus valiosos comentarios que contribuyeron a mejorar este manuscrito.

Declaración de conflictos de intereses

El autor declara que no tiene conflictos de intereses económicos ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en la investigación presentada en este artículo.

Fin de la versión en español

- Forest Management Bureau (FMB). (2022). *Philippine Forestry Statistics 2021 Department of Environment and Natural Resources*. <https://drive.google.com/file/d/1V2JS74-DPvMc4A8r3AJwrMDoAmXptl9f/view>
- Gaydos, D. A., Petrasova, A., Cobb, R. C., & Meentemeyer, R. K. (2019). Forecasting and control of emerging infectious forest disease through participatory modelling. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1776), 20180283. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0283>
- Ghelardini, L., Pepori, A. L., Luchi, N., Capretti, P., & Santini, A. (2016). Drivers of emerging fungal diseases of forest trees. *Forest Ecology and Management*, 381, 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.032>
- Gomez-Gallego, M., Galiano, L., Martínez-Vilalta, J., Stenlid, J., Capador-Barreto, H. D., Elfstrand, M., Camarero, J. J., & Oliva, J. (2022). Interaction of drought- and pathogen-induced mortality in Norway spruce and Scots pine. *Plant, Cell & Environment*, 45(8), 2292–2305. <https://doi.org/10.1111/pce.14360>
- Gullino, M. L., Albajes, R., Al-Jboory, I., Angelotti, F., Chakraborty, S., Garrett, K. A., Hurley, B. P., Juroszek, P., Lopian, R., Makkouk, K., Pan, X., Pugliese, M., & Stephenson, T. (2022). Climate change and pathways used by pests as challenges to plant health in agriculture and forestry. *Sustainability*, 14(19), 12421. <https://doi.org/10.3390/su141912421>
- Haddaway, N. R., Macura, B., Whaley, P., & Pullin, A. S. (2018). ROSES RepOrting standards for Systematic Evidence Syntheses: Pro forma, flow-diagram and descriptive summary of the plan and conduct of environmental systematic reviews and systematic maps. *Environmental Evidence*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0121-7>
- Hariharan, G., & Prasannath, K. (2021). Recent advances in molecular diagnostics of fungal plant pathogens: A mini review. *Frontiers*

- in *Cellular and Infection Microbiology*, 10, 600234. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.600234>
- Harsh, N. S. K. (2025). Diseases of tree Species. In A. K. Mandal, & A. Nicodemus (Eds.), *Textbook of forest science* (pp. 751–774). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8289-5_35
- Heinzelmann, R., Dutech, C., Tsykun, T., Labbé, F., Soularue, J.-P., & Prospero, S. (2019). Latest advances and future perspectives in *Armillaria* research. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 41(1), 1–23. <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1558284>
- Hennon, P. E., Frankel, S. J., Woods, A. J., Worrall, J. J., Ramsfield, T. D., Zambino, P. J., Shaw, D. C., Ritóková, G., Warwell, M. V., Norlander, D., Mulvey, R. L., & Shaw, C. G. (2021). Applications of a conceptual framework to assess climate controls of forest tree diseases. *Forest Pathology*, 51(6). <https://doi.org/10.1111/efp.12719>
- Hildebrandt, P., & Knoke, T. (2011). Investment decisions under uncertainty—A methodological review on forest science studies. *Forest Policy and Economics*, 13(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2010.09.001>
- Hirata, A., Nakamura, K., Nakao, K., Kominami, Y., Tanaka, N., Ohashi, H., Takano, K. T., Takeuchi, W., & Matsui, T. (2017). Potential distribution of pine wilt disease under future climate change scenarios. *PLOS ONE*, 12(8), e0182837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182837>
- Hoheneder, F., Hofer, K., Groth, J., Herz, M., Heß, M., & Hüchelhoven, R. (2021). Ramularia leaf spot disease of barley is highly host genotype-dependent and suppressed by continuous drought stress in the field. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(3), 749–767. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00420-z>
- Hulbert, J. M. (2016). Citizen science tools available for ecological research in South Africa. *South African Journal of Science*, 112(5/6), 2. <https://doi.org/10.17159/sajs.2016/a0152>
- Hurley, B. P., Slippers, B., Sathyapala, S., & Wingfield, M. J. (2017). Challenges to planted forest health in developing economies. *Biological Invasions*, 19(11), 3273–3285. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1488-z>
- Hussien, T., Carlobos-Lopez, A. L., & Cumagun, C. J. R. (2017). Identification and quantification of fumonisin-producing *Fusarium* species in grain and soil samples from Egypt and the Philippines. *Phytopathologia Mediterranea*, 56(1), 146–153. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-20294
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2024). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2024-1. <https://www.iucnredlist.org/en>
- Jain, A., Sarsaiya, S., Wu, Q., Lu, Y., & Shi, J. (2019). A review of plant leaf fungal diseases and its environment speciation. *Bioengineered*, 10(1), 409–424. <https://doi.org/10.1080/2165597.9.2019.1649520>
- Jansons, Ā., Zeltiņš, P., Donis, J., & Neimane, U. (2020). Long-term effect of *Lophodermium* needle cast on the growth of Scots Pine and implications for financial outcomes. *Forests*, 11(7), 718. <https://doi.org/10.3390/f11070718>
- Kedves, O., Shahab, D., Champramary, S., Chen, L., Indic, B., Bóka, B., Nagy, V. D., Vágvölgyi, C., Kredics, L., & Sipos, G. (2021). Epidemiology, biotic interactions and biological control of Armillarioids in the Northern Hemisphere. *Pathogens*, 10(1), 76. <https://doi.org/10.3390/pathogens10010076>
- Kim, M.-S., Hanna, J. W., Stewart, J. E., Warwell, M. V., McDonald, G. I., & Klopfenstein, N. B. (2021). Predicting present and future suitable climate spaces (potential distributions) for an *Armillaria* root disease pathogen (*Armillaria solidipes*) and its host, Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*), under changing climates. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 740994. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.740994>
- Kobayashi, T., & de Guzman, E. (1988a). Monograph of tree diseases in the Philippines with taxonomic notes on their associated microorganisms. *Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute*, 351, 99–200. Retrieved from <https://www.ffpri.go.jp/pubs/bulletin/351/documents/351-3.pdf>
- Kobayashi, T., & de Guzman, E. (1988b). Notes on tree diseases and associated microorganisms observed from 1977 to 1985 in the Philippines. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 22(2), 64–70. Retrieved from https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/jarq/22-1-064-070_0.pdf
- Kobayashi, T., Suto, Y., & Guzman, E. D. (1979). Cercospora needle blight of pines in the Philippines. *Forest Pathology*, 9(3–4), 166–175. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1979.tb00675.x>
- Kozhar, O., Kim, M., Ibarra Caballero, J., Klopfenstein, N. B., Cannon, P. G., & Stewart, J. E. (2022). Long evolutionary history of an emerging fungal pathogen of diverse tree species in eastern Asia, Australia and the Pacific Islands. *Molecular Ecology*, 31(7), 2013–2031. <https://doi.org/10.1111/mec.16384>
- Kubiak, K., Żółciak, A., Damszel, M., Lech, P., & Sierota, Z. (2017). *Armillaria* pathogenesis under climate changes. *Forests*, 8(4), 100. <https://doi.org/10.3390/f8040100>
- Laflamme, G. (2010). Root diseases in forest ecosystems. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 32(1), 68–76. <https://doi.org/10.1080/07060661003621779>
- Lan, Y.-H., Shaw, D. C., Lee, E. H., & Beedlow, P. A. (2022). Distribution of a foliage disease fungus within canopies of mature Douglas-Fir in Western Oregon. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 743039. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.743039>
- Langer, G. J., Bußkamp, J., Terhonen, E., & Blumenstein, K. (2021). Fungi inhabiting woody tree tissues. In F. O. Asiegbu & A. Kovalchuk (Eds.), *Forest microbiology* (pp. 175–205). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822542-4.00012-7>
- Limbo-Dizon, J. E., Almadrones-Reyes, K. J., Macabago, S. A. B., & Dagamac, N. H. A. (2022). Bioclimatic modeling for the prediction of the suitable regional geographical distribution of selected bright-spored myxomycetes in the Philippine archipelago. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(5). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230506>
- Luchi, N., Ioos, R., & Santini, A. (2020). Fast and reliable molecular methods to detect fungal pathogens in woody plants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(6), 2453–2468. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10395-4>
- Ma, Z., Zhu, J., Sun, Z., Liang, J., Zhang, Z., Zhang, L., Sun, L., & Li, W. (2015). The influences of biotic and abiotic factors on the occurrence and severity of poplar canker disease in Qingfeng County, China and the management implications. *Journal of Forestry Research*, 26(4), 1025–1034. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0122-0>
- Masi, M., Maddau, L., Linaldeddu, B. T., Scanu, B., Evidente, A., & Cimmino, A. (2018). Bioactive metabolites from pathogenic and endophytic fungi of forest trees. *Current Medicinal*

- Chemistry*, 25(2), 208–252. <https://doi.org/10.2174/0929867324666170314145159>
- McCook, S. (2006). Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850. *Journal of Global History*, 1(2), 177–195. <https://doi.org/10.1017/S174002280600012X>
- Militante, E., & Manalo, M. Q. (1999). *Root rot disease of mangium (Acacia mangium Willd.) in the Philippines*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122640/records/6474739f425ec3c088f34b81>
- Millar, C. I., Stephenson, N. L., & Stephens, S. L. (2007). Climate change and forests of the future: Managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 17(8), 2145–2151. <https://doi.org/10.1890/06-1715.1>
- Nguyen, D., Castagneyrol, B., Bruelheide, H., Bussotti, F., Guyot, V., Jactel, H., Jaroszewicz, B., Valladares, F., Stenlid, J., & Boberg, J. (2016). Fungal disease incidence along tree diversity gradients depends on latitude in European forests. *Ecology and Evolution*, 6(8), 2426–2438. <https://doi.org/10.1002/ece3.2056>
- Olaniyi, O. N., & Szulczyk, K. R. (2022). Estimating the economic impact of the white root rot disease on the Malaysian rubber plantations. *Forest Policy and Economics*, 138, 102707. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102707>
- Paap, T., Burgess, T. I., Calver, M., McComb, J. A., Shearer, B. L., & Hardy, G. E. Stj. (2017). A thirteen-year study on the impact of a severe canker disease of *Corymbia calophylla*, a keystone tree in Mediterranean-type forests. *Forest Pathology*, 47(1). <https://doi.org/10.1111/efp.12292>
- Pacho, M. V., & Quimio, Jr, M. J. (2015). Common diseases in forest plantations. In *Pests and diseases of forest plantation trees in the Philippines: A guidebook* (2nd ed., pp. 131–158). PCARRD and DENR. https://erdbservices.denr.gov.ph/eskris/iec_for_guest.php?operation=view&pk0=514
- Panzavolta, T., Panichi, A., Bracalini, M., Croci, F., Ginetti, B., Ragazzi, A., Tiberi, R., & Moricca, S. (2017). Dispersal and propagule pressure of Botryosphaeriaceae species in a declining oak stand is affected by insect vectors. *Forests*, 8(7), 228. <https://doi.org/10.3390/f8070228>
- Parlucha, J. A., Soriano, J. K. R., Yabes, M. D., Pampolina, N. M., & Tadiosa, E. R. (2021). Species and functional diversity of macrofungi from protected areas in mountain forest ecosystems of Southern Luzon, Philippines. *Tropical Ecology*, 62(3), 359–367. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00152-7>
- Paterson, R. R. M. (2020). Oil palm survival under climate change in Kalimantan and alternative SE Asian palm oil countries with future basal stem rot assessments. *Forest Pathology*, e12604. <https://doi.org/10.1111/efp.12604>
- Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration (PAGASA). (2022). *Climate change in the Philippines*. <https://www.pagasa.dost.gov.ph/information/climate-change-in-the-philippines>
- Philippine Council for Agriculture, Forestry and Natural Resources Research and Development (PCAARRD). (2003). *Highlights 2002*. <https://elibrary.pcaarrd.dost.gov.ph/full-description/PCRD-H001190>
- Philippine Council for Agriculture, Forestry and Natural Resources Research and Development (PCAARRD). (2006). *Pests and diseases of selected industrial forest species: Vol. Information Bulletin No. 249*. <https://elibrary.pcaarrd.dost.gov.ph/full-description/PCRD-H004543>
- Philippine Council for Agriculture, Forestry and Natural Resources Research and Development (PCAARRD). (2015). *Pests and diseases of forest plantation trees in the Philippines: A guidebook* (2nd ed.). PCAARRD and Department of Environment and Natural Resources.
- Piepenbring, M., Hofmann, T. A., Miranda, E., Cáceres, O., & Unterseher, M. (2015). Leaf shedding and weather in tropical dry-seasonal forest shape the phenology of fungi – Lessons from two years of monthly surveys in southwestern Panama. *Fungal Ecology*, 18, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.08.004>
- Pinol, A. A., Perino, E. A., Pollisco, M. T., San Valentin, H. O., & Pacho, M. V. (2006). *A report on the stocktaking of national Forest Invasive Species (FIS) activities in the Philippines*. Retrieved from http://apfisn.net/country_report/Philippines.pdf
- Ramsfield, T. D., Bentz, B. J., Faccoli, M., Jactel, H., & Brockerhoff, E. G. (2016). Forest health in a changing world: Effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts. *Forestry*, 89(3), 245–252. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw018>
- Ristaino, J. B., Anderson, P. K., Bebbler, D. P., Brauman, K. A., Cunniffe, N. J., Fedoroff, N. V., Finegold, C., Garrett, K. A., Gilligan, C. A., Jones, C. M., Martin, M. D., MacDonald, G. K., Neenan, P., Records, A., Schmale, D. G., Tateosian, L., & Wei, Q. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(23), e2022239118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118>
- Roberts, M., Gilligan, C. A., Kleczkowski, A., Hanley, N., Whalley, A. E., & Healey, J. R. (2020). The effect of forest management options on forest resilience to pathogens. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 7. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00007>
- Rodriguez, A. D. (2023). Research Institute sets master plan for rubber treatment. Retrieved from <https://www.da.gov.ph/research-institute-sets-master-plan-for-rubber-treatment/>
- Rojo, M. J. A., & Paquit, J. C. (2018). Incidence of heart rot in a university owned plantation forest: Implication on forest management. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 13(6), 146–151. Retrieved from <https://www.innspub.net/wp-content/uploads/2022/06/JBES-V13-No6-p146-151.pdf>
- Rutten, G., Hönig, L., Schwaß, R., Braun, U., Saadani, M., Schuldt, A., Michalski, S. G., & Bruelheide, H. (2021). More diverse tree communities promote foliar fungal pathogen diversity, but decrease infestation rates per tree species, in a subtropical biodiversity experiment. *Journal of Ecology*, 109(5), 2068–2080. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13620>
- Saadani, M., Hönig, L., Bien, S., Koehler, M., Rutten, G., Wubet, T., Braun, U., & Bruelheide, H. (2021). Local tree diversity suppresses foliar fungal infestation and decreases morphological but not molecular richness in a young subtropical forest. *Journal of Fungi*, 7(3), 173. <https://doi.org/10.3390/jof7030173>
- Schulz, B., Haas, S., Junker, C., André, N., & Schobert, M. (2015). Fungal endophytes are involved in multiple balanced antagonisms. *Current Science*, 109(1), 39–45. <https://www.jstor.org/stable/24905689>

- Shi, Y., Gao, X., Jiang, Y., Zhang, J., Qi, F.-H., & Jing, T.-Z. (2024). Spatial pattern of host tree size, rather than of host tree itself, affects the infection likelihood of a fungal stem disease. *Biology*, 13(8), 616. <https://doi.org/10.3390/biology13080616>
- Smith, A. H., Potts, B. M., Ratkowsky, D. A., Pinkard, E. A., & Mohammed, C. L. (2018). Association of *Eucalyptus globulus* leaf anatomy with susceptibility to *Teratosphaeria* leaf disease. *Forest Pathology*, 48(2), e12395. <https://doi.org/10.1111/efp.12395>
- Stewart, J. E., Kim, M.-S., Ota, Y., Sahashi, N., Hanna, J. W., Akiba, M., Ata, J. P., Atibalentja, N., Brooks, F., Chung, C.-L., Dann, E. K., Mohd Farid, A., Hattori, T., Lee, S. S., Otto, K., Pegg, G. S., Schlub, R. L., Shuey, L. S., Tang, A. M. C., ... Klopfenstein, N. B. (2020). Phylogenetic and population genetic analyses reveal three distinct lineages of the invasive brown root-rot pathogen, *Phellinus noxius*, and bioclimatic modeling predicts differences in associated climate niches. *European Journal of Plant Pathology*, 156(3), 751–766. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01926-5>
- Stewart, J. E., Ross-Davis, A. L., Gra a, R. N., Alfenas, A. C., Peever, T. L., Hanna, J. W., Uchida, J. Y., Hauff, R. D., Kadooka, C. Y., Kim, M. -S., Cannon, P. G., Namba, S., Simeto, S., Pérez, C. A., Rayamajhi, M. B., Lodge, D. J., Arguedas, M., Medel-Ortiz, R., López-Ramírez, M. A., ... Klopfenstein, N. B. (2018). Genetic diversity of the myrtle rust pathogen (*Austropuccinia psidii*) in the Americas and Hawaii: Global implications for invasive threat assessments. *Forest Pathology*, 48(1). <https://doi.org/10.1111/efp.12378>
- Sturrock, R. N., Frankel, S. J., Brown, A. V., Hennon, P. E., Kliejunas, J. T., Lewis, K. J., Worrall, J. J., & Woods, A. J. (2011). Climate change and forest diseases: Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, 60(1), 133–149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>
- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D. N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A. P., Azinheira, H. G., Guerra-Guimarães, L., Várzea, V., & Silva, M. D. C. (2017). The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: One and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology*, 18(8), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/mpp.12512>
- Terhonen, E., Blumenstein, K., Kovalchuk, A., & Asiegbo, F. O. (2019a). Forest tree microbiomes and associated fungal endophytes: functional roles and impact on forest health. *Forests*, 10(1), 42. <https://doi.org/10.3390/f10010042>
- Terhonen, E., Langer, G. J., Buřkcamp, J., R. scuțoi, D. R., & Blumenstein, K. (2019b). Low water availability increases necrosis in *Picea abies* after artificial inoculation with fungal root rot pathogens *Heterobasidion parviporum* and *Heterobasidion annosum*. *Forests*, 10(1), 55. <https://doi.org/10.3390/f10010055>
- Teshome, D. T., Zharare, G. E., & Naidoo, S. (2020). The threat of the combined effect of biotic and abiotic stress factors in forestry under a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 11, 601009. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.601009>
- Villacide, J. M., Gomez, D. F., Perez, C. A., Corley, J. C., Ahumada, R., Rodrigues Barbosa, L., Furtado, E. L., González, A., Ramirez, N., Balmelli, G., Dias De Souza, C., & Martínez, G. (2023). Forest health in the Southern Cone of America: State of the art and perspectives on regional efforts. *Forests*, 14(4), 756. <https://doi.org/10.3390/f14040756>
- Villasan, M. (2025). *Assessing the potential susceptibility of Eucalyptus deglupta Blume to Austropuccinia psidii (G. Winter) Beenken in Mindanao, Philippines* [thesis]. University of the Philippines Los Baños.
- Wang, Y., Wu, W., Zhang, L., Jiang, H., & Mei, L. (2023). Variations in amino acids caused by drought stress mediate the predisposition of *Carya cathayensis* to *Botryosphaeria* canker disease. *Journal of Experimental Botany*, 74(15), 4628–4641. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad161>
- Weldon, J., & Grandin, U. (2019). Major disturbances test resilience at a long-term boreal forest monitoring site. *Ecology and Evolution*, 9(7), 4275–4288. <https://doi.org/10.1002/ece3.5061>
- Wingfield, M. J., Barnes, I., de Beer, Z. W., Roux, J., Wingfield, B. D., & Taerum, S. J. (2017). Novel associations between ophiostomatoid fungi, insects and tree hosts: Current status – future prospects. *Biological Invasions*, 19(11), 3215–3228. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1468-3>
- Woods, A. J., Heppner, D., Kope, H. H., Burleigh, J., & Maclauchlan, L. (2010). Forest health and climate change: A British Columbia perspective. *The Forestry Chronicle*, 86(4), 412–422. <https://doi.org/10.5558/tfc86412-47>
- Wyka, S. A., Smith, C., Munck, I. A., Rock, B. N., Ziniti, B. L., & Broders, K. (2017). Emergence of white pine needle damage in the northeastern United States is associated with changes in pathogen pressure in response to climate change. *Global Change Biology*, 23(1), 394–405. <https://doi.org/10.1111/gcb.13359>
- Yazaki, K., Takanashi, T., Kanzaki, N., Komatsu, M., Levia, D. F., Kabeya, D., Tobita, H., Kitao, M., & Ishida, A. (2018). Pine wilt disease causes cavitation around the resin canals and irrecoverable xylem conduit dysfunction. *Journal of Experimental Botany*, 69(3), 589–602. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx417>
- Yurkewich, J. I., Castaño, C., & Colinas, C. (2017). Chestnut red stain: Identification of the fungi associated with the costly discolouration of *Castanea sativa*. *Forest Pathology*, 47(4), e12335. <https://doi.org/10.1111/efp.12335>
- Zařuma, A., Muiřnieks, I., Gaitnieks, T., Burņeviņa, N., Jansons, Ā., Jansons, J., Stenlid, J., & Vasaitis, R. (2019). Infection and spread of root rot caused by *Heterobasidion* spp. in *Pinus contorta* plantations in Northern Europe: Three case studies. *Canadian Journal of Forest Research*, 49(8), 969–977. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0507>
- Zhang, Y., Chen, W., Hu, J., & Wang, Y. (2024). A digital management system for monitoring epidemics and the management of Pine Wilt disease in East China. *Forests*, 15(12), 2174. <https://doi.org/10.3390/f15122174>