

EFFECTIVIDAD DE FUNGICIDAS ORGÁNICOS PARA EL CONTROL DE *Fusarium* EN TRES ESPECIES DE PINO

EFFECTIVENESS OF ORGANIC FUNGICIDES FOR THE CONTROL OF *Fusarium* IN THREE PINE SPECIES

¹Omar Paz-Aquino , ²Wenceslao Santiago-García , ³Elías Santiago-García , ⁴Gerardo Rodríguez-Ortiz , ⁵Arturo Félix Hernández-Díaz 

Universidad de la Sierra Juárez (UNSIJ), ¹Ingeniería Forestal, ²División de Estudios de Postgrado-Instituto de Estudios Ambientales, ³Dirección Técnica Forestal, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, Carretera Oaxaca-Tuxtepec s/n, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. C.P. 68725. ⁴Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex Hacienda de Nazareno s/n, Xoxocotlán C.P. 71233, México, ⁵UNSIJ, Instituto de Estudios Ambientales. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Av. Universidad s/n. C.P. 68725. ⁵Autor de correspondencia: (wsantiago@unsij.edu.mx).

RESUMEN

La supervivencia de las plantas en vivero se logra con el uso constante de fungicidas con base química, dichos fungicidas causan daños al ambiente y al aplicador, por tanto, se han buscado fungicidas alternativos con la misma efectividad. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de fungicidas orgánicos para controlar el ataque de *Fusarium*. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial para probar seis tipos diferentes de fungicidas: cuatro orgánicos (ajo, canela, azufre, extracto de cola de caballo), uno químico (tecto60®) y un testigo (agua), en tres especies de pino: *Pinus patula* Schiede ex Schltdl, *P. oaxacana* Mirov y *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. La unidad experimental consistió de 90 charolas de 24 plantas cada una. Las 2160 plantas (720 plantas por especie) se monitorearon cada 15 días durante seis meses, donde se registró un total de 2.2 % de plantas muertas. La especie *P. oaxacana* presentó mayor mortalidad con 1.1 % de plantas muertas, mientras que *P. ayacahuite* mostró mayor resistencia con tan solo un 0.3 % de plantas pérdidas. El fungicida químico presentó resultados mejores, en tanto que, el azufre fue mejor dentro de los fungicidas orgánicos con 1.6 % de plantas muertas. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) de los factores estudiados, lo que sugiere una

efectividad similar en la aplicación de los diferentes fungicidas. El encontrar un fungicida alternativo eficaz, permitiría reducir costos, daños a la planta, al ambiente y al aplicador.

Palabras clave: diseño experimental, *Pinus patula*, *P. ayacahuite*, *P. oaxacana*, viveros.

ABSTRACT

The survival of plants in the nursery is achieved through the constant use of chemical-based fungicides. However, these fungicides cause damage to the environment and the applicator, therefore, alternative fungicides with similar effectiveness have been sought. The objective of the study was to evaluate the effect of organic fungicides to control *Fusarium* attacks. A completely randomized experimental design with a factorial arrangement was used to test six different types of fungicides: four organic (garlic, cinnamon, sulfur, horsetail extract), one chemical (tecto60®) and one control (water), in three pine species: *Pinus patula* Schiede ex Schltdl, *P. oaxacana* Mirov and *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. The experimental unit consisted of 90 trays of 24 plants each. A total of 2160 plants (720 plants for species) were monitored every 15 days for six months, and a total of 2.2 % of dead plants were recorded. Among the species *P. oaxacana* exhibited the highest mortality rate, with

1.1 % of dead plants, while *P. ayacahuite* showed greater resistance with only 0.3 % of plants lost. The chemical fungicide presented better results, while sulfur was better among the organic fungicides, resulting in only 1.6 % of dead plants. However, no significant statistical differences ($p > 0.05$) were observed among the factors studied, which suggests similar effectiveness in the application of the different fungicides. Finding an effective alternative fungicide would reduce costs, damage to the plant, the environment and the nurseryman.

Index words: experimental design, *Pinus patula*, *P. ayacahuite*, *P. oaxacana*, nurseries.

INTRODUCCIÓN

La importancia de los viveros radica en obtener una producción de plantas de calidad para garantizar la supervivencia de los individuos en el lugar de establecimiento (Mariotti et al., 2023; Fady et al., 2022). Rodríguez-Ortiz et al. (2020) mencionan que una planta de calidad es aquella capaz de alcanzar un desarrollo favorable, y, por tanto, puede cumplir con los objetivos establecidos en un plan de reforestación. La aptitud de una planta es el resultado de la calidad genética, morfológica, fisiológica, sanitaria y biológica (South, Starkey & Lyons 2023; Sáenz-Reyes et al., 2014).

La calidad genética hace referencia al origen de la semilla y a otros métodos de propagación, además, conlleva la interacción de la planta con el ambiente (Climent et al., 2008). Numerosas especies presentan variaciones funcionales entre poblaciones que presentan diferentes capacidades de respuesta a determinados factores abióticos y bióticos (Ribeiro et al., 2022; Villalón-Mendoza, 2016).

La calidad morfológica y fisiológica de una planta depende, en gran medida, de su estadía en el vivero y de sus características genéticas y se refiere a los estados que pueden adoptar un conjunto de atributos funcionales relacionados

con la capacidad hídrica y fotosintética de la planta (Fidel-Alarcón, 2022; Sáenz-Reyes et al., 2014). La calidad sanitaria se refiere a la presencia de agentes patógenos en la planta que pueden disminuir su desarrollo futuro y el de las poblaciones de plantas presentes en la zona de reforestación (Angarita-Cacheo et al., 2023; Valera et al., 2017). Finalmente, la calidad biológica está referida al buen desarrollo de las raíces (Ramos-Huapaya & Lombardi-Indacochea, 2020).

En la mayoría de los viveros que utilizan tierra de monte o agrícolas y que tienen almacigos o siembra directa, se presenta la enfermedad conocida como damping-off, la mayoría de los viveristas reconocen el problema, causado principalmente por los hongos de los géneros *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Fusarium* (Cibrián, García y Don Juan, 2008; Jancarik, 1960). Para el control de los hongos se ha recurrido ampliamente a la utilización de productos químicos (Acero-Montoya, 2022). Aguirre et al. (2012) y Noreña et al. (2011) establecen que los productos químicos se caracterizan por tener amplio espectro y ser tóxicos a los insectos benéficos, como polinizadores, así también a especies silvestres. Aunque el uso de químicos para el control de enfermedades es efectivo también causa ruptura del equilibrio ecológico que se establece en la naturaleza, aumentando las poblaciones de insectos que no constituían plagas y como consecuencia los productores tienen que aumentar las dosis de aplicación de productos químicos, incrementando los costos de producción y por consiguiente más contaminación ambiental.

Villa-Martínez et al. (2015) realizaron una revisión sobre la situación actual en el control de *Fusarium* spp., así como una evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales en donde destacan los trabajos siguientes: Jasso-de Rodríguez et al. (2007) estudiaron las propiedades fungicidas de extractos etanólicos de tres especies de la maravilla de campo *Flourensia* spp., contra *F. oxysporum* Schltdl., donde el desarrollo micelial fue inhibido más del 90% con

el uso de los tres extractos. Alkhail (2005), probó extractos acuosos, por arrastre de vapor y etanólicos de ajo "*Allium sativum* Schrad. ex Willd", semilla de neem "*Azardíachta indica* A.Juss.", hierba de limón "*Cymogopogon proxims* A.Rich", comino "*Carum carvi* M.Bieb." y clavo "*Eugenia caryophyllus* Bullock & S.G.Harrison", así como el uso de benomilo®, y cepas de *Trichoderma* spp., contra *F. oxysporum* Schldtl, donde los extractos acuosos de todas las especies vegetales se destacaron con una eficacia mayor del 60 %, pero fue el extracto acuoso de ajo el mejor con casi 95 % de actividad fungicida, resultados iguales que los obtenidos con el benomilo®.

Los viveros forestales pueden constituir una alternativa de producción de plantas forestales de calidad bajo un enfoque orgánico, al reducir costos de producción y utilizar recursos locales disponibles, sin afectar al ambiente ni la salud del personal (Bahramov et al., 2020; Buamscha, 2006). El objetivo de la investigación fue encontrar fungicidas orgánicos nobles con el ambiente y el viverista, para controlar el ataque de *Fusarium* con la misma efectividad que un fungicida químico, aprovechando recursos naturales locales. La hipótesis fue que la actividad antifúngica de fungicidas orgánicos es similar a los efectos producidos por el fungicida de base química Tecto60®.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el vivero forestal de Ixtlán de Juárez, ubicado en la Sierra Norte de Oaxaca, a una altitud de 2051 m, con coordenadas geográficas: 96°47' 87,22" LO y 17°32' 43,61" LN, en dirección al parque industrial a 1 km sobre la carretera Ixtlán-Zoogocho. El vivero tiene una capacidad de producción de 500 mil plantas por ciclo de producción en donde se ocupan charolas de 24 cavidades de 150 mL de 35.2 m × 21.6 m × 10 m, cuenta con un sistema de riego tecnificado con robots y con una bodega como infraestructura de apoyo, en el vivero se ocupan diferentes sustratos, tales como: corteza de pino, agrolita,

vermiculita y turba de musgo. La producción de planta corresponde esencialmente a las especies de pino: *Pinus patula* Schiede ex Schldtl., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. oaxacana* Mirov y *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schldtl (COESFO, 2011).

Identificación del patógeno

Por medio de la asesoría técnica del viverista se identificaron plantas con síntomas característicos de *Fusarium* (marchitez, pudrición de raíz y amarillamiento), se colectaron del vivero 3 plantas muertas, 3 plantas vivas con infección y 3 plantas sanas. Las raíces de las plantas fueron lavadas hasta eliminar todo rastro de sustrato, posteriormente, se realizaron cortes longitudinales del tallo, tallo a la base del cuello y raíz. Se sembraron en placas Petri con medio agar papa dextrosa (PDA) y se incubaron a 25° C por seis días. Los micelios de los hongos con características de fusarium (micelio con pigmentación roja, rosa y violeta) fueron aislados hasta obtener cepas puras de cada uno para ser observadas mediante un microscopio óptico.

Viabilidad de la semilla

Las semillas de las especies utilizadas son provenientes de árboles seleccionados en el bosque de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Las especies recolectadas fueron: *Pinus patula*, *P. oaxacana* y *P. ayacahuite*, las cuales se evaluaron mediante el separador por gravedad BCC (Serie Mini) ®, el equipo separa un lote de semillas completamente por tamaños, teniendo así semillas de buena calidad.

Desinfección de las charolas germinadoras y preparación de sustrato

Las charolas de poliestireno® fueron desinfectadas mediante el método convencional, el cual consistió en lavar manualmente las charolas con agua, jabón y cloro, además, se utilizó un método de esterilización que consistió en sellar las charolas con agua de cal. Posteriormente, el sustrato utilizado a base de turba de musgo 60 %, agrolita 20 % y vermiculita 20 %, se mezcló utilizando la mezcladora de sustratos Agrinet® para obtener una mezcla homogénea.

Llenado, siembra y riego

De acuerdo con la metodología de Prieto et al. (2009) las charolas de poliestireno® se llenaron por completo, se depositó el sustrato por cubetada o palada en el centro de la caja y después manualmente se distribuyó en todas las cavidades de la charola, una vez llenas todas las cavidades de la charola, la base de la misma se golpeó en una superficie sólida hasta eliminar las bolsas de aire dentro de la cavidad, nuevamente se realizó la misma acción hasta quedar las cavidades a un centímetro de su capacidad total. La siembra se realizó el 4 de febrero de 2021, esta actividad se efectuó en todas las charolas consideradas en el experimento, colocando una semilla en cada cavidad de la charola. El riego en la etapa inicial de la planta se realizó dos veces, en la mañana y en la

tarde principalmente en los días soleados, conforme al crecimiento de las plantas la intensidad del riego fue disminuyendo. En época de lluvia no fue necesario.

Control fitosanitario, concentración y aplicación de fungicidas

El monitoreo de las muestras se realizó cada semana después de la germinación eliminando malezas que se llegaban a encontrar en las charolas. La concentración de los fungicidas fue de 200 g de los materiales orgánicos (ajo, canela, azufre y extracto de cola de caballo) por cada litro de agua, la concentración del Tecto® 60 fue de 28 mg L⁻¹. La aplicación de fungicidas (**Tabla I**) se realizó después de la germinación de las plantas, posteriormente la aplicación se realizó cada 20 días durante toda la estadía de las plantas en vivero.

Tabla I. Fungicidas y especies de pino utilizados en el experimento.

Fungicidas	Especie	Clave
Ajo	<i>Pinus patula</i>	T1
Canela		T2
Azufre		T3
Extracto de cola de caballo		T4
Tecto® 60		T5
Agua		T6
Ajo	<i>Pinus oaxacana</i>	T7
Canela		T8
Azufre		T9
Extracto de cola de caballo		T10
Tecto® 60		T11
Agua		T12
Ajo	<i>Pinus ayacahuite</i>	T13
Canela		T14
Azufre		T15
Extracto de cola de caballo		T16
Tecto® 60		T17
Agua		T18

Diseño experimental

El experimento se basó en un diseño completamente al azar con arreglo factorial, teniendo como factores de estudio 6 tipos de fungicidas y tres especies de pino con cinco repeticiones, obteniendo así un total de 90 unidades experimentales (la unidad experimental consistió de una charola de 24 plantas), 720 plantas por especie y un total de 2160 plantas. Todas las plantas fueron utilizadas para el experimento.

El modelo estadístico aplicado al experimento fue el siguiente (Montgomery, 1991):

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = observación de la variable respuesta obtenida del tratamiento con el i -ésimo nivel de A (fungicidas), el j -ésimo nivel de B (especies) y la repetición k -ésima; μ = media general; A_i = efecto del i -ésimo nivel del factor fungicidas donde $i = 1, 2, 3, \dots, 6$; B_j = efecto del j -ésimo nivel del factor especies donde $j = 1, 2, 3$; $(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B ; ε_{ijk} = error asociado a y_{ijk} (explica las diferencias entre los efectos de los tratamientos y la media, respecto a las y_{ijk}).

Aleatorización de los tratamientos y análisis de datos

La aleatorización de los tratamientos se realizó mediante el procedimiento (PROC) PLAN del software estadístico SAS® (SAS Institute Inc., 2013). En campo los datos fueron registrados por medio de una bitácora monitoreando las plantas cada 15 días después del primer mes de la planta. Se registró la mortalidad hasta los 6 meses de crecimiento. El análisis del experimento factorial se realizó mediante un análisis de varianza con el procedimiento (PROC) GLM del programa estadístico SAS® (SAS Institute Inc., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante los aislamientos de los cultivos de PDA se observaron en el microscopio hongos con micelio algodonoso, amarillento, rojo y lila. Se observaron microconidios de formas ovaladas y elípticas, siendo estas características de *Fusarium*. Resultados similares fueron encontrados por Hernández-Amasifuen et al. (2019) mediante el análisis de *Capsicum annum* L., al realizar aislamientos en cultivos de PDA encontraron micelio con pigmentación amarillento, violeta y lila confirmando así la presencia de *Fusarium*.

El éxito de cada vivero depende de la supervivencia de las plantas y la calidad de las mismas, en este caso, a lo largo de seis meses de monitoreo de las plantas se presentó poca mortalidad, la cual varía dependiendo la especie.

De un total de 720 plantas analizadas por especie (2160 plantas en total), se encontró que la especie que mayor mortalidad presentó fue *Pinus oaxacana* con un total de 3.4 % de plantas muertas, seguida de *P. patula* con 2.0 % de plantas muertas, por último, *P. ayacahuite* presentó solo un 1.1 % de plantas muertas, las plantas muertas permanecieron en las charolas. El promedio de las plantas muertas se presenta en la **Figura 1**. Al evaluar plántulas de pino en vivero Robles-Yerena et al. (2016) encontraron como principales causantes de mortalidad a *Fusarium solani* y *F. oxysporum*, causando síntomas de marchitez en las plantas. Por su parte, García-Díaz & Cibrián-Tovar, (2011) al evaluar el hongo causante en la pudrición de raíz en viveros de los estados de Chihuahua, Ciudad de México, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Veracruz, Zacatecas y Chiapas, encontrarían que el causante de la enfermedad es el *Fusarium*.

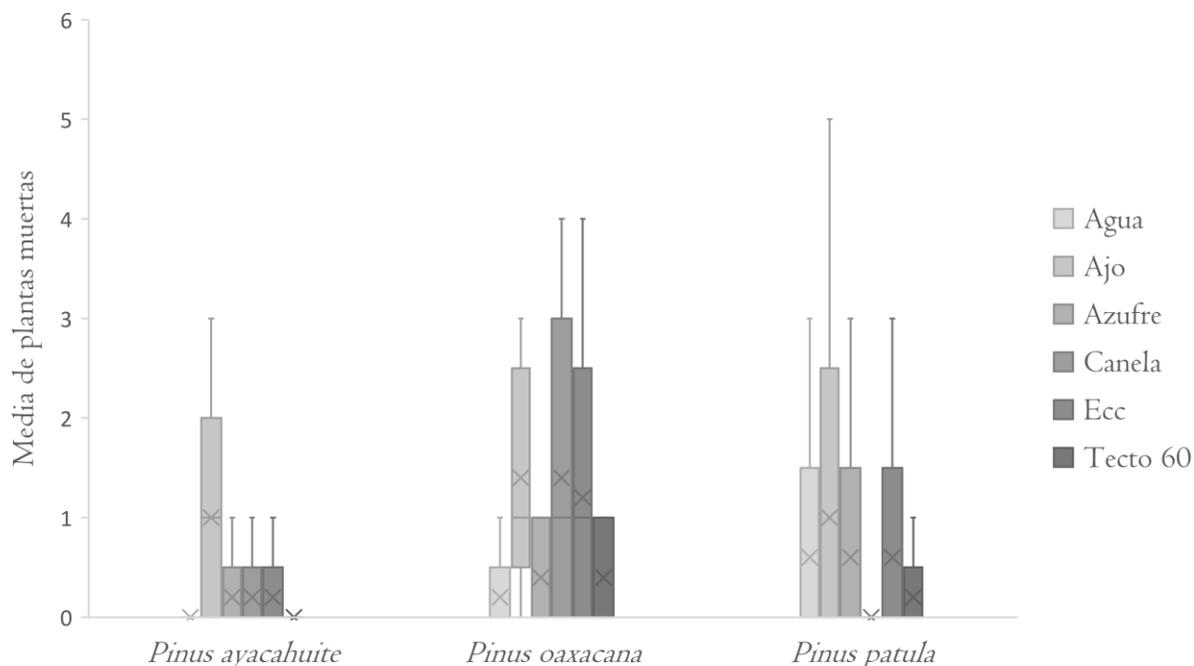


Figura 1. Media de plantas muertas por especie. Ecc = extracto de cola de caballo.

No se encontró un efecto de interacción significativo ($p > 0.05$), entre los fungicidas y las especies analizadas (Tabla 2). Esto puede ser resultado de la poca mortalidad presentada en el lapso de seis meses o por la resistencia de las plantas. Conejero & Hach (2012) mencionan que las plantas poseen mecanismos de defensa para repeler plagas y resistir enfermedades.

El fungicida que presentó menor mortalidad fue el de base química Tecto 60® con solo un 0.8 % de plantas muertas, aunque es un buen fungicida este llega a causar daño al ambiente y al aplicador (Gonzalez-Elizondo et al., 2022). Abd-Elsalam

(2024) y Ateeq et al. (2023) mencionan que la utilización indiscriminada de fungicidas químicos puede resumirse en patógenos con mayor resistencia, daños a la salud humana y contaminación ambiental. En tanto que, Grossnickle & Ivetic (2022) y Arguedas et al. (2021) mencionan que el estado sanitario y fisiológico de las plantas en los viveros es fundamental en los procesos de reforestación, porque plantas enfermas trasladadas al campo tienen menor probabilidad de sobrevivir y, pueden convertirse en focos de diseminación de plagas y enfermedades en los proyectos de reforestación.

Tabla 2. Análisis de varianza de los factores que intervienen en la mortalidad de la planta.

Fuente	Cuadrado medio	Valor de F	CV (%)
Fungicidas	1.74	1.54 ^{ns}	199.12
Especie	2.44	2.16 ^{ns}	
Especie × Fungicidas	0.57	0.50 ^{ns}	

CV = coeficiente de variación.

La utilización de fungicidas orgánicos, aunque generalmente, no cuentan con la misma eficacia que el químico, son una alternativa para disminuir la mortalidad causada por enfermedades, tal como sucedió en el presente estudio. Zhao et al. (2022) establecen que es importante desarrollar métodos efectivos, seguros y nobles con el ambiente capaces de inhibir los efectos causados por hongos. Por su parte, Prospero et al. (2021) indican que en la actualidad se ha impulsado el desarrollo de métodos de control de patógenos amigables con el ambiente. Rao & Paria, (2013) utilizaron el azufre contra dos fitopatógenos, *Fusarium solani* Mart y *Venturia inaequalis* Cooke, teniendo como resultado la eficacia del azufre para inhibir dichos hongos, por su parte, Ochoa-Fuentes et al. (2012) probaron la canela, extractos de chirimoya, pirul y tabaquillo sobre el crecimiento micelial y esporulación de *Fusarium oxysporum* Schldl.,

Fusarium culmorum Wm. G. Sm. y *Fusarium solani* encontrando el control micelar de los hongos por medio de la canela, a su vez, Rodríguez-Castro et al. (2020) evaluaron el efecto inhibitorio de cola de caballo, aguacate, moringa, boldo, romero y prodigiosa sobre *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani* J.G.Kühn, inhibiendo el crecimiento micelial de estos organismos.

El azufre fue el fungicida orgánico que registró mortalidad menor con un 1.6 % de plantas muertas. La canela presentó 2.2 % de plantas muertas, seguida por el extracto de cola de caballo con una mortalidad de 2.7 %. En tanto que, el fungicida que mostró la mayor tasa de mortalidad fue el ajo con un 4.7 % (Figura 2), aunque sin diferencias significativas (Figura 3).

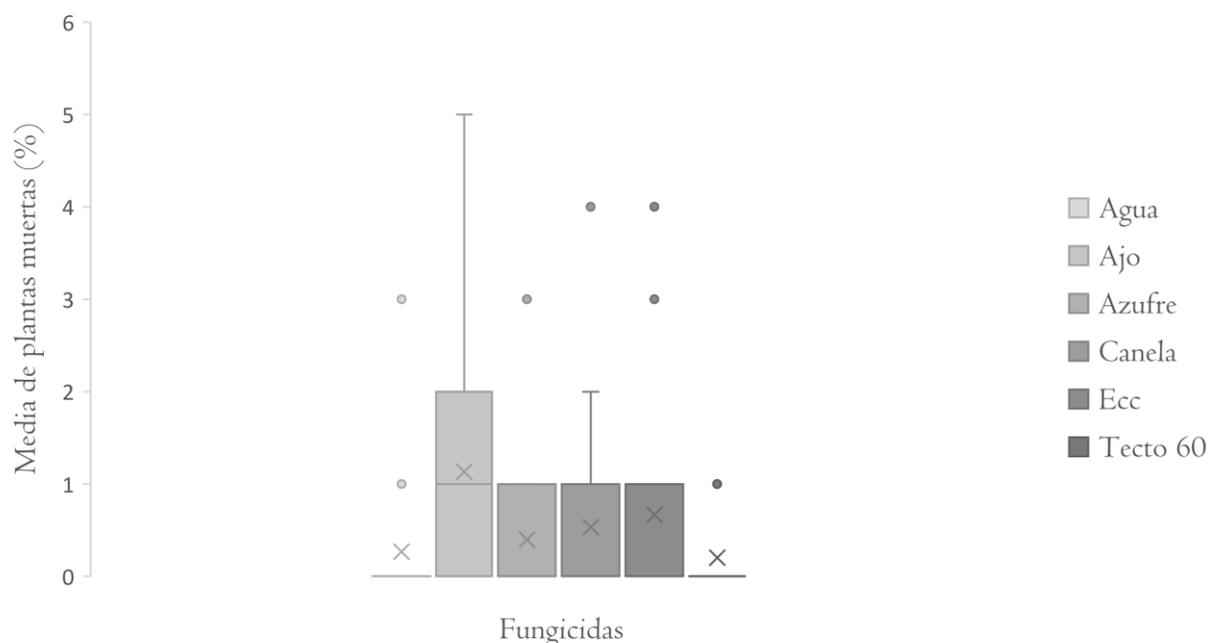


Figura 2. Mortalidad de plantas. Ecc= extracto de cola de caballo.

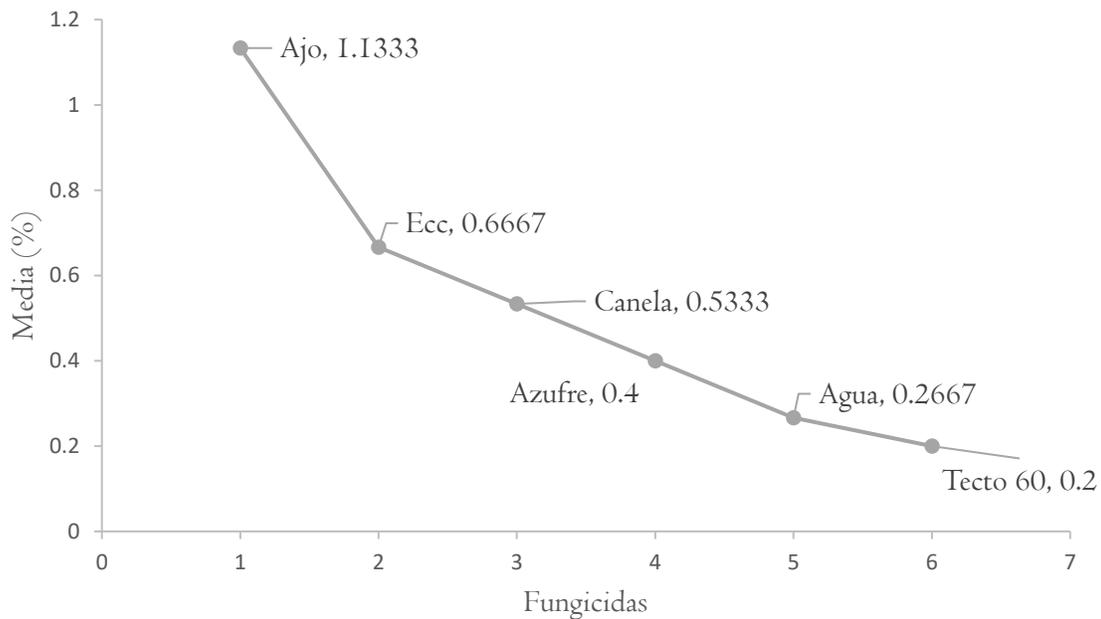


Figura 3. Prueba de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) para los fungicidas evaluados. Ecc = extracto de cola de caballo, 1 = ajo, 2 = Ecc, 3 = canela, 4 = azufre, 5 = agua, 6 = Tecto® 60.

Los fungicidas aplicados en las plantas para el ataque de *Fusarium* presentaron una mortalidad mínima. Arguedas-Gamboa et al. (2021) y Vallejo-Avellaneda (2021) establecen que el *Fusarium* es una de las patologías más importantes a nivel mundial para las especies de coníferas y que su estudio se ha centrado en la prevención, ya que no existe tratamiento curativo. Los tratamientos preventivos en vivero para el ataque de *Fusarium* se basan en la utilización de fungicidas químicos comerciales, aunque son efectivos el constante uso causa daños al ambiente y al viverista (López-Zapata & Castaño-Zapata, 2019; García-Díaz et al., 2017). León et al. (2017) señalan que el uso de fungicidas orgánicos en plantas se destaca como alternativa a fungicidas químicos, puesto que resulta amigable con el medio ambiente, seguro y provee protección a las plantas.

El control de las enfermedades causadas por *Fusarium* en especies de pino de importancia ecológica y comercial ha sido ampliamente estudiado (Abd-Elsalam, 2024; Albarracín-Gómez et al., 2023; López-Zapata & Castaño-

Zapata, 2019;). La mortalidad para las especies *P. patula*, *P. oaxacana* y *P. ayacahuite* bajo los fungicidas orgánicos aplicados fue mínima (Figura 3). De manera similar al presente estudio, se han investigado otros métodos de control de *Fusarium* en especies de pino. Won et al. (2018) evaluaron la eficacia de *Bacillus licheniformis* Weigmann, en plantas de *Pinus thunbergii* Parl, teniendo como resultado la disminución de *F. oxysporum*. A su vez, Gqola (2015) aisló microorganismos endófitos de plantas y semillas de pino sanas para detectar su actividad contra *F. circinatum* Nirenberg & O'Donnell, encontrando diferencias significativas en el control del patógeno. Por su parte, Chakravarty et al. (1999) evaluaron el control de dos especies de patógenos de raíces (*Fusarium moniliforme* Sheld y *F. oxysporum*) en especies de coníferas, basado en interacciones entre tres especies de hongos ectomicorrízicos (*Hebeloma bngicaudum* P.Kumm, *Laccaria bicolor* P.D.Orton y *Paxillus involutus* Batsch ex Fr.), un hongo que descompone la hojarasca (*Clitocybe clavipes* Staude), y un fungicida (benzoato de oxina).

De igual manera al estudio del control de *Fusarium* en especies forestales, se ha probado la eficacia del control en especies de importancia agrícola. Aguirre et al. (2012) al evaluar la eficiencia de extractos con principios activos de eucalipto, ajo y crisantemo como fungicidas naturales, encontraron una efectividad del 100 % de los extractos de ajo y eucalipto ante los fitopatógenos *Botrytis cinerea* Whetzel, *Phragmidium mucronatum* Schltdl y *Sphaeroheca pannosa* Wallr. Lév. Asimismo, mencionan que el uso de productos químicos ocasiona poblaciones de fitopatógenos resistentes. Esto conlleva a la búsqueda de nuevas alternativas de manejo de enfermedades como la utilización de extractos vegetales.

Babu-Joseph & Kumar (2008) trabajaron con extractos acuosos de diversas especies de plantas para el control de marchitez en berenjena "*Solanum melongena* L., Sp. Pl", causado por "*Fusarium solani* (Mart.) Sacc", tales como, "*Melongenae* Welles", "*Azardiachta indica* A. Juss", ajeno "*Artemisia annua* L", eucalipto "*Eucalyptus globulus* Labill", albahaca "*Ocimum sanctum* L" y ruibarbo "*Rheum emodi* D. Don", y se obtuvo un porcentaje alto de inhibición del hongo. Por su parte, Albarracin-Gomez et al. (2023) realizaron una búsqueda mediante diferentes investigaciones encontrando así una alternativa biológica y sostenible como lo es el aceite esencial de la planta *Lippia graveolens*, la cual contiene diferentes alcoholes que a concentraciones de 0.20 y 0.25 $\mu\text{L mL}^{-1}$, logra inhibir el crecimiento de *Fusarium oxysporum* en un 100 %.

En este estudio, al no encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos utilizados y mediante la poca mortalidad presentada se puede establecer que los fungicidas probados pueden tener alta efectividad antifúngica, sin embargo, para corroborar dicha efectividad es necesario caracterizar con detalle las concentraciones de los fungicidas, identificar a las especies de *Fusarium*, así como implementar tratamientos pregerminativos, e incluso realizar un seguimiento

en campo y ensayar con especies diferentes a las aquí analizadas.

CONCLUSIONES

Los fungicidas evaluados funcionaron adecuadamente, dado que se perdieron pocas plantas por causa de la enfermedad de la secadera. El fungicida con base química presentó resultados mejores (mortalidad más baja), aunque sin diferencias significativas con respecto a los fungicidas orgánicos. De estos, el azufre presentó menor mortalidad, por consiguiente, puede llegar a ser una alternativa al Tecto®60, además es de costo bajo. En tanto que, los demás materiales como el ajo, canela y cola de caballo presentaron buena efectividad y se pueden encontrar fácilmente en comunidades rurales. El encontrar fungicidas orgánicos efectivos puede reducir daños al ambiente, al aplicador y reducir costos en el mantenimiento de las plantas en vivero.

REFERENCIAS

- Abd-Elsalam, K.A. (2024). *Next-generation fungicides based on nanohybrids: A preliminary review*. *Nanohybrid Fungicides*, 3-23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23950-2.00017-5>
- Acero-Montoya, M.A. (2022). Revisión sistemática de actividad antagonista y posible control biológico con levaduras sobre *Botrytis cinerea*, hongo que afecta los cultivos de *Cannabis sativa* L. <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/6544>
- Aguirre, V., Delgado, V., Anrango, M., & Díaz, N. (2012). Obtención y evaluación in vitro de la eficiencia de extractos con principios activos de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), ajo (*Allium sativum*) y crisantemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*) como fungicidas naturales para el control de *Botrytis cinerea*, Phra. *Centro de Investigaciones Científicas* (ESPE), 1(3), 1-17.
- Albarracin-Gomez, L. D., Hortua-Gamboa, S. D., & Acero-Godoy, J. (2023). Efecto inhibitorio

- del aceite esencial de *Lippia graveolens* sobre *Fusarium oxysporum* en la familia *Solanaceae*. Una revisión. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(1), 54-65.
<https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.5877>
- Alkhalil, A.A. (2005). Antifungal activity of some extracts against some plant pathogenic fungi. *Pak. J. Biol. Sci.*, 8(3), 413-417.
- Angarita-Cacheo, P.A., Cepeda-Palacios, A.Y., & Sánchez-Corredor, N.A. (2023). Métodos de propagación de *Fragaria spp.* empleados en Sudamérica con énfasis en la propagación de estolones: Una revisión. *Ciencia y Agricultura*, 20(3), 16186-16186.
- Arguedas G.M., Rodríguez-Solís, M., Cots Ibiza, J., & Martínez Araya, A. (2021). Inventario de plagas y enfermedades en viveros forestales en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 18(42), 17-29.
- Ateeq, M., Mubeen, M., Bashir, S., Bajwa, R., Arshad, H. M. I., Abbas, A., & Romano, M. (2023). Etiology and management of citrus Melanose disease in Pakistan: A review. *Phytopathogenomics and Disease Control*, 2, 29-36.
<https://doi.org/10.22194/Pdc/2.117>
- Babu-Joseph, M. A. D., & Kumar, V. (2008). Bioefficacy of plant extracts to control *Fusarium solani* f. Sp. *Melongenae* incitant of brinjal wilt. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry*, 3(2), 56-59.
- Bahramov, R., Mamatysupov, A., Tokhtaboeva, F., Khomidov, J., & Yuldashev, H. (2020). A comprehensive application of fertilizers for growing plantations in forest nurseries: A brief review. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 614(1), 012117.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/614/1/012117/meta>
- Buamscha, M. G. (2006). Chemical and physical properties of Douglas fir bark relevant for the production of container crops in Oregon. https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/wm117t27z
- Chakravarty, P., Khasa, D., Dancik, B., Sigler, L., Wichlacz, M., Trifonov, L.S., & Ayer, W.A. (1999). Integrated control of *Fusarium* damping-off in conifer seedlings/Integrierte Bekämpfung der durch *Fusarium* verursachten Umfallkrankheit an Koniferen-Keimpflanzen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/*Journal of Plant Diseases and Protection*, 106(4), 342-352.
- Cibrián, T. D., García, D. S., & Don Juan, M. B. (2008). Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en germoplasma y planta producida en viveros. *Comisión Nacional Forestal*. México.
- Climent, J., Chambel, M.R., Barba, D., Voltas, J., & Miranda, R.A. (2008). Evaluación genética de la planta forestal: Concepto y resultados disponibles para rodales de pinos españoles. *Boletín Informativo CIDEU*, 6, 69-82.
- COESFO (Comisión Nacional Forestal). (2011). *Ficha técnica Vivero: Ixtlán de Juárez. Oaxaca*. 1 p.
- Conejero, M.V., & Hach, A.S. (2012). Aplicaciones de BABA y BTH en brinzales de *Pinus pinaster* para la inducción de resistencia ante *Fusarium circinatum*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 36, 55-60.
- Fady, B., Esposito, E., Abulaila, K., Aleksic, J.M., Alia, R., Alizoti, P., Apostol, E.-N., Aravanopoulos, P., Ballian, D., Kharrat, M.B. D., Carrasquinho, I., Albassatneh, M.C., Curtu, A.-L., David-Schwartz, R., De Dato, G., Douaihy, B., Eliades, N.-G. H., Fresta, L., Gaouar, S.B.S., ... Westergren, M. (2022). Forest Genetics Research in the Mediterranean Basin: Bibliometric Analysis, Knowledge Gaps, and Perspectives. *Current Forestry Reports*, 8(3), 277-298.
<https://doi.org/10.1007/s40725-022-00169-8>
- Fidel-Alarcón, G. (2022). Propuesta forestal para la siembra directa de caoba (*Swietenia macrophylla* King) basada en sistemas agroforestales en la Amazonía peruana. *South Sustainability*, 3(1), e056-e056.
<https://doi.org/10.21142/SS-0301-2022-e056>
- García-Díaz, S. E., & Cibrián-Tovar, D. (2011). Pudrición de raíz causada por *Fusarium*

- oxysporum* schltld en coníferas. *Memorias del XV Simposio Nacional de Parasitología Forestal*, 204-207.
- García-Díaz, S.E., Aldrete, A., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Valdovinos-Ponce, G., & Equihua-Martínez, A. (2017). Efecto de *Fusarium circinatum* en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* en tres sustratos. *Agrociencia*, 51(8), 895-908.
- Gonzalez-Elizondo, M.S., Wehenkel, C., Mendoza-Maya, E., Flores López, C., Torres Valverde, J., Hernandez-Díaz, J., Vargas-Hernández, J., Saenz-Romero, C., Escobar-Flores, J., C.Z, Q.-P., Carrillo-Parra, A., Simental, L., Díaz Carrillo, Ó., Bosque, G., & Villanueva-Díaz, J. (2022). Las piceas (*Picea*, pinaceae) de México [*The Spruces (Picea, Pinaceae) of Mexico*].
- Gqola, B. N. (2015). Biological control of *fusarium* wilt of pine seedlings using endophytic microorganisms and silicon. [*PhD Thesis*].
- Grossnickle, S. C., & Ivetić, V. (2022). Root system development and field establishment: Effect of seedling quality. *New Forests*, 53(6), 1021-1067.
<https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y>
- Hernández-Amasifuen, A. D., Pineda-Lázaro, A. J., & Noriega-Córdova, H. W. (2019). Aislamiento e identificación de *Fusarium oxysporum* obtenidos de zonas productoras de «ají paprika» *Capsicum annumm* L. (*Solanaceae*) en el distrito de Barranca, Perú. *Arnaldo*, 26(2), 689-698.
- Jancarik, V. (1960). Damping-off in forest nurseries, and its control. *Prace Vyzkumneho Ustavu Lesniho CSR*, 18, 181-257.
- Jasso-de Rodríguez, D., Hernández-Castillo, D., Angulo-Sánchez, J.L., Rodríguez-García, R., Villarreal Quintanilla, J.A., & Lira-Saldivar, R. H. (2007). Antifungal activity *in vitro* of *Flourensia* spp. Extracts on *Alternaria* sp., *Rhizoctonia solani*, and *Fusarium oxysporum*. *Industrial Crops and Products*, 25.
<https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/64736a5b2c1d629bc980cf41>
- León, D.C.S., Cortés, A.C.P., & Sarmiento, N.C. M. (2017). Evaluación de la actividad fungicida e identificación de compuestos orgánicos volátiles liberados por *Trichoderma viride*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(1), 63-70.
- López-Zapata, S.P., & Castaño-Zapata, J. (2019). Manejo integrado del mal de Panamá *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. sp. *cubense* (EF SM.) WC Snyder & HN Hansen: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).
- Mariotti, B., Oliet, J.A., Andivia, E., Tsakalimi, M., Villar-Salvador, P., Ivetić, V., Montagnoli, A., Janković, I. K., Bilir, N., Bohlenius, H., Cvjetković, B., Dūmiņš, K., Heiskanen, J., Hinkov, G., Fløistad, I.S., & Coccozza, C. (2023). A Global Review on Innovative, Sustainable, and Effective Materials Composing Growing Media for Forest Seedling Production. *Current Forestry Reports*, 9(6), 413-428.
<https://doi.org/10.1007/s40725-023-00204-2>
- Montgomery, D.C. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. Universidad Estatal de Arizona.
- Noreña, C., Aya, H., Lemus, L., Torres, G.A., Varón, F., & Martínez, G. (2011). Evaluación de tratamientos químicos y prácticas culturales del manejo de la Pudrición del Cogollo (PC) de la palma de aceite en plantas de vivero, en Tumaco. *Revista Palmas*, 32(2), 27-32.
- Ochoa-Fuentes, Y. M., Cerna-Chávez, E., Landeros-Flores, J., Hernández-Camacho, S., & Delgado-Ortiz, J. C. (2012). Evaluación *in vitro* de la actividad antifúngica de cuatro extractos vegetales metanólicos para el control de tres especies de *Fusarium* spp. *Phyton*, 81(1), 69-73.
- Prieto, R. J.A., García, R. J.L., Mejía, B. J.M., Huchín, A.S., & Aguilar, V. J.L. (2009). *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío*. INIFAP, Publicación Especial, 28.

- Prospero, S., Botella, L., Santini, A., & Robin, C. (2021). Biological control of emerging forest diseases: How can we move from dreams to reality? *Forest Ecology and Management*, 496, 119377.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119377>
- Ramos-Huapaya, A. E., & Lombardi-Indacochea, I. R. (2020). Calidad de plantas en un vivero de tecnología intermedia en Huánuco: Estudio de caso con “*Eucalipto urograndis*”. *Revista Forestal del Perú*, 35(2), 132-145.
- Rao, K. J., & Paria, S. (2013). Use of sulfur nanoparticles as a green pesticide on *Fusarium solani* and *Venturia inaequalis* phytopathogens. *RSC Advances*, 3(26), 10471-10478.
- Ribeiro, S., Cerveira, A., Soares, P., & Fonseca, T. (2022). Natural regeneration of maritime pine: A review of the influencing factors and proposals for management. *Forests*, 13(3), 386.
- Robles-Yerena, L., Leyva Mir, S.G., Cruz-Gómez, A., Camacho-Tapia, M., Nieto-Ángel, D., Tovar-Pedraza, J.M., Robles-Yerena, L., Leyva-Mir, S.G., Cruz-Gómez, A., Camacho-Tapia, M., Nieto-Ángel, D., & Tovar-Pedraza, J. M. (2016). *Fusarium oxysporum* Schltdl. Y *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. Causantes de la marchitez de plántulas de *Pinus* spp. en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(36), 25-36.
- Rodríguez-Castro, A., Torres-Herrera, S., Calleros, A. D., Romero-García, A., & Silva-Flores, M. (2020). Extractos vegetales para el control de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, una alternativa sostenible para la agricultura. *Abanico Agroforestal*, 2(0),
- Rodríguez-Ortiz, G., Aragón-Peralta, R.D., Enríquez-del Valle, J.R., Hernández-Hernández, A., Santiago-García, W., & Campos-Angeles, G.V. (2020). Calidad de plántula de progenies selectas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* del sur de México. *Interciencia*, 45(2), 96-101.
- Sáenz-Reyes, J., Muñoz Flores, H.J., Pérez, C.M. Á., Rueda Sánchez, A., & Hernández Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero " Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111.
- SAS Institute Inc. (2013). SAS/ETS® 9.4 *User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc
- South, D. B., Starkey, T. E., & Lyons, A. (2023). Why Healthy Pine Seedlings Die after They Leave the Nursery. *Forests*, 14(3), 645.
- Valera, B.C., Leza, F. J.L., Luquero, L., & Bueno, L.O. (2017). El desarrollo de la sanidad forestal en el vivero de TRAGSA. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 43, 139-150.
- Vallejo-Avellaneda, D. A. (2021). Revisión sistemática de la literatura de *Piper bogotense* y su actividad antibacteriana. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/26362>.
- Villalón-Mendoza, H. (2016). Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), 46-52.
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J.M., & Martínez-Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2), 194-205.
- Won, S.-J., Choub, V., Kwon, J.-H., Kim, D.-H., & Ahn, Y.-S. (2018). The control of *fusarium* root rot and development of coastal pine (*Pinus thunbergii* Parl.) seedlings in a container nursery by use of *Bacillus licheniformis* MH48. *Forests*, 10(1), 6.
- Zhao, X., Zhou, J., Tian, R., & Liu, Y. (2022). Microbial volatile organic compounds: Antifungal mechanisms, applications, and challenges. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2022.922450>.