

Forest soil fungi and bacteria as sources of new antibiotics and their laboratory evaluation
Hongos y bacterias del suelo forestal como fuentes de nuevos antibióticos y su evaluación en laboratorio

Autores:

Ávila-Muñiz, Jonathan Efrén
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Magíster en Manejo Forestal Sostenible, Ingeniero Forestal
Jipijapa, Manabí-Ecuador



avila-jonathan9205@unesum.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0004-8516-8669>

Fuentes-Parrales, Jocelyne Elizabeth
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Magíster en Laboratorio Clínico, Leda. en Laboratorio Clínico
Docente en la carrera de Laboratorio Clínico, Facultad Ciencias de la Salud
Jipijapa, Manabí-Ecuador



jocelyne.fuentes@unesum.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-1027-6062>

Parrales-Reyes, Jenny Elizabeth
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Ingeniera comercial, Magíster en Docencia Universitaria e Investigación Educativa,
Doctora en Administración
Docente en la carrera Administración de Empresas, Facultad Ciencias Económicas
Jipijapa, Manabí-Ecuador



jenny.parrales@unesum.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-6648-0858>

Fechas de recepción: 07-JUL-2025 aceptación: 07-AGO-2025 publicación: 30-SEP-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

La creciente resistencia bacteriana a los antibióticos ha comprometido la efectividad de los tratamientos actuales, destacando la urgente necesidad de descubrir nuevos agentes antimicrobianos. Los hongos y bacterias que residen en el suelo forestal constituyen una rica biodiversidad microbiana con un gran potencial para la producción de metabolitos secundarios, incluidos los antibióticos naturales. Este artículo tiene como propósito explorar el potencial de estos microorganismos como fuentes de nuevos antibióticos y detallar las metodologías de evaluación utilizadas en su estudio. Este estudio se centra en una revisión bibliográfica, lo que conlleva la recopilación y el análisis crítico de la literatura existente sobre hongos y bacterias del suelo forestal. No se llevó a cabo investigación experimental propia; en cambio, se evaluaron y sintetizaron hallazgos previos de publicaciones relevantes. Las fuentes utilizadas incluían bases de datos académicas como PubMed, Science Direct y Google Scholar, donde se buscaban artículos publicados en revistas revisadas por pares. Una vez establecidas las fuentes y los criterios, se procedió a la recopilación y organización de la información. La búsqueda se llevó a cabo utilizando palabras clave como "hongos del suelo", "bacterias del suelo", "antibióticos naturales", "evaluación antibiótica" y "suelo forestal", posteriormente, se filtraron los resultados obtenidos según los criterios previamente definidos. Para asegurar la relevancia y calidad de la información recopilada, se establecieron criterios específicos de inclusión y exclusión. Para finalizar, a través de un enfoque sistemático y crítico, se logró sintetizar los conocimientos actuales, contribuyendo así a la identificación de oportunidades para futuras investigaciones en este ámbito.

Palabras clave: antibióticos; hongos; bacterias; laboratorio; suelo

Abstract

Growing bacterial resistance to antibiotics has compromised the effectiveness of current treatments, highlighting the urgent need to discover new antimicrobial agents. Fungi and bacteria residing in the forest soil constitute a rich microbial biodiversity with great potential for the production of secondary metabolites, including natural antibiotics. This article aims to explore the potential of these microorganisms as sources of new antibiotics and to detail the evaluation methodologies used in their study. This study focuses on a literature review, which entails the compilation and critical analysis of existing literature on forest soil fungi and bacteria. No experimental research was carried out; instead, previous findings from relevant publications were evaluated and synthesized. The sources used included academic databases such as PubMed, Science Direct, and Google Scholar, where articles published in peer-reviewed journals were searched. Once the sources and criteria were established, the information was collected and organized. The search was conducted using keywords such as "soil fungi," "soil bacteria," "natural antibiotics," "antibiotic evaluation," and "forest soil." The results were then filtered according to previously defined criteria. To ensure the relevance and quality of the information collected, specific inclusion and exclusion criteria were established. Finally, through a systematic and critical approach, current knowledge was synthesized, thus contributing to the identification of opportunities for future research in this area.

Keywords: Antibiotics; fungi; bacteria; laboratory; soil

Introducción

La salud del suelo está vinculada a su uso, el cual influye en los procesos biogeoquímicos y reduce la capacidad de los sistemas biológicos para sustentar y satisfacer las necesidades humanas. Los principales efectos del uso del suelo incluyen la disminución de la recarga de acuíferos, lo que causa un desequilibrio en la escorrentía superficial y resulta en la pérdida de nutrientes. Además, se ve afectada la estructura y la densidad aparente, alterando las concentraciones de materia orgánica, mientras que los niveles de nitrógeno, fósforo y las poblaciones de microorganismos del suelo pueden experimentar tanto disminuciones como aumentos. (1)

Cabe recordar que el suelo es un recurso natural esencial, del que depende la sociedad (George et al., 2016). Sin embargo, la presión ejercida por la actividad humana en los últimos años ha llevado a su degradación (FAO-ITPS, 2015). Los impactos en el suelo comienzan con la eliminación de la vegetación natural. (2)

A nivel global, la disminución de la cobertura forestal es un resultado del cambio en el uso del suelo para actividades como la agricultura, la minería y la infraestructura destinada a la producción de energía. También se ve influenciada por la deforestación, la agricultura itinerante y los incendios forestales (Curtis et al., 2018). (3)

El suelo, siendo un recurso no renovable, es esencial para la vida de todos los seres vivos, ya que es la base de los alimentos y el sustrato para las plantas. Este recurso tan valioso alberga seres que forman una red de funciones necesarias para la producción de sustratos que permiten a las plantas vivir y completar su ciclo. Entre estos seres se encuentran microorganismos, como hongos y bacterias, que desempeñan un papel crucial en los procesos de formación y degradación del suelo, así como en los ciclos elementales fundamentales, incluyendo el ciclo del carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y hierro (M. S. D. Sánchez de Prager, 2018). (4)

Como parte de los componentes bióticos del suelo, los microorganismos benéficos desempeñan diversas funciones cruciales que afectan la calidad y salud tanto del suelo como del ecosistema. Entre estos grupos se encuentran hongos, algas y bacterias, que realizan tareas esenciales como: degradación de materia orgánica, formación del suelo, creación de



humus, reciclaje y disponibilidad de nutrientes, determinación de la fertilidad del suelo, establecimiento de asociaciones simbióticas con las plantas, Mejora en la absorción de agua por parte de las plantas, defensa contra fitopatógenos y aumento de la tasa fotosintética en las plantas (Morocho y Leiva, 2019). (5)

Debido a las múltiples actividades que realizan los microorganismos benéficos en el ecosistema del suelo, se han desarrollado formulaciones de microorganismos eficientes. Estos productos líquidos contienen diversas especies de microorganismos que pueden coexistir como comunidades microbianas y complementarse entre sí (Morocho y Leiva, 2019). El uso de microorganismos benéficos, como las rizobacterias, busca potenciar la salud y calidad del suelo, lo que a su vez beneficia al ecosistema completo en áreas naturales protegidas, apoyando la conservación y recuperación del suelo y la vegetación. (5)

Por lo tanto, la restauración de suelos degradados, incluyendo aquellos co-contaminados con DEHP y metales pesados, así como los suelos con bajo contenido de materia orgánica, es de suma importancia (Bolan N. y Kirkham M., 2017, p.7). (6)

Los inóculos de bacterias y hongos tienen el potencial de restaurar la fertilidad de la tierra degradada a través de diversos procesos (Cánovas Carlos R. et al., 2019, p.4). Estos microorganismos incrementan la biodisponibilidad de nutrientes mediante la fijación de nitrógeno y la movilización de nutrientes clave, como fósforo, potasio e hierro, hacia las plantas cultivadas, mientras que también remedian la estructura del suelo, mejorando su agregación y estabilidad (Fernández Caliani J. et al., 2021, p.2). (6)

Con todo y lo anterior, la resistencia a los antibióticos se ha convertido en una crisis de salud pública a nivel mundial, comprometiendo la eficacia de tratamientos médicos convencionales. El incremento de infecciones resistentes a medicamentos ha acelerado la búsqueda de nuevos compuestos antimicrobianos. Los hongos y bacterias que habitan en el suelo forestal, que han evolucionado dentro de ecosistemas complejos, representan una rica fuente de diversidad microbiana con el potencial de generar nuevos antibióticos. Sin embargo, a pesar de su gran biodiversidad y capacidad para producir metabolitos secundarios, la investigación sobre estos microorganismos y su uso como fuentes de nuevos

agentes terapéuticos sigue siendo relativamente limitada. Esta situación plantea un desafío considerable en la identificación de alternativas efectivas para combatir las infecciones resistentes.

El propósito principal de esta revisión bibliográfica es explorar el potencial de estos microorganismos como fuentes de nuevos antibióticos. Además, se examinan las metodologías empleadas para su identificación y evaluación en el laboratorio. A través de la revisión y síntesis de investigaciones anteriores, se pretende ofrecer una visión general sobre la capacidad antimicrobiana de estos microorganismos y subrayar la relevancia de su exploración en el desarrollo de nuevas terapias antimicrobianas.

La importancia de este tema radica en la creciente necesidad de alternativas a los antibióticos actuales, los cuales están perdiendo eficacia debido a la resistencia bacteriana. La investigación de hongos y bacterias del suelo forestal no solo brinda la oportunidad de descubrir nuevos agentes antimicrobianos, sino que también resalta la importancia de la biodiversidad en la medicina moderna.

Además, este enfoque puede contribuir a la sostenibilidad de los ecosistemas al ofrecer soluciones que no perjudiquen el equilibrio ambiental. Abordar este tema puede tener un impacto significativo en la investigación científica, en las políticas de salud pública y en la búsqueda de métodos innovadores para combatir las infecciones resistentes.

Material y métodos

Este estudio se centra en una revisión bibliográfica, lo que conlleva la recopilación y el análisis crítico de la literatura existente sobre hongos y bacterias del suelo forestal que han demostrado tener un potencial como fuentes de nuevos antibióticos. No se llevó a cabo investigación experimental propia; en cambio, se evaluaron y sintetizaron hallazgos previos de publicaciones relevantes.

La revisión se llevó a cabo mediante la búsqueda y selección de artículos científicos, libros y otros documentos relevantes relacionados con “Microorganismos del suelo forestal (hongos y bacterias)”, “Clasificación y caracterización de estos microorganismos”, “Estudios previos sobre antibióticos naturales producidos por estos organismos” y “Métodos de evaluación de su actividad antibiótica en laboratorio”. Las fuentes utilizadas incluían bases de datos

académicas como PubMed, Science Direct y Google Scholar, donde se buscaban artículos publicados en revistas revisadas por pares.

Para asegurar la relevancia y calidad de la información recopilada, se establecieron criterios específicos de inclusión y exclusión.

Criterios de Inclusión:

- Estudios que reportaron la identificación de hongos y bacterias del suelo forestal.
- Investigaciones que evaluaron la producción de compuestos antibióticos por estos microorganismos.
- Artículos relacionados con el tema de los últimos 10 años.

Criterios de Exclusión:

- Estudios que hayan sido publicados posterior a los 10 años.
- Documentos que no aportaron información específica sobre actividad antibiótica o que no se enfocaron en hongos y bacterias del suelo forestal.

Una vez establecidas las fuentes y los criterios, se procedió a la recopilación y organización de la información. En primer lugar, la búsqueda se llevó a cabo utilizando palabras clave como "hongos del suelo", "bacterias del suelo", "antibióticos naturales", "evaluación antibiótica" y "suelo forestal", posteriormente, se filtraron los resultados obtenidos según los criterios previamente definidos.

Los estudios seleccionados se revisaron a fondo para extraer información relevante sobre la producción, aislamiento y evaluación de las propiedades antibióticas de los hongos y bacterias forestales. Luego se elaboraron resúmenes y descripciones de los hallazgos más significativos, organizándolos temáticamente para facilitar la discusión y comparación entre los diferentes estudios.

Finalmente, se realizó un análisis crítico de los hallazgos, identificando brechas en la literatura existente y proponiendo futuras líneas de investigación. Se discutieron las implicaciones de la producción de antibióticos naturales en el contexto del aumento de la resistencia a los antibióticos y la necesidad de nuevas alternativas terapéuticas.



Resultados

El suelo y el clima son sistemas dinámicos que desempeñan un papel crucial en el desarrollo del ecosistema forestal. No solo proporciona soporte físico, sino que también actúa como medio para el desarrollo de la fauna y la flora, influyendo en la calidad del sitio, la tasa de crecimiento del bosque y la calidad de la madera producida. Además, el suelo es un recurso ambiental vital para los ciclos del agua, la energía y los nutrientes (Gayoso y Alarcón, 1999; Binkley y Fisher, 2012). Compuesto por diversos materiales de origen orgánico y mineral, el suelo es un componente ambiental no renovable en términos de la escala temporal humana, según la Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2010). Sin embargo, este recurso es vulnerable a la degradación debido a las actividades de manejo forestal (Rodríguez-Rivera et al., 2018). (7)

Diversos estudios han demostrado que las actividades de manejo forestal afectan los suelos de dos maneras: primero, a través de un efecto directo en la alteración de las propiedades físicas del suelo (por ejemplo, la densidad); y segundo, mediante un efecto indirecto en las propiedades químicas, resultado de la alteración de las propiedades físicas (Certini, 2005). En términos generales, el aprovechamiento forestal provoca cambios en la cobertura vegetal, alterando las aportaciones de nutrientes derivadas de la descomposición de la materia orgánica (MO) generada durante el proceso de degradación y humificación del mantillo. Asimismo, la extracción forestal (apeo, extracción y transporte) impacta directamente el suelo, alterando el medio edáfico y dejando abiertos los canales para el transporte de trozas (De las Salas, 1987). Durante el transporte y la corta de las trozas, también se incrementan las concentraciones de celulosa, hemicelulosa, lignina y otros compuestos aromáticos (Park y Min, 2003). (7)

La microbiana en suelos forestales

Comprender los factores que influyen en el microbioma del suelo forestal se ha convertido en un tema de investigación destacado a nivel global. Las comunidades microbianas del suelo desempeñan roles fundamentales en la promoción de la salud del suelo contribuyendo a la descomposición de la materia orgánica y a el reciclaje de nutrientes. Como un componente esencial del ecosistema del suelo, el microbioma del suelo impulsa procesos tales como la

formación del suelo, la fertilidad, el crecimiento de las plantas, la tolerancia al estrés, los ciclos de nutrientes y el almacenamiento de carbono. (8)

En los bosques, los microorganismos del suelo juegan un papel esencial en la salud de los ecosistemas forestales al descomponer la materia orgánica, participar en el ciclo del carbono y los nutrientes, incorporar compuestos húmicos en los suelos minerales y conectar las funciones de las plantas con los ecosistemas. Además, son fundamentales para el almacenamiento de carbono y proporcionan insumos de carbono fotosintético al suelo. Sin embargo, las comunidades microbianas del suelo son altamente sensibles a los cambios en el uso de la tierra forestal, y los efectos de estos cambios en dichas comunidades aún no se comprenden bien, a pesar de su importancia funcional. (8)

Recientemente, Baldrian et al. señalaron que, a pesar de los avances significativos en el campo de la ecología microbiana forestal, aún existen numerosas brechas y desafíos que enfrentan los investigadores. Algunas de las limitaciones y retos más importantes en esta área incluyen la complejidad de las comunidades microbianas, la variación espacial y temporal, el conocimiento limitado sobre las funciones microbianas, las limitaciones metodológicas, la falta de datos a largo plazo, el cambio climático y las perturbaciones, la integración de datos y la colaboración. No obstante, al abordar estas cuestiones y trabajar en conjunto, los científicos pueden lograr avances significativos en la comprensión de las complejas relaciones entre microorganismos y ecosistemas forestales, lo que, en última instancia, contribuirá a los esfuerzos de conservación y gestión de los bosques. (8)

Los suelos forestales son el hogar de una extensa variedad de microorganismos, que incluyen hongos filamentosos, levaduras y actinobacterias. Estos organismos desempeñan funciones esenciales en la descomposición de materia orgánica y en la regulación de los ciclos de nutrientes. Investigaciones anteriores han demostrado que muchos de estos microorganismos son capaces de producir compuestos antimicrobianos como una estrategia defensiva contra competidores y patógenos, lo que los convierte en fuentes prometedoras para la búsqueda de nuevos antibióticos.

Los antibióticos



Según el método de producción industrial, existen tres categorías principales de antibióticos utilizados en la actualidad: i) productos naturales (obtenidos mediante la fermentación de cepas mejoradas de bacterias y hongos); ii) antibióticos semisintéticos (basados en modificaciones *in vitro* de productos naturales); iii) antibióticos sintéticos (obtenidos a través de síntesis química). (9)

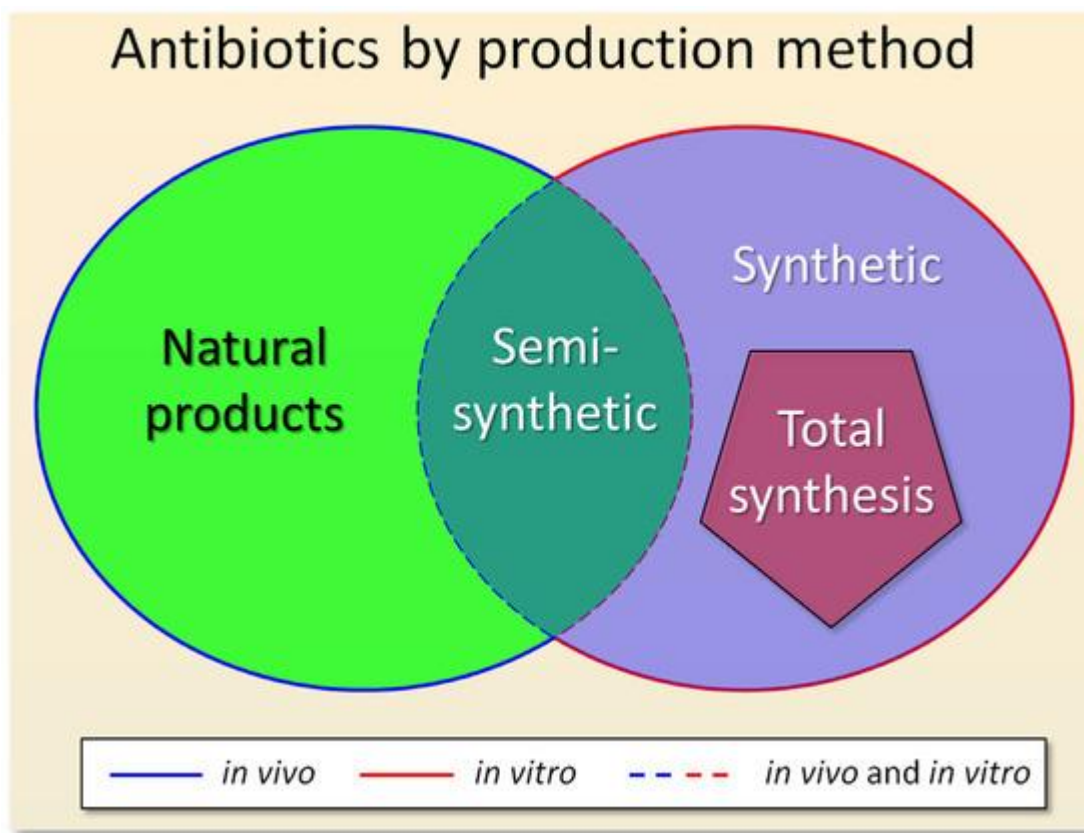


Figura 1 Tipos de antibióticos según el método de su producción industrial i) productos naturales (obtenidos a través de la fermentación de cepas microbianas mejoradas); ii) antibióticos semisintéticos (derivados de productos naturales tras la fermentación, seguidos de modificaciones *in vitro*.); iii) antibióticos sintéticos (elaborados mediante síntesis química). La síntesis total se resalta en el pentágono como un caso especial de síntesis química, utilizada para crear análogos estructurales de productos naturales. Las etapas de síntesis de antibióticos que ocurren *in vivo*, *in vitro*, o en ambos casos, están representadas por una línea azul sólida, una línea roja sólida, o líneas azules y rojas punteadas, respectivamente. Fuente: Alexander A. Zhgun (9)

La síntesis química permite la creación de nuevos compuestos altamente activos que no se encuentran en la naturaleza, así como análogos estructurales de antibióticos naturales (resultado de la síntesis total). Junto con los avances innovadores en instrumentación química y biocatalítica, la fermentación de cepas industriales mejoradas sigue siendo uno de los métodos más relevantes para la producción de antibióticos. Este enfoque resulta económicamente más viable para la obtención de materias primas destinadas a modificaciones posteriores de antibióticos semisintéticos. Por ejemplo, a partir de la fermentación de *Acremonium chrysogenum* (reclasificado en 2023 como *Hapsidospora chrysogena*), se produce el antibiótico beta-lactámico cefalopina C, que sirve como sustrato inicial para la síntesis de diversas docenas de antibióticos cefalosporínicos de la primera generación. (9)

Además, la gran mayoría de los antibióticos disponibles en el mercado desde la década de 2000 son productos microbianos que continúan produciéndose mediante fermentación. Por ejemplo, para obtener la glucopeptide teicoplanina, se emplea una cepa de alto rendimiento de *Actinoplanes teichomyceticus*, y los esquemas modernos para la síntesis total de este compuesto no se han implementado en la industria debido a su elevado costo. Entre los nuevos antibióticos sintéticos, solo las oxazolidinas han llegado al mercado. Actualmente, la mayoría de los antibióticos comerciales, salvo los medicamentos sulfa, las quinolonas y las oxazolidinas, son de origen natural o semisintético. (9)

Los hongos

Los hongos son capaces de generar compuestos que combaten hongos y bacterias. Se ha demostrado que los componentes fúngicos poseen diversas propiedades antimicrobianas frente a patógenos bacterianos, levaduras y hongos miceliares. Además, los compuestos antimicrobianos extraídos de diferentes etapas de crecimiento de los hongos han evidenciado actividad antifúngica contra patógenos bacterianos, virales y fúngicos que son resistentes a los tratamientos actuales. La actividad antibacteriana de los hongos puede derivarse de los cuerpos fructíferos, el cultivo de micelio y los componentes biológicos de la pared celular. Por ejemplo, los basidiomicetos y ascomicetos tienen un notable potencial antibacteriano. (10)



Los hongos, en particular, han sido valorados por su capacidad para sintetizar diversos tipos de antibióticos. Entre los más conocidos se encuentra la penicilina, producida por el hongo *Penicillium chrysogenum*, así como la griseofulvina, que es efectiva contra infecciones fúngicas. Otros hongos filamentosos, como los géneros *Aspergillus* y *Trichoderma*, también han demostrado tener un gran potencial en la producción de metabolitos con actividad antibiótica.

Bacterias

Las bacterias constituyen una parte fundamental, aunque menos investigada, de la comunidad microbiana en los suelos forestales. Recientes hallazgos sugieren que estas bacterias suelen portar genes que codifican enzimas capaces de degradar la pared celular de las plantas, lo que contribuye de manera significativa a la descomposición de la materia orgánica. Además, son los principales agentes naturales responsables de la fijación de nitrógeno en los ecosistemas forestales y desempeñan un papel crucial en otros procesos ecosistémicos, como la meteorización mineral, que facilita la liberación de nutrientes inorgánicos. (11)

Sin embargo, es esencial no considerar las funciones de las bacterias y los hongos de manera aislada. La abundante biomasa fúngica en los suelos forestales tiene diversas repercusiones para las bacterias. Esto incluye la creación de nichos específicos en las áreas de suelo colonizadas por hongos micorrízicos (conocida como micorrizosfera), la provisión de nutrientes a través de la descomposición de la materia orgánica y un aumento en la conectividad del suelo gracias a los micelios fúngicos, que permiten a ciertas bacterias moverse por su entorno. Por otro lado, las bacterias auxiliares de la micorriza (MHB) modulan el funcionamiento de las micorrizas. (11)

Las actinobacterias, especialmente las del género *Streptomyces*, son famosas por ser productoras de numerosos antibióticos que se utilizan en el ámbito médico, como la estreptomicina y la eritromicina. La amplia diversidad química de los compuestos generados por estas bacterias las convierte en un campo de investigación muy prometedor para el descubrimiento de nuevos antimicrobianos.

Metodologías de evaluación en laboratorio



Actualmente, los laboratorios clínicos utilizan diversos métodos de AST según el equipo y el menú de pruebas que ofrecen. La AST convencional, que se basa en pruebas fenotípicas, analiza la respuesta de las bacterias ante un agente antimicrobiano. Los métodos clásicos, que dependen del cultivo (como la prueba de difusión en disco y el método de difusión en gradiente), están firmemente establecidos en la práctica diagnóstica. Sin embargo, su principal limitación es que los resultados se obtienen para las bacterias clínicamente más relevantes después de un periodo de al menos 18 a 24 horas o 48 horas, lo que incluye el aislamiento e identificación bacteriana previos. (12)

La evaluación de la actividad antibiótica de los compuestos derivados de microorganismos del suelo forestal se lleva a cabo a través de diversas metodologías, que comprenden:

Método de difusión en agar

Los ensayos de difusión de agar son fundamentales en el diagnóstico, especialmente para pruebas de susceptibilidad antimicrobiana utilizando sustancias puras. Estos ensayos son útiles para identificar los antibióticos más adecuados para un tratamiento específico. En particular, la prueba de difusión de agar de dirección se emplea para examinar a posibles productores de antibióticos, como los actinomicetes, mediante su exposición directa a una cepa indicadora (también conocida como cepa de prueba) en un medio sólido. (13)

En general, las técnicas de difusión de agar son métodos fáciles, rápidos y económicos para evaluar la actividad antimicrobiana de diversos materiales y/o compuestos purificados. Sin embargo, cuando se trabaja con material no purificado (como los sobrenadantes de cultivo o extractos), no es posible determinar qué compuesto está causando la inhibición de la cepa indicadora en un ensayo de difusión de agar. Esto se debe a que algunos actinomicetes producen una mezcla de varios compuestos que pueden generar un efecto sinérgico. La cuantificación mediante ensayos de difusión de agar se limita a agentes o materiales purificados que se ha confirmado contienen un único compuesto activo contra la cepa indicadora seleccionada. A pesar de estas limitaciones, estos ensayos son extremadamente valiosos para pruebas iniciales, especialmente en situaciones donde el compuesto no ha sido caracterizado y los métodos analíticos aún no están disponibles. (13)

Esta técnica implica inocular un medio de cultivo con una cepa bacteriana y colocar discos impregnados con el compuesto antimicrobiano en la superficie. La aparición de un halo de inhibición alrededor del disco señala la actividad antibiótica.

Pruebas de dilución en caldo

A través de métodos de dilución en caldo y agar, se pueden establecer las concentraciones inhibitorias mínimas (CIM) de agentes antimicrobianos, es decir, la concentración más baja que impide el crecimiento de microorganismos. Esta medida es fundamental para evaluar la categoría de susceptibilidad de un patógeno a un antibiótico específico, especialmente en casos de resultados ambiguos o cuando no se cuentan con puntos de ruptura clínicos para la difusión del disco. A diferencia de un método cualitativo, el valor de la CIM permite determinar el grado de susceptibilidad o resistencia al antibiótico. Además, uno de los beneficios de los métodos de dilución en caldo es que permiten obtener la concentración mínima bactericida (CMB), que es la cantidad mínima de un agente antimicrobiano capaz de eliminar el 99,9 % de las bacterias. (12)

El método de dilución en caldo permite establecer la concentración mínima inhibitoria (CMI) de un antibiótico, que se define como el nivel más bajo necesario para frenar el crecimiento de bacterias. Esta técnica ofrece datos cuantitativos sobre la efectividad del compuesto.

Pruebas de macrodilución

El método de macrodilución, también conocido como prueba de dilución entubada, emplea una dilución en serie de múltiplos de dos de sustancias antimicrobianas en los medios adecuados. Se introduce una concentración conocida de bacterias suspendidas en los tubos preparados, tal como se indica. Tras 24 horas de incubación a 37 °C, se mide el crecimiento bacteriano a través de la turbiedad de los medios, lo que permite determinar visualmente los valores de los MIC. (12)

Otro enfoque de macrodilución es la metodología de muerte por tiempo. Esta prueba permite observar el efecto de diferentes concentraciones de sustancias antimicrobianas al evaluar la velocidad con la que estos agentes conducen a la muerte bacteriana. Se determina la actividad bactericida de los antimicrobianos en función de la concentración y el tiempo. La viabilidad bacteriana se establece contando colonias en placas de agar en intervalos regulares durante

24 horas. La tasa de crecimiento bacteriano se monitorea mediante cambios en log CFU/ml durante la primera prueba de destrucción a lo largo de 24 horas. A partir de los resultados, es posible construir curvas experimentales que representan la ausencia de crecimiento o el efecto de muerte, brindando una visión de la interacción entre las bacterias y el agente antimicrobiano. Los datos pueden ser analizados más a fondo utilizando diversos modelos matemáticos. (12)

Se emplean microplacas con múltiples pocillos para analizar la actividad de varios compuestos de manera simultánea. Este enfoque es particularmente valioso en estudios de alta capacidad de cribado.

Implicaciones clínicas

La búsqueda de nuevos antibióticos provenientes de hongos y bacterias en suelos forestales tiene importantes repercusiones en el ámbito médico. La creciente resistencia bacteriana representa un reto considerable, y la investigación de estos microorganismos podría proporcionar nuevas alternativas terapéuticas. No obstante, es fundamental tener en cuenta las implicaciones éticas y ambientales asociadas con la recolección de estos recursos naturales.

Discusión

El presente artículo científico basado en una revisión bibliográfica titulada “Hongos y bacterias del suelo forestal como fuentes de nuevos antibióticos y su evaluación en laboratorio” ha permitido compilar una serie de hallazgos que resaltan la relevancia de los microorganismos del suelo en la búsqueda de nuevos agentes antimicrobianos. Al analizar estudios previos, se subrayan varias conclusiones significativas sobre el potencial de hongos y bacterias, así como la efectividad de las metodologías empleadas para evaluar su actividad antimicrobiana.

Una de las conclusiones más relevantes de la revisión es la notable diversidad de hongos y bacterias que habitan en los suelos forestales y su capacidad para generar compuestos antimicrobianos. La literatura analizada indica que diferentes grupos microbianos, como los hongos del género *Penicillium*, *Trichoderma* y las bacterias del género *Streptomyces*, han demostrado una notable habilidad para sintetizar antibióticos efectivos contra diversos



patógenos. Esta riqueza microbiana representa un recurso inexplorado que podría convertirse en una fuente valiosa de nuevos medicamentos, especialmente ante el creciente problema de la resistencia bacteriana.

Es fundamental seguir investigando esta biodiversidad, ya que muchos compuestos aún no han sido identificados o evaluados adecuadamente. La capacidad de estos microorganismos para adaptarse a su entorno y su potencial para producir metabolitos secundarios eficaces subrayan la importancia de realizar estudios adicionales.

La revisión también examina las diferentes metodologías utilizadas para evaluar la actividad antibiótica de los compuestos derivados de hongos y bacterias. Técnicas como el método de difusión en agar y las pruebas de dilución han sido esenciales para identificar la actividad antimicrobiana. Sin embargo, la revisión señala que, aunque estas metodologías son comúnmente empleadas, existe una falta de estandarización en las pruebas, lo que puede llevar a variabilidad y, en ocasiones, a resultados contradictorios.

Es como presentan, Leifheit et al. (2015, p. 1) quienes llevaron a cabo un estudio experimental en el que utilizaron macetas de laboratorio para evaluar simultáneamente los efectos individuales y combinados de una especie de HMA (*Rhizophagus irregularis*) y una comunidad microbiana natural sin HMA en la descomposición de pequeños trozos de madera y en la agregación del suelo. La descomposición de los trozos de madera en este compartimento disminuyó notablemente en presencia de HMA, aunque no solo con la comunidad microbiana HMA. En comparación con el control, la agregación del suelo aumentó en todos los tratamientos. (6)

Esto indica que es necesario adoptar un enfoque más sistemático en el desarrollo e implementación de protocolos de evaluación. Además, sería beneficioso explorar métodos más avanzados, como la metagenómica y la biología molecular, para facilitar la identificación de nuevos compuestos antibióticos y profundizar en la comprensión de sus mecanismos de acción.

Los hallazgos indican que los nuevos antibióticos derivados de hongos y bacterias del suelo forestal podrían tener un impacto significativo en la salud pública. Dado el aumento de las infecciones resistentes a múltiples fármacos, estos compuestos naturales ofrecen una posible

solución viable. Sin embargo, la revisión también subraya la importancia de desarrollar regulaciones adecuadas y estrategias de conservación para garantizar que la extracción de estos recursos no comprometa la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas forestales.

En conclusión, la revisión muestra una evidencia sólida del inmenso potencial que poseen los hongos y bacterias del suelo forestal como fuentes de nuevos antibióticos. La diversidad microbiana y las metodologías de evaluación actuales ofrecen un camino prometedor para el descubrimiento y desarrollo de nuevos fármacos que podrían combatir el creciente problema de la resistencia a los antibióticos. A medida que se avanza en este ámbito, será fundamental considerar las implicaciones éticas y de conservación, asegurando así un enfoque sostenible en la investigación y el uso de estos recursos naturales.

Conclusiones

Este artículo científico, basado en una revisión bibliográfica, ha permitido compilar y analizar información sobre los hongos y bacterias como productores de compuestos antimicrobianos innovadores. A partir de la revisión de la literatura existente, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Los hongos y bacterias que habitan en ecosistemas forestales son una rica fuente de biodiversidad, lo que se traduce en un potencial considerable para la producción de nuevos antibióticos. La diversidad microbiana en estos entornos resalta su papel crucial en la búsqueda de alternativas terapéuticas frente al aumento de la resistencia a los antibióticos.

La evidencia recopilada indica que varios hongos y bacterias del suelo forestal han mostrado la habilidad para sintetizar antibióticos efectivos. Compuestos derivados de actinobacterias y hongos filamentosos han sido identificados como prometedores en la lucha contra patógenos resistentes, lo que subraya la necesidad de continuar investigando estos microorganismos.

La revisión resalta la importancia de emplear metodologías estandarizadas y confiables para evaluar la actividad antibiótica de los compuestos obtenidos. Aunque se han utilizado técnicas como el método de difusión en agar y las pruebas de dilución, es fundamental



establecer protocolos consistentes que permitan la comparabilidad y reproducibilidad de los resultados entre diferentes estudios.

La búsqueda de nuevos antibióticos derivados de microorganismos del suelo forestal tiene implicaciones significativas para la salud pública, especialmente en el contexto actual de la crisis de resistencia a los antimicrobianos. La identificación de nuevos fármacos podría reintroducir alternativas efectivas en el tratamiento de infecciones bacterianas difíciles de manejar con antibióticos tradicionales.

Se pone de manifiesto la necesidad de investigaciones adicionales que profundicen en la diversidad microbiana de los suelos forestales y sus propiedades antimicrobianas. Se recomienda realizar estudios a gran escala que incluyan un mayor número de especies microbianas y que empleen técnicas ómicas para elucidar los mecanismos de producción de antibióticos. Por último y no menos importante, es crítico abordar la explotación de los recursos naturales de manera sostenible. La conservación de los ecosistemas forestales es esencial no solo para preservar la biodiversidad microbiana, sino también para asegurar la disponibilidad continua de nuevas fuentes de antibióticos en el futuro.

Referencias bibliográficas

1. Mendoza L, Vera V, Giler J, Simbaña K. Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo , Chone - Ecuador. Rev. Cient. Cien. Nat. Ambien. 2022 Junio; 15(2): p. 34-341.
2. Sandoval C, Cantú I, González H, Yáñez MI, Marmolejo JG, Gómez MV. Efecto de diferentes usos del suelo en las propiedades físicas e hidrológicas de un Luvisol en Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Forestale. 2021 Diciembre; 12(68).
3. Gómez A, Correa A, Castruita L. Cambio climático y dinámica de los ecosistemas forestales. Revista fitotecnia mexicana. 2023 Noviembre; 44(4): p. 673-682.
4. Reyes WL. Diversidad de hongos y bacterias presentes en suelos de bosques tropicales de la Cordillera Occidental-Valle del Cauca en respuesta a un gradiente altitudinal [Tesis] , editor. [Palmira]: Universidad Nacional de Colombia; 2023.

5. Gómez BE, Mejía L, Ruiz G. Bacterias benéficas del suelo para proteger y recuperar áreas naturales protegidas. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 2021 Mayo.
6. Carrasco MR. Aplicación de Bacterias y Hongos para la Biodisponibilidad de Nutrientes y Recuperación de Suelos Degradados: Revisión sistemática [Tesis] , editor. [Lima]: Universidad César Vallejo; 2021.
7. Rodríguez V, Zaragosa K, Clark R, Ramírez R. Efecto del manejo forestal en las propiedades fisicoquímicas del suelo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y bosques*. 2023 Noviembre; 29(1).
8. Onet A, Grenni P, Onet C, Stoian V, Crisan V. Microbiomas del suelo forestal: una revisión de la investigación clave de 2003 a 2023. *Bosques*. 2025 Enero; 16(1).
9. Zhgun AA. Producción industrial de antibióticos en hongos: Estado actual, desembrando la base molecular de la mejora de la capa clásica y aumentando la producción de cepas de alto rendimiento por la adición de inductores de peso baja molecular. *Fermentación*. 2023 Diciembre; 9(12).
10. Gemechu GW. Producción de antibióticos a partir de hongos. *Advances in Biotechnology & Microbiology*. 2024 Agosto; 18(2).
11. Lladó S, López R, Baldrian P. Bacterias del suelo forestal: diversidad, participación en los procesos ecosistémicos y respuesta al cambio global. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2017 Abril; 81(2).
12. Gajic I, Kabic J, Kekic D, Jovicevic M, Milenkovic M, Culafic DM, et al. Pruebas de Susceptibilidad Antimicrobiana: Revisión Integral de Métodos Usados actualmente. *Antibióticos*. 2022 Marzo; 11(4).
13. Ritten A, Kirchner T, Musiol-Kroll EM. Visión general sobre estrategias y ensayos para descubrimiento de antibióticos. *Farmacéuticos*. 2022 Octubre; 15(10).

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.