UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ACTINOMICETOS ANTAGÓNICOS, ALTERNATIVA BIOLÓGICA PARA EL CONTROL DE HONGOS FITOPATÓGENOS

.

AUTORES:

DYLAN OSWALDO PALACIOS SILVA

JAIRO FELIPE HUATATOCA CHIMBO

DOCENTE - TUTOR:

Dra. C. KARINA CARRERA SÁNCHEZ

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple con los criterios.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple con los criterios.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple con los criterios.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Cumple con los criterios.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple con los criterios.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Cumple con los criterios
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple con los criterios.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple con los criterios.
VALORACIÓN TOTAL	100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
SEGUNDO BENEDICTO VALLERAMIREZ

Dr. Segundo Benedicto Valle Ramírez, PhD.

Dado en la ciudad de Puyo, a los 10 días del mes de agosto de 2022.

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	
VALORACIÓN TOTAL	100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
SANDRALUISA

Sandra Luisa Soria Re
CI1800988212
docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los diez días del mes de agosto de 2022.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE AGROPECUARIA

Puyo, 04/08/2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: **Palacios Silva Dylan Oswaldo** con C.I. 1600618720, con el Tema: "**Actinomicetos antagónicos, alternativa biológica para el control de hongos fitopatógenos**", de la carrera de Ingeniería Agropecuaria. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, Karina María Elena Carrera Sánchez, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3 %, Informe generado con fecha 04 de agosto del 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
KARINA MARIA ELENA CARRERA SANCHEZ

Dra. Karina Carrera Sánchez
CI. 1600259285
Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE AGROPECUARIA

Puyo, 04/08/2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Huatatoca Chimbo JairoFelipe con C.I. 1501044554, con el Tema: "**Actinomicetos antagónicos, alternativa biológica para el control de hongos fitopatógenos**", de la carrera de Ingeniería Agropecuaria. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, Karina María Elena Carrera Sánchez, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3 %, Informe generado con fecha 04 de agosto del 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
KARINA MARIA
ELENA CARRERA
SANCHEZ

Dra. Karina Carrera Sánchez
CI. 1600259285
Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

Ouriginal

Document Information

Analyzed document	V2 Actinomicetos control hongos fitopatógenos FINAL.docx (D142662384)
Submitted	8/4/2022 8:52:00 PM
Submitted by	Karina Carrera
Submitter email	mcarrera@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	mcarrera.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://doi.org/10.15406/jmen.2014.01.00010 Fetched: 8/4/2022 8:52:00 PM	5
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/303782701_Actinomycetes_Bio-inoculants_A_Modern_Prospectus_for_Plant_Disease_Management Fetched: 7/25/2020 5:06:56 PM	1
W	URL: https://doi.org/10.3390/antibiotics8030105 Fetched: 8/4/2022 8:52:00 PM	1
W	URL: https://doi.org/10.3390/toxins13100689 Fetched: 8/4/2022 8:52:00 PM	1
W	URL: https://doi.org/10.1186/s43141-021-00156-9 Fetched: 8/4/2022 8:52:00 PM	1

Entire Document

Actinomicetos antagónicos, alternativa biológica para el control de hongos fitopatógenos Palacios Silva Dylan Oswaldo1 Agp2017188@uea.edu.ec Huatatoca Chimbo Jairo Felipe1 Agp2017049@uea.edu.ec Carrera Sánchez Karina María Elena2 mcarrera@ura.edu.ec 1Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Agropecuaria Resumen Los actinomicetos son conocidos como microorganismos antagonistas por tener la capacidad de producir antibióticos naturales y metabolitos secundarios. El objetivo de la investigación se centra en describir los principales géneros y determinar los metabolitos secundarios de los actinomicetos para el control de hongos fitopatógenos. El presente trabajo está enfocado en un tipo de investigación no experimental, exploratorio y documental mismo que se llevó a cabo a través de una revisión bibliográfica de fuentes esenciales y opcionales la cual proporcionó como resultado que los principales géneros son:

87% **MATCHING BLOCK 1/9** W

Streptomycetes, Nocardia, Micromonospora, Thermomonospora, Actinoplanes, Microbispora, Streptosporangium, Actinomadura, Actinosynnema, Dactylosporangium, Rhodococcus, Kitasatospora, Gordona, Intrasporangium y Streptoalloteichus,

Actinomicetos antagónicos, alternativa biológica para el control de hongos fitopatógenos

Palacios Silva Dylan Oswaldo[1]
agp2017188@uea.edu.ec
Huatatoca Chimbo Jairo Felipe[1]
agp2017049@uea.edu.ec
Carrera Sánchez Karina María Elena[2]
mcarrera@uea.edu.ec

[1]Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Resumen

Los actinomicetos son conocidos como microorganismos antagonistas por tener la capacidad de producir antibióticos naturales y metabolitos secundarios. El objetivo de la investigación se centra en describir los principales géneros y determinar los metabolitos secundarios de los actinomicetos para el control de hongos fitopatógenos. El presente trabajo está enfocado en un tipo de investigación no experimental, exploratorio y documental mismo que se llevó a cabo a través de una revisión bibliográfica de fuentes esenciales y opcionales la cual proporcionó como resultado que los principales géneros son: *Streptomycetes*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Thermomonospora*, *Actinoplanes*, *Microbispora*, *Streptosporangium*, *Actinomadura*, *Actinosynnema*, *Dactylosporangium*, *Rhodococcus*, *Kitasatospora*, *Gordona*, *Intrasporangium y Streptoalloteichus*, mientras que entre los principales metabolitos secundarios están; bis-(2-etil-hexil) ftalato, bis-(5-etilheptil) ftalato, ácido 5-hidroxil-5-metil-2-hexenoico, N-acetilglucosaminidasa, endoquitinasas, quitobiosidasas, 3-metoxi oxantromicina, ciclo (d-Pro-I-Tyr), proteasas, pyrroles, B-1,3-glucanasas, 2-metil-1-butanol, ácido acético, benzaldehído, 2-ácido metil propanoico, 3-ácido metil butanoico, los cuales protegen en diversos grados contra los hongos fitopatógenos tales como: *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Colletotrichum* sp., *Alternaria* sp., *Rhizoctonia* sp., *Curvularia maculans*., *Penicillium citrinum*.

Palabras Claves: Actinomicetos antagónicos, Control biológico, Metabolitos secundarios, Hongos fitopatógenos.

Abstract

Actinomycetes are known as antagonistic microorganisms because for having the ability to produce natural antibiotics and secondary metabolites. The objective of the research is centered on describing the main genera and specifying the secondary metabolites of actinomycetes for the control of phytopathogenic fungi. The present work is focused on a non-experimental, exploratory and documentary same that was carried out through a bibliographic review of essential and optional sources the which provided us with the result that the main genres are: *Streptomycetes*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Thermomonospora*, *Actinoplanes*, *Microbispora*, *Streptosporangium*, *Actinomadura*, *Actinosynnema*, *Dactylosporangium*, *Rhodococcus*, *Kitasatospora*, *Gordona*, *Intrasporangium y Streptoalloteichus*, among the main secondary metabolites are; bis-(2-ethyl-hexyl) phthalate, bis-(5-ethylheptyl) phthalate, 5-hydroxyl-5-methyl-2-hexenoic acid, N-acetylglucosaminidase, endochitinases, chitobiosidases, 3-methoxy oxanthromycin, cycle (d-Pro-I-Tyr), proteases, pyrroles, B-1,3-glucanases, 2-methyl-1-butanol, acetic acid, benzaldehyde, 2-methyl propanoic acid, 3-methyl butanoic acid, which protect to varying degrees against phytopathogenic fungi such as: *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Colletotrichum* sp., *Alternaria* sp., *Rhizoctonia* sp., *Curvularia maculans*., *Penicillium citrinum*.

Keywords: Antagonistic Actinomycetes, Biological control, Secondary metabolites, Phytopathogenic fungi

1. INTRODUCCIÓN

Los géneros más conocidos de hongos fitopatógenos como *Alternaria* spp. (Nees), *Fusarium* spp. (Link ex Grey), *Colletotrichum* spp. (Corda), *Rhizoctonia* spp. (De Candolle), entre otros, causan pérdidas económicas colosales, afectando fuertemente a los principales cultivos en todos los países (Patkowska, 2021). Por esta razón, los estudios actuales se centran en el uso de microorganismos beneficiosos que contienen metabolitos primarios y secundarios con actividad biológica sobre los hongos fitopatógenos (Dávila *et al*., 2013; Mesa *et al*., 2019).

Por otra parte, muchas investigaciones descriptivas demuestran que los actinomicetos son un grupo de microorganismos antagonistas con capacidad para producir antibióticos naturales y metabolitos secundarios, los cuales protegen en diversos grados contra los hongos patógenos (Sowndhararajan & Kang, 2012).

Los actinomicetos son bacterias gram-positivas que contienen un alto porcentaje de guanina y citosina (GC) con una morfología fúngica (Chavan *et al*., 2013). Además, se caracterizan por presentar filamentos ramificados, ser saprofitas, poseer células procariotas y tener un olor a tierra mojada debido a la producción de un metabolito conocido como geosmina (Dávila *et al*., 2013).

La distribución de los actinomicetos está ampliamente diversificada en los hábitat naturales (Chavan *et al*., 2013), especialmente en el suelo y el océano, desde la arena del mar, los sedimentos de los manglares, el agua de mar, los sedimentos costeros y los sedimentos de aguas profundas (Kamjam *et al*., 2017).

Los principales productos de los actinomicetos son: antibióticos, antifúngicos, anticancerígenos y antitumorales, antinflamatorias (reduce la inflamación de los tejidos), antiparasíticas (acaricida y antihelmíntico), pigmentos (uso como colorantes en alimentos), agrícola (biofertizantes, biofungicida), enzimáticos (amilasas, proteasas, celulasas, quitinasas), también presentan una gran actividad metabólica y son eficientes en el proceso de transformación de la materia orgánica, tanto vegetal como animal, producen sideróforos, sustancias que favorecen el proceso metabólico de las plantas. Pertenecen al filo Actinobacteria, del orden Actinomicetales que incluye 10 subórdenes, más de 30 familias y cerca de 160 géneros (Chavan *et al*., 2013; Dávila *et al*., 2013; Abdelmohsen *et al*., 2015; Quiñones-Aguilar *et al*., 2016; Lino-Navarro *et al*., 2020).

El uso de estos microorganismos antagonistas como agentes de control biológico de enfermedades es de gran interés debido a su capacidad para inhibir el desarrollo de patógenos (Reyes *et al*., 2015).

Debido a la importancia que tienen los actinomicetos como una alternativa de control biológico de enfermedades en plantas, esta investigación plantea los siguientes objetivos:

- Describir los principales géneros de actinomicetos y determinar los metabolitos secundarios de interés para el control de hongos fitopatógenos.

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El desarrollo del presente trabajo está enfocado en una investigación no experimental, exploratorio y documental, mismo que se llevó a cabo a través de una revisión bibliográfica de fuentes esenciales como: artículos de investigación científica y libros de texto; y fuentes opcionales, por ejemplo, artículos de revistas universitarias, con bases de datos que incluyen literatura en inglés y español sobre los principales géneros y metabolitos secundarios de actinomicetos para el control de hongos fitopatógenos.

2.2. Método de investigación

El método fue de exploración documental, en el que se efectuó una búsqueda ordenada de fuentes de datos tanto esenciales (primarias) como opcionales (secundarias).

En este sentido, para alcanzar el primer objetivo específico, se dieron pasos importantes, como la recolección o recopilación de artículos científicos que contengan la descripción de los géneros de actinomicetos; para lo cual se estableció como única variable:

- Géneros de actinomicetos

Asimismo, para el cumplimiento del segundo objetivo fue especificar los principales metabolitos secundarios de actinomicetos utilizados en la inhibición de hongos fitopatógenos, para lo cual se estableció una variable general:

- Metabolitos secundarios de actinomicetos

2.2.1. Método exploratorio

En general, es un método para destacar las partes fundamentales de un determinado problema de investigación con el fin de elaborar un trabajo específico. Por lo tanto, la investigación exploratoria contribuyó sobre todo a alcanzar los objetivos establecidos.

2.3. Criterios de inclusión de la información científica

2.3.1. Palabras claves para la búsqueda de información

En un contexto general, cada una de las palabras clave empleadas en la literatura fue español. Así que, cuando se finalizó toda la elaboración de la investigación, se tradujo al inglés.

- Palabras claves empleadas fueron las siguientes: Actinomicetos antagónicos, Control biológico, Metabolitos secundarios, Hongos fitopatógenos.

2.3.2. Año de publicación:

Para este trabajo de investigación se obtuvieron artículos y libros de texto publicados en los últimos 10 años.

2.3.3. Idioma:

Se emplearon artículos científicos publicadas en inglés y español.

2.3.4. Cantidad de estudios utilizados:

Para la presente investigación se utilizaron una suma de 90 documentos incluyendo artículos científicos, revistas universitarias y texto de libro.

2.3.5. Selección de datos

En la presente revisión de artículos científicos y libros, se constató que se respeten los siguientes parámetros fundamentales, entre ellos:

- Que dispongan de los parámetros adecuados para una correcta citación.
- Que contengan datos relacionados con la revisión que se aborda.
- Que contengan datos correspondientes a las variables representadas anteriormente.

2.4. Criterios de exclusión de información científica

Los criterios de exclusión se describen a continuación:

- Para este trabajo de revisión científica, se excluirán los artículos divulgados antes del 2012.
- Del mismo modo, se descartarán tesis, monografías y proyectos.
- Finalmente, se eliminarán documentos por estar publicados en revistas que no tienen alcance en el tema.

2.5. Manejo de la información

En esta sección, se efectuó una selección extremadamente definida de todos los trabajos encontrados en las bases de datos científicas, esencialmente aquellos con los resultados más relevantes con el tema que se aborda. A partir de esta selección de documentos, se elaboraron tablas en función de los principales géneros y metabolitos secundarios de actinomicetos para el control de hongos fitopatógenos.

2.6. Nivel y alcance de la búsqueda

Para esta revisión documental se utilizaron referencias bibliográficas de los últimos 10 años con el fin de lograr una elaboración actual. Por otro lado, el alcance y la recopilación de la búsqueda de información se centró en revistas científicas internacionales en inglés y español, incluyendo artículos científicos, y libros de texto.

2.7. Fuentes de información utilizada

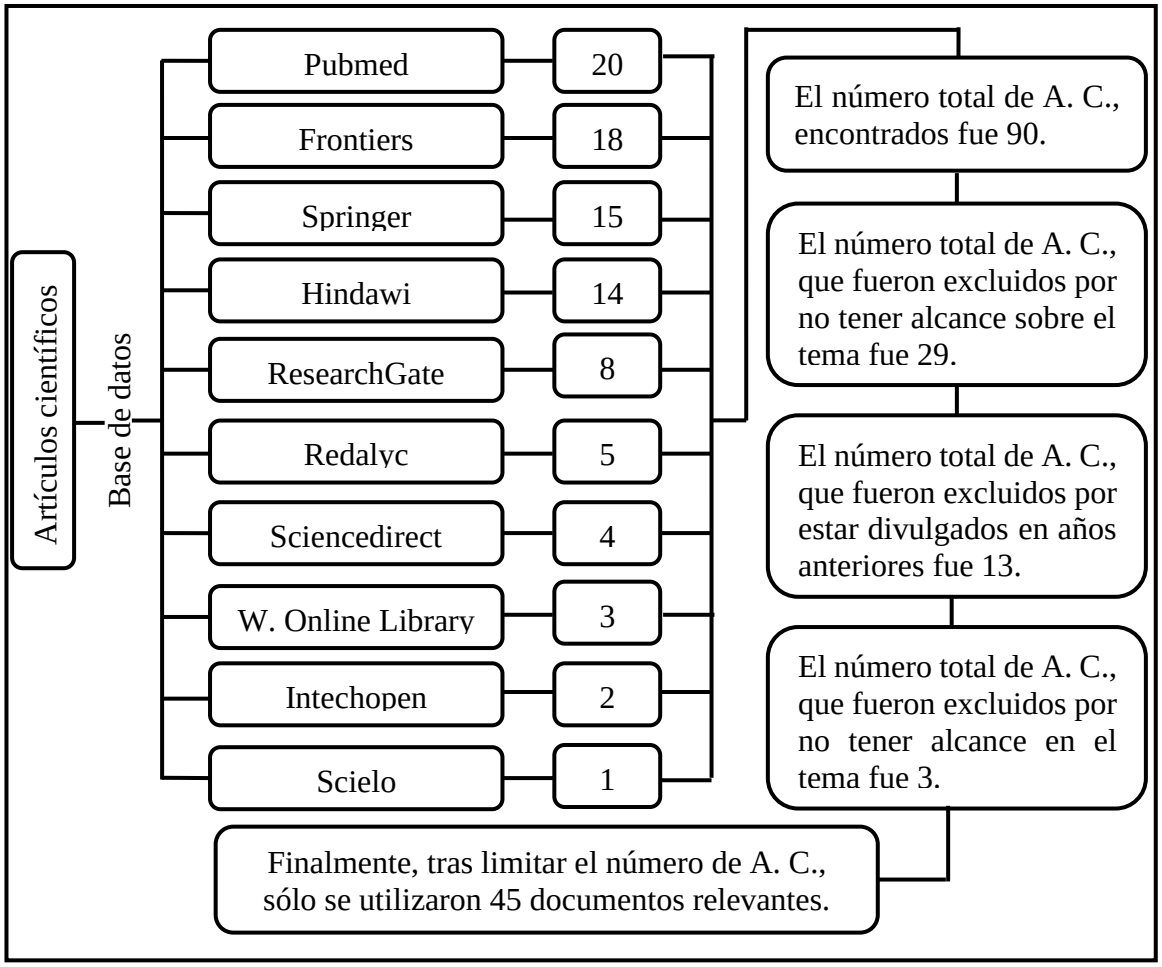
En este apartado se desarrolló una búsqueda sistemática de la literatura científica divulgada en los últimos 10 años para cumplir con los objetivos planteados sobre los principales géneros y metabolitos secundarios de actinomicetos para el control de hongos fitopatógenos. Para ello, se efectuó una búsqueda sistemática en las bases de datos internacionales más importantes, que son: Pubmed (Estados Unidos), Scielo (São Paulo, Brasil), Wiley Online Library (Estados Unidos), Springer (Berlín, Alemania), Hindawi (Londres, Reino Unido), Frontiers (Lausana, Suiza), ResearchGate (Berlín, Alemania), Redalyc (México), SpringerLink (Berlín, Alemania), Intechopen (Vienna, Austria), Sciencedirect (Países bajos).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la metodología antes descrita, se recopilaron 90 documentos, entre artículos científicos y libros de texto, divulgados entre los años 2012 y 2022 (Pubmed, Scielo, Wiley Online Library, Springer, Hindawi, Frontiers, ResearchGate, Redalyc, SpringerLink, Intechopen, Sciencedirect).

A continuación, se procedió a delimitar el tema entre los 90 trabajos científicos en función de las consideraciones de inclusión expuestas en la metodología. En consecuencia, se excluyeron 29 documentos por estar divulgados en revistas que no tienen alcance sobre el tema, asimismo se descartaron 13 artículos por estar difundidos en años anteriores al 2012 y finalmente, se excluyeron 3 documentos científicos por no tener alcance sobre el tema de investigación (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo en función de los distintos niveles de la revisión sistemática



Notas: A. C. = Artículos científicos.

A continuación, se representa los principales artículos científicos con los que se trabajó en la investigación (Tabla 1).

Tabla 1. Artículos científicos destacados en bases de datos internacionales.

Autor	Año	Tema del trabajo	Revista	País
Drzyzga, O.	2012	The strengths and weaknesses of *Gordonia*: A review of an emerging genus with increasing biotechnological potential	Critical Reviews in Microbiology	Madrid, España
Kumar, P. *et al*.	2012	Antibacterial activity of some actinomycetes from Tamil Nadu, India	APJTB*	Tamil Nadu, India
Schwientek, P. *et al*.	2012	The complete genome sequence of the acarbose producer *Actinoplanes* Sp. SE50/110	BMC Genomics	Bielefeld, Germany
Sowndhararajan, K. & Kang, S.	2012	*In vitro* antagonistic potential of *Streptomyces* Sp. AM-S1 against plant and human pathogens	Agricultural Chemistry and Environment	Gyeongsan, South Korea
Kavitha, A. & Vijayalakshmi, M.	2012	A Study on L-Asparaginase of *Nocardia levis* MK-VL 113	The Scientific World Journal	India
Nawani, N. *et al*.	2013	Actinomycetes: Role in Biotechnology and Medicine	BioMed Research International	India
Chavan, D. *et al*.	2013	A review on actinomycetes and their biotechnological application	IJPSR*	Maharashtra, India
Dávila, M. *et al*.	2013	Actinomicetos antagónicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola	Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas	México
Evangelista-Martínez, Z.	2013	Isolation and characterization of soil *Streptomyces* species as potential biological control agents against fungal plant pathogens	WJMB*	Mérida, Yucatán, México
Intra, B. *et al*.	2014	*Streptosporangium jomthongense* Sp. Nov., an Actinomycete isolated from rhizospheric soil and emendation of the genus *Streptosporangium*	IJSEM*	Japón
Rana, S.	2014	Antimicrobial potential of actinomycetes isolated from soil samples of Punjab, India	Journal of Microbiology & Experimentation	Punjab, India
Singh, L. *et al*.	2014	Production of potent antimicrobial agent by actinomycete, *Streptomyces sannanensis* strain SU118 isolated from phoomdi in Loktak Lake of Manipur, India	BMC Microbiology	Sikkim, India

Abdelmohsen, U. *et al*.	2015	Elicitation of secondary metabolism in actinomycetes	Biotechnology Advances	Würzburg, Alemania
Jayashantha, E.	2015	Actinobacteria - Morphology, Physiology, biochemistry, diversity & Industrial Applications of genus Actinobacteria	Microbiology Special Degree-Assignment	Sarasavi Mawatha, Sri Lanka
Martínez-Hidalgo, P. *et al*.	2015	Induced systemic resistance against *Botrytis cinerea* by *Micromonospora* strains isolated from root nodules	Frontiers in Microbiology	Granada, España
Reyes, A. *et al*.	2015	Lucha entre microbios: una herramienta para el control de enfermedades de plantas	Universidad Michoacana	México
Shivlata, L. & Satyanarayana, T.	2015	Thermophilic and alkaliphilic *Actinobacteria*: biology and potential applications	Frontiers in Microbiology	India
Zhao, J. *et al*.	2015	*Actinomadura jiaoheensis* Sp. Nov. and *Actinomadura sporangiiformans* Sp. Nov., two novel actinomycetes isolated from muddy soil and emended description of the genus *Actinomadura*	Antonie van Leeuwenhoek	República de China
Golinska, P. et al.	2015	Endophytic actinobacteria of medicinal plants: diversity and bioactivity	Antonie van Leeuwenhoek	Toruń, Polonia
Quiñones-Aguilar, A. et al.	2016	Los actinomicetos y su aplicación biotecnológica	Elementos: BUAP	México
Buttner, M.	2017	Actinoplanes Swims into the Molecular Age	Journal of Bacteriology	Estados Unidos
Doehlemann, G. *et al*.	2017	Plant pathogenic fungi	Microbiology Spectrum	Alemania
Kamjam, M. *et al*.	2017	Deep sea actinomycetes and their secondary metabolites	Frontiers in Microbiology	Tokio, Japón
Takahashi, Y.	2017	Genus *Kitasatospora*, taxonomic features and diversity of secondary metabolites	The Journal of Antibiotics	Japón
Chitraselvi, P.	2018	Actinomycetes: Dependable tool for sustainable agriculture	CIACR*	India
Gomes, E. *et al*.	2018	Actinomycetes bioactive compounds: Biological control of fungi and phytopathogenic insect	African Journal of Biotechnology	Brazil
Nouioui, I. *et al*.	2018	Genome-based taxonomic classification of the phylum *Actinobacteria*	Frontiers in Microbiology	Francia
Bunbamrung, N. *et al*.	2018	Anthrone derivatives from the terrestrial actinomycete, *Actinomadura* sp. BCC47066	Phytochemistry Letters	Tailandia
Bouti, K. *et al*.	2019	Taxonomy and antimicrobial activity of *Streptosporangium* strain SG163 isolated from a Saharan soil	Lebanese Science Journal	Francia

Ding, T. *et al*.	2019	The secondary metabolites of rare actinomycetes: chemistry and bioactivity	RSC Advances	China
Mast, Y. & Stegmann, E.	2019	Actinomycetes: the antibiotics producers	Antibiotics	Germania
Mesa, V. *et al*.	2019	Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos	Revista de Investigaciones Agropecuarias	Medellín, Colombia
Naranjo-Ortiz, M. & Gabaldón, T.	2019	Fungal evolution: diversity, taxonomy and phylogeny of the Fungi	Biological Reviews	Barcelona, España
Wang, J. *et al*.	2019	Genome-guided discovery of pretilactam from *Actinosynnema pretiosum* ATCC 31565	Molecules	China
Lino-Navarro, M. et al.	2020	Respuesta antifúngica y propiedades PGPB de actinomicetos aislados de cultivos de 'vid' *Vitis vinifera* (Vitaceae)	Arnaldoa	Perú
Espinosa-Barrera, L. *et al*.	2021	*Streptomyces*: "La Vieja Confiable"	Herbario CICY	México
Kuhl, T. *et al*.	2021	Genome-based characterization of plant-associated *Rhodococcus qingshengii* RL1 reveals stress tolerance and plant–microbe interaction traits	Frontiers in Microbiology	Neuherberg, Germany
Patkowsk, E.	2021	Biostimulants managed fungal phytopathogens and enhanced activity of beneficial microorganisms in rhizosphere of Scorzonera (*Scorzonera hispanica* L.)	Agriculture	Lublin, Polonia
Salvatore, M. & Andolfi, A.	2021	Phytopathogenic fungi and toxicity	Toxins	Naples, Italia
Selim, M. *et al*.	2021	Secondary metabolites and biodiversity of Actinomycetes	JGEB*	Egipto
Ningsih, F. et al.	2021	Antibacterial activity of Microbispora rosea subsp. rosea SL3-2-R-1 grown on different media and solidifying agents Conference	Journal of Physics: Conference Series	Indonesia

Nota: IJPSR (International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research), APJTB (Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine), CIACR (Current Investigations in Agriculture and Current Research), JGEB (Journal of Genetic Engineering and Biotechnology), WJMB (World Journal of Microbiology and Biotechnology), IJSEM (International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology).

La Tabla 2, representa principalmente los libros con los que se trabajó en la investigación.

Tabla 2. Libros

Autor	Años	Tema del trabajo	Libros	País
Goodfellow, M.	2015	*Actinobacteria*	Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria	Estados Unidos
Vobis, G. et al.		*Actinoplanes*		
Trujillo, M. & Goodfellow, M.		*Actinomadura*		
Labeda, D.		*Actinosynnema*		
Vobis, G.		*Dactylosporangium*		
Goodfellow, M. *et al*.		*Gordonia*		
Groth, I.		*Intrasporangium*		
Kämpfer, P.		Incertae Sedis I. *Kitasatospora* Corrig		
Genilloud, O.		*Micromonospora*		
Franco, C.		*Microbispora*		
Goodfellow,M. & Maldonado, L.		*Nocardia*		
Jones, A. & Goodfellow, M.		*Rhodococcus*		
Kim, S. & Tamura, T.		*Streptoalloteichus*		
Quintana, E. & Goodfellow, M.		*Streptosporangium*		
Trujillo, M. & Goodfellow, M.		*Thermomonospora*		
Zapata, J.	2015	Características generales de los hongos fitopatógenos	Principios Básicos de Hongos Fitopatógenos	Colombia
Anandan, R. *et al*.	2016	An Introduction to Actinobacteria	Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications	Rijeka, Croacia
Grasso L. *et al*.		Production of Antibacterial Compounds from Actinomycetes		
Li, Q. *et al*.		Morphological identification of Actinobacteria		
Trujillo, M.	2016	Actinobacteria	Encyclopedia of Life Sciences	Salamanca, España

3.1. Descripción de los principales géneros de actinomicetos para el control de hongos fitopatógenos.

En la búsqueda de información sobre los principales géneros de actinomicetos para el control de hongos fitopatógenos, se logró encontrar que la gran parte de los trabajos estaban bien clasificados en las bases de datos de actinobacterias, debido a su diversidad en la naturaleza y como controladores biológicos. Por lo tanto, se documenta los principales géneros de actinomicetos (Tabla 3).

Tabla 3. Principales géneros de actinomicetos

Géneros	Descripciones	Referencias
Streptomyces	El género *Streptomyces* Waksman & Henrici 1943, son bacterias Gram-positivas (G+) que se caracterizan por tener un genoma lineal (~8,6 Mb) y una alta proporción (>70%) de G+C, por lo que cuenta con más de 500 especies dentro del filo Actinobacteria, por lo que se pueden encontrar en muchos lugares de la naturaleza.	(Espinosa-Barrera et al., 2021)
Micromonospora	El género *Micromonospora* Orskov 1923 hace referencia a una bacteria Gram-positiva que se puede aislar a partir de nódulos fijadores de nitrógeno de leguminosas sanas, donde podrían ser beneficiosas para la planta. Su actividad promotora del crecimiento vegetal en plantas leguminosas y no leguminosas se ha demostrado previamente.	Genilloud (2015); Martínez-Hidalgo *et al*. (2015); Nouioui *et al*. (2018)
Nocardia	*Nocardia* Trevisan 1889, son actinomicetos aeróbicos Gram-positivas, no móviles y poseen catalasas positivas. Sin embargo, algunas especies son patógenos oportunistas.	Goodfellow & Maldonado (2015)
Thermomonospora	El género *Thermomonospora* se propuso originalmente solo para actinobacterias termófilas Henssen, 1957., que comprendía tres especies termófilas *T. curvata, T. lineatay T. fusca. Solo T. curvata* pudo mantenerse como cultivo puro entre los tres. Posteriormente, se transfirió una actinobacteria mesófila (*T. mesophila*) del género *Actinobifida* al género *Thermomonospora* Nonomura y Ohara 1971.	Trujillo & Goodfellow (2015a); Shivlata & Satyanarayana, (2015); Nouioui *et al*. (2018)

Actinoplanes	El género *Actinoplanes* Couch 1950, son conocidos por producir una variedad de sustancias farmacéuticamente relevantes, como agentes antibacterianos, antifúngicos y antineoplásicos.	Vobis *et al*. (2015); Buttner (2017); Nouioui *et al*. (2018)
Microbispora	El género *Microbispora* Nonomura y Ohara 1957, son bacterias Gram positivas con una amplia distribución geográfica; se puede encontrarse en el suelo, sedimentos de manglares y ecosistemas marinos y de agua dulce.	Franco (2015)
Streptosporangium	El género *Streptosporangium* Couch 1955, es conocido por producir metabolitos bioactivos como los antitumorales, alcaloides y nuevos compuestos como actividad antibacteriana y antifúngica.	Intra *et al*. (2014); Quintana & Goodfellow (2015); Bouti *et al*. (2019)
Actinomadura	El género *Actinomadura* Lechevalier y Lechevalier 1970, se caracterizan por poseer propiedades químicas, como el ácido *meso*-diaminopimélico, como diaminoácido diagnóstico en el peptidoglicano de la pared celular y la madurosa como azúcar característico en los hidrolizados de células enteras.	Trujillo & Goodfellow (2015b); Zhao *et al*. (2015)
Actinosynnema	El género *Actinosynnema* Hasegawa *et al.* 1978, son conocidos por ser pequeños entre los actinomicetos por su producción de ansamitocina, el componente útil de los conjugados de anticuerpo y fármaco contra el cáncer.	Labeda (2015); Golinska *et al*., (2015); Wang *et al*. (2019)
Dactylosporangium	El género *Dactylosporangium* Thiemann *et al.* 1967, son bacterias filamentosas mesófilas aeróbicas que forman esporangios en forma de dedo y cuerpos globosos en el sustrato de micelio, así como esporas móviles.	Vobis (2015)

Rhodococcus	*Rhodococcus* Zopf 1891, es un género de bacterias grampositivas que contienen un alto contenido de ácido micólico G+C, no son móviles, no son esporulantes, son patógenos de mamíferos, como bacterias epifitas y endofíticas de plantas. Sin embargo, los géneros de *Rhodococcus* son diversos, pero muestran actividad antifúngica contra hongos fitopatógenos.	Jones & Goodfellow (2015); Kuhl *et al*. (2021)
Kitasatospora	El género *Kitasatospora* Ōmura *et al*. 1983, es un grupo de bacterias filamentosas y aeróbicas Gram positivas con micelio aéreo que porta largas cadenas de esporas (más de 20 esporas) y fenotípicamente similares a las cepas de *Streptomyces*. Produce varios compuestos bioactivos.	Kämpfer (2015); Takahashi (2017)
Gordona	El género *Gordona* (sic) (ex Tsukamura 1971) Stackebrandt *et al*. 1989, tienen la capacidad para degradar xenobióticos, contaminantes ambientales o polímeros naturales lentamente biodegradables, así como para transformar o sintetizar compuestos posiblemente útiles. Sin embargo, se debe considerar que algunos miembros del género *Gordonia* son patógenos oportunistas.	Drzyzga (2012); Goodfellow *et al*. (2015)
Intrasporangium	*Intrasporangium* Kalakoutskii *et al*. 1967, este género tiene la capacidad de intercalar esporangios en los filamentos del micelio.	Groth (2015); Nouioui *et al.* (2018)
Streptoalloteichus	El género *Streptoalloteichus* (ex Tomita *et al*. 1978) Tomita *et al*. 1987, pertenece a la familia Pseudonocardiaceae y tiene dos especies, *Streptoalloteichus hindustanus* y *Streptoalloteichus tenebrarius*. Sin embargo, las cepas de *Streptoalloteichus* pueden utilizarse como actinobacterias.	Kim & Tamura (2015)

Trujillo (2016), informó que los géneros pertenecientes a la clase Actinobacteria se encuentran mayoritariamente en el suelo y producen diversas moléculas antifúngicas contra hongos fitopatógenos, entre ellas; *Actinomadura* (pradimicinas A, B y C contra *Aspergillus* spp., entre otros hongos), *Actinoplanes* (octamicina, un polieno contra hongos y levaduras), *Micromonospora* (espartanomicina B con CMIs para *Aspergillus*, *Cladosporium* y dapiramicina B inhibe *Rhizoctonia solani*), *Streptomyces* es el género

más abundante en la naturaleza que produce (anfotericina B, nistatina, foslactomicinas, entre otras moléculas antifúngicas), *Nocardia y Rhodococcus* inhibe el crecimiento del fitopatógeno *Cylindrocarpon destructans*.

Por otra parte, Goodfellow (2015) destacó que la mayoría de las actinobacterias son microorganismos de vida libre, aunque varias especies son importantes patógenos de las plantas, incluyendo; *Rhodococcus* spp., *Streptomyces* spp.

Resultados informados por Goodfellow (2015), Anandan *et al*. (2016), Trujillo (2016) demostraron que el género *Streptomyces* predomina como antagonista, mientras que otras actinobacterias como *Actinomadura, Microbispora, Micromonospora, Nocardia, Actinoplanes, Rhodococcus, Gordona, Kitasatospora, Streptosporangium* y *Thermomonospora* apenas se han reportado como agentes de control biológico. Asimismo, los géneros *Actinosynnema, Dactylosporangium, Intrasporangium* y *Streptoalloteichus* tienen actividad antifúngica, pero no se han identificado claramente los factores activos.

3.2. Principales metabolitos secundarios de actinomicetos para el control de hongos fitopatógenos.

En esta revisión documental sobre los principales metabolitos secundarios de los actinomicetos para el control de los hongos fitopatógenos, se logró evidenciar que la mayoría de las investigaciones sobre este tema están orientadas a nuevos descubrimientos, debido a su potente actividad antibacteriana.

A continuación, se presentan los principales metabolitos secundarios de los actinomicetos utilizados en la inhibición de los hongos fitopatógenos (Tabla 4).

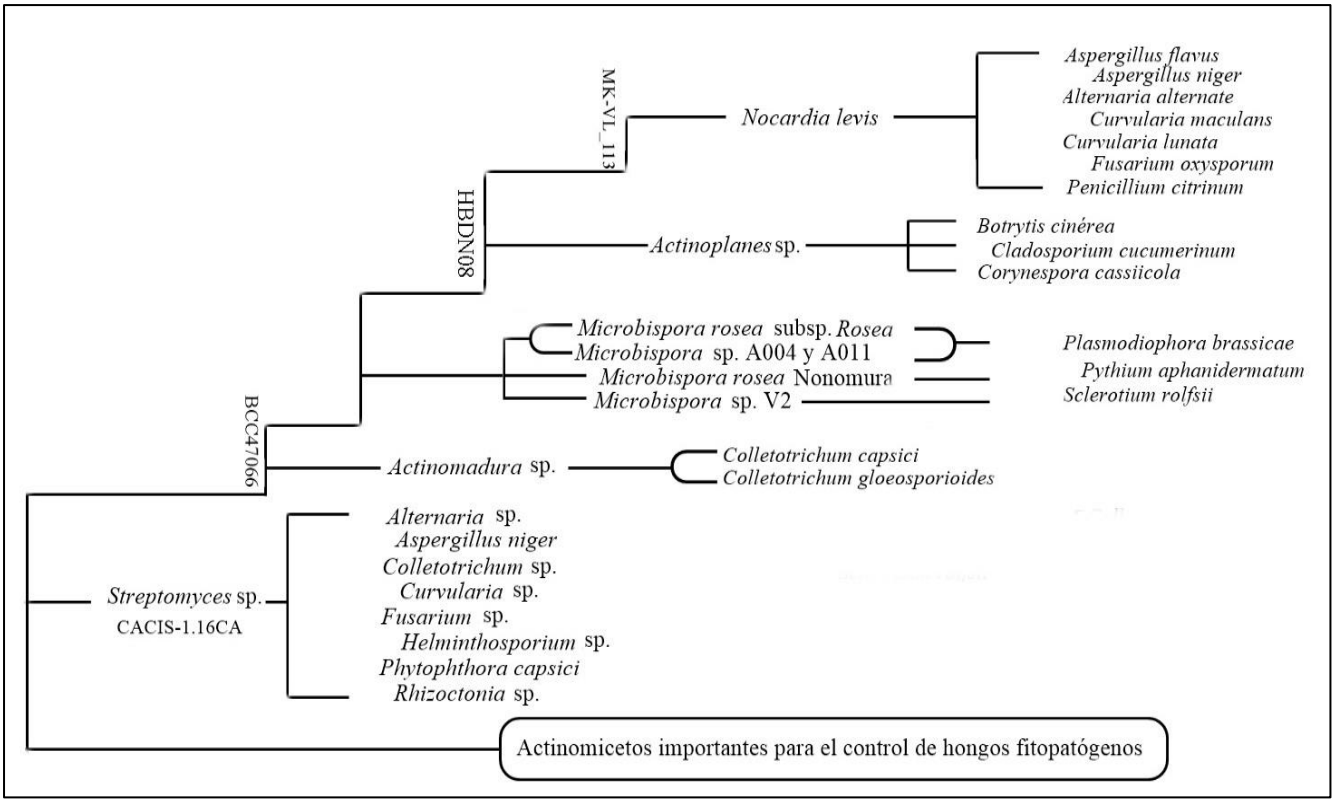
Tabla 4. Principales metabolitos secundarios de actinomicetos

Actinomicetos	Metabolitos	Actividad antimicrobiana contra	Referencias
Nocardia levis MK-VL_113	- bis-(2-etil-hexil) ftalato - bis-(5-etilheptil) ftalato	- *Aspergillus flavus* Link en 1809 - *Aspergillus niger* (P. E. L.) van Tieghem 1867 - *Alternaria alternate* (Fr.) Keissl 1912 - *Curvularia maculans* (C. K. Bancr.) Boedijn 1933 - *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn 1933	Ding *et al*. (2019)

Actinoplanes sp. HBDN08	ácido 5-hidroxil-5-metil-2-hexenoico	- *Fusarium oxysporum* Schltdl 1824 - *Penicillium citrinum* Thom 1910 - *Botrytis cinerea* Pers. 1794 - *Cladosporium cucumerinum* Ellis y Arthur 1889 - *Corynespora cassiicola* (Berk. y M.A. Curtis) C.T. Wei 1950	
Microbispora sp. V2		- *Sclerotium rolfsii* Sacc. 1911	
Microbispora rosea Nonomura *Microbispora* sp. A004 y A011 *Microbispora rosea* subsp. r*osea*	- N-acetilglucosaminidasa - Endoquitinasas - Quitobiosidasas	**Hongos Inferiores** - *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp. 1923 - *Plasmodiophora brassicae* Woronin 1877	Ding *et al*. (2019)
Actinomadura sp. BCC47066	Adxantromicina A_2 Oxantromicina	- *Colletotrichum capsici* (Syd.) E.J. Butler y Bisby 1931 - *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. 1884	
Streptomyces sp. CACIS-1.16CA	- Cycle (d-Pro-I-Tyr) - Proteasas - Pirroles - B-1,3-glucanases - 2-methyl-1-butanol - Ácido acético - Benzaldehído - 2-methyl propanoic acid - 3-methyl butanoic acid	- *Curvularia* sp. Boedijn 1933 - *Helminthosporium* sp. Link 1809 - *Aspergillus niger* (P. E. L.) van Tieghem 1867 - *Fusarium* sp. Link 1809 - *Colletotrichum* sp. Corda 1831 - *Alternaria* sp. Ness 1817 - *Rhizoctonia* sp. De Candolle 1815 **Hongos inferiores** - *Phytophthora capsici* Leonian 1922	Evangelista-Martínez (2013)

A partir de la Tabla 4, se realizó un dendrograma de los actinomicetos productores de metabolitos secundarios, donde se ordenaron secuencialmente (Figura 2).

Figura 2. Dendrograma de los principales actinomicetos productores de MS.



Kavitha *et al*. (2009), descrito por Kavitha y Vijayalakshmi (2012), mostraron la concentración inhibitoria mínima (CIM) de *Nocardia levis* MK-VL_113 contra hongos fitopatógenos, como describe en la Tabla 5.

Tabla 5. CIM de los compuestos bioactivos de *Nocardia levis* MK-VL_113

Hongos fitopatógenos	CIM (µg ml $^{-1}$)		
	bis-(2-etil-hexil) ftalato	bis-(5-etilheptil) ftalato	Antibiótico (Carbendazina)
A. flavus	90	125	2
A. niger	50	75	5
A. alternata	300	400	7
C. maculans	200	225	10
C. lunata	175	200	12
F. oxysporum	70	100	5
P. citrinum	100	150	2

Estos resultados demuestran que el compuesto bioactivo bis-(2-etil-hexil) ftalato tiene un mayor potencial antimicrobiano que el bis-(5-etilheptilo) ftalato, asimismo estos metabolitos secundarios fueron más activos contra *Aspergillus niger* y *Fusarium oxysporum* entre los hongos.

Zhang *et al*. (2010), descrito por Ding *et al*. (2019), informaron que el ácido 5-hidroxil-5-metil-2-hexenoico muestra una fuerte actividad antifúngica *in vivo* para controlar hongos patógenos, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Actividad antifúngica *in vivo*

Hongos fitopatógenos	ácido 5-hidroxil-5-metil-2-hexenoico	
	CI_{50} (mg/L)	CFM (mg/L)
B. cinerea	32.45 ± 2.79	150
C. cucumerinum	27.17 ± 1.76	100
C. cassiicola	30.66 ± 1.21	100

CI_{50}, concentración media de inhibición; CFM, concentración fungicida mínima

En la Tabla 7 se muestra la eficiencia del control de la enfermedad con el ácido 5-hidroxil-5-metil-2-hexenoico.

Tabla 7. Actividad antifúngica del ácido 5-hidroxil-5-metil-2-hexenoico

Metabolito secundario	Concentración (mg/L)	Eficiencia del control de la enfermedad (%)		
		B. cinerea	*C. cucumerinum*	*C. cassiicola*
ácido 5-hidroxil-5-metil-2-hexenoico	350	71,42 ± 2,87	78,63 ± 3,55	65,13 ± 5,52

Estos resultados demuestran que el ácido 5-hidroxil-5-metil-2-hexenoico aislado de *Actinoplanes* sp. HBDN08 tiene buenas propiedades antifúngicas *in vivo* contra *B. cinerea, C. cucumerinum, C. cassiicola*.

Evangelista-Martínez (2013), demostró que el actinomiceto *Streptomyces* sp. CACIS-1.16CA tiene mayor antagonismo de (0-5 días) respectivamente (Tabla 8).

Tabla 8. Actividad antagonista de *Streptomyces* sp. CACIS-1.16CA

Hongos patógenos	PI (CACIS-1.16CA)		
	0 días	3 días	5 días
Fusarium sp.	52,9	74,1	77,6
Alternaria sp.	47,6	60,6	61,4
Curvularia sp.	54,5	68,6	76,8
Phytophthora capsici	61,5	82,7	90,2
Colletotrichum sp.	59,1	69,8	80,8
Rhizoctonia sp.	55,2	70,5	76,4
Aspergillus niger	52,3	65,6	76,9
Helminthosporium sp.	36	52	68

PI, porcentaje de inhibición

Estos resultados demuestran que el porcentaje de inhibición oscila entre el 47 al 90 % contra los hongos patógenos, excepto para *Helminthosporium* sp. Link.

Bunbamrung *et al*. (2018) demostraron la CIM de los compuestos bioactivos producidos por *Actinomadura* sp. BCC47066 contra hongos patógenos (Tabla 9).

Tabla 9. Compuestos bioactivos de *Actinomadura* sp. BCC47066

Hongos fitopatógenos	CIM (µg/ml)		CI_{50} (µg/ml)
	Adxantromicina A_2	Oxantromicina	
C. capsici	6,25	6,25	6,25
C. gloeosporioides	6,25	6,25	6,25

CI_{50}, concentración media de inhibición; CIM, concentración inhibitoria mínima

Estos resultados corroboraron el gran potencial antagonista de *Actinomadura* sp. BCC47066 sobre *C. capsici*, *C. gloeosporioides.*

De acuerdo con Lee *et al*. (2008), descrito por Ningsih *et al*. (2021), demostraron que *Microbispora rosea* subsp. *rosea* muestra una eficiencia de control sobre el *P. brassicae*, como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Eficiencia de control de *Microbispora rosea* subsp. r*osea*

Actinomicetos	Eficiencia del control de la enfermedad (%) *Plasmodiophora brassicae*	
M. rosea subsp. r*osea* A004 y A001	A004	A001
Microbispora sp. A004 y A001	58%	33%

4. Conclusiones

La revisión de la literatura permitió determinar claramente a los principales géneros de actinomicetos para el control de los hongos fitopatógenos, que son: *Streptomycetes*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Thermomonospora*, *Actinoplanes*, *Microbispora*, *Streptosporangium*, *Actinomadura*, *Actinosynnema*, *Dactylosporangium*, *Rhodococcus*, *Kitasatospora*, *Gordona*, *Intrasporangium* y *Streptoalloteichus*, sin embargo, cabe mencionar que la diversidad de géneros e incluye un gran número de especies benéficas, pero también algunas patógenas. Además, el género *Streptomyces* es el más estudiado en todo el mundo ya que produce grandes compuestos bioactivos microbianos.

Los metabolitos secundarios como: bis-(2-etil-hexil) ftalato, bis-(5-etilheptil) ftalato, ácido 5-hidroxil-5-metil-2-hexenoico, N-acetilglucosaminidasa, endoquitinasas, quitobiosidasas, 3-metoxi oxantromicina, ciclo (d-Pro-I-Tyr), proteasas, pyrroles, B-1,3-glucanasas, 2-metil-1-butanol, ácido acético, benzaldehído, 2-ácido metil propanoico, 3-ácido metil butanoico, demostraron que son capases de inhibir a los hongos fitopatógenos, como: *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Colletotrichum* sp., *Alternaria* sp., *Rhizoctonia* sp., *Curvularia maculans*., *Penicillium citrinum*, entre otras.

5. Referencias

Abdelmohsen, U. R., Grkovic, T., Balasubramanian, S., Kamel, M. S., Quinn, R. J., & Hentschel, U. (2015). Elicitation of secondary metabolism in actinomycetes. *Biotechnology Advances*, *33*(6), 798–811. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.06.003

Anandan, R., Dharumadurai, D., & Manogaran, G. (2016). An Introduction to Actinobacteria. In *Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications* (p. 13). InTech. https://doi.org/10.5772/62329

Bouti, K., Boudjella, H., Bouras, N., Zitouni, A., Mathieu, F., & Sabaou, N. (2019). Taxonomy and antimicrobial activity of streptosporangium strain SG163 isolated from a Saharan soil. *Lebanese Science Journal*, *20*(1), 35–54. https://doi.org/10.22453/LSJ-020.1.035-054

Bunbamrung, N., Supong, K., Intaraudom, C., Dramae, A., Auncharoen, P., & Pittayakhajonwut, P. (2018). Anthrone derivatives from the terrestrial actinomycete, Actinomadura sp. BCC47066. *Phytochemistry Letters*, *25*(March), 109–117. https://doi.org/10.1016/j.phytol.2018.04.002

Buttner, M. J. (2017). Actinoplanes Swims into the Molecular Age. *Journal of Bacteriology*, *199*(12), 1–5. https://doi.org/10.1128/JB.00070-17

Chavan, D. V, Mulaje, S. S., & Mohalkar, R. Y. (2013). A review on actinomycetes and their biotechnological application. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, *4*(5), 1730. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.4(5).1730-42

Dávila, M., Morales, G., Hernández, F., Ochoa, Y., & Flores, A. (2013). Actinomicetos antagónicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *4*(8), 1187–1196. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000800006

Ding, T., Yang, L.-J., Zhang, W.-D., & Shen, Y.-H. (2019). The secondary metabolites of rare actinomycetes: chemistry and bioactivity. *RSC Advances*, *9*(38), 21964–21988. https://doi.org/10.1039/C9RA03579F

Drzyzga, O. (2012). The strengths and weaknesses of Gordonia : A review of an emerging genus with increasing biotechnological potential. *Critical Reviews in Microbiology*, *38*(4), 300–316. https://doi.org/10.3109/1040841X.2012.668134

Espinosa-Barrera, L., Serrano-Posada, H., & Centeno-Leija, S. (2021). Streptomyces : “ L a vieja confiable.” *Herbario CICY*, *44*, 36–44. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2021/2021-02-18-Espinosa-et-al.-Streptomyces.pdf

Evangelista-Martínez, Z. (2013). Isolation and characterization of soil Streptomyces species as potential biological control agents against fungal plant pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *30*(5), 1639–1647. https://doi.org/10.1007/s11274-013-1568-x

Franco, C. M. M. (2015). Microbispora. *Bergey’s Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–11. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00200

Genilloud, O. (2015). Micromonospora. *Bergey’s Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, *9*, 1–28. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00148

Golinska, P., Wypij, M., Agarkar, G., Rathod, D., Dahm, H., & Rai, M. (2015). Endophytic actinobacteria of medicinal plants: diversity and bioactivity. *Antonie van Leeuwenhoek*, *108*(2), 267–289. https://doi.org/10.1007/s10482-015-0502-7

Goodfellow, M. (2015). Actinobacteria. In *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria* (pp. 1–2). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118960608.cbm00004

Goodfellow, M., Kumar, Y., & Maldonado, L. A. (2015). Gordonia. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, *69*(Tsukamura 1971), 1–29. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00030

Goodfellow, M., & Maldonado, L. A. (2015). Nocardia. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, *4*(SUPPL. 1), 1–74. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00032

Groth, I. (2015). Intrasporangium. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–6. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00077

Intra, B., Matsumoto, A., Inahashi, Y., Ōmura, S., Panbangred, W., & Takahashi, Y. (2014). Streptosporangium jomthongense sp. nov., an actinomycete isolated from rhizospheric soil and emendation of the genus Streptosporangium. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, *64*(Pt_7), 2400–2406. https://doi.org/10.1099/ijs.0.061978-0

Jones, A. L., & Goodfellow, M. (2015). Rhodococcus. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, *Zopf 1891*, 1–50. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00033

Kamjam, M., Sivalingam, P., Deng, Z., & Hong, K. (2017). Deep Sea Actinomycetes and Their Secondary Metabolites. *Frontiers in Microbiology*, *8*(MAY). https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00760

Kämpfer, P. (2015). incertae sedis I. Kitasatospora corrig. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–21. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00192

Kavitha, A., Prabhakar, P., Vijayalakshmi, M., & Venkateswarlu, Y. (2009). Production of bioactive metabolites by Nocardia levis MK-VL_113. *Letters in Applied Microbiology*, *49*(4), 484–490. https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02697.x

Kavitha, A., & Vijayalakshmi, M. (2012). A study on L-Asparaginase of Nocardia levis MK-VL113. *The Scientific World Journal*, *2012*. https://doi.org/10.1100/2012/160434

Kim, S. B., & Tamura, T. (2015). Streptoalloteichus. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–9. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00188

Kuhl, T., Chowdhury, S. P., Uhl, J., & Rothballer, M. (2021). Genome-Based Characterization of Plant-Associated Rhodococcus qingshengii RL1 Reveals Stress Tolerance and Plant–Microbe Interaction Traits. *Frontiers in Microbiology*, *12*(August), 1–22. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.708605

Labeda, D. P. (2015). Actinosynnema. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–6. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00175

Lee, S. O., Choi, G. J., Choi, Y. H., Jong, K. S., Park, D. J., Kim, C. J., & Kim, J. C. (2008). Isolation and characterization of endophytic actinomycetes from Chinese cabbage roots as antagonists to Plasmodiophora brassicae. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, *18*(11), 1741–1746. https://doi.org/10.4014/jmb.0800.108

Lino-Navarro, M., Morales Tello, E., Castellanos Sanchez, P., Acosta Román, M., & Soberon Lozano, M. (2020). Respuesta antifúngica y propiedades PGPB de actinomicetos aislados de cultivos de "vid" Vitis vinifera (Vitaceae). *Arnaldoa*, *27*(2), 571–586. http://doi.org/10.22497/arnaldoa.272.27209

Martínez-Hidalgo, P., García, J. M., & Pozo, M. J. (2015). Induced systemic resistance against Botrytis cinerea by Micromonospora strains isolated from root nodules. *Frontiers in Microbiology*, *6*(SEP), 1–11. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00922

Mesa, V. A. M., Marín, P. A., Ocampo, O., Calle, J., & Monsalve, Z. (2019). Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, *45*(1), 23–30. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86458941001

Ningsih, F., Sari, D. C. A. F., Yabe, S., Yokota, A., Oetari, A., & Sjamsuridzal, W. (2021). Antibacterial activity of Microbispora rosea subsp. rosea SL3- 2-R-1 grown on different media and solidifying agents. *Journal of Physics: Conference Series*, *1918*(5), 052011. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/5/052011

Nouioui, I., Carro, L., García-López, M., Meier-Kolthoff, J. P., Woyke, T., Kyrpides, N. C., Pukall, R., Klenk, H.-P., Goodfellow, M., & Göker, M. (2018). Genome-Based Taxonomic Classification of the Phylum Actinobacteria. *Frontiers in Microbiology*, *9*(AUG), 1–119. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02007

Patkowska, E. (2021). Biostimulants Managed Fungal Phytopathogens and Enhanced Activity of Beneficial Microorganisms in Rhizosphere of Scorzonera (Scorzonera hispanica L.). *Agriculture*, *11*(4), 347. https://doi.org/10.3390/agriculture11040347

Quiñones-Aguilar, E. E., Evangelista-Martínez, Z., & Rincón-Enríquez, G. (2016). Los actinomicetos y su aplicación biotecnológica. *Elementos*, *101*, 59–64.

Quintana, E. T., & Goodfellow, M. (2015). Streptosporangium. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–23. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00207

Reyes, A., Rincón, G., Envangelista, Z., & Quiñones, E. (2015). Lucha entre microbios: una herramienta para el control de enfermedades de plantas. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, *16*, 1–15. http://www.revista.unam.mx/vol.16/num11/art92/

Schwientek, P., Szczepanowski, R., Rückert, C., Kalinowski, J., Klein, A., Selber, K., Wehmeier, U. F., Stoye, J., & Pühler, A. (2012). The complete genome sequence of the acarbose producer Actinoplanes sp. SE50/110. *BMC Genomics*, *13*(1), 112. https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-112

Shivlata, L., & Satyanarayana, T. (2015). Thermophilic and alkaliphilic Actinobacteria: biology and potential applications. *Frontiers in Microbiology*, *6*(SEP), 1–29. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01014

Sowndhararajan, K., & Kang, S. C. (2012). In vitro antagonistic potential of Streptomyces sp . AM-S1 against plant and human pathogens. *Agricultural Chemistry and Environment*, *1*(1), 41–47. https://doi.org/10.4236/jacen.2012.11007

Takahashi, Y. (2017). Genus Kitasatospora, taxonomic features and diversity of secondary metabolites. *The Journal of Antibiotics*, *70*(5), 506–513. https://doi.org/10.1038/ja.2017.8

Trujillo, M. E. (2016). Actinobacteria. In *eLS* (Vol. 23, Issue 2008, pp. 1–16). Wiley. https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0020366.pub2

Trujillo, M. E., & Goodfellow, M. (2015a). Thermomonospora. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–8. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00212

Trujillo, M. E., & Goodfellow, M. (2015b). Actinomadura. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–32. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00210

Vobis, G. (2015). Dactylosporangium. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, *73*, 1–18. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00144

Vobis, G., Schäfer, J., & Kämpfer, P. (2015). Actinoplanes. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, *0*, 1–41. https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00139

Wang, J., Hu, X., Sun, G., Li, L., Jiang, B., Li, S., Bai, L., Liu, H., Yu, L., & Wu, L. (2019). Genome-Guided Discovery of Pretilactam from Actinosynnema pretiosum ATCC 31565. *Molecules*, *24*(12), 2281. https://doi.org/10.3390/molecules24122281

Zhang, J., Wang, X. J., Yan, Y. J., Jiang, L., Wang, J. D., Li, B. J., & Xiang, W. S. (2010). Isolation and identification of 5-hydroxyl-5-methyl-2-hexenoic acid from Actinoplanes sp. HBDN08 with antifungal activity. *Bioresource Technology*, *101*(21), 8383–8388. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.052

Zhao, J., Guo, L., Sun, P., Han, C., Bai, L., Liu, C., Li, Y., Xiang, W., & Wang, X. (2015). Actinomadura jiaoheensis sp. nov. and Actinomadura sporangiiformans sp. nov., two novel actinomycetes isolated from muddy soil and emended description of the genus Actinomadura. *Antonie van Leeuwenhoek*, *108*(6), 1331–1339. https://doi.org/10.1007/s10482-015-0585-1

6. Anexos

6.1. Actinomicetos

Los actinomicetos son uno de los grupos más diversos de bacterias filamentosas, conocidos por su versatilidad metabólica y por su capacidad de resistir incluso en circunstancias ambientales problemáticas o adversas gracias a los metabolitos secundarios que producen. Por ello, los metabolitos microbianos bioactivos conocidos actualmente constituyen el 45 % del orden de los Actinomycetales (Buchanan), es decir, el género *Streptomyces* (Waksman & Henrici), perteneciente al filo Actinobacteria, produce 7 600 compuestos equivalentes al 74 % de todos los Actinomycetales, mientras que los actinomicetos raros corresponden al 26 % con un total de 2 500 compuestos (Nawani *et al*., 2013; Singh *et al*., 2014; Mast & Stegmann, 2019).

Los metabolitos secundarios (MS) de los actinomicetos incluyen antitumorales (p. ej., doxorrubicina y bleomicina), antifúngicos (p. ej., anfotericina B y nistatina), inmunosupresores (p. ej., FK-506 y rapamicina), insecticidas (p. ej., espinosina A y avermectina B), herbicidas (p. ej., fosfinotricina) y muchos antibióticos de importancia clínica y comercial (Grasso *et al*., 2016).

Según Singh *et al*. (2014), los actinomicetos producen entre el 70 y 80 % de los metabolitos secundarios bioactivos, por lo que el 60 % se aísla del género *Streptomyces* spp., para el desarrollo de antibióticos.

6.1.1. Morfología y características de los actinomicetos

La morfología de los actinomicetos en su gran parte presenta estructuras alargadas que se ramifican en filamentos o hifas con un diámetro inferior a 1 μm, una media de 0,2 a 0,8 μm (Jayashantha, 2015; Li *et al*., 2016).

De acuerdo a Chavan *et al*. (2013); Selim *et al*. (2021), los actinomicetos se clasifican y se caracterizan de la siguiente manera (Tabla 11).

Tabla 11. Clasificación de los actinomicetos y sus características generales

Clasificación	Características
Actinomicetos nocardioformes	- Aerobios, pueden ser ácido-alcohol resistentes. - Forman bastoncillos, cocos y filamentos ramificados con micelio aéreo. - Presentan un quimiotipo de pared IV.

Actinomicetos con esporangios multiloculares	- Aerobio a anaerobio facultativo - El micelio se divide en todos los planos, sin hifas aéreas. - Presentan un quimiotipo de pared III.
Actinoplanetes	- Están compuestos por esporoactinomicetos aeróbicos, no móviles, las esporas pueden estar encerradas en vesículas; sin micelio aéreo. - Presentan un quimiotipo de pared II.
Streptomycetes y géneros afines	- Esporoactinomicetos aeróbicos; forman un sustrato ampliamente ramificado y un micelio aéreo.
Thermomonospora y géneros afines	- Esporoactinomicetos aeróbicos; forman un sustrato extensamente ramificado y un micelio aéreo, ambos pueden llevar cadenas simples de esporas; las esporas son móviles o no móviles. - Presentan un quimiotipo de pared III
Termoactinomicetos	- Los filamentos estables producen un crecimiento aéreo. - Las esporas individuales (endosporas) se forman tanto en filamentos aéreos y vegetativos. - Todas las especies son termófilas.
Otros géneros	- Todos ellos producen un crecimiento aéreo con cadenas de esporas.

6.1.2. Importancia de los actinomicetos en general

Los actinomicetos son organismos beneficiosos, productores de antibióticos y metabolitos secundarios biológicamente activos. La población de estos organismos ha sido identificada como uno de los principales grupos que se encuentran en el suelo. Además del suelo, pueden hallarse en ambientes marinos e incluso en otros entornos, pudiendo también encontrarse en asociación simbiótica con plantas y otros organismos vivos. Así, que los principales géneros de actinomicetos son los siguientes *Streptomyces*, *Nocardia* (Trevisan), *Micromonospora* (Ørskov), *Thermomonospora* (Henssen), *Actinoplanes* (Couch), *Microbispora* (Nonomura y Ohara), *Streptosporangium* (Couch), *Actinomadura* (Lechevalier y Lechevalier), *Actinosynnema* (Hasegawa et al.), *Dactylosporangium* (Thiemann et al.), *Rhodococcus* (Zopf), *Kitasatospora* (Ōmura et al.), *Gordona* (Tsukamura), *Intrasporangium* (Kalakoutskii et al.) *y Streptoalloteichus* (Tomita et al.) (Kumar *et al*., 2012; Rana S, 2014; Chitraselvi R, 2018).

6.2. Control biológico con actinomicetos

Según Gomes *et al*. (2018), los actinomicetos son productores de enzimas, como las quitinasas, proteasas, peptidasas y celulasas; las más importantes en el proceso de control de los hongos fitopatógenos son las quitinasas porque son el resultado de una acción combinada y complementaria por el hecho de que estas enzimas degradan la quitina de la pared celular, en consecuencia, proporcionan información a la célula y liberan antibióticos y otros compuestos activos en el interior de la célula.

6.3. Hongos Fitopatógenos

Los hongos fitopatógenos son organismos de gran interés, ya que emplean una serie de estrategias bioquímicas y mecánicas (enzimas degradadoras de polímeros o metabolitos secundarios) para infectar a su huésped y acceder a los nutrientes. Además, producen micotoxinas en los cultivos, que representan un riesgo considerable para la salud de los seres humanos y los animales (Salvatore & Andolfi, 2021).

Según Doehlemann *et al*. (2017), los hongos son el grupo más diverso de amenazas ecológica y económicamente relevantes, ya que se clasifican en dos grupos: los necrótrofos, que matan a sus huéspedes y se alimentan de material muerto, mientras que los biotróficos colonizan tejidos vivos.

De acuerdo con Naranjo-Ortiz & Gabaldón (2019), los hongos son organismos heterótrofos caracterizados por la ausencia de fagotrofia y la presencia de una pared celular quitinosa.

6.3.1. Características generales

Según Zapata (2015), los hongos fitopatógenos están formados por las siguientes características (Tabla 12).

Tabla 12. Características generales de los hongos fitopatógenos

Cantidad	En todo el mundo se han descrito 80 000 especies de hongos, pero unas 8 000 están clasificadas como especies fitopatógenas capaces de causar un total de 80 000 enfermedades.
Capacidad de sobrevivencia	Los géneros de hongos como *Sclerotinia* (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) W. Phillips), *Rhizoctonia* (*Rhizoctonia solani* Kühn), cuya vida puede ser de 10 o más años. Los parásitos facultativos del género *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (E. F. Sm.) W. C. Snyder y H. N.

	Hansen) y *Synchitrium* (*Synchitrium endobioticum* (Schilb) Perc) son capaces de sobrevivir más de 40 años.
Carencia de clorofila	A diferencia de otros organismos, los hongos carecen de clorofila debido a que no pueden producir sus propios nutrientes (p. ej., azúcares, almidones y grasas, entre otros).
Núcleos y nucléolos	Esencialmente, esta característica se diferencia de los nucleoides bacterianos por el simple hecho de no estar rodeados por una membrana perfectamente definida.
Micelio o talo	Por lo general, los filamentos que se desarrollan tienen la capacidad de ramificarse en diferentes direcciones. Por lo tanto, los filamentos se conocen como hifas, mientras que el conjunto se los llama micelio.
Quitina en las paredes de las hifas	La quitina es, en general, un polisacárido con características similares a la celulosa, caracterizado químicamente por poseer un grupo acetilamínico combinado con las partes de la glucosa.
Reproducción mediante esporas	Las esporas: son de origen sexual o asexual.
Morfología y estructura	Las hifas miden entre 2 y 10 µm de diámetro. Filamentos tubulares: coenocíticos o septados. Paredes celulares: celulosa, peptona y quitina. Núcleos y nucléolos con membranas bien definidas (eucariotas). Se reproducen mediante esporas de origen sexual o asexual.

7. Referencias bibliográficas marco teórico

Chavan, D. V, Mulaje, S. S., & Mohalkar, R. Y. (2013). A review on actinomycetes and their biotechnological application. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, *4*(5), 1730. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.4(5).1730-42

Chitraselvi R, P. E. (2018). Actinomycetes: Dependable Tool for Sustainable Agriculture. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, *1*(5), 128–130. https://doi.org/10.32474/CIACR.2018.01.000122

Doehlemann, G., Ökmen, B., Zhu, W., & Sharon, A. (2017). Plant Pathogenic Fungi. *The Fungal Kingdom*, 701–726. https://doi.org/10.1128/9781555819583.ch34

Gomes, E. de B., Dias, L. R. L., & de Miranda, R. de C. M. (2018). Actinomycetes bioactive compounds: Biological control of fungi and phytopathogenic insect. *African Journal of Biotechnology*, *17*(17), 552–559. https://doi.org/10.5897/AJB2017.16323

Grasso, L. L., Chillura-Martino, D., & Alduina, R. (2016). Production of Antibacterial Compounds from Actinomycetes. In *Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications* (Vol. 11, Issue tourism, p. 13). InTech. https://doi.org/10.5772/61525

Jayashantha, E. (2015). Actinobacteria- Morphology, Physiology, biochemistry, diversity & Industrial Applications of genus Actinobacteria. *Microbiology Special Degree-Assignment*, *April*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2632.5928

Kumar, P. S., Raj, J. P. P., Duraipandiyan, V., & Ignacimuthu, S. (2012). Antibacterial activity of some actinomycetes from Tamil Nadu, India. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *2*(12), 936–943. https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60003-9

Li, Q., Chen, X., Jiang, Y., & Jiang, C. (2016). Morphological Identification of Actinobacteria. In *Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications*. InTech. https://doi.org/10.5772/61461

Mast, Y., & Stegmann, E. (2019). Actinomycetes: The antibiotics producers. *Antibiotics*, *8*(3). https://doi.org/10.3390/antibiotics8030105

Naranjo-Ortiz, M. A., & Gabaldón, T. (2019). Fungal evolution: diversity, taxonomy and phylogeny of the Fungi. *Biological Reviews*, *94*(6), 2101–2137. https://doi.org/10.1111/brv.12550

Nawani, N., Aigle, B., Mandal, A., Bodas, M., Ghorbel, S., & Prakash, D. (2013). Actinomycetes: Role in biotechnology and medicine. *BioMed Research International*, *2013*, 2013–2014. https://doi.org/10.1155/2013/687190

Rana S, S. M. (2014). Antimicrobial Potential of Actinomycetes Isolated from Soil Samples of Punjab, India. *Journal of Microbiology & Experimentation*, *1*(2), 63–68. https://doi.org/10.15406/jmen.2014.01.00010

Salvatore, M. M., & Andolfi, A. (2021). Phytopathogenic Fungi and Toxicity. *Toxins*, *13*(10), 689. https://doi.org/10.3390/toxins13100689

Selim, M. S. M., Abdelhamid, S. A., & Mohamed, S. S. (2021). Secondary metabolites and biodiversity of actinomycetes. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, *19*(1), 72. https://doi.org/10.1186/s43141-021-00156-9

Singh, L. S., Sharma, H., & Talukdar, N. C. (2014). Production of potent antimicrobial agent by actinomycete, Streptomyces sannanensis strain SU118 isolated from phoomdi in Loktak Lake of Manipur, India. *BMC Microbiology*, *14*(1), 1–13. https://doi.org/10.1186/s12866-014-0278-3

Zapata, J. C. (2015). Principios básicos de hongos fitopatógenos. In *Universidad de Caldas*. https://doi.org/10.2307/j.ctv1tqcwkn