



DOI: <https://doi.org/10.19053/uptc.01228420.v23.n1.2026.20802>

Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) en banano (*Musa* spp.): análisis bibliométrico y modelado temático entre 1970-2025

Black Sigatoka (*Pseudocercospora fijiensis*) in bananas (*Musa* spp.): bibliometric analysis and thematic modeling from 1970-2025

Carlos Andrés Dodino-Gutiérrez^{1*}

David Alfredo Codina-Henríquez²

Brenda Marcela Perea-Quintero¹

Gissel Dayana Rodríguez-Rincón¹

Aslenis Emidia Melo-Ríos¹



RESUMEN: La Sigatoka negra o enfermedad de la raya negra de la hoja es causada por el hongo ascomiceto *Pseudocercospora fijiensis* y constituye una de las enfermedades más limitantes y devastadoras para la producción de banano en el mundo. Este estudio ejecutó un análisis bibliométrico, empleando las bases de datos internacionales Scopus y Web of Science con un total de 572 publicaciones desde los años 1970-2025. El análisis de la producción científica anual evidencia que se trata de una temática emergente con un porcentaje de crecimiento anual de 4,77 % y representa un gran interés científico en la actualidad. Asimismo, los resultados mostraron que los principales países que investigan Sigatoka negra en banano son Brasil, México, Francia, Estados Unidos y Colombia. En cuanto a la publicación de artículos, las principales revistas fueron *Plant Disease*, *Crop Protection* y *Pest Management Science*. El modelo de Asignación Latente de Dirichlet (LDA) identificó como temáticas sobresalientes la evaluación de extractos, diagnóstico morfológico de enfermedades foliares, interacción molecular planta-patógeno, resistencia y control químico, identificación de Sigatoka negra en plantaciones de banano, maduración del fruto, factores climáticos predisponentes a la infección y la agricultura sostenible en el trópico son las más influyentes y muestran tendencias de investigación en el área de estudio. Los hallazgos de este estudio demuestran información actual y perspectivas futuras en investigación de herramientas multiómicas, la interacción molecular planta-patógeno, el manejo integrado de la enfermedad y la agricultura sostenible.

PALABRAS CLAVE: Análisis bibliométrico, *Musa*, enfermedades de las plantas, *Pseudocercospora fijiensis*; visualización de datos.

ABSTRACT: Black Sigatoka, or black leaf streak disease, is caused by the ascomycete fungus *Pseudocercospora fijiensis* and constitutes one of the most limiting and devastating diseases for banana production worldwide. This study conducted a bibliometric analysis using the international databases Scopus and Web of Science, with a total of 572 publications from 1970-2025. The analysis of annual scientific production shows that this is an emerging topic, with an annual growth rate of 4.77%, reflecting strong current scientific interest. Likewise, the results indicate that the main countries researching Black Sigatoka in bananas are Brazil, Mexico, France, the United States, and Colombia. Regarding article publication, the leading journals were *Plant Disease*, *Crop Protection*, and *Pest Management Science*. The Latent Dirichlet Allocation (LDA) model identified key research themes including extract evaluation, morphological diagnosis of foliar diseases, molecular plant-pathogen interaction, resistance and chemical control, identification of Black Sigatoka in banana plantations, fruit ripening, climatic factors predisposing infection, and sustainable agriculture in the tropics as the most influential and indicative of research trends in the field. The findings of this study provide current information and future perspectives on research into multi-omics tools, molecular plant-pathogen interaction, integrated disease management, and sustainable agriculture.

KEYWORDS: Bibliometric analysis, *Musa*, plant diseases, *Pseudocercospora fijiensis*, data visualization.

FECHA DE RADICACIÓN: 8 de febrero de 2026 de 2026 **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 30 de marzo de 2026 **FECHA DE PUBLICACIÓN:** 21 de abril de 2026

1 Universidad Popular del Cesar - , Programa de Microbiología, Valledupar, Colombia

2 Universidad del Magdalena - , Facultad de Ingeniería, Santa Marta, Colombia

* Corresponding author. cadodino@unicesar.edu.co

INTRODUCCIÓN

La Sigatoka negra, también conocida como enfermedad de la raya negra de la hoja (BLSA abreviatura en Inglés) (Agouanet *et al.*, 2021; Carreel *et al.*, 2024). Esta enfermedad es causada por el hongo ascomiceto *Pseudocercospora fijiensis* [anteriormente: *Mycosphaerella fijiensis*] y constituye una de las enfermedades más limitantes y devastadoras para la producción de banano (*Musa* spp.) en todas las regiones productoras de banana en el mundo (Yonow *et al.*, 2019; Kimunye *et al.*, 2021; Henao-Ochoa *et al.*, 2025). Esta enfermedad se caracteriza por la aparición de lesiones necróticas que reducen drásticamente el área foliar y la capacidad fotosintética de las plantas, afectando el rendimiento y la calidad del fruto (Soares *et al.*, 2021; Linero-Ramos *et al.*, 2024; Nunes *et al.*, 2024). La infección por *P. fijiensis* ocasiona pérdidas de cultivos y costos indirectos debido a la maduración prematura del fruto, lo que provoca que sea inaceptable comercialmente para fines de exportación (Ploetz, 2000; Arango Isaza *et al.*, 2016; Jørgensen & Heick, 2021).

En países productores como Brasil, Colombia y México, el impacto económico de la enfermedad es considerable; ya que puede requerir hasta 50 aplicaciones anuales de fungicidas, representando hasta el 27% de los costos de producción, aproximadamente 10 millones de USD anuales (Olivares *et al.*, 2022; Ugarte Fajardo *et al.*, 2022). Además, en ausencia de tratamiento, las pérdidas pueden superar el 80 % de la producción de banano (Figorilli *et al.*, 2025).

A lo largo de las últimas décadas, diversos estudios han abordado la biología del patógeno, las implicaciones en el manejo agronómico y los mecanismos de resistencia genética en *Musa* spp. y el desarrollo de estrategias de manejo integrado (Churchill, 2011; Noar *et al.*, 2022). Sin embargo, los estudios se han centrado principalmente en interacción hospedero-patógeno, estudios experimentales, revisiones narrativas e investigaciones moleculares. A pesar de estos avances, no existe hasta la fecha una revisión integradora que combine métodos bibliométricos, análisis temático mediante modelado de tópicos (LDA) (Blei *et al.*, 2003) y visualización multivariante para explorar de forma sistemática el desarrollo, distribución y evolución del conocimiento científico sobre la Sigatoka negra. Dado el volumen creciente de publicaciones, así como la fragmentación temática del campo, se hace necesario un enfoque riguroso que permita mapear las contribuciones más relevantes, detectar líneas emergentes de investigación, y ofrecer una visión estructurada de los vacíos existentes.

Este estudio se justifica por la necesidad de sistematizar, cuantificar e interpretar de manera crítica la literatura científica sobre *P. fijiensis*, utilizando enfoques metodológicos modernos que combinan amplitud (bibliometría), profundidad conceptual (modelado temático mediante LDA) y claridad visual

(mediante técnicas multivariantes como MDS). Esta triangulación metodológica proporciona una base robusta y replicable para interpretar las dinámicas del campo de estudio desde múltiples dimensiones, contribuyendo así al diseño de estrategias de investigación más integrales y sostenibles (Asmusen & Møller, 2019). Además, la aplicación de LDA permite procesar un gran número de documentos, extraer información significativa, fácil de interpretar y reducir una enorme colección de documentos a subespacios temáticos (Chauhan & Shah, 2021; Madzík & Falát, 2022). De ese modo, emplear estas herramientas permite identificar patrones de investigación que una revisión bibliográfica narrativa tradicional no puede detectar.

El objetivo de esta investigación es analizar de manera crítica la evolución de la producción científica sobre *P. fijiensis*, el agente causal de la Sigatoka negra en banano (*Musa* spp.), combinando enfoques bibliométricos y de aprendizaje automático para sintetizar las principales tendencias, actores y vacíos de investigación. El estudio fue guiado por las siguientes interrogantes: i) ¿Qué países, instituciones, revistas científicas y autores lideran los avances en la investigación sobre *P. fijiensis*?, ii) ¿Cuáles son los principales temas de investigación en este campo?, iii) ¿Cómo evolucionan estos temas de investigación?, y iv) ¿Cuál es la distribución de estos temas entre países y revistas científicas?

METODOLOGÍA

Diseño del estudio y enfoque analítico

Este estudio empleó un enfoque cuantitativo, exploratorio y descriptivo para analizar la evolución de la producción científica sobre *P. fijiensis*, causante de la Sigatoka negra en banano. Se utilizó un marco metodológico multimétodo que integra análisis bibliométrico, modelado de tópicos y visualización multivariante para responder las preguntas propuestas.

El componente bibliométrico analizó patrones de productividad científica e identificando los países, instituciones, revistas y autores más influyentes. El modelado de tópicos fue ejecutada mediante Latent Dirichlet Allocation (LDA) (Blei *et al.*, 2003; Wang & Grimson, 2007), complementado con escalamiento multidimensional (MDS) (Borg *et al.*, 2018).

Esta metodología permitió identificar estructuras temáticas latentes, analizar su evolución temporal y su distribución por países y revistas, ofreciendo una base sólida para interpretar dimensiones temáticas, estructurales y geográficas, así como detectar tendencias emergentes y vacíos de conocimiento sobre la Sigatoka negra.

Fuentes de datos y estrategia de búsqueda

Los datos bibliográficos se obtuvieron a partir de dos de las bases de datos científicas más reconocidas: Scopus (Elsevier) y Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics), plataformas muy empleadas debido a su amplia cobertura de publicaciones revisadas por pares, actas de congresos y otros documentos académicos (Harzing & Alakangas, 2016; Mongeon & Paul-Hus, 2016). Además de brindar información a nivel internacional y relevante para un análisis bibliométrico (Echchakoui, 2020; Zhu & Liu, 2020; Pranckuté, 2021).

La búsqueda se realizó el 16 de Abril de 2025, utilizando una estrategia booleana y estructurada que combinó operadores lógicos y truncamientos para recuperar publicaciones científicas sobre *P. fijiensis*. La sintaxis se ajustó para cada base de datos. En Scopus se obtuvieron 600 resultados (TITLE-ABS-KEY="Pseudocercospora fijiensis" OR "Mycosphaerella fijiensis" OR "Black Sigatoka" OR "black leaf streak disease") y de Web of Science se obtuvieron 462 documentos recuperados por tópico TS=("Pseudocercospora fijiensis" OR "Mycosphaerella fijiensis" OR "Black Sigatoka" OR "blackleaf streak disease").

Tras aplicar un filtro para incluir solo revisiones y artículos, se obtuvieron 487 documentos en Scopus y 426 en Web of Science. Luego, los registros fueron integrados mediante el paquete Bibliometrix de RStudio (Aria & Cucurullo, 2017; Derviş, 2020). Se aplicó un protocolo de estandarización para armonizar metadatos como autores, afiliaciones, títulos de fuente, palabras clave y datos de publicación. Se eliminaron 310 documentos duplicados, 25 sin resumen y 6 sin información de afiliación. El conjunto final de datos alcanzó 572 documentos. El proceso completo se resume en el diagrama PRISMA (Fig. 1).

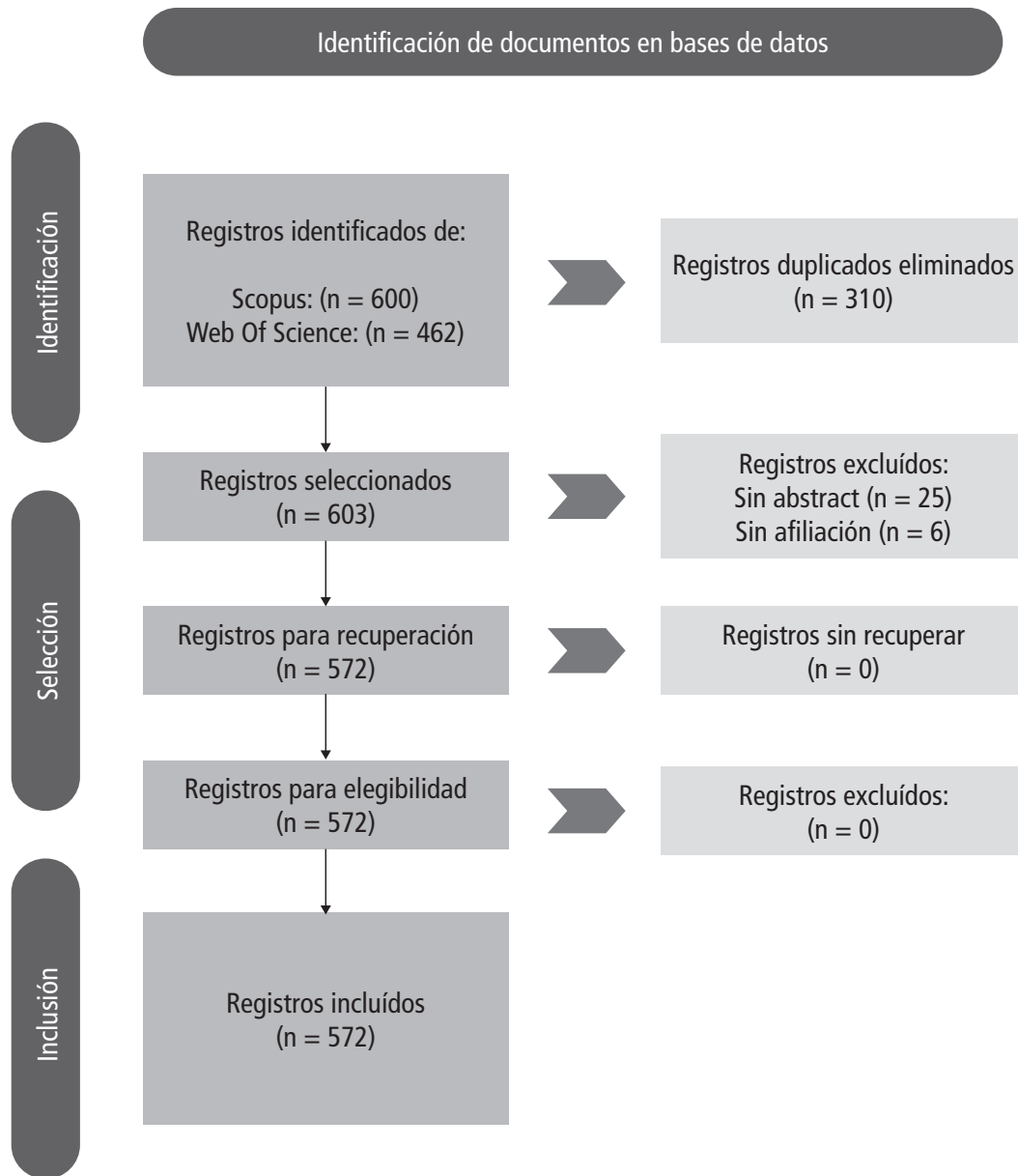


FIGURA 1. Identificación, exclusión, selección e inclusión de manuscritos.

Análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico se centró en identificar los principales actores en la investigación sobre *P. fijiensis* y los canales de publicación más relevantes. La bibliometría aplica métodos cuantitativos para analizar la literatura científica (Sugimoto & Larivière, 2018), midiendo productividad, visibilidad e impacto de autores, instituciones, países y revistas. Se analizaron publicaciones anuales, autores por documento, productividad de investigadores, y el impacto mediante citas totales e índice H.

Modelado de tópicos con LDA

Se empleó un enfoque de modelado de tópicos mediante Latent Dirichlet Allocation (LDA) (Blei *et al.*, 2003). Esta técnica probabilística permite identificar estructuras temáticas subyacentes en grandes colecciones de texto, asumiendo que cada documento contiene una combinación de múltiples temas latentes.

El proceso metodológico comprendió tres fases principales: preprocesamiento textual, entrenamiento del modelo y análisis semántico. El preprocesamiento se realizó con el paquete LDAShiny en R (Rowley *et al.*, 2024), incluyendo normalización a minúsculas, eliminación de puntuación, números, símbolos y palabras vacías (stopwords). Luego, el texto fue tokenizado en unigramas y bigramas, y se aplicó stemming mediante el algoritmo Porter, para agrupar variantes morfológicas bajo una misma raíz léxica. Este procedimiento reduce la dispersión del vocabulario y mejora la coherencia semántica de los tópicos. Asimismo, con el fin de evitar la fragmentación temática causada por sinonimia taxonómica, durante el preprocesamiento se consideraron explícitamente las diferentes denominaciones del patógeno (por ejemplo, *Pseudocercospora fijiensis* y *Mycosphaerella fijiensis*), garantizando que ambas nomenclaturas se integraran dentro del mismo contexto semántico en la matriz documento-término.

Con el corpus limpio, se construyó una matriz documento-término (DTM), base para el entrenamiento del modelo LDA. Se evaluaron diferentes valores de k (número de tópicos) en un rango de 5-30 k y se seleccionó el modelo óptimo utilizando la métrica de coherencia temática, que mide cuán frecuente los términos más probables de un tópico aparecen juntos en los documentos (Mimno *et al.*, 2011). Luego, se extrajeron dos matrices: distribución de palabras por tópico y de tópicos por documento. Las etiquetas temáticas se asignaron manualmente, revisando las 15 palabras más representativas y los documentos con mayor pertenencia a cada tópico (Lau *et al.*, 2014).

Para analizar la evolución de los temas en el tiempo, se aplicaron regresiones lineales sobre la proporción anual de cada tópico: pendientes positivas y significativas ($p < 0.05$) indican crecimiento, negativas declive y no significativas estabilidad (Griffiths & Steyvers, 2004).

Visualización multivariante

Para complementar los resultados del modelado y facilitar la exploración visual, se implementaron técnicas de visualización multivariante empleando el paquete LDAvis (Sievert & Shirley, 2014), que genera un mapa de distancia intertemática mediante escalamiento multidimensional (MDS), que ilustra en dos dimensiones la similitud entre temas según términos afines. Adicionalmente, se usaron mapas de calor para visualizar patrones de frecuencia y coocurrencia de términos entre temas y su distribución en el corpus.

Análisis bibliométrico descriptivo

El análisis bibliométrico sobre el estudio de la enfermedad de Sigatoka negra entre 1970 y 2025 abarcó un total de 572 publicaciones, con una tasa de crecimiento anual del 4,77%. Los resultados reflejan una colaboración sostenida entre los autores, ya que de los 2.114 autores incluidos en el análisis, tan solo 12 publicaron documentos bajo autoría individual; esto resalta la tendencia colaborativa, confirmada por un promedio de 5,61 coautores por cada manuscrito. Además, el 27,97% de los estudios surgieron de colaboraciones internacionales, lo que subraya la dimensión global del conocimiento sobre la enfermedad. Los documentos poseen un impacto moderado a alto, con un promedio de 16,84 citas por publicación. La mayoría de los manuscritos son artículos originales, lo que indica que el corpus se compone principalmente de investigaciones experimentales.

La Figura 2 representa el avance anual de la producción científica sobre la enfermedad de Sigatoka negra en banano a lo largo del tiempo durante los años 1970-2025. Inicialmente, durante las dos primeras décadas de los años 1970 a 1980, existió una producción científica muy escasa relacionada con el recién descubrimiento y diseminación de la enfermedad de Sigatoka negra en banano durante los primeros veinte años alrededor del mundo (Meredith & Lawrence, 1969; Stover, 1978). Desde 1990 se evidenció un ligero incremento con un pico importante en 1997 con 12 publicaciones. A partir del año 2007 existió un crecimiento exponencial de publicaciones científicas superando 20 reportes por año. Entre los años 2010 a 2020, apoyada en la masificación de herramientas tecnológicas, se mantuvo una dinámica de publicación elevada de artículos pero presentándose leves fluctuaciones. En el año 2019 fue alcanzado el mayor auge de cantidad de publicaciones científicas en el área con 30 publicaciones.

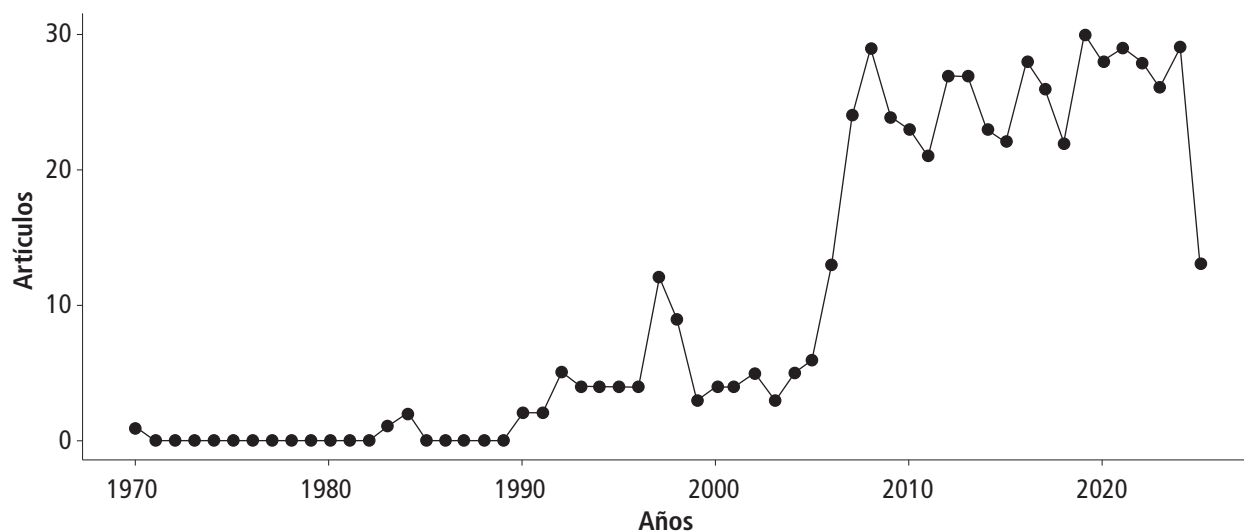


FIGURA 2. Tendencia anual de publicaciones sobre Sigatoka negra en banano.

La Figura 3 muestra la distribución geográfica de las publicaciones, demostrando que los estudios sobre la Sigatoka negra en banano ha sido abordados en todos los continentes. No obstante, aunque existe participación destacada de múltiples países de América, Europa, Asia y Oceanía, es posible observar que existen lagunas de investigación principalmente en múltiples países de África, Europa oriental, Asia central y Medio Oriente (color blanco). Este panorama sobre la distribución mundial de las publicaciones indica que existe un marcado interés científico en torno a la enfermedad por Sigatoka negra en banano, aunque con una distribución desigual del conocimiento generado.

La Figura 4 muestra los veinte países con mayor participación de autores de correspondencia en investigaciones sobre Sigatoka negra. Brasil lidera con 77 publicaciones, seguido por México (47), Francia (43), Estados Unidos (42) y Colombia (32). India, Venezuela (17) y Ecuador (16) también destacan, reflejando una fuerte presencia Latinoamericana. Países Bajos ocupa el décimo lugar con 14 artículos. Además, países africanos como Nigeria, Camerún y Tanzania figuran entre los veinte principales, evidenciando un interés global en esta línea de investigación.



FIGURA 3. Distribución geográfica de las publicaciones sobre Sigatoka negra en banano.

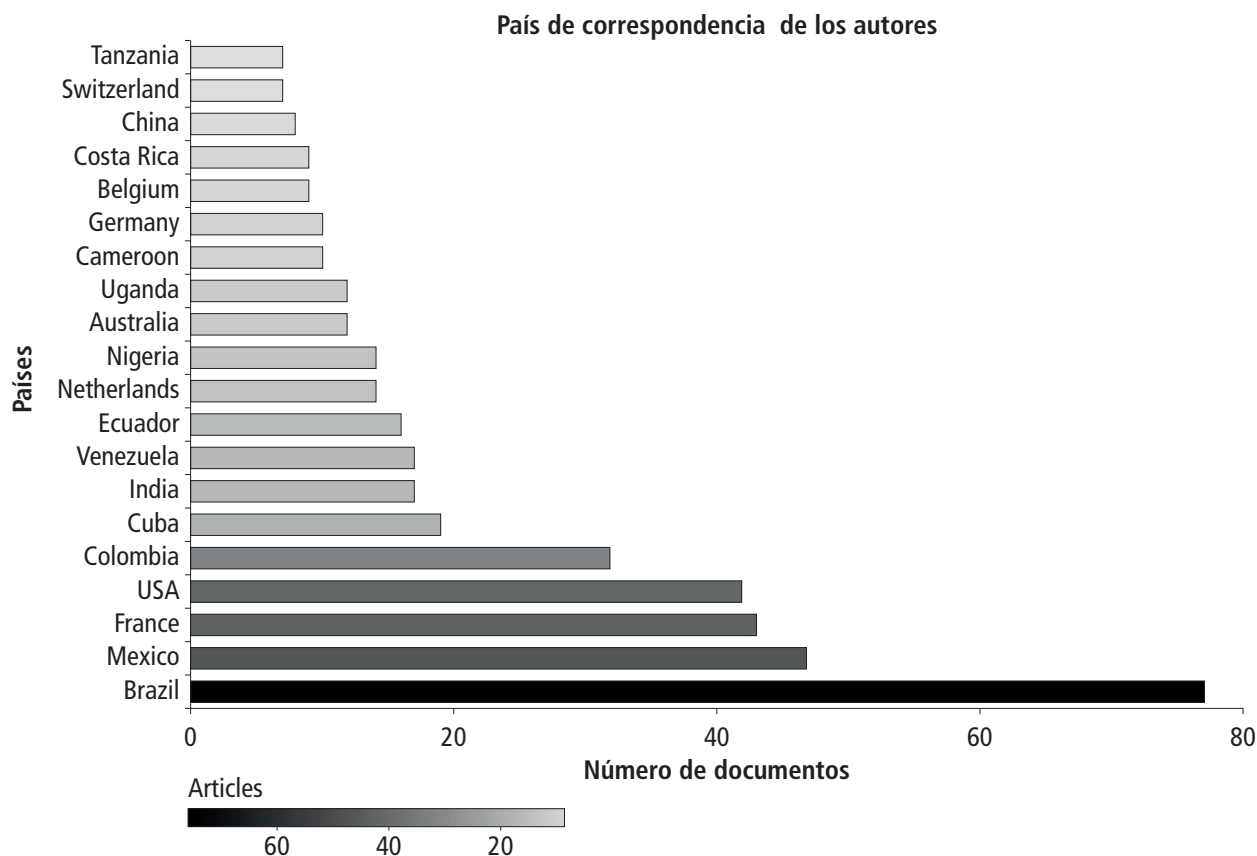


FIGURA 4. Principales países de afiliaciones del autor de correspondencia según el número de publicaciones asociadas a Sigatoka negra en banano.

La Figura 5 presenta las principales instituciones que investigan la Sigatoka negra en banano. El CIRAD (Francia) lidera con 127 publicaciones, seguido por EMBRAPA (Brasil) con 57. Destacan también instituciones Latinoamericanas como el CICY (México) con 43 artículos y la Universidad Nacional de Colombia con 23. Francia evidencia una amplia participación con la Université de Montpellier (42), INRAE (34) y L’Institut Agro (24). Wageningen University (Países Bajos) aporta 30 publicaciones. En general, la investigación se concentra en instituciones de prestigio con una participación clave de Europa y América Latina.

De las 242 revistas totales que publican sobre Sigatoka negra, se destacan las diez más relevantes según productividad e impacto, considerando el índice H, número de citas y publicaciones (Tab. 1). El índice H, es un indicador que equilibra la cantidad de artículos y sus citas (Thomaz *et al.*, 2011; Hirsch & Buela-Casal, 2014).

Plant Disease lidera con un índice H de 11, 16 artículos y 569 citas. *Crop Protection*, *Pest Management Science* y *Plant Pathology* tienen un índice H de 9, aunque *Pest Management Science* destaca por su alto número de citas. La investigación en este campo muestra continuidad desde 1991, con *Euphytica*

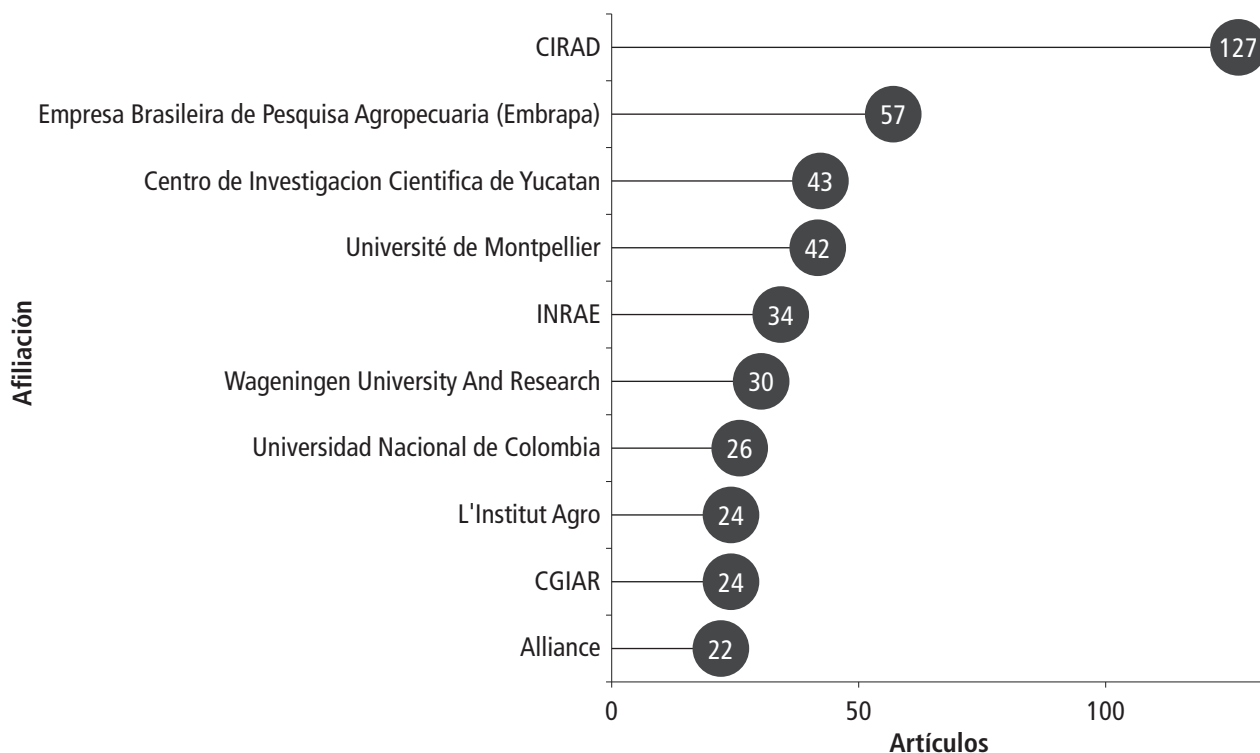


FIGURA 5. Las 10 instituciones líderes según número de publicaciones sobre Sigatoka negra en banano.

y desde 2017 con *Frontiers in Plant Science*, reflejando un interés sostenido y creciente en nuevas publicaciones científicas. Se destaca que las revistas científicas predominantes son de acceso abierto como por suscripción, abordan investigaciones centradas en biología molecular, detección de enfermedades, control biológico, etiología, epidemiología y manejo integrado de plagas.

TABLA 1. Revistas más influyentes en la investigación sobre Sigatoka negra.

Fuente	h_index	TC	NP	PY_start
Plant Disease	11	569	16	1996
Crop Protection	9	280	14	1996
Pest Management Science	9	656	12	2000
Plant Pathology	9	225	14	1993
PLOS One	8	297	12	2014
Australasian Plant Pathology	7	113	12	2003
Euphytica	7	214	8	1991
Fruits	7	148	12	1995
European Journal of Plant Pathology	6	245	10	2005
Frontiers in Plant Science	6	168	7	2017

H-Index: Hirsch index, TC: total de citas, NP: número de publicaciones, PY_Start: año de la primera publicación.

La Tabla 2, presenta a los 15 investigadores más relevantes en el estudio de la Sigatoka negra, clasificados por índice H, número de citas y publicaciones. Carlier, J. lidera en los tres indicadores. Este autor, ha realizado investigaciones con aportes relevantes en el ámbito de estudio sobre la estructura genética de la población mundial de *P. fijiensis* (Carlier *et al.*, 1996), la epidemiología en América Central y el Caribe (Carlier Robert, *et al.*, 2021) y su adaptación a la resistencia cuantitativa en cultivares de banano (Carlier Bonnot, *et al.*, 2021). Le siguen Kema, G., Ortiz, R. y Zapater, M., todos con un índice H de 11 y elevadas cantidades de citas. Autores como Swennen, R. y Vuylsteke, D., han contribuido desde 1992. Aunque algunos investigadores tienen menos publicaciones, su elevado índice H y número de citas reflejan un notable impacto científico en la temática.

Los autores más destacados en esta área colaboran activamente y han desarrollado estudios clave como análisis genómicos (Arango Isaza *et al.*, 2016), proteómicos (Burgos-Canul *et al.*, 2019), resistencia a fungicidas (Chong *et al.*, 2021) e identificación de proteínas atípicas (similares a la luz de la luna) de la pared celular de *P. fijiensis* (Canto-Canché *et al.*, 2023).

TABLA 2. Autores más influyentes en la investigación sobre Sigatoka negra.

Autor	h_index	TC	NP	PY_start
Carlier J.	15	868	29	1996
Kema G.	11	576	15	2007
Ortiz R.	11	425	16	1992
Zapater M.	11	531	18	1996
Crous P.	10	408	10	2002
Swennen R.	10	516	15	1992
Abadie C.	9	367	18	2004
Stergiopoulos I.	9	401	9	2010
Vuylsteke D.	9	347	10	1992
Canto-Canché B.	8	200	17	2006
de Lapeyre de Bellaire L.	8	316	15	2009
Islas-Flores I.	8	154	15	2006
Schneider B.	8	215	9	2007
Tenkouano A.	8	151	13	2002
Arango R.	7	249	10	2006

H-Index: Hirsch Index, TC: total de citas, NP: número de publicaciones, PY_Start: Año de la primera publicación.

El análisis bibliométrico revela un notable incremento en la producción científica sobre Sigatoka negra en las últimas dos décadas, alcanzando su punto más alto en 2019. Estudios previos han utilizado esta herramienta para identificar patógenos clave en Musáceas en África (Adejoro *et al.*, 2013). Recientemente, Torres *et al.* (2024) analizaron cómo la variabilidad climática

y edafoclimática influye en la enfermedad, concluyendo que el cambio climático podría aumentar su incidencia.

Actualmente, Brasil, México, Francia, Estados Unidos y Colombia lideran la investigación científica sobre Sigatoka negra. Estos hallazgos coinciden con el análisis bibliométrico de Avwersuo *et al.* (2021), que identificó a Brasil y EE. UU. como los principales productores científicos en el tema. En el contexto latinoamericano, Brasil es el segundo mayor productor de banano con más de 6,8 millones de toneladas, solo superado por Ecuador, mientras que México y Colombia también figuran entre los quince principales países productores (FAO, 2023). Los resultados muestran una baja participación de países africanos en la producción científica sobre *P. fijiensis*, a pesar de que muchas regiones de África central y oriental presentan condiciones agroclimáticas propicias para la infección (Gilbert *et al.*, 2023; Senthil *et al.*, 2024) y poseen reportes de alta presión de Sigatoka negra como una de las principales limitaciones para la producción de banano (Kumakech *et al.*, 2022; Mengesha *et al.*, 2023). Estos hallazgos reflejan la necesidad de establecer una cooperación científica internacional. Esta limitación ha sido señalada en estudios bibliométricos previos, que evidencian una brecha significativa entre distintos países en términos de cantidad y calidad de publicaciones científicas (Espina-Romero *et al.*, 2024).

Francia destaca en la investigación sobre Sigatoka negra, evidenciado por su alto número de publicaciones y la participación de múltiples instituciones. El CIRAD ha desarrollado estudios epidemiológicos en la cuenca del Caribe (Abadie *et al.*, 2008), y ha impulsado investigaciones en mejoramiento genético del banano, orientadas a obtener cultivares resistentes que reduzcan el uso de pesticidas (Salmon *et al.*, 2023). En Brasil, la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), se destaca como una de las cinco principales instituciones a nivel mundial en mejoramiento genético del banano y cuenta con una de las mayores colecciones de *Musa* spp. (Nunes *et al.*, 2024). Desde 1982, ha desarrollado un programa que cruza diploides mejorados con cultivares comerciales triploides y tetraploides, obteniendo variedades resistentes a *P. fijiensis*, *P. musae* y *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* raza 1 (Amorim *et al.*, 2013; Nascimento *et al.*, 2020).

Modelación de temas con asignación latente de Dirichlet

El análisis LDA, aplicado a publicaciones sobre Sigatoka negra en banano revela una amplia diversidad de temas de investigación, lo que refleja la relevancia, el carácter emergente y la heterogeneidad del campo. La Tabla 3, presenta los 24 temas principales identificados (t_1 a t_24), junto con su prevalencia y términos más representativos.

Según los datos analizados, el tema con mayor prevalencia es el tópico t_22 (5,371), relacionado con el mejoramiento genético, lo que refleja el interés actual de la comunidad científica en desarrollar cultivares de banano resistentes mediante el uso de genotipos, híbridos y accesos genéticos diversos. Le sigue el tópico t_10 (5,267), enfocado en la diversidad de poblaciones del patógeno, con términos clave como “genética”, “población” y “genoma”, lo que indica una fuerte orientación hacia el estudio de la variabilidad genética, estructura poblacional y adaptación de *P. fijiensis*. El tópico t_19 (4,903) se enfoca en estudios sobre la evaluación agronómica del rendimiento y las características de producción de cultivares de banano, destacando especialmente los híbridos FHIA y ‘Gran Enano’.

TABLA 3. Resumen de los temas claves sobre Sigatoka negra en banano.

Tópico	Prevalencia	Término principal	Etiqueta
t_1	4,389	aislado, especies, región, <i>Mycosphaerella</i> , DNA, secuencia, <i>fijiensis</i> , <i>musicola</i> , base, <i>eumusae</i> , colección, muestra, primer, PCR, complejo	Diversidad molecular y taxonómica del complejo Sigatoka
t_2	4,095	enfermedad, modelo, dato, clima, riesgo, global, distribución, predecir, cambio, propagarse, escala, estudio, impacto, emerger, simular	Modelado y predicción de enfermedades
t_3	4,029	inoculo, hoja, síntoma, hoja, infectar, día, conidio, observación, lesión, planta, negra, superficie, control, agua, incubar	Infección foliar por Sigatoka negra
t_4	4,247	gen, <i>fijiensis</i> , identificar, genoma, <i>Pseudocercospora</i> , expresión, análisis, banana, enfermedad, patógeno, clúster, PK, secuencia, agente, vía	Análisis y expresión génica de <i>P. fijiensis</i>
t_5	2,633	fruta, calidad, cultivar, árbol, PV, condición, bacterias, tiempo, altamente, vida, variedad, día, cruce, cosecha	Calidad del fruto
t_6	4,665	planta, severidad, evaluar, hoja, tratamiento, experimento, incidencia, planta de banano, diseño, tomate, parcela, aleatorio, densidad, reducción, crecimiento	Eficacia de productos fitosanitarios
t_7	3,967	té, negro, ácido, calidad, agua, verde, hoja, compuesto, muestra, infusión, extracto, determinar, contenido, tiempo, rango	Evaluación de extractos y compuestos bioactivos
t_8	4,334	enfermedad, banano, detección, imagen, procesamiento, método, modelo, base, propuesta, Sigatoka, hoja de banano, conjunto de datos, red, hoja, enfermedad foliar	Métodos de detección de Sigatoka negra
t_9	3,619	cultivo, cepa, planta, in vitro, crecimiento, bacterias, control, raíz, bacterias, patógeno, suelo, agente, medio, potencial, metabolito	Cultivo <i>in vitro</i> y control biológico
t_10	5,267	genética, población, <i>fijiensis</i> , análisis, marcador, patógeno, gen, diversidad, genoma, estructura, revelar, cuantitativo, diferencial, polimorfismo, adaptación	Diversidad genética de poblaciones
t_11	4,411	hoja, mancha, mancha_en_la_hoja, hoja_negra, negro, enfermedad, causa, patógeno, informe, enfermedad_por_manchas, morfología, marrón, identificar, síntoma, árbol	Diagnóstico morfológico de enfermedades foliares
t_12	3,744	extracto, germinación, actividad, inhibición, <i>brassicicola</i> , ascosporas, fracción, anti fúngico, crecimiento, tubo, efecto, capacidad, ensayo, col, inhibidor	Actividad antifúngica de extractos
t_13	3,866	cultivar, plátano, variedad, FHIA, evaluación, resistencia, cultivar de plátano, Brasil, característica, región, aceptación, comercial, aab, br, genotipo	Caracterización de cultivares de banano

Continúa

Tópico	Prevalencia	Término principal	Etiqueta
t_14	4,375	<i>fijiensis</i> , patógeno, hongo, hospedador, proteína, actividad, hongo, célula, infección, respuesta, virulencia, interacción, inducir, pared, efector	Interacción molecular planta-patógeno
t_15	3,472	producto, banano, producción, órgano, granja, gestión, economía, producto derivado del banano, suelo, cultivar, nutriente, medición, costo, establecimiento, fertilizante	Producción y gestión del banano
t_16	4,849	fungicida, control, resistencia, aplicación, reducir, sensibilidad, gestión, valor, campo, efecto, pulverización, <i>fijiensis</i> , eficacia, aceite, químico	Resistencia y control químico
t_17	4,867	Sigatoka, negra_Sigatoka, negra, plátano, enfermedad, enfermedad_de_Sigatoka, <i>Mycosphaerella</i> , <i>Mycosphaerella_fijiensis</i> , <i>fijiensis</i> , <i>Musa</i> , Morelet, <i>fijiensis</i> _Morelet, banano, spp, plantación_de_banano.	Sigatoka negra en plantaciones de banano
t_18	3,914	banano, enfermedad, raya, raya_en_las_hojas, blsd, hoja_negra, enfermedad_de_las_rayas, hoja, marchitamiento, <i>Fusarium</i> , causa, exportación, enfermedad_blsd, producto, Cavendish	Enfermedades foliares: Sigatoka y fusariosis
t_19	4,903	fruta, rendimiento, FHIA, racimo, híbrido, cultivar, ciclo, peso, evaluación, flor, Gran_Enano, cosecha, rendimiento	Evaluación de cultivares de banano
t_20	3,539	hoja, fruto, negro, contenido, grado, maduración, concentración, etapa, verde, hoja, fisiología, naturaleza, pigmento, hoja_negra	Maduración del fruto
t_21	3,28	banano, método, nivel, enfermedad, material, cosecha, influencia, factor, necrosis, requerir, discutir, fruta, planta, principal, técnica	Factores influyentes en sanidad y producción del banano
t_22	5,371	resistencia, genotipo, selección, <i>Musa</i> , susceptibilidad, mejoramiento genético, híbrido, cruce, cultivar, diploide, accesión, mejora, nematodo, rasgo, tetraploide	Mejoramiento genético de cultivares
t_23	3,799	tiempo, enfermedad, gravedad, estación, temperatura, período, desarrollo, condición, correlación, humedad, relativa, estimación, hoja, negra, seca	Factores climáticos predisponentes
t_24	4,365	cultivo, producto, agricultor, agricultura, alimento, enfermedad, aumento, desarrollar, plaga, gestionar, local, incluir, trópico, sistema, rendimiento	Agricultura sostenible en el trópico

La aplicación del algoritmo LDA permitió visualizar gráficamente la distribución de los tópicos relacionados con la temática, revelando una marcada dispersión que indica la existencia de subtemas diferenciados dentro corpus (Fig. 6). Se identificaron cuatro agrupaciones principales de tópicos. En el cuadrante superior derecho, se observó una asociación centrada en el diagnóstico y manejo agronómico de la enfermedad, con una fuerte conexión entre los tópicos sobre infección foliar por Sigatoka negra (t_3), calidad del fruto (t_5), métodos de detección (t_8), diagnóstico morfológico de enfermedades foliares (t_11) y caracterización de cultivares de banano (t_13).

El cuadrante inferior derecho agrupa estudios centrados en biotecnología y mejoramiento genético, especialmente en cultivares resistentes y diversidad genética. El cuadrante inferior izquierdo se relaciona con la experimentación de agentes de control, mostrando una estrecha relación entre la evaluación de cultivares (t_19) y el mejoramiento genético (t_22). El cuadrante superior izquierdo incluye pocos tópicos vinculados a análisis de biología molecular de *P. fijiensis* (t_4) y agricultura sostenible en el trópico (t_24), lo que sugiere investigaciones enfocadas en el patógeno y el contexto productivo tropical.

Es interesante la posición aislada de tópicos como la expresión génica de *P. fijiensis* (t_4) y la diversidad genética del patógeno (t_10), lo que podría indicar vacíos de investigación, desarrollo incipiente o áreas emergentes dentro del estudio de la Sigatoka negra.

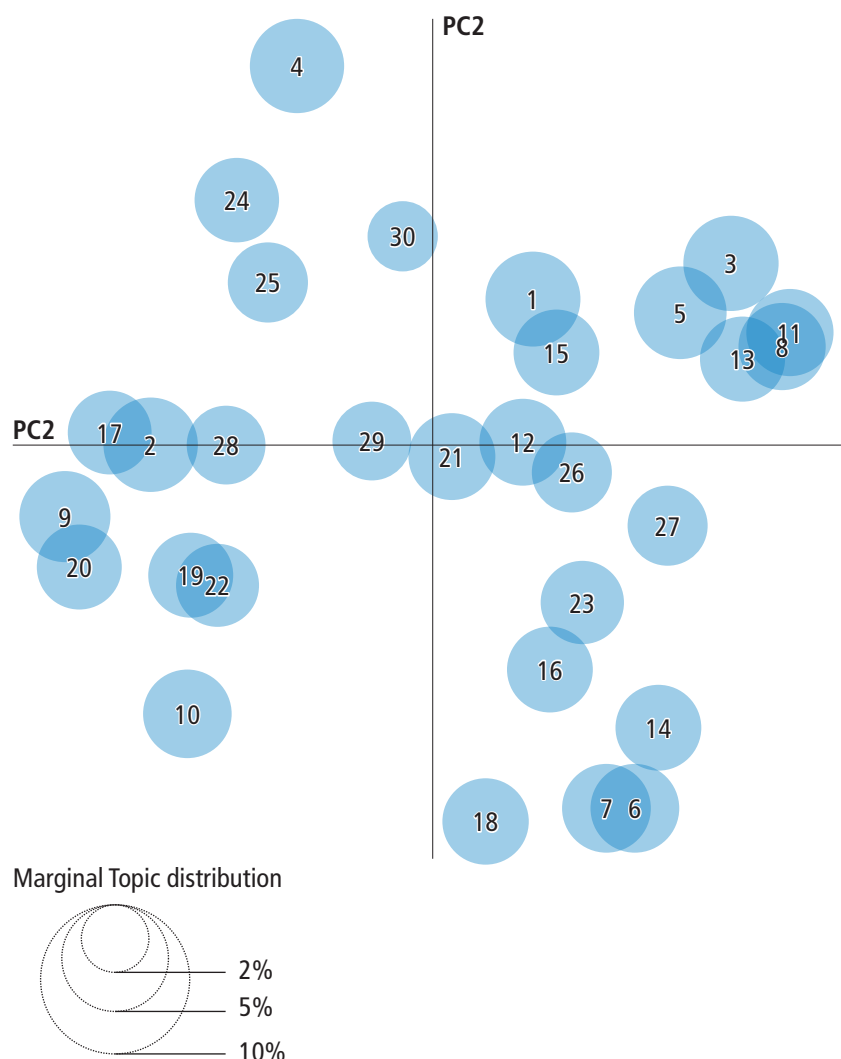


FIGURA 6. Mapa de distancias intertemática de Sigatoka negra: visualización LDA a través de escalamiento multidimensional.

Evolución de los temas de investigación en Sigatoka negra

La Figura 7 evidencia que los temas de investigación sobre la Sigatoka negra en banano presentan distintas tendencias. Las líneas rojas señalan líneas de investigación emergentes, las azules indican temáticas que han perdido prioridad y las negras corresponden a áreas no significativas. Dentro de los tópicos emergentes se destacan aquellos relacionados con evaluación de extractos y compuestos bioactivos (t_7), diagnóstico morfológico (t_11), interacción molecular planta-patógeno (t_14), resistencia y control químico

(t_16), caracterización de la enfermedad (t_17), enfermedades foliares como Sigatoka y fusariosis (t_18), maduración del fruto (t_20), factores climáticos predisponentes (t_23) y agricultura sostenible (t_24). Esto sugiere que la investigación en torno a la Sigatoka negra abarca múltiples frentes emergentes que continúan en desarrollo activo. El tópico t_21, relacionado con los factores influyentes en sanidad y producción del banano, muestra una tendencia decreciente, posiblemente debido a un cambio de enfoque desde investigaciones tradicionales hacia áreas más innovadoras y emergentes. Este cambio se refleja en el creciente interés por áreas más innovadoras y emergentes, entre las que destacan el mejoramiento convencional y genético, así como la variación somaclonal (Tinzaara *et al.*, 2021). Posteriormente, la disponibilidad de datos genómicos de *Musa acuminata* (Cheng *et al.*, 2024) ha fortalecido el enfoque hacia la biología molecular, la genómica aplicada y la incorporación de herramientas de inteligencia artificial en los programas de mejoramiento genético del banano (Dushimeyesu, 2025). Recientemente, este enfoque ha propiciado avances en el estudio del silenciamiento genético mediante dsRNA (Canacuán *et al.*, 2025), e integración de herramientas multiómicas y la evaluación de germoplasma (Liu, 2025).

Distribución de la temática de investigación por países y revistas científicas

La Figura 8, muestra cómo los países enfocan sus investigaciones sobre la Sigatoka negra en el banano. Los colores más oscuros indican una mayor cantidad de publicaciones en ciertas temáticas, reflejando así agrupaciones naturales según las prioridades de investigación de cada región.

El Clúster 1 agrupa a países como Polonia, Eslovenia e Irán, centrados en la evaluación de extractos y compuestos bioactivos (t_7). El Clúster 2 incluye a Perú, Bangladesh, Vietnam, Malasia y Tanzania, con un enfoque marcado en métodos de detección de la Sigatoka negra (t_8). En el Clúster 3, países como Hungría e Israel se enfocan en resistencia y control químico (t_16), mientras que Congo y Ghana abordan múltiples temáticas, como características de la enfermedad (t_17) y evaluación de cultivares de banano (t_19). El Clúster 4 representa la asociación más amplia de países e incluye a los principales productores de investigaciones sobre Sigatoka negra en banano. Brasil, México, Francia, Estados Unidos y Colombia presentan un enfoque equilibrado entre los distintos tópicos. Por su parte, Suecia, Argentina y Filipinas destacan por su énfasis en la diversidad genética de poblaciones (t_10), mientras que Corea del Sur se enfoca específicamente en la calidad del fruto (t_5).

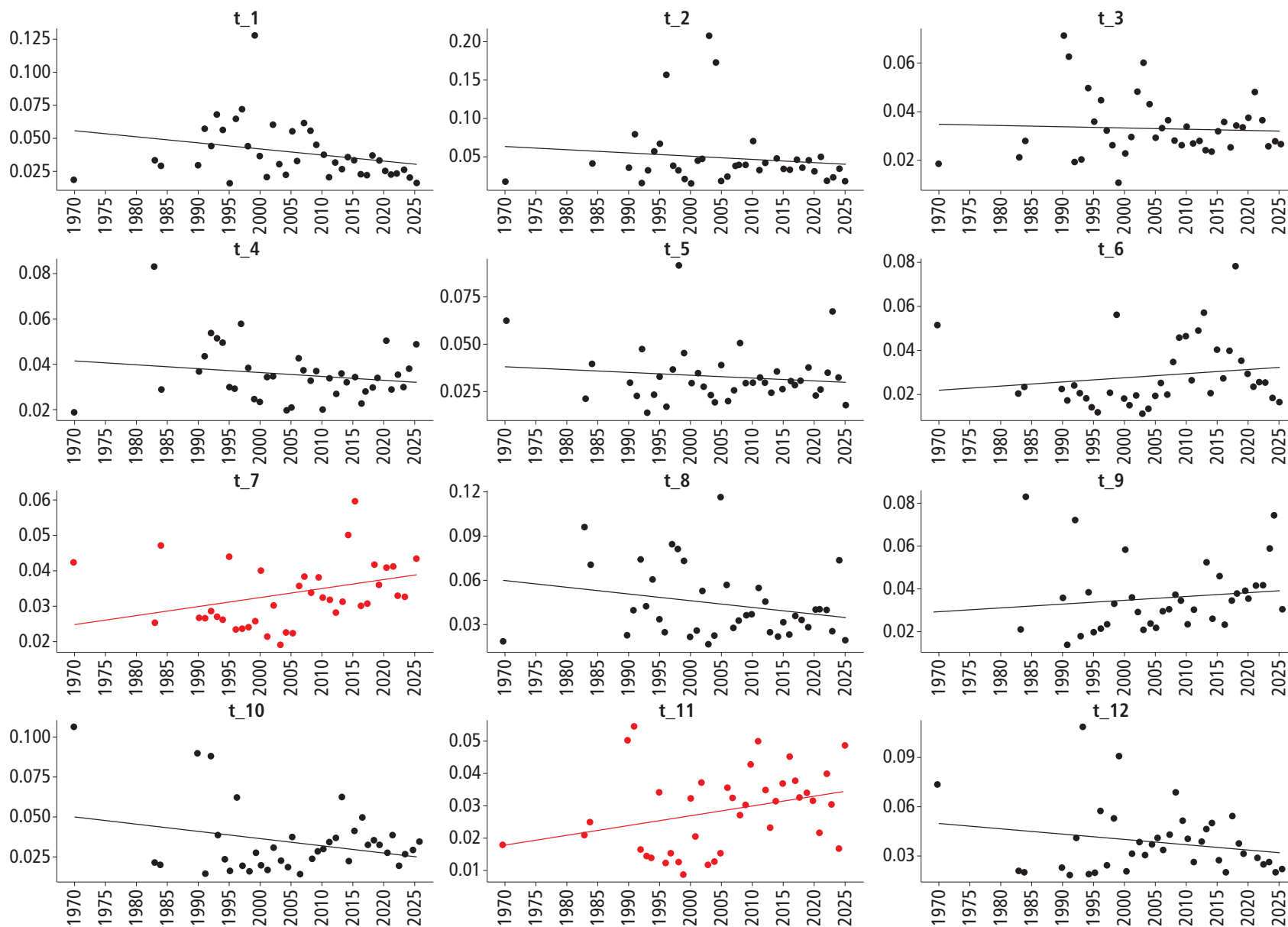


FIGURA 7. Curvas de evolución temporal de los tópicos (1970-2025). Continúa en la siguiente página

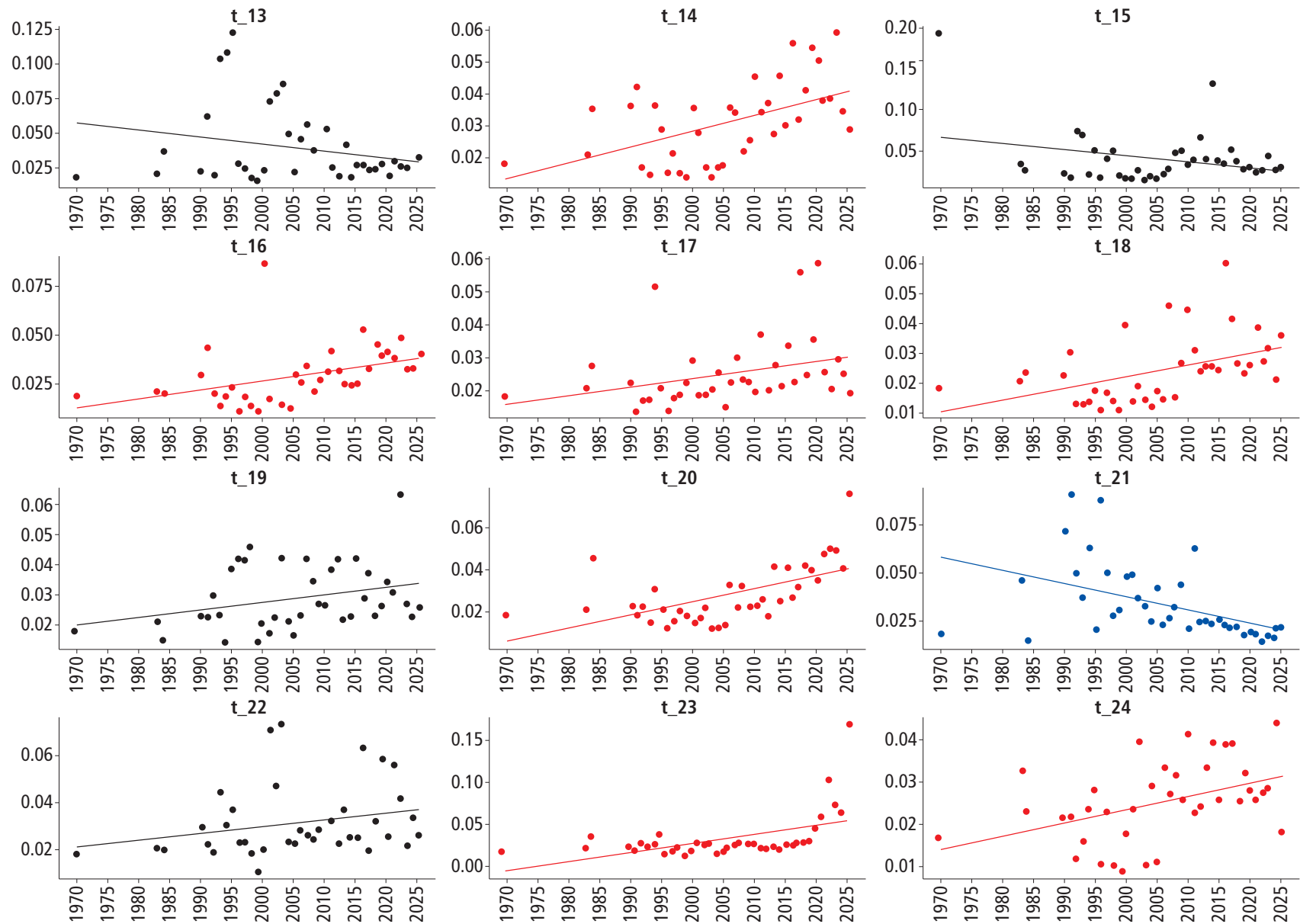


FIGURA 7. Curvas de evolución temporal de los tópicos (1970-2025). Viene de la página anterior

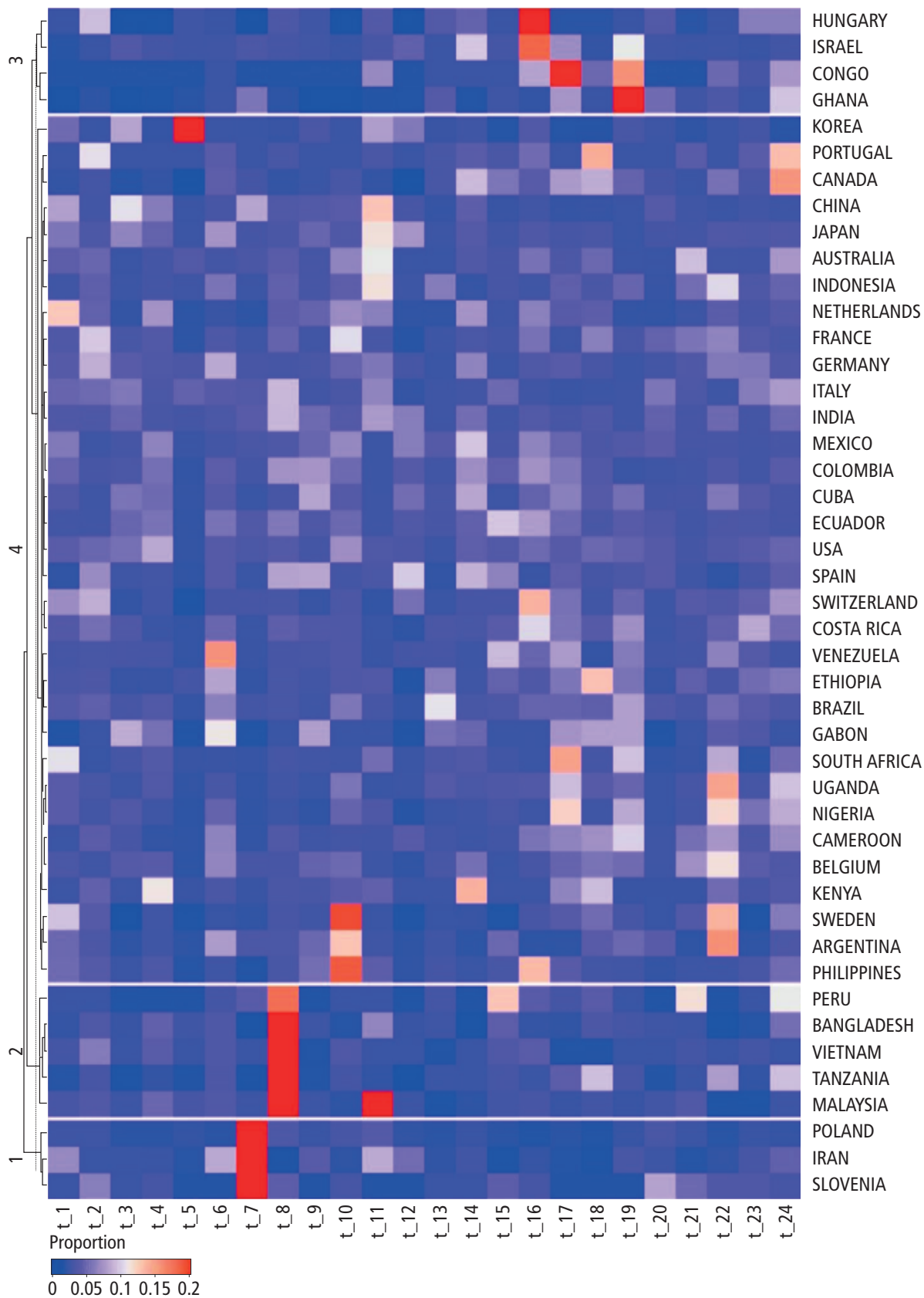


FIGURA 8. Mapa de calor de la distribución de temáticas de investigación por países.

La Figura 9, presenta un mapa de calor que revela las principales temáticas abordadas por las revistas científicas sobre la Sigatoka negra en banano. En general, los tópicos se distribuyen de manera uniforme entre las agrupaciones de revistas. En el Clúster 2, las revistas científicas muestran una distribución equilibrada en los principales tópicos de investigación. Publicaciones como *Acta Amazónica*, *Revista Brasileira de Fruticultura*, *Ciencia Rural* y *Agrociencia* se enfocan principalmente en la caracterización (t_13) y evaluación de cultivares de banano (t_19). Este énfasis compartido refleja un interés conjunto en la caracterización genética y resistencia de los cultivares, así como en su rendimiento y productividad.

El cluster 3, concentra la mayor cantidad de revistas y agrupaciones. Se destaca *Genetics and Molecular Research* y *Plant Pathology* por su enfoque en la diversidad genética de poblaciones (t_10), mientras que *PLOS One* se centra en la expresión génica de *P. fijiensis* (t_4). Así, el interés principal de estas revistas se orienta a estudios sobre la variabilidad genética del patógeno y su comportamiento molecular frente a la infección.

En el cluster 4, la revista *Archives of Phytopathology and Plant Protection* investiga sobre actividad antifúngica de extractos (t_12), la revista *African Journal of Biotechnology* sobre agricultura sostenible en el trópico (t_24), *Euphytica* hace énfasis en mejoramiento genético de cultivares (t_22) y la *Revista de la Facultad de Agronomía de Zulia* sobre evaluación de la eficacia de productos fitosanitarios (t_6). Estos tópicos, siguen siendo fundamentales para el entendimiento y control de la Sigatoka negra.

Este estudio destaca por identificar los temas emergentes en la investigación sobre Sigatoka negra en banano mediante el uso del algoritmo LDA. Entre los tópicos claves se encuentran aquellos relacionados con la evaluación de extractos, diagnóstico morfológico, interacción planta-patógeno, resistencia, control químico, factores ambientales y agricultura sostenible en el trópico. El análisis refleja un creciente interés científico en el control biológico, la caracterización de nuevas cepas, la resistencia a fungicidas y la búsqueda de una producción sostenible del banano. Además, se observó un solapamiento entre los tópicos t_8 y t_11 relacionados con los métodos de detección de la infección y el diagnóstico morfológico de la Sigatoka negra, lo que indica que existe una relación metodológica entre el análisis morfológico de la infección y la detección por imágenes. Esto se alinea a los objetivos de diversas investigaciones basándose en la aplicación de nuevas tecnologías para mejorar la agricultura (Linero-Ramos *et al.*, 2024), tales como la aplicación de vehículos aéreos no tripulados para determinar la presencia de la infección en áreas grandes (Calou *et al.*, 2020), detección temprana mediante análisis de imágenes hiperespectrales (Ugarte-Fajardo *et al.*, 2022). Y el empleo de técnicas de aprendizaje profundo y sistemas basados en visión artificial para la detección automática de Sigatoka negra en banano (Cárdenas-Rodríguez *et al.*, 2023; Kayanja *et al.*, 2024; Palanisamy & Ponnusamy, 2025).

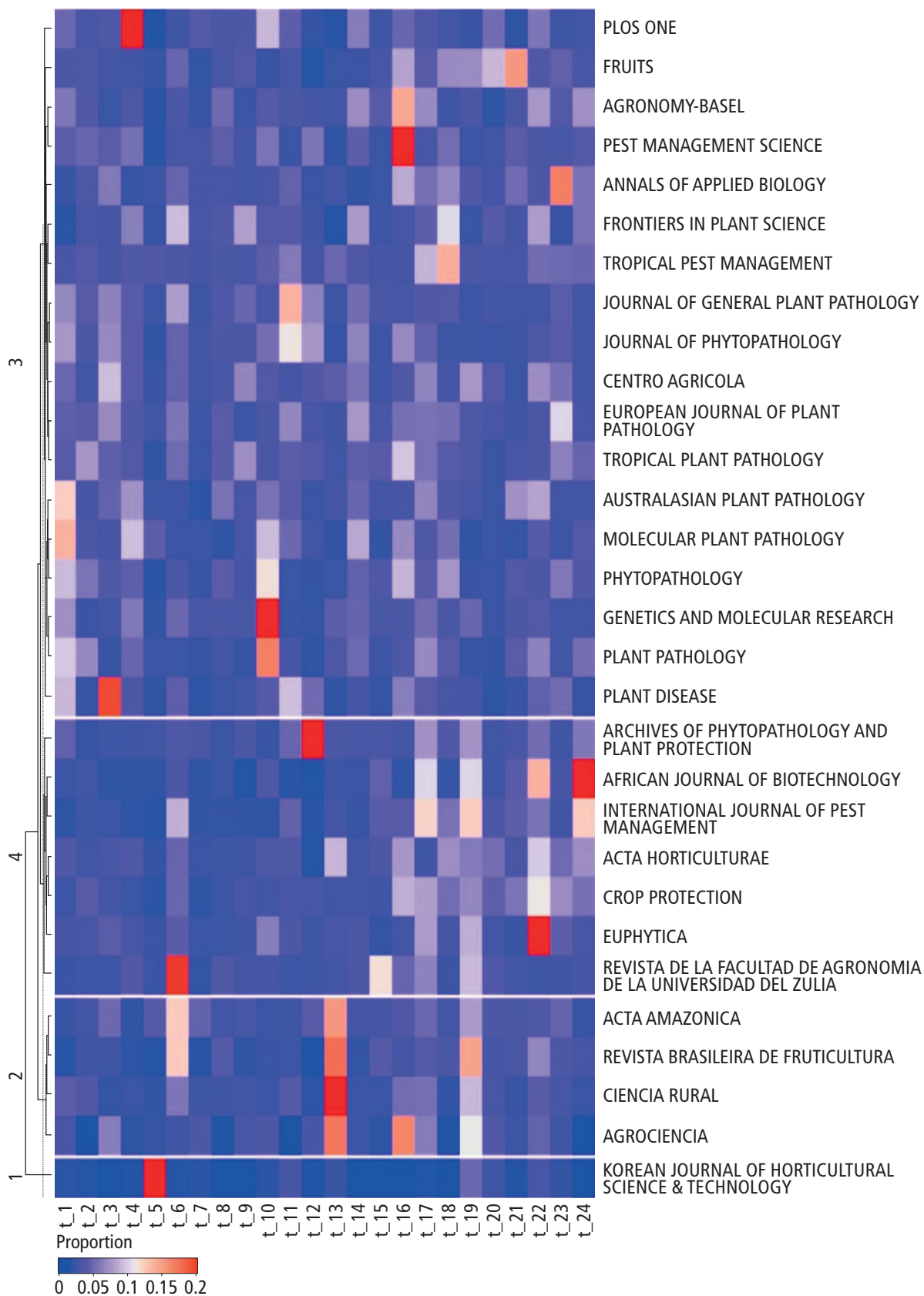


FIGURA 9. Mapa de calor de la distribución de temáticas de investigación por revistas científicas.

El análisis LDA revela que los estudios sobre expresión génica y genética poblacional de *P. fijiensis* son temas clave en la investigación sobre Sigatoka negra. Por ende, se han implementado estudios que evidencian que variedades silvestres como Calcutta 4 y cultivares diploides de *M. acuminata* han sido identificadas como fuentes de resistencia útiles para el mejoramiento genético e introgresión en nuevos cultivares de banano (Soares *et al.*, 2021). Otros estudios en *P. fijiensis* se ha centrado en identificar genes de patogenicidad y predecir efectores a partir de su secuencia genómica (Chang *et al.*, 2016; Noar *et al.*, 2022). También se ha documentado sobre cómo la selección genómica puede contribuir a mejorar los cultivos de banano frente a la problemática de la Sigatoka negra (Mbo Nkoulou *et al.*, 2022). Se recomienda continuar aplicando tecnologías ómicas para estudiar genes clave en *P. fijiensis*, destacando la reciente predicción del efectoma completo del patógeno, integrado por 5.179 proteínas (Carreón-Anguiano *et al.*, 2024).

El estudio presenta limitaciones debido al uso exclusivo de Scopus y Web of Science, que tienen sesgos temáticos y geográficos, favoreciendo publicaciones en inglés y de alto impacto. Además, la búsqueda restringida por términos específicos pudo excluir investigaciones relevantes sobre Sigatoka negra con enfoques interdisciplinarios o diferentes denominaciones.

CONCLUSIÓN

La producción científica sobre Sigatoka negra en banano ha mostrado un crecimiento sostenido desde mediados de los años 90, con un notable aumento a partir de 2006 y un pico en 2019, reflejando el creciente interés por mitigar esta enfermedad de alto impacto económico. Brasil, México, Francia, Estados Unidos y Colombia lideran las publicaciones, destacando revistas como *Plant Disease*, *Crop Protection* y *Pest Management Science*. No obstante, uno de los principales hallazgos de este estudio es la existencia de vacíos significativos de conocimiento a nivel global. En particular, se evidencia una baja producción científica en países africanos, a pesar de que muchas regiones de África presentan condiciones agroclimáticas altamente favorables para la propagación de la enfermedad y una fuerte dependencia económica del cultivo de banano.

El análisis LDA identificó tendencias positivas en temas evaluación de extractos, diagnóstico morfológico de enfermedades foliares, interacción molecular planta-patógeno, resistencia y control químico, identificación de Sigatoka negra en plantaciones de banano, maduración del fruto, factores climáticos predisponentes y agricultura sostenible. Aunque existe una limitación por la prevalencia de publicaciones en inglés, se recomienda que futuras investigaciones sobre Sigatoka negra se difundan en bases de datos multilingües para ampliar su alcance.

Este estudio proporciona una visión actualizada del panorama científico, identificando vacíos de conocimiento y orientando futuras investigaciones, con énfasis en la investigación de herramientas multiómicas, la interacción molecular planta-patógeno, el manejo integrado de la enfermedad y la agricultura sostenible.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue elaborado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Contribuciones de autoría: Conceptualización del estudio: CAD, DAC. Metodología: CAD, DAC, BMP y GDR, Análisis formal: CAD, DCC, AEM. Preparación del borrador: CAD, DAC. Redacción final y revisión: CAD, AEM, BMP y GDR. Aprobación para publicación final por todos los autores.

Fuentes de financiamiento: Sin fuente de financiación.

Acceso y apertura de datos: Los datos que se muestran en esta investigación están disponibles si se le solicita al autor de correspondencia.

Uso de IA en la elaboración y escritura del artículo: Uso de la herramienta Scholar Labs para la búsqueda de información y ChatGPT modelo GTP-5.3 para corrección gramatical del paper.

REFERENCIAS

- Abadie, C., Baudouin, L., Daugrois, J.-H., Dollet, M., Vuillaume, C., Wicker, E., & Teycheney, P.-Y. (2008). *CIRAD invasive species initiatives in the Caribbean Basin*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122653/records/64745b7c13d110e4e7ac5bec>
- Adejoro, M. A., Akinyemi, S. O. S., Fagbola, B. O., & Adebayo, O. S. (2013). Bibliometric analysis of disease incidence on *Musa* species in Africa. *Acta Horticulturae*, 1007, 349-354. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1007.38>
- Agouanet, F. P., Tankam-Chedjou, I., Etoua, R. M., & Tewa, J. J. (2021). Mathematical modelling of banana black Sigatoka disease with delay and seasonality. *Applied Mathematical Modelling*, 99, 380-399. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.06.030>
- Amorim, E. P., dos Santos-Serejo, J. A., Amorim, V. B. O., Ferreira, C. F., & Silva, S. O. (2013). Banana breeding at Embrapa cassava and fruits. *Acta Hortic.* 986, 171-176. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.18>
- Arango Isaza, R. E., Diaz-Trujillo, C., Dhillon, B., Aerts, A., Carlier, J., Crane, C. F., de Jong, T. V., de Vries, I., Dietrich, R., Farmer, A. D., Ferreira, C. F., Garcia, S., Guzman, M., Hamelin, R. C., Lindquist, E. A., Mehrabi, R., Quiros, O., Schmutz, J., Shapiro, H., ... Kema, G. H. J. (2016). Combating a global threat to a clonal crop: banana black Sigatoka pathogen *Pseudocercospora fijiensis* (Synonym *Mycosphaerella fijiensis*) genomes reveal clues for disease control. *PLOS Genetics*, 12(8), e1005876. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1005876>

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). *Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis*. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Asmussen, C. B., & Møller, C. (2019). Smart literature review: a practical topic modelling approach to exploratory literature review. *Journal of Big Data*, 6(1), Article 93. <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0227-4>
- Avwerosuo, E., Abiodun, J., Elizabeth, A., Charity, A., Stephen, A., Aruna, A., & Kayode, O. (2021). A review on research trend on Sigatoka diseases from 1965-2018: bibliometric approach. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(12), 3952-3965.
- Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 3(1), 993-1022.
- Borg, I., Groenen, P. J. F., & Mair, P. (2018). *Applied multidimensional scaling and unfolding*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73471-2>
- Burgos-Canul, Y. Y., Canto-Canché, B., Berezovski, M. V., Mironov, G., Loyola-Vargas, V. M., de Rosa, B., Tzec-Simá, M., Brito-Argáez, L., Carrillo-Pech, M., Grijalva-Arango, R., Muñoz-Pérez, G., & Islas-Flores, I. (2019). The cell wall proteome from two strains of *Pseudocercospora fijiensis* with differences in virulence. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 35(7), Article 105. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2681-2>
- Calou, V. B. C., Teixeira, A. S., Moreira, L. C. J., Lima, C. S., Oliveira, J. B., & Oliveira, M. R. R. (2020). The use of UAVs in monitoring yellow sigatoka in banana. *Biosystems Engineering*, 193, 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.016>
- Canacuán, F. Y., Suárez Anaya, Y. K., Rey Valenzuela, V. E., Morales Osorio, J. G., & Arango Isaza, R. E. (2025). RNA-mediated gene silencing can reduce azole resistance, growth and pathogenicity in *Pseudocercospora fijiensis*. *PLoS One*, 20(6), Article e0325057. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0325057>
- Canto-Canché, B., Burgos-Canul, Y. Y., Chi-Chuc, D., Tzec-Simá, M., Ku-González, A., Brito-Argáez, L., Carrillo-Pech, M., De los Santos-Briones, C., Canseco-Pérez, M. Á., Luna-Moreno, D., Beltrán-García, M. J., & Islas-Flores, I. (2023). Moonlight-like proteins are actually cell wall components in *Pseudocercospora fijiensis*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(9), Article 232. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03676-3>
- Cárdenas-Rodríguez, M., Bermeo-Almeida, O., Ferruzola-Gómez, E., Guevara-Arias, V., & Bazán-Vera, W. (2023). Information systems based on computer vision for the control of Sigatoka black disease in bananas. In: R. Valencia-García, M. Bucaram-Leverone, J. Del Cioppo-Morstadt, N. Vera-Lucio, P.H. Centanaro-Quiroz (Eds.), *Technologies and Innovation* [Vol. 1873. pp. 235-247]. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45682-4_17
- Carlier, J., Bonnot, F., Roussel, V., Ravel, S., Martinez, R. T., Perez-Vicente, L., Abadie, C., & Wright, S. (2021). Convergent adaptation to quantitative host resistance in a major plant pathogen. *mBio*, 12(1). <https://doi.org/10.1128/mBio.03129-20>
- Carlier, J., Lebrun, M. H., Zapater, M. F., Dubois, C., & Mourichon, X. (1996). Genetic structure of the global population of banana black leaf streak fungus, *Mycosphaerella fijiensis*. *Molecular Ecology*, 5(4), 499-510. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1996.tb00342.x>

- Carlier, J., Robert, S., Roussel, V., Chilin-Charles, Y., Lubin-Adjanoh, N., Gilabert, A., & Abadie, C. (2021). Central American and Caribbean population history of the *Pseudocercospora fijiensis* fungus responsible for the latest worldwide pandemics on banana. *Fungal Genetics and Biology*, 148, Article 103528. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2021.103528>
- Carreel, F., Martin, G., Ravel, S., Roussel, V., Pages, C., Habas, R., Cantagrel, T., Guiougou, C., Delos, J.-M., Hervouet, C., Mournet, P., D'Hont, A., Yahiaoui, N., & Salmon, F. (2024). Identification of resistance QTLs to black leaf streak disease (due to *Pseudocercospora fijiensis*) in diploid bananas (*Musa acuminata*). *Horticulturae*, 10(6), Article 608. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060608>
- Carreón-Anguiano, K. G., Todd, J. N. A., Santos-Briones, C. D. L., Peraza-Echeverría, S., Islas-Flores, I., & Canto-Canché, B. (2024). Unveiling the full protein effectorome of the black Sigatoka pathogen *Pseudocercospora fijiensis*—An in silico approach. *Microbiology Research*, 15(3), 1880-1899. <https://doi.org/10.3390/microbiolres15030126>
- Chang, T.-C., Salvucci, A., Crous, P. W., & Stergiopoulos, I. (2016). Comparative genomics of the Sigatoka disease complex on banana suggests a link between parallel evolutionary changes in *Pseudocercospora fijiensis* and *Pseudocercospora eumusae* and increased virulence on the banana host. *PLOS Genetics*, 12(8), Article e1005904. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1005904>
- Chauhan, U., & Shah, A. (2021). Topic modeling using latent dirichlet allocation: a survey. *ACM Computing Surveys*, 54(7), Article 145. <https://doi.org/10.1145/3462478>
- Cheng, C., Wu, S., Deng, G., Sheng, O., Yi, G., & Yang, Q. (2024). Recent advances and future directions in banana molecular biology and breeding. *Molecular Horticulture*, 4(1), Article 42. <https://doi.org/10.1186/s43897-024-00122-2>
- Chong, P., Essoh, J. N., Arango Isaza, R. E., Keizer, P., Stergiopoulos, I., Seidl, M. F., Guzman, M., Sandoval, J., Verweij, P. E., Scalliet, G., Sierotzki, H., de Bellaire, L. L., Crous, P. W., Carlier, J., Cros, S., Meijer, H. J. G., Peralta, E. L., & Kema, G. H. J. (2021). A world-wide analysis of reduced sensitivity to DMI fungicides in the banana pathogen *Pseudocercospora fijiensis*. *Pest Management Science*, 77(7), 3273-3288. <https://doi.org/10.1002/ps.6372>
- Churchill, A. C. L. (2011). *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *Molecular Plant Pathology*, 12(4), 307-328. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00672.x>
- Derviş, H. (2020). Bibliometric analysis using Bibliometrix an R Package. *Journal of Scientometric Research*, 8(3), 156-160. <https://doi.org/10.5530/jscires.8.3.32>
- Dushimeyesu, E. (2025). Advances in molecular breeding for disease resistance in banana (*Musa* Spp): current trends and future prospects. In *International Congresses of Turkish Science and Technology Publishing* [pp. 286-292]. <http://turjaf.com/index.php/TURSTEP/article/view/386>
- Echchakoui, S. (2020). Why and how to merge Scopus and Web of Science during bibliometric analysis: the case of sales force literature from 1912 to 2019. *Journal of Marketing Analytics*, 8(3), 165-184. <https://doi.org/10.1057/s41270-020-00081-9>

- Espina-Romero, L., Gutiérrez Hurtado, H., Ríos Parra, D., Vilchez Pirela, R. A., Talavera-Aguirre, R., & Ochoa-Díaz, A. (2024). Challenges and opportunities in the implementation of AI in manufacturing: A bibliometric analysis. *Science6*(4), Article 60. <https://doi.org/10.3390/sci6040060>
- FAO. (2023). *FAOSTAT -Cultivos y productos de ganadería: bananos por país*. <https://www.fao.org/faostat/>
- Figorilli, S., Moscovini, L., Vasta, S., Tocci, F., Violino, S., Abraham, D., Pascal, S., Benjamin, K., Sandoval, R., Spencer, R., Costa, C., Scarfone, A., Ortenzi, L., & Pallottino, F. (2025). Smart IoT device for in field black Sigatoka disease recognition and mapping. *Smart Agricultural Technology*, 10, Article 100762. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100762>
- Gilbert, Y., Kayanja, E. W., Kalungi, J. E., Kyagaba, J. M., & Marvin, G. (2023). Explainable AI for black Sigatoka detection. In S. Shakya, J. M. R. S. Tavares, A. Fernández-Caballero, G. Papakostas (Eds.), *Fourth International Conference on Image Processing and Capsule Networks* [Vol. 798. pp. 181-196]. Springer https://doi.org/10.1007/978-981-99-7093-3_12
- Griffiths, T. L., & Steyvers, M. (2004). Finding scientific topics. *Proceedings of the National academy of Sciences USA*, 101(suppl_1), 5228-5235. <https://doi.org/10.1073/pnas.0307752101>
- Harzing, A.-W., & Alakangas, S. (2016). Google Scholar, Scopus and the Web of Science: a longitudinal and cross-disciplinary comparison. *Scientometrics*, 106(2), 787-804. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1798-9>
- Henao-Ochoa, D. C., Rey-Valenzuela, V. E., Zapata-Henao, S., Arango-Isaza, R. E., Rodríguez-Cabal, H. A., & Morales, J. (2025). Application of defence inducers reduces the severity of black Sigatoka (*Pseudocercospora fijiensis*) in *Musa acuminata* AAA Cavendish. *European Journal of Plant Pathology*, 172, 241-259. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02997-9>
- Hirsch, J. E., & Buela-Casal, G. (2014). The meaning of the h-index. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 14(2), 161-164. [https://doi.org/10.1016/s1697-2600\(14\)70050-x](https://doi.org/10.1016/s1697-2600(14)70050-x)
- Jørgensen, L. N., & Heck, T. M. (2021). Azole use in agriculture, horticulture, and wood preservation - is it indispensable? *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, Article 730297. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.730297>
- Kayanja, E. W., Gilbert, Y., Solome, N. P., Kalungi, J. E., Kyagaba, J. M., & Marvin, G. (2024). Transparent intelligent vision for black Sigatoka detection. In A. K. Saha, H. Sharma, M. Prasad (Eds.), *Proceedings of International Conference on Intelligent Vision and Computing (ICIVC 2023)* [Vol. 19 pp. 318-332]. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71388-0_26
- Kimunye, J., Were, E., Swennen, R., Viljoen, A., & Mahuku, G. (2021). Sources of resistance to *Pseudocercospora fijiensis*, the cause of black Sigatoka in banana. *Plant Pathology*, 70(7), 1651-1664. <https://doi.org/10.1111/ppa.13408>
- Kumakech, A., Jørgensen, H. J. L., Collinge, D. B., Edema, R., & Okori, P. (2022). Plant extracts as potential control agents of black Sigatoka in banana. *Journal of Plant Pathology*, 104(4), 1303-1314. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01211-1>
- Lau, J. H., Newman, D., & Baldwin, T. (2014). Machine reading tea leaves: automatically evaluating topic coherence and topic model quality. In S. Wintner, S. Goldwater, S. Riezler (Eds.), *Proceedings of the 14th Conference of the European*

- Chapter of the Association for Computational Linguistics* [pp. 530-539]. Association for Computational Linguistics. Doi: <https://doi.org/10.3115/v1/E14-1056>
- Linero-Ramos, R., Parra-Rodríguez, C., Espinosa-Valdez, A., Gómez-Rojas, J., & Gongora, M. (2024). Assessment of dataset scalability for classification of black Sigatoka in banana crops using UAV-based multispectral images and deep learning techniques. *Drones*, 8(9), Article 503. <https://doi.org/10.3390/drones8090503>
- Liu, F. (2025). Research progress on disease resistance genes and breeding in banana (*Musa* spp.). *Advances in Engineering Technology Research*, 14(1), 1366-1366. <https://doi.org/10.56028/aetr.14.1.1366.2025>
- Madzík, P., & Falát, L. (2022). State-of-the-art on analytic hierarchy process in the last 40 years: literature review based on latent dirichlet allocation topic modelling. *Plos One*, 17(5), e0268777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268777>
- Mbo Nkoulou, L. F., Ngalle, H. B., Cros, D., Adje, C. O. A., Fassinou, N. V. H., Bell, J., & Achigan-Dako, E. G. (2022). Perspective for genomic-enabled prediction against black sigatoka disease and drought stress in polyploid species. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 953133. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.953133>
- Mengesha, G. G., Jambo, A., Terefe, H., Mekonnen, S., Simion, T., Mensa, A., Fikre, G., Ayele, M., Woldeyohanes, Y., Lemma, B., Turuko, M., Ayele, T., Yemataw, Z., & Woldesilassie, A. B. (2023). Agronomic practices and environmental factors influenced the distribution and severity of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) of banana in southern Ethiopia. *Journal of Plant Pathology*, 105(4), 1371-1390. <https://doi.org/10.1007/s42161-023-01461-7>
- Meredith, D. S., & Lawrence, J. S. (1969). Black leaf streak disease of bananas (*Mycosphaerella fijiensis*): symptoms of disease in Hawaii, and notes on the conidial state of the causal fungus. *Transactions of the British Mycological Society*, 52(3), 459-476. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(69\)80130-0](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(69)80130-0)
- Mimno, D., Wallach, H., Talley, E., Leenders, M., & McCallum, A. (2011). Optimizing semantic coherence in topic models. In R. Barzilay, M. Johnson (Eds.), *Proceedings of the 2011 conference on empirical methods in natural language processing* [pp. 262-272]. Association for Computational Linguistics.
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213-228. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Nascimento, F. S., Sousa, Y. M., Rocha, A. J., Ferreira, C. F., Haddad, F., & Amorim, E. P. (2020). Sources of black Sigatoka resistance in wild banana diploids. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(4), Article e-038. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020038>
- Noar, R. D., Thomas, E., & Daub, M. E. (2022). Genetic characteristics and metabolic interactions between *Pseudocercospora fijiensis* and banana: progress toward controlling black Sigatoka. *Plants*, 11(7), Article 948. <https://doi.org/10.3390/plants11070948>
- Nunes, S. L. P., Soares, J. M. S., Rocha, A. J., Nascimento, F. S., Ramos, A. P. S., Soares, T. L., Santos, R. M. F., Amorim, V. B. O., Amorim, E. P., & Ferreira, C. F. (2024). Expression of genes involved in banana (*Musa* spp.) response to black Sigatoka. *Current Issues in Molecular Biology*, 46(12), 13991-14009. <https://doi.org/10.3390/cimb46120837>

- Olivares, B. O., Vega, A., Rueda Calderón, M. A., Montenegro-Gracia, E., Araya-Almán, M., & Marys, E. (2022). Prediction of banana production using epidemiological parameters of black Sigatoka: an application with random forest. *Sustainability*, 14(21), Article 14123. <https://doi.org/10.3390/su142114123>
- Palanisamy, G., & Ponnusamy, V. (2025). An automated prediction of plant diseases using leaf images based on efficient deep learning and image processing. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 31(5), 41-51. <https://doi.org/10.5755/j02.eie.43698>
- Ploetz, R. (2000). Black Sigatoka. *Pesticide Outlook*, 11, 19-23. <https://doi.org/10.1039/b006308h>
- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: the titans of bibliographic information in today's academic world. *Publications*, 9(1), Article 12. <https://doi.org/10.3390/publications9010012>
- Rowley, M. A., Jr, Barfield, W. R., Rivas, G. A., Reid, K., & Hartsock, L. A. (2024). Analysis of the orthopaedic trauma literature utilizing machine learning and latent dirichlet allocation. *Current Orthopaedic Practice*, 35(4), 171-176. <https://doi.org/10.1097/BCO.0000000000001266>
- Salmon, F., Bakry, F., Efile, J. C., Ricci, S., Toniutti, L., & Horry, J.P. (2023). Banana breeding at CIRAD: creating resistant new cultivars to avoid the use of pesticides. *Acta Horticulturae 1367*, 201-208. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1367.23>
- Senthil, A., Ademe, M., Ananda Kumar, K. S., Adusumalli, S., Venkata Subbarao, M., & Sudhakar, K. (2024). Detection of leaf black Sigatoka disease in enset using convolutional neural network. In: H. Zen, N. M. Dasari, Y. M. Latha, S. S. Rao (Eds.), *Soft Computing and Signal Processing* [Vol. 840. pp. 301-310]. Springer- https://doi.org/10.1007/978-981-99-8451-0_26
- Sievert, C., & Shirley, K. (2014). LDAvis: a method for visualizing and interpreting topics. In J. Chuang, S. Green, M. Hearst, J. Heer, P. Koehn (Eds.), *Proceedings of the Workshop on Interactive Language Learning, Visualization, and Interfaces* [pp. 63-70]. Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.3115/v1/W14-3110>
- Soares, J. M. S., Rocha, A. J., Nascimento, F. S., Santos, A. S., Miller, R. N. G., Ferreira, C. F., Haddad, F., Amorim, V. B. O., & Amorim, E. P. (2021). Genetic improvement for resistance to black Sigatoka in bananas: A systematic review. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 657916. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.657916>
- Stover, R. H. (1978). Distribution and probable origin of *Mycosphaerella fijiensis* in South East Asia [banana leaf spot]. *Tropical Agriculture*, 55, 65-68. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/64736400e17b74d222541434>
- Sugimoto, C. R., & Larivière, V. (2018). *Measuring research: what everyone needs to know*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/wentk/9780190640118.001.0001>
- Thomaz, P. G., Assad, R. S., & Moreira, L. F. P. (2011). Uso do Fator de impacto e do índice H para avaliar pesquisadores e publicações. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 96(2), 90-93. <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2011000200001>
- Tinzaara, W., Mutambuka, M., Oyesigye, E., Blomme, G., Dita, M., Gold, C. S., Rouard, M., & Karamura, E. (2021). Banana wilt diseases: current status and future research strategies for their management. *International Journal of Pest*

- Management*, 70(3), 290-309. <https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1992685>
- Torres, L. M., Piraneque Gambasica, N. V., & Castellanos Martínez, M. L. (2024). Role of precision agriculture in mitigating black Sigatoka in banana cultivation under climate change: a review and bibliometric analysis. *Tecnológicas*, 27(61), Article e3158. <https://doi.org/10.22430/22565337.3158>
- Ugarte-Fajardo, J., Maridueña-Zavala, M., Cevallos-Cevallos, J., & Ochoa Donoso, D. (2022). Effective methods based on distinct learning principles for the analysis of hyperspectral images to detect black Sigatoka disease. *Plants*, 11(19), Article 2581. <https://doi.org/10.3390/plants11192581>
- Wang, X., & Grimson, E. (2007). Spatial latent dirichlet allocation, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 20.
- Yonow, T., Ramirez-Villegas, J., Abadie, C., Darnell, R. E., Ota, N., & Kriticos, D. J. (2019). Black Sigatoka in bananas: ecoclimatic suitability and disease pressure assessments. *Plos One*, 14(8), Article e0220601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220601>
- Zhu, J., & Liu, W. (2020). A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*, 123(1), 321-335. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>