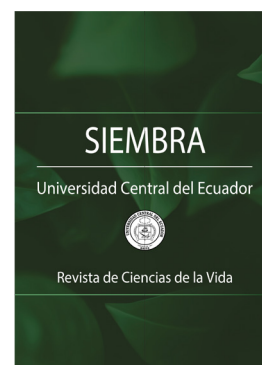


Hongos asociados al cultivo de banano (*Musa spp.*) con potencial biotecnológico para el desarrollo de inoculantes

Fungi associated with banana crops (*Musa spp.*) with biotechnological potential for the development of inoculants

Betty Peregrina Acaro Reyes¹, Stefania Cevallos²



Siembra 12 (1) (2025): e7053

Recibido: 14/08/2024 / Revisado: 16/10/2024 / Aceptado: 26/11/2024

¹ Universidad Técnica Particular de Loja. Carrera de Bioquímica y Farmacia. San Cayetano s/n, 1101608. Loja, Ecuador.

✉ bpacaro@utpl.edu.ec

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-5321-8204>

² Universidad Técnica Particular de Loja. Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. San Cayetano s/n, 1101608. Loja, Ecuador.

✉ scevallos@utpl.edu.ec

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-5638-5112>

*Autor de correspondencia: scevallos@utpl.edu.ec

Resumen

El banano es la fruta tropical de mayor consumo mundial. Su producción es un importante ingreso económico en países de Latinoamérica y el Caribe. Recientemente, el cultivo de banano se ha visto afectado por el ataque de patógenos muy agresivos como *Fusarium oxysporum* y *Mycosphaerella fijiensis*. El control químico es una estrategia ampliamente utilizada, que ha llevado al uso excesivo de agroquímicos en la producción bananera. Existe una gran preocupación mundial por el estado de los cultivos de banano, siendo necesario encontrar alternativas amigables con el medio ambiente. Ecuador es uno de los principales productores de banano en el mundo, por lo que es fundamental innovar el sistema de producción mediante la implementación de alternativas biológicamente sostenibles para minimizar el impacto ambiental y garantizar la productividad. La presente revisión pretende consolidar información clave sobre los hongos asociados al banano, incluyendo técnicas de aislamiento e introducción de endófitos. Finalmente, se incluyen investigaciones relevantes sobre estrategias biotecnológicas basadas en hongos endofíticos y micorrízicos para mejorar la producción de banano. Nuestro objetivo es que esta revisión proporcione información para la investigación experimental en el diseño de inoculantes fúngicos.

Palabras clave: banano, producción, cultivos sostenibles, hongos endófitos, hongos micorrízicos.

Abstract

Bananas are the most widely consumed tropical fruit worldwide. Its production is an important source of economic income in Latin American and Caribbean countries. Recently, banana crops have been affected by the attack of overly aggressive pathogens such as *Fusarium oxysporum* and *Mycosphaerella fijiensis*. Chemical control is a widely used strategy, which has led to the excessive use of agrochemicals in banana production. There is great concern worldwide about the state of banana crops, which makes environmentally friendly alternatives necessary to cope with the actual threats. Ecuador is one of the main banana producers in the world, so it is essential to innovate production systems by implementing biologically sustainable alternatives to minimize environmental impacts and warranty productivity. This review aims to consolidate key

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

Periodicidad: semestral

vol. 12, núm 1, 2025

siembra.fag@uce.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v12i1.7053>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

information on banana-associated fungi, including isolation and introduction techniques of endophytic fungi. Finally, relevant research on biotechnological strategies based on endophytic and mycorrhizal fungi to improve banana production is included. We expect this review will provide insights into experimental investigations in the design of fungal inoculants

Keywords: banana, production, sustainable crops, endophytic fungi, mycorrhizal fungi.

1. Introducción

1.1. Información general del banano

1.1.1. Características del banano

Musa spp. (banano) corresponde a un grupo de plantas herbáceas, perennes, pertenecientes al *Reino Plantae*, clase Angiosperma, subclase Monocotiledónea, orden Zingiberales, familia Musaceae, género *Musa* (Sabio et al., 1999). El banano proviene del sudeste de Asia, normalmente los cultivares son producto de la hibridación natural entre dos especies: *Musa balbisiana*, originaria de la costa este de la India, y *Musa acuminata*, originaria de Tailandia, Malasia y Myanmar (Mejía Calderón, 2018).

La planta de banano consta de un pseudotallo, hojas, inflorescencia, frutos y raíz. El pseudotallo está formado por un conjunto de vainas foliares superpuestas que pueden llegar a medir entre 3 a 6 m de altura. Mientras que las hojas son grandes, de aproximadamente 2 a 4 m de largo por 0,50 m de ancho, que permiten determinar la etapa en que se encuentra el cultivo, dependiendo de las formas que presenten dichos órganos (Mejía Calderón, 2018). Adicionalmente, la inflorescencia tiene estructura compleja apoyada en un tallo verdadero, ubicado en la parte más alta del pseudotallo, posee flores femeninas de las cuales emergen los racimos frutales, y a medida que estos desarrollan, la porción distal de la inflorescencia se convierte en flores masculinas productoras de polen fértil o infértil (Vézina y Baena, 2020).

El fruto es una baya alargada y encorvada de aproximadamente 10–15 cm de longitud, de piel gruesa, lisa, y de color verde, amarillo o rojo, dependiendo de la variedad (Infoagro, 2022). Cada 100 g de fruta madura y fresca contiene: agua (~74 g), proteína (~1,1 g), lípidos totales (~0,3 g), carbohidratos (~21,8), fibra dietética (~2,0 g), sodio [Na] (~1,0 mg), potasio [K] (~385,0 mg), calcio [Ca] (~8,0 mg), magnesio [Mg] (~30 mg), fósforo [P] (~22 mg), hierro [Fe] (~0,42 mg), cobre [Cu] (~0,11 mg), zinc [Zn] (~0,18 mg), manganeso [Mn] (~0,2 mg), β -caroteno (~68,0 μ g), vitamina E ~0,29 mg), vitamina C (~11,7 mg), tiamina (~0,04 mg), riboflavina (~0,07) y niacina (~0,61 mg) (Casallas Malaver, 2010), la cantidad de nutrientes dependerá del tipo de genoma, variedad, altitud y condiciones climáticas del cultivo (Blasco López y Gómez Montaña, 2014; Dipta et al., 2021; Kookal y Thimmaiah, 2018).

Por otra parte, la raíz sirve de sostén de la planta, y permite el transporte de agua y nutrientes a través de los pelos radicales hacia toda la estructura vegetal. El sistema radicular está formado por raíces primarias, laterales, secundarias y terciarias, el número de estas dependerá de las limitaciones y daños causados en el proceso de crecimiento. En condiciones normales la raíz del banano puede llegar a medir de 5 a 10 m de longitud, permitiéndole acaparar mayor volumen de suelo (López y Espinoza, 1995). Los nutrientes que se absorben en grandes cantidades a través del sistema radicular del banano son: K, P y nitrógeno [N], mientras que Mg, Ca, Zn, Fe, Cu, Na, azufre [S], boro [B], molibdeno [Mo] y cloro [Cl] son absorbidos en menor cantidad (Turner y Rosales, 2003).

1.1.2. Cultivo del banano a nivel mundial

El banano es la cuarta fruta de exportación más importante a nivel mundial, y su cultivo abarca aproximadamente 5.029.997 ha, con más de 1.000 variedades de banano en todo el mundo (Ancasi-Espejo et al., 2016) representando 20,2 millones de toneladas de exportación anual (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2020). Su producción se concentra mayormente en algunos países de África (73%) y América Latina y el Caribe (25%), mientras que solo el 2% se encuentra en algunas naciones de Asia. Específicamente en América Latina y el Caribe, los mayores productores de banano son Ecuador, Colombia, Panamá, Venezuela, Costa Rica y Perú (Ancasi-Espejo et al., 2016).

En el caso particular del banano ecuatoriano, este es mundialmente reconocido por su calidad y sabor, y su exportación representa el tercer ingreso más alto del país, después del petróleo y el camarón (Banco Central

del Ecuador [BCE], 2021). La exportación bananera representa el 2% del PIB nacional (Ministerio de Comercio Exterior, 2017). La demanda internacional es tal que se estima que el 30% del banano que se consume en el mundo proviene de Ecuador, consolidándose como uno de los principales países productores y exportadores de banano a nivel mundial (Fierro Ulloa y Villacres Rojas, 2014).

Durante el año 2020, el área de cosecha de banano en el Ecuador fue de 160.600 ha. Las áreas cultivadas a nivel nacional están distribuidas en gran proporción en provincias de la costa como Los Ríos, El Oro y Guayas, las cuales representan el 86,0% de exportación nacional, mientras que en la región Sierra las plantaciones de banano corresponden al 9,7%. Las variedades más populares y de mayor exportación en Ecuador son Cavendish, baby banana y banano rojo, siendo este último la variedad de gran demanda en el mercado internacional, debido a que tiene mejor tamaño, color y sabor (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2020).

Las principales regiones y países donde se exporta el banano ecuatoriano son la Unión Europea (27%), Rusia (20,13%), Medio Oriente (13,89%), Estados Unidos (9,96%), Cono Sur (6,79%), Europa del Este (6,89%), África (6,72%), Asia Oriental (5,30%), Reino Unido (1,28%), Oceanía (0,91%) y Noruega (0,47%) (Asociación de Comercialización y Exportación de Banano [ACORBANEC], 2021).

2. Relación hongo-planta

2.1 Micro-ecología del suelo

El suelo es una mezcla compleja de minerales, materia orgánica, agua y organismos vivos (van Konijnenburg, 2006). Su calidad juega un papel fundamental en el mantenimiento del equilibrio entre la producción y el consumo de dióxido de carbono [CO₂] en la biosfera (García de Salamone, 2011). Como parte de los organismos vivos, las comunidades microbianas son el componente funcional más importante de la biota del suelo (Orduz Tovar et al., 2021), ya que participan en la descomposición de la materia orgánica, fijación de N₂ atmosférico, mineralización de N-orgánico, solubilización del P y S (García de Salamone, 2011). Además, los microorganismos colaboran en la producción de antibióticos y formación de asociaciones simbióticas para mejorar la absorción de nutrientes en las plantas, protección de vegetales contra patógenos y descomposición de contaminantes, entre otros (Pfenning y Magalhães de Abreu, 2012).

La presencia o ausencia de la microflora edáfica es un marcador biológico útil para evaluar el estado general del suelo (Silberman et al., 2013). El producto del proceso metabólico de estos microorganismos sobre la materia orgánica se relaciona con las óptimas condiciones fisicoquímicas del suelo (Ramos y Zúñiga, 2008). Es decir, los cambios en la estructura y función de la comunidad microbiana están vinculados con la alteración del sistema terrestre, producto de la emisión de gases de efecto invernadero (CO₂, NO o N₂O) y la pérdida de nitrógeno por lixiviación (García de Salamone, 2011). Por tanto, en muchas ocasiones los microorganismos del suelo determinan la disponibilidad de nutrientes, llegando a considerarse como herramientas para el manejo del suelo y nutrición vegetal (Murillo Cuevas et al., 2019).

La presencia de microorganismos en el suelo es variable, es así como la diversidad microbiana disminuye a mayor profundidad. De igual forma, las comunidades microbiológicas varían entre suelos, específicamente por la diferencia en la cantidad y tipo de materia orgánica, pH, factores climáticos, vegetación, disponibilidad de nutrientes y mineralogía (Osorio-Vega, 2009).

Se estima que, en un gramo de suelo seco se puede encontrar de 10⁶ a 10⁸ bacterias, de 10⁶ a 10⁷ actinomicetos, de 10⁴ a 10⁵ hongos, de 10³ a 10⁶ algas, y de 10³ a 10⁵ protozoos (Osorio-Vega, 2009). A pesar de que los microorganismos más abundantes en el suelo son las bacterias, los hongos por su mayor tamaño representan ~70% de la biomasa (Calvo Vélez et al., 2008).

Los hongos cumplen diversos roles en el ecosistema, de acuerdo con el ambiente en el que se desarrollan pueden ser: saprófitos encargados de transformar la materia orgánica e inorgánica (Barrios y Sandoval, 2018); hongos parasitarios los cuales provocan daño al hospedante (muerte celular); hongos simbiotes mutualistas que se asocian con otros organismos para un beneficio equilibrado, sin causar ningún efecto negativo inmediato (líquenes, endófitos, micorrizas) (Lutzoni et al., 2004; Marín, 2018).

2.2 Hongos endófitos

Los hongos endófitos son hongos filamentosos asociados a gran parte de las especies vegetales, se distribuyen

desde el Ártico hasta los trópicos, tanto en ecosistemas naturales como en ecosistemas modificados (campos agrícolas) (Cepero de García et al., 2012; Paris, 2016). Se localizan en espacios intercelulares e intracelulares de los haces vasculares vegetales (Giusiano et al., 2019). La mayor proporción de este grupo pertenecen a los filos Ascomycota, Basidiomycota, Zygomycota y Glomeromycota (Sánchez-Fernández et al., 2013).

Según el papel que desempeñan en el ecosistema, los hongos endófitos se organizan en descomponedores, parasitarios y mutualistas (Giusiano et al., 2019). Esto dependerá de las condiciones ambientales y genéticas tanto del hongo como de la planta hospedera. En el caso de los microorganismos patógenos, estos permanecen sin expresarse en la planta hasta que las condiciones ambientales sean favorables para inducir la enfermedad. Mientras que los hongos saprófitos absorben los nutrientes del hospedante hasta provocarle la muerte (Silva-Valenzuela et al., 2020). Por otro lado, los hongos mutualistas se caracterizan por tener una relación simbiótica con la planta huésped. Es decir, que las plantas confieren al hongo fotosíntatos provenientes de la fotosíntesis (Sánchez-Fernández et al., 2013). Entretanto, los hongos endófitos producen metabolitos secundarios para inducir el crecimiento de las plantas, incrementar la tolerancia frente a factores abióticos (estrés hídrico, salinidad, sequía, altas temperaturas), y favorecer la solubilización y mineralización de P orgánico e inorgánico, zinc (Zn), entre otros (Abello y Kelemu, 2006; Hobbie y Horton, 2007; Peteira Delgado et al., 2021; Wang et al., 2014).

La protección de la planta por parte de los hongos endófitos mutualistas se da a través de mecanismos directos (producción de enzimas), indirectos (fortaleciendo las defensas del hospedador) y biológicos (ocupación del nicho ecológico) (Aragón y Beltrán-Acosta, 2018; Pulido Agudelo y Nino Moreno, 2015). Es importante señalar que, la relación antagonista hongo-planta dependerá de la capacidad infectiva del hongo, estado de la planta, factores ambientales y etapa de desarrollo de los organismos involucrados (Salgado Salazar y Cepero de García, 2005).

2.3 Micorrizas

El término micorriza fue acuñado en 1885 por el biólogo alemán Albert Frank, procedente del griego *mycos* que hace referencia a hongo y el latín *rhiza* que significa raíz (Grageda-Cabrera et al., 2012). Micorriza se define como la asociación entre hongos del suelo y la raíz de las plantas (Villegas Ríos y Cifuentes, 2004; Smith y Read, 2008).

Las micorrizas se clasifican de acuerdo con la especie fúngica que interacciona con las plantas y la estrategia nutricional que posee el hongo (Honrubia, 2009). Los grupos más relevantes son las ectomicorrizas que actúan formando un manto sobre la raíz para penetrar las células del córtex, y las micorrizas arbusculares que invaden la raíz sin necesidad de formar un manto (Camargo Ricalde et al., 2012), siendo este último grupo el más predominante, puesto que tienen la capacidad de establecer una relación simbiótica con aproximadamente el 80% de las especies vegetales (Camarena-Gutiérrez, 2012), ya que contribuyen a la absorción de nutrientes y a la resistencia a enfermedades en las plantas (Sarabia Ochoa et al., 2010).

2.3.1. Micorrizas arbusculares

Es una relación simbiótica mutualista entre hongos del filum Glomeromycota y el sistema radical de plantas vasculares, dicha asociación se da a través de la formación de arbusculos, micelios, vesículas y estructuras absorbentes ramificadas, en la parte externa e interna de la corteza radical (Cuenca et al., 2007). Los hongos micorrízicos arbusculares [HMA] se diferencian de los hongos patógenos necrótrofos, porque los primeros no producen enzimas que degradan compuestos del carbono (Rillig et al., 2016).

Los arbusculos son las estructuras más importantes de los HMA porque están involucrados en el intercambio de nutrientes entre la planta y el hongo (Cuenca et al., 2007). Por una parte, los HMA ayudan a las plantas en la captación de elementos de escasa movilidad (P, Cu y Zn), en la mayor absorción de agua (Lovera y Cuenca, 2007), en la protección contra agentes patógenos radiculares, y además incrementan la tolerancia a metales pesados presentes en suelo y condiciones extremas de pH (Belezaca et al., 2019). Los HMA también favorecen la transferencia de nutrientes entre plantas cercanas a través de la formación de puentes hifales (Barrera Berdugo y Rodríguez López, 2010). Por otro lado, las plantas aportan aproximadamente el 20% de los productos fotosintéticos al hongo (Parniske, 2008).

3. Estudios y estrategias biotecnológicas para el aprovechamiento de hongos endófitos en el banano

3.1 Métodos de aislamiento de hongos endófitos asociados a la raíz de banano

La fase de aislamiento de hongos endófitos debe tener una etapa de desinfección superficial precisa de los tejidos vegetales para eludir el aislamiento involuntario de hongos epífitos (Sinno et al., 2020). Es así como, para el aislamiento de hongos endófitos de la raíz de banano se sigue un método de esterilización sugerido por Pocasangre et al. (2000), que consiste en lavar el material vegetal con agua corriente, seguido de un enjuague con una solución de hipoclorito de sodio (5%) durante 5 min, posteriormente se lavan las muestras por triplicado con agua estéril y se dejan secar al aire sobre una toalla de papel esterilizada, finalmente se despega la capa exterior de la raíz con un bisturí. Este método ha sido validado por múltiples estudios, considerándose en muchos casos un método tradicional para el aislamiento de hongos endófitos de banano, a pesar de las ligeras modificaciones que algunos autores han usado (Cao et al., 2002; Méndez-Castillo et al., 2017; Nuangmek et al., 2008; Pocasangre et al., 2000; Savani et al., 2021; Ting et al., 2008; Xia et al., 2011; Zakaria et al., 2016).

Una vez que las raíces se han esterilizado, se procede a cortar la raíz en fragmentos de aproximadamente 1-1,5 cm de largo, para ser colocadas en placas Petri con un medio sólido específico para hongos, como el agar papa dextrosa [PDA], complementado con antibióticos. Los aislados se dejan incubar en la oscuridad varios días entre 25-30 °C. Para verificar la eficacia del procedimiento de esterilización, como control negativo se colocan en placas Petri. con el mismo medio de cultivo, alícuotas de agua del enjuague final de la esterilización, y en caso de crecimiento de microorganismos, la muestra se descarta (Cao et al., 2002).

Zapata Henao et al. (2019) propone un método alternativo de desinfección, que consiste en colocar la muestra en un recipiente hermético durante 30 min en una atmósfera gaseosa (Cloro gaseoso, Cl₂), provocada por la reacción de 100 ml de hipoclorito de sodio [NaClO] al 6,25% y 5 ml ácido de clorhídrico [HCl] al 37%. Los tejidos obtenidos se siembran en PDA con 150 ppm de estreptomycin y se incuban a 25 °C durante 8–10 días para obtener aislados puros.

Los ensayos donde se contrastan los protocolos del método tradicional propuesto por Pocasangre et al. (2000) versus el método alternativo de Zapata Henao et al. (2019) mostraron que la esterilización con Cl₂ es el método más eficiente para remover contaminantes de la superficie radicular, ya que se logró obtener mayor heterogeneidad de grupos taxonómicos de hongos endófitos que con el método tradicional.

3.2 Endófitos constitutivos del banano

Durante los últimos años se han realizado varios estudios de aislamiento y caracterización de hongos endófitos asociados al banano en diferentes regiones del mundo, que han logrado aislar e identificar diferentes grupos taxonómicos de hongos endófitos a través de técnicas moleculares y/o caracteres morfológicos de cultivos puros (Cao et al., 2002; Gnanasekaran et al., 2015; Méndez-Castillo et al., 2017; Nuangmek et al., 2008; Núñez-Trujillo et al., 2013; Pocasangre et al., 2000; Savani et al., 2021; Shitole et al., 2019; Souza Junior et al., 2018; Thangavelu y Gopi 2015; Ting et al., 2008; Xia et al., 2011; Zakaria et al., 2016; Zapata Henao et al., 2019). Los resultados obtenidos por estas investigaciones se muestran en la Tabla 1, considerando las especies que tienen una mayor frecuencia de aparición.

3.3 Estrategias biotecnológicas para el cultivo del banano

El incremento de la población mundial genera presión sobre los recursos naturales para satisfacer la demanda alimenticia (Alori et al., 2017; Yadav et al., 2021). Específicamente, para aumentar el rendimiento de los cultivos se ha optado por el empleo de agroquímicos (Ahmad et al., 2018). Pero, la aplicación creciente y continua de estos productos han contribuido a la contaminación del aire y el deterioro de las capacidades productivas del suelo (aumento de la salinidad y desequilibrio de pH) (Adesemoye et al., 2017; Sharma et al., 2021). Es por ello que se han buscado alternativas innovadoras y amigables con el medio ambiente para reducir el uso de fertilizantes químicos (Guevara et al., 2014; Rashid et al., 2016). En este contexto, la inoculación de microorganismos podría considerarse como una estrategia potencial para promover la productividad y la sostenibilidad agrícola (García et al., 2021).

Los inoculantes microbianos son formulaciones a base de una o varias cepas de microorganismos vivos y

propios del suelo (rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, hongos micorrícicos y rizobios). Su aplicación, ya sea solos o combinados, en semillas, plantas y suelo, facilitan el crecimiento vegetal, mejoran la adaptación de los cultivos, promueven la resistencia frente a factores ambientales (sequía). También, incrementan la disponibilidad de nutrientes de la planta huésped a través de actividades biofísicas y bioquímicas que realizan estos microorganismos en la superficie terrestre (Alori et al., 2017; Jack et al., 2021; Restrepo Franco et al., 2015).

Tabla 1. Hongos endófitos aislados del banano.
Table 1. Endophytic fungi isolated from bananas.

Especie	Tipo de muestra	País de investigación	Técnica de identificación	Referencias
<i>Aspergillus spp.</i>	Cormo Raíz Rizosfera	Brasil China India España Tailandia	Identificación a través de caracteres morfológicos Identificación molecular (ADNnr)	Cao et al. (2002); Sikora et al. (2003); Núñez-Trujillo et al. (2013); Souza Junior et al. (2018); Shitole et al. (2019)
<i>A. oryzae</i>	Cormo	España	Identificación molecular (ADNnr)	Núñez-Trujillo et al. (2013)
<i>A. niger</i>	Raíz	India	Identificación a través de caracteres morfológicos.	Gnanasekaran et al. (2015); Shitole et al. (2019)
<i>A. creneus</i> <i>A. funiculosus</i> <i>A. itaconicus</i>	Raíz	India	Identificación a través de caracteres morfológicos.	Gnanasekaran et al. (2015);
<i>A. flavus</i>	Cormo	India España	Identificación a través de caracteres morfológicos. Identificación molecular (ADNnr)	Gnanasekaran et al. (2015); Núñez-Trujillo et al. (2013)
<i>A. versicolor</i>	Hoja	Brasil	Identificación molecular (ADNnr).	Souza Junior et al. (2018)
<i>Corndana sp.</i> <i>Nodulisporium spp.</i>	Hoja Raíz	Tailandia	Identificación a través de caracteres morfológicos.	Nuangmek et al. (2008)
<i>Chaetonium spp.</i>	Cormo	España	Identificación molecular (ADNnr)	Núñez-Trujillo et al. (2013)
<i>Fusarium spp.</i>	Cormo Raquis	Colombia España Tailandia	Identificación molecular (ADNnr)	Pocasangre et al. (2000); Sikora et al. (2003); Núñez-Trujillo et al. (2013); Méndez-Castillo et al. (2017)
<i>Fusarium oxysporum</i>	Raíz	India Malasia Tailandia	Identificación molecular (ADNnr)	Sikora et al. (2003); Ting et al.(2008); Zakaria et al. (2012)
<i>Fusarium solani</i>	Raíz	Malasia Tailandia	Identificación molecular (ADNnr)	Sikora et al. (2003); Zakaria y Rahman (2011)
<i>Fusarium proliferatum</i> <i>Rhizopus oryzae</i> <i>Rhizopus stolonifer</i> <i>Rhizoctonia solani</i>	Raíz	Malasia	Identificación molecular (ADNnr).	Zakaria et al. (2012)
<i>Hypocreales spp.</i> <i>Nigrospora zimmermanii</i> <i>Peroneutypa scoparia</i>	Hoja	Brasil	Identificación molecular (ADNnr)	Souza Junior et al. (2018)
<i>Penicillium spp.</i>	Raíz Hoja Cormo	España China	Identificación molecular (ADNnr)	Cao et al. (2002); Sikora et al. (2003); Núñez-Trujillo et al. (2013); Cosoveanu et al. (2016).

Especie	Tipo de muestra	País de investigación	Técnica de identificación	Referencias
<i>Penicillium radicum</i>	Cormo	España	Identificación molecular (ADNnr)	Núñez-Trujillo et al. (2013)
<i>Penicillium solitum</i>	Raquis	Colombia	Identificación molecular (ADNnr)	Méndez-Castillo et al. (2017)
<i>Verticillium</i> spp.	Cormo Hoja	Colombia Honduras Guatemala	Identificación a través de caracteres morfológicos	Zapata Henao et al.(2019); Pocasangre et al. (2000)
<i>Trichoderma</i> spp.	Cormo Pseudotallo	Colombia	Identificación a través de caracteres morfológicos	Pocasangre et al. (2000); Zapata Henao et al.(2019)
<i>T. asperellum</i>	Raíz	China	Identificación molecular (ADNnr)	Xia et al. (2011)
<i>T. atroviride</i>	Raíz	Malasia China	Identificación molecular (ADNnr)	Xia et al. (2011); Zakaria et al. (2016).
<i>T. reesei</i>	Raíz	India	Identificación molecular (ADNnr)	Savani et al. (2021)
<i>T. viride</i>	Raíz	India	Identificación a través de caracteres morfológicos	Shitole et al. (2019)
<i>T. harzianum</i>	Raíz Cormo Raquis	India Colombia	Identificación microscópica y caracteres morfológicos Identificación molecular (ADNnr)	Thangavelu y Gopi (2015); Méndez-Castillo et al. (2017); Shitole et al. (2019)
<i>T. koningii</i>	Raíz Cormo	India	Identificación a través de caracteres morfológicos	Gnanasekaran et al. (2015); Thangavelu y Gopi (2015)
<i>T. pseudokoningii</i>	Raíz Cormo	India	Identificación microscópica y caracteres morfológicos	Thangavelu y Gopi (2015)

El desarrollo de inóculos biológicos, principalmente aquellos de origen fúngico, requieren un procedimiento específico, ya que su funcionalidad y persistencia dependen de la interacción con otros organismos presentes en la rizosfera (competencia, parasitismo o cooperación), y el medio ambiente. Por lo que, se debe tomar en cuenta métodos y herramientas correctas para el aislamiento, formulación y su posterior administración (Pozo et al., 2021). Las estrategias biotecnológicas aplicadas en el manejo de suelos, y los organismos asociados, podrían aportar a la sostenibilidad de los cultivos (Bejarano Perona y Cano Vidal, 2007). Según, Rashid et al. (2016) los hongos endófitos son capaces de producir metabolitos secundarios que promueven el crecimiento de las plantas y mejoran su resistencia a factores abióticos y bióticos.

En el caso del banano se ha confirmado que existe gran diversidad de hongos endófitos, especialmente en la raíz (Gómez-Lama Cabanás et al., 2021). Pese a esto, Srivastava y Singh (2019) mencionan que, para el desarrollo de inoculantes en el banano se debe efectuar una evaluación inicial de la cepa micorrízica, con el fin de acoplar la dosis y tipo de inoculante apropiada para cada cultivo de *Musa* spp. Es así como, Ochieno (2020) propone un protocolo para el análisis de endófitos en el banano (Figura 1).

3.3.1 Métodos para la aplicación de inoculantes fúngicos en el banano

La colonización de hongos endófitos en los cultivos de banano se puede realizar utilizando técnicas de inoculación como: pulverización foliar, pulverización en el suelo, inmersión de las raíces o inyección (Vega, 2018).

La pulverización foliar se basa en la administración de una formulación microbiana en las hojas con un equipo de pulverización adecuado (Preiningner et al., 2018). Mientras que la pulverización en el suelo implica la aplicación de suspensiones conidiales alrededor de la zona radicular de las plántulas (Bamisile et al., 2018). La técnica de inmersión de las raíces se basa en romper la punta de la raíz del banano y sumergir en una suspensión de conidios por un tiempo determinado, previo a la siembra de las plántulas (Chaves et al., 2009). Finalmente, el proceso de inyección consiste en aplicar una formulación de conidios a través de una jeringa en el pseudotallo o cormo del banano (Ibarra, 2019; Kavino y Manoranjitham, 2018).

Akello et al. (2007) realizaron un estudio para la introducción de *Beauveria bassiana* en el banano, comparando tres métodos de inoculación: inmersión de la raíz y rizoma en una suspensión de conidios, inyección de conidios en la planta, e inoculación de una mezcla de conidios con sustrato sólido. Se demostró que la inmersión de raíces y rizomas en suspensiones de conidios fue el método de inoculación más adecuado para el banano.

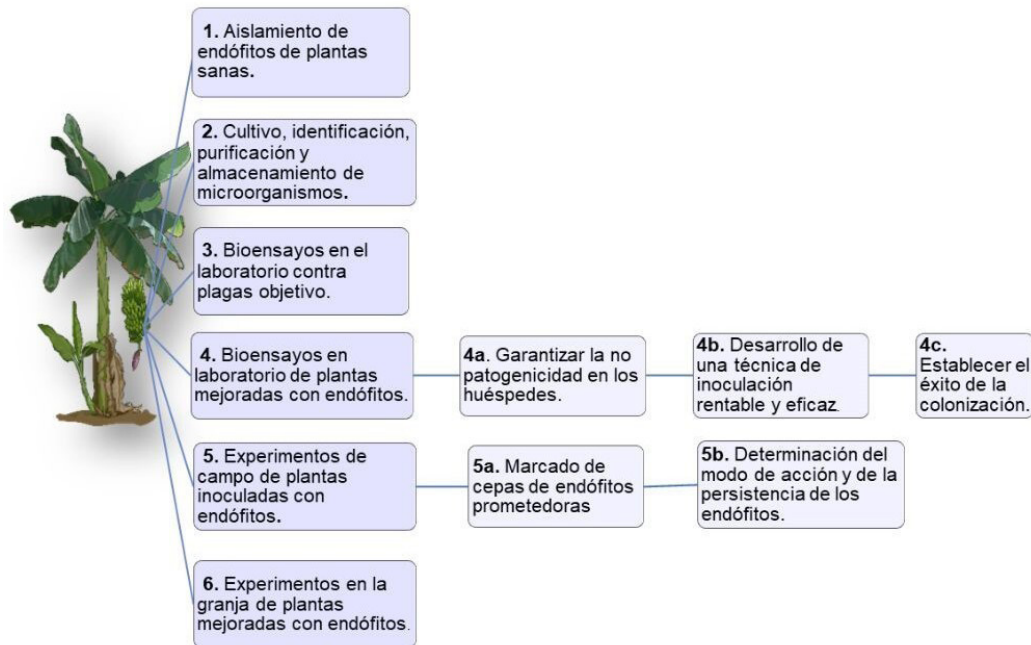


Figura 1. Protocolo de investigación para el desarrollo de inoculantes a partir de hongos endófitos del banano

(Adaptado de Ochieno, 2020).

Figure 1. Research protocol for the development of inoculants from banana endophytic fungi (Adapted from Ochieno, 2020).

3.3.2 Beneficios de la aplicación de hongos endófitos en el banano

La aplicación de inoculantes fúngicos endémicos del banano como: *Fusarium oxysporum*, *Paecilomyces lilacinus*, *Penicillium spp.*, *Fusarium spp.*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Talaromyces pinophilus*, ya sea solos o combinados, mejoran el desarrollo de *Musa spp.* (Castillo et al., 2019; Chaves et al. 2016; Dubois et al. 2004; Mwaura et al. 2010; Patel et al. 2021; Pérez Vicente et al. 2009; Ting et al. 2008). Varios estudios han reportado que los hongos endófitos aislados de especies de *Musa* tienen potencial para promover el crecimiento de las plantas, y también mejoran la resistencia a enfermedades (Zapata Henao et al., 2019; Mwaura et al., 2010; Waweru et al., 2014).

Se ha demostrado que *Fusarium oxysporum* actuó como agente biocontrolador contra huevos de *Cosmopolites sordidus* y *Radopholus similis* (Dubois et al. 2004). Así mismo, la aplicación en conjunto de *F. oxysporum* y *Serratia marcescens* inhibió el marchitamiento acelerado provocado por la infección de *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* raza 4 (Foc R4T), y promovió el desarrollo de plantas sanas y enfermas (Ting et al. 2008). También, se ha logrado evidenciar que hongos como *Paecilomyces lilacinus*, *Penicillium spp.* y *Fusarium spp.*, provenientes de hojas de banano depositadas en el suelo con presencia de Sigatoka, controlan la propagación del hongo *Mycosphaerella fijiensis*, debido a su capacidad para aprovechar la quitina presente en los pseudotecios del patógeno (Carr-Rodríguez, 2009). Otros estudios han confirmado que una cepa no patogénica de *Fusarium oxysporum* provoca la muerte y parálisis del endoparásito *Helicotylenchus multicinctus*, causante de lesiones superficiales de la raíz del banano (Delgado Párraga, 2012; Mwaura et al. 2009). La administración individual de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma asperellum* en el sistema radical y el suelo redujo de forma significativa la incidencia y severidad de Foc R4T (Chaves et al. 2016; Pérez Vicente et al. 2009). Así mismo, la introducción de *T. harzianum* y micorrizas arbusculares actuó como control biológico contra Foc R4T, e incrementó significativamente la altura de la planta, el diámetro del pseudotallo y el peso de la raíz del banano (Castillo et al., 2019). Finalmente, el hongo *Talaromyces pinophilus*, aislado de la rizosfera del banano, disminuyó la presencia de *Aspergillus niger* mediante la segregación de β -glucanasa y quitinasa, además estimuló el crecimiento de las plantaciones de banano a través de la producción de sideróforos, ácido

indol-3-acético (IAA) y solubilización de fosfatos (Patel et al., 2021).

3.3.3 Beneficios de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el banano

En los últimos años, se han realizado varios estudios enfocados en la introducción de HMA en el banano, para comprobar sus efectos sobre el rendimiento de los cultivos. Algunos de estos HMA han sido aislados de plantas asintomáticas de banano, incluyendo *Rhizophagus irregularis* (anteriormente *Glomus intraradices*), *Acualospora scrobiculata*, *Glomus* spp., *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarita*, *Funneliformis mosseae* (anteriormente *Glomus mosseae*) y *Glomus microcarpum* (Elsen et al., 2008; Gbongue et al., 2019; Lin et al., 2021; Oye Anda et al., 2015; Ruffykiri et al., 2000; Srivastava y Singh, 2019).

La introducción de *Rhizophagus irregularis* indujo a la resistencia de *Radopholus similis* y *Pratylenchus coffeae* en el banano, reduciendo hasta en un 84% la presencia de nematodos (Elsen et al., 2008). Retrasó los síntomas causados por *M. fijiensis* (Sigatoka negra) e incrementó significativamente la presencia de Si, P y Ca en brotes y raíces del banano (Gbongue et al., 2019; Oye Anda et al., 2015). Fortaleció la pared celular de la raíz mediante la producción de lignina (Lin et al., 2021). Así mismo, aumentó la absorción de agua en plantas de banano bajo estrés por Al (Ruffykiri et al., 2000). La aplicación de *Acualospora scrobiculata* asociado con *R. irregularis*, favoreció positivamente el desarrollo de la raíz en condiciones de estrés hídrico y la asimilación de fotosintatos en las hojas, además aumentó la absorción de agua y nutrientes en el banano (Srivastava y Singh, 2019).

De igual forma, la introducción de *Glomus etunicatum* en conjunto con *Gigaspora margarita* intensificó los niveles de P, N y K en el banano (Mwashasha et al., 2011). Así mismo, se ha evidenciado que *G. margarita* promueve el crecimiento de plántulas de banano y fomenta la protección contra FocR4T (Borges et al., 2007). Por otro lado, la inoculación de *Glomus clarum* (nativo del banano) y *G. etunicatum* en plántulas de banano potenció la concentración de Ca y la tolerancia al estrés salino (Yano-Melo et al., 2003). La adición de *Glomus* spp. y *G. proliferum* aumentó la altura del pseudotallo, el área de superficie foliar y el peso seco de raíces, además disminuyó el índice de necrosis de la raíz (Declerck et al., 2002). Finalmente, la asociación de *Funneliformis mosseae* y *Glomus microcarpum* aumentaron el contenido de clorofila foliar y nutrientes como N, P y K en el banano (Kammadavil Sahodaran et al., 2019).

4. Perspectivas

Ecuador es uno de los principales países productores de banano a nivel mundial (FAO, 2021). El banano, al igual que otros cultivos, no está exento de problemas, limitaciones y desafíos. La aplicación de fertilizantes químicos y pesticidas a gran escala no ha cambiado a través del tiempo en el sector bananero ecuatoriano. Por lo que es necesario mejorar o renovar las estrategias en el sistema de producción bananera, implementando tecnologías alternativas que involucren procesos biológicos, no solo para reducir el impacto ambiental, sino también para incrementar la productividad y minimizar los costos de producción (Dawson, 2016; Elbehri et al., 2015).

Tras conocer la importancia de los microorganismos en diversos sistemas de producción, se percibe que tienen espléndidas posibilidades para mantener la productividad de los cultivos deseados (Hazarika et al., 2015). Es así que, durante los últimos años, la inoculación de hongos endófitos como estrategia biológica en la agricultura está ganando interés en la comunidad científica (Yashavantha Rao et al., 2020). Esto se debe principalmente a que se ha comprobado la capacidad de los hongos para promover el crecimiento de las plantas, controlar patógenos e incrementar resistencia al estrés (hídrico y salino) (Ripa et al., 2019; Silva-Valenzuela et al., 2020).

Se ha evidenciado que el banano alberga una comunidad microbiana muy variable de hongos y bacterias (Gómez-Lama Cabanás et al., 2021). Pese a esto, hasta la fecha las investigaciones enfocadas a la inoculación de hongos endófitos en *Musa* spp., a nivel mundial como estrategia biotecnológica, son muy limitadas. Gran parte de estos ensayos se han centrado principalmente en el biocontrol contra plagas (Foc R4T, *M. fijiensis*) (Carr-Rodríguez, 2009; Castillo et al., 2019; Chaves et al., 2016; Gbongue et al., 2019; Pérez Vicente et al., 2009; Ting et al., 2008) y parásitos (*R. similis*) (Dubois et al., 2004; Elsen et al., 2008). Sin embargo, dichos estudios se han realizado *in vitro*, por lo que es necesario realizar pruebas de campo para comprender los mecanismos que favorecen o dificultan la colonización endófitica en las plantas, particularmente en condiciones

climáticas adversas, y de esta manera diseñar opciones que permitan el funcionamiento óptimo de los microorganismos en el crecimiento, la salud y la nutrición del banano. Otra aplicación poco explorada es el desarrollo de inoculantes con hongos endémicos del banano que posean efecto promotor de crecimiento. Por ende, los estudios de campo y desarrollo de inoculantes con potencial para biotización son temas prometedores que abren caminos para la innovación en sistema agrícola y merecen ser investigados más a detalle para aprovechar el potencial que poseen los hongos asociados a las raíces del banano.

5. Conclusiones

Se logró recopilar información relevante sobre aislamiento y caracterización de hongos endófitos constitutivos del banano con potencial biotecnológico, gran parte de estos estudios han sido realizados en diversos países de Asia y Europa. Diversos estudios han comprobado que el banano, principalmente la raíz, alberga una comunidad muy variable de hongos, de los cuales los géneros *Fusarium* y *Trichoderma* son los grupos de mayor aparición en el banano. Frente a esto, muchos estudios con enfoque biotecnológico están direccionados al biocontrol de plagas (*Foc R4T*, *M. fijiensis*) y parásitos (*R. similis*) utilizando bioinsumos basados en microorganismos.

Contribuciones de los autores

- Betty Peregrina Acaro Reyes: investigación, redacción – borrador original.
- Stefania Cevallos: conceptualización, validación, redacción – revisión y edición.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Abello, J. F., y Kelemu, S. (2006). Hongos endófitos: ventajas adaptativas que habitan en el interior de las plantas. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 7(2), 55-57. https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num2_art:70
- Adesemoye, A. O., Yuen, G., & Watts, D. B. (2017). Microbial inoculants for optimized plant nutrient use in integrated pest and input management systems. En V. Kumar, M. Kumar, S. Sharma, y R. Prasad (eds.), *Probiotics and Plant Health* (pp. 21-40). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2_2
- Ahmad, M., Pataczek, L., Hilger, T. H., Zahir, Z. A., Hussain, A., Rasche, F., Schaffleitner, R., y Solberg, S. Ø. (2018). Perspectives of Microbial inoculation for sustainable development and environmental management. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2992. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02992>
- Akello, J., Dubois, T., Gold, C. S., Coyne, D., Nakavuma, J., y Paparu, P. (2007). *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin as an endophyte in tissue culture banana (*Musa spp.*). *Journal of Invertebrate Pathology*, 96(1), 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2007.02.004>
- Alori, E. T., Dare, M. O., y Babalola, O. O. (2017). Microbial Inoculants for Soil Quality and Plant Health. En E. Lichtfouse (ed.), *Sustainable Agriculture Reviews. Sustainable Agriculture Reviews*, vol 22 (pp. 281–307). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48006-0_9
- Ancasi-Espejo, R. G., Montero-Tonconi, J. R., Ferreira-Castedo, N. J., y Muñoz-Guzmán, I. (2016). Determi-

- nación un mejor medio de cultivo en la fase de establecimiento para la propagación in vitro de plátano (*Musa paradisiaca* L.). *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(2), 104-111. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942016000200008
- Aragón, S. M., y Beltrán-Acosta, C. (2018). Los hongos endófitos en el control biológico de fitopatógenos e insectos plaga. En A. M. Cotes (ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros. Volumen 2: Aplicaciones y perspectivas* (pp. 850-877). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34157>
- Asociación de Comercialización y Exportación de Banano [ACORBANEC]. (2021). *Análisis de las exportaciones de banano de enero a diciembre del 2021*. <https://acorbanec.com/biblioteca/>
- Bamisile, B. S., Dash, C. K., Akutse, K. S., Keppanan, R., Afolabi, O. G., Hussain, M., Qasim, M., y Wang, L. (2018). Prospects of endophytic fungal entomopathogens as biocontrol and plant growth promoting agents: An insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants. *Microbiological Research*, 217, 34-50. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.08.016>
- Banco Central del Ecuador [BCE]. (2021). *Evolución de la balanza comercial enero-diciembre 2020*. <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/299-evoluci%C3%B3n-de-la-balanza-comercial%0Apub.econ@bce.ec>
- Barrera Berdugo, S. E., y Rodríguez López, N. (2010). Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en plántulas de *Elaeis guineensis* (Palmaceae) con alto nivel de fósforo en el suelo. *Acta Biológica Colombiana*, 15(1), 105-113. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/9201>
- Barrios, M. B.,... y Sandoval, M. C. (2018). Caracterización de hongos presentes en suelos con usos contrastantes. *Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental*, 5(1), 3-9.
- Bejarano Perona, P., y Cano Vidal, M. (2007). Las micorrizas. *AMBIENT*, 27, 33-36. <https://ambientonline.es/wp-content/uploads/2020/06/AMBIENT-2007.pdf#page=39>
- Belezaca Pinargote, C., Calle Gill, D., Prieto Benavides, O., López Tobar, R., Solano Apuntes, E., y Meza Bone, F. (2020). Hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a plantaciones de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (balsa) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología*, 12(1), 57-63. <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i1.312>
- Blasco López, G., y Gómez Montaña, F. J. (2014). Propiedades funcionales del plátano. *Revista Médica de La Universidad Veracruzana*, 14(2), 22-26. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=61315>
- Borges, A. J. da S., Trindade, A. V., Matos, A. P. de, y Peixoto, M. de F. da S. (2007). Redução do mal-do-panamá em bananeira-maçã por inoculação de fungo micorrízico arbuscular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(1), 35-41. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000100005>
- Calvo Vélez, P., Reymundo Meneses, L., y Zúñiga Dávila, D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 141. <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.369>
- Camarena-Gutiérrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 409-421. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
- Camargo Ricalde, S. L., Montaña Arias, N. M., de la Rosa Mera, C. J., y Montaña Arias, S: A. (2012). Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, 13(7), art. 72. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/5040959>
- Cao, L. X., You, J. L., y Zhou, S. N. (2002). Endophytic fungi from *Musa acuminata* leaves and roots in South China. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18(2), 169-171. <https://doi.org/10.1023/A:1014491528811>
- Carr-Rodríguez, C. (2009). *Aislamiento y selección de hongos antagonistas en plantaciones de banano (Musa AAA) para el combate biológico de la Sigatoka negra*. Instituto tecnológico de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/2238/2779>
- Casallas Malaver, L. F. (2010). Evaluación del análisis fisicoquímica del banano común (*Musa sapientum* L) transformado por acción de la levadura *Candida guilliermondii*. Pontificia Universidad Javeriana. <https://doi.org/10.60794/bt1j-mf10>
- Castillo, A., Puig, C., y Cumagun, C. (2019). Non-Synergistic Effect of *Trichoderma harzianum* and *Glomus* spp. in reducing infection of *Fusarium* Wilt in Banana. *Pathogens*, 8(2), 43. <https://doi.org/10.3390/pathogens8020043>
- Cepero de García, M. C., Restrepo Restrepo, S., Franco-Molano, A. E., Cárdenas Toquica, M., y Vargas Estu-

- piñán, N. (2012). Ecología. En *Biología de Hongos* (pp. 19-38). Universidad de los Andes.
- Chaves, N. P., Pocasangre, L. E., Elango, F., Rosales, F. E., y Sikora, R. (2009). Combining endophytic fungi and bacteria for the biocontrol of *Radopholus similis* (Cobb) Thorne and for effects on plant growth. *Scientia Horticulturae*, 122(3), 472-478. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.025>
- Chaves, N. P., Staver, C., y Dita, M. A. (2016). Potential of *Trichoderma asperellum* for biocontrol of Fusarium wilt in banana. *Acta Horticulturae*, 1114, 261-266. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1114.35>
- Cosoveanu, A., Trujillo Martin, E., Giménez Marino, C., Reina, M., Flavin, R. M., y Cabrera, R. (2016). Endophytic fungi isolated from *Musa acuminata* ‘Dwarf Cavendish’ and their activity against phytopathogenic fungi. *Journal of Agriculture Biotechnology*, 1(1), 35-43. <https://www.lawarencepress.com/ojs/index.php/JAB/article/view/267/index.html>
- Cuenca, G., Cáceres, A., Oirdobro, G., Hasmy, Z., y Urdaneta, C. (2007). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia*, 32(1), 23-29. <https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442007000100006>
- Dawson, C. (2016). *Banano. Perfil de INFOCOMM*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Comercio y Desarrollo [UNCTAD]. https://unctad.org/es/system/files/official-document/INFOCOMM_cp01_Banana_es.pdf
- Declerck, S., Risede, J. M., Rufyikiri, G., y Delvaux, B. (2002). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on severity of root rot of bananas caused by *Cylindrocladium spathiphylli*. *Plant Pathology*, 51(1), 109–115. <https://doi.org/10.1046/j.0032-0862.2001.656.x>
- Delgado Párraga, A. (2012). *Determinación del nivel crítico del nemátodo Helicotylenchus multicinctus en plantas de banano (Musa AAA) y plátano (Musa AAB), establecidas en invernadero y área comercial*. Universidad Técnica de Babahoyo. <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/255>
- Dipta, B., Bhardwaj, S., y Kaushal, M. (2021). Overview of nutrient and disease management in banana. En M. Kaushal, y R. Prasad (eds.), *Microbial Biotechnology in Crop Protection* (pp. 55-78). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0049-4_2
- Dubois, T., Gold, C. S., Coyne, D., Paparu, P., Mukwaba, E., Athman, S., Kapinduand, S., y Adipala, S. (2004). Merging biotechnology with biological control: *Banana Musa* tissue culture plants enhanced by endophytic fungi. *Uganda Journal of Agricultural Sciences*, 9(1), 445-451. <https://www.ajol.info/index.php/ujas/article/view/134983>
- Elbehri, A., Calberto, G., Staver, C., Hospido, A., Roibas, L., Skully, D., Siles, P., Arguello, J., Sotomayor, I., y Bustamante, A. (2015). Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a0ecba08-d28b-4bf9-a704-b2be5f9f697f/content>
- Elsen, A., Gervacio, D., Swennen, R., y de Waele, D. (2008). AMF-induced biocontrol against plant parasitic nematodes in *Musa* sp.: a systemic effect. *Mycorrhiza*, 18(5), 251-256. <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0173-6>
- Fierro Ulloa, I. J., y Villacres Rojas, C. E. (2014). Diagnóstico de la cadena logística de exportación del banano ecuatoriano hacia estados unidos de américa. *Saber, Ciencia y Libertad*, 9(1), 77-90. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2014v9n1.1985>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2021). *Banana market review – Preliminary results 2020*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb5150en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2020). *Análisis del mercado del banano: Panorama general de febrero 2020*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fe596d-cc-7171-48b0-b1fc-035cb3a27f4e/content>
- García de Salamone, I. E. (2011). Microorganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. *Revista Argentina de Microbiología*, 43(1), 1-3. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=213019226001>
- García, M. V. C., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2021). Combining microorganisms in inoculants is agronomically important but industrially challenging: case study of a composite inoculant containing Bradyrhizobium and Azospirillum for the soybean crop. *AMB Express*, 11(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s13568-021-01230-8>
- Gbongue, L.-R., Lalaymia, I., Zeze, A., Delvaux, B., y Declerck, S. (2019). Increased silicon acquisition in bananas colonized by *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 reduces the incidence of *Pseudocercospora fijiensis*. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1977. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01977>

- Giusiano, G., Rodolfi, M., Mangiaterra, M., Piontelli, E., y Picco, A. M. (2019). Hongos endófitos en 2 plantas medicinales del nordeste argentino. I: Análisis morfotaxonómico de sus comunidades foliares. *Boletín Micológico*, 25, 15–27. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2010.25.0.70>
- Gnanasekaran, P., Salique, S. M., y Panneerselvam, A. (2015). Isolation and identification of soil mycoflora in banana field at Manachanallur, Tiruchirappalli Dt., Tamil Nadu, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(7), 729-740. <http://www.ijcmas.com/vol-4-7/P.%20Gnanasekaran,%20et%20al.pdf>
- Gómez-Lama Cabanás, C., Fernández-González, A. J., Cardoni, M., Valverde-Corredor, A., López-Cepero, J., Fernández-López, M., y Mercado-Blanco, J. (2021). The banana root endophytome: Differences between mother plants and suckers and evaluation of selected bacteria to control *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Journal of Fungi*, 7(3), 194. <https://doi.org/10.3390/jof7030194>
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., y Vera-Núñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i6.1376>
- Guevara, Y., Hernández, A., San Juan, A., y Gómez, E. (2014). NITROFIX: Alternativa para la agricultura orgánica y sostenible. *Agricultura Orgánica*, 2, 14-15.
- Hazarika, T. K., Bhattacharyya, R. K., y Nautiyal, B. P. (2015). Growth parameters, leaf characteristics and nutrient status of banana as influenced by organics, biofertilizers and bioagents. *Journal of Plant Nutrition*, 38(8), 1275-1288. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.957399>
- Hobbie, E. A., y Horton, T. R. (2007). Evidence that saprotrophic fungi mobilise carbon and mycorrhizal fungi mobilise nitrogen during litter decomposition. *New Phytologist*, 173(3), 447-449. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01984.x>
- Honrubia, M. (2009). Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 66(S1), 133-144. <https://doi.org/10.3989/ajbm.2226>
- Ibarra, J. (2019). *Integración de inductores de resistencia con aplicación foliar e inyección en el control de la Sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet) en banano y plátano*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/4630>
- InfoAgro. (2022). *El cultivo del plátano*. InfoAgro. https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm
- Jack, C. N., Petipas, R. H., Cheeke, T. E., Rowland, J. L., y Friesen, M. L. (2021). Microbial Inoculants: Silver Bullet or Microbial Jurassic Park? *Trends in Microbiology*, 29(4), 299-308. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2020.11.006>
- Kammadavil Sahodaran, N., Arun, A. K., y Ray, J. G. (2019). Native arbuscular mycorrhizal fungal isolates (*Funneliformis mosseae* and *Glomus microcarpum*) improve plant height and nutritional status of banana plants. *Experimental Agriculture*, 55(6), 924-933. <https://doi.org/10.1017/S0014479719000036>
- Kavino, M., y Manoranjitham, S. K. (2018). In vitro bacterization of banana (*Musa* spp.) with native endophytic and rhizospheric bacterial isolates: Novel ways to combat Fusarium wilt. *European Journal of Plant Pathology*, 151(2), 371-387. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1379-2>
- Kookal, S. K., y Thimmaiah, A. (2018). Nutritional composition of staple food bananas of three cultivars in India. *American Journal of Plant Sciences*, 09(12), 2480-2493. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.912179>
- Lin, P., Zhang, M., Wang, M., Li, Y., Liu, J., y Chen, Y. (2021). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus modulates defense-related genes expression in banana seedlings susceptible to wilt disease. *Plant Signaling & Behavior*, 16(5), 1884782. <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1884782>
- López, A., y Espinoza, J. (1995). *Manual de nutrición y fertilización del banano*. International Plant Nutrition Institute. <http://nla.ipni.net/article/NLA-3008>
- Lovera, M., y Cuenca, G. (2007). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sávana natural y una sabana perturbada de la Gran Sabana, Venezuela. *Interciencia*, 32(2), 108. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000200008
- Lutzoni, F., Kauff, F., Cox, C. J., McLaughlin, D., Celio, G., Dentinger, B., Padamsee, M., Hibbett, D., James, T. Y., Baloch, E., Grube, M., Reeb, V., Hofstetter, V., Schoch, C., Arnold, A. E., Miadlikowska, J., Spatafora, J., Johnson, D., Hambleton, S., Crockett, M., Shoemaker, R., Sung, G-H., Lücking, R., Lumbsch, T., O'Donnell, K., Binder, M., Diederich, P., Ertz, D., Gueidan, C., Hansen, K., Harris, R. C., Hosaka, K., Lim, Y-W., Matheny, B., Nishida, H., Pfister, D., Rogers, J., Rossman, A., Schmitt, I., Sipman, H., Stone, J., Sugiyama, J., Yahr, R., y Vilgalys, R. (2004). Assembling the fungal tree of life: progress, classifica-

- tion, and evolution of subcellular traits. *American Journal of Botany*, 91(10), 1446-1480. <https://doi.org/10.3732/ajb.91.10.1446>
- Marín, C. (2018). Conceptos fundamentales en ecología de hongos del suelo: una propuesta pedagógica y de divulgación. *Boletín Micológico*, 33(1), 32. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2018.33.1.1168>
- Mejía Calderón, G. (2018). *Cultivo de plátano (Musa paradisiaca)*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”. <https://centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-platano/>
- Méndez-Castillo, L., Prieto-Correa, E., y Jiménez-Junca, C. (2017). Identification of fungi isolated from banana rachis and characterization of their surface activity. *Letters in Applied Microbiology*, 64(3), 246-251. <https://doi.org/10.1111/lam.12712>
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017). *Informe sector bananero ecuatoriano*. Ministerio de Comercio Exterior. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-esp%C3%B1ol-04dic17.pdf>
- Murillo Cuevas, F. D., Adame García, J., Cabrera Mireles, H., y Fernández Viveros, J. A. (2019). Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 23-33. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1792>
- Mwashasha, R. M., Kahangi, E. M., Jefwa, J. M., y Vanlauwe, B. (2011). Mycorrhiza and tissue-culture banana production. *Acta Horticulturae*, 911, 365-374. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.911.42>
- Mwaura, P., Dubois, T., Losenge, T., Coyne, D., y Kahangi, E. (2010). Effect of endophytic *Fusarium oxysporum* on paralysis and mortality of *Pratylenchus goodeyi*. *African Journal of Biotechnology*, 9(8), 1130-1134. <https://doi.org/10.5897/AJB09.964>
- Mwaura, P., Kahangi, E. M., Losenge, T., Dubois, T., y Coyne, D. (2009). In vitro screening of endophytic *Fusarium oxysporum* against banana nematode (*Helicotylenchus multicinctus*). *African Journal of Horticultural Science*, 2, 103-110. <http://ir.jkuat.ac.ke/handle/123456789/1537?show=full>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2020). *Boletín Técnico: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2020*. Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2020/>
- Nuangmek, W., McKenzie, E. H. C., y Lumyong, S. (2008). Endophytic fungi from wild banana (*Musa acuminata* Colla) works against anthracnose disease caused by *Colletrichum musae*. *Research Journal of Microbiology*, 3(5), 368-374. <https://doi.org/10.3923/jm.2008.368.374>
- Núñez-Trujillo, G., Cabrera, R., Cosoveanu, A., Martín Toledo, T., Giménez, C. (2013). Survey of banana endophytic fungi isolated in artificial culture media from an applied viewpoint. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 17(2), 22-25. <https://journal-hfb.usab-tm.ro/engleza/jhfb2013.html>
- Ochieno, D. M. W. (2020). Towards consensus on the transfer of *Fusarium oxysporum* V5w2-enhanced tissue culture banana technology to farmers through public-private partnerships in East Africa. *Scientific African*, 10, e00605. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00605>
- Orduz Tovar, S. A., Machado Cuéllar, L., y Rodríguez Suárez, L. (2021). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Revista Nova*, 6, 27-38. <https://doi.org/10.23850/25004476.3681>
- Osorio-Vega, N. W. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. En *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 43-71). Sociedad colombiana de la ciencia del suelo: CENICAFE: Federación Nacional de Cafeteros. https://doi.org/10.38141/10791/0003_3
- Oye Anda, C. C., Dupré de Boulois, H., y Declerck, S. (2015). The arbuscular mycorrhiza fungus *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 decreases disease severity of Black Sigatoka on banana c.v. Grande naine, under *in vitro* culture conditions. *Fruits*, 70(1), 37-46. <https://doi.org/10.1051/fruits/2014041>
- Paris, M. (2016). Diversidad y distribución de hongos endófitos en endemismos canarios. Universidad de la Laguna. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/6750>
- Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 6(10), 763-775. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1987>
- Patel, D., Patel, A., Patel, M., y Goswami, D. (2021). *Talaromyces pinophilus* strain M13: a portrayal of novel groundbreaking fungal strain for phytointensification. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8758-8769. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11152-w>
- Pérez Vicente, L., Batlle Viera, A., Chacón Benazet, J., y Montenegro Moracén, V. (2009). Eficacia de *Trichoderma harzianum* A34 en el biocontrol de *Fusarium oxysporum* f. Sp. *cubense*, agente causal de la

- marchitez por *Fusarium* o Mal de Panamá de los bananos en Cuba. *Fitosanidad*, 13(4), 259-264. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-30092009000400006
- Peteira Delgado, B., Arévalo Ortega, J., Ynfante Martínez, D., y Martínez Coca, B. (2021). Los hongos endófitos y sus aplicaciones potenciales en la agricultura. *Revista de Protección Vegetal*, 36(3), 1-20. <https://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1167>
- Pfenning, L. H., y Magalhães de Abreu, L. (2012). Hongos del suelo saprófitos y patógenos de plantas. En F. M. S. Moreira, E. J. Huising, y D. E. Bignell (eds.), *Manual de biología de suelos tropicales* (1ª ed) (pp. 243-280). <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/217>
- Pocasangre, L., Sikora, R. A., Vilich, V., y Schuster, R.-P. (2000). Survey of banana endophytic fungi from Central America and screening for biological control of *Radopholus similis*. *Acta Horticulturae*, 531, 283-290. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.531.47>
- Pozo, M. J., Zabalgoceazcoa, I., Vazquez de Aldana, B. R., y Martínez-Medina, A. (2021). Untapping the potential of plant mycobiomes for applications in agriculture. *Current Opinion in Plant Biology*, 60, 102034. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2021.102034>
- Preininger, C., Sauer, U., Bejarano, A., y Berninger, T. (2018). Concepts and applications of foliar spray for microbial inoculants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(17), 7265-7282. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9173-4>
- Pulido Agudelo, D. P., y Nino Moreno, J. S. (2015). Aislamiento y evaluación de hongos solubilizadores de fosfatos asociados al sistema productivo de banano (*Musa paradisiaca*) en zonas de los departamentos de Magdalena, Antioquia y Cundinamarca, Colombia. Corporación Universitaria Minuto de Dios. <http://hdl.handle.net/10656/3523>
- Ramos, E., y Zúñiga, D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 123. <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.367>
- Rashid, M. I., Mujawar, L. H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I. M. I., y Oves, M. (2016). Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research*, 183, 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>
- Restrepo Franco, G. M., Ceballos Aguirre, N., Sánchez Toro, O. J., y Valenzuela Ospina, K. T. (2015). *Importancia de los inoculantes biológicos en la agricultura*. Centro Editorial Universidad Católica de Manizales. <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/2167>
- Rillig, M. C., Sosa-Hernández, M. A., Roy, J., Aguilar-Trigueros, C. A., Vályi, K., y Lehmann, A. (2016). Towards an Integrated Mycorrhizal Technology: Harnessing Mycorrhiza for Sustainable Intensification in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1625. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01625>
- Ripa, F. A., Cao, W., Tong, S., y Sun, J. (2019). Assessment of plant growth promoting and abiotic stress tolerance properties of wheat endophytic fungi. *BioMed Research International*, 2019, 6105865. <https://doi.org/10.1155/2019/6105865>
- Rufyikiri, G., Declerck, S., Dufey, J. E., y Delvaux, B. (2000). Arbuscular mycorrhizal fungi might alleviate aluminium toxicity in banana plants. *New Phytologist*, 148(2), 343-352. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00761.x>
- Sabio, C., Salgado, C., Salgado, V., y Viña, S. (1999). *Manual del cultivo de banano*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. <http://hdl.handle.net/11036/2933>
- Salgado Salazar, C., y Cepero de García, M. C. (2005). Aislamiento de hongos endófitos en rosa (*Rosa hybrida*) en Bogotá, Colombia. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(2), 99-101. [https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(05\)70016-4](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(05)70016-4)
- Sánchez-Fernández, R. E., Sánchez-Ortiz, B. L., Sandoval-Espinosa, Y. K. M., Ulloa-Benítez, Á., Armendáriz-Guillén, B., García-Méndez, M. C., y Macías-Rubalcava, M. L. (2013). Hongos endófitos: fuente potencial de metabolitos secundarios bioactivos con utilidad en agricultura y medicina. *TIP*, 16(2), 132-146. [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(13\)72084-9](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(13)72084-9)
- Sarabia Ochoa, M., Madrigal Pedraza, R., Martínez Trujillo, M., y Carreón Abud, Y. (2010). Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: Su compleja red de interacciones. *Biológicas*, 12(1), 65-71. [https://www.biologicas.umich.mx/index.php?journal=biologicas&page=article&op=view&path\[\]=78&articlesBySameAuthorPage=2](https://www.biologicas.umich.mx/index.php?journal=biologicas&page=article&op=view&path[]=78&articlesBySameAuthorPage=2)
- Savani, A. K., Bhattacharyya, A., Boro, R. C., Dinesh, K., y Swamy JC, N. (2021). Exemplifying endophytes of banana (*Musa paradisiaca*) for their potential role in growth stimulation and management of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense causing Panama wilt. *Folia Microbiologica*, 66(3), 317-330. <https://doi.org/10.1007/s12223-021-00000-0>

org/10.1007/s12223-021-00853-5

- Sharma, P., Kumar, T., Yadav, M., Gill, S. S., y Chauhan, N. S. (2021). Plant-microbe interactions for the sustainable agriculture and food security. *Plant Gene*, 28, 100325. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2021.100325>
- Shitole, S., Kadam, V., Bankar, P., Bhosale, A., Chandankar, S., Wagh, S., y Kanade, M. B. (2019). Isolation and identification of soil fungi of banana fields form Baramati area of Pune district of Maharashtra. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(07), 2193-2197. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.807.266>
- Sikora, R. A., Niere, B., y Kimenju, J. (2003). Endophytic microbial biodiversity and plant nematode management in African agriculture. En P. Neuenschwander, C. Borgemeister, y J. Langewald, *Biological control in IPM systems in Africa* (pp. 179-192). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851996394.0179>
- Silberman, J., Anriquez, A., Albanesi, A., y Grasso, D. (2013). Procedimientos microbiológicos modernos aplicados al estudio de comunidades microbianas del suelo. En A. S. Albanesi (ed.), *Microbiología agrícola un aporte de la investigación en Argentina* (2ª ed) (pp. 123-144). Magna Publicaciones.
- Silva-Valenzuela, M., Rojas-Martínez, R. I., Manzanilla-López, R. H., Macías-Rubalcava, M. L., Aranda-Ocampo, S., y Zavaleta-Mejía, E. (2020). Hongos endófitos: Una alternativa biológica para el manejo de nematodos fitoparásitarios. *Nematropica*, 50(1), 101-116. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/126284>
- Sinno, M., Ranesi, M., Gioia, L., d'Errico, G., y Woo, S. L. (2020). Endophytic fungi of tomato and their potential applications for crop improvement. *Agriculture*, 10(12), 587. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120587>
- Smith, S. E., y Read, D. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3ª ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
- Souza Junior, C. A., Marcon, J., Andrade, P. A. M., Silva, J. A., Faraldo, M. I. F., Verdi, M. C. Q., Filho, A. A. M., y Azevedo, J. L. (2018). Endophytic bacterial and fungi associated to banana leaves (*Musa spp.*) cultivated under organic management. *Journal of Agricultural Science*, 10(10), 460. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n10p460>
- Srivastava, V., y Singh, A. K. (2019). Mycorrhization alters root morphology, leaf starch and nutrient content of micropropagated banana under water stress. *Indian Journal of Horticulture*, 76(1), 44. <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2019.00007.0>
- Thangavelu, R., y Gopi, M. (2015). Combined application of native *Trichoderma* isolates possessing multiple functions for the control of *Fusarium* wilt disease in banana cv. Grand Naine. *Biocontrol Science and Technology*, 25(10), 1147-1164. <https://doi.org/10.1080/09583157.2015.1036727>
- Ting, A. S. Y., Meon, S., Kadir, J., Radu, S., y Singh, G. (2008). Endophytic microorganisms as potential growth promoters of banana. *BioControl*, 53(3), 541-553. <https://doi.org/10.1007/s10526-007-9093-1>
- Turner, D. W., y Rosales, F. E. (eds.). (2003). Banana root system: Towards a better understanding for its productive management. En *Proceedings of an international symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003*. Costa Rica. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20053211570>
- van Konijnenburg, A. (2006). *Agricultura orgánica. El suelo. Sus componentes físicos* (Vol. 1). Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/16254>
- Vega. (2018). The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: a review. *Mycologia*, 110(1), 4-30. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1418578>
- Vézina, A., y Baena, M. (2020). *Morfología de la planta del banano*. ProMusa. https://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano#Sistema_radicular
- Villegas Ríos, M., y Cifuentes, J. (2004). Las micorrizas en la evolución de las plantas. *Ciencias*, 73, 30-36. <https://www.revistacienciasunam.com/es/80-revistas/revista-ciencias-73/654-las-micorrizas-en-la-evolucion-de-las-plantas.html>
- Wang, Y., Yang, X., Zhang, X., Dong, L., Zhang, J., Wei, Y., Feng, Y., y Lu, L. (2014). Improved plant growth and Zn accumulation in grains of rice (*Oryza sativa* L.) by Inoculation of endophytic microbes isolated from a Zn hyperaccumulator, *Sedum alfredii* H. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(8), 1783-1791. <https://doi.org/10.1021/jf404152u>
- Waweru, B., Turoop, L., Kahangi, E., Coyne, D., y Dubois, T. (2014). Non-pathogenic *Fusarium oxysporum* endophytes provide field control of nematodes, improving yield of banana (*Musa sp.*). *Biological Control*, 74, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.04.002>
- Xia, X., Lie, T. K., Qian, X., Zheng, Z., Huang, Y., y Shen, Y. (2011). Species diversity, distribution, and genet-

- ic structure of endophytic and epiphytic *Trichoderma* associated with banana roots. *Microbial Ecology*, 61(3), 619-625. <https://doi.org/10.1007/s00248-010-9770-y>
- Yadav, G., Srivastva, R., y Gupta, P. (2021). Endophytes and their applications as biofertilizers. En P. Bhatt, S. Gangola, D. Udayanga, y G. Kumar (eds.), *Microbial Technology for Sustainable Environment* (pp. 95-123). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3840-4_7
- Yano-Melo, A. M., Saggin, O. J., y Costa Maia, L. (2003). Tolerance of mycorrhized banana (*Musa* sp. cv. Pacovan) plantlets to saline stress. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95(1), 343-348. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00044-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00044-0)
- Yashavantha Rao, H. C., Chandra Mohana, N., y Satish, S. (2020). Biocommercial aspects of microbial endophytes for sustainable agriculture. En K. Ajay y E.K Radhakrishnan (eds.), *Microbial Endophytes* (pp. 323-347). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819654-0.00013-2>
- Zakaria, L., Jamil, M. I., y Anuar, I. S. (2016). Molecular characterisation of endophytic fungi from roots of wild banana (*Musa acuminata*). *Tropical Life Sciences Research*, 27(1), 153-162. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4807960/>
- Zakaria, L., Mazzura, W. C., Kong, W. H., y Baharuddin, S. (2012). *Fusarium* species associated with fruit rot of banana (*Musa* spp.), papaya (*Carica papaya*) and guava (*Psidium guajava*). *Malaysian Journal of Microbiology*, 8(2), 127–130. <http://mjm.usm.my/index.php?r=cms/entry/view&id=51>
- Zakaria, L., y Rahman, N. H. A. (2011). Endophytic *Fusarium* spp. from wild banana (*Musa acuminata*) roots. *African Journal of Microbiology Research*, 5(21), 3600-3602. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.298>
- Zapata Henao, S., Henao Vásquez, M. C., Patiño Hoyos, L. F., Sánchez Torres, J. D., y Hoyos-Carvajal, L. M. (2019). Fungal endophytes in bananas cv Manzano affected by *Fusarium*. *African Journal of Agricultural Research*, 14(7), 430–438. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13736>