

INCIDENCIA DE HONGOS FITOPATÓGENOS Y BENÉFICOS EN PLANTACIONES DE CACAO DE ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

Ana Lucía Dubón
aldubon@uvg.edu.gt,

Mariafernanda Alarcón
malarcon@uvg.edu.gt,

Maritza De León
cmleon@uvg.edu.gt

Programa de Protección Vegetal -
CEAA

RESUMEN

El cacao es un cultivo cultural y económicamente importante para Guatemala, sin embargo, su producción se ve afectada por factores como la incidencia de plagas y enfermedades, así como la falta de material genético caracterizado que sea resistente a patógenos. Por esta razón, este estudio tuvo como objetivo monitorear la incidencia de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos en las plantaciones de cacao ubicadas en las sub-regiones de Lachuá, Cahabón y Polochic en el departamento de Alta Verapaz, así como aislar microorganismos benéficos nativos a partir de muestras de suelo de las parcelas experimentales. Las cepas aisladas fueron identificadas por microscopía y por secuenciación de las regiones ITS y EF del ADN. Se identificó un total de 17 hongos fitopatógenos y un Oomycetes de 103 árboles con presencia de signos y síntomas de enfermedad, incluyendo agentes causales de enfermedades importantes como la moniliasis del cacao (li=7%) y mazorca negra (li=3%), que generan pérdidas significativas en las plantaciones de Latinoamérica. Las especies con mayor incidencia fueron *Colletotrichum gloeosporioides* (li = 68%) y *Curvularia lunata* (li=20%), causantes de antracnosis y mancha foliar, respectivamente, que no están asociadas a la muerte del hospedero pero disminuyen su productividad. Se identificaron hongos que afectan directamente a los frutos, siendo el más abundante *Fusarium sp.* (li=59%). Algunos de ellos pueden afectar directamente la semilla durante la etapa de producción del árbol o en etapas post-cosecha. También se caracterizaron hongos benéficos de los géneros *Trichoderma*, *Metarhizium* y *Paecilomyces*, que podrían tener potencial para ser usados como control biológico de los hongos fitopatógenos y sus vectores. Los microorganismos patógenos y benéficos caracterizados se almacenaron en un cepario para continuar realizando estudios orientados a generar estrategias para el manejo integrado de plagas del cultivo, como desarrollo de productos biológicos, ensayos de patogenicidad de cepas y caracterización de genotipos de cacao resistentes mediante ensayos de inoculación.

PALABRAS CLAVE: Cacao, microorganismos, Oomycetes, signos, síntomas.

ABSTRACT

INCIDENCE OF PHYTOPATHOGENIC AND BENEFICIAL FUNGI IN COCOA PLANTATIONS IN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

Cocoa crop is culturally and economically important for Guatemala. Nevertheless, its production is affected by factors such as pest and disease incidence and the lack of characterized resistant genotypes. Hence, the aims of the study were to monitor the incidence of disease caused by phytopathogenic fungi in cocoa plantations located in the regions of Lachuá, Cahabón and Polochic from Alta Verapaz department, as well as to isolate native beneficial microorganisms from soil samples collected on the experimental sites. The

isolated strains were identified by microscopy and DNA sequencing from ITS and EF regions. A total of 17 phytopathogenic fungi and an Oomycetes were isolated from 103 cocoa individuals with signs and symptoms of plant disease. These included causal agents from important diseases such as frosty pod rot (li=7%) and black pod (li=3%), which cause major losses in Latin-American cocoa plantations. The most incident species were *Colletotrichum gloeosporioides* (li=68%) and *Curvularia lunata* (li=20%), causal agents from anthracnose and leaf spot disease of cocoa, respectively. Even though those fungi do not cause the death of their host, they decrease its productivity. Several identified fungi were fruit pathogens, being *Fusarium* sp. the most frequent (li=59%). Some of them can directly affect the seeds during the production or post-harvest stages. Beneficial fungi from the genera *Trichoderma*, *Metarhizium* y *Paecilomyces* were identified. These are potential microorganisms to be used for biological control from phytopathogenic fungi and their vectors. The characterized pathogenic and beneficial microorganisms were isolated and maintained on a collection to continue research aimed to propose strategies for integrated pest management such as biological products development, pathogenicity assays, and the characterization of disease resistant cocoa genotypes by inoculation assays.

KEY WORDS: Cocoa, microorganisms, Oomycetes, signs, symptoms.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie arbórea tropical, perteneciente a la familia Malvaceae, nativa de México, Centroamérica, y el norte de Sudamérica (Colombia, Ecuador, Venezuela, Brasil, Guyana, Surinam y Guyana Francesa). Esta especie es cultivada en 50 países tropicales, siendo los principales productores Camerún, Brasil, Costa de Marfil, Indonesia, Ecuador y Nigeria. En Centroamérica es cultivado en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica (Franzen y Borgerhoff, 2007).

Esta especie es de gran importancia comercial debido a la demanda mundial de sus semillas por ser la materia prima para la producción de chocolate y para la obtención de grasas en la industria cosmetológica. Además, cultural e históricamente es importante en los países latinoamericanos dado que las antiguas civilizaciones como los Olmecas, Aztecas y Mayas la utilizaban para la preparación de bebidas especiales o como moneda (Standley y Steyermark, 1946; Powis *et al.*, 2008).

De acuerdo al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en Guatemala hay 4,410 hectáreas de producción de cacao, distribuidas entre las regiones productoras Norte y Suroccidente. Se estima que esta área corresponde al 2.76% del territorio nacional que presenta las condiciones apropiadas para el crecimiento del cacao (159,419.08 hectáreas). En Alta Verapaz se genera el 31% de la producción de cacao a nivel nacional, posicionándolo

como el principal departamento productor (MINECO, 2018; ENAC, 2016).

Entre los años 2007 y 2014 se registró un incremento tanto de producción como de consumo de cacao, sin embargo la cantidad generada no fue suficiente para cubrir la demanda nacional (MINECO, 2018). Tomando en cuenta este factor además del potencial para exportación gracias a la calidad de los materiales de cacao guatemalteco (MAGA, 2016), las instituciones y organizaciones nacionales e internacionales han realizado esfuerzos para aumentar la productividad de las plantaciones de cacao. Entre estos es importante la elaboración del Plan Estratégico Nacional de la Agrocadena de Cacao (PEDAC), en el cual se identificaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la agrocadena. En este documento se describen los cuellos de botella que afectan a los diferentes eslabones de la cadena de valor de cacao. Entre ellos, cabe destacar la incidencia de plagas y enfermedades, así como la falta de viveros certificados que produzcan y distribuyan materiales libres de patógenos (ENAC, 2016; MINECO, 2018).

Los problemas fitosanitarios son unos de los factores principales que afectan en la productividad y calidad del cacao. Específicamente, los hongos fitopatógenos son considerados los principales causantes de grandes pérdidas económicas, debido a que pueden causar problemas en toda la cadena de valor del cacao (Correa, Castro y Coy, 2014).

Este estudio tuvo como objetivo identificar la incidencia de enfermedades causadas por hongos mediante el monitoreo de las plantaciones en el departamento con mayor producción de cacao en Guatemala, así como aislar microorganismos nativos con potencial para ser usados como control biológico de los patógenos. Se espera que la información generada

contribuya para el establecimiento de metodologías adecuadas orientadas al manejo integrado de plagas. Con esto se estaría haciendo frente a una de las deficiencias que impiden un crecimiento en la productividad y rentabilidad del cacao a nivel nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de muestras

El estudio se realizó en las sub-regiones de Lachuá, Cahabón y Polochic en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala. En Cahabón se incluyó el área de Lanquín y Cahabón, en Polochic se incluyó Panzós y Santa Catarina la Tinta. El monitoreo de enfermedades se realizó en plantaciones de productores de las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y ASOLSEÑOR en Lachuá; ADEMAYACH, APRODERK y APIDIP en Cahabón; y APODIP en Polochic (Figura 1). Durante el

período de noviembre del 2018 a octubre del 2020 se realizó la colecta de muestras foliares, de ramas, raíces y frutos de 103 árboles con presencia de signos y/o síntomas de enfermedad. Además, se colectaron muestras de suelo de dichas plantaciones para el aislamiento de microorganismos benéficos. Estas se transportaron en frío hacia el Laboratorio de Protección Vegetal (LPV) del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) para realizar el análisis fitopatológico y el aislamiento de hongos benéficos.

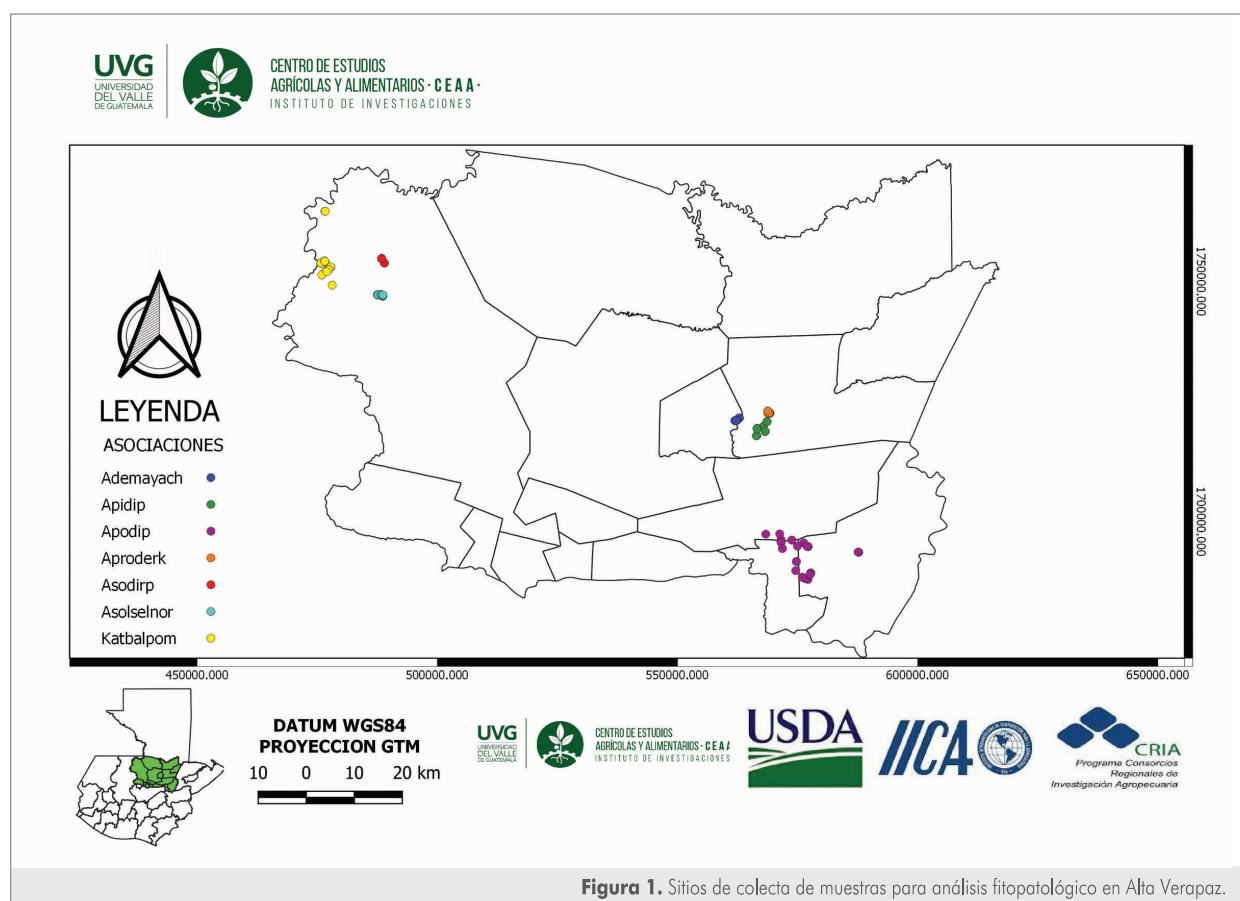


Figura 1. Sitios de colecta de muestras para análisis fitopatológico en Alta Verapaz.

Aislamiento e identificación morfológica

Las muestras fueron evaluadas y fotografiadas para registrar los signos y síntomas observados. Se tomaron secciones de tejido sintomático, que se desinfectaron con hipoclorito de sodio 10%, etanol 70% y agua estéril. Posteriormente se sembraron en medio agar papa dextrosa (PDA) para el crecimiento de hongos y en medio agar V8® con antibióticos y Carbendazim® para el crecimiento de Oomycetes. Adicional a este proceso, se colocaron secciones de 1 cm² de tejido en cámara húmeda para estimular la esporulación de los hongos. Las muestras cultivadas en PDA se incubaron a 28°C por 4-8 días y las cultivadas en agar V8® se incubaron a 28°C por 8-14 días. La identificación preliminar de los hongos se realizó con base en la morfología de la colonia y se realizaron montajes con azul de lactofenol de los cultivos y cámaras húmedas para la observación de las estructuras fúngicas por microscopía. La identificación de los hongos se llevó a cabo utilizando las claves de Barnett y Hunter (2006) y de Watanabe (2002).

Adicionalmente, se calculó la incidencia de cada hongo utilizando la ecuación:

$$I_i = (\sum ni/N_i) \times 100$$

en donde I_i = incidencia de cada hongo, ni = número de muestras con presencia de cada especie de hongo y N_i = número total de muestras analizadas (García-León, *et al.* 2013).

Para el aislamiento de microorganismos benéficos se realizó una dilución 1:10 de las muestras de suelo, se incubó con Triton X-100 0.05% por 2 h a temperatura ambiente con agitación de 100 rpm. Se realizaron diluciones seriadas, se sembraron en medio PDA y se incubaron a 28°C por 4-8 días. Los cultivos se observaron diariamente y los hongos benéficos se identificaron mediante microscopía en montajes con azul de lactofenol utilizando la clave de Watanabe (2002).

Identificación de cepas por análisis molecular

Las especies de hongos fitopatógenos con mayor incidencia o que correspondían a agentes causales de enfermedades importantes del cultivo de cacao, así como las especies de

hongos benéficos, fueron aisladas y purificadas para ser analizadas en el laboratorio de Biología Molecular del LPV. La identificación se realizó con base en análisis genético de las regiones de ADN nuclear EF e ITS (Manoharachary *et al.*, 2010).

Se utilizó el protocolo de CTAB modificado (Murray y Thompson, 1980) para extraer el ADN fúngico a partir de 100-300 mg de masa micelial de cultivos con una semana de incubación a 28°C. Se utilizó buffer de extracción CTAB (2% CTAB, 1% polivinilpirrolidona [PVP], 100mM Tris-HCl, pH 8.0, 1.4M NaCl, 20mM EDTA y 0.2% 2-mercaptoetanol) precalentado a 65°C y maceración mecánica seguida de incubación a 65°C. La purificación se realizó con cloroformo: alcohol isoamílico (24:1), se homogenizó en vórtex, se centrifugó a 13,000 rpm por 10 minutos y se recuperó el sobrenadante. Para la precipitación del ADN se adicionó 1 volumen de isopropanol frío y 1/10 de volumen de acetato de amonio 7.5M con incubación a -20°C por un mínimo de 20 minutos. El precipitado se obtuvo por centrifugación a 13,000 rpm por 10 min y se lavó con etanol 70% frío. El mismo se resuspendió en 50 μ l de buffer TE (10mM Tris-HCl, 1mM EDTA) y se almacenó a -20°C.

El ADN extraído se cuantificó por espectrofotometría UV/VIS y se verificó su integridad en gel de agarosa 1%. Las muestras con una concentración igual o mayor a 200 ng/ μ l fueron utilizadas para el análisis con marcadores moleculares. Se amplificaron las regiones ITS y EF por medio de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). Se comprobó la amplificación de los marcadores por medio de electroforesis en gel de agarosa 1% en buffer TAE 50X (40mM Tris-HCl, 2mM EDTA, 20mM ácido acético glacial) corrido a 85V por 40 min y teñido con GelRed (0.1%). El gel se visualizó en un transiluminador UVP GelDoc-It y el producto de PCR se secuenció por medio del método de Sanger.

Las secuencias obtenidas fueron analizadas mediante la herramienta BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) de la base de datos del NCBI (*National Center of Biotechnology Information*) para corroborar la identidad del microorganismo. Con el resultado de microscopía y verificación genética, cada cepa fue aislada y almacenada en un cepario a 4°C y -20°C, para ser preservada y continuar realizando investigación orientada al manejo integrado de plagas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 17 géneros de hongos y uno de Oomycetes fitopatógenos, aislados a partir de 103 muestras de árboles de cacao que presentaban signos y/o síntomas de enfermedad en algún órgano de la planta (hojas, tejido leñoso, fruto y/o

semillas) (Cuadro 1). Cabe resaltar que la mayoría de los árboles presentaban más de un fitopatógeno. Los hongos que se detectaron con mayor frecuencia fueron *Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata*, y *Fusarium sp.*, que se

Cuadro 1. Incidencia y síntomas de los fitopatógenos aislados de las muestras de cacao en Alta Verapaz, Guatemala.

Fitopatógenos	Signos y síntomas	Incidencia (%)	Localidad		
			Lachuá	Cahabón	Polochic
ASCOMYCETES					
<i>Colletotrichum gloesporioides</i>	Antracnosis, puntos necróticos con borde clorótico en hojas y frutos.	68	Salacuim Bempec Castaño Rocjá Pomtilá Faisán I	Santa Rosa Chivité Pinares	Xucup, Panzós Tierra Seca, Panzós Jolomihix 2A, Panzós Salac II, La Tinta
<i>Curvularia lunata</i>	Manchas foliares, puntos y manchas necróticas en fruto.	20	Bempec Castaño Rocjá Pomtilá Faisán I	-	Tierra Seca, Panzós Xucup, Panzós Jolomihix 2A, Panzós
<i>Monilophthora roleri</i>	Frutos necróticos y/o momificados. Superficie de frutos cubierta de esporas. Pudrición en semillas.	7	Cobán Salacuim Rocjá Pomtilá	Pinares	-
<i>Fusarium sp.</i>	Marchitez, daño radicular, necrosis en tejidos leñosos, pudrición del fruto.	59	Cobán Salacuim Rocjá Pomtilá Faisán I	Santa Rosa Chivité San Juan Chivité Pinares	Xucup, Panzós Tierra Seca, Panzós
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Marchitez, necrosis en tejido leñoso, tallo seco, frutos secos y momificados.	6	Cobán Salacuim Rocjá Pomtilá Faisán I	Pinares	Jolomihix 2, Panzós
<i>Nigrospora</i>	Manchas y puntos necróticos foliares, lesiones secas en hojas.	9	Cobán Salacuim Faisán I	Pinares	Tierra Seca, Panzós
<i>Alternaria sp.</i>	Manchas necróticas foliares	2	Cobán	-	-
<i>Phoma sp.</i>	Lesiones necróticas y presencia de picnidios, en hojas y frutos	5	Salacuim	-	Xucup, Panzós Salac I, La Tinta Salac II, La Tinta Jolomihix 2A, Panzós
<i>Stemphylium sp.</i>	Lesiones necróticas en hojas y frutos	2	-	Pinares San Juan Chivité	-
<i>Pestalotia sp.</i>	Necrosis en hojas, frutos y semillas	5	Cobán Salacuim Rocjá Pomtilá	-	Xucup, Panzós
<i>Cercospora sp.</i>	Necrosis foliar	3	Cobán	San Juan Chivité	-
<i>Geotrichum candidum</i>	Necrosis en fruto y semillas	8	Salacuim	Santa Rosa Chivité Pinares	Salac I, La Tinta
<i>Cladosporium sp.</i>	Puntos necróticos en hojas, manchas necróticas en frutos.	6	Salacuim Rocjá Pomtilá Faisán	Pinares	-
<i>Aspergillus sp.</i>	Manchas necróticas en hojas y frutos, siempre asociado a otros hongos.	3	Rocjá Pomtilá	Pinares	-
<i>Penicillium sp.</i>	Frutos necróticos	4	Salacuim Rocjá Pomtilá	Pinares	-
ZYGOMYCETES					
<i>Mucor sp.</i>	Manchas necróticas foliares y frutos con lesiones necróticas.	3	Salacuim	Pinares	-
<i>Rhizopus sp.</i>	Fruto necrótico, micelio y esporas en semillas.	6	Salacuim Rocjá Pomtilá	-	Xucup, Panzós Salac I, La Tinta
OOMYCETES					
<i>Phytophthora sp.</i>	Marchitez en ramas, fruto necrótico con micelio blanco, pudrición de semillas.	3	Salacuim	-	Tierra Seca, Panzós Xucup, Panzós

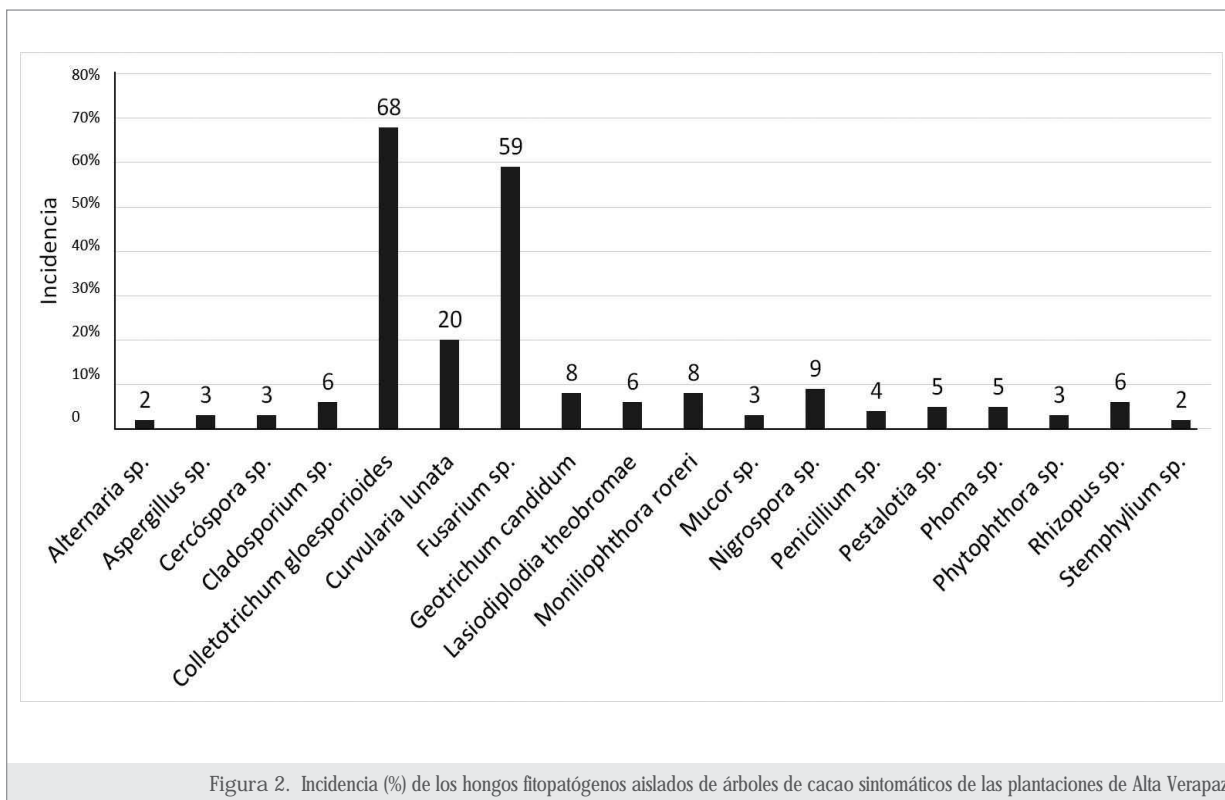


Figura 2. Incidencia (%) de los hongos fitopatógenos aislados de árboles de cacao sintomáticos de las plantaciones de Alta Verapaz.

aislaron en el 68%, 20% y 59% de las muestras, respectivamente (Figura 2). A pesar de que no han sido reportados como amenazas significativas para el cultivo de cacao, afectan la productividad de los árboles por causar síntomas como daño foliar, antracnosis de los frutos y pudrición.

Los síntomas más comunes observados en muestras foliares fueron puntos necróticos, necrosis iniciando desde el ápice, la base o bordes laterales de las hojas, manchas necróticas intercaladas entre las nervaduras y lesiones secas con presencia de picnidios (Figura 3). Entre otros hongos fitopatógenos que se aislaron a partir de muestras con daño foliar se incluye *Nigrospora* sp. que presentó una incidencia del 9% y se asoció a muestras con puntos necróticos; *Pestalotia* sp., *Stemphylium* sp. y *Phoma* sp. presentes en el 5% de las muestras, así como *Alternaria* sp. y *Cercospora* sp. con una incidencia del 2% que están asociados a manchas necróticas foliares. A pesar de no ser considerados como una amenaza significativa para las plantaciones de cacao, estos microorganismos pueden llegar a afectar la tasa fotosintética y por lo tanto la productividad, disminuyendo la cantidad y calidad de frutos producidos.

En los frutos afectados se encontraron signos y síntomas como micelio cubriendo parcial o totalmente la superficie,

antracnosis y deformación, puntos y manchas necróticas, momificación y pudrición que en ocasiones llegaba a las semillas (Figura 4). Estos síntomas se encontraron asociados a fitopatógenos con alta incidencia, como *Fusarium* sp. y *C. gloesporioides*, con alto impacto como *M. rozeri* y *Phytophthora* sp., así como *Phoma* sp. y *Pestalotia* sp. causante de daño foliar como se mencionó anteriormente. Sin embargo, también se aislaron otros hongos como *Cladosporium* sp., *Mucor* sp., *Rhizopus* sp., *Aspergillus* sp. y *Penicillium*. Estos son microorganismos saprófitos que se encuentran normalmente en el ambiente (agua y suelo), aunque también se han reportado como patógenos de otras especies cultivadas o se han encontrado en la etapa post-cosecha del cacao causando daños a los frutos (Delgado-Ospina, 2021). Estos hongos se encontraron en menos del 10% de las muestras, pero a pesar de su baja incidencia, es importante controlarlos para evitar daños en la etapa post-cosecha. Además de producir micotoxinas, la presencia de hongos fitopatógenos en los procesos de fermentación y secado puede producir cambios en los precursores de sabor y en la acidez del cacao, afectando de esta manera la calidad e inocuidad del producto final (Delgado-Ospina, 2021). Por esta razón, es necesario optimizar el manejo de las plantaciones y la etapa de almacenamiento de los frutos colectados, bajo condiciones que no favorezcan el crecimiento de estos patógenos.

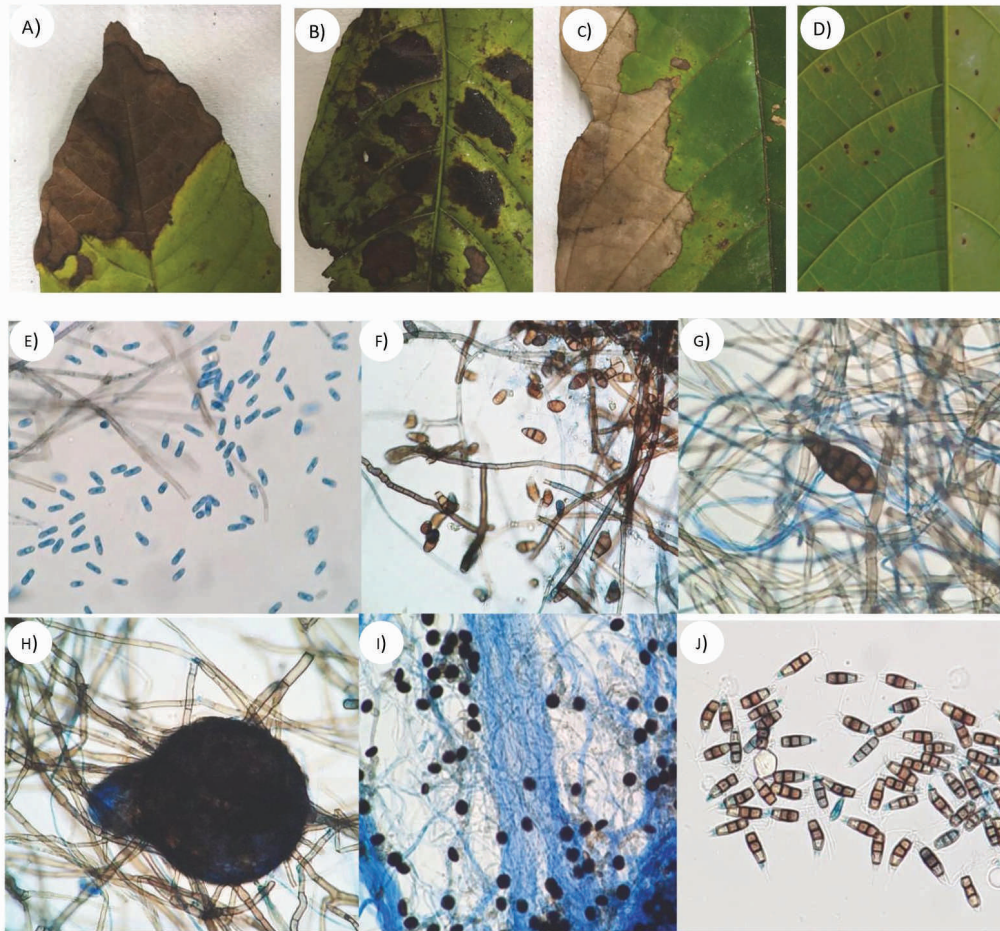


Figura 3. Daño foliar en cacao y hongos asociados: A) necrosis en ápice de la hoja, B) manchas necróticas, C) lesión seca en borde foliar. D) puntos necróticos, E) conidios cilíndricos de *C. gloesporioides* F) micelio y esporas de *C. lunata*, G) micelio, conidióforo y espóra de *Alternaria* sp., H) cleistotecio de *Alternaria* sp., I) micelio y esporas de *Nigrospora* sp., J) esporas de *Pestalotia* sp.

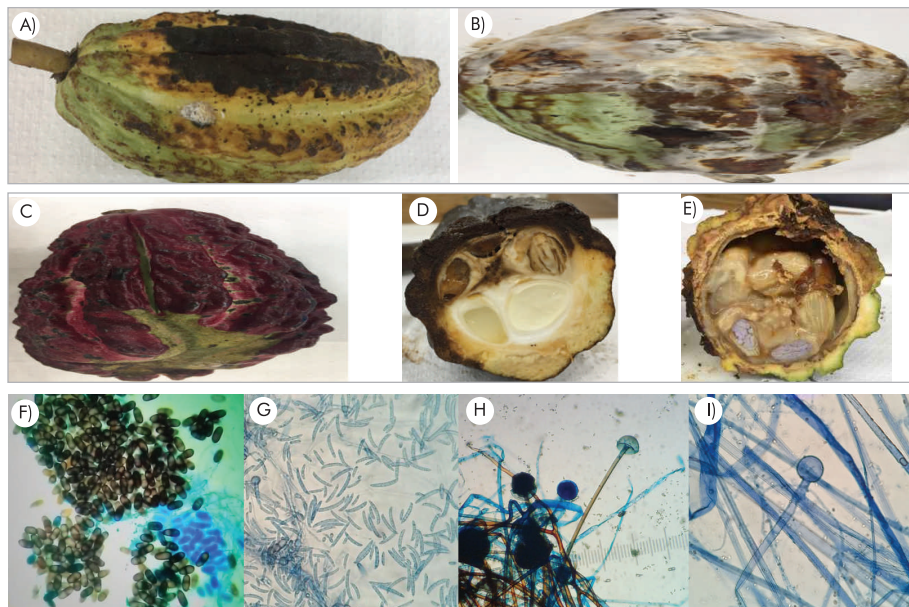
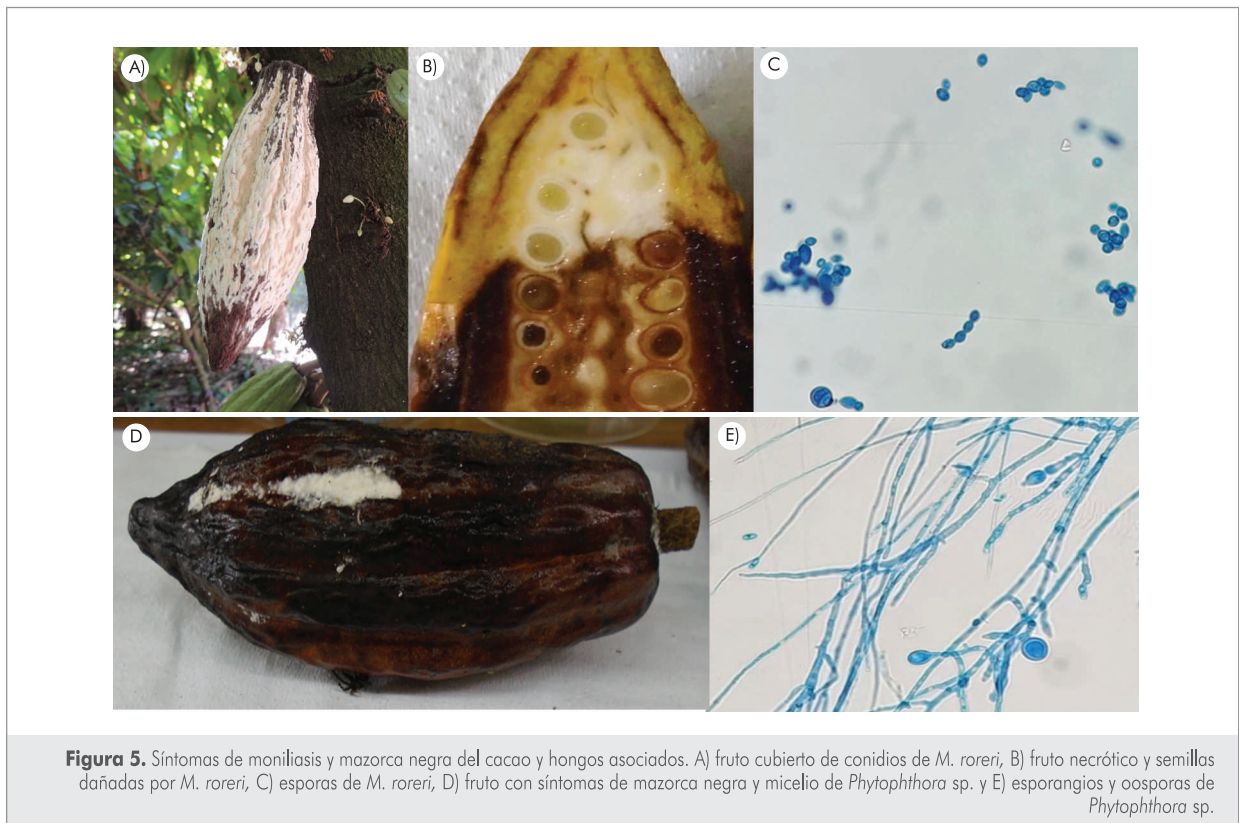


Figura 4. Daño a frutos y semillas de cacao y hongos asociados: A) Antracnosis y puntos necróticos, B) necrosis y presencia de micelio, C) deformación en el ápice. D-E) pudrición de fruto y semillas F) esporas de *Lasiodiplodia theobromae* G) esporas de *Fusarium* sp. H) esporangios de *Rhizopus* sp., I) esporangios de *Mucor* sp.



De los fitopatógenos detectados, *Moniliophthora roreri* (Figura 5) y *Phytophthora* sp., agentes causales de moniliasis y mazorca negra respectivamente, se han reportado como los principales causantes de grandes pérdidas de la producción de cacao a nivel nacional (Phillips-Mora y Cerda, 2011; Reyes, 2012). Esto debido a que afectan directamente al fruto y las semillas, y sus síntomas son visibles hasta 15-30 días después de iniciado el proceso infeccioso, haciendo difícil su diagnóstico en etapas tempranas de la infección. En el año 2011, la moniliasis se identificó como la enfermedad del cacao más dañina de la región centroamericana, causando la pérdida de hasta el 80% de la producción total de cacao ocasionando que muchos de los cacaotales fueran abandonados (Phillips-Mora y Cerda-Bustillos, 2011; Pérez-Vicente, 2018). El Oomycete *Phytophthora* sp. afecta principalmente el fruto de cacao y puede causar también pérdida de los granos. Además, es capaz de infectar otras partes de la planta, como por ejemplo las raíces, comprometiendo el transporte de agua y nutrientes. Esto resulta en plantas débiles y poco productivas con frutos y semillas de mala calidad (Ploetz, 2007).

A pesar de no ser los patógenos que se diagnosticaron con mayor frecuencia en las muestras, *M. roreri* (li=7%) y

Phytophthora sp. (li=3%) son importantes pues son capaces de sobrevivir en condiciones climáticas adversas y afectan directamente el fruto y las semillas, que son el principal producto del cultivo (Delgado-Ospina, 2021). A pesar de que *M. roreri* se aisló de árboles sintomáticos de Lachúa y Cahabón y *Phytophthora* sp. de árboles de Lachúa y Polochic, no debe descartarse la posibilidad de que se encuentren en las otras sub-regiones al ampliar el muestreo y que de existir las condiciones óptimas para su crecimiento, éstas podrían dispersarse rápidamente y causar graves daños a los cultivos de cacao de la región.

Entre los principales hallazgos de este estudio se encuentra el reporte de la especie *Lasiodiplodia theobromae* (Figura 4), causante de muerte súbita, muerte regresiva o muerte descendente y pudrición del fruto en cacao (González, 2007). Este hongo presenta una distribución cosmopolita y tiene un amplio rango de hospederos, incluyendo monocotiledóneas, dicotiledóneas y gimnospermas. (Shahbaz *et al.*, 2009; Picos-Muñoz *et al.*, 2015). En Guatemala se ha reportado en otros cultivos, pero no se considera como una amenaza para el cacao de acuerdo a la literatura. Sin embargo, en este estudio fue aislado a partir de muestras colectadas en las tres sub-regiones de estudio. Los árboles afectados presentaban

marchitez, necrosis y crecimiento micelial en tejidos leñosos, frutos necróticos, con pudrición o momificados y semillas dañadas. Algunos de los hospederos murieron durante el desarrollo del estudio y se observaron focos de infección durante el monitoreo y las colectas en campo.

Debido a que este hongo puede ser dispersado fácilmente por el viento e insectos y que ha causado daños importantes en plantaciones de cacao de países productores cercanos a Guatemala como Belice y México (Picos-Muñoz *et al.*, 2015), es importante establecer un método de control para evitar su dispersión. En algunas de las muestras a partir de las cuales se aisló, también se encontraron artrópodos del género *Xyleborus* sp. Estos insectos han sido reportados como causantes de lesiones y galerías en el interior de los tejidos leñosos, favoreciendo el ingreso, invasión y avance del proceso infeccioso por hongos endofíticos en los tejidos del hospedero (Sánchez-Cuevas, *et al.*, 2015). Además son vectores de otros hongos patógenos del cacao como *Ceratocystis cacaofunesta*, agente causal del mal del machete (Engelbrecht *et al.*, 2008). Al ser un vector potencial de *L. theobromae* y un mecanismo de dispersión de esporas de otros hongos fitopatógenos, es necesario desarrollar métodos para controlar las poblaciones de *Xyleborus* sp. como parte del manejo integrado de plagas del cultivo.

Es importante mencionar que también se aislaron hongos que podrían ser benéficos, tales como *Paecilomyces* sp.,

Metharhizium sp., *Trichoderma ghanense* y *T. reesei*. Los últimos dos podrían presentar un gran potencial como agentes de control biológico debido a su naturaleza cosmopolita y de rápido crecimiento (Schuster y Schmoll, 2010). Varias especies del género *Trichoderma* son capaces de producir enzimas hidrolíticas y metabolitos antifúngicos, dándole así ventajas sobre los hongos patógenos sin causar daño a las plantas (Ezziyyani *et al.*, 2004). Este hongo también utiliza otros mecanismos como parasitismo y competencia por espacio y nutrientes; además, puede inducir una respuesta de defensa en las plantas y promover el desarrollo y crecimiento de las mismas (Cuervo-Parra *et al.*, 2011, Tirado-Gallego *et al.*, 2016). Por lo tanto, se recomienda evaluar el potencial de estos hongos como control biológico de los principales hongos patógenos aislados.

Dada la presencia de hongos fitopatógenos en las muestras, incluyendo especies que presentan una amenaza significativa para el cacao, es de vital importancia llevar a cabo un manejo apropiado del cultivo para evitar la propagación de estos hongos. Es recomendable regular la sombra de los árboles de cacao, con el fin de regular la luminosidad, la temperatura, el viento y evitar que se den las condiciones propicias para el crecimiento de los patógenos. Adicionalmente, es necesario realizar podas constantes a manera de permitir un mejor flujo de aire y para mantener una distancia apropiada entre los árboles con el fin de disminuir el contacto y evitar la infección entre ellos.

CONCLUSIONES

- Se identificaron y aislaron 17 géneros de hongos fitopatógenos y un Oomycete a partir de 103 árboles de cacao sintomáticos en las plantaciones monitoreadas en Lachuá, Cahabón y Polochic.
- Los tres hongos que presentaron mayor incidencia en las plantaciones de cacao muestreadas fueron *C. gloesporioides* ($I_i=68\%$), *Fusarium* sp. ($I_i=59\%$) y *Curvularia lunata* ($I_i=20\%$) asociados a antracnosis y daño foliar, pudrición de fruto y mancha foliar, respectivamente.
- Las especies *M. roreri* y *Phytophthora* sp., causantes de importantes pérdidas en las plantaciones a nivel latinoamericano, fueron aisladas a partir de muestras sintomáticas colectadas en las sub-regiones de estudio.
- Se identificaron los hongos benéficos *Paecilomyces* sp., y *Metarhizium* sp., *Trichoderma ghanense* y *Trichoderma reesei* a partir de muestras de suelo de plantaciones de cacao de Lachuá, que podrían ser utilizados como control biológico.

AGRADECIMIENTOS

A los productores y presidentes de las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOLSERNOR, ADEMAYACH, APODIP, APIDIP y APRODERK por darnos acceso para trabajar en sus plantaciones.

A los técnicos de campo Carlos Caal, Dennis Imanol Medina, Luis David Morales, Diana López, Keni Ixim, Alejandro Tec y Yolanda Tzalam por el apoyo durante el monitoreo de las plantaciones y colecta de muestras.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura por el seguimiento de las actividades, el apoyo para la comunicación con los actores de la agrocadena y la divulgación de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Barnett, L. H., y Hunter, B. B. (2006). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Fourth Edition. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 218 p
- Correa, J., Castro, S. y Coy, J. (2014). Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. *Acta Agronomica*, 63 (3): 388-399.
- Cuervo Parra, J.A., Ramírez Suero, M., Sánchez López, V. y Ramírez Lepe, M. (2011). Antagonistic effect of *Trichoderma harzianum* VSL291 on phytopathogenic fungi isolated from cocoa (*Theobroma cacao* L.) fruits. *Afr J Biotechnol.* 10(52):10657-10663
- Delgado Ospina, J., Molina Hernández J. B., Chaves López, C., Romanazzi, G. y Paparella, A. (2021). The Role of Fungi in the Cocoa Production Chain and the Challenge of Climate Change. *Journal of Fungi*, 7 (202). Consultado el 07 de julio de 2021 de: <https://doi.org/10.3390/jof7030202>
- Estrategia Nacional de la Agrocadena de Cacao -ENAC- en Guatemala. (2016). Plan Estratégico de la Agrocadena de Cacao en Guatemala. 2016-2025. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 94 pp.
- Engelbrecht, C., Harrington, T. y Alfenas, A. (2008). Ceratocystis Wilt of Cacao-A Disease of Increasing Importance. *Phytopathology*. 97. 1648-9. 10.1094/PHYTO-97-12-1648.
- Ezziyyani, M., Pérez, C., Sid Ahmed, A., Requena, M. y Candela, M. (2004). *Trichoderma harzianum* como biofungicida para el biocontrol de *Phytophthora capsici* en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Anales de Biología* 26: 35-45.
- Franzen, M. y Borgerhoff, M. (2007). Ecological, economic and social perspectives on cocoa production worldwide *Biodivers Conserv* 16:3835-3849.
- García León, E., Leyva Mir, S. G., Villaseñor Mir, H. E., Rodríguez García, M. F., y Tovar Pedraza, J. M. (2013). Identificación e incidencia de tres hongos fitopatógenos, de reporte nuevo, en avena (*Avena sativa* L.) en la meseta central de México. *Agrociencia*, 47(8), 815-827.
- González, J. (2007). Identificación de hongos patógenos que afectan el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Finca Bulbuxya, San Miguel Panan, Suchitepéquez. Trabajo de Graduación. Guatemala, Guatemala. 69 pp.
- Manoharachary, C., Kunwar, I.K. y Vishnuvardhan, S. (2010). Nature at work: Ongoing saga of evolution. Chapter 10. Biodiversity, phylogeny and evolution of fungi. *The National Academy of Sciences, India*. 141-159.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. (2016). Diagnóstico de la cadena de cacao. <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/9810.pdf>. [Consultado 3 de mayo, 2020].
- Ministerio de Economía de Guatemala -MINECO-. (2018). Cacao Guatemalteco Busca Posicionarse en el Mercado Internacional. <https://www.mineco.gob.gt/cacao-guatemalteco-busca-posicionarse-en-el-mercado-internacional>. [Consultado 20 de febrero, 2020].
- Murray, M. y Thompson, W. (1980). Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 8(19): 4321-4325.
- Phillips Mora, W. y Cerda Bustillos, R. (2011). Catálogo: Enfermedades del cacao en Centroamérica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE-. Turrialba, Costa Rica. 24 pp.
- Picos Muñoz, P.A., García Estrada, R.S., León Feliz, J., Sañudo Bajasas, A. y Allende Malar, R. (2015). *Lasiodiplodia theobromae* en Cultivos Agrícolas de México: Taxonomía, Hospedantes, Diversidad y Control. *Rev. Mex. Fitopatol.* 33 (1): 54-74

- Ploetz, R.C. (2007). Cacao diseases: Important threats to chocolate production worldwide. *Phytopathology* 97: 1634-1639.
- Powis, T., Hurst, W., Del Carmen Rodríguez, M., Ponciano, O., Blake, M., Cheetham, D., Coe, M. y Hodgson, J. (2008). The Origins of Cacao Use in Mesoamerica. *Mexicon*, 30 (2), 35-38. Consultado el 07 de julio de 2021 de: <http://www.jstor.org/stable/23759545>
- Reyes, G. (2012). Diagnóstico de la situación actual del Cultivo de Cacao *T. cacao* en la Aldea Barrios I, del municipio de San Antonio Suchitepéquez. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sánchez Cuevas, M.C., Jaramillo Aguilar, E.E. y Ramírez Morales, I.E. (2015). Enfermedades del Cacao. Universidad Técnica de Machala. Ecuador. 152pp.
- Schuster, A. y Schmoll, M. (2010). Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied microbiology and biotechnology*, 87(3), 787-799. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2632-1>.
- Shabaz, M., Iqbal, Z., Saleem, A., y Anjum, M.A. (2009). Association of *Lasiodiplodia theobromae* with different decline disorders in mango (*Mangifera indica* L.). *Pakistan Journal Botany*, 41(1), 359-368.
- Standley, P.C. y Steyermark, J.A. (1946). *Flora of Guatemala*. Chicago Natural History Museum. Chicago; United States of America.
- Tirado Gallego, P.A., Lopera Álvarez, A. y Ríos Osorio, L.A. (2016). Estrategias de control de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa* en *Theobroma cacao* L.: revisión sistemática. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria* 17 (3): 417-430
- Watanabe, T. (2002). *Pictorial atlas of soil and seed fungi: morphologies of cultured fungi and key to species*. 2 nd ed. CRC Press LLC. 504 pp.