



## Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias  
Agropecuarias

Universidad Nacional de  
Trujillo



### REVIEW

## *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl [(syn.) *Botryodiplodia theobromae* Pat] in the cocoa crop: symptoms, biological cycle, and strategies management

*Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maul [(sin.) *Botryodiplodia theobromae* Pat] en el cultivo de cacao: síntomas, ciclo biológico y estrategias de manejo

Anthony A. Moreira-Morrillo<sup>1</sup> ; Ángel V. Cedeño-Moreira<sup>2</sup> ; Fabricio Canchignia-Martínez<sup>2</sup> ; Felipe R. Garcés-Fiallos<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Campus Experimental La Teodomira, km 13, Lodana, Santa Ana, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias, Av. Quito km 1.5 vía, Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

\* Corresponding author: [felipe.garces@utm.edu.ec](mailto:felipe.garces@utm.edu.ec) (F. R. Garcés-Fiallos).

Received: 21 August 2021. Accepted: 18 November 2021. Published: 15 December 2021.

#### Abstract

Throughout history, the cocoa crop (*Theobroma cacao* L.) has been affected by countless diseases, some of these caused by *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maul. Although three *Lasiodiplodia* species have been reported affecting cocoa plants, *L. theobromae* is the most studied species both in cocoa and other crops. In recent years this phytopathogen has been gaining importance. In cocoa, *L. theobromae* can survive in soil and culture remains in the form of pycnidia and chlamydospores, spreading by different factors until reaching the plant tissues, remaining there as an endophyte. The pathogenic fungus can cause young twigs death (a characteristic symptom found in field conditions), fruits rot and mummification, and even vascular dieback. In general, the management of pathogens of the Botryosphaeriaceae family is complex, even more so when the pathogen is already present in the crop area. However, there are genetic, cultural, biological, chemical control measures, among others, that could be integrated and used in cocoa crops. As there is little information about *L. theobromae* in cocoa crops, we believe that this review will be very helpful for both technicians and researchers.

**Keywords:** *Theobroma cacao* L., *Lasiodiplodia theobromae*; biology cycle; vascular dieback; pod rot; management measures.

#### Resumen

A lo largo de la historia, el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) se ha visto afectado por innumerables enfermedades, algunas de estas causadas por *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maul. Aunque han sido reportadas tres especies de *Lasiodiplodia* afectando plantas de cacao, *L. theobromae* es la especie más estudiada tanto en cacao como en otros cultivos. En los últimos años este fitopatógeno ha venido tomando importancia. En cacao, *L. theobromae* puede sobrevivir en el suelo y restos de cultivo en forma de picnidios y clamidósporas, diseminándose por diferentes factores hasta alcanzar los tejidos vegetales, permaneciendo ahí como endófito. El hongo patogénico puede causar muerte de ramillas jóvenes (síntoma característico encontrado en campo), pudrición y momificación de frutos, e incluso muerte regresiva. De manera general, el manejo de patógenos de la familia Botryosphaeriaceae es complejo, más aún cuando el patógeno ya está presente en el local de cultivo. Sin embargo, existen medidas de control genético, cultural, biológico, químico, entre otras, que podrían ser integradas y usadas en el cultivo de cacao. Al existir poca información sobre *L. theobromae* en el cultivo de cacao, creemos que esta revisión será de mucha ayuda tanto para técnicos como para investigadores.

**Palabras clave:** *Theobroma cacao* L., *Lasiodiplodia theobromae*; ciclo biológico; muerte regresiva; pudrición de mazorcas; medidas de manejo.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.068>

#### Cite this article:

Moreira-Morrillo, A. A., Cedeño-Moreira, Á. V., Canchignia-Martínez, F., & Garcés-Fiallos, F. R. (2021). *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maul [(sin.) *Botryodiplodia theobromae* Pat] in the cultivation of cocoa: symptoms, biological cycle and management strategies. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 653-662.

## 1. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo neotropical, originario de la región amazónica de Suramérica (Bartley, 2005), y que ha sido cultivado, comercializado y consumido desde la época precolombina por Aztecas, Mayas, Olmecas y Toltecas (Hurst et al., 2002). Es considerado uno de los cultivos más importante a nivel mundial principalmente para pequeños agricultores (Kongor, et al., 2016). Las almendras (granos) extraídas de sus frutos (mazorca), son materia prima para la industria alimenticia mundial, valorada en más de 47.000 millones de dólares en exportaciones mundiales (Vásquez et al., 2019), y es el ingrediente principal en la elaboración del chocolate, tras un proceso previo de fermentación y secado (Hartel et al., 2017).

La producción de granos de cacao entre 2019-2020 fue de aproximadamente 4700 t, siendo su gran mayoría producida en el continente africano (cerca de 3500 t). Sin embargo, países como Ecuador y Brasil aportan con el 25% de la producción mundial (Statista, 2021). En esta región se cultivan los denominados cacaos Criollo, Forastero y Trinitario (Soria, 1970), destacándose el clon ecuatoriano CCN-51 producto del cruce entre los dos primeros tras un programa de mejoramiento, siendo resistente a enfermedades y altamente productivo, y cultivado en 90% de las nuevas plantaciones cacaoteras del Ecuador (Boza et al., 2014).

Pero a lo largo de la historia, la industria cacaotera se ha visto devastada debido a un desenfrenado declive ocasionado por enfermedades emergentes causadas por varios patógenos, algunos causando muerte en árboles, manteniéndose a flote gracias al establecimiento de nuevas plantaciones (Marelli et al., 2019). En orden de importancia y afectación en el cultivo se citan la pudrición negra de la mazorca (principalmente *Phytophthora megakarya* y *P. palmivora*), la escoba de bruja (*Monilophthora perniciosa*), la moniliasis (*M. roleri*), la muerte vascular regresiva (*Ceratobasidium theobromae*), y la virosis denominada de hinchazón de los brotes (*Cacao swollen shoot virus*) (Akrofi et al., 2016; Cárdenas et al., 2017; Marelli et al., 2019; Sánchez-Mora & Garcés-Fiallos, 2012). Sin embargo, otras enfermedades como mal del machete (*Ceratocystis cacaofunesta*), así como la pudrición de la mazorca y muerte regresiva o descendente, ambas causadas por *Lasiodiplodia* (syn. *Botryodiplodia*) *theobromae*, también requieren de atención (Marelli et al., 2019). Entre las especies de *Lasiodiplodia* que infectan cacao, se reportan hasta el momento *L. parva* (Alves et al., 2008), *L. pseudotheobromae* (Serrato-Díaz et al., 2020) y *L. theobromae* (Asman et al., 2020), consideradas como especies crípticas según Alves et al. (2008). Sin embargo, *L. theobromae* parece ser la especie más importante, estudiada y citada. *L. theobromae* es un hongo necrótrofo asociado a graves daños en diferentes cultivos de importancia económica a nivel mundial (Salvatore et al., 2020), siendo considerado un patógeno peligroso que puede causar la muerte de plantas (Dwiastuti & Aji, 2021). Algunas enfermedades reportadas en cultivos de importancia agrícola son pudrición de raíz (Sathya et al., 2017), gomosis (Guajardo et al., 2018), cáncer, muerte descendente (Asman et al., 2020),

tización de la hoja (Fan et al., 2020) y pudrición de mazorcas (Puig et al., 2021). Entre los daños internos ocasionados como la gomosis en duraznero, están el aumento de los niveles de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y malondialdehído, y la reducción de los contenidos de clorofila a y b (Li et al., 2014). En los últimos años la severidad y sus daños han venido aumentando, causando una serie de problemas en diferentes cultivos incluyendo el cacao (Pereira et al., 2006), lo que ha hecho que se tome más interés en esta patología. *L. theobromae* pasó de ser un hongo con actividad endófito a ser un patógeno oportunista, y ahora es considerado potencialmente una amenaza para el cultivo de cacao (Ali et al., 2019). Tal vez, el ser un microorganismo con dichas características y además cosmopolita, polífago, ha hecho que este se prolifere en los cacaotales del continente americano, asociado especialmente a plantas estresadas por otros factores abióticos y bióticos (Tavares et al., 1994; Pereira et al., 2006).

Hasta la presente fecha, poco se conoce al respecto de *L. theobromae* en el cultivo de cacao. Por ello, esta revisión profundiza cada uno de los temas relacionados al patógeno y sus enfermedades producidas en el cultivo, abordando desde la etiología hasta su manejo integrado, objetivando brindar información actualizada al lector. Cabe destacar, que ante la falta de estudios con *L. theobromae* en cacao, nos hemos visto en la necesidad de usar artículos científicos no solo en cacao, sino también en otros cultivos.

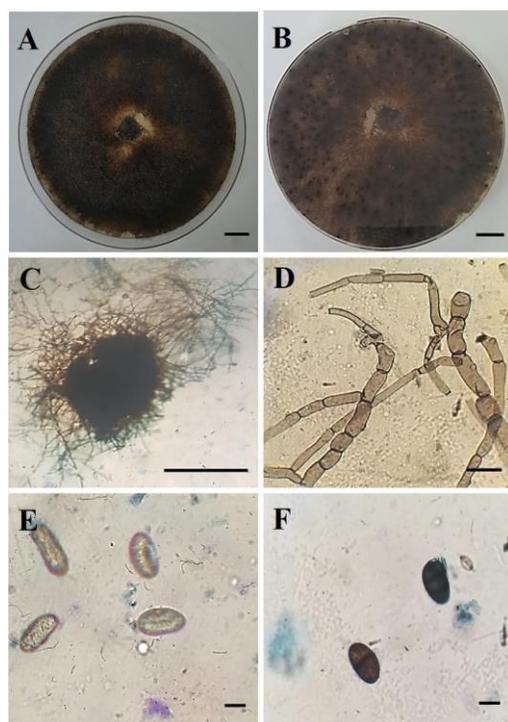
## 2. Etiología

*Lasiodiplodia theobromae* (Pat) Griffon & Maul (forma sexual *Botryodiplodia theobromae* Pat) es un hongo patógeno necrótrofo perteneciente al Filo Ascomycota, clase Dothideomycetes, orden Botriosphaerales y familia Botryosphaeriaceae (Slippers et al., 2013; Sathya et al., 2017). Un dato interesante, es que *Botryosphaeria rhodina* (Berk. y M.A. Curtis), taxonómicamente ha sido tema de confusión a lo largo del tiempo, debido principalmente a su sinonimia en la nomenclatura con *L. theobromae* (Burgess et al. 2006). Un claro ejemplo de esta aseveración es el trabajo de Slippers et al. (2013), donde analizando el linaje filogenético de diferentes especies del Orden Botriosphaerales, incluyeron el aislado CBS 164.96 de *L. theobromae*, codificado, identificado y depositado como *B. rhodina*, en el Centro de biodiversidad fúngica, localizado en Utrecht, Países Bajos. De manera general, en la actualidad la denominación del género *Lasiodiplodia* puede ser considerado válido.

En condiciones de laboratorio, inicialmente el patógeno presenta un desarrollo micelial de color blanco, tornándose posteriormente de color cenizo oscuro, hasta volverse finalmente negruzco (Figura 1A y B). Los picnidios (Figura 1C) formados son de color negro (estructuras de resistencia) y ostiolados con parafisis de 4 y 55 μm de ancho y longitud, respectivamente (Barnett & Hunter, 1998; Alves, 2008). Esta última característica diferencia al género *Lasiodiplodia* spp., de otros estrechamente relacionados (Akrofi et al., 2016). Las hifas son completamente septadas (Figura 1D), formando conidióforos cortos y simples (Barnett & Hunter, 1998), que a la postre generan conidios (Figura 1E y F; esporas asexuadas) que oscilan entre 13,0 y

15,4  $\mu\text{m}$  de ancho y entre 23,6 y 28,2  $\mu\text{m}$  de largo (Alves, 2008). Las conidias son hialinas en estado inmaduro, elipsoidales, unicelulares, de pared gruesa y con un contenido granular, mientras que en estado maduro son septadas con estrías longitudinales de color marrón oscuro (Hendra et al., 2019).

En un estudio genómico y trangenómico reciente realizado por Ali et al. (2019), donde se investigaron 13061 genes codificadores de proteínas en 52 cepas de *L. theobromae* aislados de tejidos sintomáticos de cacao, se encontraron 2862 exclusivos para la especie en estudio, en comparación con otros miembros de Botryosphaeriaceae estrechamente relacionadas. Mientras tanto, a nivel bioquímico se conoce que *L. theobromae* posee 134 compuestos químicamente definidos pertenecientes a las clases de metabolitos secundarios y ácidos grasos, i.e. ciclohexenos y ciclohexenonas, indoles, jasmonatos, lactonas, melleínas, fenoles y otros (Salvatore et al., 2020).



**Figura 1.** Estructuras asexuadas de *Lasiodiplodia* spp. obtenidas a partir de tejidos sintomáticos de cacao. A-B, Crecimiento del patógeno en placas de Petri conteniendo medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA), mostrando un aspecto algodonoso con rápida extensión micelial (superficie completamente cubierta). C, Formación de picnidios (conidiomata) desarrollados sobre placas de Petri conteniendo medio PDA. D, Hifas septadas de color marrón oscuro. E, Conidias hialinas unicelulares inmaduras. F, Conidias maduras (septadas y oscuras con estrías longitudinales).

### 3. Distribución geográfica

El movimiento de material vegetal infectado por Botryosphaeriaceae incluido *L. theobromae* mediado por humanos, puede facilitar su dispersión a nivel mundial (Mehl et al., 2017). Actualmente, la especie está

ampliamente distribuida concentrándose mayormente en los trópicos y sub-trópicos (Rodríguez-Galvez et al., 2017). En cacao, el patógeno fue descrito por primera vez en Camerún en 1895, causando pudrición de mazorcas en cacao (Mbenoun, 2008). Posteriormente, se lo reportó en India (Kannan et al., 2010), Samoa Occidental (Bourke, 1992), Bangladesh (Shamsi et al., 2010), y Filipinas (Alvinda & Gallema, 2017).

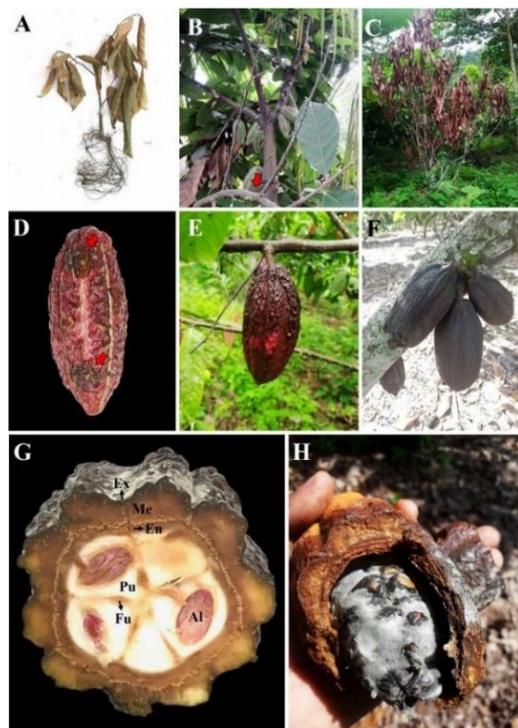
*L. theobromae* tiene un rango superior a 500 especies hospedadoras (Farr & Rossman, 2021), lo cual aumenta su distribución. En Sudamérica, por ejemplo, algunos cultivos de importancia agrícola donde se ha reportado el hongo son: aguacate en Perú y Cuba (Alama et al., 2006; Cabrera et al., 2016), mango en Brasil, Perú y Cuba (Marques et al., 2013; Rodríguez-Gálvez et al., 2017; Cabrera et al., 2016), cítricos en Chile, México y Cuba (Guajardo et al., 2018; Valle-de la Paz et al., 2019; Cabrera et al., 2016), papaya en Brasil (Netto et al., 2014), vid en Perú (Vergara, 2017), y teca en Brasil (Ferreira et al., 2018). Con respecto al cultivo de cacao, *L. theobromae* ha sido aislado de tejidos sintomáticos en Venezuela (Urdaneta & Delgado, 2007), Cuba (Martínez de la Parte & Pérez-Vicente, 2015) y México (Torres-de la Cruz et al., 2018), pero al no existir pruebas de patogenicidad, este microorganismo no puede ser asociado como un patógeno en ese cultivo. En Ecuador hasta la fecha se ha reportado al patógeno únicamente afectando árboles de *T. gileri* (Evans et al., 2003).

### 4. Sintomatología

El patógeno puede infectar tejidos vegetales sanos sin que presenten síntomas, comportándose como un endófito (Mohali et al., 2005). Sin embargo, si la planta atraviesa algún tipo de estrés los síntomas se pueden hacer visibles (Mullen, 1991).

En condiciones controladas, los primeros síntomas pueden ser visibles a los 14 días después de la inoculación (DDI) de *L. theobromae* en plantas de cacao (Mvondo et al., 2019), pudiendo estas morir (Figura 2A) en un lapso de 10 semanas (Alvinda & Gallema, 2017). A nivel de campo, el patógeno puede afectar ramillas jóvenes (Burgess et al., 2006), causándoles la muerte sin afectar ramas principales (Figura 2B). No obstante, con la colonización del patógeno en los tejidos pueden observarse clorosis en todo el follaje (Alvinda & Gallema, 2017), marchitamiento y posteriormente muerte de la planta (Figura 2C), fenómeno que toma el nombre de “muerte regresiva” (Kannan et al., 2010).

Otros de los síntomas observados en campo son la pudrición y la momificación de mazorcas (Valarmathi & Ladhakshmi, 2018). Luego que el hongo penetra muy fácilmente los tejidos de mazorcas sanas aparecen manchas de coloración marrón en la corteza (Figura 2D, E), pudiendo alcanzar las almendras de cacao, donde finalmente se puede observar la mazorca totalmente necrosada e inviable (Figura 2G y 2F). Las mazorcas afectadas presentan en su interior una masa de micelio negruzco que envuelve las almendras (Figura 2H). Aunque otros síntomas como gomosis, canchros y agallas pueden también observarse en el tallo (del Castillo et al., 2016), en cacao aún no hay evidencias al respecto.



**Figura 2.** Síntomas causados por *Lasiodiplodia theobromae* en cacao. A, Plántula infectada artificialmente mostrando marchitez. B, Rama muerta (flecha roja). C, Planta evidenciando muerte regresiva. D, Mazorcas infectadas artificialmente mostrando necrosis (flechas rojas). E-F, Mazorcas infectadas en condiciones de campo, mostrando pudrición parcial (E) y total (F). G-H, Daños internos y externos observados en tejidos de mazorcas. Ex: Exocarpio; Me: Mesocarpio; En: Endocarpio; Pu: Pulpa; Fu: Funiculo; Al: Almendras.

### 5. Condiciones agroclimáticas óptimas para el patógeno

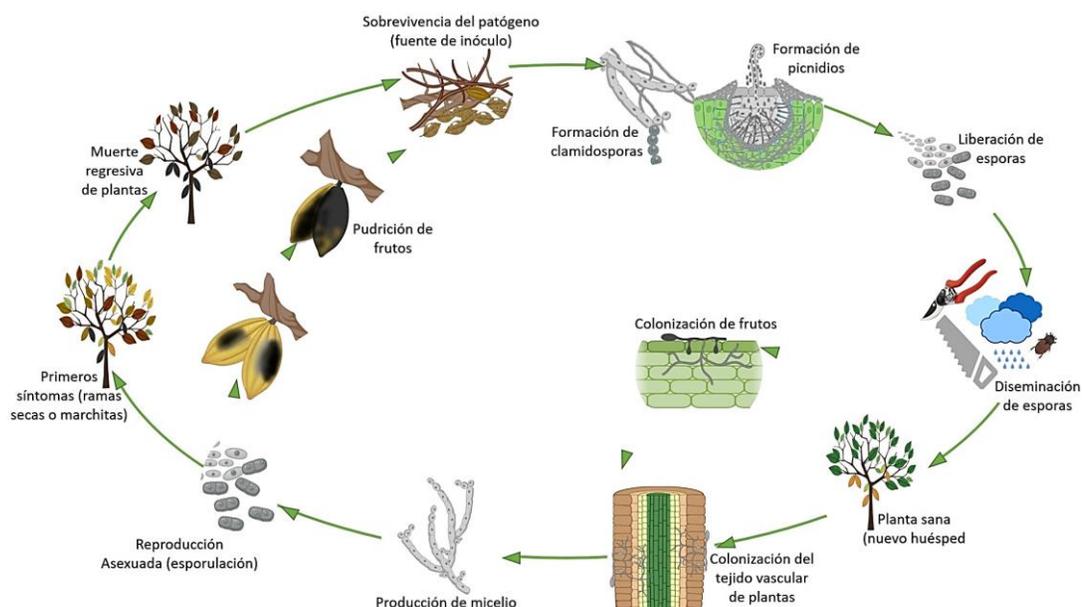
*L. theobromae* es un hongo fitopatógeno encontrado comúnmente en las regiones tropicales y subtropicales del

planeta (Salvatore et al., 2020), pudiendo desarrollarse ágilmente en suelos arcillosos o subsuelo impermeable y con alta humedad (Rodrigues, 2003). Aunque su crecimiento óptimo está entre 29 y 30 °C (Pitt, Huang, & Savocchia, 2013), el microorganismo puede esporular entre 15 y 40 °C (Shaidul et al., 2001), siendo favorecido por períodos lluviosos que estimula la masiva producción de esporas y su diseminación (Vásquez-López et al., 2009). Algunos factores abióticos como el estrés hídrico y un bajo nivel de nutrición influyen positivamente en el crecimiento y desarrollo del patógeno en tejidos vegetales de mango (Khanzada et al., 2005). En el duraznero, se ha reportado que la alta humedad y heridas mecánicas promueven el desarrollo de la gomosis ocasionada por *L. theobromae* (Li et al., 2014).

### 6. Ciclo de la enfermedad

El fitopatógeno sobrevive en el suelo y en restos culturales (fuente de inóculo, Figura 3), principalmente en forma de picnidios, esclerocios (Michereff et al., 2005; Kuswinanti, 2019) y/o clamidósporas que actúan como estructuras de resistencia en restos de tejidos infectados y/o en el suelo (Ogundana, 1983). El microorganismo en esta fase del ciclo tal vez podría permanecer como un saprófito. Las esporas contenidas en los picnidios son liberadas al ambiente en condiciones óptimas (Muhamad et al., 2009), siendo diseminadas por el viento, la lluvia (Vásquez-López et al., 2009) o transportadas a través de herramientas e insectos de la familia Miridae (*Helopeltis thevora*, *H. ammonii* y *H. theobromae*) (Kranz et al., 1977; Pløet, 2003, Figura 3).

Una vez que el hongo llega a la planta, pueden observarse lesiones en frutos (Kranz et al., 1977), brotes y ramillas jóvenes (Martoredjo et al., 1995), causando graves daños en el rendimiento de mazorcas especialmente en variedades de cacao susceptibles (Adu-Acheampong et al., 2011, Figura 3).



**Figura 3.** Ciclo de infección de *Lasiodiplodia theobromae* en plantas y mazorcas de cacao.

El patógeno invade los tejidos del huésped tanto inter como intracelularmente en vides (Al-Saadoon et al., 2012) y anacardo (Muniz et al., 2011), pudiendo causar una desorganización de las células de los haces vasculares a los 7 DDI de *L. theobromae*, y finalmente una necrosis en la región parenquimatosa y del xilema (Figura 3). En el caso de cacao, el patógeno puede afectar tanto ramillas, ramas y troncos, así como mazorcas. De hecho, en este cultivo se puede observar la presencia de picnidios en ramillas jóvenes muertas. En brotes y pecíolos de vides, el patógeno produce picnidios que originan conidios, similar a los producidos en condiciones *in vitro* (Al-Saadoon et al., 2012; Figura 1C, 1E y 1F). Por otro lado, la ocurrencia de pudrición en mazorcas se da principalmente por la intensa fuente de inóculo presente en el área de cultivo (Twumasi et al., 2014), debido a que el fitopatógeno aprovecha los desechos provenientes de la cosecha para sobrevivir y completar su ciclo de vida (Kuswinanti, 2019).

## 7. Manejo de la enfermedad

Una vez *L. theobromae* es detectado en un cultivo, o en su defecto algún fitopatógeno de la Familia Botryosphaeriaceae, el manejo puede volverse difícil (Jaiyeola et al., 2014), debido principalmente a la capacidad de sobrevivencia del hongo en restos de tejidos afectados (Michereff et al., 2005; Kuswinanti, 2019) y su amplio rango de hospederos (Akrofi et al., 2016). Aunque el uso de medidas convencionales de manejo como el uso de fungicidas sintéticos es una de las alternativas, también se pueden emplear otras alternativas ecológicas, que incluso pueden ser económicas (Adu-Acheampong et al., 2011). Para describir cada uno de los métodos de manejo de la muerte regresiva y de la pudrición de mazorcas causadas *L. theobromae* en cacao, se optó por usar artículos donde hayan abordado su manejo, independientemente del cultivo abordado.

### a. Control genético

Existen evidencias de la existencia de resistencia en cacao a la muerte regresiva causada por *L. theobromae*. De hecho, Adu-Acheampong et al. (2011) evaluando el tamaño de lesiones, la colonización de tejidos del tallo y la incidencia de muerte regresiva en 29 y 15 genotipos de cacao en condiciones de laboratorio e invernadero, respectivamente, encontraron que los materiales CATIE 1000, T85/799 y MXC 67 presentan resistencia a *L. theobromae*, pudiendo ser fuentes útiles en futuros programas de mejoramiento genético. Aunque los factores relacionados a la resistencia de cacao a la infección por *L. theobromae* aún no son conocidos, en otros cultivos como la vid, se sugiere que la inmunidad innata, la señalización de fitohormonas y muchos compuestos fenilpropanóides, constituyen una compleja red de defensa contra el patógeno (Zhang et al., 2019). A su vez, en tejidos del tallo de plantas resistentes y susceptibles de marañón a la gomosis causada por *L. theobromae*, durante los primeros momentos de la infección, se han encontrado proteínas relacionadas a las vías del metabolismo energético, estrés y defensa, señalización celular y metabolismo de proteínas (Cipriano et al., 2015). Interesantemente en plantas de cacao, cinco

de esas proteínas previamente han sido asociadas al estrés y defensa (proteínas Chaperonas similares a HSP20 y tipo Germen 10), y a la señalización (no identificada).

### b. Control cultural

Este método consiste básicamente en interferir los procesos del patógeno como sobrevivencia, diseminación y reproducción, minimizando los efectos de la enfermedad. Como medida importante, se recomienda realizar un saneamiento adecuado en toda la plantación, eliminando partes, tejidos o plantas infectadas mediante podas adecuadas (Akrofi et al., 2016), y restos presentes en el suelo, pues este es una fuente de inóculo importante para el fitopatógeno. Esta práctica en conjunto con otras detalladas en esta revisión puede resultar muy efectiva para el control de *L. theobromae* en el campo, ya que al ser un patógeno de comportamiento monocíclico, se debe actuar al inicio de su ciclo de vida (Uc-Várquez et al., 2017).

Otros de los métodos culturales que pueden ser implementados, están la selección del área de plantación libre de patógenos, la elección de la época de siembra (vivero) o trasplante (campo), el uso de material de propagación libre de patógenos, y tal vez uno de los más importantes, evitar lesiones en las plantas, puesto que las heridas pueden ser la principal puerta de ingreso para el patógeno (Michereff et al., 2005).

### c. Control físico

Este método consiste en el uso de factores físicos (por lo general temperatura y radiación) para controlar enfermedades. Aunque no existe ningún trabajo mostrando el uso de este método en el control de enfermedades causadas por *L. theobromae*, la solarización del suelo podría ser una interesante alternativa en la etapa de propagación de plantas de cacao, debido a la reducción del inóculo localizado en el sustrato (Katan et al., 1976; Michereff et al., 2005). Para este caso específico, tal vez lo ideal sería el uso de un colector solar, como el desarrollado por Ghini (1993) en Brasil.

### d. Control biológico

Esta es una gran alternativa al momento de prevenir alguna infección fúngica, pudiendo en algunos casos ser comparado con el control químico (Mortuza & Ilag, 1999). Tanto hongos, bacterias y levaduras han sido evaluados en el manejo de enfermedades causadas por *L. theobromae* en diferentes cultivos. Sin embargo, los hongos podrían tener un mayor potencial antagonista (Borges et al., 2018). Recientemente en cacao, Nurlaila et al. (2020), probando la capacidad de *Trichoderma asperellum* en la supresión del estriado vascular causado por *Ceratobasidium theobromae*, después de un año de tratamiento, encontraron que la incidencia de *Lasiodiplodia* sp. disminuyó en raíces y ramas tratadas con el agente biológico. La capacidad antagonista de aislados de *Trichoderma* contra *L. theobromae*, fue también demostrada por Mortuza & Ilag (1999), encontrando que a pesar de que *T. harzianum* inhibe el patógeno en pruebas de antagonismo (cultivo dual), tanto esta especie

como *T. viride* lo parasitan directamente, causando daño en sus células. En frutos de banano, el tratamiento preventivo con *T. viride* 4 h antes de la inoculación con *L. theobromae*, reduce la pudrición en más del 60%. Así también, *T. harzianum* puede reducir *L. theobromae* en vides, sin alterar sus aspectos fisiológicos, pudiendo incluso ser usado para proteger heridas generadas por podas (Rusin et al., 2021).

Con respecto al uso de bacterias, recientemente, Kamil et al. (2018), evaluando el control *in vitro* de *L. theobromae* en mango usando 53 actinobacterias (66% estreptomicetos y 34% no-estreptomicetos), se destacaron 7 estreptomicetos y 12 no estreptomicetos por presentar actividades antagonistas (producción de metabolitos antifúngicos difusibles, enzimas que degradan la pared celular-EDPC) contra el patógeno. Las cepas con un efecto inhibitor superior se evaluaron en bioensayos con frutos de mango, destacándose *Streptomyces samsunensis* UAE1 (antibiosis, y producción de quitinasa y sideróforos), *S. cavourensis* UAE1 (desarrollo de antibióticos) y *Micromonospora tulbaghiaie* UAE1 (producción de EDPC). Finalmente, la pre-inoculación en plantas de mango con dichas actinobacterias en condiciones de invernadero, pudo reducir fuertemente la severidad de la muerte regresiva causada por *L. theobromae*. Así también en mango, pero usando la levadura *Candida maritima* LM-5 en el biocontrol de la pudrición de frutos causada por *L. theobromae*, este organismo pudo proporcionar un control superior de la enfermedad e inhibir fuertemente la germinación de los conidios (Michereff et al., 1997).

#### e. Control botánico

El empleo de extractos vegetales o de alguno de sus derivados, pueden funcionar como fungicidas botánicos o simplemente bioestimulantes. Por ejemplo, recientemente Mvondo et al. (2019) demostró el efecto inhibitor del extracto etanólico (100 mg L<sup>-1</sup>) de semillas de neem (*Azadirachta indica*), consiguiendo reducir el crecimiento de *L. theobromae* en plantas de cacao, relacionado probablemente al contenido de Azadiractina en el extracto. Extractos etanólicos foliares de *Dioscorea dumetorum* y *Moringa oleifera*, pueden reducir significativamente el crecimiento micelial y esporulación de *L. theobromae* en mazorcas de cacao, posiblemente

debido a glucósidos, antraquinonas y compuestos reductores presentes en los extractos (Okey et al., 2015). Aunque únicamente en condiciones *in vitro* los extractos etanólicos de *Schinus molle* (Segura-Contreras et al., 2015), *Caryophyllus aromaticus* y *Allium sativum* (Rusin et al., 2021), así como el aceite esencial de hojas de *Chenopodium ambrosioides* (Kumar et al., 2017) pueden inhibir el crecimiento de *L. theobromae*, este último puede incluso proteger al grano de trigo del biodeterioro en la fase de poscosecha. Finalmente, Sudha et al. (2019) evaluando el efecto de 30 extractos de plantas contra *L. theobromae* aislado de plantas de coco, el extracto foliar (5% y 10%) de diferentes especies de *Allium* spp., inhibieron el crecimiento micelial del patógeno en condiciones *in vitro*.

#### f. Control químico

Aunque el uso de fungicidas en el cultivo de cacao en América Latina es mínimo, el uso de diferentes fungicidas de origen sintético (comúnmente denominado de químico) han sido usados para el control enfermedades producidas por *L. theobromae* como gomosis, muerte regresiva, pudrición de frutos, debido principalmente a que estas moléculas pueden suprimir el crecimiento micelial y la germinación de conidios del patógeno. Entre los fungicidas usados de forma aislada están azoxistrobina, carbendazim, clorotalonil, difenoconazol, fosetil-aluminio, iprodiona, mancozeb, metil tiofanato, piraclostrobina, procloraz, propiconazol y tebuconazol, así como en mezclas ciprodinil + fludioxinil, Clorotalonil + carbendazim y piraclostrobin + boscalid (Tovar-Pedraza et al., 2013; Yang et al., 2019; Rusin et al., 2021; Yang et al., 2021). Sin embargo, hay reportes de la reducción de la sensibilidad de aislados de *L. theobromae* a fungicidas como difeconazol (Li et al., 2020; Rusin et al., 2021), sugiriendo la presencia de aislados resistentes.

En esta revisión, se ha considerado importante citar diferentes trabajos donde se ha evaluado la sensibilidad de aislados de *L. theobromae* obtenidos a partir de varios tejidos y especies vegetales, fungicidas usados de forma habitual en condiciones de campo (Tabla 1). El desarrollo de la resistencia del patógeno a los fungicidas podría ser una de las principales razones, de la reducción en la eficacia del manejo de las enfermedades causadas por *L. theobromae*.

**Tabla 1**

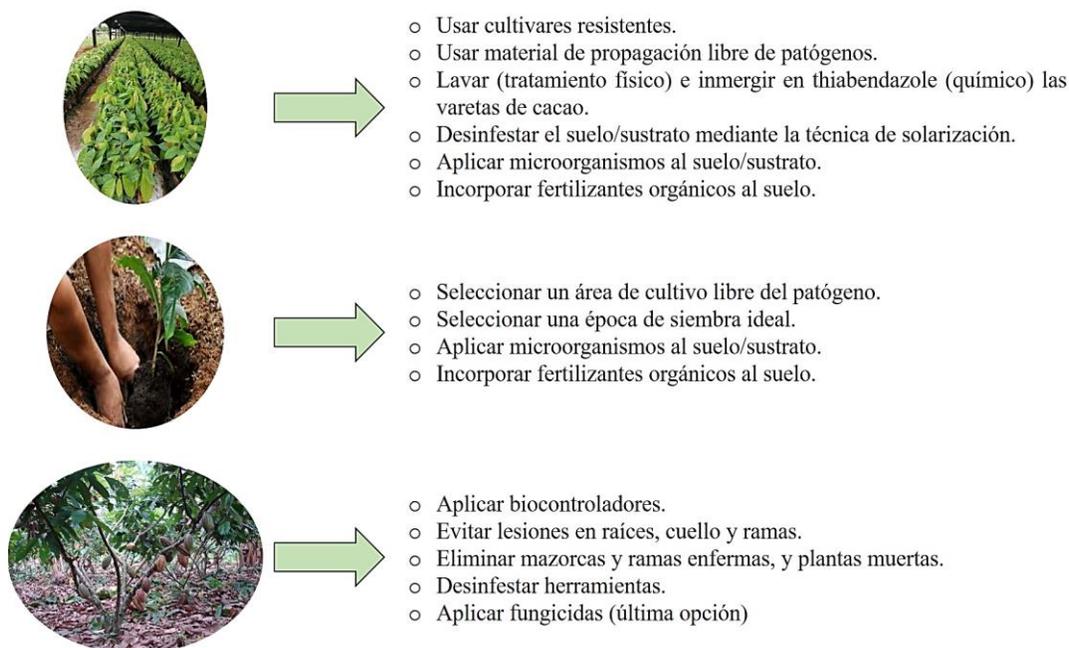
Estado de la resistencia a fungicidas en aislados de *Lasiodiplodia theobromae* en diferentes cultivos

Fungicida	Cultivo	Concentración letal media (CL50)	Referencia
Mancozeb	cacao	1 µl L <sup>-1</sup>	Mvondo et al. (2019)
Clorotalonil + carbendazim		0,97-10 <sup>-6</sup> µl L <sup>-1</sup>	Mvondo et al. (2019)
Hidróxido de cobre	mango	40,3-738,1 mg L <sup>-1</sup>	Al-Jabri et al. (2017)
Iprodiona		0,01-8,75 mg L <sup>-1</sup>	Al-Jabri et al. (2017)
Metil tiofanato		0,1-1000 mg L <sup>-1</sup>	Al-Jabri et al. (2017)
Oxicloruro de cobre		0,1-242,8 mg L <sup>-1</sup>	Al-Jabri et al. (2017)
Azoxistrobina	papaya	0,4-364,2 µg L <sup>-1</sup>	Chen et al. (2020)
Benomil		0,002-0,13 µg L <sup>-1</sup>	da Silva Pereira et al. (2012)
Difenoconazol		6,1-6,3 µg mL <sup>-1</sup>	Li et al. (2020)
Imazalil		0,001-2,3 µg L <sup>-1</sup>	da Silva Pereira et al. (2012)
Metil tiofanato		> 300 µg L <sup>-1</sup>	Cavalcante et al. (2014)
Procloraz		0,04-1,8 µg L <sup>-1</sup>	da Silva Pereira et al. (2012)
Tebuconazol		0,1-4,05 µg L <sup>-1</sup>	da Silva Pereira et al. (2012)
Tiabendazol		0,4-1,3 µg L <sup>-1</sup>	da Silva Pereira et al. (2012)

### g. Manejo integrado de enfermedades (MIE)

La integración de los componentes de manejo, podría ser una herramienta importante en el control de enfermedades causadas por *L. theobromae*. En la **Figura 4** se describen varias medidas que pueden ser implementadas en conjunto para reducir la muerte

regresiva y pudrición de mazorcas en el cultivo de cacao (adaptado de Michereff et al., 2005; Tovar-Pedraza et al., 2013; Yang et al., 2021). Lo importante es el uso integrado de dos o más medias de manejo, pues de esta manera se tendría suceso en la reducción de enfermedades causadas por *L. theobromae*.



**Figura 4.** Propuesta de manejo integrado de muerte regresiva y de pudrición de frutos causadas por *Lasiodiplodia theobromae* en el cultivo de cacao.

## 8. Conclusiones

*L. theobromae* es un hongo patógeno que ha tomado importancia en los diferentes países de América Latina, especialmente Ecuador, causando principalmente muerte regresiva y pudrición de frutos en cultivos comerciales de cacao. El gran número de hospederos conformado principalmente por cultivos de importancia agrícola, hacen de este patógeno un organismo cosmopolita y su capacidad de sobrevivir en el suelo y en restos vegetales lo vuelve difícil de controlar. Varias medidas para su manejo han sido detalladas en esta revisión actualizada, e incluso se ha propuesto la integralización de medidas que pueden ayudar a reducir tanto la muerte regresiva como la pudrición de frutos en cacao. De cualquier manera, se requieren investigaciones adicionales que objetivasen evaluar un poco más el patógeno, así como los factores que contribuyen al aumento de sus enfermedades en cacao, más que todo en países dedicados a este cultivo. En vista de la poca información científica acerca de *L. theobromae* en cacao a nivel mundial, se torna importante elucidar varias interrogantes sobre su etiología y manejo, especialmente en países sudamericanos.

### ORCID

A. A. Moreira-Morrillo  <https://orcid.org/0000-0003-4060-3044>  
 A. V. Cedeño-Moreira  <https://orcid.org/0000-0002-6564-5569>  
 F. Canchignia-Martínez  <https://orcid.org/0000-0003-1195-5446>  
 F. R. Garcés-Fiallos  <https://orcid.org/0000-0002-1795-4439>

## Referencias bibliográficas

- Adu-Acheampong, R., Archer, S., & Leather, S. (2012). Resistance to dieback disease caused by *Fusarium* and *Lasiodiplodia* species in cacao (*Theobroma cacao* L.) Genotypes. *Experimental agriculture*, 48(1), 85-98.
- Akrofi, A. Y., Amoako-Atta, I., Acheampong, K., Assuah, M. K., & Melnick, R. L. (2016). Fruit and Canopy Pathogens of Unknown Potential Risk. En Bailey B. A., & Meinhardt. L. W. (Eds). *Cacao Diseases: A History of Old Enemies and New Encounters* (361-38). Cham: Springer.
- Alama, I., Maldonado, E., & Rodríguez-Gálvez, E. (2006). *Lasiodiplodia theobromae* afectando el cultivo de palto (*Persea americana*) en las condiciones de Piura-Perú. *Universalia*, 11(2), 4-7.
- Ali, S. S., Asman, A., Shao, J., Balidion, J. F., Strem, M. D., et al. (2019). Genome and transcriptome analysis of the latent pathogen *Lasiodiplodia theobromae*, an emerging threat to the cacao industry. *Genome*, 63(1), 37-52.
- Al-Jabri, M. K., Al-Shaili, M., Al-Hashmi, M., Nasehi, A., Al-Mahmooli, I. H., & Al-Sadi, A. M. (2017). Characterization and evaluation of fungicide resistance among *Lasiodiplodia theobromae* isolates associated with mango dieback in Oman. *Journal of Plant Pathology*, 99(3), 753-759.
- Al-Saadoon, A. H., Ameen, M. K. M. & Al-Rubaie, E. M.A. (2012). Histopathology of grapevine inoculated with *Lasiodiplodia theobromae*. *Basrah J of Agricultural Sciences*, 25(1), 1-12.
- Alves, A., Crous, P. W., Correia, A., & Phillips, L. A. J. (2008). Morphological and molecular data reveal cryptic speciation in *Lasiodiplodia theobromae*. *Fungal Diversity*, 28, 1-13.
- Alvinda, D. G., & Gallema, F. L.M. (2017). *Lasiodiplodia theobromae* causes vascular streak dieback (VSD)-like symptoms of cacao

- in Davao Region, Philippines. *Australasian Plant Disease Notes*, 12(1), 54.
- Asman, A., Rosmana, A., Bailey, B.A., Shahin, A.S., Stream, M.D., et al. (2020). *Lasiodiplodia theobromae*: an emerging threat to cocoa causes dieback and canker disease in Sulawesi. In *ACIAR Proceedings Series* (No. 149, pp. 80-84). *Australian Centre for International Agricultural Research* (ACIAR).
- Barnett, H. L. & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 4th edition. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota, USA. 218p.
- Bartley, B. (2005). *The genetic diversity of cacao and its utilization*. Wallingford: CABI.
- Borges, F. R. C., Marques, E., Macedo, M. A., Martins, I., Filho da Silva, J. G., & de Mello Marques, S. C. (2018). Biocontrol of teak canker caused by *Lasiodiplodia theobromae*. *Revista Árvore*, 42(3), e420304.
- Boza, E. J., & Motamayor, J. C. (2014). Genetic Characterization of the Cacao Cultivar CCN 51: Its Impact and Significance on Global Cacao Improvement and Production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 139(2), 219-229.
- Burgess, T. I., Barber, P. A., Mohali, S., Pegg, G., de Beer, W., & Wingfield, M. J. (2006). Three new *Lasiodiplodia* spp. from the tropics, recognized based on DNA sequence comparisons and morphology. *Mycologia*, 98(3), 423-435.
- Cabrera, R. I., Ferrer, J., Peña, I., Banguela, A., Herrera, S., Hernández, M. R., & Otero-Colina, G. (2016). Presencia y daños causados por *Lasiodiplodia theobromae* en los frutales de diferentes provincias y localidades de Cuba. *Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos*, 434, 284-289.
- Cárdenas, N. J., Darghan, A., Sosa Rico, M. D., & Rodríguez, A. (2017). Análisis espacial de la incidencia de enfermedades en diferentes genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Yopal (Casanare), Colombia. *Acta biológica Colombiana*, 22(2), 209-220.
- Cavalcante, R. D., Lima, W.G., Martins, R. B., Tovar-Pedraza, J. M., Michereff, S. J., & Câmara, S. M. P. (2014). Thiophanate-methyl sensitivity and fitness in *Lasiodiplodia theobromae* populations from papaya in Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 140(2), 251-259.
- Chen, F., Tsuji, S. S., Li, Y., Hu, M., Bandeira, M. A., et al. (2019). Reduced sensitivity of azoxystrobin and thiophanate methyl resistance in *Lasiodiplodia theobromae* from papaya. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 162, 60-68.
- Cipriano, A. K., Gondim, D. M., Vasconcelos, I. M., Martins, J. A., Moura, A. A., et al. (2015). Proteomic analysis of responsive stem proteins of resistant and susceptible cashew plants after *Lasiodiplodia theobromae* infection. *Journal of proteomics*, 113, 90-109.
- da Silva Pereira, A. V., Martins, R. B., Michereff, S. J., da Silva, M. B., & Câmara, S. M. P. (2012). Sensitivity of *Lasiodiplodia theobromae* from Brazilian papaya orchards to MBC and DMI fungicides. *European Journal of Plant Pathology*, 132(4), 489-498.
- del Castillo, S. D., Parra, D., Noceda, C., & Pérez-Martínez, S. (2016). Co-occurrence of pathogenic and non-pathogenic *Fusarium decemcellulare* and *Lasiodiplodia theobromae* isolates in cushion galls disease of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Plant Protection Research*, 56(2), 129-138.
- Dwiastuti, M. E., & Aji, T. G. (2021). Citrus stem rot disease (*Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl) problem and their control strategy in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 752(1), 012-030.
- Evans, H. C., Holmes, K. A., Thomas, S. E. (2003). Endophytes and mycoparasites associated with an indigenous forest tree. *Mycological Progress* 2, 149-160.
- Fan, R., Yin, L., Wu, X., Hu, A., Yin, X., Zhao, Z., & Long, Y. (2020). First report of *Lasiodiplodia theobromae* causing leaf blight of *Kadsura longipedunculata* in China. *Plant Disease*, 104(11), 3063.
- Farr, D. F., Rossman, A. Y. (2021). *Fungal Databases*, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA.
- Ferreira, R. C., Marques, E., Alves, M., Martins, I., Getulio, J., & Correa, S. (2018). Biocontrol of teak canker caused by *Lasiodiplodia theobromae*. *Revista Árvore*, 42(3), e420304.
- Ghini, R. (1993). A solar collector for soil disinfestation. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 99(1), 45-50.
- Guajardo, J., Riquelme, N., Tapia, L., Larach, A., Torres, C., Camps, R., & Besoain, X. (2018). First report of *Lasiodiplodia theobromae* causing bot gummosis in *Citrus limon* in Chile. *Plant Disease*, 102(4), 818.
- Hartel, R. W., von Elbe, J. H., & Hofberger, R. (2017). Chocolate. In *Confectionery Science and Technology*, Springer, Cham, 423-484.
- Hendra, H., Wibowo, A., & Suryanti, S. (2019). Fungal pathogens associated with Vascular streak dieback (VSD) disease on cacao in special region of Yogyakarta Province. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 23(1), 133-141.
- Hurst, W. J., Tarka Jr, S. M., Powis, T. G., Valdez Jr, F., & Hester, T. R. (2002). Cacao usage by the earliest Maya civilization. *Nature*, 418(6895), 289-290.
- Jaiyeola, I., Akinrinlola, R. J., Ige, G. S., Omoleye, O. O., Oyedele, A., et al. (2014). Bot canker pathogens could complicate the management of *Phytophthora* black pod of cocoa. *African Journal of Microbiology Research*, 8(33), 3094-3100.
- Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. V., Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile — A review. *Food Research International*, 82, 44-52.
- Kamil, F. H., Saeed, E. E., El-Tarabily, K. A., & Abu Qamar, S. F. (2018). Biological control of mango Dieback disease caused by *Lasiodiplodia theobromae* using streptomycete and non-streptomycete Actinobacteria in the United Arab Emirates. *Frontiers in Microbiology*, 9, 829.
- Kannan, C., Karthik, M., & Priya, K. (2010). *Lasiodiplodia theobromae* causes a damaging dieback of cocoa in India. *Plant Pathology*, 59(2), 410-410.
- Katan, J., Greenberger, A., Alon, H., & Grinstein, A. (1976) Solar heating by polyethylene mulching for control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*, 66, 683-688.
- Khanzada, M. A., Lodhi, A. M., & Shahzad, S. (2005). Chemical control of *Lasiodiplodia theobromae*, the causal agent of mango decline in Sindh. *Pakistan Journal of Botany*, 37, 1023-1030.
- Kranz, J., Schmutterer, H., & Koch, W. (1978). Diseases, Pests, and Weeds in Tropical Crops. *Soil Science*, 125(4), 272.
- Kumar, R., Mishra, A., Dubey, N., & Tripathi, Y. (2007). Evaluation of *Chenopodium ambrosioides* oil as a potential source of antifungal, antiaflatoxinigenic and antioxidant activity. *International Journal of Food Microbiology*, 115(2), 159-164.
- Kuswinanti, T., Junaid, M., Melina, Surapati, U., & Ratnawaty. (2019). A promising microbial use on cocoa: decomposing cocoa waste and controlling *Lasiodiplodia theobromae* in-vitro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 343, 012256.
- Li, Y., Tsuji, S. S., Hu, M., Câmara, S. M. P., Michereff, S. J., Schnabel, G., & Chen, F. (2020). Characterization of difenoconazole resistance in *Lasiodiplodia theobromae* from papaya in Brazil. *Pest Management Science*, 76(4), 1344-1352.
- Li, Z., Wang, Y.-T., Gao, L., Wang, F., Ye, J.-L., & Li, G.-H. (2014). Biochemical changes and defence responses during the development of peach gummosis caused by *Lasiodiplodia theobromae*. *European Journal of Plant Pathology*, 138(1), 195-207.
- Marelli, J.-P., Guest, D., Bailey, B. A., Evans, H. C., Brown, J. K., et al. (2019). Chocolate under threat from old and new cacao diseases. *Phytopathology*, 109(8), 1331-1343.

- Marques, M. W., Lima, N. B., de Morais, M. A., Barbosa, M. A. G., Souza, B. O., et al. (2013). Species of *Lasiodiplodia* associated with mango in Brazil. *Fungal Diversity*, 61(1), 181-193.
- Martínez de la Parte, E., & Pérez-Vicente, L. (2015). Incidencia de enfermedades fúngicas en plantaciones de cacao de las provincias orientales de Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 30(2), 87-96.
- Martoredjo, T., Ardy, D., Hermansyah, H., & Sunardi, T. (1995). Peran infeksi jamur dalam memperparah kerusakan buah kakao akibat serangan *Helopeltis* sp. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 1(1), 28-32.
- Mbenoun, M., Zeutsa, M. E.H., Samuels, G., Amougou, N. F., & Nyasse, S. (2008). Dieback due to *Lasiodiplodia theobromae*, a new constraint to cocoa production in Cameroon. *Plant Pathology*, 15, 59.
- Mehl, J., Wingfield, M. J., Roux, J., & Slippers, B. (2017). Invasive everywhere? phylogeographic analysis of the globally distributed tree pathogen *Lasiodiplodia theobromae*. *Forests*, 8(5), 145.
- Michereff, S. J., Silva, J. B., Silveira, N. S. S., Pedrosa, R. A., Mariano, R. L. R., Tavares, L. A., & Tavares, S. C. C. H. (1997). Biocontrole pós-colheita da podridão de *Lasiodiplodia* em frutos de manga por leveduras saprofiticas. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 40(1): 29-37.
- Michereff, S. J., Andrade, D.E.G.T. & Menezes, M. (2005). Manejo Integrado de Doenças Radiculares. En Michereff, S. J., Andrade, D.E.G.T. & Menezes, M. (Eds.), *Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais*, (367-388).
- Mohali, S., Burgess, T. I., & Wingfield, M. J. (2005). Diversity and host association of the tropical tree endophyte *Lasiodiplodia theobromae* revealed using simple sequence repeat markers. *Forest Pathology*, 35(6), 385-396.
- Mortuza, M. G., & Ilag, L. L. (1999). Potential for biocontrol of *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl. in banana Fruits by *Trichoderma* species. *Biological Control*, 15(3), 235-240.
- Mullen, J. M. (1991). Canker of dogwood caused by *Lasiodiplodia theobromae*: a disease influenced by drought stress or cultivar selection. *Plant Disease*, 75(9), 886-889.
- Muniz, C. R., Freire, F. C. O., Viana, F. M. P., Cardoso, J. E., Cooke, P., Wood, D., & Guedes, M. I. F. (2011). Colonization of cashew plants by *Lasiodiplodia theobromae*: Microscopical features. *Micron*, 42(5), 419-428.
- Mvondo, N. D., Manga, E. F., Kone, N. A.N., Ndogho, P. A., & Ambang, Z. (2019). Pathogenicity and in vitro control of *Lasiodiplodia theobromae* and *Fusarium* sp., pathogens associated with cocoa dieback in Cameroon. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology*, 6(7), 1-13.
- Netto, M. S. B., Assunção, I. P., Lima, G. S. A., Marques, M. W., Lima, W. G., et al. (2014). Species of *Lasiodiplodia* associated with papaya stem-end rot in Brazil. *Fungal Diversity*, 67(1), 127-141.
- Nurlaila, N., Rosmana, A., & Dewi, V. S. (2020). The capability of *Trichoderma asperellum* in suppressing vascular streak diseases on five different cocoa clones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 486, 012158.
- Ogundana, S. K. (1983). Life cycle of *Botryodiplodia theobromae*, a soft rot pathogen of yam. *Journal of Phytopathology*, 106(3), 204-213.
- Okey, E. N., Akwaji, P. I., Umana, E. J., & Omini, J. U. (2015). Phytochemical screening and control of fungal diseases of cocoa (*Theobromae cacao* L.) pod using extracts of plant origin. *Agricultural and Bionutritional Research*, 1(1), 20-27.
- Pereira, A. L., Silva, G. S., & Ribeiro, V. Q. (2006). Caracterização fisiológica, cultural e patogênica de diferentes isolados de *Lasiodiplodia theobromae*. *Fitopatologia Brasileira*, 31(6), 572-578
- Pitt, W. M., Huang, R., Steel, C. C., & Savocchia, S. (2013). Pathogenicity and epidemiology of Botryosphaeriaceae species isolated from grapevines in Australia. *Australasian Plant Pathology*, 42(5), 573-582.
- Ploetz, R. C. (2003). *Diseases of Tropical Fruit Crops*. CABI Publishing. Wallingford, UK. pp 76-77.
- Puig, A., Quintanilla, W., Matsumoto, T., Keith, L., Gutierrez, O., & Marelli, J. (2021). *Phytophthora palmivora* Causing Disease on *Theobroma cacao* in Hawaii. *Agriculture*, 11(5), 396.
- Rodrigues, R. (2003). Caracterização morfológica e patológica de *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl., agente causal das podridões de tronco e raízes da videira. Dissertação de Mestrado, Instituto Agrônomo de Campinas.
- Rodríguez-Gálvez, E., Guerrero, P., Barradas, C., Crous, P. W., & Alves, A. (2017). Phylogeny and pathogenicity of *Lasiodiplodia* species associated with dieback of mango in Peru. *Fungal Biology*, 121(4), 452-465.
- Rusin, C., Cavalcanti, F. R., de Lima, P. C. G., Faria, C. M. D. R., Almança, M. A. K., & Botelho, R. V. (2020). Control of the fungi *Lasiodiplodia theobromae*, the causal agent of dieback, in cv. syrah grapevines. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 43, e44785.
- Salvatore, M. M., Alves, A., & Andolfi, A. (2020). Secondary metabolites of *Lasiodiplodia theobromae*: distribution, chemical diversity, bioactivity, and implications of their occurrence. *Toxins*, 12(7), 457.
- Sánchez-Mora, F. D., & Garcés-Fiallos, F. R. (2012). *Monilophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al. in the crop of cocoa. *Scientia agropecuaria*, 249-258.
- Sathya, K., Parthasarathy, S., Thiribhuvanama, G., & Prabakar, K. (2017). Morphological and molecular variability of *Lasiodiplodia theobromae* causing stem end rot of mango Tamil Nadu, India. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 5(6), 1024-1031.
- Segura-Contreras, S., Rodríguez-Espejo, M. & Chico-Ruiz, J. (2015). Actividad antifúngica del extracto etanólico de las hojas de *Schinus malle* sobre el crecimiento de *Lasiodiplodia theobromae* en condiciones de laboratorio. *REBIOL*, 35(2), 47-52.
- Serrato-Díaz, L. M., Mariño, Y. A., Guadalupe, I., Bayman, P., & Goenaga, R. (2020). First report of *Lasiodiplodia pseudotheobromae* and *Colletotrichum siamense* causing cacao pod rot, and first report of *C. tropicale* causing cacao pod rot in Puerto Rico. *Plant Disease*, 104(2), 592.
- Shaidul, M., Most-Ferdousi, B., Montaz, A., Rafiqul, M., & Shah, M. (2001). Effect of Temperature, Light, and Media on Growth, Sporulation, Formation of Pigments and Pycnidia of *Botryodiplodia theobromae*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4(10), 1224-1227.
- Shamsi, S., Naher, N., & Momtaz, S. (2010). First report of *Lasiodiplodia* pod rot disease of cacao - (*Theobroma cacao* L.) from Bangladesh. *Bangladesh Journal of Plant Pathology*, 26(1/2), 81-82.
- Slippers, B., Boissin, E., Phillips, A., Groenewald, J., Lombard, L., et al. (2013). Phylogenetic lineages in the Botryosphaeriales: a systematic and evolutionary framework. *Studies in Mycology*, 76, 31-49.
- Soria, V. J. (1970). Principal varieties of cocoa cultivated in tropical America. *Cocoa Growers' Bulletin*, 12 - 21.
- Statista. (2021). Global production of cocoa beans by region 2003/04-2020/2021. <https://www.statista.com/statistics/263139/production-of-cocoa-beans-since-2003-by-region/>
- Statista. (2021). Cocoa bean production worldwide 2018/19 & 2020/21, by country. <https://www.statista.com/statistics/263855/cocoa-bean-production-worldwide-by-region/>
- Sudha, A., Kavitha, P.S., Senthilkumar, M. & Rajesh. M. (2019). Effective approach to identify a potential phyto extract on *Lasiodiplodia theobromae* in coconut. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, SP2, 880-883.

- Tavares, S. D. H., Barreto, D. S. B., & Amorim, L. R. (1994). Levantamento do comportamento de *Botryodiplodia theobromae* em videira na regioa semi-árida. In Embrapa Semiárido-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: *Congresso Brasileiro de Fruticultura*.
- Torres-de la Cruz, M., Guillén, G. C.A., Ortiz-García, C.F., de la Cruz-Pérez, A., Luna, R. M., & Cappello, G. S. (2018). Hongos asociados al patosistema cacao en el estado de Tabasco, México. En J. Martínez Herrera, M.A., Ramírez Guillermo, J. Cámara-Córdova (Eds). *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria*. (pp. 216-220). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Tovar-Pedraza, J. M., Mora-Aguilera, J. A., Nava-Díaz, C., Téliz-Ortiz, D., Villegas-Monter, N., & Leyva-Mir, S. G. (2013). Control of *Lasiodiplodia theobromae*, the causal agent of dieback of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn] grafts in México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3), 233.
- Twumasi, P., Ohene-Mensah, G., & Moses, E. (2014). The rot fungus *Botryodiplodia theobromae* strains cross infect cocoa, mango, banana and yam with significant tissue damage and economic losses. *African Journal of Agricultural Research*, 9(6), 613-619.
- Uc-Vázquez, A., López-Puc, G., Góngora-Canul, C. C., Martínez-Sebastián, G., & Aguilera-Cauch, E. A. (2017). Spatio-temporal spread of foot rot (*Lasiodiplodia theobromae*) in *Jatropha curcas* L. plantations in Yucatan, Mexico. *European Journal of Plant Pathology*, 150(4), 991-1000.
- Urdaneta, L. M., & Delgado, A. E. (2007). Identificación de la microbiota del filopiano del cacaotero (*Theobroma cacao* L.), en el municipio Carraciolo Parra Olmedo, estado Mérida, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(1), 47-68.
- Valarmathi, P., & Ladhakshmi, D. (2018). Post-harvest diseases of cocoa. *Agrobios Newsletter*, 16(11), 95-96.
- Valle-de la Paz, M., Guillén-Sánchez, D., Gijón-Hernández, A. R., Alía-Tejagal, I., López-Martínez, V., et al. (2019). Species of *Lasiodiplodia* in lima 'Persa' (*Citrus latifolia* Tanaka) in Morelos, México. *Revista Bio Ciencias*, 6, 595.
- Vásquez-López, A., Mora-Aguilera J. A., Cárdenas-Soriano E., & Téliz-Ortiz D. (2009). Etiología e histopatología de la muerte descendente de árboles de mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore y Stearn] en el estado de Guerrero, México. *Agrociencia*, 43, 717-728.
- Vásquez, Z. S., de Carvalho Neto, D. P., Pereira, G. V., Vandenberghe, L. P., de Oliveira, P. Z., et al. (2019). Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, 90, 72-83.
- Vergara, R. (2017). Diagnóstico y métodos de control de la muerte regresiva en vid (*Vitis vinifera* L.) var. Red Globe, en Sullana-Piura. Tesis pregrado Agronomía. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Yang, Y., Di Zeng, G., Zhang, Y., Xue, R., & Hu, Y. J. (2019). Molecular and biochemical characterization of carbendazim-resistant *Botryodiplodia theobromae* field isolates. *Plant Disease*, 103(8), 2076-2082.
- Yang, Y., Dong, G., Wang, M., Xian, X., Wang, J., & Liang, X. (2021). Multifungicide resistance profiles and biocontrol in *Lasiodiplodia theobromae* from mango fields. *Crop Protection*, 145, 105611.
- Zhang, W., Yan, J., Li, X., Xing, Q., Chethana, K. W. T., & Zhao, W. (2019). Transcriptional response of grapevine to infection with the fungal pathogen *Lasiodiplodia theobromae*. *Scientific Reports*, 9(1), 5387.