



Incidencia de la podredumbre oscura del fruto del cacao en cuatro ecotopos cacaoteros de Baracoa, Cuba*

Cocoa black pod rot incidence across four cocoa-growing ecotopes in Baracoa, Cuba

Addael Cuscó Casenave-Cambet¹, Yurelkys Fernández Maura¹, Igor Bidot Martínez¹, Cony Decock¹, Pierre Bertin²

* Recepción: 29 de julio, 2025. Aceptación: 27 de enero, 2026. Esta investigación formó parte del Proyecto 04.04.63.18 “Diseño y fortalecimiento de un sistema de producción agroecológica de cacao en Cuba”, financiado por la Academia de Investigación y Enseñanza Superior de Bélgica (ARES). Además, es parte de la tesis doctoral en Ciencias Agrícolas del primer autor.

¹ Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal. Guantánamo, Cuba. addaelccc@gmail.com (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-7642-6070>); yurelkys@cug.co.cu (<https://orcid.org/0000-0001-8803-6267>); ibidot@cug.co.cu (<https://orcid.org/0000-0002-1262-7674>).

² Université Catholique de Louvain (UCL), Earth and Life Institute. Louvain-la-Neuve, Bélgica. cony.decock@uclouvain.be (<https://orcid.org/0000-0002-1908-385X>); pierre.bertin@uclouvain.be (<https://orcid.org/0000-0001-6452-088X>).

Resumen

Introducción. La podredumbre oscura causada por *Phytophthora* spp. reduce la producción global de cacao. En Baracoa, principal región productora de Cuba, las condiciones climáticas favorecen el desarrollo de esta enfermedad. **Objetivo.** Determinar la incidencia y la frecuencia de aparición de la podredumbre oscura del fruto de *Theobroma cacao* a diferentes rangos de altura en cuatro ecotopos de áreas cultivadas de Baracoa, Cuba. **Materiales y métodos.** La investigación se realizó en cuatro ecotopos cacaoteros del municipio de Baracoa, Cuba, en mayo de 2023. Se evaluaron 385 plantas en ecotopos con diferente topografía, drenaje, humedad y variedades de cacao. La incidencia se calculó como (árboles infectados/árboles observados) × 100 %, mientras que la frecuencia de aparición midió la distribución de la infección en rangos de altura (0-1,5 m, 1,5-3 m, >3 m). El análisis incluyó la prueba de chi-cuadrado de Pearson, el coeficiente Phi y la prueba Z con corrección de Bonferroni. **Resultados.** La incidencia general fue de 76,26 % con diferencia significativa entre los ecotopos (E1 = 83,33 % y E4 = 65 %; p = 0,036) con asociación débil (Phi = 0,087). La infección se concentró a 1,5-3 m de altura (60,31 %), y superó los estratos de 0-1,5 m (30,29 %) y los mayores de 3 m (27,15 %). **Conclusiones.** La incidencia de la enfermedad en los ecotopos cacaoteros de Baracoa fue alta, principalmente en la pendiente orientada al oeste, lo que indica que las características topográficas influyen en su propagación. La frecuencia de aparición observada sugiere que las prácticas de manejo condicionan el microclima y favorecen el desarrollo del patógeno. En conjunto, factores topográficos, ambientales y de manejo contribuyen a la dinámica de la enfermedad.

Palabras clave: *Phytophthora palmivora*, *Theobroma cacao*, estratificación vertical, patógeno.

Abstract

Introduction. Black pod rot caused by *Phytophthora* spp. reduces global cocoa production. In Baracoa, the main cocoa-producing region of Cuba, climatic conditions favor the development of this disease. **Objective.** To determine



the incidence and frequency of occurrence of black pod rot of *Theobroma cacao* fruits at different height ranges, in four ecotopes of cultivated areas in Baracoa, Cuba. **Materials and methods.** The study was conducted in four cocoa-producing ecotopes in the municipality of Baracoa, Cuba, in May 2023. A total of 385 plants were evaluated in ecotopes with different topography, drainage, humidity, and cocoa varieties. Incidence was calculated as (infected trees/observed trees) \times 100 %, while frequency of occurrence measured the distribution of infection across height ranges (0-1.5 m, 1.5-3 m, >3 m). The analysis included Pearson's chi-square test, the Phi coefficient, and the Z-test with Bonferroni correction. **Results.** The overall incidence was 76.26 %, with a significant difference among ecotopes (E1 = 83.33 % and E4 = 65 %; $p = 0.036$), with a weak association (Phi = 0.087). Infection was concentrated at 1.5-3 m in height (60.31 %), exceeding the 0-1.5 m (30.29 %) and >3 m (27.15 %) strata. **Conclusions.** The incidence of the disease in the cocoa ecotopes of Baracoa was high, mainly on west-facing slopes, indicating that topographic characteristics influence its spread. The observed frequency of occurrence suggests that management practices condition the microclimate and favor pathogen development. Overall, topographic, environmental, and management factors contribute to disease dynamics.

Keywords: *Phytophthora palmivora*, *Theobroma cacao*, vertical stratification, pathogen.

Introducción

Un desafío crítico para aumentar la producción de cacao es la presencia de afectaciones fitosanitarias en las plantas (Kongor et al., 2024). El género *Phytophthora* causa enfermedades que varían entre los ambientes y las regiones de cultivo. La pérdida de cosecha debido a *Phytophthora* spp. es de alrededor del 20 y 30 % del rendimiento global de cacao (Adeniyi & Asogwa, 2023).

Una de las afecciones que prevalece en el cultivo del cacao es la podredumbre oscura del fruto, inducida por varias especies del género *Phytophthora*. *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler causa daños a las plantaciones de cacao a nivel mundial, mientras que especies como *Phytophthora megakarya* (Brasier & M.J. Griffin) tienen una distribución más restringida a regiones específicas de África, y otras, como *Phytophthora capsici* Leonian y *Phytophthora citrophthora* (R. E. Sm. & E. H. Sm.) Leonian, se distribuyen en América Central y Sudamérica (Kongor et al., 2024). Este género de oomicetos presenta una distribución pantropical y está ampliamente reportado en la mayoría de los países productores de cacao. La severidad del daño causado por esta enfermedad tiende a incrementarse en contextos de intensificación agrícola en regiones tropicales (Cilas & Bastide, 2020).

Phytophthora spp. presentan diferentes fases durante el ciclo de la enfermedad, incluyendo la formación de micelio, esporangios, zoosporas y clamidosporas. El inóculo primario en el suelo, en cualquier órgano infectado de la planta o en los chancros de la corteza, produce esporangios que germinan bajo condiciones de alta humedad, lo que inicia la infección (Perrine-Walker, 2020). En el campo, la infección de la podredumbre oscura del fruto del cacao comienza con la penetración de la cutícula cerosa y progresa hacia la epidermis con una pequeña mancha translúcida que se convierte en una lesión de color marrón.

La lesión producida por *Phytophthora* se oscurece y se expande rápidamente, hasta 12 mm en 24 horas. La infección se propaga por todo el fruto como una lesión negra en el área infectada. En condiciones favorables, grupos de esporangios blancos se distribuyen gradualmente sobre la superficie del fruto (Purwantara et al., 2015). La presencia del patógeno en el ecosistema de la plantación de cacao disminuye la producción al alterar la fisiología del árbol, dañar las partes de la planta o el fruto y causar la muerte del cultivo (Bomfim Rêgo et al., 2023).

El éxito del ciclo de infección de *Phytophthora* depende de la producción de inóculo secundario, con esporangios que contienen zoosporas biflageladas. Las zoosporas nadan hasta la superficie del fruto y lo infectan directamente o, en ausencia de humedad, se enquistan para germinar cuando las condiciones sean favorables. Un solo fruto afectado puede producir cuatro millones de esporangios, los cuales contienen zoosporas. Estos esporangios son diseminados por la lluvia, el traslado de material de siembra, insectos como hormigas (*Atta* sp.) y termitas (*Nasutitermes* sp.), roedores (*Rattus rattus*) y herramientas de poda y cosecha (Sánchez Cuevas et al., 2015).

La mayor producción de cacao en Cuba se concentra en Baracoa (De Smet, 2018), donde las plantaciones son afectadas por diversas enfermedades que pueden dañar hojas, flores y frutos. Por ejemplo, se ha identificado que *P. palmivora* es la especie que produce la podredumbre oscura del fruto del cacao en los cultivos de este municipio (Bidot Martínez et al., 2021; Fernández Maura et al., 2018; Martínez de la Parte & Pérez Vicente, 2015) y limita el rendimiento. La situación se agrava por la marcada heterogeneidad del territorio baracoense, en el que las condiciones topográficas y de drenaje, así como los materiales genéticos del cacao, varían entre localidades.

La topografía de Baracoa se caracteriza por ser montañosa y muy accidentada, con pendientes variables que generan microclimas diferentes a distancias cortas. Estas particularidades de la región posibilitan delimitar ecotopos como unidades de paisaje con condiciones ambientales y edáficas homogéneas que facilitan el control de variables como la retención de agua y el drenaje del suelo, que determinan la disponibilidad de inóculo y la dispersión desde el suelo hacia los frutos. Además, permiten identificar factores de riesgo específicos por unidad de paisaje, como el sistema de sombra, la exposición de pendientes y la proximidad a cursos de agua.

Actualmente, no existe información precisa sobre la variabilidad ambiental inherente a los diferentes ecotopos cacaoteros de Baracoa y su influencia en la epidemiología del patógeno, ni sobre la intensidad de la enfermedad en los estratos verticales del árbol (basal, medio y superior). Esta brecha de conocimiento provoca que las recomendaciones de manejo sean generales y poco adaptadas a las condiciones específicas de cada finca, lo que limita la eficacia del control y ocasiona pérdidas económicas para los productores. Por este motivo, el objetivo del estudio fue determinar la incidencia y la frecuencia de aparición de la podredumbre oscura del fruto de *Theobroma cacao* a diferentes rangos de altura en cuatro ecotopos de áreas cultivadas de Baracoa, Cuba.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en mayo de 2023 en siete fincas productoras de cacao de la Empresa Agroforestal y Coco en el municipio de Baracoa, provincia de Guantánamo, Cuba (Figura 1). Se utilizaron los ecotopos caracterizados y seleccionados en investigaciones realizadas en el marco del proyecto internacional “Diseño y fortalecimiento de un sistema de producción agroecológica de cacao en Cuba” (código 04.04.63.18) del Ministerio del Comercio Exterior y la Inversión Extranjera.

Para la selección de los ecotopos se tuvieron en cuenta varias características, como la topografía, el drenaje, la humedad, la orientación y el tipo de cacao cultivado (Cuadro 1). Los tipos de cacao identificados fueron (1) injertos, que constituyen la forma más abundante, obtenida de clones específicos, principalmente introducidos por la United Fruit Company; (2) híbridos, que son la segunda forma más común, obtenidos a partir de clones de las series UF, Pound, SCA, EET, ICS, TSH, GS, SIAL y SIC, y (3) tradicional, que se encuentra con menor frecuencia y pertenece genéticamente al grupo Amelonado (Ramírez-Ramírez et al., 2024).

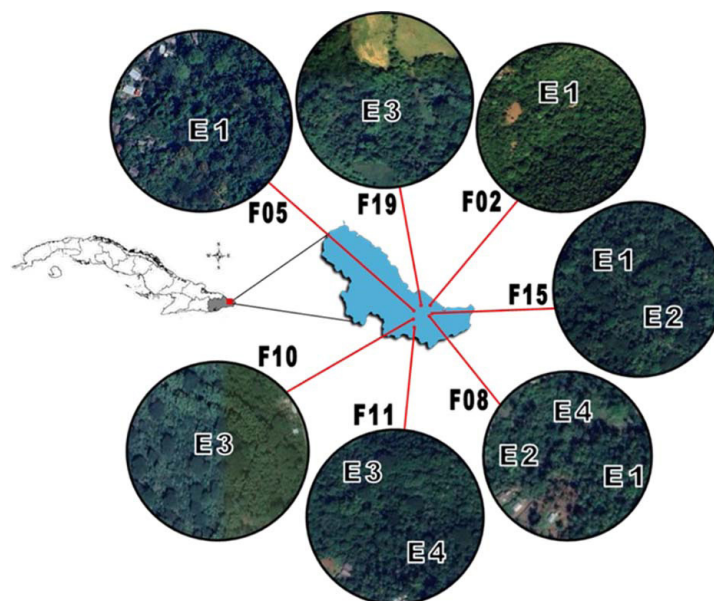


Figura 1. Distribución de los cuatro ecotopos cacaoteros en siete fincas productoras. Baracoa, Cuba. Mayo de 2023.

E1: Ecotopo 1. **E2:** Ecotopo 2. **E3:** Ecotopo 3. **E4:** Ecotopo 4. **F05:** Finca Elcita. **F19:** Finca La Esperanza I. **F02:** Finca Santa María. **F15:** Finca Santa Rita. **F08:** Finca Los Yaser. **F11:** Finca Poca Pena. **F10:** Finca San Miguel.

Figure 1. Distribution of four cocoa-growing ecotopes across seven producing farms. Baracoa, Cuba. May 2023.

E1: Ecotope 1. **E2:** Ecotope 2. **E3:** Ecotope 3. **E4:** Ecotope 4. **F05:** Farm Elcita. **F19:** Farm La Esperanza I. **F02:** Farm Santa María. **F15:** Farm Santa Rita. **F08:** Farm Los Yaser. **F11:** Farm Poca Pena. **F10:** Farm San Miguel.

Cuadro 1. Características de cuatro ecotopos cacaoteros. Baracoa, Cuba. Mayo de 2023.

Table 1. Characteristics of four cocoa-growing ecotopes. Baracoa, Cuba. May 2023.

Ecotopos	Topografía	Drenaje	Humedad	Orientación predominante de la pendiente	Tipo de cacao
E1	Con pendiente	Bueno	Medio	Oeste	Tradicional, injerto e híbrido
E2	Plano	Variable	Alto	Sin pendiente	Tradicional, injerto e híbrido
E3	Plano	Bueno	Medio	Sin pendiente	Injerto
E4	Con pendiente	Bueno	Medio	Este	Injerto

La identificación de la podredumbre oscura del fruto de cacao en el campo se basó en los síntomas reportados en la literatura: lesiones de color marrón chocolate en la superficie del fruto y duras al tacto, que se expanden hasta cubrirlo por completo, lo que confiere a los frutos un aspecto negro (Gonzales et al., 2023) (Figura 2). Las investigaciones morfológicas y moleculares realizadas por Fernández Maura (2015) han determinado que en Baracoa el 98 % de los frutos con estos síntomas están infectados por *P. palmivora*.

En cada ecotopo se realizó un muestreo simple al azar para detectar la presencia de la enfermedad. Se observaron 385 plantas en total; en los ecotopos E1, E2, E3 y E4 se analizaron 138, 98, 88 y 61 plantas, respectivamente. El tamaño de la muestra (n) se calculó mediante la ecuación 1, que permitió determinar el número de plantas necesarias para obtener una muestra representativa de cada ecotopo.



Figura 2. Síntomas detectados en plantas infectadas por la podredumbre oscura del fruto del cacao en cuatro ecotopos cacaoteros. **A)** Inicio de la infección. **B)** Propagación de la infección en el fruto. **C)** Fruto completamente infectado. **D)** Fruto momificado. Baracoa, Cuba. Mayo de 2023.

Figure 2. Symptoms detected in plants infected by cocoa black pod rot across four cocoa-growing ecotopes. **A)** Onset of infection. **B)** Spread of infection within the fruit. **C)** Fully infected fruit. **D)** Mummified fruit. Baracoa, Cuba. May 2023.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)} \quad (1)$$

Donde:

n : Tamaño de muestra requerido.

N : Tamaño total de la población.

Z : Valor Z asociado al nivel de confianza deseado.

p : Proporción estimada del fenómeno estudiado.

e : Margen de error aceptable.

La incidencia (I) se calculó por medio de la ecuación 2:

$$I = \frac{\text{Número de árboles de cacao infectados}}{\text{Total de árboles de cacao observados}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Mediante la ecuación 3 se calculó la frecuencia de aparición (F_a) de la enfermedad a diferentes alturas (0-1,5 m, 1,5-3 m y >3 m) en cada árbol muestreado. Para la selección de estos rangos de altura, se tuvo en cuenta la producción de frutos en cada parte del árbol y su posición vertical, ya que los frutos ubicados en la parte baja están expuestos a salpicaduras, humedad y cercanía al inóculo del suelo, mientras que los que están en la parte media o alta de la planta están expuestos a diferencias en el microclima, la circulación de aire y la exposición a la luz y al viento. Esta estratificación se adecúa a la arquitectura de la planta de cacao adulta, en la cual la horqueta se forma aproximadamente a 1,5 m, a partir de la cual se ramifican los árboles y alcanzan una altura máxima de 4-5 m.

$$F_a = \frac{\text{Número de árboles de cacao infectados en cada rango de altura}}{\text{Total de árboles de cacao observados en cada rango de altura}} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Para corroborar si había asociación entre las plantas infectadas y los ecotopos, se realizó la prueba de chi-cuadrado de Pearson. La intensidad de la asociación se determinó mediante la prueba Phi de Pearson con un valor

de $p < 0,05$ en ambos casos. La prueba Z con la corrección de Bonferroni se empleó para comparar proporciones entre los ecotopos y entre las distintas alturas en las plantas. Estos análisis se ejecutaron con el programa IBM SPSS Statistics versión 22.

Resultados

A partir de la observación realizada en el campo, se determinó que los cuatro ecotopos seleccionados estaban infectados con la podredumbre oscura del fruto del cacao, con diferentes porcentajes de incidencia (Figura 3). Del total de 385 plantas, la incidencia promedio alcanzó el $76,26 \pm 13,23 \%$. El valor más alto se registró en E1, con un $83,33 \pm 9,90 \%$, mientras que el más bajo correspondió a E4, con un $65 \pm 5,93 \%$.

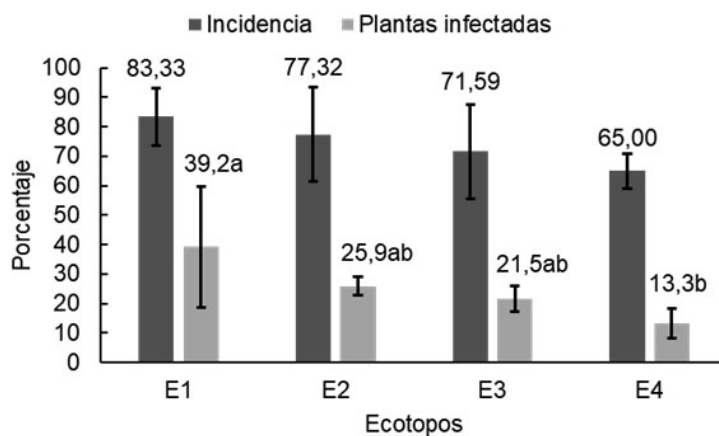


Figura 3. Incidencia y plantas infectadas por la podredumbre oscura del fruto del cacao en cuatro ecotopos cacaoteros. Baracoa, Cuba. Mayo de 2023.

Los números seguidos por las mismas letras no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) en la prueba de dos caras de igualdad de proporciones.

Figure 3. Incidence and infected plants by cocoa black pod rot across four cocoa-growing ecotopes. Baracoa, Cuba. May 2023.

Numbers followed by the same letters are not statistically different ($p < 0.05$) in a two-sided test for equality of proportions.

La prueba de chi-cuadrado resultó significativa, con un valor de 0,573 ($p = 0,036$) y tres grados de libertad, según los valores observados y esperados (Cuadro 2), lo que señaló una relación entre la cantidad de plantas infectadas (293) y los ecotopos estudiados. Esta correspondencia se determinó como débil, con un valor de 0,087 para el estadístico Phi de Pearson ($p = 0,036$). Al comparar los ecotopos, solo E1 y E4 mostraron diferencia significativa (Figura 3), al contrario de E2 y E3, que fueron similares entre sí y con los demás.

Cuadro 2. Valores observados y esperados de plantas con podredumbre oscura del fruto del cacao en cuatro ecotopos cacaoteros. Baracoa, Cuba. Mayo de 2023.

Table 2. Observed and expected values of plants with cocoa black pod rot across four cocoa-growing ecotopes. Baracoa, Cuba. May 2023.

Ecotopos	Infección	Valores	Rangos de altura					
			0-1,5 m		1,5-3 m		>3 m	
			No infectada	Infectada	No infectada	Infectada	No infectada	Infectada
E1	No	Observados	23	0	23	0	23	0
		Esperados	15,3	7,7	8,8	14,2	14,2	8,8
	Sí	Observados	69	46	30	85	62	53
		Esperados	76,7	38,3	44,2	70,8	70,8	44,2
E2	No	Observados	22	0	22	0	22	0
		Esperados	14,8	7,2	8,8	13,2	15,9	6,1
	Sí	Observados	44	32	17	59	49	27
		Esperados	51,2	24,8	30,2	45,8	55,1	20,9
E3	No	Observados	25	0	25	0	25	0
		Esperados	18,2	6,8	10,2	14,8	19,6	5,4
	Sí	Observados	39	24	11	52	44	19
		Esperados	45,8	17,2	25,8	37,2	49,4	13,6
E4	No	Observados	22	0	22	0	22	0
		Esperados	17,3	4,7	9,7	12,3	19,8	2,2
	Sí	Observados	26	13	5	34	33	6
		Esperados	30,7	8,3	17,3	21,7	35,2	3,8

Al analizar la frecuencia de aparición de la enfermedad a distintas alturas de la planta, se observó que en los cuatro ecotopos su presencia fue mayor en el rango de 1,5-3 m, donde superó el 50 % (Figura 4), con diferencias significativas con respecto a las demás alturas (Cuadro 3). En los ecotopos E2, E3 y E4, la frecuencia de aparición fue ligeramente superior en el rango de 0-1,5 m, en comparación con el de más de 3 m. En E1, la mayor frecuencia se registró por encima de los 3 m, superando la observada en el rango inferior. La prueba de chi-cuadrado resultó significativa ($p < 0,001$) para todos los ecotopos, lo que indicó una relación entre la cantidad de plantas infectadas en cada rango de altura y los ecotopos estudiados. Esta correspondencia se determinó como débil según el estadístico Phi de Pearson, con $p < 0,001$ (Cuadro 4).

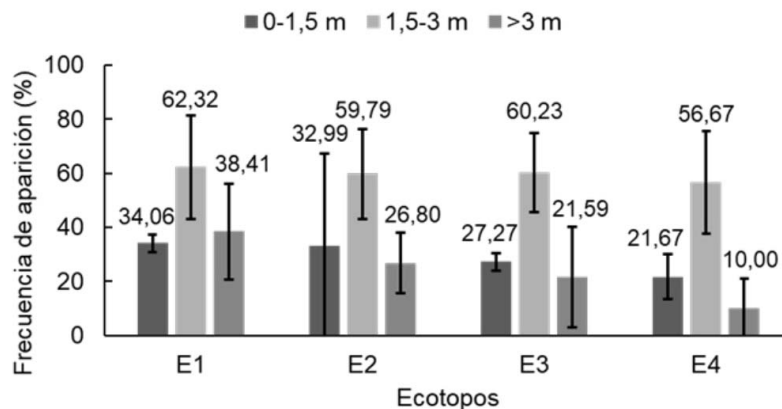


Figura 4. Frecuencia de aparición de la podredumbre oscura del fruto del cacao a diferentes rangos de altura en las plantas, en cuatro ecotopos cacaoteros. Baracoa, Cuba. Mayo de 2023.

Figure 4. Occurrence frequency of cocoa black pod rot at different height ranges on plants across four cocoa-growing ecotopes. Baracoa, Cuba. May 2023.

Cuadro 3. Presencia de la podredumbre oscura del fruto del cacao en cuatro ecotopos cacaoteros. Baracoa, Cuba. Mayo de 2023.

Table 3. Presence of cocoa black pod rot in four cocoa-growing ecotopes. Baracoa, Cuba. May 2023.

Ecotopos	Rango de alturas (m)	Plantas infectadas (cantidad)	Plantas infectadas (%)
E1	0-1,5	44a	24,0
	1,5-3	84b	45,9
	>3	55a	30,1
E2	0-1,5	33a	27,7
	1,5-3	59b	49,6
	>3	27a	22,7
E3	0-1,5	24a	25,0
	1,5-3	53b	55,2
	>3	19a	19,8
E4	0-1,5	13a	24,5
	1,5-3	34b	64,2
	>3	6a	11,3

Los números seguidos por las mismas letras no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) en la prueba de dos caras de igualdad de proporciones. / Numbers followed by the same letters are not statistically different ($p < 0.05$) in a two-sided test for equality of proportions.

Cuadro 4. Pruebas de asociación estadística entre la presencia de la podredumbre oscura del fruto del cacao y los diferentes rangos de altura en las plantas, en cuatro ecotopos cacaoteros. Baracoa, Cuba. Mayo de 2023.

Table 4. Statistical association tests between the presence of cocoa black pod rot and different plant height ranges across four cocoa-growing ecotopes. Baracoa, Cuba. May 2023.

Ecotopos	Prueba chi-cuadrado de Pearson		Prueba Phi de Pearson	
	Valor	Sig. (<i>p</i>)	Valor	Sig. (<i>p</i>)
E1	25,237	0,001	0,248	0,001
E2	24,508	0,001	0,289	0,001
E3	33,098	0,001	0,354	0,001
E4	35,726	0,001	0,470	0,001
Total	105,599	0,001	0,306	0,001

Sig.: Significancia. / **Sig.:** Significance.

Discusión

La incidencia de la podredumbre oscura del fruto del cacao en los cuatro ecotopos cacaoteros de Baracoa supera el 50 %. *P. palmivora* encuentra un ambiente propicio para su desarrollo en esta topografía y condiciones climáticas al poseer un promedio de 208 días lluviosos al año, 1421,9 mm de precipitación anual y una humedad relativa de 80 % (Oficina Nacional de Estadística e Información, 2021). Asimismo, las pendientes, los problemas de drenaje y las deficiencias en el manejo del cultivo, entre otros aspectos, favorecen su ciclo de vida. Esta especie requiere más del 90 % de humedad relativa para esporular, y precipitaciones de 1400-4000 mm anuales favorecen la rápida propagación de la epidemia, con ciclos reproductivos de 5-7 días a temperaturas de 25-32 °C (Puig et al., 2018).

La elevada incidencia de esta enfermedad en Baracoa es consistente con lo reportado en condiciones ambientales similares en otras regiones cacaoteras. En Venezuela, las pérdidas en la zona de Barlovento se atribuyen a lluvias frecuentes e inundaciones, drenaje inadecuado, sombra excesiva y prácticas de cultivo deficientes. De igual forma, en la localidad de Yaguaraparo, aproximadamente el 50 % de los frutos resultan infectados debido a la orografía accidentada, las precipitaciones intensas y constantes, temperaturas frescas y la altura de los árboles (15-20 m), ya que son factores que dificultan el manejo agronómico (Sánchez Cuevas et al., 2015).

Un trabajo realizado por la Estación Experimental Agroforestal Baracoa sobre el control biológico de *P. palmivora* con dos cepas de *Trichoderma* spp. en plantaciones de cacao de este municipio reveló pérdidas del 12 % de la cosecha de frutos por esta enfermedad en el año 2009. Para 2016, la incidencia se incrementó a un 20,2 %, mientras que en el periodo comprendido entre septiembre de 2017 y abril de 2018 llegó hasta un 20,48 %, para posteriormente descender a 14,64 % entre mayo y diciembre de 2018 (Matos-Alonso & Clapé-Borges, 2012; Matos-Cueto et al., 2018, 2020). Esta dinámica sugiere una persistencia del patógeno durante las épocas húmedas y una variabilidad estacional en la incidencia de la enfermedad. Al comparar los resultados del presente estudio se puede comprobar que para el mes de mayo de 2023 los valores aún se mantenían altos (de 83,33 % a 65 %).

El ecotopo E1 fue el de mayor afectación por la enfermedad a pesar de tener buen drenaje y humedad media. Su topografía era accidentada con pendientes orientadas al oeste, por lo que recibía los rayos solares más intensos en horas avanzadas del día. Además, la hojarasca se acumulaba con el arrastre de las lluvias y la presencia de árboles sombreadores reducía la entrada de luz. Por el comportamiento de la incidencia en este ecotopo, se infiere que

estas características provocaban que el rocío permaneciera en los frutos durante un período de tiempo prolongado después del amanecer, lo que facilitaba la germinación de las esporas. La humedad relativa estuvo afectada por la capacidad de retención de agua del suelo, la hojarasca acumulada sobre este, el desarrollo de la copa y los movimientos del aire.

El ecotopo E4 presentó la menor incidencia de la enfermedad. Se deduce que la orientación hacia el este de la pendiente provocaba que recibiera los rayos solares desde horas tempranas del día. Lo anterior, combinado con una menor acumulación de hojarasca y una mayor calidad del manejo del cultivo, constituyen los factores que más influyen en la incidencia, ya que, debido a la cercanía de los sitios de muestreo, las condiciones climáticas son uniformes en la región. La relación entre orientación, microclima e incidencia concuerda con lo observado por Ndoungué Djeumekop et al. (2021) en Camerún, quienes reportaron que las infecciones se localizaron principalmente en el sector oriental de su parcela de estudio y atribuyeron este patrón a la mayor sombra en la mañana en dicha zona en comparación con las demás. Esta característica microclimática genera condiciones similares a las registradas en los ecotopos más afectados de Baracoa.

Los altos porcentajes de la incidencia registrados en Baracoa son esperados en zonas con las condiciones del ecotopo E2, donde el suelo con mal drenaje y humedad relativa alta crean un ambiente propicio para la proliferación de *Phytophthora*. La proximidad de estas plantaciones a arroyos o riachuelos aumenta la exposición al agua y facilita la dispersión del inóculo hacia los campos, mientras que la sombra proporcionada por los árboles contribuye a mantener microambientes húmedos. Al respecto, Ndoungué Djeumekop et al. (2021) demostraron que el agua de los ríos es una fuente de dispersión de inóculos endógenos y exógenos del microorganismo fitopatógeno, principalmente durante las inundaciones, y confirmaron la presencia de *P. megakarya* en las muestras de agua analizadas.

Los ecotopos E2 y E3 no tuvieron diferencias en la incidencia, a pesar de que el ecotopo E3 tenía buen drenaje. En este sentido se plantea la influencia de la orografía en los cultivos de cacao como un factor que contribuye a la infección. Por ejemplo, las áreas abiertas y planas, así como las zonas bajas de los campos donde puede acumularse el agua, son propicias para la infección por especies de *Phytophthora* (Pscheidt & Ocamb, 2023). Los climas tropicales y subtropicales favorecen la supervivencia y propagación del inóculo de *P. palmivora* debido al entorno adecuado, y las esporas pueden propagarse fácilmente por el viento y el agua (Misman et al., 2022).

La incidencia de la infección varía entre los periodos lluviosos o poco lluviosos del año, ya que los factores climáticos como las altas precipitaciones, la alta humedad del aire y las bajas temperaturas provocan que aumente el número de frutos infectados por la podredumbre oscura (Torres de la Cruz et al., 2023). Esta dinámica está influenciada por las prácticas de manejo del cultivo. La poda, al abrir el dosel, elimina ramas y chupones que obstruyen el flujo de aire y la radiación solar. Un dosel más abierto reduce las zonas sombreadas y los microambientes húmedos de manera persistente, puesto que eleva la temperatura y disminuye la humedad relativa en su interior. Estas condiciones microclimáticas resultan menos favorables para la germinación y supervivencia de las zoosporas del oomiceto, debido a que aceleran el secado de los tejidos después de la lluvia (Niether et al., 2018).

La alta incidencia de *P. palmivora* en todos los ecotopos, con características diferentes entre ellos, evidencia que este patógeno parece estar bien adaptado al entorno tropical de las plantaciones de Baracoa. Este microorganismo encuentra un ambiente idóneo para su propagación y desarrollo en estos ecosistemas cacaoteros, puesto que incluyen sombra en la plantación, lluvia frecuente, humedad y presencia de vectores.

Otra característica que tienen todos los ecotopos estudiados es el manejo fitosanitario deficiente del cultivo, situación que explica en gran medida los valores altos de la incidencia del microorganismo patógeno. Se observó deficiencia en las podas de formación y saneamiento, persistencia de frutos momificados, existencia de frutos con síntomas evidentes de la enfermedad en las plantas y acumulación de agua en el suelo, asociada a la ausencia de una red interna de drenaje en las plantaciones. Estas problemáticas, previamente documentadas en Baracoa por Nariño-Nariño et al. (2014), Salas-Fuente et al. (2020) y Salas Fuente et al. (2021), generan un entorno que

favorece la acumulación de inóculo de *P. palmivora*. La eliminación inadecuada de frutos enfermos y la presencia de microambientes constantemente húmedos facilitan la supervivencia y dispersión del agente causal.

Los resultados de Baracoa concuerdan con reportes previos de otras regiones cacaoteras, que identifican al manejo silvicultural inadecuado como un factor determinante en la epidemiología. Estudios en África (Ndoumbe-Nkeng et al., 2004; Opoku et al., 2016) y América Latina (Sánchez Cuevas et al., 2015) evidencian que la persistencia de residuos vegetales infectados en la plantación incrementa la presencia de *Phytophthora*. Esta condición, sumada a un dosel con poca aireación y luz, mantiene condiciones de humedad que favorecen el ciclo de vida del patógeno. La similitud en los hallazgos subraya que este es un problema generalizado que no está restringido a una localidad geográfica específica.

En Indonesia, Edy et al. (2019) asociaron un alto porcentaje de infección con la acumulación de hojarasca, podas inadecuadas y una vegetación de sombra no regulada. De manera análoga, en el estado de Oyo en Nigeria, la tasa de infección más alta (58,3 %) se atribuyó al abandono parcial de las fincas y la alta humedad predominante durante la temporada de lluvias (Asogwa et al., 2022). En conjunto, estos estudios confirman que, en condiciones tropicales, la falta de control fitosanitario permite que el patógeno encuentre un entorno idóneo para su supervivencia, esporulación y dispersión.

El suelo es una fuente de esporas con potencial para colonizar los frutos de cacao ubicados en la parte baja de los árboles. Cuando están infectados pueden producir una gran cantidad de inóculo capaz de propagar la enfermedad. Dado que el cacao es un cultivo permanente con producción continua, se pueden encontrar frutos susceptibles durante la mayor parte del año. Estas características permiten que el patógeno permanezca continuamente en la copa del árbol, listo para causar epidemias cuando las condiciones ambientales sean favorables para la esporulación y diseminación de las esporas (Sánchez Cuevas et al., 2015).

La observación de un gradiente de infección decreciente con la altura constituye un patrón reportado en Costa Rica (Orozco-Aguilar, 2024), Honduras (Porrás & Sánchez, 1991) y Nigeria (Weststeijn, 1969). Además, en un experimento en Indonesia, se determinó que la mayor frecuencia de aparición ocurre en los frutos próximos al suelo, aunque se mantuvo detectable hasta los 100 cm de altura y demostró que la hojarasca no tuvo un efecto significativo en la disminución de frutos infectados (Purwantara, 2008). Este consenso atribuye como patrón principalmente al mecanismo de dispersión primaria a través de salpicaduras de lluvia, proceso que ocurre en condiciones de alta precipitación y saturación del suelo, similares en muchas regiones cacaoteras.

Los resultados obtenidos en Baracoa no replican el patrón de distribución vertical documentado previamente. Aunque las condiciones climáticas locales son similares a las de otras regiones cacaoteras, la frecuencia de aparición no mostró una disminución consistente con el aumento de la altura. Esta discrepancia sugiere que, en el contexto específico de Baracoa, otros mecanismos de dispersión vertical o factores agronómicos locales podrían estar modificando la epidemiología de la enfermedad de manera distintiva.

En primer lugar, el mecanismo más importante para la dispersión vertical del inóculo son los aerosoles atmosféricos. En Nigeria, se demostró que los esporangios pueden dispersarse por vía aérea sin necesidad de agua libre, y transportar inóculo a grandes alturas en el dosel, superando ampliamente los 70 cm alcanzados por la salpicadura de la lluvia (Thorold, 1952). En segundo lugar, las hormigas (*Crematogaster striatula*, *Camponotus acvapimensis*, *Pheidole megacephala*) constituyen vectores probados de dispersión. Se ha documentado mediante trazadores radiactivos que estas especies mueven activamente el inóculo a lo largo del árbol al utilizar material de construcción contaminado (Evans, 1973). En tercer lugar, la transmisión mediante equipos contaminados (herramientas de cosecha) está reconocida en la literatura técnica (Puig et al., 2021).

Los patrones espaciales están influenciados por la baja productividad de las plantas en el rango de 0-1,5 m. En estas plantaciones, por lo general, los árboles de cacao poseen un solo tronco de hasta aproximadamente 1,5 m y, a partir de este punto, se ramifican, lo que incrementa la cantidad de frutos en las ramas respecto al tronco. En este rango también influye la deficiencia en la poda sanitaria. Cuando no se eliminan ramas interiores y mal orientadas,

el estrato medio se llena de brotes y frutos mal ventilados, lo que genera bolsas de humedad y áreas sombreadas donde el patógeno prolifera (Niether et al., 2018).

En los ecotopos estudiados, a partir de los 1,5 m de altura, las ramas de los distintos árboles se entrelazan, lo que dificulta la visualización de los frutos y puede provocar que se queden sin cosechar. Estos son atacados por la enfermedad y permanecen de una cosecha a otra como reservorios de los inóculos de *P. palmivora*. Se ha planteado que árboles de sombra muy densos o mal podados pueden bloquear la circulación de aire en el estrato medio, mantener una humedad relativa alta y prolongar los periodos con hojas y frutos mojados, condiciones óptimas para infección y esporulación de *Phytophthora* (Rodríguez Polanco & Vera Rodríguez, 2015).

La acumulación de niebla y rocío en laderas o zonas húmedas puede persistir más tiempo en la banda media del dosel que cerca del suelo, lo que promueve más infecciones en hojas y frutos de ese estrato (Ramírez-Chamorro et al., 2020). En muchas plantaciones, la mayor producción de frutos se concentra naturalmente en el estrato medio. Por lo que, si hay alta humedad, aumenta la probabilidad de contacto entre frutos enfermos y sanos, lo que demostraría la incidencia aparente en ese nivel (Rodríguez Polanco & Vera Rodríguez, 2015).

La investigación se realizó en el período de cosecha, momento en el que los campesinos suelen retirar los frutos sanos y aquellos que pueden ser aprovechados, y dejan en las plantas los inmaduros y los enfermos por la baja percepción de riesgo. Estas prácticas explican en parte el mayor número de plantas con frutos enfermos en el rango de 1,5-3 m en todos los ecotopos (E1 62,32 ± 19,26 %; E2 59,79 ± 16,54 %; E3 60,23 ± 14,50 %; E4 56,67 ± 19,03 %), pues estos frutos permanecen expuestos a las gotas de agua que arrastran las zoosporas del microorganismo fitopatógeno debido a las lluvias frecuentes que ocurren en Baracoa (Ndoungué Djeumekop et al., 2021).

A más de tres metros de altura, la incidencia disminuye debido a que el inóculo primario se concentra principalmente en el suelo y a que la dispersión vertical por salpicadura de lluvia ocurre en la parte baja de la planta, donde las gotas de agua impactan con mayor fuerza cerca de la fuente de inóculo. En la parte superior, el microclima es menos adecuado para este patógeno, ya que ante un aumento de temperatura por mayor exposición solar disminuye la humedad relativa. Además, la mayor ventilación reduce el tiempo de humedad libre en los frutos, condición esencial para la germinación de las zoosporas.

En Camerún, la dinámica temporal de las infecciones primarias y secundarias reveló que las infecciones secundarias se originan con mayor frecuencia de las infecciones primarias que de otras infecciones (Ndoungué Djeumekop et al., 2021). Dado que este resultado se obtuvo a nivel de árbol individual, se evidenció mayor dispersión dentro de los árboles que entre ellos. Además, la mayoría de los árboles infectados generaron inóculo secundario o primario que contribuyó a que se infectaran en el mismo año o en el siguiente. La falta de aumento del número total de árboles infectados a lo largo del tiempo se debe, por tanto, a que el inóculo secundario causa principalmente autoinfección, pero no se dispersa entre árboles (Ndoungué Djeumekop et al., 2021).

El análisis de las correlaciones entre las condiciones climáticas, la infestación de mirdos (*Sahlbergella singularis* y *Distantiella teobroma*) y la infección por la podredumbre oscura del fruto del cacao demostró que determinadas prácticas de manejo influyen en la dinámica de la enfermedad (Asitoakor et al., 2024). En particular, se señala que la poda regular resulta beneficiosa durante los periodos de mayor incidencia, al modificar las condiciones ambientales dentro de la plantación. Este procedimiento contribuye a reducir la humedad atmosférica en los cacaotales, lo que limita el desarrollo del patógeno y refuerza su efecto como medida preventiva.

Se ha determinado que la incidencia es mayor en los frutos inmaduros y que está relacionada con la época lluviosa (Purwantara et al., 2015). Los sistemas de cacao y agroforestería con componentes de árboles de sombra pueden ayudar a minimizar los efectos negativos de las temperaturas más altas vinculadas a la incidencia de plagas de insectos, pero también parecen interactuar de manera compleja con la aparición de la enfermedad de la podredumbre oscura del fruto del cacao. Esta relación implica que, por encima de un umbral de sombra (>55 %), el microclima protector se convierte en un amplificador de la epidemia. Por tanto, el manejo óptimo del dosel requiere mantener la cobertura justa para evitar que la humedad relativa supere el 88 % y que las mazorcas permanezcan húmedas más de 48 horas, lo que en algunos casos incrementa la prevalencia de la enfermedad (Asitoakor et al., 2022).

La persistencia del patógeno en huéspedes alternativos constituye un desafío para el manejo de la enfermedad. *P. palmivora* puede sobrevivir en especies que a menudo se intercalan con el cacao, como los cítricos (*Citrus* spp.) y los plátanos (*Musa* spp.) (Bose et al., 2023), lo que complica el manejo de la podredumbre oscura del fruto del cacao. Sin embargo, la combinación de prácticas culturales (por ejemplo, poda de cacao y árboles de sombra, desmalezado, aplicación de pesticidas, eliminación de frutos enfermos) y la adopción de tecnologías (variedades genéticamente resistentes) son estrategias clave para el control del patógeno (Asitoakor et al., 2022).

La Organización Internacional del Cacao confirma que los fungicidas químicos contra *Phytophthora* en cacao implican altos costos, y advierte sobre su uso limitado por restricciones económicas y relaciones beneficio-costos marginales (aproximadamente 1:7) incluso con múltiples aplicaciones (Bateman & Crozier, 2023). En Ghana, las recomendaciones oficiales de 6-8 aspersiones anuales resultan costosas, con valores de producción de \$582,0/ha, lo que ejerce mucha presión en agricultores de bajos recursos (Adeniyi & Asogwa, 2023). Datos cuantitativos revelan que, en Ecuador, el tratamiento con hidróxido de cobre alcanza \$168,00/ha, mientras que el sulfato de cobre cuesta \$235,50/ha, y cada aplicación adicional incrementa los gastos operacionales en \$40,7/ha (Ponce Domínguez et al., 2015).

La implementación de fungicidas químicos enfrenta limitaciones prácticas que trascienden el aspecto económico. Estas aplicaciones requieren habilidades técnicas que pueden no estar disponibles para los pequeños agricultores que predominan en la producción de cacao. Por ejemplo, la aspersión se ve limitada por la altura de los árboles, lo que impide una cobertura uniforme de ramas y frutos; además, depende de la disponibilidad y el costo de la mano de obra, del cumplimiento de medidas de seguridad para el personal y de las lluvias frecuentes, que obligan a repetir aplicaciones.

Con el fin de promover alternativas sustentables, se recomienda el uso de medidas de control biológico como opción frente al empleo de agroquímicos convencionales (Larbi-Koranteng et al., 2020). Entre estas se incluye el empleo de *Trichoderma* spp. u otros agentes biológicos, orientado a reducir la acumulación persistente de residuos químicos en el medio ambiente. Las especies de este género son eficaces como agentes de control biológico debido a sus múltiples mecanismos de acción, entre ellos, la competencia por nutrientes y espacio, la producción de metabolitos antifúngicos, el micoparasitismo y la inducción de resistencia en plantas (Guzmán-Guzmán et al., 2023).

La capacidad de algunas especies de *Trichoderma* para formar asociaciones endofíticas con *Theobroma cacao* y su adaptación a condiciones tropicales las convierte en candidatas idóneas para el manejo integrado de enfermedades cacaoteras (Chavez-Jalk et al., 2022). En Cuba, la producción artesanal de cepas antagonistas de *T. harzianum* se realiza en 176 centros de reproducción de entomófagos y entomopatógenos (CREE) distribuidos por todo el sistema nacional, como parte del Programa Nacional de Producción de Medios Biológicos iniciado en la década de 1980 (Nicholls et al., 2002). Además, en Baracoa existe un CREE que ofrece a los agricultores bioproductos basados en este hongo micoparasítico, así como capacitación y guía técnica para su uso. Ensayos de control biológico en este municipio exhibieron resultados prometedores en años anteriores mediante aplicaciones de aislamientos locales de *Trichoderma* spp. en fincas cacaoteras (Matos-Alonso & Clapé-Borges, 2012; Matos-Cueto et al., 2016; Matos-Cueto & Montoya, 2022).

Conclusiones

La incidencia de la podredumbre oscura del fruto del cacao en los ecotopos cacaoteros de Baracoa fue alta, con mayor presencia en la pendiente orientada al oeste, lo cual indica que las características topográficas influyen en la diseminación de *Phytophthora palmivora*. La frecuencia de aparición fue mayor en la zona media de los árboles; esta distribución sugiere que las prácticas agronómicas en las plantaciones estudiadas condicionan la humedad, la sombra y el microclima en este rango de altura, lo que favorece el desarrollo del patógeno. Estos resultados

indican que la combinación de factores topográficos, ambientales y de manejo contribuye a la propagación de la enfermedad en los ecosistemas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Academia de Investigación y Enseñanza Superior de Bélgica por el financiamiento del proyecto de investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Referencias

- Adeniyi, D. O., & Asogwa, E. U. (2023). Chapter 14 - Complexes and diversity of pathogens and insect pests of cocoa tree. En F. O. Asiegbo & A. Kovalchuk (Eds.), *Forest Microbiology* (Vol. 3, pp. 285-311). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18694-3.00002-X>
- Asitoakor, B. K., Asare, R., Ræbild, A., Ravn, H. P., Eziah, V. Y., Owusu, K., Mensah, E. O., & Vaast, P. (2022). Influences of climate variability on cocoa health and productivity in agroforestry systems in Ghana. *Agricultural and Forest Meteorology*, 327, Artículo 109199. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109199>
- Asitoakor, B. K., Ræbild, A., Asare, R., Vaast, P., Howe, A. G., Eziah, V. Y., Owusu, K., Mensah, E. O., Kotey, D. A., & Ravn, H. P. (2024). The potential of selected shade tree species for managing mirids and black pod disease infection in cocoa agroforestry systems in Ghana. *Crop Protection*, 184, Artículo 106810. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106810>
- Asogwa, E. U., Kingsley Umana, E. B., & Otuonye, A. H. (2022). Assessment of the incidence and intensity of major cocoa insect pest and disease in southwest region of Nigeria. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 10(2), 206-211. <https://doi.org/10.22271/j.ento.2022.v10.i2c.8990>
- Bateman, R., & Crozier, J. (2023). *Empleo de plaguicidas en el sector del cacao: Guía práctica* (4.^a ed.). Organización Internacional del Cacao. https://www.icco.org/wp-content/uploads/GUIDE-PESTICIDE-SP_06-23.pdf
- Bidot Martínez, I., Fernández Maura, Y., Bertin, P., Marie Daniel, H., Conrado Riera Nelson, M., Valdés de la Cruz, M., Declerck, S., & Decock, C. (2021). Diversidad morfológica, genética y fitopatología del cacao (*Theobroma cacao* L.) tradicional cubano. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 11(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2304-01062021000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bomfim Rêgo, A. P., Mora-Ocampo, I. Y., & Corrêa, R. X. (2023). Interactions of different species of *Phytophthora* with cacao induce genetic, biochemical, and morphological plant alterations. *Microorganisms*, 11(5), Artículo 1172. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051172>
- Bose, T., Spies, C. F. J., Hammerbacher, A., & Coutinho, T. A. (2023). *Phytophthora*: an underestimated threat to agriculture, forestry, and natural ecosystems in sub-Saharan Africa. *Mycological Progress*, 22(11), Artículo 78. <https://doi.org/10.1007/s11557-023-01926-0>

- Chavez-Jalk, A., Leiva, S., Bobadilla, L. G., Vigo, C. N., Arce, M., & Oliva-Cruz, M. (2022). Effect of endophytic *Trichoderma* sp. strains on the agronomic characteristics of ecotypes of *Theobroma cacao* L. under nursery conditions in Peru. *International Journal of Agronomy*, 2022(1), Artículo 5297706. <https://doi.org/10.1155/2022/5297706>
- Cilas, C., & Bastide, P. (2020). Challenges to cocoa production in the face of climate change and the spread of pests and diseases. *Agronomy*, 10(9), Artículo 1232. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091232>
- De Smet, M. (2018). *Cocoa production in the "Oriente" region of Cuba (Baracoa): Assessment, understanding and potential* [Tesis de maestría, Universidad de Liège]. Repositorio MatheO de la Universidad de Liège. <http://hdl.handle.net/2268.2/5168>
- Edy, N., Angelia, M., Lakani, I., & Panggeso, J. (2019). Current status on cacao disease incidence in Central Sulawesi. *Agroland: The Agriculture Science Journal*, 6(1), 57-62.
- Evans, H. C. (1973). Invasive behavior of *Phytophthora palmivora* on cacao pods in Ghana. *Transactions of the British Mycological Society*, 61(1), 57-68. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(73\)80008-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(73)80008-2)
- Fernández Maura, Y. (2015). *Fungal diversity of cocoa (Theobroma cacao) in Cuba: From field to fermentation* [Tesis de doctorado, Université Catholique de Louvain]. Repositorio DIAL.pr de la Université Catholique de Louvain. <http://hdl.handle.net/2078.1/170339>
- Fernández Maura, Y., Lachenaud, P., Decock, C., Díaz Rodríguez, A., & Abreu Romero, N. (2018). Caracterización de *Phytophthora*, agente etiológico de la pudrición negra de la mazorca del cacao en Cuba y Guyana Francesa. *Centro Agrícola*, 45(3), 17-26. <http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-45-2018/numero-3-2018/1063-caracterizacion-de-phytophthora-agente-etiologico-de-la-pudricion-negra-de-la-mazorca-del-cacao-en-cuba-y-guyana-francesa>
- Gonzales, A. T., Alasaas, D. G., & Gonzales, M. T. (2023). Symptomatology and pathogenicity of *Phytophthora* pod rot disease associated with Cacao plants in selected municipalities in the Province of Cagayan, Philippines. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 22(5), 9-16. <https://www.innspub.net/wp-content/uploads/2023/06/IBES-V22-No5-p9-16.pdf>
- Guzmán-Guzmán, P., Kumar, A., De Los Santos-Villalobos, S., Parra-Cota, F. I., Orozco-Mosqueda, M. D. C., Fadiji, A. E., Hyder, S., Babalola, O. O., & Santoyo, G. (2023). *Trichoderma* species: our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases-a review. *Plants*, 12(3), Artículo 432. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
- Kongor, J. E., Owusu, M., & Oduro-Yeboah, C. (2024). Cocoa production in the 2020s: challenges and solutions. *CABI Agriculture and Bioscience*, 5(1), Artículo 102. <https://doi.org/10.1186/s43170-024-00310-6>
- Larbi-Koranteng, S., Tuyee Awuah, R., & Kankam, F. (2020). Biological control of black pod disease of cocoa (*Theobroma cacao* L.) with *Bacillus amyloliquefaciens*, *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp. *in vitro* and in the field. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 12(2), 52-63. <https://doi.org/10.5897/JMA2020.0434>
- 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. <http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/572>
- Matos-Alonso, G. A., & Clapé-Borges, P. (2012). Control biológico de *Phytophthora palmivora* en plantaciones de cacao para lograr producciones orgánicas, económicas y sostenibles empleando cepas de *Trichoderma* sp. *Café Cacao*, 11(1), 5-7. <https://cafecacao.edicionescervantes.com/index.php/cafecacao/article/view/27>

- Matos-Cueto, Y., Clapé-Borges, P., & Nariño-Nariño, A. (2016). Resistencia a *Phytophthora palmivora* de 48 accesiones de cacao del Banco de Germoplasma de la Estación Experimental AgroForestal Baracoa, Cuba. *Café Cacao*, 15(2), 28-32. <https://cafecacao.edicionescervantes.com/index.php/cafecacao/article/view/266>
- Matos-Cueto, Y., Lambertt-Lobaina, W., & Nariño-Nariño, A. (2020). Afectaciones producidas al cacao por *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butl. en 10 sitios del municipio de Baracoa, provincia de Guantánamo, Cuba. *Café Cacao*, 19(2), 71-76. <https://cafecacao.edicionescervantes.com/index.php/cafecacao/article/view/170>
- Matos-Cueto, Y., & Montoya, A. R. (2022). Capacidad antagónica *in vitro* de cepas de *Trichoderma* frente a *Phytophthora palmivora* en cacao. *Café Cacao*, 21, Artículo e06. <https://cafecacao.edicionescervantes.com/index.php/cafecacao/article/view/305>
- Matos-Cueto, Y., Nariño-Nariño, A., & Pérez-Castillo, J. (2018). Comportamiento de dos enfermedades que afectan al cultivo del cacao (*Theobroma cacao* Lin.) en Baracoa, Guantánamo. *Café Cacao*, 18(1), 56-60. <https://cafecacao.edicionescervantes.com/index.php/cafecacao/article/view/197>
- Misman, N., Samsulrizal, N. H., Noh, A. L., Wahab, M. A., Ahmad, K., & Ahmad Azmi, N. S. (2022). Host range and control strategies of *Phytophthora palmivora* in southeast Asia perennial crops. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 45(4), 991-1019. <https://doi.org/10.47836/pjtas.45.4.09>
- Nariño-Nariño, A., Lambertt-Lobaina, W., Menéndez-Grenot, M., Sánchez Durán, O., Matos-Cueto, Y., & Clapé-Borges, P. (2014). Experiencias del proyecto recuperación, desarrollo y mejoramiento de la producción agroecológica del cacao en el municipio de Baracoa, Cuba. *Café Cacao*, 13(2), 12-17.
- Ndoumbe-Nkeng, M., Cilas, C., Nyemb, E., Nyasse, S., Bieysson, D., Flori, A., & Sache, I. (2004). Impact of removing diseased pods on cocoa black pod caused by *Phytophthora megakarya* and on cocoa production in Cameroon. *Crop Protection*, 23(5), 415-424. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.09.010>
- Ndougoué Djeumekop, M. M., Ngo Bieng, M.-A., Ribeyre, F., Bonnot, F., Cilas, C., Neema, C., & ten Hoopen, G. M. (2021). Spatial and temporal analysis of *Phytophthora megakarya* epidemic in newly established cacao plantations. *Plant Disease*, 105(5), 1448-1460. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-2024-RE>
- Nicholls, C. I., Pérez, N., Vasquez, L., & Altieri, M. A. (2002). The Development and Status of Biologically Based Integrated Pest Management in Cuba. *Integrated Pest Management Reviews*, 7(1), 1-16. <https://doi.org/10.1023/A:1025728320114>
- Niether, W., Armengot, L., Andres, C., Schneider, M., & Gerold, G. (2018). Shade trees and tree pruning alter throughfall and microclimate in cocoa (*Theobroma cacao* L.) production systems. *Annals of Forest Science*, 75, Artículo 38. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0723-9>
- Oficina Nacional de Estadística e Información. (2021). *Anuario estadístico de Cuba 2020*. <https://www.onei.gob.cu/sites/default/files/publicaciones/2022-03/AEC%202020.pdf>
- Opoku, I. Y., Assuah, M. K., & Aneani, F. (2016). Management of black pod disease of cocoa with reduced number of fungicide application and crop sanitation. *African Journal of Tropical Agriculture*, 4(11), 1-4.
- Orozco-Aguilar, L., López-Sampson, A., Barboza, L. A., Borda, M. J., Leandro-Muñoz, M. E., Bordeaux, M., Cerda, R. H., Villega, E. A., & Somarriba, E. (2024). Risk analysis and cacao pod survivorship curves to improve yield forecasting methods. *Frontiers in Agronomy*, 6, Artículo 1290035. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1290035>
- Perrine-Walker, F. (2020). *Phytophthora palmivora*-Cocoa interaction. *Journal of Fungi*, 6(3), Artículo 167. <https://doi.org/10.3390/jof6030167>

- Ponce Domínguez, R. A. (2015). *Manejo de enfermedades en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.), considerando parámetros epidemiológicos que permitan reducir el uso de fungicidas* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio UTEQ. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6de30268-295a-4951-9f69-7378c41c6763/content>
- Porras, V. H. & Sánchez, J. A. (1991). Efecto de cobertura en la base del árbol de cacao en la diseminación de *Phytophthora Turrialba*, 41(4), 589-597.
- Pscheidt, J. W., & Ocamb, C. M. (Eds.). (2023). *Diagnosis and management of Phytophthora diseases*. Oregon State University. <https://pnwhandbooks.org/node/383/print>
- Puig, A. S., Ali, S., Strem, M., Sicher, R., Gutierrez, O. A., & Bailey, B. A. (2018). The differential influence of temperature on *Phytophthora megakarya* and *Phytophthora palmivora* pod lesion expansion, mycelia growth, gene expression, and metabolite profiles. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 102, 95-112. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.12.002>
- Puig, A. S., Quintanilla, W., Matsumoto, T., Keith, L., Gutierrez, O. A., & Marelli, J. P. (2021). *Phytophthora palmivora* Causing disease on *Theobroma cacao* in Hawaii. *Agriculture*, 11(5), Artículo 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050396>
- Purwantara, A. (2008). Infection of *Phytophthora palmivora* from soil in cocoa plantation. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 24(3), 205-218. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v24i3.103>
- Purwantara, A., McMahon, P., Susilo, A. W., Sukamto, S., Mulia, S., Nurlaila, Saftar, A., Purung, H. B., Lambert, S., Keane, P., & Guest, D. (2015). Testing local cocoa selections in Sulawesi: (ii) resistance to stem canker and pod rot (black pod) caused by *Phytophthora palmivora*. *Crop Protection*, 77, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.07.005>
- Ramírez-Chamorro, D., Rodríguez-Polanco, E., & Vera-Rodríguez, A. G. (2020). Factores que determinan la incidencia de *Phytophthora palmivora* en sistemas productivos de cacao en Algeciras, Huila. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(1), 1-12. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.11587>
- Ramirez-Ramirez, A. R., Mirzaei, K., Menéndez-Grenot, M., Clapé-Borges, P., Espinosa-Lopéz, G., Bidot-Martínez, I., & Bertin, P. (2024). Using ddRADseq to assess the genetic diversity of in-farm and gene bank cacao resources in the Baracoa region, eastern Cuba, for use and conservation purposes. *Frontiers in Plant Science*, 15, Artículo 1367632. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1367632>
- Rodríguez Polanco, E., & Vera Rodríguez, A. G. (2015). Identificación y manejo de la pudrición parda de la mazorca (*Phytophthora* sp.) en cacao. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13138>
- Salas-Fuente, H., Lescaille-Acosta, J., Fernández-Maura, Y., & Bidot-Martínez, I. (2020). Índice integral de sostenibilidad del manejo agroecológico del cacao en Baracoa, Cuba. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 24(3), 29-38. <http://hct.cigetgmo.co.cu/revistahct/index.php/hct/article/view/1050>
- Salas Fuente, H., Lescaille Acosta, J., Fernández Maura, Y., & Bidot Martínez, I. (2021). Procedimiento para la evaluación de los aspectos económicos, sociales y ambientales del manejo agroecológico del cacao. Estudio de caso Baracoa, Cuba. *Revista Observatorio de las Ciencias Sociales en Iberoamérica*, 2(9), 181-228.
- Sánchez Cuevas, M., Jaramillo Aguilar, E., & Ramírez-Morales, I. (2015). *Enfermedades del cacao* (1.a ed.). Ediciones UTMACH.
- Thorold, C. (1952). Airborne Dispersal of *Phytophthora palmivora*, causing Black-Pod Disease of *Theobroma cacao*. *Nature*, 170, 718-719. <https://doi.org/10.1038/170718a0>

- Torres de la Cruz, M., Mora-Aguilera, G., Ortiz-García, C. F., Gaspar-Génico, J. Á., Pérez de la Cruz, M., & Acencio-Castillo, N. (2023). Climate, fruiting and frosty pod rot influence the epidemic intensity of *Phytophthora capsici* in cacao plantations in Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology*, 41(1), 26-44. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2210-3>
- Weststeijn, G. (1969). Incidence of *Phytophthora* pod rot disease of cacao at different heights in the tree. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 75, 133-136. <https://doi.org/10.1007/BF02137206>