

CAERI 4, nueva variedad de cacao para las áreas cacaoteras de México

CAERI 4, a new cocoa variety for production areas in Mexico

Carlos Hugo Avendaño-Arrazate¹ , Misael Martínez-Bolaños^{1*} , Leobardo Iracheta-Donjuan¹ 

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa. Km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán. CP. 30870. Tuxtla Chico, Chiapas, México.

*Autor de correspondencia: misael1480@hotmail.com

Nota científica

Recibida: 21 de octubre 2024

Aceptada: 18 de marzo 2026

RESUMEN. El clon de cacao CAERI 4 proviene de la cruce de los clones Baalam x CATIE R6 realizada en el Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP, y evaluado en tres ambientes (Tuxtla chico y Umoa, Chiapas y Teapa, Tabasco) donde mostró estabilidad en la mayoría de los componentes de rendimiento, principalmente las variables NST, IM, IS, Rendimiento árbol⁻¹ y Rendimiento por hectárea; lo que indica que no hay interacción del clon CAERI 4 con los ambientes; característica importante cuando se va a liberar a productores una nueva variedad. CAERI-4 se caracteriza por su tolerancia a la enfermedad de la moniliasis (SE = 0.29 y SI = 044) y buen rendimiento (mayor de 1000 kg.ha⁻¹). El clon de cacao CAERI 4 se generó para poder realizar la renovación de las plantaciones de cacao en México, donde la moniliasis ha disminuido la producción y provocado el abandono de parcelas y como consecuencia, el cambio de uso del suelo. **Palabras clave:** Diversidad, mejoramiento genético, *Theobroma cacao*.

ABSTRACT. The “CAERI 4” cocoa clone originated from the cross between the Baalam x CATIE R6 cocoa clones, carried out at the INIFAP Rosario Izapa Experimental Field. It was evaluated in three environments (Tuxtla chico and Umoa, Chiapas and Teapa, Tabasco) and showed stability in most yield components, primarily the variables NST, IM, IS, yield tree⁻¹ and yield per hectare. This indicates no interaction between the CAERI 4 clone and the environments; an important characteristic when releasing a new variety to producers. CAERI-4 is characterized by its tolerance to moniliasis (SE = 0.29 and SI = 044) and good yield (more than 1000 kg.ha⁻¹). The CAERI 4 cacao clone was developed to facilitate the renewal of cacao plantations in Mexico, where moniliasis has reduced production, led to the abandonment of plots, consequently, changes in land use.

Keywords: Diversity, breeding, *Theobroma cacao*.

INTRODUCCIÓN

El cacao es un cultivo tropical con una importancia económica, social, cultural y ambiental para millones de personas a nivel mundial (Avendaño-Arrazate *et al.* 2021, Ishola *et al.* 2025); del cacao se obtienen varios productos como el chocolate, manteca de cacao, licor de chocolate y sólidos de cacao (Gonzales 2024). Sin embargo, este cultivo es afectado por diversos factores bióticos como enfermedades que pueden afectar el rendimiento, y que se ven intensificados por factores abióticos (Wickramasuriya y Dunwell 2018). *Moniliophthora roreri*, el agente causal de la moniliasis, es uno de los patógenos más devastadores del cacao a nivel mundial (Maridueña-Zavala *et al.* 2016); en campo, la enfermedad puede reducir el rendimiento hasta en un 80% (Hernández-Gómez *et al.* 2015, SIAP 2024), al causar daño interno y externo de los frutos o mazorcas (Phillips-Mora y Wilkinson 2007). La moniliasis está presente en la mayoría de los países donde se cultiva cacao (Phillips-Mora *et al.* 2006); en México, desde su aparición en 2005 ha provocado una fuerte disminución en el rendimiento y que ha generado el abandono de muchas parcelas o que los productores se dediquen a otras actividades, conllevando a un cambio de uso del suelo (Phillips-Mora *et al.* 2007). Para el manejo de la enfermedad se han desarrollado estrategias que incluyen podas, aplicación de fungicidas, regulación de sombra y el uso de variedades de cacao tolerantes a la enfermedad. En diferentes cultivos se ha demostrado que el uso de variedades tolerantes a enfermedades es una de las mejores estrategias y que a mediano plazo es de bajo costo, pero sobre todo tiene un impacto positivo en el manejo y el medio ambiente (Llácer 2005). De acuerdo con Rodríguez-Medina *et al.* (2019), las principales estrategias de mejoramiento genético en cacao en varios países productores se han basado en la selección masiva de clones e híbridos. En México, el programa de investigación en cacao del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha generado variedades tolerantes a la moniliasis, como lo son “Regalo de Dios” (Avendaño-Arrazate *et al.* 2018) y CAERI 1 (Avendaño-Arrazate *et al.* 2019). Por lo anterior el objetivo de este estudio fue caracterizar al clon de cacao CAERI 4

MATERIALES Y MÉTODOS

Proceso de generación del clon

El cruzamiento controlado de los clones Baalam x CATIE R6 se realizó en el Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP en 2013. En el mismo año se germinaron las semillas en el vivero experimental en bolsas de polietileno de 25 cm x 35 cm, con sustrato de tierra con arena en proporción de 2:1, respectivamente y ocho meses después las plantas se establecieron en campo.

En 2014, la progenie fue establecida en una parcela experimental, en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, en la cual se evaluó el comportamiento agronómico y la tolerancia a la moniliasis y de ahí se seleccionó una planta promisorio que fue multiplicada asexualmente por injerto de yema. En 2018, se establecieron las plantas injertadas en tres ambientes para la evaluación del comportamiento agronómico y pruebas de resistencia genética para la moniliasis.

Los ambientes donde se desarrollaron los ensayos se señalan a continuación: ambiente 1: Campo Experimental Rosario Izapa, municipio de Tuxtla chico, Chiapas (14° 58' 18" LN y 92° 09' 14" LO, 443 msnm, precipitación anual de 3204 mm; temperatura máxima 32.4 °C y mínima de 19.5 °C); el ambiente 2: Ejido Umoa, municipio de Tapachula, Chiapas (14° 49' 52" LN, 92° 13' 51" LO, 97 msnm; precipitación anual de 1389 mm; temperatura máxima 35.1 °C y mínima de 22 °C) y ambiente 3: Vicente Guerrero, Teapa, Tabasco (17° 30' 37" LN; 92° 55' 04" LO, 95 msnm; con una precipitación anual de 3242 mm; temperatura máxima 31.4 °C y mínima de 21 °C).

Evaluación agronómica

Las variables evaluadas fueron: longitud de fruto (LF: cm), ancho de fruto (AF: cm), grosor del exocarpo (GEF: mm), número de semillas totales (NST), peso fresco de semillas totales por fruto (PFST: g), peso seco de semillas totales por fruto (PSST: g), peso de fruto (PF: g), e índice de mazorca (IM: número de frutos que se requieren para hacer 1 kg de grano seco), índice de semilla (IS: g), longitud de semilla (LS: mm), ancho de semilla (AS: mm) y grosor de semilla (GS: g).

Diseño Experimental y análisis estadístico

Los tratamientos corresponden a los dos clones de cacao (CAERI 4 y Carmelo), distribuidas en un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones, cada repetición consistió de cinco plantas de cacao obtenidas por injerto. El análisis de datos se realizó con el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, Cary, NC, EE.UU.). Se realizó un análisis para cada una de las variables aplicando el procedimiento GLM (modelo lineal general) y una prueba de Duncan para determinar las diferencias estadísticas entre las medias de los dos tratamientos.

Evaluación de resistencia a moniliasis

Frutos de cacao con síntomas de moniliasis se colectaron de 12 parcelas experimentales y comerciales de cacao en los municipios de Escuintla, Tapachula, Tuxtla chico, Tuzantán y Suchiate, del estado de Chiapas. A partir de tejido sintomático (frutos con presencia de esporulación del hongo) se obtuvieron 148 aislamientos de *Moniliophthora roreri*, que fueron identificados por morfología colonial y taxonomía. De ellos, un aislamiento se seleccionó para utilizarlo en las pruebas de resistencia con base en su velocidad de crecimiento y tasa de esporulación en medio papa-dextrosa-agar (PDA). El hongo se hizo crecer en una placa Petri con PDA durante 18 días en condiciones de 12 h luz-12 h oscuridad para inducir la esporulación del hongo; la obtención de la suspensión de esporas se realizó acorde a la metodología descrita por Sterling *et al.* (2015), para lo cual a cada placa Petri se le adicionaron 3 ml de agua destilada y con una asa bacteriológica o aguja hipodérmica se realizó un frotis o ligero raspado sobre la superficie micelial para liberar las esporas del hongo y obtener una suspensión de esporas, la cual con ayuda de una cámara neubauer se ajustó a una concentración de 1.0×10^5 esporas.mL⁻¹ y se colocó en un atomizador para su posterior uso.

En campo, frutos de cacao de los clones de cacao CAERI 4 y Carmelo (testigo susceptible) se seleccionaron con base a un rango de tamaño de 120 a 200 mm y 100 a 150 mm, respectivamente, lo cual corresponde a frutos de 2 meses de edad aproximadamente (López-Hernández *et al.* 2018); también se consideró que los frutos no presentaran síntomas de alguna enfermedad o daños por insectos, pájaros o roedores. Un total de 120 frutos de CAERI 4 y 110 de Carmelo se inocularon y

evaluaron durante cinco fechas diferentes (entre 20 y 25 frutos por cada fecha, acorde a disponibilidad de frutos), a cada fruto se le asperjó un volumen promedio de 1.5 mL de la suspensión de esporas de *M. roreri* y posteriormente se le cubrió con una bolsa de polipapel transparente, y en su interior una toalla de papel húmeda para generar condiciones de cámara húmeda durante 48 h, posterior a dicho periodo se eliminó la toalla de papel húmeda. Los frutos inoculados se colectaron de campo después de ocho semanas del proceso de inoculación, las variables evaluadas fueron: incidencia de moniliasis (porcentaje de frutos enfermos), severidad externa (SE) y severidad interna (SI). La severidad externa se determinó para cada fruto de acuerdo con la metodología señalada por Sánchez *et al.* (1987) y Sánchez y González (1989), para lo cual se utilizó una escala con seis categorías: 0) Fruto sano; 1) mancha aceitosa; 2) gibas y/o madurez prematura; 3) necrosis; 4) Micelio cubre no más de una cuarta parte de necrosis; y 5) micelio cubre más de una cuarta parte de la necrosis. La severidad interna se determinó con base al porcentaje de semillas necrosadas o dañadas por el hongo, para ello en cada fruto se contabilizó el número total de semillas y el número de semillas dañadas; se consideró el uso de una escala con seis categorías para agrupar los valores porcentuales obtenidos de necrosamiento de semillas: 0) 0%; 1) 1-20%; 2) 21-40%; 3) 41-60%; 4) 61-80%; y 5) >80%. Los clones de cacao se clasificaron de acuerdo con su valor promedio escalar de severidad interna, de acuerdo con las siguientes categorías: resistente (SI = 0-1.25), moderadamente resistente (SI = 1.26-2.50), moderadamente susceptible (SI = 2.51-3.75) y susceptible (SI = 3.76-5.0) (Phillips-Mora *et al.* 2005).

De 2021 a 2023, el examen de distinción, homogeneidad y estabilidad (DHE) para proteger variedades vegetales se realizó bajo la directriz TG/270/1 de cacao publicada por la Unión Internacional de Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV), en condiciones de campo abierto, en el Campo Experimental Rosario Izapa y la variedad de referencia fue CAERI 2. En 2024 se realizó el trámite para su registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales y el Título de obtentor ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del Clon de cacao “CAERI 4”

El clon de cacao CAERI 4, proviene de la cruce de los clones de cacao Baalam x CATIE R6 realizada en el Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP. Tiene hojas pequeñas (25.19 cm), con la base del limbo aguda y ápice apiculado, color rojo oscuro cuando joven y verde medio cuando alcanzan su madurez. La flor presenta pigmentación antocianica del pedicelo fuerte y moderada en el sépalo. Lígula color crema y estaminodio con pigmentación antocianica media. La longitud del sépalo es de 8.16 mm y 1.92 mm de ancho. Mientras que el fruto es ovado con ápice obtuso, con una constricción basal débil y la superficie lisa a moderadamente rugosa, poca profundidad entre surcos. En promedio mide 20.94 cm de longitud, 9.71 cm de diámetro, con un grosor de cáscara de 20.88 mm. El color del fruto inmaduro es rojo y púrpura cuando madura, con una pulpa color blanco y dulzura media. Tiene en promedio 32.1 semillas por fruto. La semilla es ovada con el cotiledón de color púrpura oscuro, su longitud promedio es de 23.27 mm, ancho de 13.06 mm y grosor de 9.87 mm. El clon CAERI 4 tiene un índice de mazorca promedio de 20.5 (mazorcas para obtener 1 kg de grano seco de cacao) y un índice de semilla de 1.3 g. Mientras que el rendimiento

estimado con una densidad de plantación de 1 111 plantas ha⁻¹ ces de 1 000 kg de grano seco ha⁻¹. En la Tabla 1 se presentan los estados de cada carácter de acuerdo a la guía de cacao UPOV TG/270/1 y en la Figura 1 se observan las formas y colores de las características evaluadas del clon de cacao denominado CAERI 4.

Tabla 1. Descripción varietal del clon de cacao CAERI 4 de acuerdo a la guía UPOV TG/270/1

No	Descriptor	Promedio/moda	Nota	Escala
1	Tamaño del limbo	25.19	3	Pequeño
2	Forma de la base del limbo	1	1	Aguda
3	Intensidad del color verde en el limbo	2	2	Medio
4	Forma del ápice del limbo	2	2	Apiculado
5	Color de la hoja joven	6	6	Rojo oscuro
6	Pigmentación antocianica del pedicelo	3	3	Fuerte
7	Longitud del sépalo	8.16	7	Larga
8	Anchura del sépalo	1.92	5	Medio
9	Pigmentación antocianica del sépalo	3	3	Moderada
10	Color de lígula	1	1	Crema
11	Estaminodio: pigmentación antocianica	3	3	Media
12	Forma del fruto	1	1	Ovada
13	Constricción basal del fruto	3	3	Débil
14	Forma del ápice del fruto	3	3	Obtuso
15	Longitud del fruto	20.94	5	Media
16	Diámetro del fruto	9.71	7	Grande
17	Relación Longitud / diámetro del fruto	0.46	5	Media
18	Superficie del fruto	1	1	Lisa o Moderadamente rugosa
19	Profundidad de los surcos del fruto	2	2	Poco profunda
20	Color del fruto	6	6	Púrpura
20.1	Color del fruto verde	3	3	Rojo
21	Grosor del exocarpo del fruto	20.88	7	Grueso
22	Color de pulpa	1	1	Blanco
23	Dulzura de la pulpa	5	5	Media
24	Número de Semillas del Fruto	32.1	7	Alto
25	Forma de la sección longitudinal de la semilla	3	3	Ovada
26	Longitud de la semilla	23.27	5	Media
27	Anchura de la semilla	13.06	5	Media
28	Relación longitud / anchura de la semilla	1.78	5	Media
29	Grosor de la semilla	9.87	2	Medio
30	Color del cotiledón	5	5	Púrpura oscuro

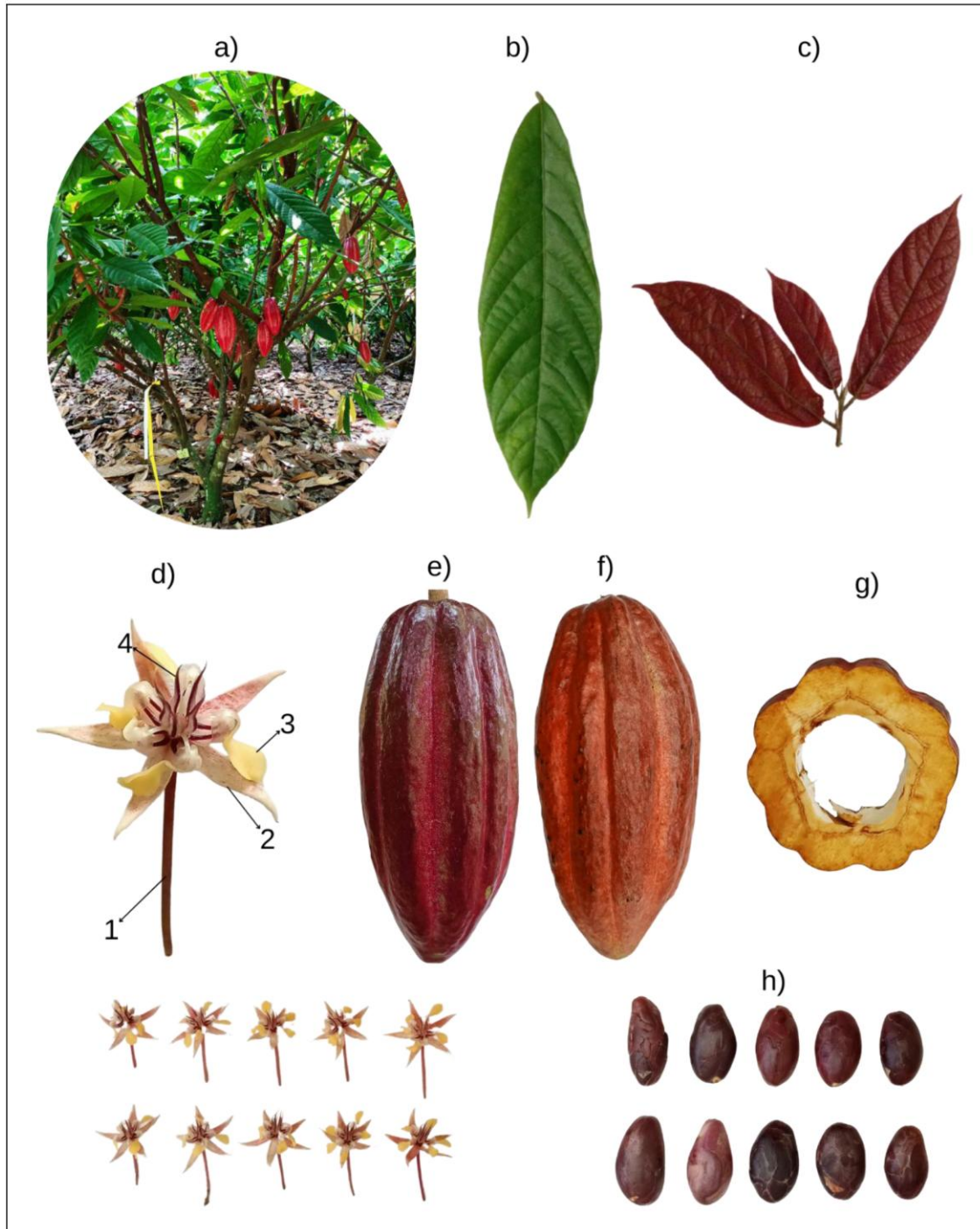


Figura 1. Descriptores varietales del Clon de cacao CAERI 4. a) Planta de cacao; b) Hoja madura; c) Hoja joven; d) Flor. 1. Pedicelo. 2. Sépalo. 3. Lígula 4. Estaminodio; e) Fruto verde; f) Fruto maduro; g) Exocarpe; h) Semillas.

Comportamiento agronómico en diferentes ambientes

El análisis de varianza identificó diferencias estadísticas entre ambientes y clones, así como en algunas interacciones. Entre ambientes, se observaron diferencias significativas en las variables LF, AF, GEF, LS, AS, GS (Figura 2), así como en PFST, PSST (Figura 3) y PF (Figura 4). Esto sugiere que

las condiciones ambientales ejercen un efecto marcado sobre el desarrollo foliar y la producción de frutos, lo cual coincide con estudios que destacan la influencia de factores edafoclimáticos en la expresión fenotípica del cacao (López-García *et al.* 2023).

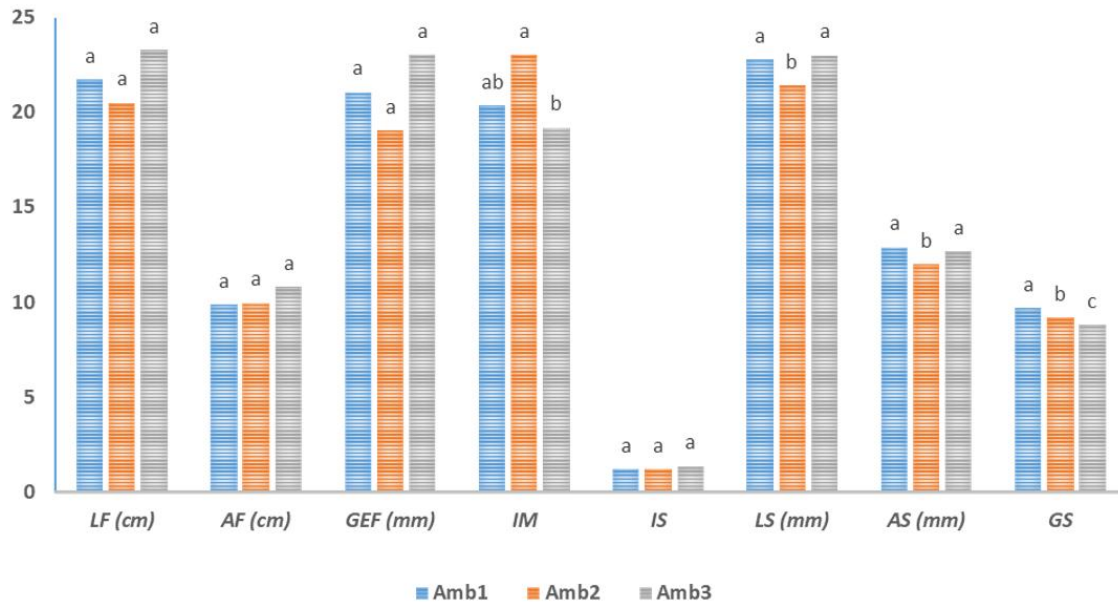


Figura 2. Efecto de tres tipos de ambientes (1: Tuxtla chico, Chiapas; 2: Tapachula, Chiapas; y 3: Teapa, Tabasco) sobre el comportamiento agronómico de dos genotipos de cacao. Longitud de fruto (LF: cm), Ancho de fruto (AF: cm), Grosor del exocarpo (GEF: mm), Índice de Mazorca (IM: Número de frutos que se requieren para hacer un kilo de grano seco), Índice de semilla (IS: g), Longitud de semilla (LS: mm), Ancho de semilla (AS: mm) y Grosor de semilla (GS: g)

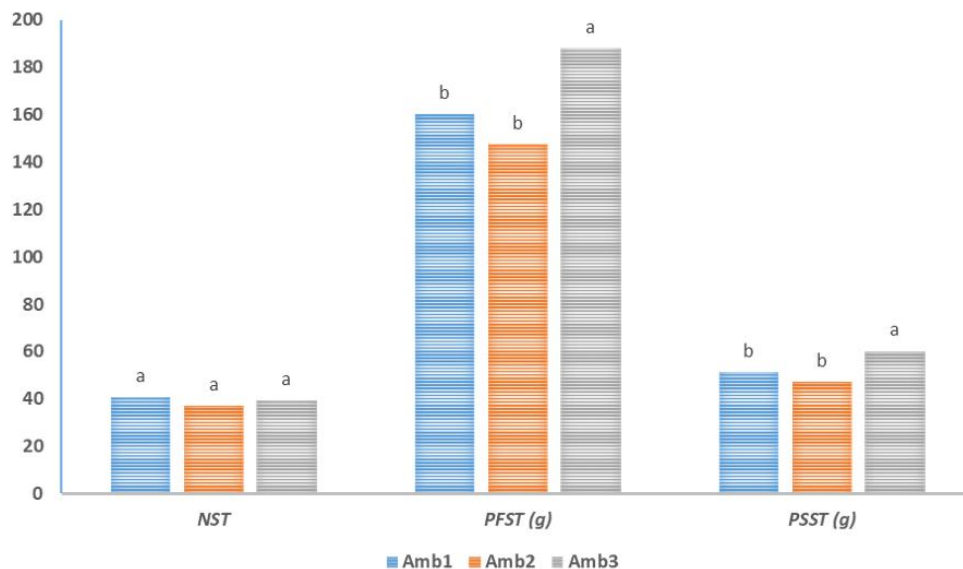


Figura 3. Efecto de tres tipos de ambientes (1: Tuxtla chico, Chiapas; 2: Tapachula, Chiapas; y 3: Teapa, Tabasco) sobre el comportamiento agronómico de dos genotipos de cacao. Número de semillas totales (NST), Peso fresco de semillas totales por fruto (PFST: g) y Peso seco de semillas totales por fruto (PSST: g).

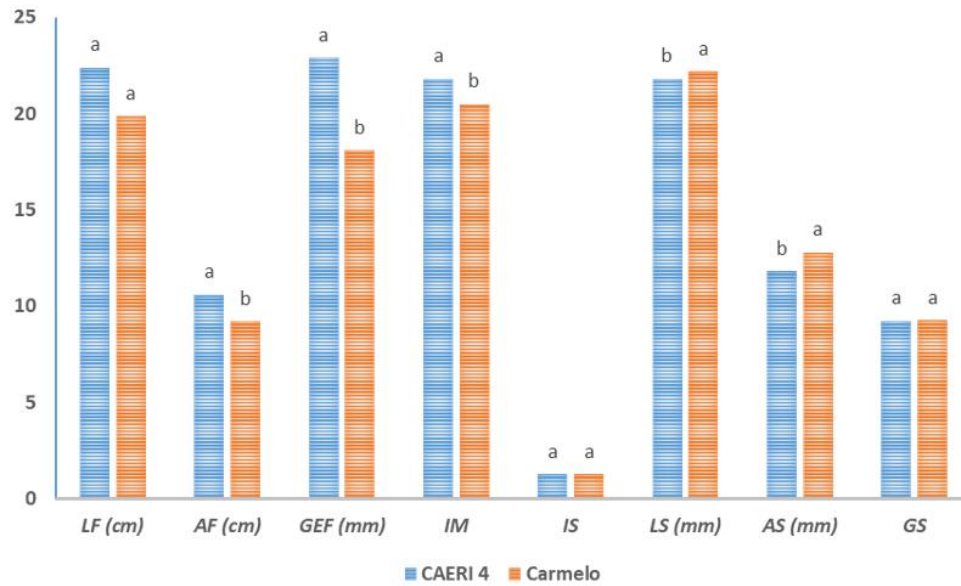


Figura 4. Comportamiento agronómico de dos genotipos de cacao en Chiapas (Tuxtla Chico y Tapachula) y Tabasco (Teapa). Longitud de fruto (LF: cm), Ancho de fruto (AF: cm), Grosor del exocarpo (GEF: mm), Índice de Mazorca (IM: Número de frutos que se requieren para hacer un kilo de grano seco), Índice de semilla (IS: g), Longitud de semilla (LS: mm), Ancho de semilla (AS: mm) y Grosor de semilla (GS: g).

En cuanto a la fuente de variación de clones, se encontraron diferencias estadísticas en LF, AF, GEF, LS, AS (Figura 5) y PF, lo que indica que el material genético influye en la morfología foliar y en la producción de frutos. Sin embargo, variables como NST, PFST, PSST, IM, IS y GS (Figura 6) no mostraron diferencias entre clones, lo que sugiere que ciertos atributos reproductivos y de calidad pueden estar más condicionados por el ambiente que por el genotipo, en concordancia con lo reportado por Oliveira-de-Andrade *et al.* (2025).

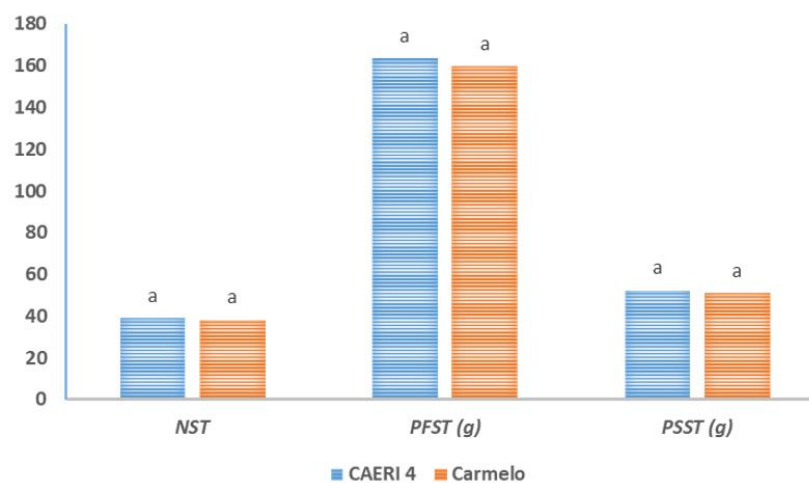


Figura 5. Comportamiento agronómico de dos genotipos de cacao en Chiapas (Tuxtla Chico y Tapachula) y Tabasco (Teapa). Número de semillas totales (NST), Peso fresco de semillas totales por fruto (PFST: g) y Peso seco de semillas totales por fruto (PSST: g).

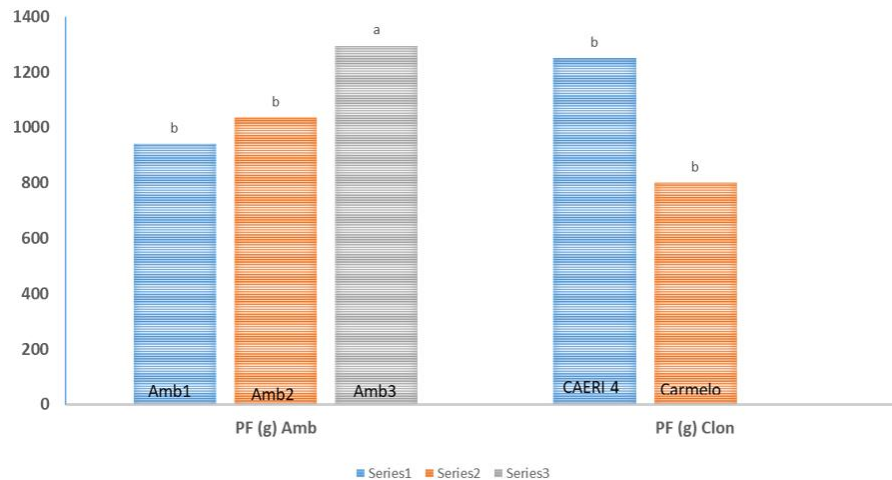


Figura 6. Efecto de tres tipos de ambientes (1: Tuxtla chico, Chiapas; 2: Tapachula, Chiapas; y 3: Teapa, Tabasco) y dos genotipos (1: Carmelo, y 2: CAERI 4) sobre la variable peso del fruto (PF: g).

Respecto a la interacción Clones $\times$ Ambientes, se observaron diferencias en PFST, PSST, IS y LS, mientras que en variables como LF, AF, GEF, NST, PF, IM, AS, GS, Rend/árbol y Rend/ha no se detectó interacción significativa (Tabla 2). Esto implica que algunos caracteres productivos y morfológicos responden de manera estable independientemente del ambiente, mientras que otros presentan plasticidad fenotípica, lo cual es relevante para la selección de materiales adaptables a diferentes condiciones agroecológicas (Avendaño-Arrazate *et al.* 2019).

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables de fruto y semilla en clones de cacao CAERI 4 y Carmelo, evaluados en tres ambientes.

FV	GL	LF	AF	GEF	NST	PFST	PSST	PF	IM	IS	LS	AS	GS	Rend/árbol	Rend/ha
Amb	2	37.7*	5.8**	64.2*	23.4ns	3872.6**	397.6**	58564.2**	21.3ns	0.03ns	60.1**	32.8**	10.5**	0.22 ns	283108.4 ns
Clon	1	65.8*	16.0**	170.0**	1.0ns	1798.8ns	185.0**	14498.7**	0.5ns	0.04ns	20.6**	109.7**	0.91 ns	4.65 **	5750925.2 **
Amb* Clon	2	0.37ns	0.01ns	6.14ns	2.9ns	5.4*	277.4*	41558.8ns	27.7ns	0.17*	16.1**	2.4 ns	0.69 ns	0.29 ns	354870.5 ns

FV = Fuente de variación; GL = Grados de libertad, Ambiente 1 = Campo Experimental Rosario Izapa; Chiapas 2 = Umoa, Tapachula, Chiapas y 3 = Teapa, Tabasco. Longitud de fruto (LF: cm), Ancho de fruto (AF: cm), Grosor del exocarpo (GEF: mm), Número de semillas totales (NST), Peso fresco de semillas totales por fruto (PFST: g), Peso seco de semillas totales por fruto (PSST: g), Peso de fruto (PF: g), e Índice de Mazorca (IM: Número de frutos que se requieren para hacer un kilo de grano seco), Índice de semilla (IS: g), Longitud de semilla (LS: mm), Ancho de semilla (AS: mm) y Grosor de semilla (GS: g). Rend/árbol = Rendimiento por árbol; Rend/ha = Rendimiento por hectárea **Diferencias altamente significativas con un $\alpha = 0.01$ y * Diferencias significativas con un $\alpha = 0.05$ y ns = no significativo.

En conjunto, los resultados refuerzan la importancia de considerar tanto el efecto del ambiente como la interacción genotipo-ambiente en programas de mejoramiento y evaluación de clones de cacao. La estabilidad de rendimiento observada en algunas variables sugiere que ciertos clones pueden ser recomendados para sistemas de producción diversificados, mientras que la variabilidad en otras características indica la necesidad de pruebas multilocales para garantizar la adaptabilidad y productividad sostenida.

Los resultados obtenidos muestran diferencias claras en el rendimiento entre los clones evaluados. El clon CAERI 4 presentó un rendimiento promedio por árbol de 1.29 kg, mientras que el clon Carmelo alcanzó 0.82 kg. Esta diferencia se traduce en un rendimiento por hectárea de 1442.3 kg para CAERI 4 y 921.3 kg para Carmelo, considerando una densidad de 1 111 plantas/ha (Figura 7).

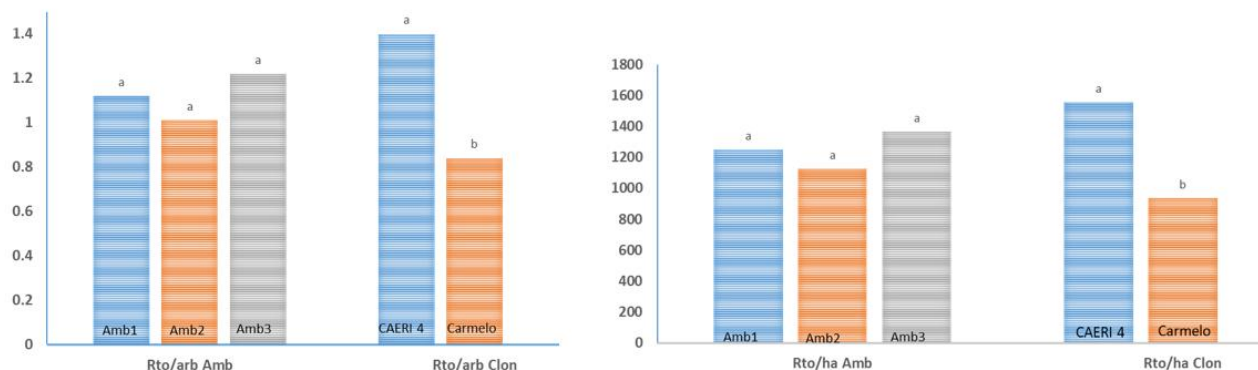


Figura 7. Rendimiento por árbol y por hectárea en dos clones de cacao.

La superioridad de CAERI 4 puede atribuirse a su mayor eficiencia en la producción de mazorcas y granos, lo que coincide con estudios previos que señalan que los clones desarrollados por programas de mejoramiento genético, como los del INIFAP, tienden a mostrar ventajas en rendimiento y tolerancia a enfermedades (Avendaño-Arrazate *et al.* 2019). En contraste, clones tradicionales como Carmelo, aunque valorados por su calidad organoléptica, suelen presentar menores niveles de productividad (Oliveira-de-Andrade *et al.* 2025). Estos resultados sugieren que la adopción de clones mejorados como CAERI 4 puede contribuir significativamente a incrementar la productividad en sistemas cacaoteros, especialmente en regiones con alta presión de enfermedades como moniliasis y mancha negra. Sin embargo, es importante considerar que la elección de material genético debe equilibrar rendimiento con calidad del grano y adaptabilidad a condiciones locales (Avendaño-Arrazate *et al.* 2018). En términos de impacto productivo, la diferencia de más de 500 kg ha⁻¹ entre ambos clones representa un potencial incremento de ingresos para los productores, lo que refuerza la importancia de la selección de materiales genéticos adecuados en programas de renovación de plantaciones. Estos resultados también son consistentes con las expectativas, ya que un mayor número de semillas por fruto implica que se necesitan menos frutos para producir un kilogramo de cacao, una característica clave en la selección de clones durante el mejoramiento genético (Bekele *et al.* 2020).

Algunos trabajos enfocan la caracterización agronómica en el conteo de frutos totales obtenidos por planta y el número de semillas frescas por fruto (Vasconcellos *et al.* 2009); pero la mayoría de los estudios señalan la importancia de determinar el rendimiento en base al peso de semillas secas por planta (Vasconcelos *et al.* 2009, Boza *et al.* 2014). El rendimiento de grano seco por árbol del genotipo CAERI 4 (1.29 kg/ árbol) es muy similar a lo reportado para los genotipos TSH 654, TSH 774 y TSH 792 en Brasil (Vasconcellos *et al.* 2009) y superior a clones L21-H43, L46-H57 y L46-H88 evaluados en Ecuador (Sánchez-Mora *et al.* 2015).

Evaluación de resistencia a moniliasis

De un total de 110 frutos de cacao seleccionados en la variedad Carmelo, el tamaño promedio al momento de la inoculación fue de 116.4 mm. El 68% de los frutos inoculados desarrollaron síntomas de manera externa e interna (Figura 8C y D), con valores escalares máximos del índice de severidad externa de 5 (presencia de micelio que cubre más de la cuarta parte de la mancha chocolate). El valor máximo del índice de severidad interna fue de 5 (más del 80% de las almendras o semillas afectadas) y promedio de 3.51 (61-80% de semillas afectadas). De acuerdo con los valores del índice de severidad obtenidos (3.4 severidad externa y 3.5 de severidad interna), la variedad Carmelo se comportó como un genotipo “moderadamente susceptible” y permitió corroborar la capacidad patogénica de la cepa de *M. roreri* utilizada. Para el caso de la variedad CAERI 4, el tamaño promedio de los frutos al momento de inoculación fue de 120.2 mm. La mayoría de los frutos inoculados no desarrollaron síntomas externos o internos (Figura 8A y B); el 9.4% de los frutos desarrollaron síntomas externos de moniliasis y el 11.11% síntomas internos; con valores escalares máximos del índice de severidad externa de 5 y promedio de 0.29. El valor máximo del índice de severidad interna fue de 5. De acuerdo con los valores promedio del índice de severidad obtenidos (0.29 severidad externa y 0.44 de severidad interna), la variedad CAERI 4 se comportó como un genotipo “resistente”. Se encontraron diferencias significativas ($P < .001$) entre los dos genotipos de cacao evaluados para las tres variables evaluadas (Tabla 3); en donde se observa que la variedad Carmelo es un genotipo susceptible y CAERI 4 es resistente a la moniliasis.

Los resultados obtenidos evidencian una clara diferencia en la respuesta de los dos genotipos de cacao frente a la inoculación con *M. roreri*. En la variedad Carmelo, el 68% de los frutos desarrollaron síntomas externos e internos, alcanzando valores máximos de severidad de 5 y promedios de 3.4 (externa) y 3.5 (interna). Estos valores corresponden a un comportamiento de “moderada susceptibilidad”, lo que confirma la capacidad patogénica de la cepa utilizada y la vulnerabilidad relativa de este material genético. Por el contrario, la variedad CAERI 4 mostró una respuesta significativamente distinta: solo el 9.4% de los frutos presentaron síntomas externos y el 11.11% internos, con promedios de severidad de 0.29 y 0.44 respectivamente, lo que la clasifica como un genotipo “resistente”. Esta resistencia concuerda con reportes previos de clones mejorados que han mostrado tolerancia a moniliasis y otras enfermedades de importancia económica (Avendaño-Arrazate *et al.* 2019, 2018). La diferencia entre ambos genotipos resalta la importancia de la selección de materiales resistentes en programas de mejoramiento y renovación de plantaciones. Mientras Carmelo puede aportar atributos de calidad organoléptica, su susceptibilidad lo convierte en un riesgo productivo bajo condiciones de alta presión de moniliasis. En contraste, CAERI 4 representa una alternativa estratégica para incrementar la sostenibilidad y reducir pérdidas por esta enfermedad, lo cual coincide con estudios que destacan la relevancia de la resistencia genética como herramienta de manejo integrado (Phillips-Mora y Wilkinson 2007, López-García *et al.* 2023). De acuerdo con Gutierrez *et al.* (2016), existen diferentes factores que pueden afectar la expresión de la resistencia heredada en el cacao, por ello algunos clones muestran diferente grado de resistencia en diferentes regiones geográficas. Adicional a ello, las poblaciones del patógeno pueden ser diferentes entre las áreas productoras de cacao, de tal manera que la resistencia que es efectiva en cierta área puede no ser efectiva o estable en otras áreas (Bowers *et al.* 2001). En el presente trabajo, se seleccionaron tres sitios para evaluar el comportamiento agronómico y de resistencia a infecciones naturales de moniliasis, dichos sitios se ubican en los dos

principales estados productores de cacao en México. Además, se evaluó la resistencia o susceptibilidad a moniliasis a través de inoculaciones artificiales de *M. roreri* en los dos genotipos, bajo condiciones ambientales favorables al fitopatógeno y en altas concentraciones de esporas, que permitieran una mayor presión de inóculo hacia los frutos evaluados. Los altos valores de incidencia de moniliasis obtenidos para los frutos del genotipo Carmelo confirmaron tanto el potencial infectivo de la cepa de *M. roreri* utilizada, así como la efectividad del método de inoculación. De acuerdo con Jaimes *et al* (2011), la selección de nuevos genotipos resistentes a la moniliasis con las metodologías convencionales, como las desarrolladas en el presente trabajo, suponen un reto; debido a que los ensayos en campo son costosos y requieren más de cinco años para obtener resultados (Kuhn *et al.* 2003). El presente estudio la cruce de progenitores y la selección de su progenie requirió de 5 años, adicional a ello se requirieron 5 años para la caracterización de la nueva variedad CAERI 4.

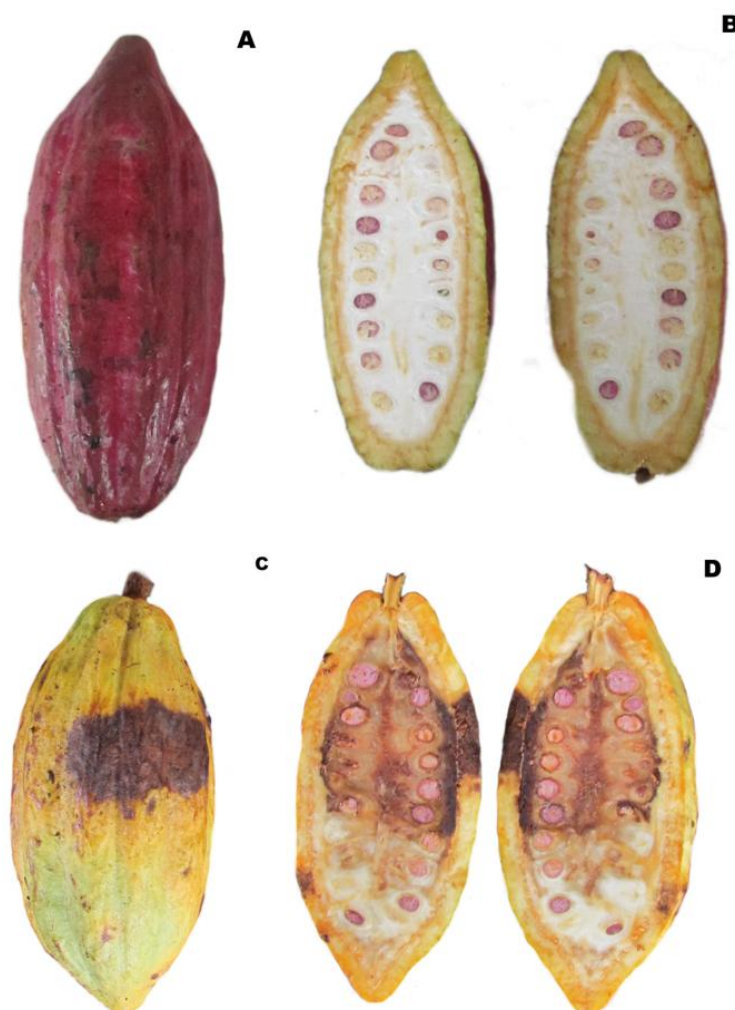


Figura 8. Respuesta de dos clones de cacao con respecto a inoculaciones de *Moniliophthora roreri*. Severidad externa e interna de los frutos de la variedad CAERI 4 (A y B) y de frutos testigo (variedad Carmelo, C y D).

Tabla 3 Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de análisis de la incidencia, severidad externa y severidad interna de dos clones de cacao inoculados con *Moniliophthora roreri*.

Clon	Incidencia	Severidad externa	Severidad interna
	Promedio	Promedio	Promedio
Carmelo	73.32 ^a	3.44 ^a	3.51 ^a
CAERI 4	17.18 ^b	0.29 ^b	0.11 ^b

El clon de cacao “CAERI 4” se adapta a las principales zonas cacaoteras de México (Chiapas y Tabasco). La respuesta en rendimiento es mayor en condiciones de riego. Actualmente se cuenta con un jardín clonal con capacidad para producir más de 150 000 yemas anuales, para su propagación masiva en viveros comerciales. El método para conservar la identidad del clon de cacao ‘CAERI 4’, es en forma de planta viva mediante reproducción asexual utilizando yemas vegetativas. El tipo de injerto recomendado es el de parche. El clon de cacao CAERI 4 cuenta con título de obtentor No. 3478 y No. CAO-028-290524 ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Los resultados sugieren que la selección de clones debe considerar tanto la respuesta morfológica como la interacción con el ambiente, priorizando materiales con estabilidad en rendimiento y adaptabilidad a diferentes condiciones agroecológicas. Los resultados corroboran que la resistencia genética es un factor determinante para la productividad y estabilidad de los sistemas cacaoteros. La incorporación de clones resistentes como CAERI 4 puede contribuir a disminuir la dependencia de controles químicos y a fortalecer la resiliencia de los sistemas agroforestales de cacao. Por lo que el clon de cacao “CAERI 4” es una alternativa para la renovación de plantaciones viejas o para iniciar nuevas plantaciones. La característica de este clon lo hace una opción para utilizarlo como una estrategia más para el manejo y control de la enfermedad conocida como moniliasis en México.

AGRADECIMIENTOS

Al CONAHCYT y a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México, por el financiamiento del proyecto número 2017-02-291417 denominado; “Desarrollo de innovaciones tecnológicas para el manejo integral sustentable del cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en México”.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores no declaran ningún tipo de conflicto de interés.

LITERATURA CITADA

- Avendaño-Arrazate CH, Guillén-Díaz S, Hernández-Gómez E (2018) “Regalo de Dios”: clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) tolerante a *Moniliophthora roreri* Cif & Par, para la renovación de las zonas cacaoteras de México. *Agroproductividad* 11(9): 173-176.
- Avendaño-Arrazate CH, Hernández-Gómez E, Solís-Bonilla JL, Cueto-Moreno J, Zamarripa-Colmenero A (2019) “CAERI 1” y “CAERI 2”, Nuevos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Agroproductividad* 12(8): 73-77.
- Avendaño-Arrazate CH, Suárez-Venero GM, Mendoza-López A, Martínez-Bolaños M, Reyes-Reyes J, Espinosa-Zaragoza S (2021) Composición arbórea de especies asociadas al cacao: selva Lacandona y sistemas agroforestales, Chiapas, México. *Revista Agronomía Mesoamericana* 32(2): 27-43. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v32i2.41630>
- Bowers JH, Bailey BA, Hebbar PK, Sanogo S, Lumsden RD (2001) The impact of plant diseases on world chocolate production. *Plant Health Progress* 2(1). <https://doi.org/10.1094/PHP-2001-0709-01-RV>
- Boza EJ, Motamayor JC, Amores FM, Cedeño AS, Tondo CL, Livingstone DS, Schnell J, Gutierrez OA (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.
- Gonzales MVA (2024) Cacao industry: Its status, opportunities and challenges. *International Journal of Science and Management Studies* 7(6): 178-196. <https://doi.org/10.51386/25815946/ijsms-v7i6p120>
- Gutiérrez OA, Campbell AS and Phillips-Mora W (2016) Breeding for disease resistance in cacao. In: Bailey BA, Meinhardt LW (eds) *Cacao diseases: A history of old enemies and new encounters*. Springer. Switzerland. pp. 567-610.
- Hernández-Gómez E, Hernández-Morales J, Avendaño-Arrazate CH, López-Guillen G, Garrido-Ramírez ER, Romero-Nápoles J, Nava-Díaz C (2015) Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33: 232-246.
- Ishola EV, Oluwasikemi OG, Olaide A, Ayoola MO, Arinola OI, Oluyemi OO (2025) Knowledge on potential, production, and achievements of cocoa (*Theobroma cacao*) in Nigeria: Past, current status and perspective. *CABI Agriculture and Bioscience* 6: 1. <https://doi.org/10.1079/ab.2025.0028>
- Jaimes Y, Aránzazu F, Rodríguez E, Martínez N (2011) Behavior of introduced regional clones of *Theobroma cacao* toward the infection *Moniliophthora roreri* in three different regions of Colombia. *Agronomía Colombiana* 29(1): 361-371.
- Kuhn D, Heath M, Wissner R, Meerow A, Brown J, Lopes U, Schnell R (2003) Resistance gene homologues in *Theobroma cacao* as useful genetic markers. *Theoretical and Applied Genetics* 107: 191-202.
- Llácer G (2005) Problemática actual de la mejora genética de frutales en España. *Información Técnica Económica Agraria* 101(4): 364-372
- López-García J, Ramírez-Sánchez J, Pérez-Morales A (2023) Evaluación de clones de cacao en sistemas agroforestales: productividad y calidad del grano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14(2): 355-370. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3456>
- López-Hernández JG, López-Hernández LE, Avendaño-Arrazate CH, Aguirre-Medina JF, Espinosa-Zaragoza S, Moreno-Martínez JL, Mendoza-López A, Suárez-Venero GM (2018) Biología floral de cacao (*Theobroma cacao* L.); criollo, trinitario y forastero en México. *Agroproductividad* 11(9): 129-135.
- Maridueña-Zavala MG, Villavicencio-Vázquez ME, Cevallos-Cevallos JM, Peralta EL (2016) Molecular and morphological characterization of *Moniliophthora roreri* isolates from cacao in Ecuador. *Canadian Journal of Plant Pathology* 38(4): 460-469. <https://doi.org/10.1080/07060661.2016.1261372>
- Oliveira-de-Andrade D, Torres-Bazurto J, Cayón-Salinas DG, Piamba O, Alvarado LM, Hincapié ÓD (2025) Componentes del rendimiento en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo fertilización química

- fraccionada. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica 28(1).
<https://doi.org/10.31910/rudca.v28.n1.2025.2672>
- Phillips-Mora W, Castillo J, Krauss U, Rodríguez E, Wilkinson MJ (2005) Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombian isolates of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. Plant pathology 54: 483-490.
- Phillips-Mora W (2006) La moniliasis del cacao: Un enemigo que podemos y debemos vencer. En: Taller regional andino de aplicación tecnológica en el cultivo de cacao. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Quevedo, Ecuador. pp: 21- 25.
- Phillips-Mora W, Wilkinson MJ (2007) Frosty pod of cacao: A disease with a limited geographic range but unlimited potential of damage. Phytopathology 97: 1644-1647. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01646.x>
- Rodríguez-Medina C, Arana AC, Sounigo O, Argout X, Alvarado GA, Yockteng R (2019) Cacao breeding in Colombia, past, present and future. Breeding Science 69(3): 373-382.
<https://doi.org/10.1270/jsbbs.19011>
- Sánchez JA, Brenes O, Phillips W, Enríquez G (1987) Metodología para la inoculación de mazorcas de cacao con el hongo *Moniliophthora (Minilia) roreri*. Proceedings of the Tenth International Cocoa Research Conference, 1988. Cocoa Producer's Alliance. Santo Domingo, Dominican Republic. pp. 467-72.
- Sánchez F, Gamboa E, Rincón J (2003) Control químico y cultural de la moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el estado Barinas. Revista de la Facultad de Agronomía 20(2): 188-194.
- Sánchez JA, González LC (1989) Metodología para evaluar la susceptibilidad a moniliasis en cultivares de cacao (*Theobroma cacao*). Turrialba 39: 461-468.
- Sánchez MFD, Medina JSM, Díaz CGT, Ramos RRA, Vera CJF, Vázquez MVF, Troya MFA, Garces FFR, Onofre NR (2015) Sanitary and productive potential of 12 clones of cocoa in Ecuador. Revista Fitotecnia Mexicana 38(3): 265-274.
- SIAP (2024) Sistema de Información Agrícola y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. www.siap.gob.mx. Fecha de consulta: 25 de abril de 2024.
- Sterling CA, Hermida-Daza MA, Rodríguez-León CH, Salas-Tobón YM, Nieto-Guzmán NM, Caicedo-Rodríguez DF (2015) Reacción a *Moniliophthora roreri* en *Theobroma* sp., en Caquetá, Colombia. Summa Phytopathologica 41(3): 183-190.
- UPOV (2011) International Union for the Protection of New Varieties of Plants. Cacao: International Union for the Protection of New Varieties of Plants. <https://doi.org/10.34667/TIND.58106>. Fecha de consulta: 10 de junio de 2024
- Vasconcellos CACM, dos Santos DLA, de Paula SA (2009) caracterização agrônômica de acesos de cacau. Pesquisa Agropecuária brasileira 44(4): 368-373.
- Wickramasuriya AM Dunwell JM (2018) Cacao biotechnology: Current status and future prospects. Plant Biotechnology Journal 16: 4-17. <https://doi.org/10.1111/pbi.12848>