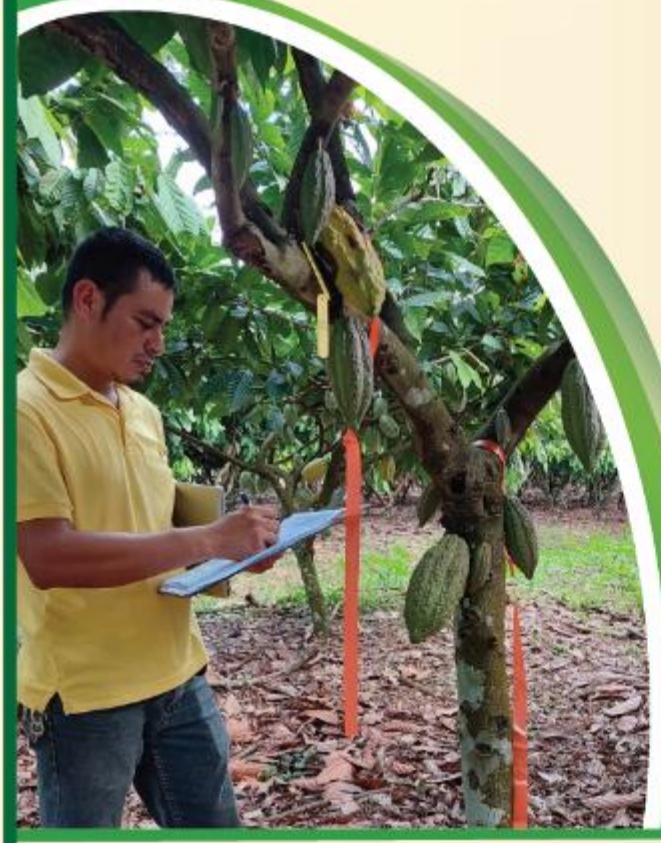
FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

INFORME TÉCNICO 2024

PROGRAMA DE CACAO Y AGROFORESTERÍA



La Lima, Cortés, Honduras
Marzo, 2025

FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

INFORME TÉCNICO 2024

PROGRAMA DE CACAO Y AGROFORESTERÍA

633.74
F981 Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
Programa de Cacao y Agroforestería: Informe Técnico 2024 /
Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. -- 1a ed.—
La Lima, Cortés: FHIA, 2024
72 p.: il.

1. *Theobroma cacao* 2. Agroforestería 3. Investigación
4. Honduras I. FHIA II. Programa de Cacao y Agroforestería

633.74—dc20

INFORME TÉCNICO 2024

PROGRAMA
DE CACAO Y AGROFORESTERÍA

Edición y reproducción realizada en el
Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA

La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
Marzo de 2025

Se autoriza su reproducción
total, o parcial siempre que se cite la fuente.

CONTENIDO

I. Introducción 1
II. Registros climáticos del CEDEC-JAS y CADETH-AMR 5
Francisco Javier Díaz, Oscar Ramírez Argueta y Alfredo Martínez
III. Desarrollo y evaluación de clones de cacao 13
3.1. Evaluación de clones promisorios seleccionados de progenies híbridas con mayores índices de rendimiento y tolerancia a moniliasis. Cac 13-01 16
Oscar Ramírez Argueta, Javier Díaz y Aroldo Dubón
3.2. Evaluación de progenies de cacao procedentes de semilla que demostraron mayor porcentaje de intercompatibilidad sexual en el CEDEC-JAS. CAC 20-01 21
Oscar Ramírez Argueta, Francisco Javier Díaz
3.3. Validación del comportamiento agronómico de 20 cultivares de cacao autocompatibles establecidos con un diseño agroforestal recomendado por la FHIA. 19-01 34
Oscar Ramírez Argueta, Javier Díaz y Elvin Ávila
3.4. Manejo nutricional del cacao en Honduras. CAC 19-02 39
Oscar Ramírez Argueta, Francisco Javier Díaz y Elvín Ávila
IV. Evaluación de especies forestales 55
4.1. Estudio de especies forestales latifoliadas bajo la modalidad de árboles en línea CAC 02-02 ... 56
Oscar Ramírez Argueta, Aroldo Dubón, Javier Díaz y Jesús Sánchez
V. Publicaciones, cursos y servicios especiales 67
5.1. CacaoFIT: the network of Cacao Field Trails in Latin America and its contributions to sustainable cacao farming in the region. 67
Oscar Ramirez Argueta[1], Fco. Javier Díaz[1], Luis Orozco[2]
5.2. Transferencia de conocimientos 67
5.2.1. Intercambio de experiencias sobre aspectos relevantes para la propagación, manejo y cosecha en el cultivo del cacao en SAF 67
5.2.2. Curso de producción de cacao sostenible y con resiliencia al cambio climático 68
5.2.3. Curso de producción de cacao rentable: innovaciones agroforestales para la resiliencia y mitigación del cambio climático 68
5.3. Participación en eventos científicos y profesionales 69
5.3.1. Congreso COLPROCAH 60 aniversario 69
5.3.2. III Congreso Nacional de Investigación Forestal UNACIFOR 69
5.3.3. Serie Veraniega de Seminarios Cacaoteroa para Latinoamérica y el Caribe 70
5.3.4. Proyecto FHIASAVIA 71
5.4. Apoyo a la academia 71

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Precipitación, temperaturas mínima, máxima y media mensual en el CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida, Honduras, en 2024. 5
Cuadro 2. Precipitación, temperatura mínima, máxima y media mensual en el CADETH-AMR en El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras, en 2024. 6
Cuadro 3. Producción anual de frutos sanos por árbol desde el 4° al 9°de frutos enfermos en el 2023 de 12 clones de cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2018-2023.....19
Cuadro 4. Progenitores de los cruzamientos, inter-compatibilidad promedio y rendimiento potencial de estos progenitores. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 23
Cuadro 5. Promedio y desviación estándar (DE) de la producción de frutos sanos por árbol y afectados por enfermedades en el lote con Guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024. 26
Cuadro 6. Correlación de Pearson: coeficientes / probabilidades de las variables físicas del fruto y agronómicas de progenies de cacao con antes sombra de Guama. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2024 29
Cuadro 7. Promedio de las mediciones físico-químicas en los frutos de cacao de las en el lote con Guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024. 30
Cuadro 8. Promedio y desviación estándar (DE) Producción de frutos sanos por árbol y afectados por enfermedades en el lote sombra de ternero en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024. . 32
Cuadro 9. Producción de frutos sanos y enfermos por planta en clones autocompatibles de cacao evaluados en campo. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2022-2024. 37
Cuadro 10. Plantaciones de cacao seleccionados para el ensayo de nutrición en cacao. 43
Cuadro 11. Características generales de las parcelas de cacao en sistemas agroforestales seleccionadas para el estudio. 44
Cuadro 12. Tratamientos aplicados para la nutrición de árboles de cacao en plantaciones agroforestales en Honduras. 44
Cuadro 13. Promedio por año y desviación estándar de la producción de frutos por árbol y su distribución por estado sanitario, además del rendimiento de cacao seco por año, en las diferentes fuentes para la nutrición de cacao en el CEDECJAS, La Masica, Atlántida. 2020 y 2024. 48
Cuadro 14. Análisis financiero de la aplicación de diferentes fuentes de nutrición en cacao de finca de CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2020-2024. 51
Cuadro 15. Resumen de variables dasométricas complementarias para la construcción de curvas de crecimiento y correlación entre variables, de especies maderables evaluadas en línea. La Masica, Atlántida. 2024. 59
Cuadro 16. Modelos con mejor ajuste para la estimación del DAP (cm) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2024. 61
Cuadro 17. Modelos ajustados para la estimación del Vc (m^3/árbol) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2024. 62
Cuadro 18. Modelos ajustados para la estimación del Bio (t/árbol) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2024. 63

Cuadro 19. Modelos para la estimación C equivalente (t/árbol) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2024 65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitación mensual promedio en el CEDEC-JAS (1987-2024) y CADETH-AMR (1997-2024). La Masica, Atlántida, Honduras. 7
Figura 2. Precipitación anual histórica en el CEDEC-JAS (1987-2024) y CADETH-AMR (1997-2024). La Masica, Atlántida, Honduras. 8
Figura 3. Distribución en porcentajes de los días lluviosos de la precipitación anual en el CEDEC-JAS (1987-2024). La Masica, Atlántida, Honduras. 9
Figura 4. Temperatura media mensual en el CEDEC-JAS, del 2024 y la promedia 1987 a 2024. La Masica, Atlántida, Honduras. 9
Figura 5. Temperatura media anual en el CEDEC-JAS de 1987 a 2024. La Masica, Atlántida, Honduras. 10
Figura 6. PCA de promedios mensuales de variables climáticas sobre la distribución de la producción de frutos de cacao. CEDEC-JAS, La Masica. 2005-2023. 10
Figura 7. PCA de promedios mensuales de variables climáticas sobre la distribución de la producción de frutos de cacao. CEDEC-JAS, La Masica. 2024. 11
Figura 8. Rendimiento en beneficiado relación cacao en baba a seco en el centro de beneficiado del CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 12
Figura 9. Estrategia de mejoramiento genético en cacao. 13
Figura 10. Rendimiento general y proporción de pérdidas por enferdades por año, de 12 cultivares de cacaos evaluados y seleccionados por FHIA. CEDEC-JAS La Masica, Atlántida, Honduras. 20
Figura 11. Rendimiento promedio (2018-2024) de 12 clones de cacaos evaluados y seleccionados por la FHIA. CEDEC-JAS La Masica, Atlántida, Honduras. 20
Figura 12. Producción y sanidad de las progenies de cacao con sombra de guama. a) Comparación del rendimiento seco promedio (2020-2024) y del 2024 expresado en kg/ha/año. b) Cantidad de frutos sanos y enfermos. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 28
Figura 13. Clonglomerados de progenies de cacao en lote Guama de acuendo a peso en baba, IM, IG y rendimiento de cacao seco. La Masica, Atlántida, Honduras. 2024. 31
Figura 14. Cantidad de frutos sanos de las progenies más productivas en el lote con sombra de ternero. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020 - 2024 33
Figura 15. Distribución anual de la producción de frutos de cacao por su estado fitosanitario en 20 cultivares de cacao autocompatibles, La Masica, Atlántida, Honduras. 2022-2024. 36
Figura 16. Distribución de la producción promedia de frutos de cacao por su estado fitosanitario en cada uno de los cultivares de evaluación de estudio evaluación de 20 cultivares autocompatibles, La Masica, Atlántida, Honduras. 2022-2024. 38
Figura 17. Ubicación geográfica de las parcelas en estudio de nutrición. 43
Figura 18. Rotulado de plantas (a), muestreo de suelo (b), mezclas físicas de fertilizantes (c) y aplicación de cal y lombricomposta (d). 45

Figura 19. Distribución de la producción de frutos de cacao/árbol/año según su condición fitosanitaria en ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024. 47
Figura 20. Distribución de la producción de frutos de cacao/árbol/año según su condición fitosanitaria en ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024. 48
Figura 21. Producción promedio aprovechable de cacao seco en kg/ha/año por cada uno de los tratamientos del ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024. 49
Figura 22. Evolución de la producción aprovechable de cacao seco en kg/ha/año por cada uno de los tratamientos del ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024. 49
Figura 23. Biplots de CP1 y CP2, de variables químicas del suelo y el rendimiento del cacao CEDEC-JAS, La Masica, Honduras. 52
Figura 24. Curvas de crecimiento en DAP (cm) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica no diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2024. 60
Figura 25. Curvas de crecimiento en Vc (m^3/árbol) de 16 especies maderables evaluados en línea. 62
Figura 26. Curvas de crecimiento en Bio (t/árbol) de 16 especies maderables evaluados en línea. 63
Figura 27. Curvas de crecimiento en C equi (t/árbol) de 16 especies maderables en línea. El mismo color indica no diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2024. 64

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Aplicación de productos cúpricos para la protección y mejora de la sanidad de los frutos de cacao en periodos lluviosos. CECEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2024. ... 39
Anexo 2. Recomendación de dosis en los tratamientos químico y orgánico, para estimar producir 1,000 kg de cacao por hectárea. Año 2020 y 2022. 54
Anexo 3. Análisis químico a priori de lombricomposta (orgánica) y a posteriori del insumo de abonamiento de la plantación-2. 55
Anexo 4. Especies maderables: a) Cortés, b) San Juan de pozo, c) Sangre rojo, d) Caoba del atlántico, e) Caoba de Lagos f) Framire, g) Marapolán, h) Limba, i) Cedrillo, j) Pochote k) Sangre blanco y l) Teca 66

I. INTRODUCCIÓN

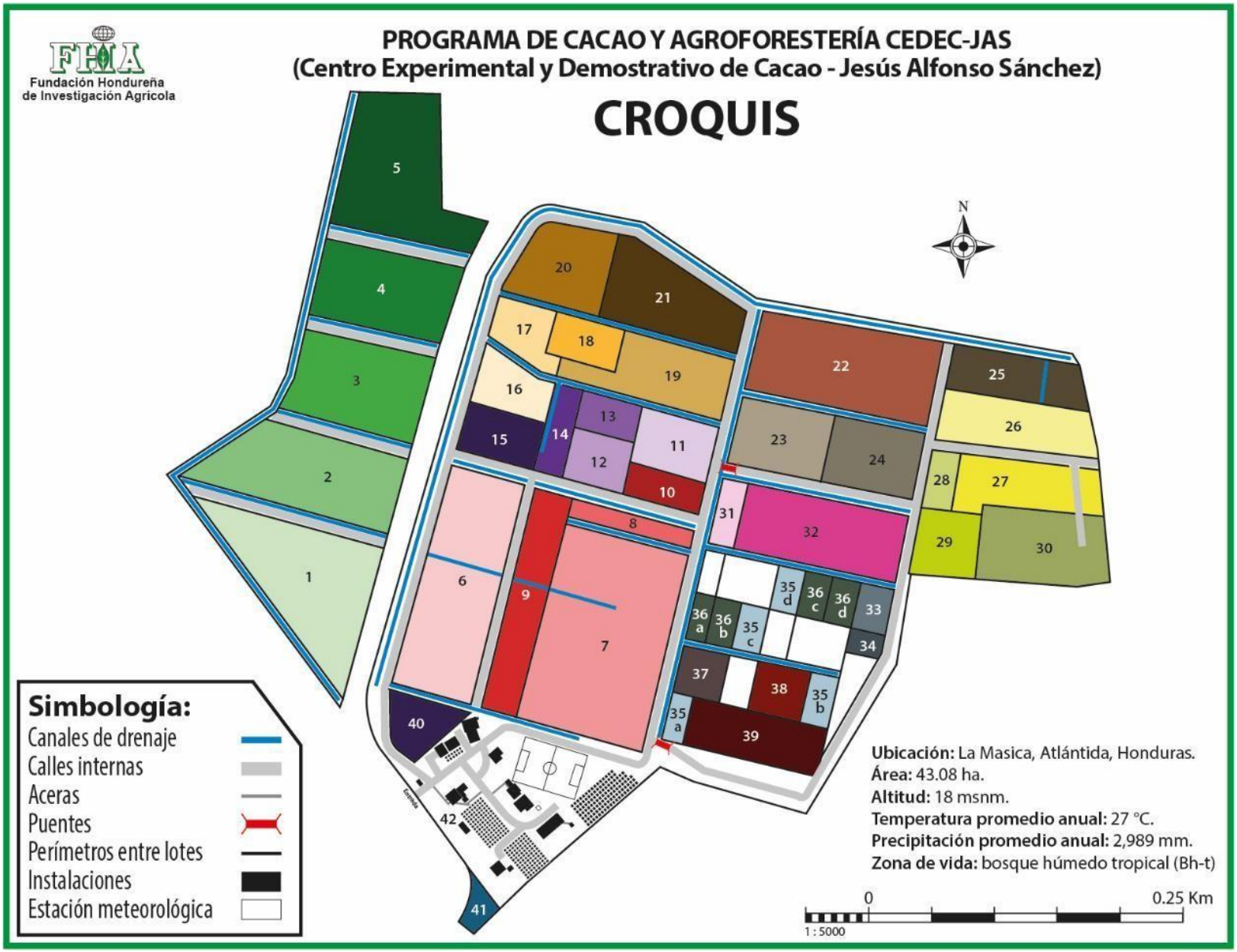
Presentamos el Informe Técnico de las actividades de investigación y de transferencia ejecutadas por el Programa de Cacao y Agroforestería en el 2024. Este informe está dividido en distintas secciones de acuerdo con las líneas que el equipo técnico-científico desarrolla en los dos centros experimentales y demostrativos (CEDEC-JAS y CADETH-AMR), ubicados en La Masica, departamento de Atlántida.

El comportamiento de los precios internacionales del cacao desde el 2024 han mostrado un crecimiento histórico con precios que han alcanzado los US $12,000.00 por tonelada y que en la actualidad se mantienen alrededor de los US $8,000.00 por tonelada. Situaciones relacionadas al clima y problemas fitosanitarios han reducido la oferta de cacao en países africanos, que son los principales productores en el mundo, han impactado positivamente para nuestras latitudes los precios en general. Aprovechando esta situación económica, que se prevé se mantendrá en los próximos años, nos motiva grandemente el poder poner a disposición de los productores del país la nueva genética de clones de cacao de la FHIA, los cuales tienen el potencial productivo para producir hasta 1.8 toneladas de cacao, incrementando tres y hasta cinco veces el promedio nacional de producción que ronda en los 350 kg por hectárea. Nuestros clones adicionalmente muestran alta tolerancia a las principales enfermedades y mantienen sus características sensoriales de fineza y aroma.

El Programa continúa avanzando en otras líneas de investigación como son la determinación de la compatibilidad sexual entre clones, resistencia a monilia y mazorca negra, análisis de las características físicas y organolépticas, y la evaluación de programas de nutrición sobre la productividad y dinámica de plagas/enfermedades del cacao. Estos estudios constituyen los pilares para una mejor selección de clones con potencial para ser liberados próximamente a productores del país y la región.

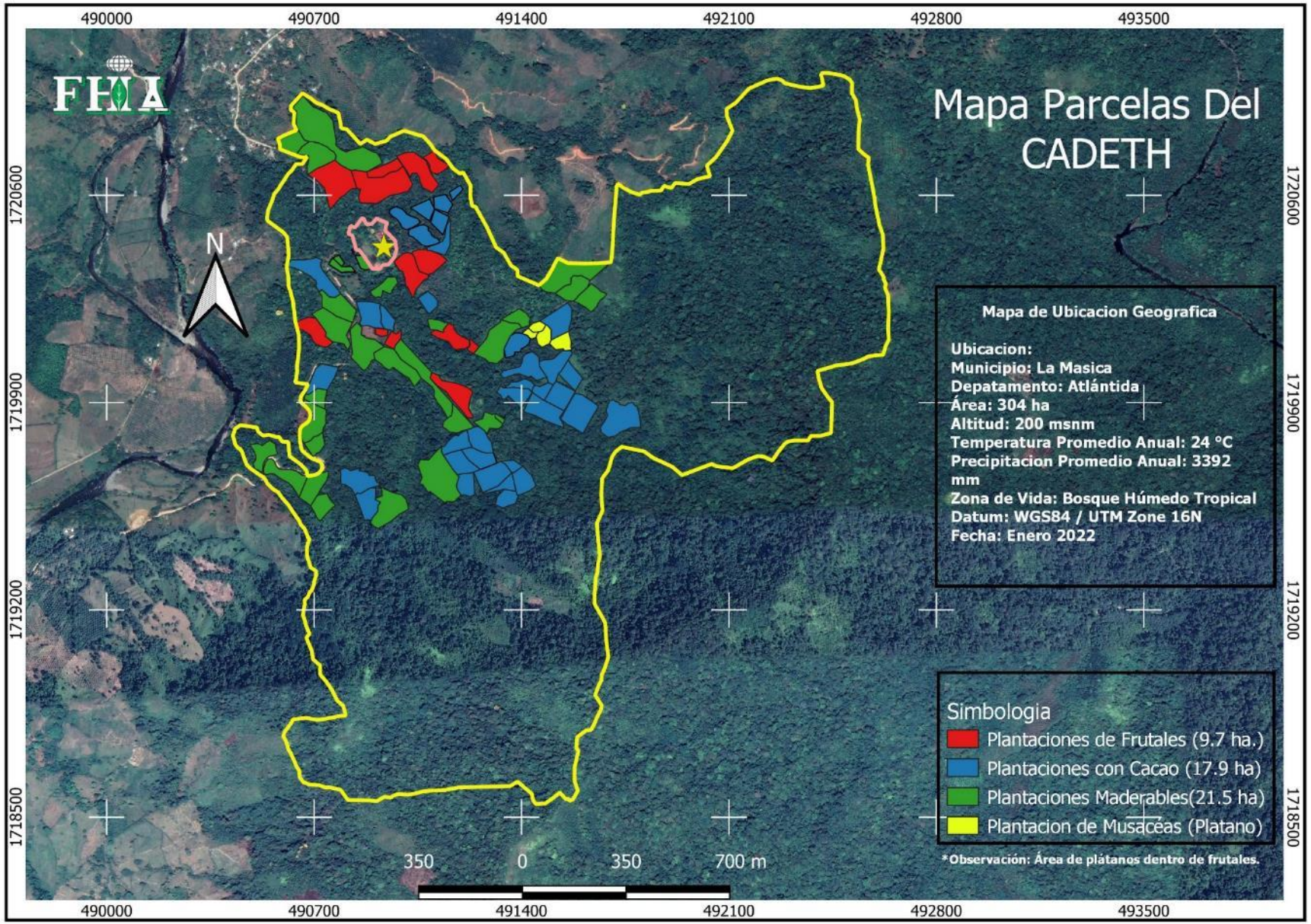
Las investigaciones encaminadas al componente forestal, están reportadas en la Sección IV de este informe donde se presenta el crecimiento de 16 especies maderables y variables alométricas registradas cuando son cultivados en la modalidad de linderos. El Programa de Cacao y Agroforestería promueve activamente la incorporación de especies arbóreas con valor comercial en la industria maderera, tanto en sistemas agroforestales como en linderos, con el fin de potenciar la productividad del suelo, incrementar los ingresos económicos de los productores y generar beneficios ambientales complementarios, como la conservación de la biodiversidad, la captura de carbono y la restauración paisajística.

Finalmente, se presentan las publicaciones, cursos y servicios especiales desarrollados durante el 2024. En este renglón sobresale: 1. La publicación en la revista científica *Frontiers* (Volumen 8-2024) de los resultados del estudio que engloba todas las actividades de investigación que se desarrollan en el rubro de cacao por diferentes instituciones en América y donde la FHIA sobresale por sus logros científicos en este rubro, y 2. La participación del equipo técnico del programa en la gira técnica a Colombia, donde se desarrolló un intercambio de experiencias en investigación y producción de cacao entre científicos de FHIA-AGROSAVIA y de la Fedecacao. Finalmente, continuamos con el compromiso de diseminar el conocimiento a través de cursos y conferencias magistrales a técnicos nacionales e internacionales.


Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
PROGRAMA DE CACAO Y AGROFORESTERÍA CEDEC-JAS
(Centro Experimental y Demostrativo de Cacao - Jesús Alfonso Sánchez)
CROQUIS
N
Simbología:
Canales de drenaje
Calles internas
Aceras
Puentes
Perímetros entre lotes
Instalaciones
Estación meteorológica
Ubicación: La Masica, Atlántida, Honduras.
Área: 43.08 ha.
Altitud: 18 msnm.
Temperatura promedio anual: 27 °C.
Precipitación promedio anual: 2,989 mm.
Zona de vida: bosque húmedo tropical (Bh-t)
0
0.25 Km
1 : 5000

Descripción de lotes establecidos

No.	Descripción	No.	Descripción
1	Banco de yemas/renovación de copas 1 A/asociado con macuelizo y guayapeño	25	Colección clones CEDEC, lote 12B/asociado con rosita
2	Banco de yemas/renovación de copas 1 B/asociado con barba de jolote	26	Banco de cultivares internacionales. Lote 12 A/cumbillo, aceituno y nazareno
3	Banco de yemas/renovación de copas 1 C/asociado con zorra y cedrillo	27	Colección criollos e introducciones internacionales/cedro de la India
4	Banco de yemas/asociado con frutales 1 D	28	Colección clones FHIA/asociado con caobina
5	Lote comercial caoba y laurel negro 1 E	29	Banco de yemas/renovación de copas/asociado con cincho
6	Lote comercial/asociado con limba	30	Banco de yemas/renovación de copas/asociado con jigua
7	Jardín clonal – recién renovado sistema Turrialba/sombra caoba africana	31	Colección de frutales exóticos
8	Lote criollo moderno – Carmelo/asociado con jagua	32	Lote validación de cacaos suaves/asociado con marapolán
9	Introducciones nuevos materiales/asociado con sangre blanco y aceituno	33	Lote de evaluación de 6 cruzas promisorias con paleto
10	Lote monoclonal ICS-1 A.C./renovación de copas/asociado con hormigo	34	Lote criollos de La Mosquitia con paleto
11	Germoplasma EET`s asociado con hormigo	35 a	Repetición A/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo
12	Ensayo policlones CATIE/asociado con arenillo y maría	35 b	Repetición B/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo
13	Progenies colombianas de FEDECACAO/arenillo y maría	35 c	Repetición C/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo
14	Lote clones/semillas/patrón/renovación de copas/asociado con maría	35 d	Repetición D/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo
15	Lote comercial CCN-51/asociado con narra	36 a	Repetición A/ensayo 12 cultivares asociado con guama y caoba
16	Clones EET`s /renovación Turrialba/asociado con guapinol	36 b	Repetición B/ensayo 12 cultivares asociado con guama y caoba
17	Lote comercial/asociado con almendro de río	36 c	Repetición C/ensayo 12 cultivares asociado con guama y caoba
18	Colección variedades de rambután	36 d	Repetición D/ensayo 12 cultivares asociado con guama y caoba
19	Evaluación de progenies interclonales/asociado con sombra de ternero	37	Evaluación de cruzas inter-compatibles/asociado con guama y caoba
20	Lote cacao comercial/asociado con rambután	38	SAF: plátano-madreado-caoba y cultivares de cacao Auto compatibles
21	Lote 14 ex - ensayo de progenies CATIE/asociado con rambután	39	Lote de validación y ensayo de nutrición en clones trinitarios I.C./pito y caoba
22	Lote comercial filipino/asociado con granadillo rojo	40	Rodal de terminalias
23	Ensayo concluido: prueba multilocal/asociada con zapelle, huesito, ciruelillo	41	Lote cacao/borojó
24	Banco madre policlones CATIE/asociado con ciruelillo, cañamito y tempisque	42	Plantel: oficinas, laboratorios, bodega, beneficio, aserradero, viveros, cancha, etc.


Mapa Parcelas Del CADETH
N
Mapa de Ubicacion Geografica
Ubicacion:
Municipio: La Masica
Depatamento: Atlántida
Área: 304 ha
Altitud: 200 msnm
Temperatura Promedio Anual: 24 °C
Precipitacion Promedio Anual: 3392 mm
Zona de Vida: Bosque Húmedo Tropical
Datum: WGS84 / UTM Zone 16N
Fecha: Enero 2022
Simbologia
Plantaciones de Frutales (9.7 ha.)
Plantaciones con Cacao (17.9 ha)
Plantaciones Maderables(21.5 ha)
Plantacion de Musaceas (Platano)
*Observación: Área de plátanos dentro de frutales.
350 0 350 700 m
490000 490700 491400 492100 492800 493500
1720600 1719900 1719200 1718500

II. Registros CLIMÁTICOS del CEDEC-JAS Y CADETH-AMR

Francisco Javier Díaz, Oscar Ramírez Argueta y Alfredo Martínez
Programa de Cacao y Agroforestería

En el año 2024, en el CEDEC-JAS, los datos climáticos mostraron una distribución de precipitaciones y temperaturas característicos de un clima tropical húmedo con variabilidad estacional. La precipitación total anual fue de 3,758.5 mm, con los picos más altos registrados en los meses de noviembre (1,077.4 mm) y diciembre (864.3 mm), que coinciden con la temporada de lluvias, mientras que, los meses más secos fueron abril (11.4 mm) y mayo (5.0 mm). Esta distribución sugiere una clara estacionalidad, con una concentración de precipitaciones en la segunda mitad del año, especialmente hacia el final del ciclo de lluvias (Cuadro 1).

Respecto a la temperatura, la media anual fue de 27.5 °C, con un promedio mensual de 32.3 °C para las máximas y 22.7 °C para las mínimas. El mes con la temperatura máxima más alta fue mayo (34.8 °C), y el mes con la temperatura mínima más baja fue febrero (19.4 °C). Este comportamiento refleja la combinación de altas temperaturas diarias durante la temporada seca, con una ligera disminución de las temperaturas en la temporada de lluvias. La variabilidad térmica es típica de las zonas tropicales, donde las temperaturas fluctúan de manera moderada entre los meses del año (Cuadro 1).

Cuadro 1. Precipitación, temperaturas mínima, máxima y media mensual en el CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida, Honduras, en 2024.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura media mensual (°C)		
		Mínima	Máxima	Promedio
Enero	188.0	20.5	31.3	25.9
Febrero	88.0	19.4	30.2	24.8
Marzo	57.9	21.9	33.3	27.6
Abril	11.4	23.0	33.7	28.4
Mayo	5.0	24.7	34.8	29.8
Junio	117.0	24.8	34.3	29.6
Julio	231.0	23.8	33.3	28.6
Agosto	346.0	23.6	33.1	28.4
Septiembre	204.8	24.2	34.6	29.4
Octubre	567.7	23.3	31.3	27.3
Noviembre	1077.4	22.0	29.7	25.9
Diciembre	864.3	21.5	27.7	24.6
Total/promedio	**3,758.5**	**22.7**	**32.3**	**27.5**

En nuestro otro centro de investigación, el CADETH-AMR, los registros climáticos mostraron con comportamiento similar al CEDEC-JAS. Las precipitaciones alcanzaron un total anual acumulado de 4,412.9 mm. El patrón de precipitación mostró una clara estacionalidad, con una concentración de lluvias en la segunda mitad del año, destacándose los meses de noviembre (1,639.0 mm) y diciembre (787.2 mm), los cuales superaron ampliamente los registros de los meses previos. Estos datos sugieren una fuerte influencia de la temporada de lluvias en el clima local, caracterizada por precipitaciones intensas y concentradas en los meses de mayor humedad. La temperatura máxima mensual promedio fue de 31.1 °C, alcanzando su punto más alto en mayo (35.7 °C), lo que indica

un periodo de calor extremo antes del inicio de la temporada de lluvias. Las temperaturas mínimas mensuales oscilaron entre 17.8 °C en febrero y 23.9 °C en mayo, donde las variaciones térmicas diarias y estacionales fueron considerables, aunque las mínimas no descienden a niveles críticos para el desarrollo de los cultivos producidos en nuestros centros de investigación (Cuadro 2).

El promedio anual de temperatura fue de 24.5 °C, lo que clasifica al área dentro de un clima cálido tropical. La combinación de temperaturas altas y precipitaciones abundantes, especialmente durante la temporada de lluvias, refleja las características de un clima húmedo tropical con una marcada variabilidad interanual, que puede estar influenciado por factores climáticos globales, como el fenómeno de El Niño o La Niña, aunque en este caso no se mencionan eventos específicos. Estos datos son cruciales para la comprensión de los patrones climáticos locales, así como para la planificación y manejo de recursos hídricos y agrícolas en la región (Cuadro 2).

Cuadro 2. Precipitación, temperatura mínima, máxima y media mensual en el CADETH-AMR en El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras, en 2024.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura media mensual (°C)		
		Mínima	Máxima	Promedio
Enero	201.8	20.1	28.8	24.5
Febrero	213.1	17.8	27.5	22.7
Marzo	58.8	21.6	33.0	27.3
Abril	99.1	21.7	32.0	26.9
Mayo	31.8	23.9	35.7	29.8
Junio	257.2	22.8	33.1	28.0
Julio	269.4	22.8	32.6	27.7
Agosto	235.3	22.6	32.8	27.7
Septiembre	252.2	22.4	32.4	27.4
Octubre	368.0	22.4	29.9	26.2
Noviembre	1639.0	20.8	29.3	25.1
Diciembre	787.2	20.7	25.5	23.1
Total/promedio	**4,412.9**	**21.6**	**31.1**	**24.5**

La Figura 1 muestra la comparación de la precipitación mensual promedio entre dos estaciones: CEDEC-JAS (1987-2024) y CADETH-AMR (1997-2024), ubicadas en La Masica, Atlántida, Honduras. A lo largo del año, ambas estaciones presentaron patrones similares de precipitación, con valores máximos en noviembre y mínimos en abril.

CADETH-AMR, representada por la línea azul oscuro, registra un promedio mensual de precipitación de 279 mm, ligeramente superior al promedio mensual de 252 mm del CEDEC-JAS, indicado por la línea azul claro. La diferencia más notoria entre ambas series ocurre en el pico de noviembre, donde CADETH-AMR reporta 544 mm frente a los 503 mm de CEDEC-JAS, lo que sugiere mayor captación de precipitación en esta estación. De manera inversa, en marzo, CEDEC-JAS presenta valores ligeramente superiores (193 mm) en comparación con CADETH-AMR (176 mm). En general, las variaciones entre ambas estaciones son mínimas, reflejando similitudes en la dinámica climática local. Sin embargo, las diferencias específicas en meses como noviembre y abril podrían atribuirse a microvariaciones ambientales o a la ubicación geográfica de las estaciones.

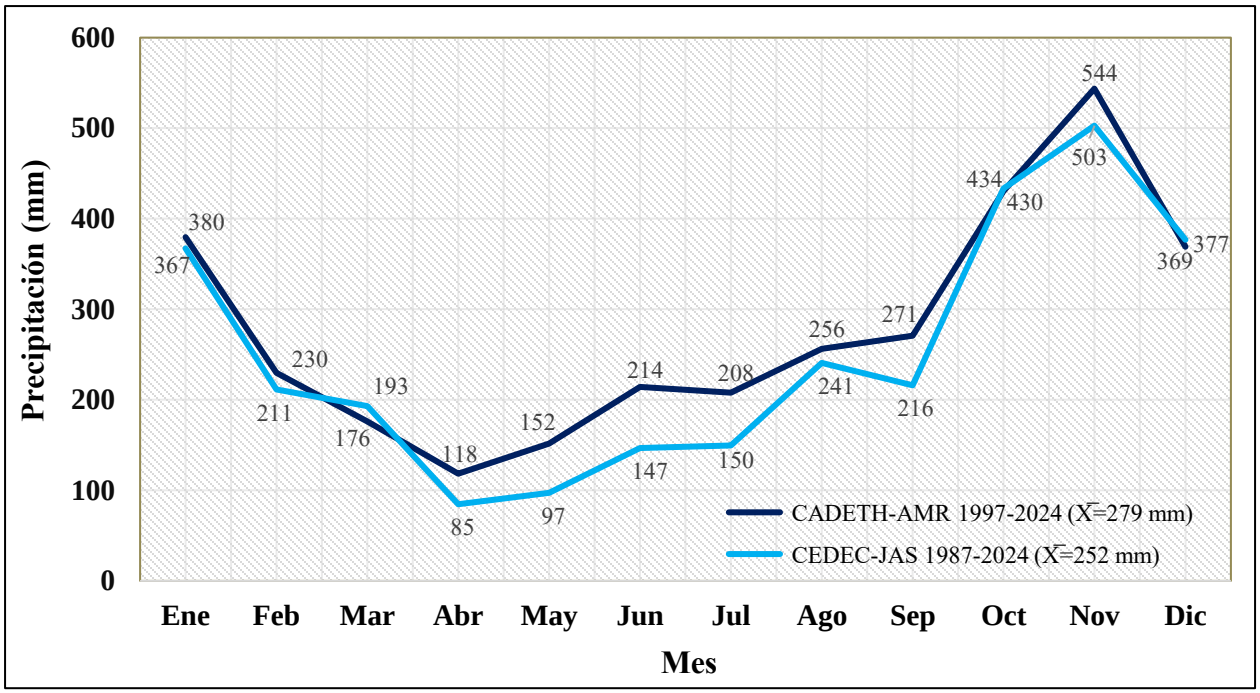


Figura 1. Precipitación mensual promedio en el CEDEC-JAS (1987-2024) y CADETH-AMR (1997-2024). La Masica, Atlántida, Honduras.

La Figura 2 presenta la precipitación anual histórica registrada en CEDEC-JAS (1987-2024) y CADETH-AMR (1997-2024). Se observan diferencias notables en los promedios anuales: CADETH-AMR reporta un promedio de 3,347 mm, mientras que CEDEC-JAS muestra un promedio más bajo de 3,020 mm. La tendencia lineal de CEDEC-JAS, representada por una línea discontinua, se mantiene relativamente estable durante el período analizado, indicando poca variabilidad en su promedio a largo plazo.

En términos de variación interanual, ambas estaciones muestran fluctuaciones significativas, reflejando los impactos de fenómenos climáticos como El Niño y La Niña. A pesar de las similitudes en los patrones generales, CADETH-AMR tiende a registrar picos más pronunciados en años específicos, como en 2005 y 2024, lo que sugiere una mayor sensibilidad o captación de eventos extremos de precipitación en comparación con CEDEC-JAS.

En general, aunque ambas estaciones presentan tendencias similares, las diferencias en los valores promedios y la magnitud de los picos sugieren variaciones locales en la dinámica de precipitación, posiblemente relacionadas con factores geográficos o microclimáticos. Esto subraya la importancia de analizar múltiples estaciones para comprender completamente los patrones hidrometeorológicos de la región.

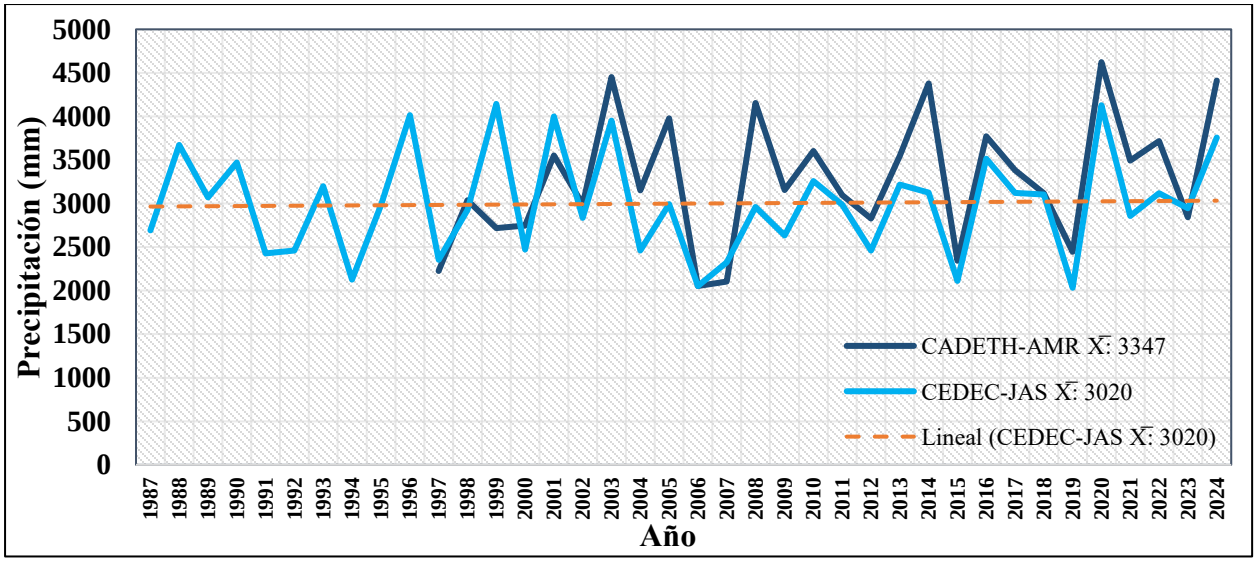


Figura 2. Precipitación anual histórica en el CEDEC-JAS (1987-2024) y CADETH-AMR (1997-2024). La Masica, Atlántida, Honduras.

Al comparar los datos del año 2024 con el promedio general de los años 1987-2024, se observan algunas diferencias significativas. El promedio general anual de días de lluvia es del 50.8 %, mientras que el promedio de días de lluvia en 2024 es del 45.7 %, lo que representa una disminución del 5.1 % respecto al promedio histórico. En términos relativos, 2024 estuvo por debajo del promedio histórico, lo que sugiere condiciones más secas en comparación con la mayoría de los años registrados. Este comportamiento puede deberse a factores climáticos específicos del año, como patrones asociados a El Niño, que suelen reducir las precipitaciones en la región.

A pesar de la disminución observada en 2024, esta sigue estando dentro del rango esperado, dado que la desviación estándar histórica es del 9.6 %, lo que indica que la variabilidad interanual permite fluctuaciones como las de 2024 sin considerarlas como anormales o fuera de lo común. En resumen, 2024 registra un comportamiento algo más seco que el promedio histórico, aunque no se desvía significativamente de las tendencias generales, lo que refuerza la importancia de monitorear factores climáticos externos que puedan influir en las precipitaciones (Figura 3).

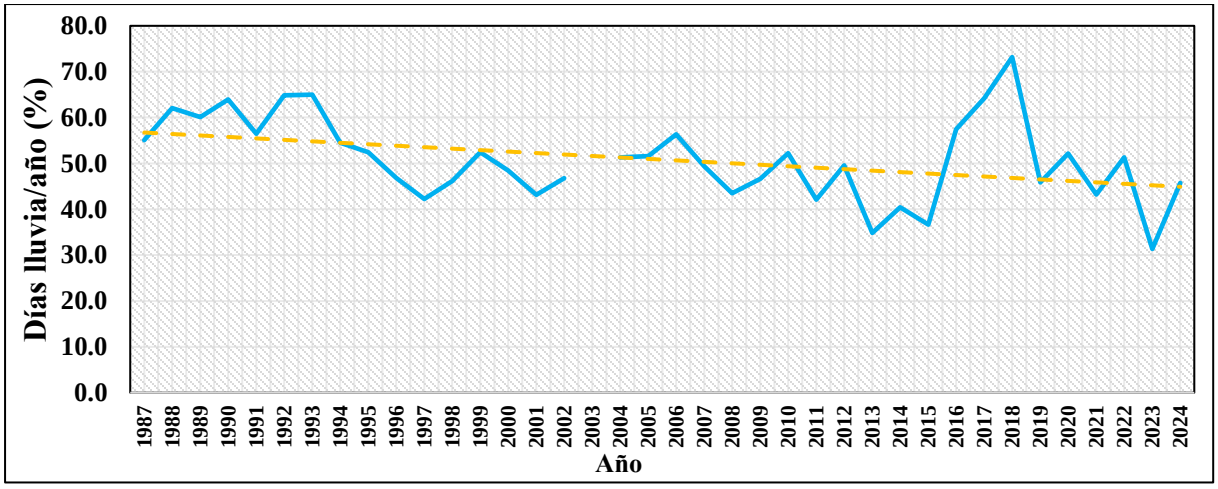


Figura 3. Distribución en porcentajes de los días lluviosos de la precipitación anual en el CEDEC-JAS (1987-2024). La Masica, Atlántida, Honduras.

Al comparar las temperaturas medias mensuales de 2024 con el promedio histórico de 1987-2024, se observa un aumento generalizado de las temperaturas en 2024. El promedio de temperatura mensual en 2024 fue de 27.5 °C, mientras que el promedio histórico es de 25.8 °C, lo que representa un incremento de 1.7 °C. Este aumento es más notable en los meses de enero, marzo, mayo, junio, y septiembre, con diferencias que oscilaron entre 2.4 °C (en enero) y 2.2 °C (en junio). En particular, enero muestra la diferencia más significativa, alcanzando 25.9 °C en 2024, comparado con los 23.5 °C del promedio histórico. Sin embargo, algunos meses como febrero, octubre y diciembre muestran diferencias más moderadas, con un aumento de 0.6 °C en febrero y 1.3 °C en diciembre. Este patrón sugiere una tendencia hacia un aumento gradual de las temperaturas, lo que puede estar relacionado con factores climáticos globales como el cambio climático (Figuras 4 y 5).

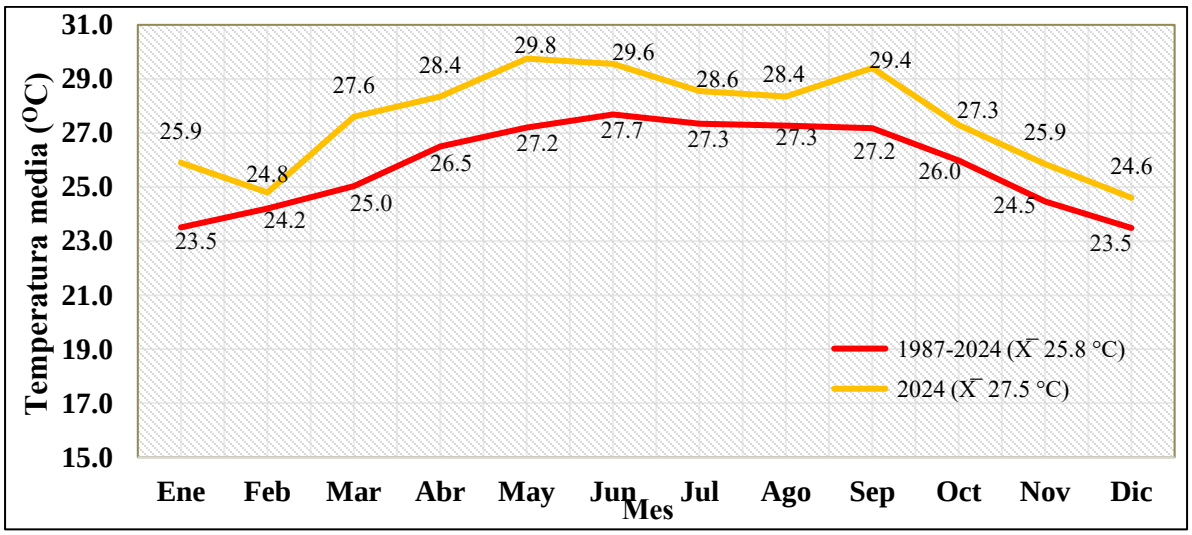


Figura 4. Temperatura media mensual en el CEDEC-JAS, del 2024 y la promedia 1987 a 2024. La Masica, Atlántida, Honduras.

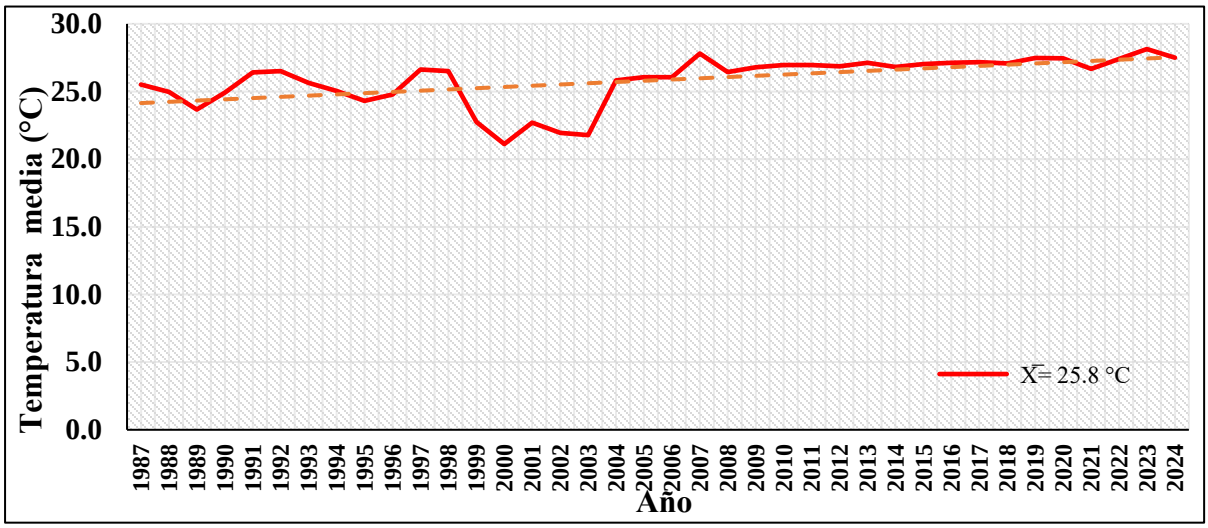


Figura 5. Temperatura media anual en el CEDEC-JAS de 1987 a 2024. La Masica, Atlántida, Honduras.

Interacción de variables climáticas sobre la agronomía del cacao

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para evaluar la relación entre variables climáticas clave (temperatura, precipitación y porcentaje de días lluviosos) y parámetros agronómicos (relativos y absolutos) de producción de frutos y dinámica de enfermedades en cultivos de cacao, utilizando datos acumulados de una area de 70 % del CEDEC-JAS (30 ha) entre 2005 y 2024. La Figura 6, que integra datos de 2005 a 2023, muestra que los dos primeros componentes principales explican conjuntamente el 86.4 % de la variabilidad total de los datos.

El primer componente principal (CP1, eje X) explica el 62.6 % de la variabilidad, observando una correlación positiva (ángulos agudos entre vectores) entre el porcentaje de frutos sanos y la temperatura; separando los meses (abril, mayo, junio, julio agosto y septiembre) con mayor porcentaje de frutos sanos y mayor temperatura de los meses con mayor incidencia relativa y absoluta de enfermedades como Moniliasis y Mazorca negra, menor temperatura y más precipitación como lo son los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

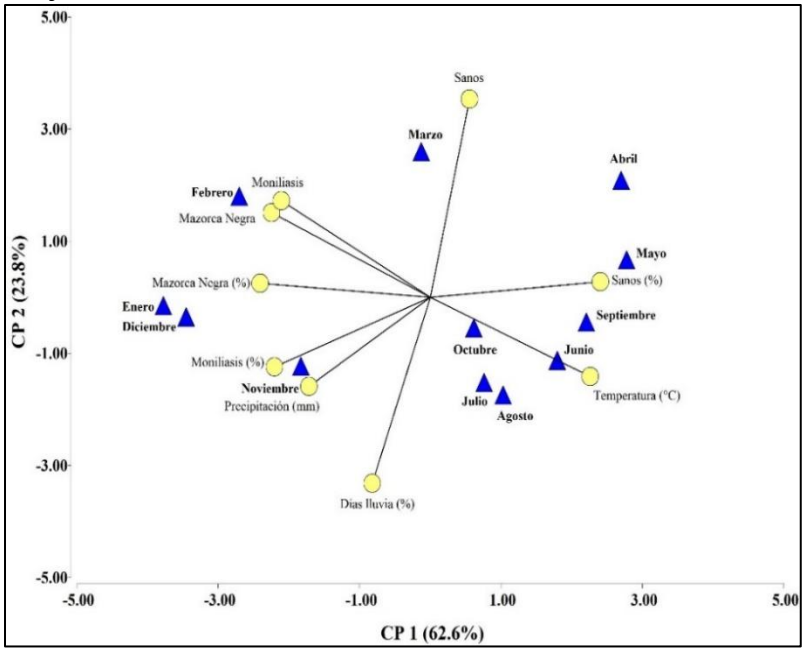


Figura 6. PCA de promedios mensuales de variables climáticas sobre la distribución de la producción de frutos de cacao. CEDEC-JAS, La Masica. 2005-2023.

Por su parte, el segundo componente principal (CP2, eje Y) explica el 23.8 % de la variabilidad, separando los meses (marzo y abril) con mayor cantidad de frutos sanos y con menos días lluvia "estas últimas dos variables correlacionadas negativamente" (ángulos cercanos a 180° entre vectores) del resto de los meses del año. Un hallazgo relevante es la disociación entre la incidencia porcentual y absoluta de enfermedades. Por ejemplo, noviembre registra la mayor incidencia relativa de moniliasis (%), mientras que febrero presenta la mayor carga absoluta de frutos infectados, atribuible a su proximidad temporal con los picos productivos.

Estos resultados proporcionan un marco para optimizar el manejo agroforestal en los Sistemas Agroforestales de Cacao (SAF-Cacao), particularmente en la sincronización de cosechas y estrategias fitosanitarias. La estacionalidad identificada sugiere ventanas críticas para intervenciones preventivas, maximizando la eficiencia operativa y reduciendo pérdidas por patógenos.

La Figura 7, también muestra el análisis de componente principal tomando en cuenta el registro de datos del año 2024. En general se observa un comportamiento similar a la asociación de las variables analizadas en el PCA histórico (2005-2023), donde en los meses de verano se observa una mayor cantidad de frutos sanos y en los meses lluviosos una mayor incidencia de las enfermedades.

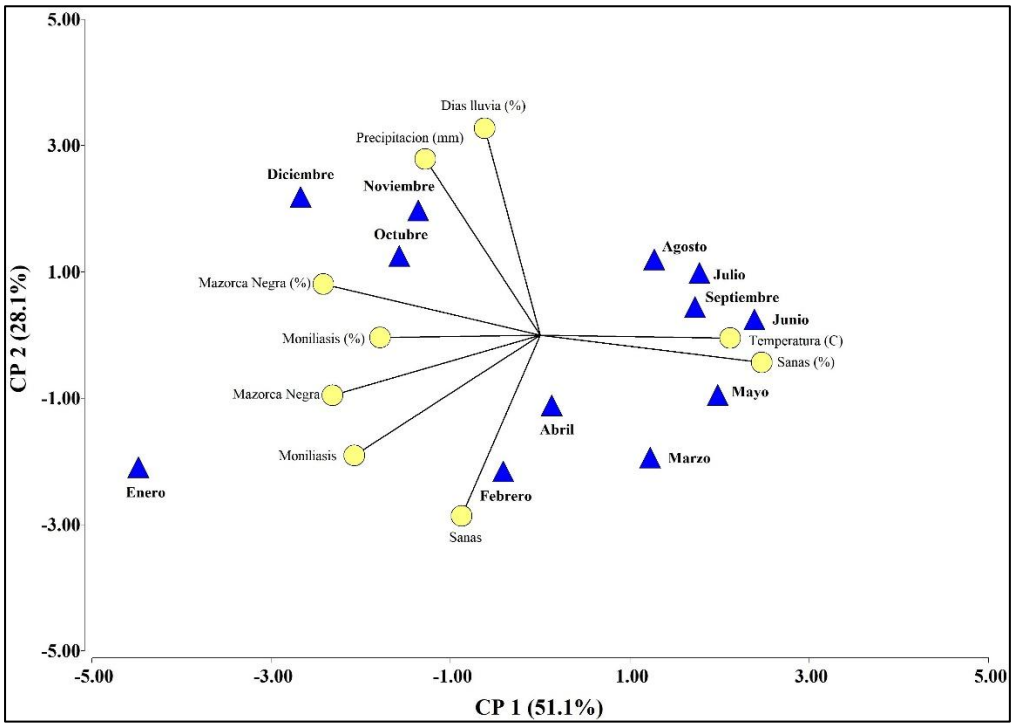


Figura 7. PCA de promedios mensuales de variables climáticas sobre la distribución de la producción de frutos de cacao. CEDEC-JAS, La Masica. 2024.

En relación con el rendimiento del proceso de beneficiado del cacao (relación peso en baba/peso seco al 6.5 % de humedad), la Figura 8 muestra la tendencia histórica de esta variable en la última década. Un análisis de correlación de Pearson reveló que los meses de verano (marzo, abril y mayo) presentaron los mayores rendimientos promedio: 39 %, 39 % y 40 %, respectivamente, alcanzándose en mayo de 2023 un pico del 43 %. Esto implica que, por cada 100 kg de cacao en baba, se obtuvieron hasta 43 kg de cacao fermentado y seco bajo condiciones óptimas. No obstante, el promedio anual de rendimiento se mantuvo en un rango 36.5 % a 37.5 %, evidenciando fluctuaciones estacionales significativas según los meses de año.

Los resultados identificaron una correlación negativa fuerte entre el rendimiento y la precipitación ($R = -0.58$; p-valor < 0.0001), indicando que menores niveles de lluvia se asocian a mayores eficiencias en el proceso. Adicionalmente, se observó una correlación positiva débil con la temperatura ($R = 0.31$; p-valor $= 0.0006$), sugiriendo que condiciones más cálidas favorecen marginalmente el rendimiento. La influencia predominante de la precipitación puede explicarse por mecanismos fisiológicos: el exceso de agua en el suelo incrementa la absorción hídrica por la planta mediante evapotranspiración, elevando el contenido de humedad en los frutos. Esto es particularmente evidente en los meses lluviosos, donde se registra un mayor volumen de agua/baba en los recipientes de extracción, dificultando la eficiencia del secado.

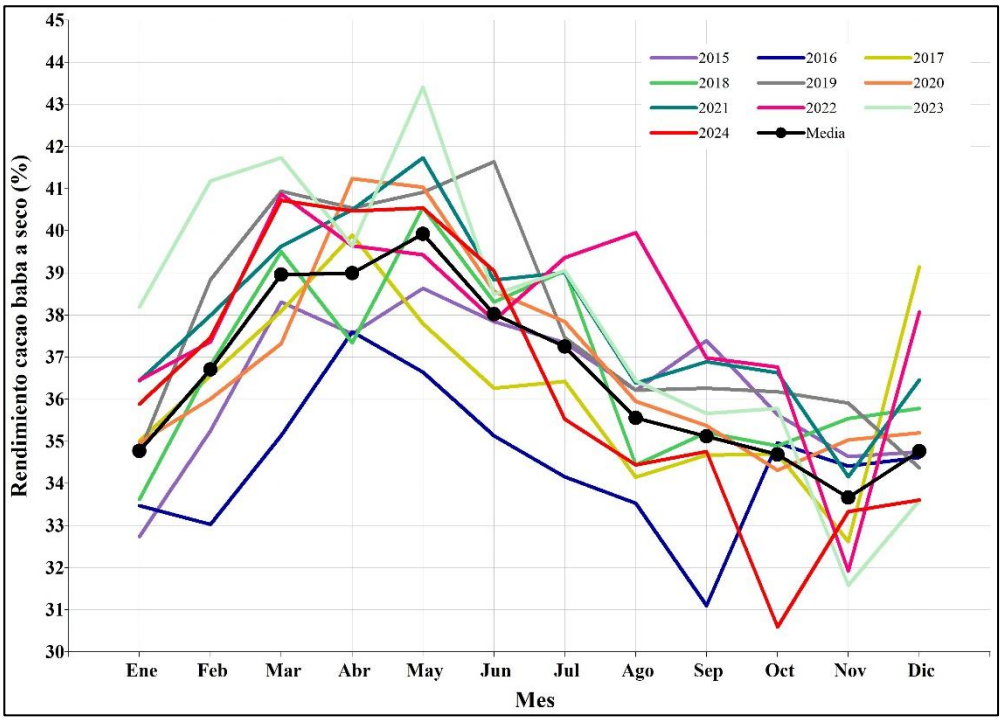


Figura 8. Rendimiento en beneficiado relación cacao en baba a seco en el centro de beneficiado del CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.

Conclusiones

- La precipitación en ambas estaciones muestra tendencias similares, con valores mayores para el CADETH-AMR.
- El porcentaje de días con lluvia en 2024 fue menor en comparación al promedio, pero se mantiene dentro del rango esperado.
- La precipitación anual se mantiene, pero su distribución a lo largo del año en el número de días se ve reducida. Esto implica que ahora hay menos días lluviosos pero que esta misma lluvia es más intensa en los días que ocurre.
- Continúa la tendencia positiva ilustrando el aumento en la temperatura promedio anual año a año.
- Las condiciones climáticas dan las pautas para el manejo agroforestal de los SAF-Cacao, determinando los momentos para realizar las actividades. Por ejemplo, los datos muestran que el control sanitario tiene que ser más riguroso en los meses con mayor precipitación coincidiendo con los meses con menor temperatura.
- Se obtiene mayor cantidad de cacao seco cuando realizamos el proceso de beneficiado en los meses de verano, favoreciendo un mayor ingreso y por ende calidad de vida.

III. DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE CLONES DE CACAO

Desde 1985, uno de los objetivos principales del Programa de Cacao y Agroforestería lo constituye el desarrollo y validación de clones de cacao en sistemas agroforestales, procedentes de colecciones internacionales del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) en Costa Rica, República Dominicana, Colombia y Ecuador. Adicionalmente, desde hace 24 años se han seleccionado clones a partir de progenies seleccionadas en la estación del CEDEC-JAS. La estrategia de evaluación y selección de clones de cacao está constituida por diversas etapas que se presentan en la Figura 9.

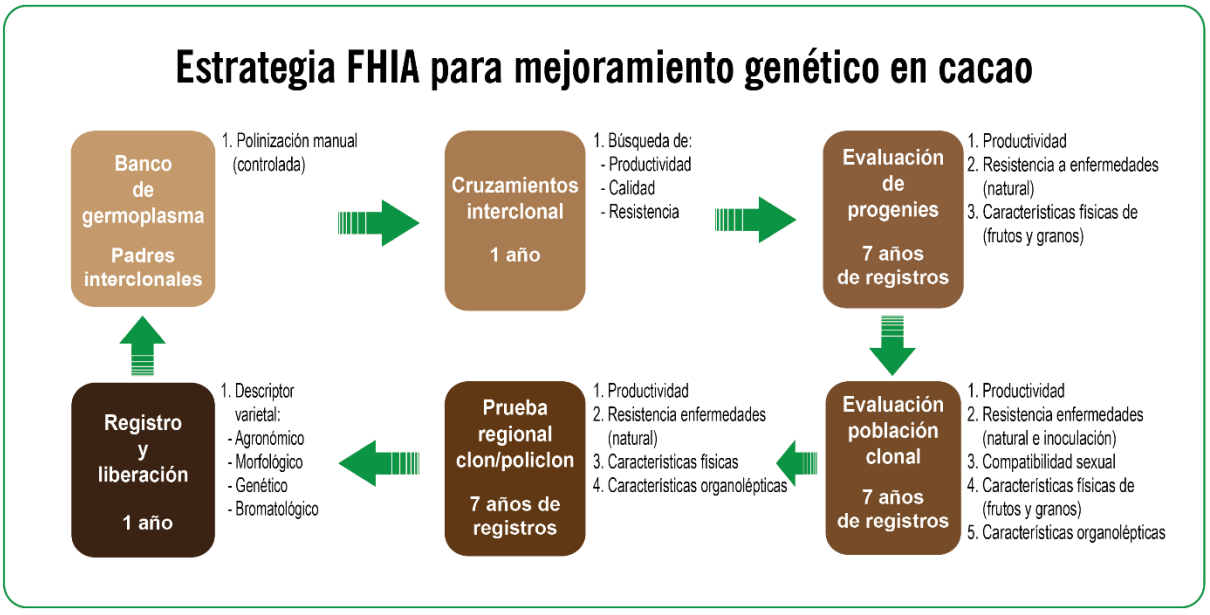


Figura 9. Estrategia de mejoramiento genético en cacao.

Los clones seleccionados a través de las diferentes etapas son valorados principalmente por las siguientes variables:

Índices de rendimiento. En la mayoría de los programas de mejoramiento genético, la productividad, que para el caso del cacao es expresada en la producción de grano seco por unidad de área (kg/ha/año), constituye el parámetro principal de selección. Los investigadores y centros especializados establecen como referencia rendimientos ≥1000 kg/ha/año, meta que busca duplicar el promedio mundial actual (450 kg/ha/año) (Somarriba *et al.* 2018; López-Simpson y Somarriba 2018).

Este umbral no solo refleja la eficiencia agronómica, sino que también representa un estándar clave para impulsar la sostenibilidad económica de los productores y la competitividad global del sector. Este atributo está interrelacionado con parámetros agronómicos y cualitativos clave del cual se aspira: 1. producción de ≥20 frutos sanos/árbol/año, 2. índice de mazorca (IM) ≤22 frutos/kg de cacao seco (cantidad de frutos necesarios para obtener 1 kg de cacao fermentado y seco), 3. índice de grano (IG) >1.2 g/grano seco (con variabilidad ≥1.0 g, umbral mínimo para mercados de exportación), y 4. peso de cacao en baba ≥120 g/fruto. Un IM bajo optimiza la eficiencia operativa (utilización de menos mano de obra en la cosecha), mientras que un IG por arriba de 1.2 g y con buena uniformidad en el tamaño del grano, garantiza cacaos con potencial para hacer chocolates finos.

El peso en baba, por su parte, refleja el rendimiento y ganancias, principalmente cuando el productor vende su producto fresco (en baba). La combinación de estos índices garantiza materiales genéticos que equilibran alta productividad, calidad comercial y resiliencia, avanzando hacia sistemas de cacao sostenibles y competitivos.

Resistencia a las enfermedades moniliasis y mazorca negra. Se desean materiales genéticos que presenten tolerancia a enfermedades, y, que las perdidas en la producción por enfermedades no superen el 15 % de la producción, esto tomando en consideración que por los menos un 30 % de la producción mundial se pierde por enfermedades (Marelli *et al*. 2019; ICCO 2024). A partir de 2015, se tomó como base las referencias establecidas por el CATIE para la evaluación de la resistencia genética de clones de cacao a la moniliasis y mazorca negra mediante inoculación de frutos de manera artificial. En el caso de moniliasis, la escala utilizada mide la severidad de daño del tejido interno de la mazorca, la cual va de 0 a 5, en donde 0 = frutos sanos, 1 = 1-20 % de daño interno, 2 = 21-40 % de daño interno, 3 = 41-60 % de daño interno, 4 = 61-80 % y 5 = mayor a 81 % de daño interno. Para el Programa de mejoramiento, los clones que se seleccionan son aquellos que en escala promedien valores de severidad no mayores de 0-1.25 (considerados resistentes), y valores entre 1.26-2.50 (moderadamente resistentes). Para la mazorca negra, la escala es con base en el diámetro de la lesión y se distribuye de la siguiente manera: materiales resistentes con diámetro entre 0.0-2.0 cm, moderadamente resistentes para manchas con diámetro entre 2.1-4.0 cm, moderadamente susceptibles para manchas entre 4.1-6.0 cm y susceptibles para manchas con diámetro mayor a 6.0 cm. Igual que para moniliasis, se seleccionan materiales bajo las primeras dos categorías de clasificación de la resistencia.

Autocompatibilidad e intercompatibilidad sexual. Por naturaleza, el cacao es una especie de polinización cruzada debido a su autoincompatibilidad sexual, mecanismo genético heredable que impide la autofecundación aun cuando sus flores son hermafroditas (Aranzazu, 2008; Dubón y

Sánchez, 2016; López *et al*., 2021). Este fenómeno se manifiesta cuando el tubo polínico es rechazado por los tejidos del ovario de la misma planta, lo que subraya la importancia de evaluar la intercompatibilidad (aceptación de polen entre clones) y la autocompatibilidad (capacidad de autofecundación), presente en solo el 5-20 % de los clones comerciales. Como programa de investigación, priorizamos la identificación de materiales autocompatibles, ya que estos no dependen de la sincronía floral ni del polen externo, muestran mayor precocidad productiva y, en la mayoría de los casos, mantienen alta intercompatibilidad con otros cultivares. La evaluación se realiza mediante polinizaciones manuales intraclonales o interclonales, clasificando como autocompatible a clones con ≥ 30 % de frutos cuajados a los 15 días postpolinización. Este criterio es vital para diseñar arreglos policlonales eficientes en campo, donde la complementariedad genética asegura estabilidad reproductiva y altos rendimientos.

Características organolépticas de fineza y aroma. En el contexto global, Centroamérica enfrenta un nicho competitivo basado en la calidad diferencial, no tanto en volumen, aprovechando su herencia genética acriollada (cacao criollo), reconocida por aportar atributos superiores de sabor y aroma, esenciales para mercados premium de chocolates finos.

Por ello, los programas de mejoramiento genético de la región y el nuestro no es la excepción, priorizan el desarrollo de clones que integren: (1) alta productividad (≥ 1,000 kg de cacao seco/ha/año), (2) tolerancia a moniliasis y mazorca negra, principales amenazas fitosanitarias, y (3) características organolépticas excepcionales (notas florales, frutales o nueces, baja astringencia, perfil químico equilibrado). Estos esfuerzos buscan empoderar a los productores con materiales genéticos que no solo maximicen rendimientos, sino que también preserven la identidad sensorial única de los cacaos centroamericanos, posicionándolos en mercados especializados donde la calidad justifica un valor agregado.

Revisión bibliográfica

Aranzazu, H. 2008. Compatibilidad e intercompatibilidad de materiales universales y regionales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia (FEDECACAO). (diapositivas). Venezuela, octubre de 2008. 42 diapositivas.

Dubón, A; Sánchez, J 2016. Manual de producción de cacao. 2da edición FHIA. La Lima, Cortés.

Marelli, JP, Guest, DI, Bailey, BA, Evans, HC, Brown, JK, Junaid, M., ... y Puig, AS (2019). El chocolate amenazado por enfermedades antiguas y nuevas del cacao. *Fitopatología* , *109* (8), 1331-1343.

López, M; Ramírez, O; Dubón, A; Ribeiro, C; Díaz, FJ; Chalfun-junior, A. 2021. Sexual compatibility in cacao clones drives arrangements in the field leading to high yield. Scientia Horticulturae 287(2021):110276. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110276.

Somarriba, E; Orozco, L; Cerda, R; López, A. 2018. Analysis and design of the shade canopy of cocoa-based agroforestry systems. Achieving sustainable cultivation of cocoa (on line). Consultado 29 ago. 2020. Disponible http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/8916/Analysis_and_design_of_the_shade.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Somarriba, E; López, A. 2018. Coffee and Cocoa Agroforestry Systems: Pathways to Deforestation, Reforestation, and Tree Cover Change (on line). Inovation and action for forests. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultado 30 ago. 2020. Disponible en http://201.207.189.89/handle/11554/9035

3.1. Evaluación de clones promisorios seleccionados de progenies híbridas con mayores índices de rendimiento y tolerancia a moniliasis. Cac 13-01

Oscar Ramírez Argueta, Javier Díaz y Aroldo Dubón
Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen
Doce clones de cacao establecidos en 2013 han sido evaluados productivamente por 7 años siguiendo el esquema de la Etapa 5 de la estrategia de mejoramiento genético de cacao del Programa de Cacao y Agroforestería de la FHIA. El ensayo es ejecutado en el CEDEC-JAS en parcelas establecidas bajo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Las variables que se evaluaron fueron: rendimiento de cacao seco por hectárea e incidencia de afectación en mazorcas por mazorca negra y moniliasis.

Los resultados después de 7 años de registro de cosechas (2018-2024) muestran que todos los clones evaluados superan al menos en 2.5 veces la media nacional (350 kg seco) de producción de cacao seco y que, dentro de estos, hay 10 clones con potencial de producir arriba de la tonelada de cacao seco. Asimismo, se observa alta tolerancia a las principales enfermedades observándose en promedio valores de aprovechamiento de mazorcas sanas que rondan el 80 % de la producción total en comparación con el promedio mundial que este entre 60-70 % Estos clones muestran buenos niveles de autocompatibilidad e intercompatibilidad sexual y mantienen sus características de fineza y aroma, por lo que constituyen nuevas alternativas para incrementar la productividad de las plantaciones de los productores del país.

Introducción
La selección de clones de cacao con características sobresalientes de producción, tolerancia a enfermedades y, con características físicas y organolépticas deseables es fundamental previo a incluirlos en pruebas regionales donde se evalúe su adaptación y capacidad productiva en diferentes condiciones de suelo y clima. Este proceso se complementa eventualmente con el registro oficial de los clones, certificación de bancos de yema y viveros para su posterior liberación a los productores (Etapa 6). En la etapa 4 de mejoramiento (Figura 9), este ensayo presenta resultados de la evaluación de los 30 mejores clones de cacao, provenientes de familias interclonales evaluadas como progenies (tercera etapa de estrategia de mejoramiento genético) entre 1999 y 2012 donde se determinó su potencial productivo y resistencia a moniliasis y mazorca negra bajo presión natural de inóculo.

Materiales y métodos
Dentro de la cuarta etapa de la estrategia de mejoramiento se están evaluando en el ensayo CAC 13-01, con una duración estimada de 7 años de producción, 18 clones que fueron establecidos en el campo en julio de 2013. Adicionalmente, en un segundo ensayo establecido en septiembre de 2014 se evalúan 12 clones que provienen de progenies evaluados y seleccionados en un ensayo anterior. Ambos estudios son desarrollados en el CEDEC-JAS, el cual se encuentra ubicado en una zona de

vida de bosque húmedo tropical (Bh-t). El estudio con 18 clones finalizó en el 2023 obteniendo resultados y discusiones muy importantes, como, por ejemplo, la selección de siete clones que promediaron más de los 1,500 kg/ha/año, esto representa cuatro veces más que el promedio de rendimiento nacional. La parcela experimental con 12 cultivares fue establecida bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA),con 4 repeticiones. Cada unidad experimental está conformada por 9 plantas, establecidas en cuadro con un espaciamiento de 3.0 m x 3.0 m equivalente a una población de 1,100 plantas por hectárea. Este estudio fue establecido en sistema agroforestal, tiene un área útil de 3,888 m^2 y está en asocio con la especie forestal Caoba del Atlántico (*Swietenia macrophylla*) en marco de plantación 12 m x 12 m como sombra permanente y guama (*Inga edulis*) como sombra intermedia distanciada a 6 m x 6 m. Esta última fue eliminada definitivamente a finales del 2023 ya que generaba exceso de sombra.

A partir del cuarto año de establecido se inició el registro y evaluación de variables agronómicas: mazorcas sanas por árbol y rendimiento en cacao seco en kg extrapolado a hectárea con base en una densidad de población de 1,100 árboles y el índice de mazorca especifico de cada clon. Adicionalmente, se registra la incidencia de mazorcas afectadas por moniliasis y mazorca negra, el índice de grano y de mazorca. El registro de las variables anteriores se realizó al momento de las cosechas, cada dos semanas durante todo el año. El rendimiento anual, así como el promedio de cosecha de los últimos 5 años se sometió a un análisis de varianza, así como la incidencia de enfermedades. De encontrarse efecto significativo ($p \leq 0.05$) de clones se utiliza la prueba de Duncan para la separación de medias y determinar los intervalos de confianza al 95 %.

Resultados y discusión

Frutos sanos. El análisis de la producción de frutos sanos por planta en los cultivares de cacao evidencia un incremento general en la productividad entre 2023 y 2024. No obstante, en este último año no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los cultivares (p-valor = 0.082). En promedio, las plantas pasaron de producir 20.2 frutos en 2023 a 29.7 frutos en 2024, lo que representa un aumento del 47 %. En gran medida, este incremento en la producción se debe a las prácticas implementadas este último año, como lo es la regulación de sombra a través de la eliminación de la especie Guama (*Inga edulis*) dejando la sombra en niveles adecuados (< 30 %) y a las aplicaciones de fertilizantes foliares (Zinc y boro) recomendado por laboratorio agrícola de la FHIA. El cultivar FHIA-63 mostró el mayor incremento, pasando de 24.4 frutos en 2023 a 43.5 frutos en 2024, con un crecimiento del 78 %. Entre otros materiales genéticos se destacaron: FHIA-100 (90 %), FHIA-108 (97 %), FHIA-146 (90 %) y FHIA-21 (46 %), evidenciando un alto potencial productivo. Sin embargo, algunos cultivares como FHIA-224 (8.6 %), FHIA-245 (16 %) y FHIA-32 (14 %) mostraron incrementos más modestos.

Al analizar en conjunto datos históricos entre 2018-2024 del estudio, encontrado diferencias estadísticas significativas (p-valor = 0.009). El valor general promedio fue de 19.7 frutos sanos, con un intervalo de confianza que oscila entre 16.4 y 22.9 frutos. Los cultivares más productivos fueron FHIA-63, FHIA-21, FHIA-146 con 24.5, 23.8 y 21.3 frutos, respectivamente, todos con límites superiores por encima de 25 frutos. Lo que confirma su estabilidad productiva a lo largo del tiempo. En contraste, el cultivar menos productivo en este período fue el FHIA-255 con 16.3 frutos, en donde históricamente este material genético no supera los 20 frutos por árbol (13.5-19.5), indicando menor estabilidad y con el menor rendimiento en kg se cacao seco.

Moniliasis. La incidencia en 2024 promedió 3.7 frutos con moniliasis por planta. Este resultado fue inferior a la media general obtenida entre 2018-2024 que registró 4.9 manteniéndose entre 3.2-6.5. Los clones más susceptibles fueron FHIA-32 con 11.9 frutos que históricamente promedio 15.7 (9.9-21.4) y FHIA-224 con 4.7 frutos. En contraste, los cultivares con menor incidencia fueron FHIA-245 con 1.1 frutos (3.6 frutos en promedio 2018-2024) y FHIA-108 con 2.2 frutos. Después de siete años de evaluación la diferencia entre cultivares con respecto a la incidencia a moniliasis es altamente significativa (p-valor < 0.001), confirmando variabilidad genética en la tolerancia a la enfermedad. Además, el alto CV que puede alcanzar, por ejemplo, en el 2024 con 75.38 % sugiriendo una dispersión importante en la incidencia de moniliasis entre los clones evaluados.

Mazorca negra. Por otro lado, las afectaciones por mazorca negra en 2024 se estimaron en 2.8 frutos por planta con variaciones entre 0.7 a 6.4 frutos despendiendo de la genética. Por ejemplo, el clon con mayor susceptibilidad fue FHIA-224 con 6.4 frutos, siendo el de mayor susceptibilidad, presentando un promedio histórico de 2.3 frutos por planta, seguido de FHIA-161 con 3.6 frutos, coincidiendo también con el segundo clon más susceptible históricamente con 2.0 frutos con mazorca negra por planta. En contraste, los clones con menor afectación fueron FHIA-32 con 0.7 frutos. Si embargo, este último fue el más susceptible a moniliasis.

Rendimiento comercial. Finalmente, el rendimiento promedio de cacao seco en 2024 fue de 1,607 kg/ha, con FHIA-63 liderando con 2,060 kg/ha, seguido por FHIA-161 con 1,975 kg/ha y FHIA-21 con 1,730 kg/ha. En contraste, los cultivares con menor rendimiento fueron FHIA-32 (1,173 kg/ha) y FHIA-255 (1,277 kg/ha).

En la evaluación histórica (2018-2024), los clones más productivos han sido FHIA-21 (1,225 kg/ha) y FHIA-63 (1,164 kg/ha), mientras que, FHIA-255 ha mantenido la menor producción con 834 kg/ha. Aun cuando se obtuvieron diferencias estadísticas altamente significativas en la producción de frutos sanos entre cultivares, el rendimiento de cacao seco indica una significancia de p-valor = 0.079, encontrando diferencias significativas con un p-valor entre 0.05 – 0.10. Lo que sugiere que hay tendencias a mayor productividad con los clones con los mayores índices de rendimiento de cacao seco antes mencionado. Cabe mencionar que esta última variable además de estar afectada por la cantidad de frutos sanos, también se ve afectada por el índice de mazorca que es específico para cada clon o cultivar.

El coeficiente de variación calculado (15.36 %) también nos indica la variabilidad de los datos moderada con respecto a la media general, mientras que, el coeficiente de determinación estimado es congruente con lo anterior estimando que solo el 45 % de la variabilidad de los datos depende del cultivar, existe un 55 % de variabilidad procedente de otras fuentes de variación no evaluadas en este estudio.

Cuadro 3. Producción anual de frutos sanos por árbol desde el 4° al 9°de frutos enfermos en el 2023 de 12 clones de cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2018-2023.

Cultivar de cacao	Frutos/planta				Producción (kg/ha)	Frutos/planta			Producción en kg/ha/año (LC)
	Sanos		Enfermos			Sanos	Enfermos		
	9° (2023)	10° (2024)	MN (2024)	Mon (2024)	2024	Promedio (LC)	MN Promedio (LC)	Mon Promedio (LC)	
FHIA-21	22.6	33.0	3.1	3.3	1,730	23.8 (20.4-27.2)	1.4 (0.8-2.0)	3.3 (2.4-4.3)	1,225 (1,041-1,409)
FHIA-63	24.4	43.5	3.4	3.1	2,060	24.5 (19.2-29.8)	1.3 (0.8-1.8)	3.4 (2.3-4.5)	1,164 (913-1,414)
FHIA-161	17.7	26.4	3.6	3.7	1,975	15.8 (13.1-18.5)	2.0 (1.2-2.8)	5.4 (3.3-7.4)	1,106 (881-1,332)
FHIA-74	23.3	26.9	2.9	2.5	1,503	20.2 (17.7-22.7)	1.2 (0.7-1.7)	2.8 (1.9-3.7)	1,092 (945-1.239)
FHIA-224	20.8	22.6	6.4	4.7	1,437	18.0 (15.3-20.6)	2.3 (1.3-3.2)	5.5 (3.6-7.3)	1,084 (897-1,271)
FHIA-108	17.8	35.1	1.8	2.2	1,943	19.9 (16.2-23.6)	0.9 (0.6-1.3)	2.7 (1.9-3.4)	1,081 (865-1,297)
FHIA-5	19.4	28.1	3.2	3.6	1,683	18.3 (15.3- 21.1)	1.6 (1.0-2.2)	4.8 (3.4-6.2)	1,046 (866-1,225)
FHIA-245	20.7	24.0	2.9	1.1	1,470	17.2 (14.7-19.7)	1.1 (0.7-1.4)	3.6 (2.4-4.7)	1,002 (841-1,162)
FHIA-146	17.4	33.0	1.2	2.2	1,532	21.3 (17.2-25.4)	1.1 (0.7-1.5)	4.2 (2.7-5.7)	993 (806-1,181)
FHIA-32	21.7	24.7	0.7	11.9	1,173	20.2 (17.7-22.7)	1.1 (0.7-1.6)	15.7 (9.9-21.4)	961 (843-1,078)
FHIA-100	18.2	34.7	2.9	2.2	1,498	20.1 (16.4-23.8)	1.1 (0.6-1.6)	3 (2.0-3.9)	882 (727-1,037)
FHIA-255	18.3	25.0	1.5	4.1	1,277	16.5 (13.5-19.5)	1.0 (0.5-1.4)	4.3 (2.6-6.0)	834 (680-989)
Promedio	**20.2**	**29.7**	**2.8**	**3.7**	**1607**	**19.6 (16.4-22.9)**	**1.3 (0.8-1.9)**	**4.9 (3.2-6.5)**	**1,039 (858-1,219)**
p-valor	0.571	0.082	0.006	0.000	0.165	0.009	0.057	0.000	0.079
C.V.	25.46	30.74	62.36	75.38	24.1	16.27	43.8	42.34	15.67
R2	0.28	0.45	0.56	0.60	0.43	0.53	0.44	0.80	0.45

°: Edad; MN: mazorca negra; Mon: monilia; LC: Límite de confianza = 95 %

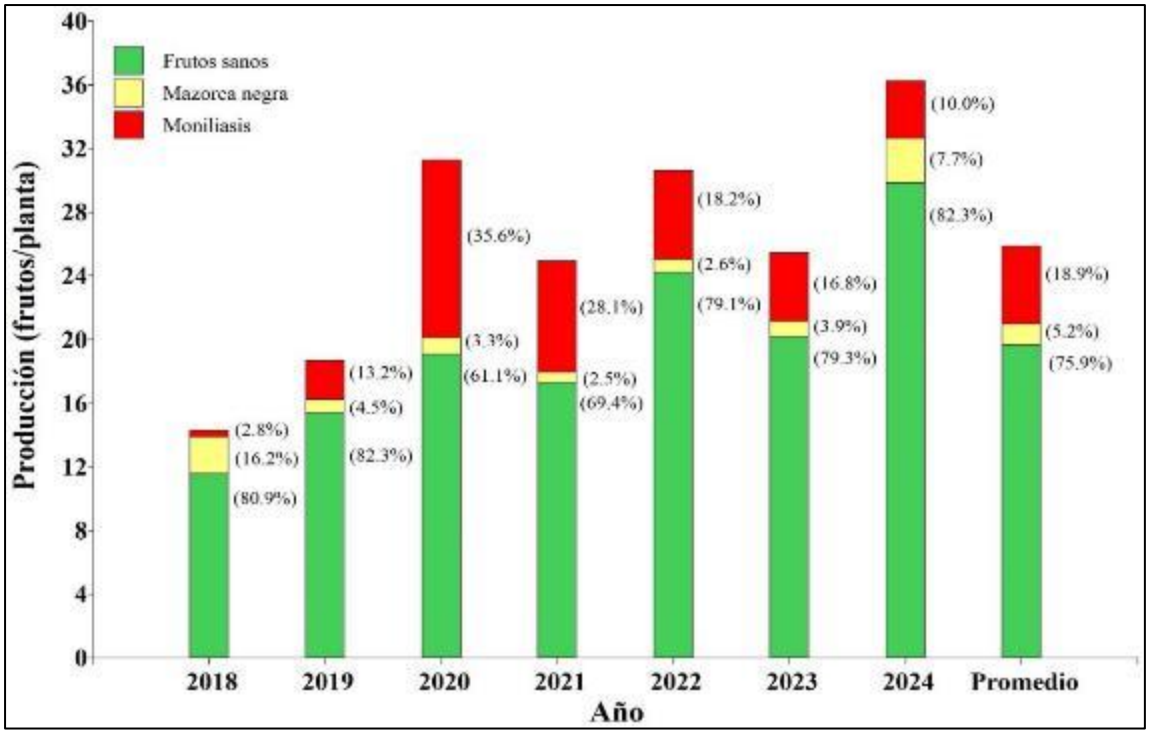


Figura 10. Rendimiento general y proporción de pérdidas por enferdades por año, de 12 cultivares de cacaos evaluados y seleccionados por FHIA. CEDEC-JAS La Masica, Atlántida, Honduras.

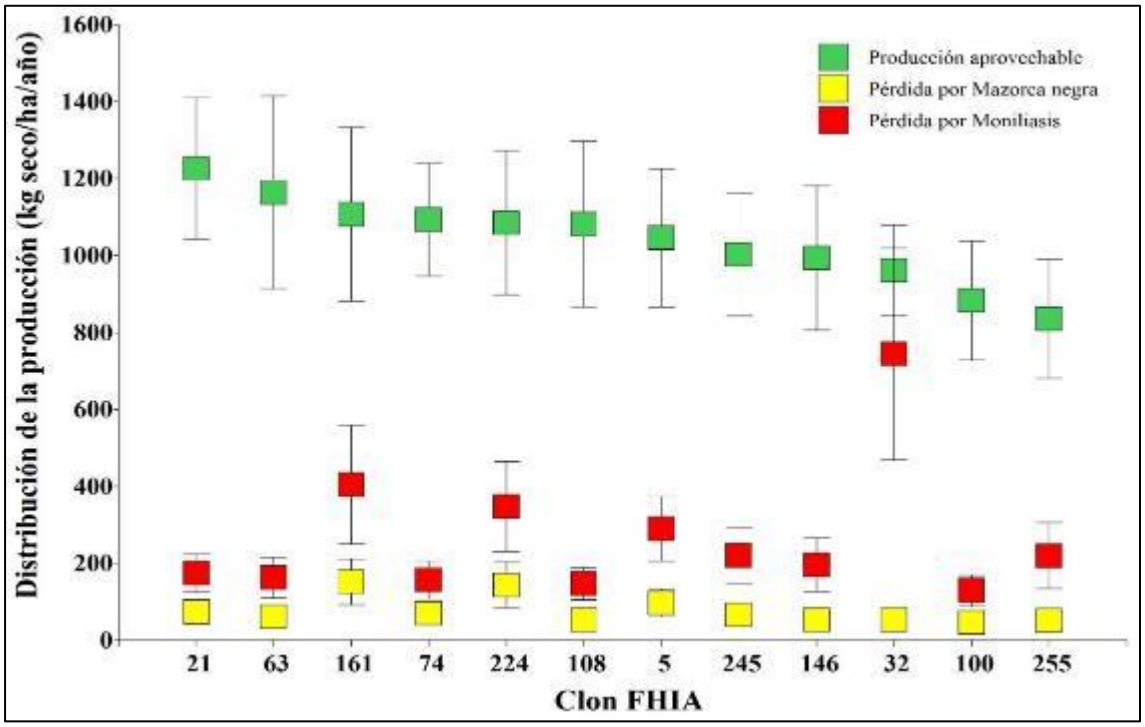


Figura 11. Rendimiento promedio (2018-2024) de 12 clones de cacaos evaluados y seleccionados por la FHIA. CEDEC-JAS La Masica, Atlántida, Honduras.

Conclusiones

- Se observa un aumento generalizado de 50 % en la cantidad de frutos sanos por planta en 2024 (30) respecto a 2023 (20) principalmente por la implementación de prácticas de manejo como la regulación de sombra manteniendo por debajo del 30 % y las aplicaciones de fertilizantes foliares a base de zinc y boro.
- A lo largo del tiempo, se confirma que los cultivares presentan diferencias estadísticas en la producción de frutos sanos e incidencia a moniliasis y mazorca negra. Cultivares como FHIA-21, FHIA-63 y FHIA-161 han sido los clones más productivos tanto en 2024 como en el análisis histórico (2018-2024), destacándose como los más consistentes y promediando rendimientos en cacao seco por arriba de los 1,100 kg/ha/año.
- FHIA-32 es el clon más susceptible a moniliasis, con un alto nivel de infección, comprometiendo su producción comercial, mientras que, FHIA-245 y FHIA-108 son los clones con mayor resistencia a esta enfermedad. Por otro lado, los clones FHIA-224 y FHIA-74 presentaron los mayores niveles de infección a mazorca negra, sin embargo, registraron rendimientos comerciales entre los clones las productivos.

3.2. Evaluación de progenies de cacao procedentes de semilla que demostraron mayor porcentaje de intercompatibilidad sexual en el CEDEC-JAS. CAC 20-01

Oscar Ramírez Argueta, Francisco Javier Díaz
Programa de Cacao y Agroforestería

Elvin Ávila, Héctor Aguilar
Departamento de Poscosecha

Resumen
En 2015, como parte de la fase 3 de la estrategia de mejoramiento genético del Programa de Cacao y Agroforestería, se inició un estudio con 993 plantas desarrolladas mediante polinizaciones manuales controladas (fase 2: cruzamientos interclonales). El objetivo fue evaluar la compatibilidad sexual (auto e intercompatibilidad), la productividad y la resistencia a moniliasis (M) y mazorca negra (MN) en progenies de cacao por semilla, con miras a generar una segunda generación de materiales genéticos mejorados (FHIA). Las plantas, fueron divididas en dos lotes (Lote 1: 300 plantas de 15 cruzamientos; Lote 2: 693 plantas de 43 cruzamientos), fueron monitoreadas sus cosechas desde 2020. A partir de ese año, se registraron variables agronómicas como el número de frutos sanos por árbol y la incidencia de M y MN. Tras cinco años de evaluación (2020-2024), el Lote 1 permitió seleccionar 29 progenies con producción superior a 20 frutos sanos/árbol/año (promedio: 28 frutos, equivalente a 1.35 t de cacao seco/ha/año), destacando las progenies A21T9 y A262T14 con rendimientos máximos de 2.1 t/ha/año. Este grupo de plantas mostraron tolerancia a enfermedades (90 % de aprovechamiento de la cosecha) y, en 2024, se analizaron sus propiedades físico-químicas (dimensiones, peso, índice de mazorca [IM], índice de grano [IG], brix y rendimiento baba-seco). Esto permitió seleccionar 13 progenies con 1.67 t/ha/año (+24 % vs. el promedio del lote de 29 seleccionadas), IM de 19.5 frutos e IG de 1.33 g, superiores a las 29 progenies (IM:25.5; IG:1.18). Estas se establecerán como poblaciones clonales en la fase 4 en continuidad a la estrategia de mejoramiento genético. En el Lote 2, solo 12/693 progenies alcanzaron >20 frutos sanos/árbol/año (promedio:24.5), cuyas propiedades físico-químicas se

analizarán en 2025 para futura selección. Los resultados consolidan avances hacia materiales genéticos de alta productividad, resiliencia y calidad, aptos para cacaos finos y de aroma.

Introducción

La productividad en las plantaciones de cacao está determinada por diversos factores, entre ellos la compatibilidad sexual del material genético utilizado. El cacao es una planta que presenta de forma natural un altoporcentaje de autoincompatibilidad sexual, el cual se manifiesta cuando el polen de laflor de una planta no consigue fecundar los óvulos de las flores de la misma planta. Adicionalmente, puede presentarse el carácter de inter-incompatibilidad, cuando el polen de la flor de una planta noconsigue fecundar los óvulos de las flores de otra planta. En ese sentido el Programa de Cacao y Agroforestería inició en el 2015 las polinizaciones manuales controladas en flores de cacao para conocer el grado de compatibilidad (auto e inter-compatibilidad) de los clones de cacao que se destinarían para el establecimiento de plantaciones.

En el Programa de Cacao y Agroforestería existen clones que desde 1990 fueron evaluados para diferentes parámetros y seleccionados en el CEDEC-JAS a partir de una amplia colección de más de 350 clones de cacao. Fue con esta experiencia adquirida por más de 30 años que se seleccionaron inicialmente unos 40 clones por su alto potencial productivo, resistencia a enfermedades y calidad del grano. Además, era de suma importancia incluir el carácter de compatibilidad dentro del descriptor varietal en el Catálogo de cultivares de cacao en Honduras para poder complementar la investigación y cumplir con los requerimientos del proceso de certificación ante CERTICEM-SENASA-SAG. Producto de esas pruebas de polinización se seleccionaron las semillas procedentes de los cruzamientos con mayor porcentaje de inter-compatibilidad, lo que dio origen a este estudio como parte de la estrategia de mejoramiento (Etapa 1). Posteriormente, las semillas fueron sembradas a nivel de vivero y las plantas producidas se usaron para establecer en 2016 dos parcelas que incluyen un total de 993 plantas (progenies) procedentes de 58 familias. Se busca con este ensayo la identificación de plantas compatibles, de alta productividad y resistencia a enfermedades y de buena calidad organoléptica que permitan una producción más rentable y sostenible en el país.

Objetivo

Seleccionar los árboles de cacao (progenies) más productivos, resistentes a enfermedades, con alto grado de compatibilidad sexual y con alta calidad física y sensorial de los granos de cacao, para posteriormente, puedan ser incluidos en la siguiente fase de mejoramiento genético evaluándolos como población clonal.

Materiales y métodos

Se establecieron dos parcelas de evaluación. La primera con un total de 300 plantas o progenies procedentes de cruzamientos o familias, con 20 plantas de cada una; y la segunda, con 693 plantas producto de 43 cruzamientos con 5 a 20 plantas por familia. El estudio está ubicado en el CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida, donde la precipitación anual promedio es de 3,020 mm, temperatura media anual de 27 °C y una altitud de 20 msnm. La primera parcela está bajo el sistema agroforestal con caoba del atlántico (*Swietenia macrophylla*), guama (*Inga edulis*) y cacao (*Theobroma cacao* L.), con arreglo de siembra en cuadro de 12.0 x 12.0 m, 6.0 x 6.0 m y 3.0 x 3.0 m, respectivamente. La segunda parcela se estableció en un área ya sombreada con la especie forestal sombra de ternero (*Cordia bicolor*) que se encuentra en un arreglo en cuadro de 9.0 m x 18.0 m. Cada una de las 993 plantas en evaluación constituye un objeto de estudio, a los cuales se les cuantifica la cantidad de

los frutos sanos y enfermos. Al primer año de establecido se replantaron los espacios dejados por plantas muertas. Para el caso del lote con sombra de Guama y caoba del Atlántico por la indisponibilidad de plantas de los cruzamientos originales, se replantó con individuos de una de las familias interclonales utilizada en el lote Sombra de ternero (T53). El Cuadro 4, describe los cruzamientos con sus progenitores, rendimiento potencial de cacao seco (kg/árbol) y porcentaje de inter-compatibilidad de sus progenitores (López *et al.* 2017).

Cuadro 4. Progenitores de los cruzamientos, inter-compatibilidad promedio y rendimiento potencial de estos progenitores. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.

T	Madre	Padre	Rendimiento potencial[1] (kg/árbol)		Inter-compatibilidad (%)
			Madre	Padre	
Parcela con sombra de guama (*Inga edulis*) y caoba (*Swietenia macrophylla*)					
1	Caucasia-37	Caucasia-47	1.5	3.0	77
2	Caucasia-43	Caucasia-47	2.1	3.0	57
3	Caucasia-39	IMC-67	2.0	2.3	40
4	UF-296	ICS-1	2.0	1.8	60
5	SPA-9	FHIA-269	1.0	1.8	43
6	Caucasia-39	Caucasia-43	2.0	2.1	70
7	UF-667	ICS-1	2.9	1.8	48
8	UF-29	UF-296	2.0	2.0	50
9	Caucasia-39	Caucasia-37	2.0	1.5	63
10	Caucasia-37	Caucasia-39	1.5	2.0	69
11	EET-96	UF-296	2.4	2.0	70
12	IMC-67	Caucasia-47	2.3	3.0	75
13	POUND-12	UF-613	1.2	1.7	61
14	CAP-34	IMC-67	2.5	2.3	57
15	POUND-12	UF-296	1.2	2.0	61
Parcela con sombra de ternero (*Cordia bicolor*)					
16	FHIA-662	FHIA-74	1.0	1.2	57
17	EET-95	UF-296	2.0	2.0	50
18	Caucasia-39	SCC-61	2.0	1.0	43
19	Caucasia-34	Caucasia-43	2.4	2.1	30
20	EET-95	EET-96	2.0	2.4	80
21	EET-96	EET-95	2.4	2.0	37
22	ICS-6	UF-613	2.6	1.7	73
23	POUND-12	UF-273	1.2	1.4	50
24	Caucasia-39	CCN-51	2.0	2.5	75
25	TSH-565	ICS-1	2.6	1.8	62
26	EET-95	POUND-12	2.0	1.2	43
27	ICS-39	ICS-1	2.0	1.8	76
28	Caucasia-39	ICS-95	2.0	1.9	60
29	Caucasia-37	CCN-51	1.5	2.5	67
30	Caucasia-43	CCN-51	2.1	2.5	39
31	ICS-39	UF-613	2.0	1.7	59
32	SPA-9	FHIA-662	1.0	1.0	67
33	ICS-39	UF-221	2.0	3.4	53
34	Caucasia-47	SCC-61	3.0	1.0	33
35	Caucasia-34	CCN-51	2.4	2.5	83

T	Madre	Padre	Rendimiento potencial[1] (kg/árbol)		Inter-compatibilidad (%)
			Madre	Padre	
36	CCN-51	Caucasia-39	2.5	2.0	77
37	TSH-565	UF-667	2.6	2.9	76
8	UF-667	TSH-565	2.9	2.6	30
39	Caucasia-43	ICS-95	2.1	1.9	30
40	ICS-39	UF-676	2.0	3.1	46
41	ICS-39	UF-667	2.0	2.9	31
42	EET-162	EET-96	1.5	2.4	40
43	EET-96	EET-48	2.4	2.6	30
44	TSH-565	IMC-67	2.6	2.3	53
45	IMC-67	FCS-A2	2.3	1.8	33
46	Caucasia-34	CCN-51	2.4	2.5	83
47	ICS-39	UF-676	2.0	3.1	46
48	EET-95	EET-162	2.0	1.5	53
49	Caucasia-34	ICS-95	2.4	1.9	30
50	IMC-67	SCC-61	2.3	1.0	33
51	IMC-67	CCN-51	2.3	1.5	63
52	CCN-51	SCC-61	2.5	1.0	67
53	Caucasia-39	Caucasia-43	2.0	2.1	70
54	POUND-12	EET-400	1.2	1.9	30
55	TSH-565	UF-221	2.6	3.4	40
56	TSH-565	UF-676	2.6	3.1	33
57	TSH-565	ICS-6	2.6	2.6	30
58	Caucasia-34	IMC-67	2.4	2.3	87

T: tratamiento, familia o cruzamiento.[1] Fuente: Evaluación de la compatibilidad sexual de clones de cacao comerciales y promisorios de la FHIA y recomendación de arreglos de plantación en campo. Informe Técnico Programa de Cacao y Agroforestería 2019-2020.

Manejo de las parcelas. En el 2024 se realizó el mismo manejo agronómico ejecutado en años anteriores: control de malezas en forma manual (chapia) cada 3 meses, poda en el cacao 2 veces al año (junio-julio y enero-febrero) y la fertilización fraccionada en dos aplicaciones, aplicando en el año alrededor de 80-40-80 kg de N-P_2O_5,-K_2O, una al inicio y otra al final de las lluvias. En los árboles de sombra no se realizó ninguna actividad.

Variables evaluadas. Es importante señalar que, procurando una mejor utilización de los recursos económicos, desde el periodo anterior, se inició el seguimiento únicamente de las plantas que demuestran mayor productividad (> 15 frutos por planta). La resistencia a enfermedades se calculó bajo presión de inóculo natural a nivel de campo. En el 2024 se redujo la lista de progenies a evaluar (40) con base al promedio acumulado al 4to año de la cantidad de frutos sanos, preferiblemente superior a 20 frutos/árbol/año. Se continuó las evaluaciones preliminares sobre la determinación del índice de mazorca (IM) que se define como la cantidad de frutos necesarios para hacer un kg de cacao seco de cada progenie promisoria, esto para realizar proyecciones de rendimiento de cacao en kg y el índice de grano (IG) que corresponde al peso promedio de un grano de cacao seco.

En conjunto con el Departamento de Poscosecha, se inició las evaluaciones de las propiedades físicas del fruto: peso en gramos (total, cáscara, semillas placenta), largo y diámetro (cm), cantidad de almendras/semillas, grosor de cáscara del fruto en el surco y lomo (mm), brix,

rendimiento cacao baba a seco, porcentaje de basura después del secado. En el grano seco se midieron sus dimensiones en milímetros (largo, ancho y grosor), porcentaje de humedad y cascarilla, así como evaluaciones físicas de los granos en la prueba de corte (porcentaje de granos sobre fermentados, bien fermentando, ligeramente fermentados, pizarrosos y con moho interno). Finalmente, se hicieron los licores en cada una de las progenies evaluadas para conocer de manera exploratoria los atributos organolépticos (cacao, acidez, amargor, astringencia, floral, nuez, habas verdes y otros) de las progenies promisorias. Las mediciones del grano seco y de licores, serán divulgados en el informe técnico de la unidad de Poscosecha.

Resultados preliminares

Lote Guama. El análisis de los datos presentados en el Cuadro 5 y Figura 12, revela una variabilidad significativa en el desempeño agronómico de las diferentes progenies de cacao evaluadas. El año 2024 observó un incremento en la cantidad de frutos sanos (38.3) en comparación con 2023 (13.6) y el promedio histórico 2020-2024 que estuvo en 27.9 ± 15.1. Por otro lado, fueron 29 de 300 progenies que registraron con el tiempo rendimientos iguales o superiores a 20 frutos sanos por árbol. Por ejemplo, de 2023 a 2024, todos los árboles a los que les da seguimiento incrementaron su rendimiento en frutos sanos a excepción de A183T13 que redujo su producción al pasar de 34 a 23 frutos. Progenies como: A113T53, A262T14, A184T13 y A187T5 incrementaron 48, 50, 49 y 56 frutos, al pasar de 7 a 55**, 6 a 56 frutos**, **22 a 71 y 14 a 70** y frutos sanos, respectivamente. Estas últimas dos forman parte de las cuatro progenies históricamente con mayor producción de frutos sanos (> 35.0), acompañando a A21T9 y A22T9.

En cuanto a la incidencia de frutos con mazorca negra, el 2024 se mantuvo en 0.1 frutos por planta, siendo inferior al promedio histórico (0.5 ± 0.8). Únicamente tres progenies registraron frutos con mazorca negra (A266T4, A230T15 y A13T3) y con incidencia menor a 2.1 frutos. Los árboles A141T53, A144T3, A14T3, A183T13, A27T6, A63T11, A32T12, A242T6, A205T2 no han mostrado incidencia a esta enfermedad. Por otro lado, la enfermedad de moniliasis en 2024 se mantuvo con incidencia de 0.8, que al igual que mazorca negra fue inferior al promedio histórico con 1.3 ± 1.5, donde 9 de 29 progenies mostraron incidencia. Todos los materiales genéticos han mostrado incidencia de esta enfermedad. Sin embargo, las progenies que han presentado menor (< 0.4 moniliasis) incidencia fueron: A14T3, A122T15, A68T3 y A242T6.

Respecto a la producción de cacao seco, fue estimada de manera muy preliminar, con base al número de frutos sanos, una población de 1,111 plantas por hectárea y el Índice de Mazorca evaluado por primera vez en 2024 (Cuadro 6). Progenies como A262T14, A187T5 y A266T4 destacaron por sus mayores rendimientos en 2024, alcanzando los 4,324 kg/ha, 3,377 kg/ha y 2,473 kg/ha, respectivamente. Estos valores superan significativamente el promedio general de ese mismo año (1,821 kg/ha) y el promedio histórico (1,353 kg/ha/año). Por el contrario, progenies como A101T10 y A183T13 presentaron los rendimientos más bajos, con 628 kg/ha y 872 kg/ha en 2024, respectivamente. Por otro lado, las progenies que van mostrando mayor rendimiento a través de los años son A21T9, A262T14, A22T9, A187T5 y A262T14, los primeros tres coincidiendo con los que mostraron mayor cantidad de frutos sanos. El caso de A262T14 fue favorecido por su índice de mazorca (14.4 frutos por kg de cacao seco).

Las 13 progenies promisorias mostraron un rendimiento superior en la producción de cacao seco en 2024, alcanzando 2,001 kg/ha, en comparación con la media de todas las 29 progenies, que fue

de 1,821 kg/ha. Este rendimiento también se refleja en el promedio de cacao seco obtenido entre 2020 y 2024, donde las progenies promisorias promediaron 1,670 kg/ha/año, superando los 1,353 kg/ha/año de la media general. En cuanto a frutos sanos, en 2024 las progenies promisorias registraron 34.1 frutos sanos en promedio, una cifra inferior a los 38.3 frutos observados en la media de todas las progenies. Sin embargo, el promedio de frutos sanos entre 2020 y 2024 fue más alto en las progenies promisorias (29.1) en comparación con la media general (27.9), lo que indica estabilidad en su desempeño. Respecto a enfermedades, las progenies promisorias presentaron una mayor incidencia de frutos con mazorca negra en 2024 (0.2) similar a la media de todas las progenies (0.1). De igual manera, en el promedio entre 2020 y 2024, las progenies promisorias alcanzaron 0.8, superando el valor de 0.5 registrado en la media general. En cuanto a moniliasis, las progenies promisorias mostraron un menor número de frutos afectados en 2024 (0.3 frente a 0.8 de la media total). A nivel de promedio entre 2020 y 2024, la incidencia fue similar, con 1.5 frutos afectados en las progenies promisorias vs 1.3 de la media general.

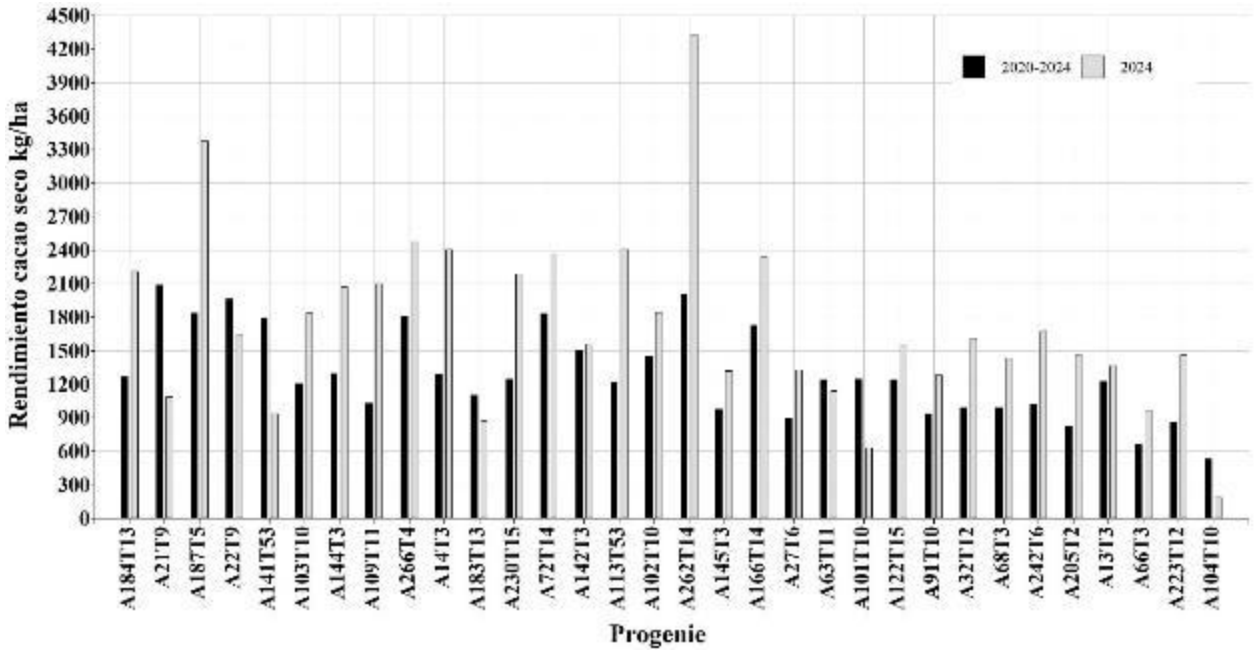
Finalmente, las desviaciones estándar de los frutos sanos 2020-2024 indican que la variabilidad en frutos sanos fue similar entre ambos grupos (15.0 en progenies promisorias y 15.1 en la media general). Sin embargo, las progenies promisorias mostraron una mayor variabilidad en frutos con mazorca negra (1.2 frente a 0.8) y en frutos con moniliasis (1.6 frente a 1.5), lo que podría indicar diferencias en la estabilidad de resistencia a enfermedades producto de su afectación por condiciones de clima y de manejo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Promedio y desviación estándar (DE) de la producción de frutos sanos por árbol y afectados por enfermedades en el lote con Guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024.

Progenie	Frutos/planta				Cacao seco (kg/ha)	Frutos/planta 2020-2024			Promedio Cacao seco (kg/ha/año)
	Sanos		Enfermos			Sanos	Enfermos		
	7° (2023)	8° (2024)	MN (2024)	Mon (2024)	2024	Media ± DE	MN Media ± DE	Mon Media ± DE	
A184T13	22.0	71.0	0.0	0.0	2206	40.6±19.4	1.0±1.2	2.6±2.5	1,262
*A21T9	18.0	21.0	0.0	0.0	1085	40.4±20.0	2.4±5.4	1.0±1.0	2,088
*A187T5	14.0	70.0	0.0	0.0	3377	38.0±24.2	0.8±1.0	1.3±1.9	1,833
*A22T9	15.0	30.0	0.0	0.0	1647	35.8±18.4	0.4±0.9	1.4±1.3	1,965
*A141T53	3.0	17.0	0.0	0.0	935	32.6±25.7	0.0±0.0	1.4±2.0	1,793
A103T10	12.0	49.0	0.0	1.0	1834	32.3±15.4	0.3±0.5	2.0±2.2	1,207
A144T3	22.0	50.0	0.0	0.0	2067	31.3±12.8	0.0±0.0	0.8±1.0	1,292
A109T11	16.0	60.0	0.0	10.0	2098	29.4±19.7	0.2±0.5	2.4±4.3	1,028
*A266T4	27.0	40.0	2.0	0.0	2473	29.3±7.6	1.3±1.0	2.3±2.1	1,808
A14T3	21.0	54.0	0.0	1.0	2404	29.0±20.0	0.0±0.0	0.3±0.5	1,291
A183T13	34.0	23.0	0.0	0.0	872	29.0±5.8	0.0±0.0	0.5±1.0	1,100
A230T15	18.0	51.0	1.0	1.0	2189	29.0±15.3	0.5±0.6	1.8±1.5	1,244
*A72T14	23.0	37.0	0.0	0.0	2368	28.6±12.0	0.4±0.6	0.6±0.6	1,830
*A142T3	9.0	29.0	0.0	1.0	1563	27.8±15.1	0.2±0.5	1.2±1.3	1,498
A113T53	7.0	55.0	0.0	0.0	2409	27.8±20.3	0.8±1.5	0.5±0.6	1,215
*A102T10	11.0	35.0	0.0	2.0	1841	27.6±11.4	1.2±2.2	1.8±1.9	1,452
*A262T14	6.0	56.0	0.0	0.0	4324	26.0±20.1	0.6±0.9	1.4±2.6	2,007

Progenie	Frutos/planta				Cacao seco (kg/ha)	Frutos/planta 2020-2024			Promedio Cacao seco (kg/ha/año)
	Sanos		Enfermos			Sanos	Enfermos		
	7° (2023)	8° (2024)	MN (2024)	Mon (2024)	2024	Media ± DE	MN Media ± DE	Mon Media ± DE	
A145T3	15.0	34.0	0.0	2.0	1317	25.2±8.4	0.2±0.5	0.8±0.8	976
*A166T14	6.0	34.0	0.0	0.0	2332	25.2±11.5	0.4±0.6	3.8±3.1	1,728
A27T6	7.0	36.0	0.0	0.0	1328	24.3±15.2	0.0±0.0	0.5±1.0	895
*A63T11	15.0	22.0	0.0	0.0	1139	24.0±7.3	0.0±0.0	0.5±1.0	1242
A101T10	3.0	12.0	0.0	1.0	628	23.8±21.7	0.2±0.5	1.0±1.2	1246
*A122T15	6.0	30.0	0.0	0.0	1560	23.8±11.5	2.0±2.8	0.2±0.5	1238
A91T10	21.0	32.0	0.0	0.0	1277	23.4±9.9	0.4±0.6	2.0±2.0	934
A32T12	10.0	37.0	0.0	0.0	1611	22.8±12.5	0.0±0.0	1.5±1.9	991
A68T3	13.0	31.0	0.0	0.0	1431	21.5±16.4	0.3±0.5	0.3±0.5	992
A242T6	4.0	35.0	0.0	0.0	1675	21.3±16.1	0.0±0.0	0.3±0.5	1017
A205T2	7.0	37.0	0.0	2.0	1457	21.0±13.6	0.0±0.0	1.0±0.8	827
*A13T3	9.0	22.0	1.0	1.0	1368	20.0±9.7	0.5±0.6	2.25±1.5	1228
Media general	**13.6**	**38.3**	**0.1**	**0.8**	**1821**	**27.9±15.1**	**0.5±0.8**	**1.3±1.5**	**1353**
***Media promisorias**	**12.5**	**34.1**	**0.2**	**0.3**	**2001**	**29.1±15**	**0.8±1.2**	**1.5±1.6**	**1670**

MN: mazorca negra; Mon: moniliasis; A: árbol; T: tratamiento/familia/cruzamiento; DE: desviación estándar; *progenie promisoria para evaluar como población clonal



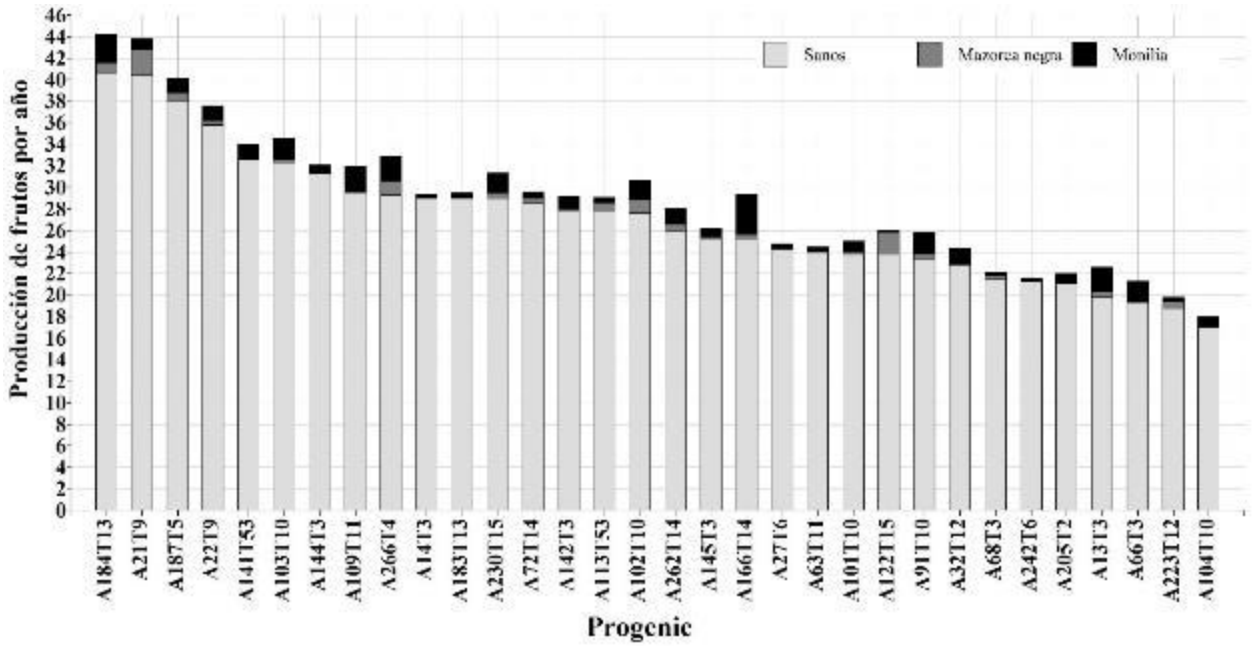


Figura 12. Producción y sanidad de las progenies de cacao con sombra de guama. a) Comparación del rendimiento seco promedio (2020-2024) y del 2024 expresado en kg/ha/año. b) Cantidad de frutos sanos y enfermos. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras.

Mediciones físico-químicas de frutos. Se evidencia una amplia variabilidad en las características físico-químicas de los frutos de cacao entre las diferentes progenies. A continuación, se presentan algunas comparaciones destacadas (Cuadro 4). Para el peso del fruto (g), peso de cacao en baba (g) e Índice de Mazorca, las progenies A72T14, A13T3 y A262T14 presentaron un peso de fruto mayor con 1,046.0 g, 942.6 y 823.0 g, respectivamente, en comparación con el promedio general (648.9 g). Estos resultados coinciden con las progenies que registraron frutos con mayor peso en baba (correlación de Pearson R = 0.69 p-valor <0.0001) (181.5 g 155.1 g y 178.1 g, respectivamente y menor IM, o sea menos frutos por kg seco producido (correlación de Pearson R = 0.57 p-valor 0.0007) con 17.4, 17.9, 14.4, respectivamente y con una cantidad de almendras por fruto superior a 45 por fruto. Por otro lado, progenies como A66T3, A183T13 y A184T13 mostraron pesos de fruto inferiores a 500 g (482.7 g, 461.4 g y 418.7 g, respectivamente). El peso del fruto también está muy correlacionado con su diámetro (cm) y longitud (cm), con coeficientes de correlación de Pearson R = 0.81 y 0.74 p-valor <0.0001 y <0.0001, respectivamente (Cuadro 6).

Progenies como A21T9 presentó el mayor brix con 18.6 coincidiendo con la progenie con mayor rendimiento baba a seco (0.46), lo que podría indicar un mayor contenido de azúcares. Además, este material genético es el más productivo, pero también ha presentado mayor incidencia a mazorca negra (Cuadro 5, Figura 12); sin embargo, no se encontró correlación entre la producción de frutos sanos (p-valor = 0.9246) incidencia a monilasis (p-valor = 0.6013) y mazorca negra (p-valor = 0.5899) asociado a los grados brix. El criterio de selección utilizando como base los índices de rendimiento agronómico (alto rendimiento en cacao seco), siempre imperará en los programas de mejoramiento genético. En el Cuadro 6, se muestran las variables que tienen mayor correlación y que, en orden de importancia estarían: índice de mazorca (R= -0.73, p-valor <0.0001) que implica

que entre más bajo mejor o también, que se necesitan menos frutos para producir un kg de cacao seco, producción de frutos sanos (R= 0.68, p-valor <0.0001), peso en baba por fruto (R= -0.57, p-valor 0.0007) y sumado a esto el índice de grano.

Cuadro 6. Correlación de Pearson: coeficientes / probabilidades de las variables físicas del fruto y agronómicas de progenies de cacao con antes sombra de Guama. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida**,** Honduras. 2024

Variables	PF (g)	L (cm)	D (cm)	PB (g)	PP (g)	# Almedra	PC (g)	GCL (mm)	GCS (mm)	Brix	IM	IG (g)	RBaS	FS	MN	Mon	kg/ha/ año
PF (g)	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	0.0124	0.0000	0.0000	0.0001	0.3040	0.0007	0.1105	0.3049	0.1274	0.7752	0.5113	0.1644
L (cm)	0.74	1	0.0432	0.0005	0.0235	0.0118	0.0000	0.0289	0.2642	0.1394	0.0048	0.8282	0.3018	0.1618	0.7157	0.2734	0.2554
D (cm)	0.81	0.36	1	0.0024	0.082	0.1386	0.0000	0.0000	0.0005	0.4351	0.0013	0.0176	0.9360	0.2560	0.8790	0.9205	0.1443
PB (g)	0.69	0.58	0.52	1	0.0964	0.0003	0.0012	0.1529	0.3491	0.8029	0.0000	0.0007	0.1410	0.5890	0.6854	0.8800	**0.0007**
PP (g)	0.48	0.40	0.31	0.30	1	0.3766	0.0111	0.2143	0.3006	0.1087	0.5644	0.8395	0.0004	0.0688	0.0718	0.1173	0.4066
# Almedras	0.44	0.44	0.27	0.60	0.16	1	0.044	0.6936	0.8163	0.3166	0.0011	0.4924	0.5958	0.7908	0.2841	0.9995	0.0194
PC (g)	0.98	0.71	0.81	0.55	0.44	0.36	1	0.0000	0.0000	0.2186	0.0093	0.2699	0.4940	0.1166	0.7293	0.5108	0.3684
GCL (mm)	0.79	0.39	0.72	0.26	0.23	0.07	0.85	1	0.0000	0.3416	0.2531	0.3477	0.9669	0.4271	0.9731	0.7383	0.7337
GCS (mm)	0.64	0.20	0.58	0.17	0.19	0.04	0.70	0.77	1	0.3093	0.3570	0.2618	0.5145	0.3802	0.8511	0.9523	0.9385
Brix	0.19	0.27	0.14	0.05	-0.29	0.18	0.22	0.17	0.19	1	0.1882	0.7982	0.0146	0.9246	0.5899	0.6013	0.4411
IM	-0.57	-0.49	-0.55	-0.85	-0.11	-0.55	-0.45	-0.21	-0.17	-0.24	1	0.0001	0.3425	0.8132	0.1117	0.8549	**0.0000**
IG (g)	0.29	0.04	0.42	0.57	-0.04	-0.13	0.20	0.17	0.20	0.05	-0.64	1	0.4041	0.9915	0.4463	0.4454	0.0045
RBaS	-0.19	-0.19	-0.01	-0.27	-0.59	-0.10	-0.13	0.01	0.12	0.43	-0.17	0.15	1	0.1551	0.0093	0.0500	0.0931
FS	-0.28	-0.25	-0.21	-0.10	-0.33	0.05	-0.28	-0.15	-0.16	-0.02	-0.04	0.00	0.26	1	0.0184	0.2916	**0.0000**
MN	-0.05	-0.07	-0.03	0.07	-0.32	0.20	-0.06	0.01	-0.03	0.10	-0.29	0.14	0.45	0.41	1	0.6645	0.0066
Mon	-0.12	-0.20	0.02	-0.03	-0.28	0.00	-0.12	0.06	0.01	-0.10	-0.03	0.14	0.35	0.19	0.08	1	0.2670
kg/ha/año	0.25	0.21	0.26	**0.57**	-0.15	0.41	0.16	0.06	0.01	0.14	**-0.73**	0.49	0.30	**0.68**	0.47	0.20	1

PF: peso de fruto; L: largo de fruto; D: diámetro del fruto; PB: peso en baba; PP: peso de placenta; PC: peso de cáscara; GCL: grosor de cáscara el lomo del fruto; GCS: grosor de cáscara en surco del fruto; IM: índice de mazorca; IG: índice de grano; RBaS: rendimiento baba a seco; FS: fruto sano; MN: mazorca negra; Mon: moniliasis y kg/ha/año: rendimiento en kg por hectárea por año.

Cuadro 7. Promedio de las mediciones físico-químicas en los frutos de cacao de las en el lote con Guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024.

Progenie	Frutos evaluados	Peso fruto (g)	Largo (cm)	Diametro (cm)	Peso baba (g)	Peso placenta (g)	# almedras fruto	Peso de cáscara (g)	Grosor de cáscara en lomo (mm)	Grosor de cáscara en surco (mm)	Brix	IM	IG (g)	Rendimiento baba-seco
A184T13	15	418.7	14.8	8.2	69.0	7.0	35.4	342.7	16.5	12.0	15.0	35.8	0.81	0.41
A21T9	10	631.0	19.6	9.0	100.8	6.8	36.9	523.4	18.0	13.3	18.6	21.5	1.26	0.46
A187T5	29	613.3	16.1	9.3	119.3	21.4	35.8	472.6	16.7	14.1	13.8	23.0	1.26	0.37
A22T9	6	672.4	21.1	8.9	151.2	15.0	42.8	506.1	15.8	10.0	12.0	20.2	1.20	0.33
A141T53	1	661.1	19.0	10.2	129.7	10.3	41.0	521.1	16.0	12.0	18.0	20.2	1.20	0.38
A103T10	33	582.9	17.1	9.0	110.2	18.0	48.3	454.7	15.6	13.1	13.3	29.7	1.01	0.33
A144T3	22	541.7	17.4	9.0	103.7	14.7	39.3	423.3	16.4	12.5	16.4	26.9	1.04	0.37
A109T11	4	599.0	15.6	9.5	97.8	12.9	29.3	488.3	18.8	12.5	11.7	31.8	1.24	0.34
A266T4	3	658.1	17.1	10.1	137.0	15.7	39.7	505.4	17.2	11.2	12.0	18.0	1.49	0.41
A14T3	11	709.1	18.3	9.7	118.2	17.6	38.8	573.3	18.6	15.0	13.2	25.0	1.06	0.36
A183T13	15	461.4	15.6	8.3	102.9	16.4	32.1	342.1	14.8	10.0	16.5	29.3	1.18	0.34
A230T15	9	528.3	17.1	8.7	97.8	9.2	34.0	421.3	16.9	13.0	16.3	25.9	1.23	0.41
A72T14	2	1046	23.1	10.8	181.5	27.0	45.5	837.5	21.0	13.8	17.4	17.4	1.40	0.32
A142T3	13	647.4	17.1	9.7	106.4	12.8	41.9	528.1	16.4	13.1	17.1	20.6	1.20	0.42
A113T53	17	650.2	19.6	8.9	116.6	14.0	44.5	519.6	16.6	11.5	15.0	25.4	0.89	0.35
A102T10	19	674.0	18.6	9.5	128.3	13.8	43.7	532.0	17.8	12.1	16.7	21.1	1.20	0.40
A262T14	30	823.0	20.1	9.6	178.1	16.0	47.9	629.0	18.1	14.8	14.7	14.4	1.47	0.39
A145T3	4	580.8	19.3	8.7	94.7	21.5	30.3	464.6	15.1	11.8	13.0	28.7	1.14	0.37
A166T14	4	614.8	19.1	9.1	151.5	12.5	38.0	450.8	15.8	12.0	16.2	16.2	1.63	0.42
A27T6	7	519.5	16.3	9.1	83.7	14.5	29.4	421.3	15.4	11.4	14.0	30.1	1.15	0.41
A63T11	10	591.5	17.8	8.9	156.6	12.2	34.4	422.7	15.5	11.7	14.0	21.5	1.55	0.32
A101T10	9	611.1	21.1	8.7	131.4	12.9	49.3	466.8	14.7	10.5	18.3	21.2	0.99	0.39
A122T15	10	550.1	16.8	9.1	132.5	13.4	43.3	404.3	14.1	11.6	14.3	21.4	1.20	0.37
A91T10	14	667.3	20.7	9.2	96.0	12.8	33.9	558.4	18.5	12.9	15.3	27.8	0.85	0.39
A32T12	12	718.0	17.8	10.0	96.1	14.1	29.3	607.8	19.2	15.8	16.9	25.5	1.44	0.42
A68T3	13	734.4	19.4	9.4	121.5	18.6	47.9	594.3	18.2	12.3	15.8	24.1	0.92	0.37
A242T6	22	813.2	21.7	9.6	130.1	25.2	38.2	658.0	18.9	14.4	15.1	23.2	1.13	0.34
A205T2	15	654.5	20.0	9.0	110.3	32.7	37.0	511.5	16.1	12.2	13.3	28.2	0.97	0.32
A13T3	8	942.6	19.7	10.6	155.0	20.4	48.5	767.3	21.1	17.1	15.9	17.9	1.20	0.37
A66T3	6	482.7	16.7	8.9	89.2	16.1	37.8	377.5	15.2	9.7	14.0	32.2	0.84	0.35
A223T12	17	659.8	18.0	9.7	114.5	15.5	31.1	529.8	18.4	13.2	15.9	24.3	1.44	0.35
A104T10	4	706.9	19.0	9.1	98.7	11.9	32.5	596.3	18.0	14.9	16.1	35.5	1.02	0.36
Media general	**394**	**648.9**	**18.5**	**9.3**	**119.1**	**15.7**	**38.7**	**514.1**	**17.0**	**12.7**	**15.2**	**24.5**	**1.18**	**0.37**
Promisori	**145**	**701.9**	**18.9**	**9.6**	**140.6**	**15.2**	**41.5**	**546.2**	**17.2**	**12.8**	**15.4**	**19.5**	**1.33**	**0.38**

Al analizar las 13 progenies consideradas promisorias, se observa que, en general, presentan valores superiores en cuanto a peso del fruto, número de almendras y peso de la baba en comparación con el promedio de todas las progenies. Esto sugiere que estas progenies tienen un mayor potencial productivo.

La Figura 13, muestra las progenies conglomedaras con base a los índices agronómicos: peso en baba por fruto, IM, IG y rendimiento de cacao seco, mostrando evidencia que las 13 progenies promisorias seleccionadas no son diferentes entre sí, al presentar los mayores índices agronómicos.

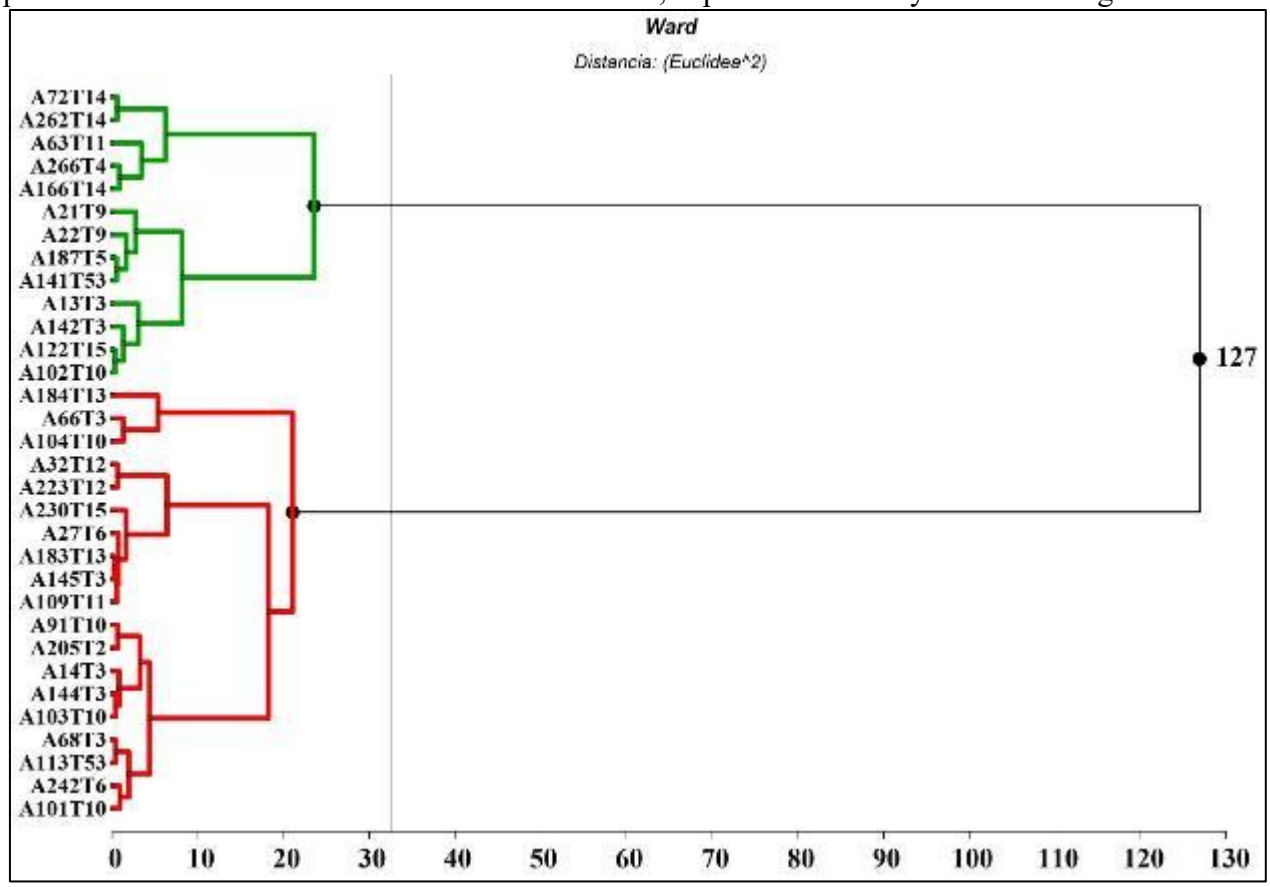


Figura 13. Clonglomerados de progenies de cacao en lote Guama de acuendo a peso en baba, IM, IG y rendimiento de cacao seco. La Masica, Atlántida, Honduras. 2024.

Lote Sombra de ternero. **A diferencia de las progenies del lote Guama, las progenies de este otro lote presentan una disminución de la producción de frutos en 2024.** La media general de frutos sanos en 2023 fue de 27.3, mientras que en 2024 disminuyó a 18.5, lo que indica una reducción generalizada de un 32.2 %. La incidencia de frutos con mazorca negra y moniliasis incrementó en relación con el 2023, al pasar el promedio de 1 a 4.8 frutos para mazorca negra y de 4 a 6 frutos para moniliasis. La progenie A652T58 continúa siendo la que mayor registro de frutos sanos produce; sin embargo**,** fue una de las progenies que registró la mayor cantidad de frutos enfermos para ambas enfermedades (Cuadro 8, Figura 14**).**

Aun cuando las plantas de cacao recibieron el mismo manejo agronómico, la parcela con la especie sombra de ternero está bajo condiciones de mayor sombra (alrededor de 45 %), lo que afecta significativamente la producción y favorece el incremento de las enfermedades. Ramírez-Argueta y sus colaboradores (2021) demostraron el efecto de la sombra sobre el cultivo de cacao en su estudio agroeconómico de 12 SAF. Con datos recopilados por 24 años encontraron que los cacaotales con umbrales de sombra < 30 % promediaron 800 kg, mientras que los cacaotales con > 30 % de sombra disminuyeron su producción a 500 kg. Este último escenario favoreciendo la incidencia a enfermedades hasta en un 20-30 % más.

En 2024 se inició a registrar las variables físico-químicas de los frutos; sin embargo, los datos serán presentados hasta el 2025 ya que no se cuenta con la suficiente evidencia científica para ser publicados, ni para hacer proyecciones de rendimientos de cacao seco en kilogramos por hectárea.

Cuadro 8. Promedio y desviación estándar (DE) Producción de frutos sanos por árbol y afectados por enfermedades en el lote sombra de ternero en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024.

Progenie	Frutos/planta				Frutos/planta 2020-2024		
	Sanos		Enfermos		Sanos	Enfermos	
	7° (2023)	8° (2024)	MN (2024)	Mon (2024)	Media ± DE	MN Media ± DE	Mon Media ± DE
A652T58	27.0	39.0	16.0	7.0	37.6±15.0	4.0±6.8	4.2±3.8
A619T28	50.0	30.0	4.0	1.0	30.8±15.6	1.0±1.7	3.6±3.2
A591T24	46.0	13.0	1.0	3.0	27.3±13.8	1.0±0.8	2.0±1.8
A622T19	39.0	6.0	0.0	7.0	24.4±14.0	0.0±0.0	4.8±2.8
A342T16	11.0	22.0	0.0	2.0	24.0±10.6	0.2±0.4	5.8±6.5
A645T23	39.0	19.0	7.0	16.0	23.8±14.3	1.4±3.1	7.0±9.6
A648T23	17.0	25.0	10.0	3.0	22.0±9.7	2.0±4.5	0.6±1.3
A692T50	17.0	18.0	7.0	9.0	21.5±5.9	1.8±3.5	8.8±9.0
A326T53	16.0	26.0	8.0	8.0	21.3±4.3	2.5±3.8	4.0±3.3
A616T28	23.0	11.0	1.0	10.0	21.0±20.3	0.2±0.4	3.8±3.8
A286T21	16.0	7.0	3.0	3.0	20.4±21.3	0.6±1.3	5.2±9.5
A442T24	26.0	6.0	0.0	3.0	20.2±12.8	0.2±0.4	3.8±3.6
Media	**27.3**	**18.5**	**4.8**	**6.0**	**24.5±13.1**	**1.2±2.2**	**4.5±4.9**

FS: frutos sanos; MN: mazorca negra; Mon: monilia; A: árbol; T: tratamiento/familia/cruzamiento.

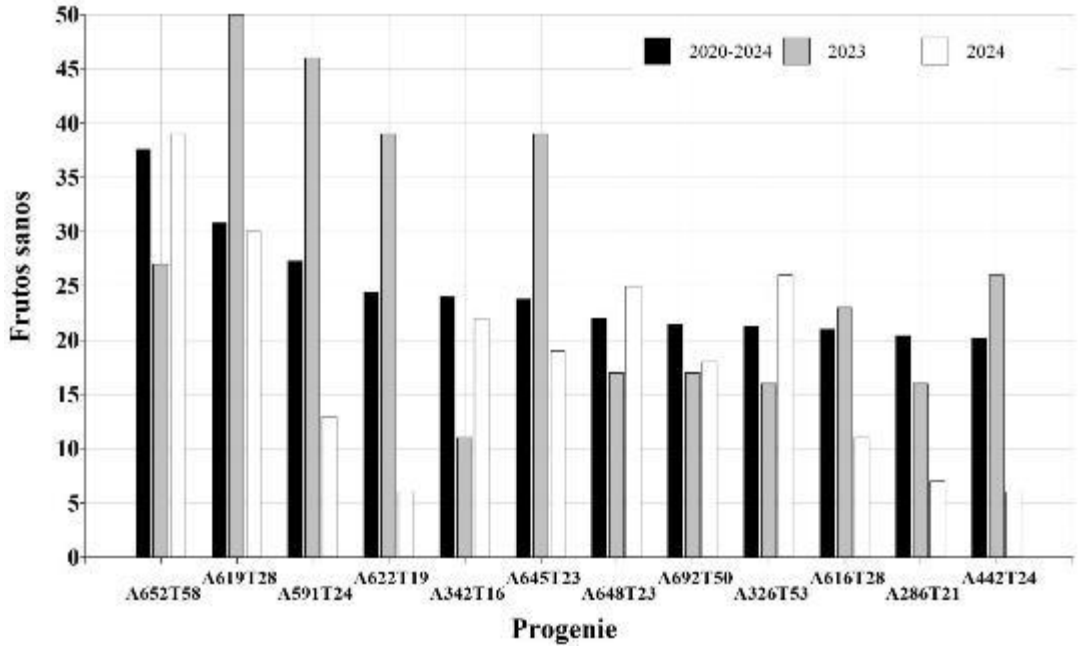


Figura 14. Cantidad de frutos sanos de las progenies más productivas en el lote con sombra de ternero. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020 - 2024

Conclusiones

- Las progenies lote guama han logrado mejores resultados a través del tiempo, generando al menos 13 progenies que pueden continuar a la siguiente fase de mejoramiento genético que consiste en la evaluación como población clonal con potencial genético (1670 kg/ha/año) para por lo menos cuadruplicar el rendimiento promedio anual del país (< 350 kg/ha/año).
- Los resultados preliminares obtenidos en este estudio proporcionan una base para la selección de progenies con características deseables para el mejoramiento genético del cacao. Por ejemplo, A21T9, A262T14, A187T5, A13T3, A72T14 y A166T14, han destacado por su alto rendimiento en términos de producción de frutos sanos y cacao seco, con índices de mazorca y de semilla aceptables.
- Las condiciones de alto porcentaje de sombra que producen los árboles forestales en el lote sombra de ternero, están afectando negativamente la productividad del cacao en por lo menos 300 kg/ha/año cuando se sobrepasa el umbral a 40 % - 60 % de sombra para el cultivo.

3.3. Validación del comportamiento agronómico de 20 cultivares de cacao autocompatibles establecidos con un diseño agroforestal recomendado por la FHIA. 19-01

Oscar Ramírez Argueta, Javier Díaz y Elvin Ávila
Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen
Esta evaluación se desarrolla con 20 clones de cacao autocompatibles establecidos en 2019 en el CEDEC-JAS de La Masica en un área de 0.3 ha. La parcela se estableció sin diseño experimental y con 15 plantas por cada clon bajo el modelo agroforestal con plátano (*Musa* sp.), madreado (*Gliricidia sepium*), caoba del Atlántico (*Swietenia macrophylla*) y cacao (*Theobroma cacao* L.) y en un marco de plantación de 3 x 3 m, 6 x 6 m, 12 x 12 m y 3 x 3 m, respectivamente.

Las variables a medir contemplan el rendimiento promedio anual de mazorcas sanas por planta, así como las afectadas por moniliasis y mazorca negra. Los resultados al tercer año de cosecha (4.5 años de edad) indican que el promedio de mazorcas sanas para los 20 clones fue de 25.5 (35.3 – 14.6), con niveles de daño de 1 mazorca por planta para moniliasis y de 1.7 mazorcas por planta para mazorca negra. Catorce clones promediaron rendimientos arriba de las 20 mazorcas por planta, lo que tendría un potencial de producción arriba de la tonelada de cacao seco por hectárea. Los clones autocompatibles representan la alternativa principal para el incremento de la productividad de las parcelas, de forma sostenible siempre y cuando adaptemos el manejo a los requerimientos propios del sistema agroforestal con cacao.

Introducción
La compatibilidad sexual constituye un factor determinante en la productividad del cultivo de cacao, debido a su influencia directa en los procesos de polinización y formación de frutos. Dada su relevancia agronómica, resulta esencial evaluar tanto el grado de compatibilidad intrínseca de cada clon como la intercompatibilidad entre clones distintos. Esto adquiere especial importancia al considerar que los materiales autocompatibles poseen la capacidad de autofecundarse, lo que incrementa la probabilidad de una mayor producción frente a los clones autoincompatibles, cuya fertilización depende casi exclusivamente de polen externo.

La identificación y validación de clones autocompatibles en condiciones de campo representa una estrategia clave para optimizar los rendimientos; puesto que permitiría establecer parcelas policlonales más eficientes, con base en combinaciones que maximicen la compatibilidad sexual sin requerir secuencias estrictas de interacción entre clones. Además, reduciría la complejidad logística al minimizar el número de genotipos necesarios por arreglo, simplificando así el diseño y manejo de las plantaciones. En este contexto, el presente busca: 1. Difundir los resultados preliminares obtenidos durante los primeros tres años de monitoreo continuo de cosechas en clones autocompatibles bajo las condiciones edafoclimáticas de La Masica, Atlántida; y 2. Aportar evidencia técnica para la selección de materiales genéticos superiores, orientados a mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de los sistemas de producción de cacao.

Objetivos
- Validar y seleccionar los clones de cacao con mayor potencial productivo, preferiblemente tolerantes a enfermedades y con los mejores atributos de calidad organoléptica.
- Obtener material genético para la propagación de clones que presenten los mejores resultados.

Materiales y métodos

La parcela está conformada por 20 clones (Cuadro 1), seleccionados y evaluados en el CEDEC-JAS por su carácter de autocompatibilidad (Ramírez *et al*, 2019). Los clones están ordenados en hileras de 15 plantas sin seguir un diseño experimental. La parcela cuenta con un área aproximada de 0.3 ha, establecida con sistema de riego por microaspersión y bajo el modelo agroforestal con plátano (*Musa* sp.), madreado (*Gliricidia sepium*), caoba del Atlántico (*Swietenia macrophylla*) y cacao (*Theobroma cacao* L.) y en un marco de plantación de 3 x 3 m, 6 x 6 m, 12 x 12 m y 3 x 3 m, respectivamente tal y como se recomendaría en una producción comercial. El establecimiento de la parcela agroforestal fue finalizado en junio de 2019 con el trasplante de los clones de cacao.

Variables a evaluar

- Frutos sanos por árbol
- Frutos con mazorca negra por árbol
- Frutos con moniliasis por árbol
- Índice de fruto/mazorca
- Índice de grano
- Características organolépticas por clon

Manejo de la parcela. Durante el año 2024, se mantuvieron las prácticas de manejo agroforestal en el cultivo de cacao, enfocadas en optimizar su desarrollo y productividad. El programa de mantenimiento incluyó podas periódicas para favorecer la estructura vegetativa y fertilización semestral con una fórmula NPK de 80-40-80 kg/ha (N-P_2O_5-K_2O), acumulando dicha dosis anual en dos aplicaciones. Adicionalmente, se implementó la eliminación de chupones cada seis semanas y el control de malezas trimestral para minimizar la competencia por recursos.

Para mitigar el impacto de enfermedades fungosas en los frutos de cacao, se aplicó en seis diferentes momentos (periodo con más lluvia), fungicidas preventivos cúpricos, específicamente el producto comercial Kocide 35 WG, a una dosis de 0.5 kg/ha cuidando hacer un buen cubrimiento del área productiva del árbol (Anexo 1). Cabe destacar que, desde 2021, se eliminó progresivamente el uso de plátano como sombra temporal, para favorecer una mayor entrada de luz que la planta de cacao fue demandando para iniciar su producción. En cuanto al manejo del dosel de sombra intermedia (madreado), se ejecutaron podas para regular su crecimiento y garantizar niveles óptimos de luminosidad para el cultivo de cacao. Por otro lado, en las especies maderables asociadas no se realizaron intervenciones específicas, limitando su manejo al control de malezas sincronizado con el del cacao.

Resultados. Durante el tercer año de evaluación (2024), el porcentaje promedio de frutos sanos por árbol se mantuvo en 90.1 %, cifra consistente con los registros de los dos años anteriores (93.3 % en 2022 y 91.0 % en 2023). Esta estabilidad refleja una alta tolerancia intrínseca de los clones evaluados a enfermedades como la moniliasis y la mazorca negra, así como la eficacia de las prácticas de manejo integrado implementadas desde el establecimiento de la parcela. No obstante, en 2024 se observó una disminución de 4.5 frutos por árbol respecto al año previo, situándose la producción en 25.5 frutos/árbol, valor que coincide con el promedio del 2022-2024 (Figura 1). Cabe destacar que, a inicios de 2025, se observó un incremento notable en la carga frutal, posiblemente asociado al retraso del segundo pico productivo (para octubre-noviembre) hacia

diciembre-enero, fenómeno atribuible al inicio tardío y duración prolongada de la estación lluviosa.

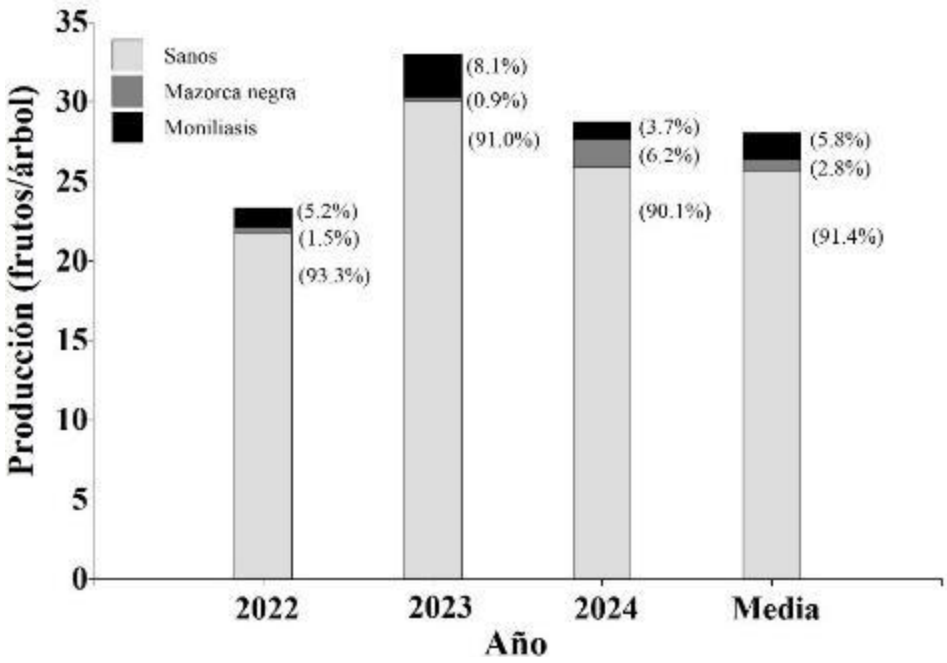


Figura 15. Distribución anual de la producción de frutos de cacao por su estado fitosanitario en 20 cultivares de cacao autocompatibles, La Masica, Atlántida, Honduras. 2022-2024.

Entre los materiales destacados en 2024, los cultivares CATIE-R32 y CATIE-R82 mantuvieron un liderazgo productivo, con promedios de 38.4 y 39.1 mazorcas sanas por planta, respectivamente. A pesar de la reducción general en el periodo, clones como CDC-4, CDC-3, FHIA-430 y FHIA-677 mostraron incrementos significativos de 20.2, 12.1, 10.5 y 9.6 frutos sanos por árbol. Seis genotipos (CATIE-R82, CATIE-R32, CATIE-R27, FHIA-478, FHIA-330 y FHIA-65) superaron o igualaron el umbral de 32 frutos sanos por planta, mientras que cinco materiales, incluidos tres de la serie FHIA, registraron promedios inferiores a 20 mazorcas/árbol (Cuadro 9 y Figura 15).

En 2024, la mazorca negra emergió como la principal limitante fitosanitaria, afectando el 6.2 % de la producción, superando por primera vez a la moniliasis, predominante en ciclos anteriores. El cultivar DFEAR-5 registró junto al CATIE-R82 las mayores pérdidas históricas por mazorca negra (1.8 frutos/árbol) y, en el último año, también lideró en incidencia de moniliasis. Por su parte, el FHIA-677 presentó el mayor promedio histórico de daño por moniliasis, con 4.4 frutos afectados por planta (Figura 16).

Para el 2025, se incorporará el cálculo del Índice de Mazorca (IM) por material genético, métrica esencial para estimar el rendimiento de cacao seco (kg/ha/año), dado que la cantidad de frutos no siempre correlaciona directamente con la producción final debido a variaciones en el peso y tamaño de las mazorcas. Adicionalmente, se evaluará el Índice de Grano (IG) y las características organolépticas, factores críticos para determinar la calidad comercial del grano. Estos análisis permitirán una selección más precisa de materiales superiores, integrando variables productivas, sanitarias y cualitativas.

Cuadro 9. Producción de frutos sanos y enfermos por planta en clones autocompatibles de cacao evaluados en campo. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2022-2024.

Clon	2022 (2.5 años)			2023 (3.5 años)			2024 (4.5 años)			Media		
	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon
CATIE-R82	30.1	0.1	1.7	55.4	1.5	2.5	31.7	3.7	0.8	39.1	1.8	1.7
CATIE-R32	34.9	0.2	1.5	57.3	0.2	1.9	22.9	2.1	1.3	38.4	0.8	1.6
CATIE-R27	31.5	0.0	0.9	49.3	0.3	2.5	24.3	2.1	0.6	35.0	0.8	1.3
FHIA-478	43.3	0.3	1.3	41.2	0.2	2.5	17.7	2.6	0.2	34.1	1.0	1.3
FHIA-330	23.3	0.0	0.3	44.7	0.0	1.3	33.3	2.1	0.6	33.8	0.7	0.7
FHIA-65	27.1	0.8	1.5	35.0	0.0	3.3	34.0	4.9	0.6	32.0	1.9	1.8
FHIA-677	23.7	2.0	3.5	24.7	0.2	8.2	34.3	0.8	1.6	27.6	1.0	4.4
FHIA-513	25.0	0.4	1.0	34.0	0.0	2.3	18.6	3.4	0.4	25.9	1.3	1.2
FHIA-515	25.2	1.5	3.3	26.0	0.0	3.3	25.2	1.0	1.3	25.5	0.8	2.6
CDC-1	22.1	0.1	1.1	23.4	0.0	2.2	28.6	0.7	3.0	24.7	0.3	2.1
CDC-3	15.5	0.1	0.4	23.2	0.1	1.5	35.3	0.2	1.7	24.7	0.1	1.2
FHIA-612	17.3	0.0	1.4	34.7	0.0	4.3	21.3	0.9	0.6	24.4	0.3	2.1
DFEAR-5	27.1	1.0	1.8	29.1	1.9	2.8	14.6	2.6	2.0	23.6	1.8	2.2
DFTA-4	9.9	0.1	0.5	21.7	0.3	4.0	29.5	1.0	1.1	20.4	0.5	1.9
CDC-2	16.0	0.0	0.6	16.3	0.5	1.1	22.3	1.3	0.9	18.2	0.6	0.9
CDC-4	11.1	0.0	0.7	11.1	0.1	1.3	31.3	0.5	0.3	17.8	0.2	0.8
FHIA-430	10.5	0.0	1.3	13.8	0.0	4.9	24.3	1.5	0.6	16.2	0.5	2.3
FHIA-630	12.2	0.0	0.1	12.9	0.0	0.7	17.9	1.2	0.7	14.3	0.4	0.5
FHIA-169	7.7	0.0	0.1	16.5	0.1	0.3	16.8	0.7	1.4	13.7	0.3	0.6
Media	**21.8**	**0.3**	**1.2**	**30.0**	**0.3**	**2.7**	**25.5**	**1.7**	**1.0**	**25.7**	**0.8**	**1.6**
%	**93.3**	**1.5**	**5.2**	**91.0**	**0.9**	**8.1**	**90.1**	**6.2**	**3.7**	**91.4**	**2.8**	**5.8**

Promedio de 15 plantas por clon, se puede estimar una producción de frutos potencial por hectárea en base a 1,111 plantas por hectárea.

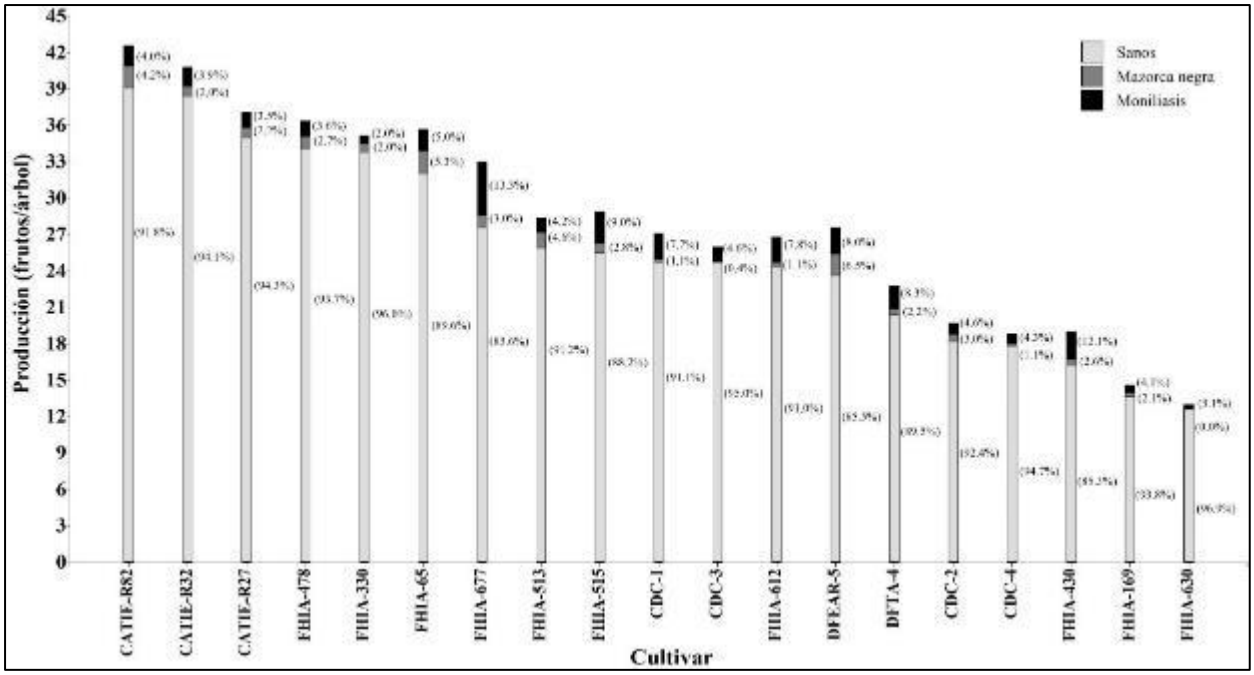


Figura 16. Distribución de la producción promedia de frutos de cacao por su estado fitosanitario en cada uno de los cultivares de evaluación de estudio evaluación de 20 cultivares autocompatibles, La Masica, Atlántida, Honduras. 2022-2024.

Para consolidar estos resultados como criterios de selección definitivos, es indispensable determinar el Índice de Mazorca (IM) de cada material. Este parámetro permitirá cuantificar el rendimiento real expresado en kg de cacao seco por hectárea, ya que la cantidad de frutos no siempre se traduce directamente en volumen de grano comercializable. Una vez validado el IM, se podrá iniciar la multiplicación vegetativa de los clones con mayor eficiencia productiva y calidad, optimizando así la planificación de establecimiento o renovación de parcelas. Esta fase de análisis integral (productividad, IM y futuras evaluaciones de calidad organoléptica) será clave para priorizar genotipos que equilibren alto rendimiento, resiliencia fitosanitaria y estándares comerciales, garantizando la sostenibilidad técnica y económica del cultivo.

Conclusiones

- De manera preliminar, tras tres años de registro de información agronómica, se identificaron al menos seis materiales genéticos (CATIE-R82, CATIE-R32, CATIE-R27, FHIA-478, FHIA-330 y FHIA-65) con rendimientos consistentemente superiores a 32 frutos sanos por árbol. Estos clones destacan no solo por su productividad, sino también por su eficiencia, ya que más del 91 % de sus frutos totales corresponden a producción aprovechable, reflejando una baja incidencia de daños por enfermedades.
- La compatibilidad sexual es una característica deseable en los clones de cacao y el objetivo a seguir al seleccionar la genética para el establecimiento de nuevos arreglos de plantación. Sin embargo, se debe tener en consideración adicionalmente a la producción, la capacidad productiva y nivel de resistencia a enfermedades.

Literatura citada

Ramírez, O., Dubón A. y M. López. 2019. Evaluación de la compatibilidad sexual de clones de cacao comerciales y promisorios de la FHIA y recomendación de arreglos de plantación en campo. CAC 16-01. Informe Técnico Programa de Cacao y Agroforestería. La Lima, Cortés, Honduras.

Anexo 1. Aplicación de productos cúpricos para la protección y mejora de la sanidad de los frutos de cacao en periodos lluviosos. CECEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2024.

3.4. Manejo nutricional del cacao en Honduras. CAC 19-02

Oscar Ramírez Argueta, Francisco Javier Díaz y Elvin Ávila
Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen

El Programa de Cacao y Agroforestería inició un estudio en 2019 evaluando el efecto de tres programas de nutrición: química y orgánica con base en análisis químico del suelo y se comparó contra el programa utilizados por el productor en 4 parcelas distribuidas dos en la zona de La Masica y las otras dos en el sector de Jutiapa en el departamento de Atlántida. El estudio fue establecido bajo una estructura unifactorial en diseño de bloques completos al azar, donde cada plantación constituyó un bloque conformado por los tres tratamientos. En el sitio CEDEC-JAS, se añadió un cuarto tratamiento consistente en la no aplicación de ningún programa de nutrición (Control absoluto). Se hizo aplicación de tratamientos por 4 años y posterior a ese periodo, se continuó evaluando para medir aspectos de residualidad de nutrientes.

Las variables a medir fueron: rendimiento comercial de cacao seco por hectárea y la incidencia de cacao afectado por enfermedades. Adicionalmente, se realizó un análisis financiero producto de la aplicación de los tratamientos y su impacto sobre la rentabilidad de la producción y finalmente, se valoró el efecto de los tratamientos sobre características químicas del suelo. Los resultados

muestran que la aplicación de fertilizantes químicos u orgánicos con base en un análisis de suelo incrementan el rendimiento del cacao en un rango promedio de 200 a 500 kg de grano seco por hectárea por año; así mismo, la rentabilidad de la fertilización dependerá de los precios de venta del cacao, tanto en baba como seco, así como de los costos asociados a la aplicación de los fertilizantes, en especial a los insumos utilizados. Además, se observó un efecto residual significativo en los tratamientos con abono orgánico, ya que igualaron el rendimiento del tratamiento químico en el primer año de efecto residual y lo superaron en el segundo año (2024). Finalmente, se evidenció un ligero incremento en los niveles de materia orgánica y nitrógeno en los suelos que recibieron fertilización orgánica, lo que sugiere beneficios adicionales a largo plazo para la sostenibilidad.

Introducción

La producción de cacao en sistema agroforestal es una opción para el desarrollo económico de los productores, siempre que la productividad de cada componente del sistema sea rentable. En los últimos 14 años el establecimiento de áreas nuevas con cacao en sistemas de producción agroforestal ha sido importante y muchas de estas plantaciones ya están en producción con rendimientos variables según el manejo brindado por el productor y condiciones de suelo y clima producto de su ubicación. A pesar de la expansión del cultivo y de la utilización de genética mejorada, prácticas de manejo agronómico y otras innovaciones, el productor carece de claridad en el tema relacionado a la nutrición, ya sea orgánica o convencional.

Investigaciones previas han demostrado que la aplicación de fertilizantes incrementa entre 20 a 30 % el rendimiento del cacao, manifestándose durante el año de la aplicación y con efecto residual en los años siguientes (Dubón *et al*. 2007; Dubón y Sánchez 1998). Los resultados preliminares de los estudios conducidos por la FHIA indican que la rentabilidad de la aplicación de fertilizantes debe ir acompañada del incremento en la producción, y mejor cuando se comercializa bien fermentado y seco para un mercado de cacaos finos y de aroma, de manera que puedan percibirse precios superioresque permitan cubrir el costo del fertilizante y una mejora en la rentabilidad (Dubón *et al*. 2007).

Es mucho lo que se desconoce sobre la fisiología del cacao y su interacción dentro del sistema agroforestal desde el punto de vista nutricional. Ramírez-Argueta y colaboradores (2021 y 2024) encontraron un efecto significativo del manejo del umbral de sombra sobre el rendimiento y dinámica de enfermedades de los cacaotales. Es decir, a mayor umbral de sombra menos rendimiento del cacao y más incidencia de enfermedades. Por otro lado, Sánchez *et al*. (2002), demostraron un mayor incremento en la producción cuando se fertiliza cacaotales con menor grado de sombra.

El presente trabajo fue establecido para determinar el efecto productivo y económico en cuatro fincas de cacao sometidas a tres fuentes de fertilización: química, orgánica y la práctica que realiza el productor, las primeras dos basadas en recomendaciones del análisis químico del suelo. En el informe técnico del Programa de Cacao del 2022 se presentó los resultados del último de 4 años de aplicación de fertilizantes; sin embargo, desde el 2023 no se realizó aplicación de tratamientos y únicamente se llevó el seguimiento a una parcela de La Masica, específicamente el CEDEC-JAS, donde se registraron los resultados del segundo año de evaluación de efecto residual, después de haber fertilizado durante cuatro años consecutivos. También se presentan los resultados acumulados siempre en CEDEC-JAS entre 2020 al 2024.

Antecedentes

El Programa de Cacao y Agroforestería de la FHIA, ha realizado en años anteriores ensayos de investigación en nutrición en cacao a nivel de sus centros experimentales, mediante la evaluación de insumos químicos y orgánicos desde el estado de plantía o preproductiva hasta la etapa productiva de una plantación de cacao, con el propósito de determinar el mejor programa de fertilización química u orgánica a recomendar a los productores con condiciones similares a las de nuestros centros en la zona norte del país.

En el primer experimento iniciado en 1987, se evaluaron 12 niveles de N, P_2O_5, K_2O en una plantación por semilla, en donde las dosis se fueron incrementando hasta aplicarse el 100 % de los niveles de fertilización planteados al cuarto año de establecimiento del cacao. Los datos acumulados durante los primeros siete años de registro (nueve años del cultivo) mostraron consistentemente que con la combinación de los tres elementos en relación 60-30-30 y 60-30-60 g/árbol/año de N, P_2O_5, K_2O se obtuvieron los mayores rendimientos; con 1,086 y 1,080 kg/ha, respectivamente. El testigo sin fertilizar rindió 677 kg/ha. La dosis 60-30-60 demostró un incremento de 37 % en rendimiento en comparación al testigo.

Con base en estas comparaciones la tasa de retorno marginal fue de 263 %, es decir, que, por cada Lempira invertido en fertilización,se obtuvo una ganancia de L. 1.63. Además, se concluyó que después de 7 años intensivos de la aplicación de fertilización, el efecto residual mantiene los rendimientos durante los dos años posteriores, observándose después una caída drástica de estos al tercer año y un desbalance en la relación de los cationes del suelo (Dubón 1998; Dubón *et al*. 1997).

En una segunda etapa de investigación iniciada en 1998, con plantas de cacao de 11 años hasta los 17, se continuó el ensayo con cinco de los 12 tratamientos iniciados en 1987, que tuvieron un mejor comportamiento productivo y adicionalmente se incluyó un tratamiento con bocashi a razón de 5 kg/árbol/año y un testigo sin fertilización. A inicios del ensayo las parcelas venían de un periodo de 3 años sin recibir fertilización. Como resultados, después de siete años de registros no hubo diferencias estadísticamente significativas (p-valor>0.05) a favor de ninguno de los tratamientos; sin embargo, se mantuvo la tendencia entre los mayores resultados con la dosis 60-30-60 g/planta de N, P_2O_5, K_2O, rindiendo 830 kg/ha, superior al testigo absoluto en 29.6 % (246 kg/ha).

Cuando se realizó el análisis de costo entre los dos tratamientos se encontró que la tasa de retorno marginal era de 53 %. El tratamiento con bocashi también fue superior al testigo en 22 % del rendimiento en cacao seco (Dubón *et al*. 2007).

Siempre en 1998 pero hasta 2001, se evaluó el efecto de la aplicación de gallinaza (5.0 y 0.0 kg/árbol) en parcelas con y sin cobertura de especie forestal, esta última se fertilizó con 220 g/planta de 15-15-15 hasta un año antes de la aplicación de gallinaza. Las parcelas con cobertura no recibieronfertilización en los últimos 6 años. El rendimiento del cacao con y sin cobertura fue de 900 y 1,110 kg/ha, respectivamente. Sin embargo, el efecto residual de los fertilizantes puso en ventaja la parcela sin sombra. Las plantas con y sin gallinaza proyectaron un rendimiento de 1,071 y 940 kg/ha.

Posterior a la finalización del ensayo, se continuó con los registros, obteniendo un rendimiento en promedio entre el 2000 al 2006, de 1,059 kg/ha (con gallinaza) y de 888 kg/ha (sin gallinaza), respectivamente. Se calculó un incremento en rendimiento del cacao en 20 %, con una tasa de

retorno marginal de 40 %; es decir, se obtuvo pérdida en 60 % de la inversión por concepto de aplicación de gallinaza. Se descartaron los rendimientos entre 2002 y 2003 debido a que las plantas fueron sometidas a podas severas para disminuir el daño por moniliasis (Dubón *et al*. 2007).

Por último, se realizó un ensayo en plantación por semilla e injerta, donde se evaluaron tres niveles de K_2O (30, 60, 90 g/planta) mientras que los niveles de N (60 g) y P2O5 (30 g) se mantuvieron constantes. Además, se incluyó un tratamiento a base de gallinaza en dosis de 5 kg/planta para la parcela clonal y un testigo sin fertilizante para la parcela propagada por semilla. No existió un resultado claro en el efecto de los tratamientos; sin embargo, se encontró una relación inversamente proporcional entre el rendimiento del cacao y el nivel de aplicación de K_2O en la plantación por semilla, con 910 y 907 kg de cacao/ha en el nivel 0 y 30 g/planta, respectivamente versus 741 kg/ha en el mayor nivel de K_2O evaluado (90 g/planta) (Dubón *et al*. 2007).

Debido al alto costo de los fertilizantes sintéticos, el uso de abonos orgánicos como el bocashi y la gallinaza compostada representa una opción económica para el productor, especialmente si se orienta la producción hacia el mercado de cacao orgánico.

Todos los estudios de nutrición conducidos y concluidos por el Programa hasta el 2006, han tenido como objetivo determinar la mejor respuesta del cacao a la fertilización química y orgánica, que, en ausencia de resultados concluyentes en algunos de ellos, deberá prevalecer el criterio económico para tomar la decisión de aplicar o no estos insumos y esperar una respuesta rentable para el productor. También, es importante señalar que todos los estudios previamente citados, no incluyeron aspectos relacionados al nivel de pH y su corrección o a niveles de otros macro y micronutrientes. La evidencia obtenida por la FHIA hasta ahora, indica que la aplicación de fertilizantes en cacao en condiciones del CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, puede ser una buena alternativa siempre y cuando el productor produzca cacao fino y de aroma fermentado y seco, y no cacao corriente secado al sol. Es importante; sin embargo, señalar que la mayoría de los productores hondureños cuentan con poca área de cultivo, 1.1 ha en promedio, por lo que les es más rentable la venta del cacao en baba, ya que por los bajos volúmenes de cosecha no se logra un buen beneficiado, ni vender cacao seco calidad A.

Objetivo general

Generar recomendaciones sobre dosis y fuentes de nutrientes rentable para los productores con plantaciones de cacao en sistemas agroforestales mediante la evaluación del efecto de la aplicación de diferentes fuentes de nutrición, química y orgánica, sobre el aumento en la producción, de las propiedades químicas del suelo y eficiencia de los recursos de los productores de cacao en diferentes zonas de Honduras.

Objetivos específicos

- Desarrollar un plan de nutrición eficiente en respuesta al rendimiento y tolerancia a las enfermedades.
- Determinar si los costos de la práctica de fertilización compensan el ingreso adicional producto del incremento de producción.
- Conocer la evolución química del suelo con el tiempo producto de la aplicación de cada tratamiento.

Materiales y métodos

Ubicación. El estudio inició en el 2019 con la selección de nueve parcelas de cacao en sistemas agroforestales ubicadas en diferentes zonas cacaoteras de Honduras (Cuadro 10, Figura 17); incluyendo dos plantaciones del Programa de Cacao y Agroforestería de la FHIA, una ubicada en el CEDEC-JAS y otra en el CADETH-AMR. El registro de datos de las variables agronómicas se realizó cada 7 a 14 días según la época de producción en el año. Los datos acumulados se extrapolaron a hectárea. Adicionalmente, para dar mayor soporte a la determinación de la factibilidad de la implementación de programas de nutrición, se realizó un análisis económico marginal con precios actuales de cacao en baba versus los costos asociados a los tratamientos. En 2020, solo se rescató la información de las variables en cosecha en tres parcelas, y de cuatro parcelas en 2021. En 2022 se continuó la evaluación de cuatro de las nueve parcelas seleccionadas inicialmente (CEDEC-JAS, CADETH, Plantación-2 y Plantación-3). Las cinco parcelas restantes fueron desatendidas producto de la pandemia Covid-19 y a los efectos devastadores de las tormentas tropicales Eta y Iota.

Cuadro 10. Plantaciones de cacao seleccionados para el ensayo de nutrición en cacao.

Plantación	Comunidad	Municipio	Depto.	Coordenadas	
				X	Y
CEDEC-JAS***	La Masica	La Masica	Atlántida	489547	1729792
CADETH***	El Recreo	La Masica	Atlántida	491444	1719923
Plantación-1	San Félix	La Masica	Atlántida	487316	1728077
Plantación-2**	El Zapote	Jutiapa	Atlántida	552804	1740670
Plantación-3*	Berlín	Jutiapa	Atlántida	552018	1730513
Plantación-4	Campo Barranco	Santa Cruz de Yojoa	Cortés	402078	1679191
Plantación-5	El Zapote	Santa Cruz de Yojoa	Cortés	408832	1662508
Plantación-6	Pueblo Nuevo	Omoa	Cortés	378460	1733124
Plantación-7	Kele Kele	Puerto Cortés	Cortés	415209	1727486

**Parcelas en seguimiento 2020-2023 **Parcelas en seguimiento 2020-2022 *Parcela en seguimiento 2021-2022

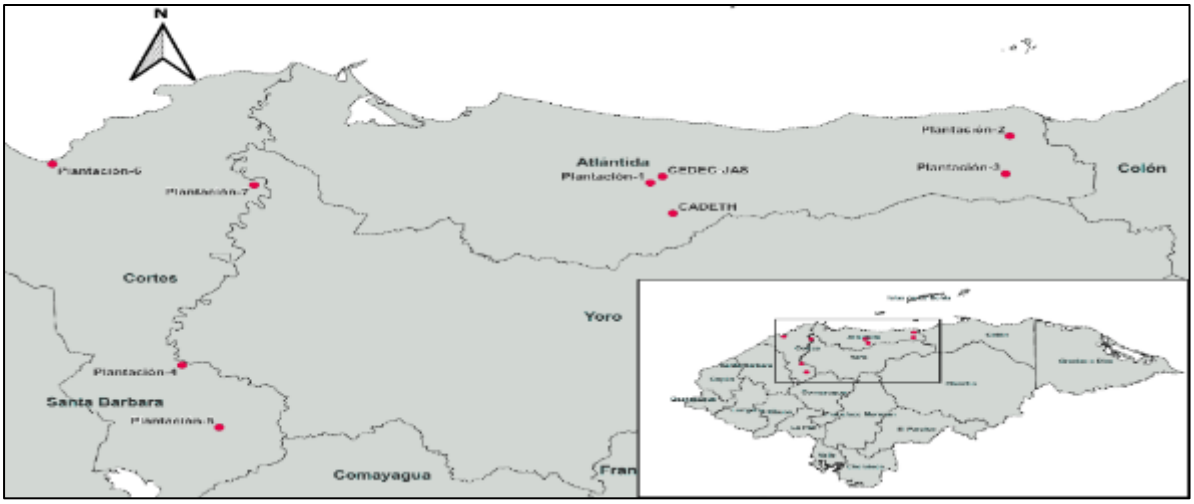


Figura 17. Ubicación geográfica de las parcelas en estudio de nutrición.

Las parcelas cuentan con diferentes materiales genéticos de cacao, especies de sombra (Cuadro 11) y condiciones edafoclimáticas. Sin embargo, se encuentran en áreas tradicionalmente cacaoteras.

Cuadro 11. Características generales de las parcelas de cacao en sistemas agroforestales seleccionadas para el estudio.

Parcela	Altitud (msnm)	Edad del cacao (años)	Cultivares	Sombra	Sombra al Cacao (%)	Pend. (%)
CEDEC-JAS	30	8	ICS-1, ICS-39, TSH-565, UF-650, ICS-6, ICS-95, ICS-60, UF-613, SCC-61	Caoba, pito	15	1
CADETH	246	10	CCN-51	Masica	45	25
Plantación-2	26	7	IMC-67, ICS-6, ICS-95, ICS-60, ICS-39; UF-613, CATIE-R1	Caoba, macuelizo, cedro, jigua	30	1
Plantación-3	283	6	FHIA-707, FHIA-708, FHIA-168, FHIA-330	Caoba, madreado	40	50

Tratamientos y variables de estudio. Los tratamientos consistieron en el uso de fuentes de fertilización química versus fertilización orgánica (lombricomposta), ambas aplicadas según análisis de suelo (Anexo 2, Figura 18). Adicionalmente, se evaluó un tercer tratamiento que fue la práctica de nutrición tradicionalmente realizaba por el productor, la cual no está basada en análisis de suelo (Anexos 2 y 3). En la plantación de CEDEC-JAS se incluyó adicionalmente, un cuarto tratamiento o testigo absoluto sin aplicación de fertilizante (Cuadro 12). Se colocaron cintas color azul, verde y anaranjadas (Figura 18) que indican los tratamientos orgánicos, químico y la práctica tradicional que realiza el productor, respectivamente, y en el CEDEC-JAS, el cuarto tratamiento identificado con cinta café. Las variables evaluadas fueron: frutos totales, frutos sanos, frutos con mazorca negra, con miniliasis y rendimiento en cacao seco por hectárea partiendo del Índice de Mazorca (IM).

Cuadro 12. Tratamientos aplicados para la nutrición de árboles de cacao en plantaciones agroforestales en Honduras.

Tratamientos
1. Fertilización orgánica con lombricomposta (Anexo 4) * (Figura 40d)
2. Fertilización química con fórmulas comerciales* (Figura 40c)
3. Práctica de fertilización que realiza el productor
4. Testigo absoluto sin aplicación de fertilizante (solo en el sitio FHIA-CEDEC-JAS)

* Dosificaciones con base en análisis de suelo y foliar. Laboratorio Químico Agrícola de la FHIA.

Estimación de elementos químicos de suelo y fertilización del cacao. Anualmente se realizó el muestreo de suelo (Figura 18b) para estimar las reservas de elementos químicos disponibles en la solución de este. Dichas estimaciones son determinadas con soluciones extractoras en el Laboratorio Químico Agrícola de la FHIA. Con los resultados del análisis de suelo de cada uno de los tratamientos de las plantaciones en estudio se estimaron los requerimientos de nutrientes a aplicar para obtener un rendimiento de una tonelada de cacao seco por hectárea, aproximadamente. Para esto se toma en cuenta el contenido de nutrientes de los fertilizantes químicos y los indicados por el análisis químico de la lombricomposta (Anexo 3). Se realizó también el análisis químico a

posteriori del abono orgánico utilizado en la práctica tradicional del productor de la plantación-2 (Anexo 3). Año a año, los fertilizantes fueron aplicados al inicio y final del periodo de lluvias en los meses de julio y febrero, con el fin de mejorar la absorción y disponibilidad de los insumos nutritivos (Anexo 2 y 3). Sin embargo, a partir del 2023 no se realizó ningún tipo de aplicación de fertilizantes; esto, para ver el efecto residual después de cuatro años de aplicación de fertilizantes de manera ininterrumpida.

Diseño del experimento. Hasta 2023 los datos se analizaron como estructura unifactorial en diseño en bloques completos al azar, donde cada plantación constituyó un bloque conformado por 270 plantas de cacao, 90 plantas por cada tratamiento. Únicamente la parcela ubicada en el CEDEC-JAS tiene un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones con un total de 96 plantas por tratamiento. Sin embargo; para efectos de análisis fue considerada como una repetición en igual condición que las demás plantaciones en el estudio particularmente en el CEDEC-JAS se incluyó un cuarto tratamiento "testigo absoluto" sin aplicación de fertilizante que fue incluido en el análisis económico. Las plantaciones de cacao constan de un distanciamiento de 3.0 m x 3.0 m y/o 3.5 m x 3.5 m obteniendo densidades de plantas de 1,111 y 943 plantas por hectárea, respectivamente. En otros estudios donde se evaluó el efecto de la densidad poblacional del cacao, no se encontró diferencias estadísticas significativas en plantaciones en edad productiva (Sánchez y Dubón, 1998); por lo tanto, las conclusiones de este estudio permiten comparar el efecto de los sistemas de nutrición. Como ya se mencionó anteriormente este 2024 se analizó el CEDEC-JAS con sus datos acumulados 2020-2024, donde cada año representó una repetición (medidas repetidas en el tiempo).

Figura 18. Rotulado de plantas (a), muestreo de suelo (b), mezclas físicas de fertilizantes (c) y aplicación de cal y lombricomposta (d).

Metodología para el análisis de datos. Para el análisis de los datos agronómicos se aplicó el análisis de la varianza con una significancia del 5 %, después de haber comprobado los supuestos estadísticos como la normalidad. Se usó la prueba de Shapiro-Wilks (p-valor > 0.05) y la homogeneidad de varianza con la prueba de Levene (p-valor > 0.05). También, se aplicó la prueba de comparación de medias con el método de Duncan y Análisis de Componentes Principales (PCA); este último para conocer las correlaciones entre las propiedades químicas del suelo y los rendimientos de cacao seco por cada sistema de nutrición entre 2020-2023.

Análisis financiero. Se realizó a partir del ingreso con precios actuales de cacao en baba versus los costos asociados a los insumos y mano de obra para la aplicación de cada fuente de nutrición por hectárea. Entre 2023 y 2024, se evaluó el efecto residual de los planes de nutrición; por lo tanto, no se aplicó ningún tipo de fertilizante y/o enmienda.

Resultados y discusión

Análisis del comportamiento de la producción por año. La Figura 19, presenta la distribución de la producción promedio de frutos de cacao por árbol entre 2020 y 2024. Se observó una disminución significativa en el número total de frutos por árbol, desde 28.3 en 2020 hasta 10.9 en 2024, con una reducción más pronunciada en 2023 y 2024, coincidiendo con la suspensión de aplicaciones de fertilizantes y abonos orgánicos. Paralelamente, la incidencia de enfermedades mostró una tendencia decreciente a lo largo del periodo. En 2020, año afectado por la pandemia COVID-19, se registró un 72.6 % de pérdidas por enfermedades, distribuidas en moniliasis (62.0 %) y mazorca negra (10.6 %). Este incremento se asoció a las restricciones sanitarias que limitaron el manejo fitosanitario oportuno, sumado al uso de materiales genéticos susceptibles.

A partir de 2022, la implementación del plan de manejo integrado de enfermedades (poda, apertura de calles, remoción de frutos enfermos y aspersiones fitosanitarias) permitió reducir las pérdidas a 25.9 % en 2023 y a menos del 18 % en 2024. Pese a la disminución general en la producción total, el número de frutos sanos por árbol aumentó de 7.8 en 2020 a 9.0 en 2024, evidenciando una mejora en la sanidad del cultivo. Estos hallazgos resaltan la importancia de priorizar materiales genéticos con mayor resistencia a patógenos y optimizar las prácticas de gestión agrícola para garantizar la sostenibilidad productiva.

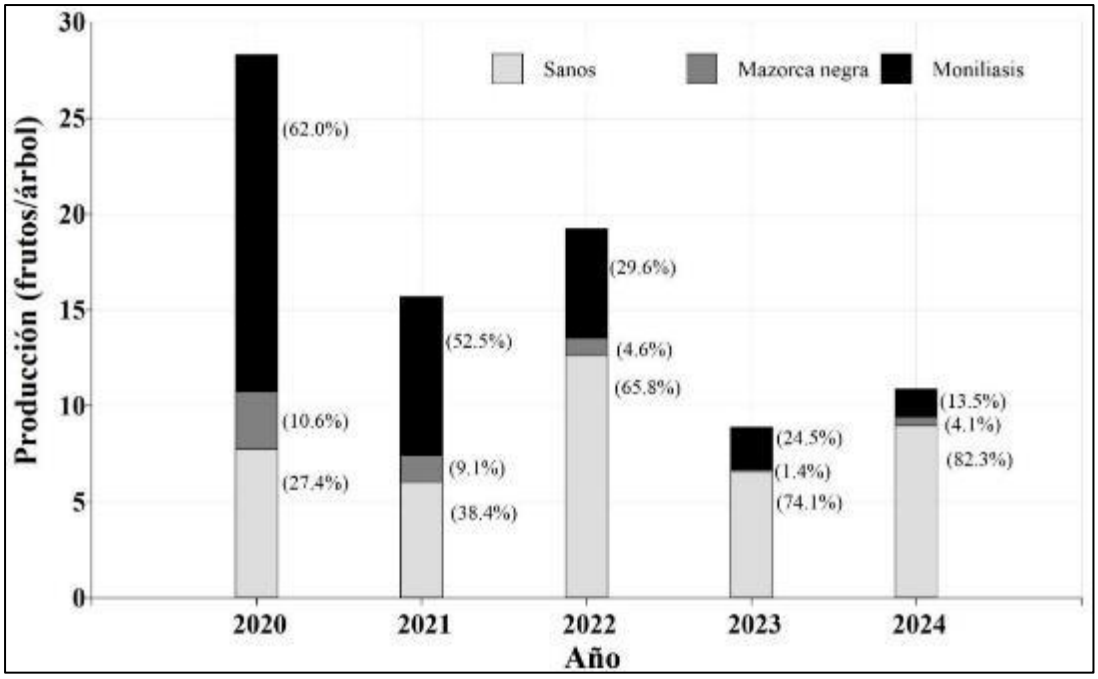


Figura 19. Distribución de la producción de frutos de cacao/árbol/año según su condición fitosanitaria en ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024.

Análisis del comportamiento de la producción por sistema de nutrición

Durante 2023 y 2024, se evaluó el efecto residual de los tratamientos de nutrición tras cuatro años de aplicaciones ininterrumpidas, suspendiendo el uso de fertilizantes. Al analizar los años como medidas repetidas (según el diseño experimental descrito en la metodología), se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.0320$) entre las fuentes de nutrición en la producción de frutos sanos por planta/año. El tratamiento químico y orgánico recomendado por laboratorio, registró las medias más altas (10.22 y 8.38 frutos/árbol), superando al control (6.65 frutos/árbol). En el rendimiento estimado de cacao seco, basado en frutos sanos, también se observaron diferencias significativas ($p = 0.0168$), destacando el tratamiento químico con 758 kg/ha/año (DE = 232 kg), alcanzando hasta 990 kg/ha/año, frente a 435 kg/ha/año del control, lo que representa un incremento del 74 % (325 kg/ha/año) atribuible a la fertilización (Cuadro 13).

En la evaluación de la sanidad de frutos, no se detectó diferencias estadísticas entre sistemas de nutrición en la incidencia de moniliasis (39-44.8 %) ni de mazorca negra (6.2-7.8 %) (Figura 20). La fertilización tradicional (CEDEC-JAS) y la nutrición orgánica mostraron rendimientos similares (622 vs 620 kg/ha/año), superando al control en un 42 % adicional (185-187 kg/ha/año) (Cuadro 13; Figura 21). En 2024, segundo año de evaluación residual, el tratamiento orgánico registró un incremento notable (775 kg/ha/año), sugiriendo un efecto residual prolongado de los abonos orgánicos (Figura 22).

Cuadro 13. Promedio por año y desviación estándar de la producción de frutos por árbol y su distribución por estado sanitario, además del rendimiento de cacao seco por año, en las diferentes fuentes para la nutrición de cacao en el CEDECJAS, La Masica, Atlántida. 2020 y 2024.

Variable de estudio	n	Tratamiento de nutrición				p-valor	R^2	C.V. (%)
		Quí ± D.E.	Org ± D.E.	Pro ± D.E.	Con ± D.E.			
Sanos	20	10.22 ± 3.07	8.38 ± 3.22	8.34 ± 2.98	6.65 ± 2.62	**0.0320**	0.82	19.2
Mazorca negra	20	1.55 ± 1.85	0.98 ± 0.76	1.09 ± 0.96	1.08 ± 1.03	0.3716	0.86	45.9
Moniliasis	20	9.57 ± 10.8	6.32 ± 4.80	6.03 ± 5.04	6.20 ± 5.59	0.2570	0.86	43.7
Cacao seco (kg/ha/año)	20	758 ± 232	620 ± 238	622 ± 219	435 ± 65	**0.0168**	0.77	21.6

Valores de p-valor < 0.05 (negrita) indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos; n: cantidad UE analizadas; Quí: química; Org: orgánica; Pro: Del productor; Con: control absoluto (sin tratamiento de nutrición); D.E.: Desviación estándar; R^2: coeficiente de determinación; C.V. (%): coeficiente de variación.

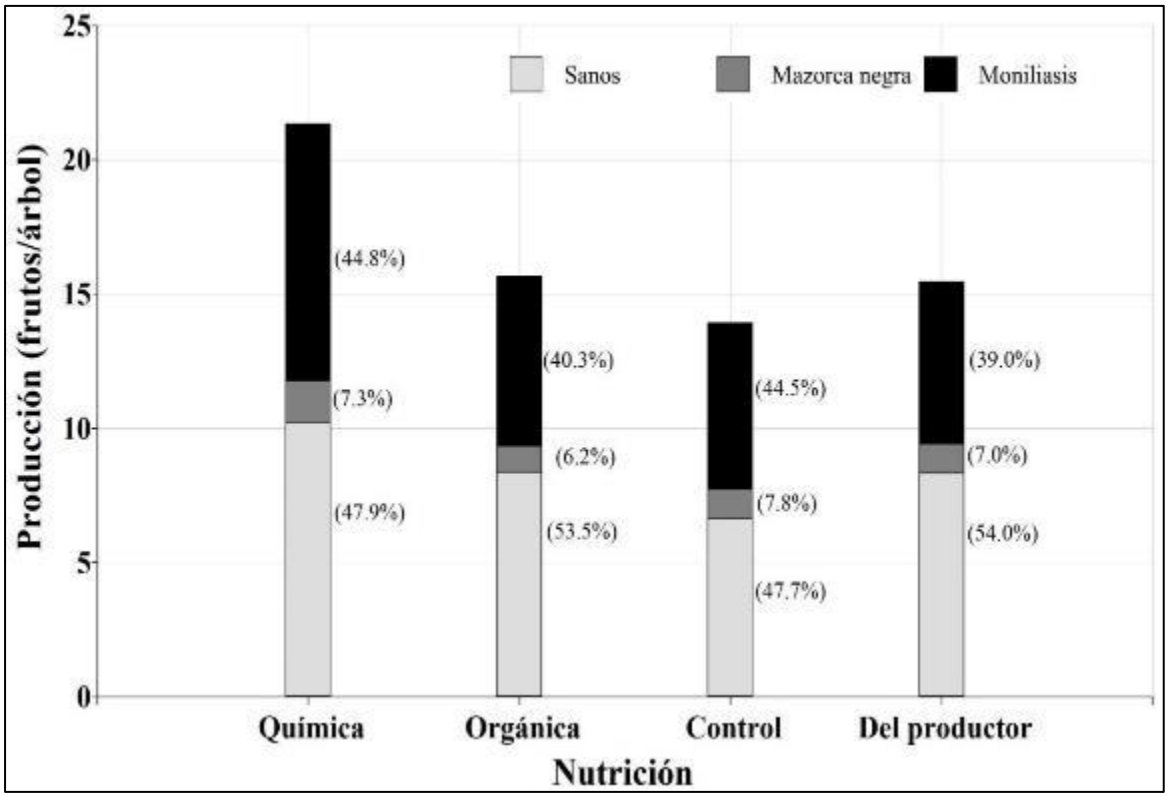


Figura 20. Distribución de la producción de frutos de cacao/árbol/año según su condición fitosanitaria en ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024.

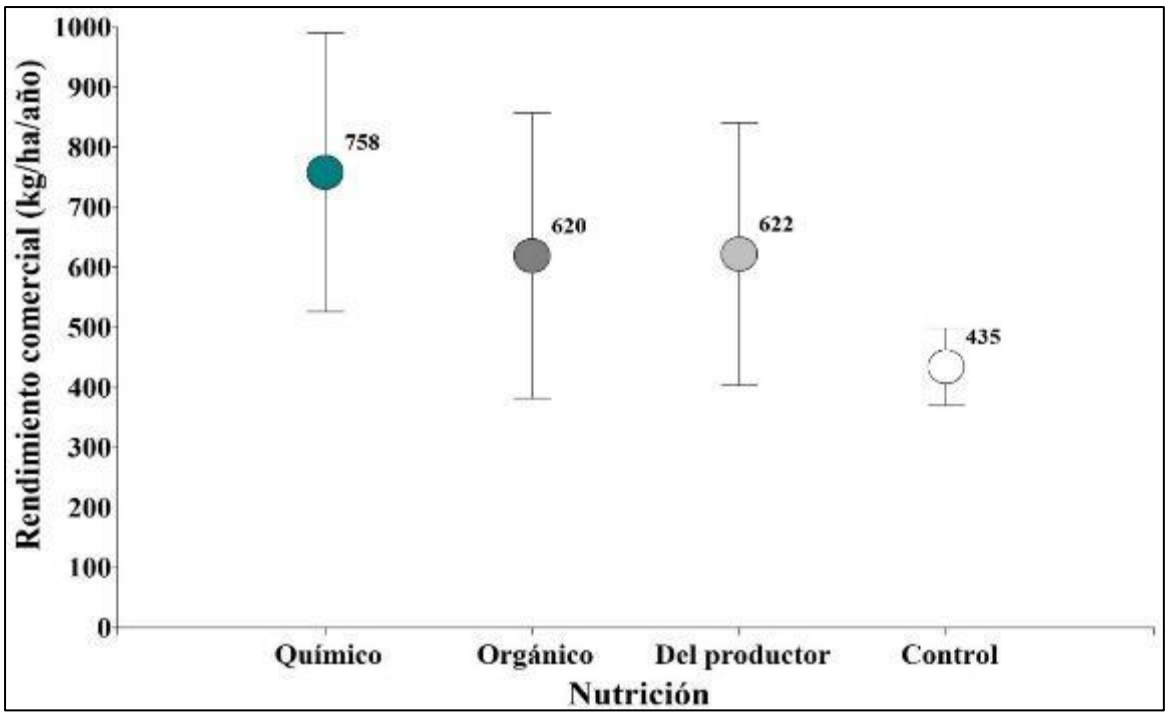


Figura 21. Producción promedio aprovechable de cacao seco en kg/ha/año por cada uno de los tratamientos del ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024.

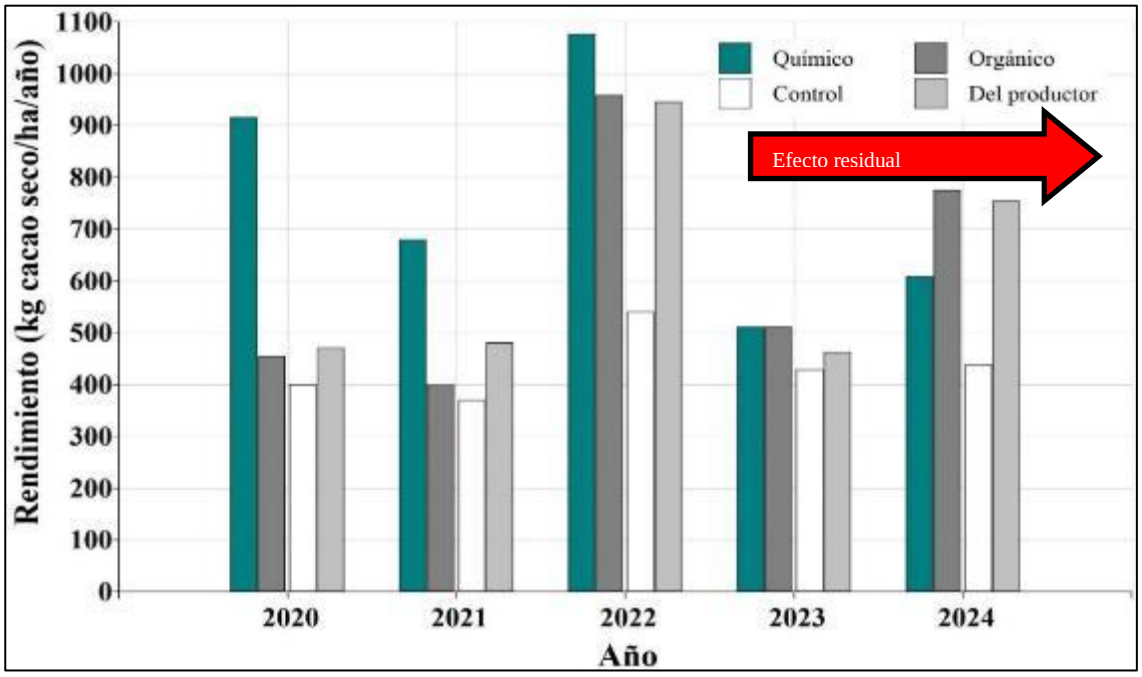


Figura 22. Evolución de la producción aprovechable de cacao seco en kg/ha/año por cada uno de los tratamientos del ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2024.

Análisis financiero

Para el análisis financiero se tomó en cuanta los precios de insumos, venta de cacao y de mano de obra del 2024, adicionando otra información de importancia como: el rendimiento del cacao en baba a cacao seco es del 37 %, lo que equivale a que 1 kg de cacao seco proviene de 2,7 kg de cacao en baba. El precio promedio del cacao en baba es de L. 28.00 por libra, mientras que el cacao en baba orgánico se comercializa a L. 30.00 por libra, considerando que 1 kg equivale a 2.205 lb.

En cuanto a la fertilización, el tratamiento químico aplicado durante cuatro años consecutivos presenta un consumo promedio de 18 oz de fertilizante por planta por año, reduciéndose a 12 oz anuales al considerar dos años de efecto residual. En el tratamiento del productor, se aplican 12 oz de fertilizante por planta por año, con una reducción a 9 oz anuales en los últimos dos años por efecto residual. Para el tratamiento con lombricompost, la aplicación promedio es de 10.4 lb por planta por año en cuatro años consecutivos, disminuyendo a 6.93 lb anuales con efecto residual. El costo del saco de fertilizante de 95 lb varía entre L. 800.00 (químico) y L. 220.00 (orgánico) en promedio. Respecto a los costos laborales, el tratamiento químico y la asistencia del productor requieren 10 días por hectárea en dos aplicaciones, con un costo de L. 300.00 por día, mientras que el tratamiento orgánico demanda 14 días por hectárea en dos aplicaciones, con un costo similar de L. 300.00.

El análisis comparativo de fertilización en cacao muestra diferencias significativas en rendimiento y rentabilidad según el tipo de tratamiento aplicado. El rendimiento promedio de cacao seco por hectárea por año es mayor en el tratamiento químico (758 kg/ha), seguido del tratamiento del productor (622 kg/ha), el tratamiento orgánico (620 kg/ha) y el control sin fertilización (435 kg/ha). En términos de rendimiento de cacao en baba, los valores siguen la misma tendencia, con 2,047 kg/ha en el tratamiento químico, 1,679 kg/ha en el productor, 1,674 kg/ha en el orgánico y 1,175 kg/ha en el control.

El precio de venta del grano en baba es mayor en los tratamientos orgánicos y de control (L. 66.15/kg) en comparación con los tratamientos químico y del productor (L. 61.74/kg). Como resultado, el ingreso bruto por hectárea es más alto en el tratamiento químico (L. 126,357.08), seguido del orgánico (L. 110,735.10), el productor (L. 103,686.16) y el control (L. 77,693.18). Por otro lado, los costos de insumos y aplicación de fertilizantes varían, siendo mayores en el tratamiento orgánico (L. 22.023,72/ha), seguido del químico (L. 10,012.63/ha) y el productor (L. 8.259,47/ha), mientras que el control no incurre en estos costos. En términos de ingreso neto, el tratamiento químico presenta el mayor valor (L. 116.344,45/ha), seguido del productor (L. 95.426,68/ha), el orgánico (L. 88.711,38/ha) y el control (L. 77.693,18/ha). En comparación con el testigo absoluto, el incremento de ingresos es del 50 % en el tratamiento químico, 23 % en el productor y 14 % con respecto al tratamiento orgánico (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis financiero de la aplicación de diferentes fuentes de nutrición en cacao de finca de CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2020-2024.

Concepto	Fertilización			
	Químico	Orgánico	Productor	Control
Rendimiento cacao seco (kg/ha)	758	620	622	435
Rendimiento cacao baba (kg/ha)	2047	1674	1679	1175
Precio de venta de grano en baba (L./kg)	61.74	66.15	61.74	66.15
Ingreso bruto (L./ha)	126,357.08	110,735.10	103,686.16	77,693.18
Costo de insumos (L./ha)	7012.63	17823.72	5259.47	0.00
Costo de aplicación de fertilizante (L./ha)	3000.00	4200.00	3000.00	0.00
Costo total (L./ha)	10012.63	22023.72	8259.47	0.00
Ingreso neto (programa de nutrición (L./ha)	116,344.45	88,711.38	95,426.68	77,693.18
Incremento ingreso % versus testigo absoluto	50 %	14 %	23 %	

El uso de abonos o fertilizantes en las condiciones del valle de La Masica, Atlántida, específicamente en el CEDEC-JAS, puede incrementar el rendimiento de cacao hasta en 400 kg de grano seco por hectárea por año (equivalente a 1,080 kg en baba) (Ramírez-Argueta *et al*., 2023; Dubón *et al*., 2007; Dubón *et al*., 2002; Dubón, 1998; Dubón *et al*., 1997) aplicando un promedio de 0.5 kg de fertilizante químico y/o 5 kg de abono orgánico, aspirando a producir una tonelada de cacao seco/ha/año. Este incremento del rendimiento estará pontenciado por la gestión de manejo de la parcela, especialmente en la gestión de sombra y poda del cacao (Ramírez-Argueta *et al*. 2021). Finalmente, la rentabilidad de la práctica de fertilización dependerá tanto de los precios de venta del cacao, ya sea en baba o seco, como del costo de la aplicación de la fertilización, particularmente de los insumos utilizados.

Análisis de la evaluación de las propiedades del suelo

El análisis de componentes principales (ACP) realizado con 12 variables de propiedades físicas y químicas del suelo, junto con el rendimiento de cacao seco, abarcó el período de 2020 a 2024 y explicó el 82.8 % de la variabilidad de los datos mediante los dos componentes principales representados en la Figura 23. El primer componente principal (CP1, eje X) explica el 50.8 % de la variabilidad, diferenciando los sistemas de nutrición con mayor contenido de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), manganeso (Mn), calcio (Ca) y magnesio (Mg) correspondientes a los tratamientos Orgánico y Control de los sistemas Químico y Del Productor, los cuales presentan mayores concentraciones de hierro (Fe), fósforo (P) y cobre (Cu). Por su parte, el segundo componente principal (CP2, eje Y) explica el 32.0 % de la variabilidad, separando los sistemas de nutrición Químico y Orgánico de los tratamientos Del Productor y Control (testigo absoluto). Los primeros dos tratamientos muestran una fuerte evaluación positiva con el rendimiento del cacao seco, así como con mayores concentraciones de potasio (K), fósforo (P) y zinc (Zn).

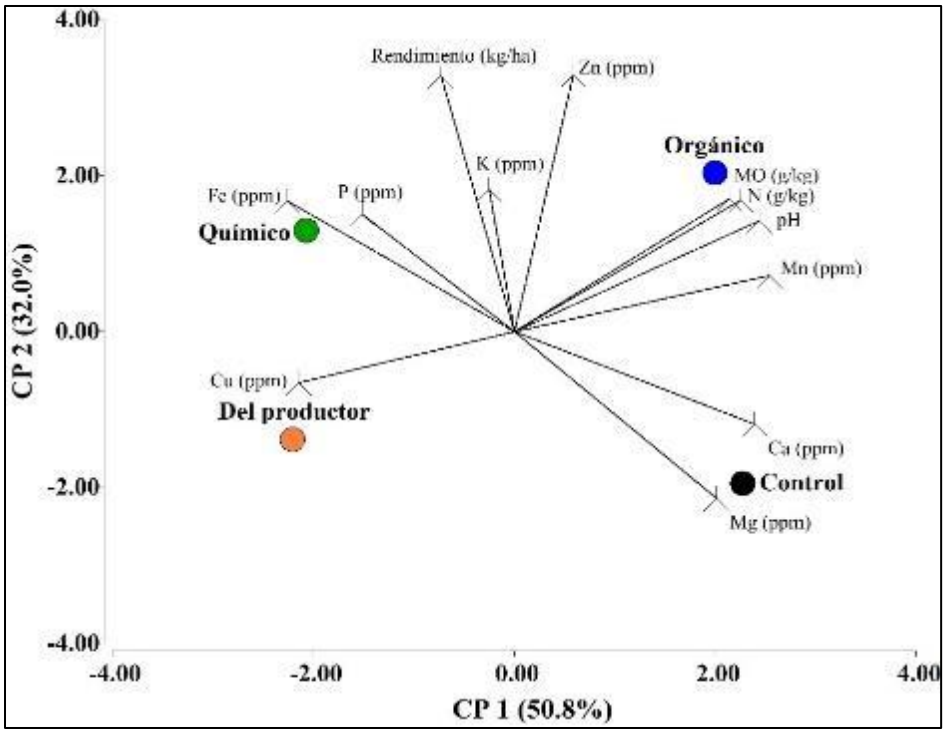


Figura 23. Biplots de CP1 y CP2, de variables químicas del suelo y el rendimiento del cacao CEDEC-JAS, La Masica, Honduras.

Conclusiones

- La aplicación de abonos o fertilizantes en las condiciones del valle de La Masica, Atlántida, específicamente en el CEDEC-JAS, puede incrementar el rendimiento del cacao en un rango promedio de 200 a 500 kg de grano seco por hectárea por año (equivalente a 540 – 1,350 kg en baba). Este aumento se logra con la aplicación de aproximadamente 0.5 kg de abono químico y/o 5 kg de abono orgánico, con la posibilidad de alcanzar hasta 1,000 kg de cacao seco por hectárea por año. Sin embargo, este incremento está estrechamente relacionado con una adecuada gestión de la parcela, en particular con el manejo de la sombra y la poda.
- La rentabilidad de la fertilización dependerá de los precios de venta del cacao, tanto en baba como en seco, así como de los costos asociados a la aplicación de los fertilizantes, en especial a los insumos utilizados. Además, se observa un efecto residual significativo en los tratamientos con abono orgánico, ya que igualan el rendimiento del tratamiento químico en el primer año de efecto residual y lo superan en el segundo año (2024). Asimismo, se evidencia un ligero incremento en los niveles de materia orgánica y nitrógeno en los suelos que recibieron fertilización orgánica, lo que sugiere beneficios adicionales a largo plazo para la sostenibilidad.

Literatura citada

Dubón, A; Sánchez, J; Herrera, J. 2007. Ensayos de nutrición en el cultivo de cacao. Pág. 30-39. *In*: Informe técnico 2006. Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.

Dubón, A; Sánchez, J. 1998. Los efectos directos y residuales de fertilización con NPK en cacao desde el estado de plantía. Pág. 15-22. *In*: Informe técnico 1997, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.

Dubón, A.; Sánchez, J; Suárez, A. 1998. Efecto en la fertilización en cacao en estado de plantía. Pág. 15-19. *In*: Informe Técnico 1997, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.

Sánchez, J; Dubón, A.1998. Efecto del arreglo y la densidad de siembra en el rendimiento y la economía de manejo del cultivo de cacao propagado vegetativamente. Pág. 16-18. *In*: Informe Técnico 1997, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.

Sánchez, J; Dubón, A; Suarez, A. 2002. Fertilización del cacao (*Theobroma cacao*) con gallinaza composteada bajo sistema de agricultura orgánica. CAC 97-03. Pág. 25-30. *In*: Informe Técnico 2001, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.

Ramírez Argueta, Orozco, L; Casanoves, F; Díaz, J. 2021. Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte de Honduras.

Anexo 2. Recomendación de dosis en los tratamientos químico y orgánico, para estimar producir 1,000 kg de cacao por hectárea. Año 2020 y 2022.

Parcela/ Plantación	Nutrición	Año 2020						Año 2021					
		Químico (mezcla física)		Orgánico (lombricomposta)		Del productor		Químico (mezcla física)		Orgánico (lombricomposta)		Del productor	
		Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta	Inicio lluvias lb/pta	Final lluvias lb/pta	Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta	Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta	Inicio lluvias lb/pta	Final lluvias lb/pta	Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta
CEDEC-JAS	Químico	12-24-12:8 NH_4NO_3: 3.5 KCl:1.5	KCl: 3.5 NH_4NO_3: 3.5					12-24-12: 6 NH_4NO_3: 4 Sulfato de Potasio: 2.5	NH_4NO_3: 2.8 Sulfato de Potasio: 3.8				
	Orgánico			1.5	1.5					11.02	5.6		
	Del productor					15-15-15: 3.6 NH_4NO_3: 1.2 KCl: 1.2	15-15-15: 3.6 NH_4NO_3: 1.2 KCl: 1.2					15-15-15: 3.6 NH_4NO_3: 1.2 KCl: 1.2	12-24-12: 3.6 NH_4NO_3: 1.2 KCl: 1.2
	Productor					0	0					0	0

Parcela/ Plantación	Nutrición	Año 2022					
		Químico (mezcla física)		Orgánico (lombricomposta)		Del productor	
		Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta	Inicio lluvias lb/pta	Final lluvias lb/pta	Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta
CEDEC-JAS	Químico	18-46-0: 4 NH_4NO_3: 4.3 KCl: 2.3	Sulfato de Amonio:4.6 KCl: 3.5				
	Orgánico			9.5	9.5		
	Del productor					15-15-15: 3.6 NH_4NO_3: 1.2 KCl: 1.2	15-15-15: 3.6 NH_4NO_3: 1.2 KCl: 1.2

Anexo 3. Análisis químico a priori de lombricomposta (orgánica) y a posteriori del insumo de abonamiento de la plantación-2.

Parámetro analizado	Lombricomposta
N (% M.S.)	1.63
P (% M.S.)	0.95
K (% M.S.)	1.22
Ca (% M.S.)	0.48
Mg (% M.S.)	0.55
S (% M.S.)	1.86
Fe (ppm)	7,860
Mn (ppm)	776
Cu (ppm)	42
Zn (ppm)	250
B (ppm)	40.6
M.O. (%)	39.08
Carbono orgánico (%)	21.79
Relación C/N	13.19

M.S.: Materia seca; ppm: partes por millón o miligramo del parámetro analizado en un kg de suelo.

IV. EVALUACIÓN DE ESPECIES FORESTALES

Tras un primer estudio de largo plazo (1987-2010) de Sistemas Agroforestales con cacao (SAF-Cacao), se evaluó en el CEDEC-JAS especies de sombra tradicional (mezcla de leguminosas Ingas, Erithrinas y Gliricidia), frutales como rambután y maderables de valor comercial (cedro y laurel negro) (Dubón y Sánchez 2010). Los resultados demostraron un mejor desempeño agroeconómico de los SAF-Cacao con especies maderables, lo que motivó a la FHIA a ampliar su investigación incorporando 36 especies maderables principalmente nativas del bosque tropical húmedo. A la fecha se ha extendido su evaluación por 28-29 años, registrando su crecimiento, adaptación como sombra permanente y dinámicas de interacción con el cacao.

El Programa de Cacao y Agroforestería emplea un diseño multifacético, evaluando las especies no solo en SAF-Cacao (integración agroforestal) y parcelas puras (monocultivos forestales) sino que también en la modalidad en línea (linderos, senderos y franjas). Esta diversificación metodológica ofrece alternativas adaptadas a zonas de ladera y ganadería. En 2022, se publicó los resultados de 12 SAF-Cacao en la revista Frontiers (Ramírez-Argueta *et al*., 2022), destacando la relación entre sombra, rendimiento y salud del cacao. Para 2024, se consolidaron datos de crecimiento y productividad de las 24 especies restantes en SAF-Cacao (Ramírez-Argueta *et al*., 2024). Además, en alianza con la UNACIFOR (Universidad Nacional de Ciencias Forestales), se inició una línea de investigación que determina las propiedades físico-mecánicas de la madera de cuatro especies: granadillo rojo, hormigo, caoba del Atlántico y San Juan Guayapeño, para conocer su calidad y categorizar sus usos en la industria (Alvarado *et al*. 2024).

Las propiedades físico-mecánicas de la madera son parámetros que permiten conocer el nivel de trabajabilidad; es decir, la capacidad de soportar fuerzas externas durante su transformación. Por ejemplo, la densidad está directamente relacionada a la resistencia para soportar ataques de plagas y también a la facilidad para dimensionarla en el aserrío. Por otro lado, estas características son importantes en construcciones, pues la capacidad de soportar fuerzas que intenten su estiramiento o forma es vital para mantener la calidad de la estructura. En conclusión, las mediciones físico-mecánicas permiten desarrollar el criterio técnico sobre la utilización de las especies, ya sea para construcción o transformación.

En 2024, la colaboración con UNACIFOR se amplió, estudiando las propiedades físico-mecánicas de ocho especies adicionales: barba de jolote, cedrillo, limba, San Juan areno, marapolán, Rosita, cedro de la India y laurel negro. Debido a la magnitud del estudio, estos resultados serán finalizados y publicados en 2025. Paralelamente, se construyeron curvas de crecimiento tomando como base el registro histórico entre 23-29 años en las 16 especies evaluadas en sistemas de árboles en línea, integrando métricas como: diámetro a la altura del pecho (DAP, cm), volumen comercial (m^3/árbol) y biomasa en volumen comercial (t/árbol) y captura de carbono equivalente (t/árbol) estimada a partir del volumen comercial, un indicador crítico para cuantificar su contribución a la mitigación de gases de efecto invernadero. Estos avances no solo fortalecen la base científica para el manejo forestal sostenible, sino que proporcionan herramientas prácticas para que los agricultores equilibren productividad, rentabilidad y resiliencia ambiental.

Asimismo, en el 2024, se inició con el desarrollo de los Factores de Expansión de Biomasa (FEB), elaborados a partir del análisis de árboles de las especies almendro de río y guapinol. Finalmente, en colaboración con la UNAG (Universidad Nacional de Agricultura y Ganadería), se ha iniciado con el diseño y metodología de evaluación de la biodiversidad (riqueza y abundancia) de aves y mamíferos en CEDEC-JAS y CADETH-AMR y la riqueza y abundancia del mono aullador (*Alouatta palliata*) del CADETH-AMR. Este estudio finalizará con la presentación de resultados en 2025.

4.1. Estudio de especies forestales latifoliadas bajo la modalidad de árboles en línea CAC 02-02

Oscar Ramírez Argueta, Aroldo Dubón, Javier Díaz y Jesús Sánchez
Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen
Árboles de 16 especies forestales del bosque latifoliado fueron establecidos en parcelas de medición permanente (PMP) bajo la modalidad de linderos en el CEDEC-JAS de La Masica, Atlántida. Las variables medidas inicialmente incluyeron el diámetro a la altura de pecho (DAP) y la altura comercial (a la bifurcación del fuste); con estas mediciones de determinó las estimaciones de volúmenes comerciales utilizando la formula John Rooper. También, se elaboró la curva de crecimiento de los árboles para cada especie, con sus respectivos modelos de regresión que proyectan el crecimiento del árbol hasta de 29 años de edad. Finalmente se realizó el cálculo de estimaciones del índice de fuste aprovechable y factor de forma (relacionado a la conicidad del fuste), la biomasa, el carbono equivalente capturado para cada especie, así como su densidad básica.

Los resultados indican que existen variaciones en el crecimiento entre las especies a lo largo de su vida de desarrollo. Especies como *Terminalia ivorensis* determinó el mayor índice de fuste aprovechable, mientras que *Pterocarpus havesii* registró el menor índice aprovechable. Para el factor de forma, *Vochysia guatemalensis* registró el más alto índice lo que denota que es una especie con troncos cilíndricos y óptimos para aserrío; mientras que, *Huertea cubensis* muestra fustes más cónicos. La densidad básica determina la dureza /trabajabilidad de la madera y para este caso, *Tabebuia guayacan* determinó el mayor valor 1.142 t/m^3. Finalmente, para el análisis de las curvas de crecimiento, el análisis determinó 5 grupos estadísticamente diferenciados en donde la *Terminalia superba* se muestra como la especie de más rápido crecimiento bajo esta modalidad de plantación. Las tendencias observadas en biomasa (t/árbol) y carbono equivalente (t/árbol) son

consistentes con las de volumen. *T. superba* se distingue nuevamente a los 24 años, presentando los valores más altos de biomasa (4.8 t/árbol) y carbono equivalente (8.7 t/árbol). El establecimiento de especies forestales en linderos representa una estrategia prometedora para la reforestación, la conservación de recursos naturales y el uso eficiente del suelo.

Introducción

La siembra de árboles en sistemas lineales (linderos, bordes de caminos internos, drenajes o demarcación de áreas productivas) constituye una estrategia eficiente para optimizar el uso del suelo en fincas, permitiendo a los productores valorizar espacios marginales no aptos para cultivos convencionales o que se utilizan como corredores. Esta práctica no solo proporciona productos maderables primarios, como madera de aserrío, rollos y postes, sino también subproductos como leña, resinas y semillas. El Programa de Cacao y Agroforestería promueve activamente la incorporación de especies arbóreas con valor comercial en la industria maderera, tanto en sistemas agroforestales como en linderos, con el fin de potenciar la productividad del suelo, incrementar los ingresos económicos de los productores y generar beneficios ambientales complementarios, como la conservación de la biodiversidad, la captura de carbono y la restauración paisajística.

El Programa adicionalmente ha monitoreado el comportamiento de 16 especies latifoliadas en linderos del valle de La Masica, Atlántida, registrando parámetros dasométricos anuales como el diámetro a la altura del pecho (DAP, en cm), altura total (m), altura comercial (m) y volumen maderable (m^3/árbol y m^3/km lineal), calculado inicialmente mediante la fórmula de Smalian. En 2015, se adoptó la fórmula de John Rooper para estimar volúmenes comerciales basados en la altura hasta la primera rama (altura comercial). Para 2024, el estudio se amplió con la cuantificación de biomasa y carbono equivalente (t/árbol), además de la construcción de curvas de crecimiento para todas las variables analizadas, incluyendo estas nuevas métricas. El objetivo central de esta investigación de largo plazo (28+ años) es evaluar la adaptación y el desarrollo dasométrico de las especies en condiciones de bosque húmedo tropical del norte de Honduras, con el fin de generar recomendaciones técnicas para su establecimiento en áreas subutilizadas de sistemas productivos. Los hallazgos buscan guiar a los productores en la integración estratégica de árboles en línea, transformando espacios improductivos en activos económicos y ecológicos bajo un enfoque de sostenibilidad integral.

Materiales y métodos

Se establecieron aproximadamente 1,200 individuos procedentes de 16 especies maderables (Anexo 4) latifoliadas (tradicionales y no tradicionales con potencial maderero) entre 1987 y 2000 (Cuadro 15), bajo condiciones ambientales propias del Bosque Tropical Húmedo (Bt-H) propias del CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida (Coordenadas: 15.64554, -87.09986, 18-20 msnm, precipitación media anual: 3,000 mm y temperatura: 25.5-27.5 °C), que cuenta con suelos planos y de fertilidad baja a media. Las evaluaciones se realizaron en parcelas de medición permanente (PMP), unidades de investigación forestal diseñadas para monitorear el comportamiento dasométrico de especies a lo largo de su turno, sin emplear diseños estadísticos clásicos. Cada especie se plantó en hileras simples con espaciamiento de 5-6 m entre árboles.

A partir del segundo año, se midió anualmente parámetros dasométricos mediante protocolos estandarizados: diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) con pie de rey y cinta diamétrica, y altura total (m) con vara telescópica y clinómetro. Las lecturas se realizaron en submuestras de 5-25 árboles por especie (excluyendo individuos extremos), ajustándose el tamaño muestral tras raleos

sucesivos. Desde el establecimiento hasta el 2014 se registró el DAP y altura total realizando con esta los cálculos de volumen maderable. A partir de 2015 a la fecha, se adoptó la altura comercial (altura a la bifurcación del fuste) y utilizando la fórmula de John Rooper (Dubón y Sánchez, 2016), se calcularon las nuevas estimaciones de volúmenes comerciales; por lo que, en 2015, se comenzó a medir la altura comercial en lugar de la altura total.

En 2024, se elaboró la curva de crecimiento de los árboles para cada especie, con sus respectivos modelos de regresión lineal $Y = \beta o + \beta 1(x) + \beta 2(x)^2 + \beta 3(x)^3$ utilizando el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo, 2019) (Cuadros 16, 17, 18 y 19), comparando edades desde 1 hasta 29 años, siendo esta última la edad predominante en 2024 para las especies establecidas entre 1995 y 1996 (Cuadro 15). Adicionalmente, se estimó la biomasa y el carbono equivalente acumulado en el volumen comercial. Se empleó una tercera metodología para la estimación del volumen comercial, utilizando el DAP, la altura comercial y un factor de forma (factor de conicidad de troza comercial utilizando el DAP y el diámetro a la altura comercial). Para obtener la altura comercial en el período anterior a 2015, se aplicó un factor de conversión: la relación entre la altura comercial (AC) y la altura total (AT).

Este factor, calculado en 2024, se determinó dividiendo la AC entre la AT en cada uno de los árboles por especie. Adicionalmente, se estimó la densidad de la madera al 12 % de humedad dividiendo la masa entre el volumen (Cuadro 15). Con esta información, se realizaron estimaciones de biomasa y, a partir de esta, se estimó el carbono multiplicando la biomasa por la constante 0.5. Finalmente, se estimó el carbono equivalente capturado multiplicando el carbono por 3.97 (relación peso CO_2 sobre C). Estas dos últimas variables se midieron únicamente en volumen comercial o Vc (Ramírez-Argueta *et al.* 2022).

Resultados

En el Cuadro 15, se presenta el análisis de los datos de las 16 especies mostrando variaciones significativas en parámetros clave para la industria forestal. En el factor altura comercial/altura total (AC/AT), que determina la proporción del fuste aprovechable, el framire (*Terminalia ivorensis*) registró el valor máximo (0.87), indicando un fuste recto con ramificación tardía, ideal para trocería de alta calidad. En contraste, el sangre blanco presentó el mínimo valor (0.19), lo que sugiere una mayor ramificación basal, limitando su uso a la fabricación de productos de menor exigencia dimensional. El promedio general (0.43) refleja que la mayoría de las especies, como cedro (0.34) y laurel blanco (0.31), se alinean con troncos moderadamente aprovechables.

En el factor de forma (relacionado con la conicidad del fuste), la especie San Juan de pozo destacó con el máximo (0.94), denotando troncos cilíndricos óptimos para aserrío, mientras que cedrillo y teca mostraron el mínimo (0.33 y 0.35), asociado a fustes más cónicos. El promedio (0.84) evidencia que especies como matasano (0.87) y caoba del Atlántico (0.88) superan la media, garantizando eficiencia en el procesamiento primario.

Respecto a la densidad básica de la madera, la especie cortés registró el valor máximo (1.142 t/m³), clasificándose como una especie de alta densidad, apta para la fabricación de estructuras y pisos, mientras que la especie pochote (0.335 t/m³) presentó la densidad más baja, restringiendo su uso a aplicaciones livianas como tallado o embalaje. El promedio (0.561 t/m³) sitúa a especies como laurel negro (0.459 t/m³) y limba (0.430 t/m³) por debajo de la media, mientras que matasano (0.936 t/m³) y teca (0.669 t/m³) superan ampliamente este valor (Cuadro 15), destacando como materiales

duraderos. Estos datos subrayan la importancia de seleccionar especies según objetivos industriales; es decir, el framire y San Juan de pozo para trocería premium, el cortés para resistencia mecánica y la teca para equilibrio entre densidad y forma comercial.

Cuadro 15. Resumen de variables dasométricas complementarias para la construcción de curvas de crecimiento y correlación entre variables, de especies maderables evaluadas en línea. La Masica, Atlántida. 2024.

#	Nombre científico	Nombre común	Año de establecimiento	Años de registro	Factor: AC/AT (0-1)	Factor de forma (0-1)	Dm (t/m^3)
1	*Casimiroa edulis*	Matasano	1999	2002-2024	0.27	0.87	0.936
2	*Cedrela odorata*	Cedro	1987	2002-2015	0.34	0.86	0.443
3	*Cordia alliodora*	Laurel blanco	1987	1999-2024	0.31	0.87	0.507
4	*Cordia megalantha*	Laurel negro	1987	1999-2024	0.66	0.83	0.459
5	*Guarea grandifolia*	Marapolán	1996	2002-2024	0.29	0.88	0.528
6	*Huertea cubensis*	Cedrillo	1995	2002-2024	0.37	0.79	0.460
7	*Khaya ivorensis*	Caoba de Lagos	1995	2002-2024	0.33	0.74	0.520
8	*Bombacopsis quinata*	Pochote	1996	2002-2024	0.25	0.82	0.335
9	*Pterocarpus hayesii*	Sangre blanco	1995	2002-2024	0.19	0.83	0.440
10	*Swietenia macrophylla*	Caoba del atlántico	1987	1999-2009	0.40	0.88	0.537
11	*Tabebuia guayacan*	Cortés	1996	2002-2024	0.39	0.84	1.142
12	*Tectona grandis*	Teca	1989	1999-2009	0.38	0.79	0.669
13	*Terminalia ivorensis*	Framire	1987	1999-2024	0.87	0.82	0.652
14	*Terminalia superba*	Limba	2000	2002-2024	0.74	0.79	0.430
15	*Virola koschnyi*	Sangre rojo	1995	2002-2024	0.67	0.84	0.500
16	*Vochysia guatemalensis*	San Juan de pozo	1995	2002-2024	0.43	0.94	0.411
	Promedio				**0.42**	**0.84**	**0.589**

AC: altura comercial; AT: altura total; Ff: factor de forma; Dm: Densidad de madera

Resultados en las curvas de crecimiento

DAP (cm). El análisis dasométrico reveló cinco grupos diferenciados (identificados por colores en la Figura 24), basados en las tasas de crecimiento diametral. La limba (*Terminalia superba*) destacó como la especie con el mayor incremento, alcanzando un DAP de 92 cm a los 24 años, valor significativamente superior al de las demás especies, a pesar de tener cinco años menos de evaluación comparado con el periodo total de 29 años. Este comportamiento sugiere una adaptación excepcional al sitio y una tasa de crecimiento anual elevada (3.83 cm/año). El maderable San Juan de pozo (*Vochysia guatemalensis*) mostró un patrón similar a limba durante la primera década (DAP = 83 cm a los 24 años, 9 cm menos que limba), pero su crecimiento se estabilizó posteriormente, registrando 91.5 cm a los 29 años. En contraste, cedrillo (*Huertea cubensis*) presentó el menor desempeño con un DAP de 38.0 cm a los 24 años (54 cm menos que limba) y 42.1 cm a los 29 años, valor equivalente al que limba alcanzó a los 9 años. Esta divergencia evidencia una tasa de crecimiento anual crítica (1.58 cm en cedrillo vs 3.83 cm por año en limba). Los datos mostrados pueden utilizarse como soporte técnico en la decisión de que especie forestal establecer. Por ejemplo, si la intención fuese obtener madera para embalaje de forma rápida, la

limba y San Juan del pozo serían los mejores candidatos. Sin embargo, demos considerar que el retorno de la es más atractivo en el tiempo, pues el San Juan del pozo desacelera su tasa de crecimiento después de 10 años, pero, la madera de esta especie es más densa y, por lo tanto, mejor para estructuras, por lo que podría representar un ingreso económico mayor.

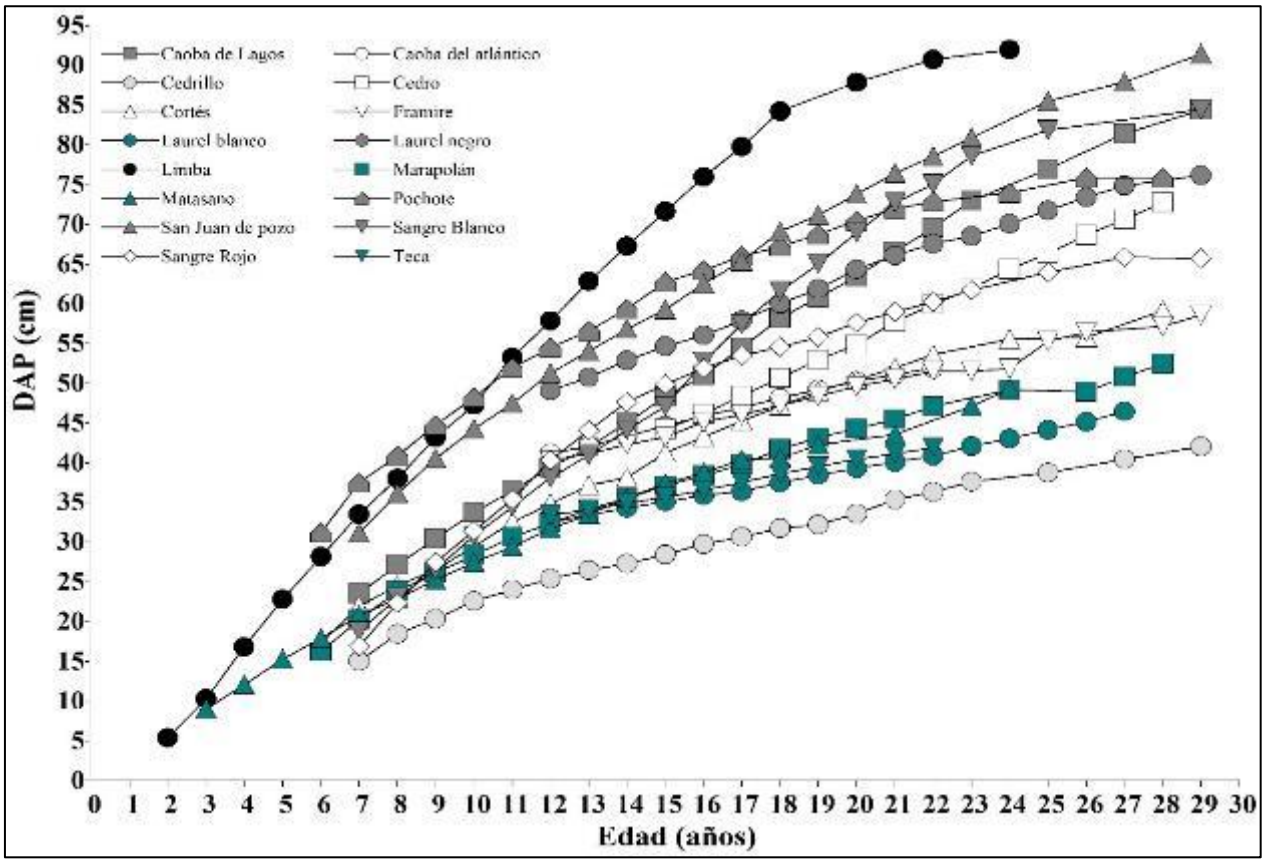


Figura 24. Curvas de crecimiento en DAP (cm) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica no diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2024.

Volumen comercial (Vc m³). Al igual que los grupos observados en el diámetro a la altura del pecho (DAP), los cuales se representan mediante colores en la Figura 25. La especie limba destaca por su alta productividad, alcanzando un volumen maderable de 11.1 m³/árbol. Esta cifra se traduce en un volumen total de 1,843 m³/km en una plantación lineal con una densidad de 166 árboles por kilómetro, asumiendo un espaciamiento de 6 metros entre árboles. La limba no solo exhibe la mayor tasa de crecimiento, sino que también supera significativamente al resto de las especies evaluadas. Su volumen promedio es casi 15 veces superior al de la especie con menor crecimiento, el Cedrillo, cuyo volumen a los 24 años es de apenas 0.75 m³/árbol. Es notable que, a pesar de tener cinco años menos, que la segunda especie con mayor crecimiento, también la supera en 2.6 m³/árbol (San Juan de pozo = 8.5 m³/árbol).

Las tendencias observadas en biomasa (t/árbol) y carbono equivalente (t/árbol) son consistentes con las de volumen. La limba se distingue nuevamente a los 24 años, presentando los valores más altos de biomasa (4.8 t/árbol) y carbono equivalente (8.7 t/árbol). En contraste, el cedrillo se mantiene como la especie con los valores más bajos en ambos parámetros (0.5 y 0.8 t/árbol, respectivamente), como se detalla en las Figuras 26 y 27.

Cuadro 16. Modelos con mejor ajuste para la estimación del DAP (cm) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2024.

Especie maderable	β0	±	E.E.	β1	±	E.E.	β2	±	E.E.	β3	±	E.E.
Matasano	-2.27195	±	0.98759	4.06444	±	0.28429	-0.12437	±	0.02340	0.00180	±	0.00057
Cedro	28.05712	±	8.61085	-0.41005	±	1.24526	0.13045	±	0.05889	-0.00210	±	0.00091
Laurel blanco	19.12034	±	2.45245	1.55134	±	0.39976	-0.04830	±	0.02105	0.00105	±	0.00036
Laurel negro	38.48436	±	5.75348	-0.31556	±	0.90099	0.13144	±	0.04536	-0.00261	±	0.00074
Marapolán	-6.05463	±	2.39243	4.70531	±	0.50341	-0.14936	±	0.03194	0.00198	±	0.00062
Cedrillo	-3.04304	±	2.68441	3.45514	±	0.52379	-0.11347	±	0.03125	0.00167	±	0.00058
Caoba de lagos	8.96132	±	2.17245	1.55256	±	0.42390	0.11076	±	0.02529	-0.00256	±	0.00047
Pochote	-2.31393	±	1.79742	6.87961	±	0.37889	-0.20272	±	0.02412	0.00203	±	0.00047
Sangre blanco	12.77643	±	4.24929	-0.97103	±	0.82873	0.34261	±	0.04942	-0.00771	±	0.00092
Caoba del Atlántico	39.80761	±	4.38721	-1.41209	±	0.80196	0.17162	±	0.04795	-0.00374	±	0.00094
Cortes	-2.61324	±	0.86093	3.79817	±	0.11290	-0.05762	±	0.00336			
Teca	48.83636	±	3.26180	-3.87381	±	0.59624	0.28164	±	0.03565	-0.00545	±	0.00070
Framire	27.49301	±	0.64029	1.07956	±	0.03086						
Limba	-3.93056	±	1.05808	4.77308	±	0.33434	0.10383	±	0.02937	-0.00566	±	0.00075
Sangre rojo	-40.2107	±	3.38444	10.54744	±	0.66038	-0.38039	±	0.03940	0.00496	±	0.00073
San Juan pozo	1.91486	±	0.91595	4.73244	±	0.11244	-0.05669	±	0.00316			

β0: ordenada al origen; β1- β3: coeficientes de regresión; E.E.: error estándar

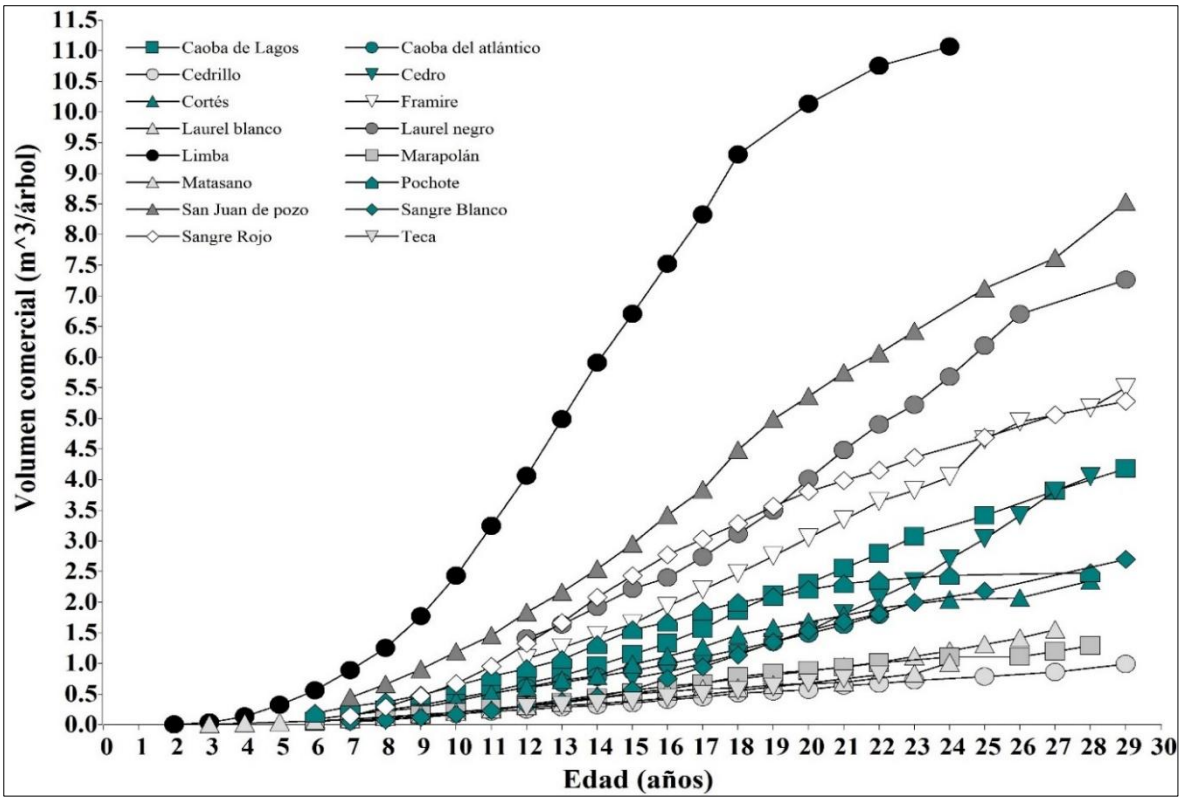


Figura 25. Curvas de crecimiento en Vc (m^3/árbol) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica que no hay diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2024.

Cuadro 17. Modelos ajustados para la estimación del Vc (m^3/árbol) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2024.

Especie maderable	β0	±	E.E.	β1	±	E.E.	β2	±	E.E.	β3	±	E.E.
Matasano	-0.04453	±	0.06956	0.00681	±	0.02002	0.00235	±	0.00165	-0.00004	±	0.00004
Cedro	6.70811	±	1.84125	-0.96453	±	0.26627	0.04584	±	0.01259	-0.00053	±	0.00019
Laurel blanco	-1.79738	±	0.12763	0.30565	±	0.02080	-0.01391	±	0.00110	0.00027	±	0.00002
Laurel negro	8.15498	±	1.56336	-1.40726	±	0.24482	0.08763	±	0.01233	-0.00138	±	0.00020
Marapolán	0.15484	±	0.10668	-0.05724	±	0.02245	0.00782	±	0.00142	-0.00016	±	0.00003
Cedrillo	-0.18671	±	0.02041	0.03413	±	0.00251	0.00021	±	0.00007			
Caoba de lagos	1.05471	±	0.17186	-0.27904	±	0.03353	0.02544	±	0.00200	-0.00042	±	0.00004
Pochote	0.06163	±	0.19147	-0.07226	±	0.04036	0.01741	±	0.00257	-0.00042	±	0.00005
Sangre blanco	1.26512	±	0.22250	-0.32317	±	0.04339	0.02523	±	0.00259	-0.00043	±	0.00005
Caoba atlántico	-0.10978	±	0.22782	0.04215	±	0.04164	0.00073	±	0.00249	0.00006	±	0.00005
Cortes	0.23215	±	0.18376	-0.09960	±	0.03875	0.01455	±	0.00247	-0.00030	±	0.00005
Teca	0.84048	±	0.11148	-0.13663	±	0.02038	0.00912	±	0.00122	-0.00013	±	0.00002
Framire	2.40084	±	1.53747	-0.45440	±	0.24045	0.03536	±	0.0120.8	-0.00055	±	0.00020
Limba	1.34743	±	0.21543	-0.76870	±	0.06807	0.11863	±	0.00598	-0.00291	±	0.00015
Sangre rojo	-1.34570	±	0.47855	0.10096	±	0.09338	0.01535	±	0.00557	-0.00038	±	0.00010
San juan pozo	0.54108	±	0.52745	-0.24922	±	0.10292	0.03825	±	0.00614	-0.00070	±	0.00011

β0: ordenada al origen; β1- β3: coeficientes de regresión; E.E.: error estándar

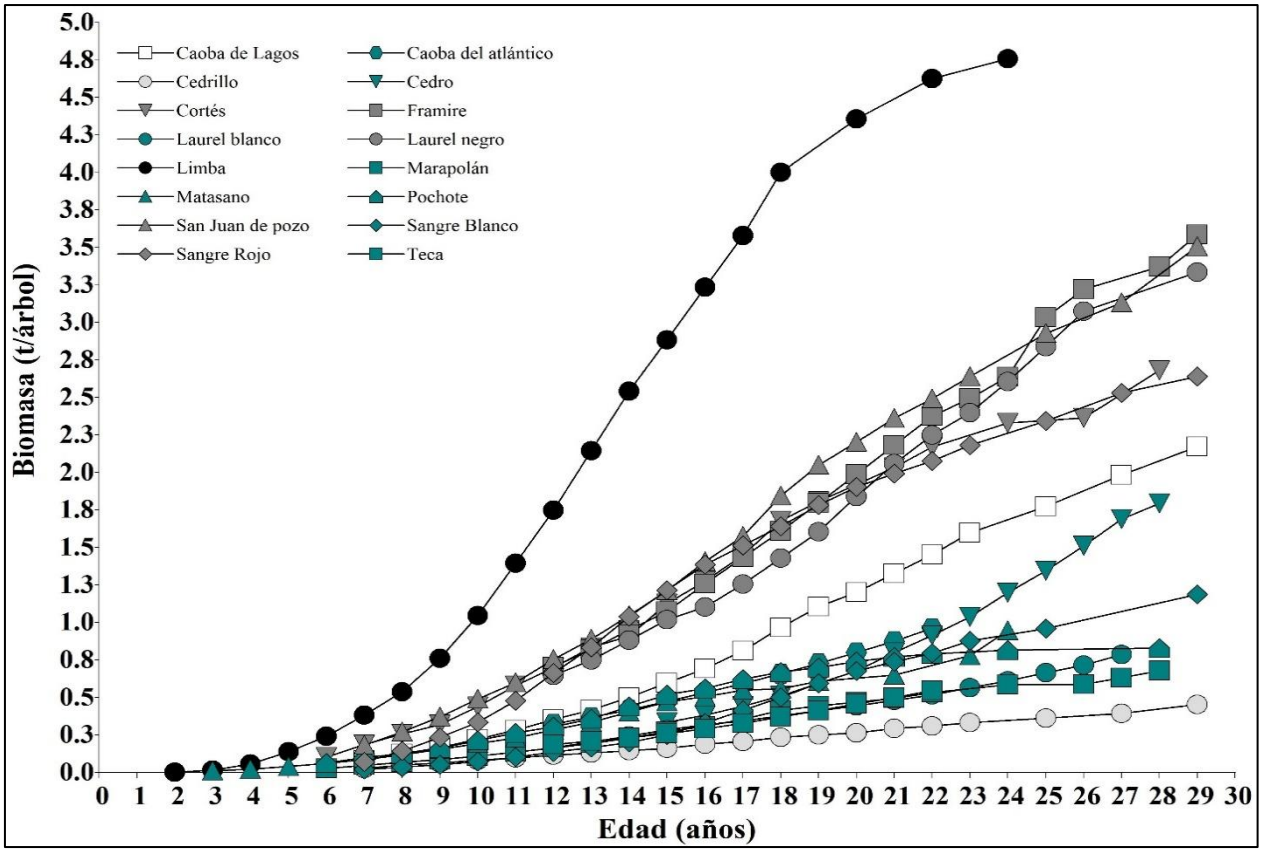


Figura 26. Curvas de crecimiento en Bio (t/árbol) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica que no hay diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2024.

Cuadro 18. Modelos ajustados para la estimación del Bio (t/árbol) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2024

Especie maderable	β0 ± E.E.	β1 ± E.E.	β2 ± E.E.	β3 ± E.E.
Matasano	-0.09557 ± 0.03363	0.02365 ± 0.00565	0.00072 ± 0.00021	
Cedro	2.97169 ± 0.81567	-0.42729 ± 0.11796	0.02031 ± 0.00558	-0.00023 ± 0.00009
Laurel blanco	-0.91127 ± 0.06471	0.15497 ± 0.01055	-0.00705 ± 0.00056	0.00013 ± 0.00001
Laurel negro	3.74314 ± 0.71758	-0.64593 ± 0.11237	0.04022 ± 0.00566	-0.00063 ± 0.00009
Marapolán	0.08176 ± 0.05632	-0.03022 ± 0.01185	0.00413 ± 0.00075	-0.00008 ± 0.00001
Cedrillo	-0.08588 ± 0.00939	0.01570 ± 0.00115	0.00010 ± 0.00003	
Caoba de lagos	0.53896 ± 0.09293	-0.14401 ± 0.01813	0.01320 ± 0.00108	-0.00022 ± 0.00002
Pochote	0.02065 ± 0.06414	-0.02421 ± 0.01352	0.00583 ± 0.00086	-0.00014 ± 0.00002
Sangre blanco	0.55665 ± 0.09790	-0.14219 ± 0.01909	0.01110 ± 0.00114	-0.00019 ± 0.00002
Caoba delAtlántico	-0.05895 ± 0.12234	0.02264 ± 0.02236	0.00039 ± 0.00134	0.00003 ± 0.00003
Cortes	0.26512 ± 0.20985	-0.11375 ± 0.04426	0.01661 ± 0.00282	-0.00034 ± 0.00006
Teca	0.56228 ± 0.07458	-0.09141 ± 0.01363	0.00610 ± 0.00082	-0.00009 ± 0.00002
Framire	1.56535 ± 1.00243	-0.29627 ± 0.15678	0.02305 ± 0.00788	-0.00036 ± 0.00013
Limba	0.57940 ± 0.09263	-0.33054 ± 0.02927	0.05101 ± 0.00257	-0.00125 ± 0.00007

Especie maderable	β0	±	E.E.	β1	±	E.E.	β2	±	E.E.	β3	±	E.E.
Sangre rojo	-0.67285	±	0.23928	0.05048	±	0.04669	0.00768	±	0.00279	-0.00019	±	0.00005
San Juan pozo	0.22238	±	0.21678	-0.10243	±	0.04230	0.01572	±	0.00252	-0.00029	±	0.00005

β0: ordenada al origen; β1- β3: coeficientes de regresión; E.E.: error estándar

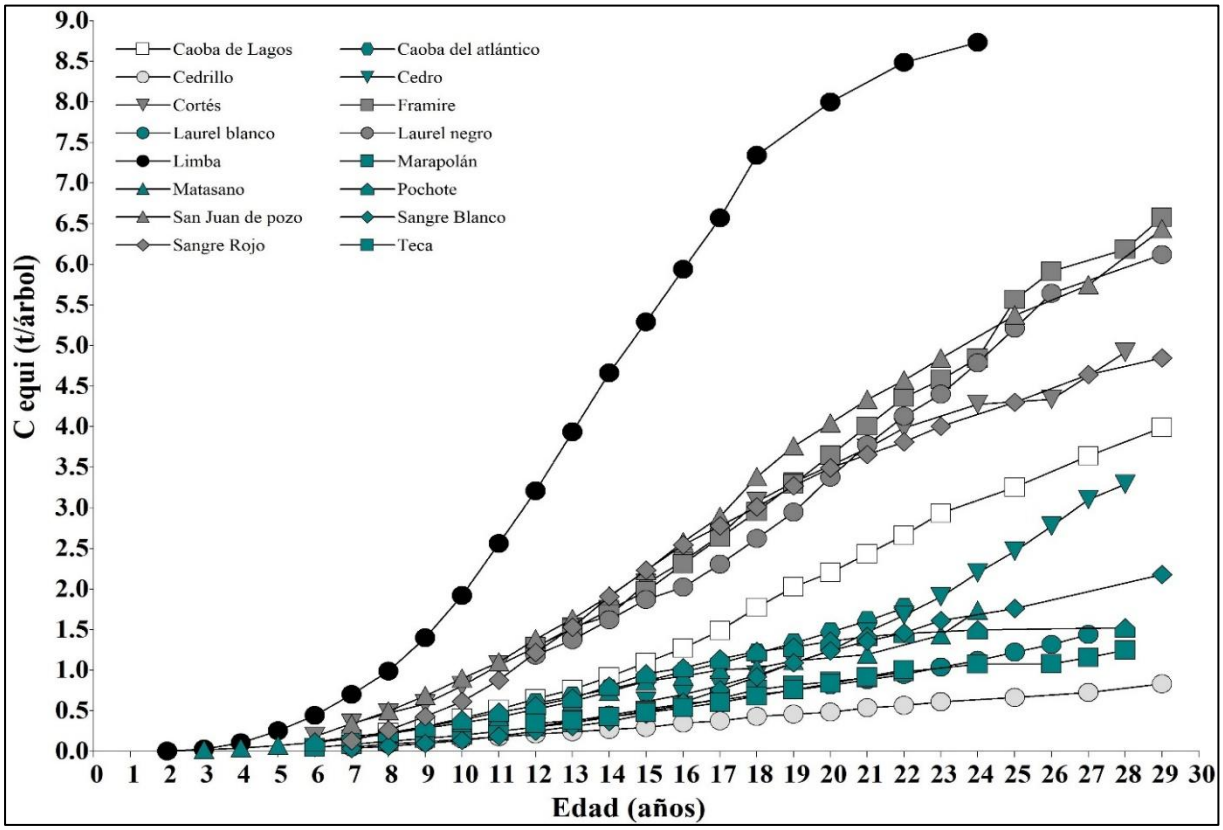


Figura 27. Curvas de crecimiento en C equi (t/árbol) de 16 especies maderables en línea. El mismo color indica que no hay diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2024.

Cuadro 19. Modelos para la estimación C equivalente (t/árbol) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2024

Especie maderable	β0 ± E.E.	β1 ± E.E.	β2 ± E.E.	β3 ± E.E.
Matasano	-0.17536 ± 0.06172	0.04341 ± 0.01036	0.00132 ± 0.00038	
Cedro	5.45306 ± 1.49676	-0.78407 ± 0.21645	0.03726 ± 0.01024	-0.00043 ± 0.00016
Laurel blanco	-1.67219 ± 0.11874	0.28436 ± 0.01935	-0.01294 ± 0.00102	0.00025 ± 0.00002
Laurel negro	6.86866 ± 1.31677	-1.18528 ± 0.20620	0.07381 ± 0.01038	-0.00116 ± 0.00017
Marapolán	0.15002 ± 0.10336	-0.05546 ± 0.02175	0.00758 ± 0.00138	-0.00015 ± 0.00003
Cedrillo	-0.15760 ± 0.01723	0.02881 ± 0.00211	0.00017 ± 0.00006	
Caoba de lagos	1.01017 ± 0.16961	-0.26691 ± 0.03309	0.02431 ± 0.00197	-0.00040 ± 0.00004
Pochote	0.03789 ± 0.11770	-0.04442 ± 0.02481	0.01070 ± 0.00158	-0.00026 ± 0.00003
Sangre blanco	1.02145 ± 0.17964	-0.26093 ± 0.03504	0.02037 ± 0.00209	-0.00035 ± 0.00004
Caoba delAtlántico	-0.10818 ± 0.22450	0.04154 ± 0.04104	0.00072 ± 0.00245	0.00006 ± 0.00005
Cortes	0.48649 ± 0.38507	-0.20872 ± 0.08121	0.03048 ± 0.00517	-0.00063 ± 0.00010
Teca	1.03179 ± 0.13686	-0.16773 ± 0.02502	0.01120 ± 0.00150	-0.00016 ± 0.00003
Framire	2.87241 ± 1.83946	-0.54366 ± 0.28768	0.04230 ± 0.01445	-0.00066 ± 0.00023
Limba	1.06319 ± 0.16998	-0.60654 ± 0.05371	0.09361 ± 0.00472	-0.00229 ± 0.00012
Sangre rojo	-1.23468 ± 0.43907	0.09263 ± 0.08567	0.01409 ± 0.00511	-0.00035 ± 0.00009
San juan pozo	0.40807 ± 0.39780	-0.18796 ± 0.07762	0.02885 ± 0.00463	-0.00053 ± 0.00009

β0: ordenada al origen; β1- β3: coeficientes de regresión; E.E.: error estándar

Conclusiones

El estudio reveló diferencias significativas en las tasas de crecimiento de las especies maderables evaluadas. Especies como la limba, San Juan de Pozo y laurel negro se presentan como alternativas viables para la producción de madera a corto plazo, gracias a su rápido crecimiento, tanto así, que a los 12 años alcanzan diámetros de corte de 50 cm. No obstante, es crucial considerar que estas especies podrían generar competencia con cultivos colindantes. En contraste, especies como la Caoba del Atlántico, el Cedro y el Cortés se perfilan como opciones adecuadas cuando se busca minimizar el impacto sobre el rendimiento de cultivos adyacentes.

En términos generales, el establecimiento de estas especies forestales en linderos representa una estrategia prometedora para la reforestación, la conservación de recursos naturales y el uso eficiente del suelo. Además, esta práctica ofrece una fuente de ingresos a largo plazo, lo que subraya la importancia de promover su adopción entre productores de regiones tropicales húmedas.

Literatura citada

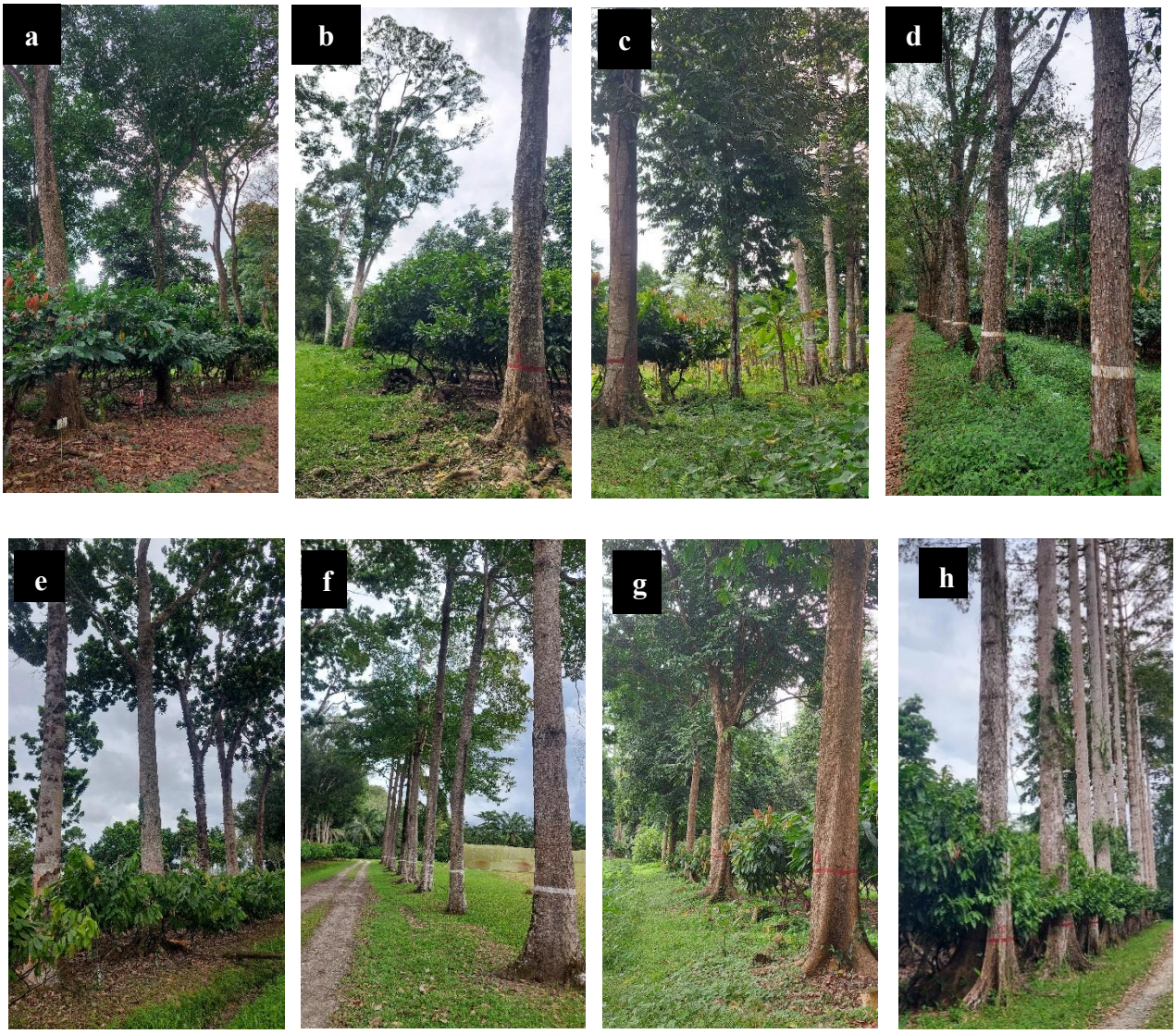
Alvarado, J; Gutierrez, A; Perdomo, M; Muñoz, R; Ramírez, O; Martínez, A. 2024. Evaluación de las propiedades físico mecánicas de las especies *Tabebuia donnell smithii*, *Swietenia macrophylla*, *Platymiscium dimorphandrum* y *Dalbergia glomerata* en ambiente natural contra plantación agroforestal de la FHIA, en el departamento de Atlántida, Honduras. *In* Programa de Cacao y Agroforestería. Cortés, Honduras, FHIA. p. 57-62. (Informe técnico 2023).

Di Rienzo JA; Casanoves F; Balzarini MG; González L; Tablada M., Robledo CW. 2019. InfoStat versión 2019 Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Dubón, A; Sánchez, J. 2016. Manual de producción de cacao. 2nd edición. Cortés, Honduras, FHIA. 264 p.

Ramírez Argueta, O. A. (2022). Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte de Honduras.

Anexo 4. Especies maderables: a) Cortés, b) San Juan de pozo, c) Sangre rojo, d) Caoba del atlántico, e) Caoba de Lagos f) Framire, g) Marapolán, h) Limba, i) Cedrillo, j) Pochote k) Sangre blanco y l) Teca.



V. PUBLICACIONES, CURSOS Y SERVICIOS ESPECIALES

Dentro de esta sección, presentamos actividades de investigación encaminadas a nuevas publicaciones y también actividades dentro de proyectos especiales de asistencia técnica y capacitación que brindamos a solicitud de proyectos o empresas interesadas.

5.1. CacaoFIT: the network of Cacao Field Trails in Latin America and its contributions to sustainable cacao farming in the region.

Oscar Ramirez Argueta[1], Fco. Javier Díaz[1], Luis Orozco[2]
[1]Programa de Cacao y Agroforestería, FHIA
[2]Centro Agrícola Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

En el mes de julio se publicó en la revista científica *Frontiers* (Volumen 8-2024) los resultados del estudio que engloba todas las actividades de investigación que se desarrollan en el rubro de cacao por diferentes instituciones en América. En el documento se presentan las cuatro investigaciones con mayor relevancia para el rubro de cacao en América y dentro estas, se destacan las diferentes actividades de investigación que la FHIA, a través de su Programa de Cacao y Agroforestería, viene realizando en mejoramiento genético de cacao y de la valoración desde la perspectiva agroeconómica de especies forestales asociadas con cacao durante 25 años.

5.2. Transferencia de conocimientos

Durante este año se enfocaron esfuerzos en eventos de capacitación, los cuales se resumen a continuación.

5.2.1. Intercambio de experiencias sobre aspectos relevantes para la propagación, manejo y cosecha en el cultivo del cacao en SAF

Este evento fue desarrollado a solicitud de ICADE para capacitar a 14 productores y 2 técnicos provenientes de municipios del departamento de Olancho. La duración del evento fue 4 días y durante la capacitación se incluyeron temas relacionados a la producción de plantas de cacao y de especies forestales, prácticas de manejo de los cultivos asociados al sistema agroforestal con cacao y complementado con aspectos de cosecha y beneficiado del cacao.

5.2.2. Curso de producción de cacao sostenible y con resiliencia al cambio climático

Este evento fue realizado a solicitud del Proyecto HEIFER y se capacitó a 15 personas entre productores y técnicos de Olancho sobre nuevas prácticas para el manejo de plantaciones de cacao en sistema agroforestal. La capacitación tuvo una duración de 4 días y fue desarrollada en el CEDEC-JAS y CADETH-AMR.

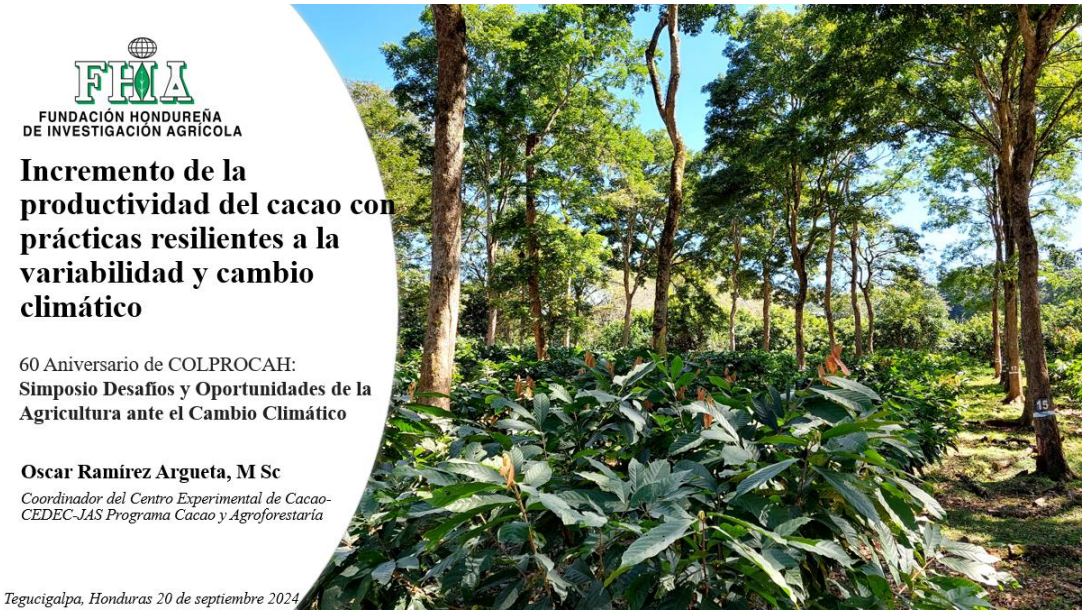
5.2.3. Curso de producción de cacao rentable: innovaciones agroforestales para la resiliencia y mitigación del cambio climático

HEIFER inició en el 2024 el proyecto *Promesa Café-Cacao* y solicitó una capacitación para los técnicos y coordinadores sobre manejo efectivo de parcelas de cacao en sistema agroforestal con énfasis en la implementación de prácticas resilientes al cambio climático y efectivas que conlleven a una mayor rentabilidad de la producción. Este curso fue impartido en el CEDEC-JAS del 25 al 28 de noviembre. Adicionalmente, la FHIA a través del Programa de Cacao y Agroforestería apoyará este proyecto en diferentes actividades de capacitación y desarrollo en las zonas de influencia del proyecto.

5.3. Participación en eventos científicos y profesionales

5.3.1. Congreso COLPROCAH 60 aniversario

Dentro del marco de la reunión del COLPROCAH (Colegio de Profesionales de las Ciencias Agrícolas de Honduras) se celebró en la ciudad de Tegucigalpa, Francisco Morazán, el evento conmemorativo al 60 aniversario de su fundación. La FHIA a través del M.Sc. Oscar Ramírez presentó una charla magistral titulada Incremento de la productividad del cacao con prácticas resilientes a la variabilidad y cambio climático. El evento contó con la participación de más de 400 profesionales de las ciencias agrícolas del país y fue una excelente vitrina para mostrar los avances tecnológicos que el Programa de Cacao y Agroforestería desarrolla en el cacao.



5.3.2. III Congreso Nacional de Investigación Forestal UNACIFOR

Del 13 al 15 de noviembre se celebró este evento donde el Programa de Cacao y Agroforestería fue invitado a presentar los resultados de investigación de 36 especies forestales evaluadas en el CEDEC-JAS. La charla magistral fue impartida por el M.Sc. Oscar Ramírez quien presentó

información de crecimiento de estas especies registrada por más de dos décadas y como estas se comportan cuando son manejadas dentro de sistemas agroforestales con cacao.

5.3.3. Serie Veraniega de Seminarios Cacaoteroa para Latinoamérica y el Caribe

Esta iniciativa liderada por CATIE de Costa Rica con el apoyo del USDA y de la Foundation for Food and Agriculture Research contó con una serie de charlas virtuales en diferentes temas relacionados a la producción del cacao. El 17 de mayo el Programa de Cacao y Agroforestería de la FHIA a través del M.Sc. Oscar Ramírez hizo su participación con la presentación virtual sobre los resultados de evaluación de nuestros clones a las dos principales enfermedades que afectan al cacao. Al evento se conectaron más de 70 personas de diferentes países de América.

5.3.4. Proyecto FHIASAVIA

Esta es una iniciativa de dos años coordinada por la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional Colombiana (APC-Colombia) y ejecutado por Agrosavia y Fedecacao de Colombia y en Honduras a través del Programa de Cacao y Agroforestería de la FHIA. El proyecto se denomina *Fortalecimiento de las capacidades técnicas a partir del intercambio de conocimientos en sistemas agroforestales y hortalizas de Colombia y Honduras*. Dentro del mismo, se ejecutó visita reciprocas de intercambio de conocimientos entre instituciones aprovechando mostrar las fortalezas de cada una de ellas. El grupo de técnicos de Colombia (2 de Agrosavia y 1 de FEDECACAO) visitaron las estaciones experimentales del programa entre el 21-27 de julio; mientras que, para la visita a Colombia, 3 técnicos del Programa de Cacao y Agroforestería visitaron en el mes de septiembre los centros de investigación de AGROSAVIA:

La Selva en Río Negro, Antioquia y La Libertad en los Llanos Orientales, fueron los sitios en donde se tuvo la oportunidad de interactuar con los investigadores sobre diferentes temáticas relacionadas al cacao, hortalizas y granos básicos. El viaje fue complementado con la participación en el 7mo Seminario Internacional *Cacao más Competitivo*, organizado por la FEDECACAO en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. En este evento se el equipo técnico de la FHIA realizó una presentación sobre los avances más importantes que realiza el programa en aspectos de investigación y validación de conocimientos en el cultivo de cacao, los sistemas agroforestales y de especies forestales propias del trópico húmedo.

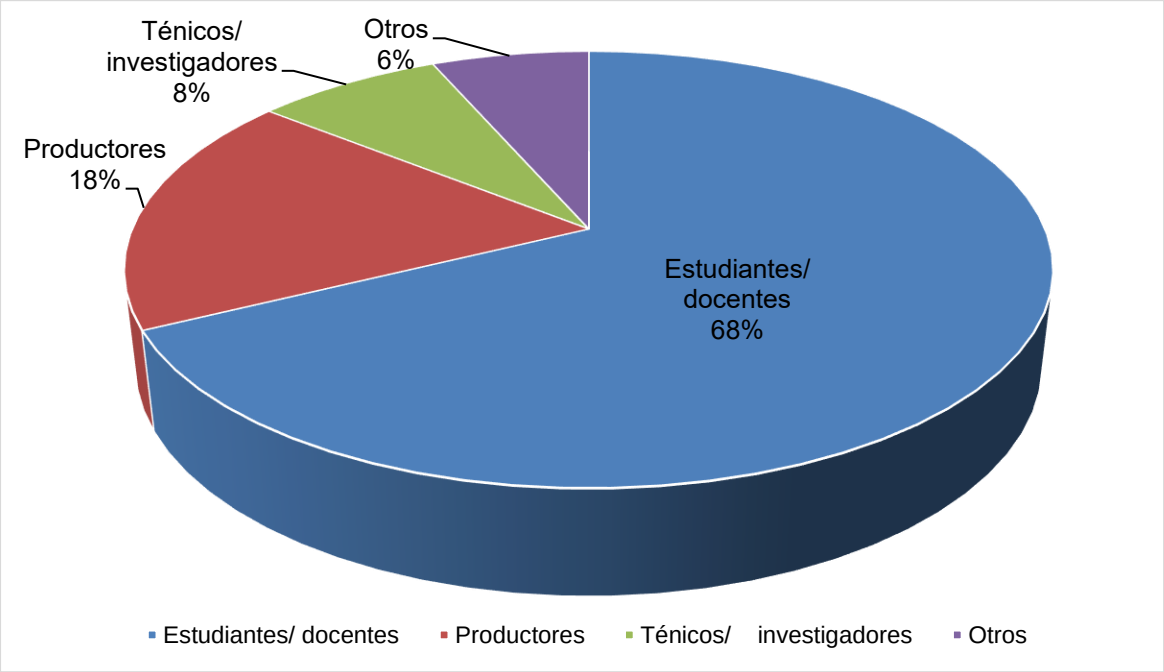
Esta iniciativa de dos años permitió enriquecer el conocimiento de los investigadores de ambas instituciones, así como el compartir experiencias y logros en investigación y validación de tecnologías en campos específicos de la agricultura.

Seminario Internacional de Cacao. Medellín, Colombia. Septiembre de 2024.

5.4. Apoyo a la academia

El Programa de Cacao y Agroforestería mantiene su compromiso de apoyar la formación de nuevos profesionales de las ciencias agrícolas y es por eso es que año a año se incrementa la cantidad de visitantes a nuestros centros de investigación ubicados en La Masica, Atlántida. En el año 2024 se recibió en el CEDEC-JAS a 672 visitantes y en el CADETH-AMR 42 para un total de 714 (67 % hombres y 33 % mujeres). De estos, 486 visitantes (68 %) fueron estudiantes de centros

universitarios (USAP, CURLA, UNAG y Zamorano) y de escuelas agrícolas como la John F. Kennedy. El segundo segmento con mayor presencia fue el de productores con 18 %, seguido de técnicos/investigadores con 8 %.



Distribución de visitantes a los centros de investigación de cacao CEDEC-JAS y CADETH-AMR en La Masica, Atlántida durante el 2024.

FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola es una organización de carácter privado, sin fines de lucro que contribuye al desarrollo agrícola nacional.

Su misión es la generación, validación y transferencia de tecnología, en cultivos tradicionales y no tradicionales para mercado interno y externo.

Provee servicios de análisis de suelos, aguas, tejidos vegetales, residuos de plaguicidas, diagnóstico de plagas y enfermedades, asesorías, estudios de mercado, capacitación e informes de precios de productos agrícolas.

FHIA
Contiguo a Instituto Patria, La Lima, Cortés, Honduras
(504) 2668-4857, 2668-2470, 2668-1191
fhia@fhia-hn.org
Apartado Postal 2067. San Pedro Sula, Cortés, Honduras

CEDEC-JAS
Centro Experimental y Demostrativo de Cacao - Jesús Alfonso Sánchez
La Masica, Atlántida, Honduras
(504) 9519-2988
cedecjas@fhia-hn.org

CADETH-AMR
Centro Agroforestal Demostrativo del Trópico Húmedo - Adolfo Martínez Rondanelli
El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras
(504) 9519-2988
cedecjas@fhia-hn.org

CEDEH
Centro Experimental y Demostrativo de Horticultura
Comayagua, Comayagua, Honduras
(504) 9800-6576
2756-1078
cedeh@fhia-hn.org

www.fhia.org.hn FHIA FHIAHn FHIA_HN

“Contribuyendo a reducir la pobreza con cultivos de alto valor y alta tecnología”