



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

INFORME TÉCNICO 2023

PROGRAMA DE CACAO Y AGROFORESTERÍA



La Lima, Cortés, Honduras
Marzo, 2024



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

INFORME TÉCNICO 2023
PROGRAMA DE
CACAO Y AGROFORESTERÍA

633.74

F981 Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
Programa de Cacao y Agroforestería: Informe Técnico 2023 /
Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. -- 1a ed.—
La Lima, Cortés: FHIA, 2023
100 p.: il.

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

633.74—dc20

INFORME TÉCNICO 2023

**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 2024

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
<i>Francisco Javier Díaz, Oscar Ramírez y Alfredo Martínez</i>	5
III. Desarrollo y evaluación de clones de cacao	9
3.1. Evaluación de clones promisorios seleccionados de progenies híbridas con mayores índices de rendimiento y tolerancia a moniliasis. CAC 13-01	11
<i>Aroldo Dubón, Javier Díaz y Oscar Ramírez</i>	11
3.2. Prueba regional: evaluación de 28 clones comerciales de cacao bajo las condiciones del CADETH-AMR. AGF 17-01	21
<i>Oscar Ramírez, Alfredo Martínez y Francisco Javier Díaz</i>	21
3.3. Evaluación de progenies de cacao procedentes de semilla que demostraron mayor porcentaje de intercompatibilidad sexual en el CEDEC-JAS. CAC 20-01	30
<i>Oscar Ramírez, Aroldo Dubón, Francisco Javier Díaz y Enrique Maldonado</i>	30
3.4. Validación del comportamiento agronómico de 20 cultivares de cacao autocompatibles establecidos con un diseño agroforestal recomendado por la FHIA. 19-01	39
<i>Oscar Ramírez, Aroldo Dubón y Enrique Maldonado</i>	39
IV. Evaluación de especies forestales	44
4.1. Estudio de especies forestales latifoliadas bajo la modalidad agroforestal multiestratos con cacao. CAC 02-01	44
<i>Oscar Ramírez-Argueta, Javier Díaz, Aroldo Dubón y Jesús Sánchez</i>	44
4.2. Evaluación de las propiedades físico mecánicas de las especies <i>Tabebuia donnell smithii</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Platymiscium dimorphandrum</i> y <i>Dalbergia glomerata</i> en ambiente natural contra plantación agroforestal de la FHIA, en el departamento de Atlántida, Honduras	57
<i>Jennifer Alvarado, Ashley Gutiérrez, Marlon Perdomo y Robert Muñoz</i>	57
<i>M.Sc. Oscar Ramírez e Ing. Alfredo Martínez</i>	57
V. Estudios de investigación de prácticas agroforestales	63
5.1. Compatibilidad sexual de clones de cacao comerciales y promisorios de la FHIA y recomendación de arreglos de plantación en campo. CAC 16-01	63
<i>Oscar Ramírez, Aroldo Dubón y Francisco Javier Díaz</i>	63
5.2. Adaptación y comportamiento agronómico de plantas de cacao en campo a partir de plantas de vivero bajo tres condiciones de raíz. AGF 17-01	69
<i>Oscar Ramírez, Alfredo Martínez y Francisco Javier Díaz</i>	69
5.3. Manejo nutricional del cacao en Honduras. CAC 19-02	76
<i>Oscar Ramírez y Francisco Javier Díaz</i>	76
VI. Publicaciones y servicios especiales	96
6.1. CacaoFIT: the network of Cacao Field Trails in Latin America and its contributions to sustainable cacao farming in the region.	96
<i>Oscar Ramírez¹, Fco. Javier Díaz¹, Luis Orozco²</i>	96
6.2. Consultoría para Catholic Relief Services.....	96
6.3. Participación en eventos científicos.....	97
6.4. Proyecto FHIA-SAVIA	98
6.5. Cursos y capacitaciones.....	99

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Precipitación, temperaturas mínima, máxima y media mensual en el CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida, Honduras, en 2023.	6
Cuadro 2. Precipitación, temperatura mínima, máxima y media mensual en el CADETH-AMR en La Masica, Atlántida, Honduras, en 2023.....	6
Cuadro 3. Producción anual, promedio e incidencia de enfermedades en 18 clones de cacao desarrollados y evaluados por la FHIA. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.....	13
Cuadro 4. Separación de medias y resumen de resultados del análisis de varianza para el índice de enfermedad y producción general, analizando la productividad y tolerancia a ambas enfermedades, de 18 clones de cacao, evaluados y seleccionados por la FHIA. CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2017-2023.	16
Cuadro 5. Producción anual de frutos sanos por árbol desde el 4° al 9° de producción y de frutos enfermos en el 2023 de 12 clones de cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2018-2023.	17
Cuadro 6. Clones incluidos en cada uno de doce arreglos policlonales evaluados.....	23
Cuadro 7. Resumen de resultados del análisis de varianza de las variables de producción de 12 arreglo policlonales de cacao en la prueba regional. CADETH-AMR, El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras. 2019-2023.	25
Cuadro 8. Producción de frutos de cacao por árbol por arreglo policlonal en la prueba regional del CADETH. El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras. 2019-2023.....	25
Cuadro 9. Producción de frutos y rendimiento de cacao por clon en la prueba regional del CADETH-AMR. El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras. 2019-2023.	27
Cuadro 10. Progenitores de los cruzamientos, intercompatibilidad promedio y rendimiento potencial de estos progenitores. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.	31
Cuadro 11. Resultados de análisis de suelo y aplicación de macronutrientes según requerimientos.	33
Cuadro 12. 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. 2020-2023.	34
Cuadro 13. Frutos sanos y enfermos de progenies interclonales de cacao seleccionadas en el lote Sombra de ternero. CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2023. .	36
Cuadro 14. Producción de frutos sanos y enfermos por planta en clones autocompatibles de cacao evaluados en campo. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2023.	41
Cuadro 15. Resumen de variables dasométricas complementarias para la construcción de curvas de crecimiento y correlación entre variables, de especies maderables evaluadas en SAF-Cacao. La Masica, Atlántida. 2023.	47
Cuadro 16. Modelos con mejor ajuste para la estimación del Dap (cm) para cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao. CEDEC-JAS, 1996-2023.	49
Cuadro 17. Modelos con mejor ajuste para la estimación en volumen comercial (m ³ /árbol) para cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao. CEDEC-JAS, 1996-2023.	51
Cuadro 18. Análisis de correlación de Pearson (p-valor) entre la cobertura/sombra (%) generada por el maderable al cultivo de cacao vs su área basal (m ² /ha). 2006-2023.	55

Cuadro 19. Resultados de las propiedades físicas de las cuatro especies forestales cultivadas en el CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2023.....	59
Cuadro 20. Usos de la madera según la clasificación de Bárcenas según el coeficiente de contracción volumétrica y su Relación Tangencial/Radial.	60
Cuadro 21. Resultados de las propiedades mecánicas de las cuatro especies.	60
Cuadro 22. Clasificación de las especies con las categorías de clasificación de madera mexicanas.	61
Cuadro 23. Porcentaje de frutos formados producto de las cruzas para evaluar la intercompatibilidad de clones de cacao desarrollados por la FHIA (18 cultivares). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2017-2023.....	67
Cuadro 24. Porcentaje de frutos formados producto de las cruzas para evaluar la intercompatibilidad de clones de cacao desarrollados por la FHIA (lote 12 cultivares). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2017-2023.....	67
Cuadro 25. Porcentaje de frutos formados producto de las cruzas para evaluar la intercompatibilidad de clones de cacao desarrollados por la FHIA (lote 18 cultivares vs Marapolán). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2017-2023.	68
Cuadro 26. Resultados preliminares en las variables de productividad del cacao en el ensayo de evaluación del efecto de la condición de raíz*clon. El Recreo, CADETH-AMR, 2021.	73
Cuadro 27. Plantaciones de cacao seleccionados para el ensayo de nutrición en cacao.	79
Cuadro 28. Características generales de las parcelas de cacao en sistemas agroforestales seleccionadas para el estudio.	79
Cuadro 29. Tratamientos aplicados para la nutrición de árboles de cacao en plantaciones agroforestales en Honduras.....	80
Cuadro 30. Rendimiento anual de cacao en sistemas agroforestales con diferentes fuentes de nutrientes en cuatro sitios/plantación en Honduras. Año 2023.	84
Cuadro 31. Producción de frutos por árbol y rendimiento con diferentes fuentes para la nutrición de cacao en el sitio experimental del CADETH en El Recreo, La Masica, Atlántida. 2020 y 2022.	86
Cuadro 32. Rendimiento en frutos/árbol y kg/ha, en la parcela experimental del CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2020-2022.	87
Cuadro 33. Ingresos netos (L.) por programa de nutrición en cada una de las parcelas del ensayo de nutrición de cacao en Honduras entre 2020-2023.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitación mensual promedio en el CEDEC-JAS (1987-2023) y CADETH-AMR (1997-2023). La Masica, Atlántida, Honduras.	7
Figura 2. Precipitación anual histórica en el CEDEC-JAS (1987-2023) y CADETH-AMR (1997-2023). La Masica, Atlántida, Honduras.	7
Figura 3. Distribución en porcentajes de días lluviosos de la precipitación anual histórica en el CEDEC-JAS (1987-2023). La Masica, Atlántida, Honduras.	8
Figura 4. Temperatura media mensual en el CEDEC-JAS, promedio de 1987 a 2023. La Masica, Atlántida, Honduras.	8
Figura 5. Temperatura media anual en el CEDEC-JAS de 1987 a 2023 (FHIA. La Masica, Atlántida, Honduras).	9
Figura 6. Estrategia de mejoramiento genético en cacao.	10
Figura 7. Rendimiento promedio (2017-2023) de 18 clones de cacaos evaluados y seleccionados por la FHIA. CEDEC-JAS La Masica, Atlántida, Honduras.	14
Figura 8. Rendimiento total y proporción de pérdidas por enfermedades por año de 18 cultivares de cacaos evaluados y seleccionados por FHIA. CEDEC-JAS La Masica, Atlántida, Honduras.	15
Figura 9. Rendimiento anual promedio de 6 años de cacao seco y pérdidas por enfermedades en 12 clones de clones seleccionados y evaluados por la FHIA. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2018-2023.	18
Figura 10. Distribución del rendimiento total en 12 clones desarrollados y evaluados por la FHIA, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2018-2023.	19
Figura 11. Clones de cacao promisorios del estudio de 12 cultivares. CEDEC-JAS. 2023.	20
Figura 12. Croquis del experimento. Nota: el número dentro del cuadrante corresponde al tratamiento-policlon.	22
Figura 13. A. Registro de variables durante la cosecha y B. Al terminar el beneficiado.	23
Figura 14. Producción de frutos sanos y con diversos daños por plagas y enfermedades en la prueba regional en el CADETH (FHIA. El Recreo, La Masica, Atlántida. 2018-2023.	24
Figura 15. Rendimiento anual desde el 2018 al 2022 y promedio de cacao seco por policlon de la prueba regional del CADETH-AMR. El Recreo, La Masica, Atlántida. 2018-2023.	26
Figura 16. Rendimiento promedio de 2019 al 2022 por clon en la prueba regional CADETH, El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras, 2019-2023.	28
Figura 17. Cantidad de frutos sanos y enfermos de las progenies más productivas en el lote Guama. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.	35
Figura 18. Cantidad de frutos sanos y enfermos de las progenies más productivas en el lote Guama. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2022.	35
Figura 19. Cantidad de frutos sanos y enfermos por árbol de las progenies más productivas en el lote con Sombra de ternero. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.	37
Figura 20. Cantidad de frutos sanos y enfermos por árbol de las progenies más productivas en el lote con sombra de ternero. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020- 2023.	37

Figura 21. Cantidad de frutos sanos y enfermos por árbol de los clones autocompatible más productivos en el primer año de cosecha. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.	42
Figura 22. Plantas del clon de cacao DFEAR-5 con 2.5 años, lote autocompatible. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.	43
Figura 23. Plantas del clon de cacao autocompatible FHIA-478 con 3 años. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.	43
Figura 24. Curvas de crecimiento en DAP (cm) y su error estándar (E.E.), en 24 especies maderables evaluados en sistemas agroforestales con cacao. Signos geométricos iguales muestran especies con similar DAP (prueba DGC $p>0.05$). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 1996-2023.	48
Figura 25. Curvas de crecimiento en volumen comercial ($m^3/\text{árbol}$) y su error estándar (E.E.), en 24 especies maderables evaluados en sistemas agroforestales con cacao. Signos geométricos iguales muestran especies con similar V_c (prueba DGC $p>0.05$). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 1996-2023.	50
Figura 26. Curvas de crecimiento en captura de Carbono equivalente contenido en el volumen comercial ($t/\text{árbol}$) y su error estándar (E.E.), en 24 especies maderables evaluados en sistemas agroforestales con cacao. Signos geométricos iguales muestran especies con similar media (prueba DGC $p>0.05$). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 1996-2023.	52
Figura 27. Tasas de crecimiento diametral: IMA (incremento medio anual) e ICA (incremento corriente anual), promedio del total de especies evaluados en SAF-Cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 1998-2023.	53
Figura 28. Promedios de IMA (incremento medio anual) en DAP (cm) y desviación estándar de 24 especies maderables evaluadas en SAF-Cacao a 14 años. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.	54
Figura 29. Correlación entre la cobertura (izquierda) y área basal (derecha) de los maderables sobre el rendimiento del cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.	55
Figura 30. Diagrama de los términos de compatibilidad con base en el intercambio de polen entre un mismo clon (superior) y distintos clones (inferior) y posibles resultados.	64
Figura 31. Aislamiento de botón floral.	65
Figura 32. Práctica de polinización. Recolección de flores donadoras de polen (a), eliminación de estaminoides de flor receptora (b), frotamiento de pistilo con antera de flor donadora (c), fruto formado producto de la intercompatibilidad o autocompatibilidad. (d).	66
Figura 33. Deformación de raíces adultas.	70
Figura 34. Raíces de cacao en distintos estudios según tiempo en el vivero.	71
Figura 35. Croquis del experimento para evaluar tres condiciones de raíz al trasplante. CADETH, El Recreo, La Masica, Atlántida.	71
Figura 36. Ensayo evaluación de tres condiciones de raíz en seis clones de cacao. Vista panorámica (A) y plantas de cacao CCN-51 mostrando producción de frutos (B).	72
Figura 37. Distribución de frutos de cacao por condición de raíz. CADETH, El Recreo, La Masica, Atlántida. 2023.	74
Figura 38. Distribución de frutos de cacao por clon, ensayo tres condiciones de raíz. CADETH-AMR, El Recreo, La Masica, Atlántida. 2023.	74
Figura 39. Ubicación geográfica de las parcelas en estudio de nutrición.	79

Figura 40. Rotulado de plantas (a), muestreo de suelo (b), mezclas físicas de fertilizantes (c) y aplicación de cal y lombricomposta (d).	81
Figura 41. Croquis del ensayo nutricional de cacao en plantación de cacao de los productores y el CADETH productores.....	82
Figura 42. Croquis del ensayo nutricional en la parcela de cacao del CEDEC-JAS.....	82
Figura 43. Producción de frutos por árbol bajo diferentes sistemas de fertilización y proporción de afectaciones por causa. 2023.	84
Figura 44. Producción de frutos por árbol en distintas plantaciones y proporción de afectaciones por causa. 2023.....	85
Figura 45. Rendimiento de cacao seco y su intervalo de confianza (95 %) comportamiento de los tratamientos por año y promedio entre 2020-2023. Ensayo nutrición del cacao en Honduras. 2023	86
Figura 46. Biplots de CP1 y CP2, de las variables químicas del suelo y el rendimiento en ensayo nutrición del cacao en Honduras.....	89

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados de análisis de suelo, requerimiento nutricional y recomendación para aplicación de tratamientos. Año 2020-2023.....	91
Anexo 2. Recomendación de dosis en los tratamientos químico y orgánico, para estimar producir 1,000 kg de cacao por hectárea. Año 2020 y 2021.	93
Anexo 3. Recomendación de dosis en los tratamientos químico y orgánico, para estimar producir 1,000 kg de cacao por hectárea. Año 2022.	94
Anexo 4. Análisis químico a priori de lombricomposta (orgánica) y a posteriori del insumo de abonamiento de la plantación-2.....	95

I. INTRODUCCIÓN

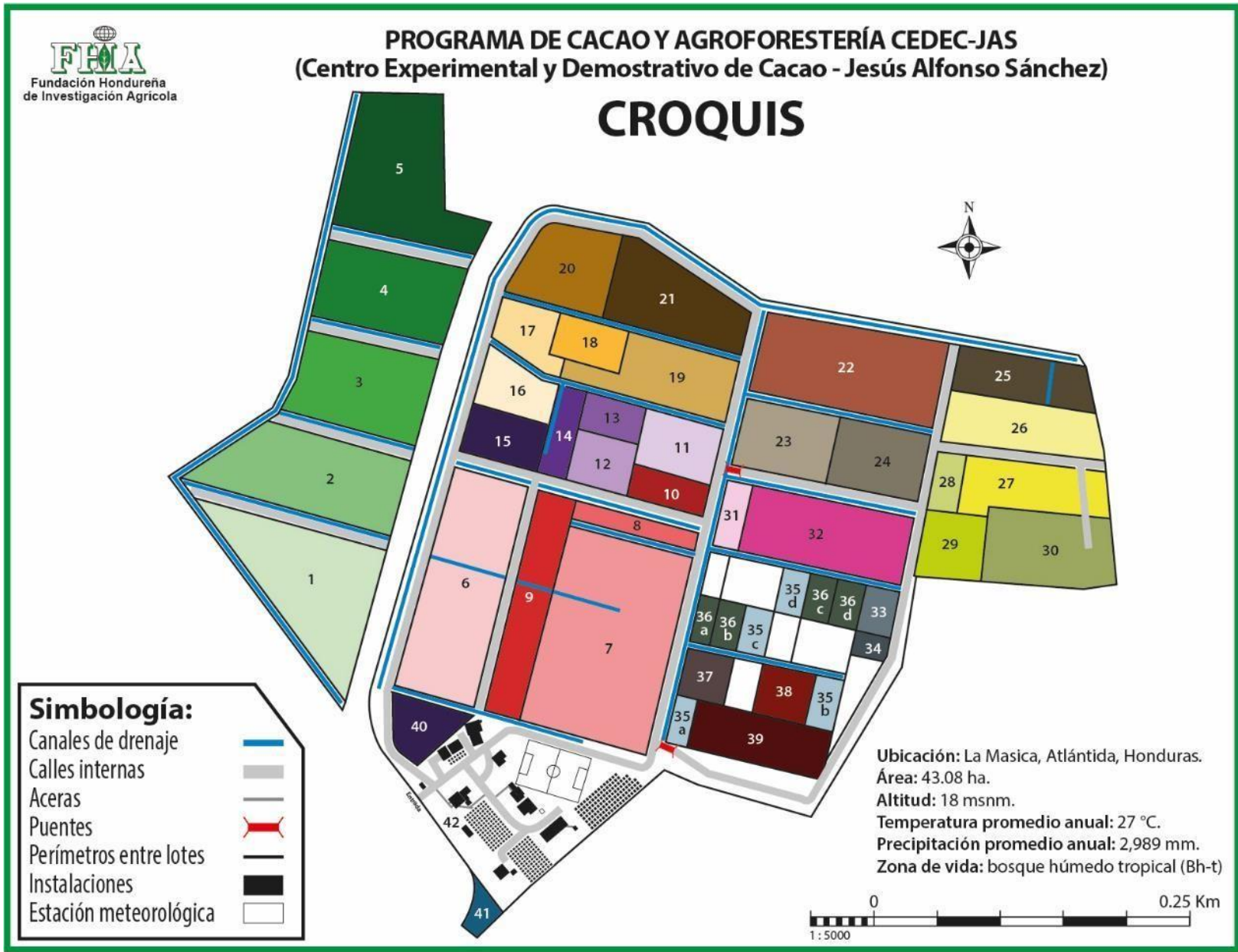
Nos es grato presentar una nueva edición del Informe Técnico de las actividades de investigación y de transferencia ejecutadas por el Programa de Cacao y Agroforestería en el 2023. Este informe está dividido en distintas secciones de acuerdo con los temas que el equipo técnico desarrolla en los dos centros experimentales y demostrativos, ubicados en La Masica, departamento de Atlántida.

En 2023, el CADETH fue renombrado por determinación del consejo de administración de la FHIA con el propósito de rendir un homenaje al Dr. Adolfo Martínez quien, durante su gestión como Director General de esta institución, promovió y apoyó las acciones que permitieron que este lugar se convirtiese en un referente de la investigación en sistemas agroforestales y la protección del ambiente. El 10 de agosto de 2023 se realizó la ceremonia para la develación de la placa con el nuevo nombre de CADETH-AMR (Centro Agroforestal Demostrativo del Tropicó Húmedo Adolfo Martínez Rondanelli) en honor al Dr. Adolfo Martínez. Este evento contó con la asistencia de personal de la FHIA y de invitados especiales. Los centros de investigación del Programa de Cacao y Agroforestería de la FHIA son referencia en la región Centroamericana, Latinoamérica y el Caribe, siempre están a disposición para que investigadores, técnicos, estudiantes, productores y público en general puedan visitar y aprender sobre la producción y beneficiado de cacao, de especies forestales, frutales y condimentarias.

Continuamos las actividades de investigación en las diferentes etapas que conforman la estrategia de mejoramiento genético de cacao con alta productividad y características de fineza y aroma. El principal ensayo, donde se evalúan 18 cultivares, llega al séptimo y último año de cosecha y los resultados, aparte de ser muy positivos, muestran estabilidad a través del tiempo. Los resultados de este estudio y de todos los demás dirigidos al desarrollo y evaluación de clones de cacao se encuentran en la Sección III. 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 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 de la región.

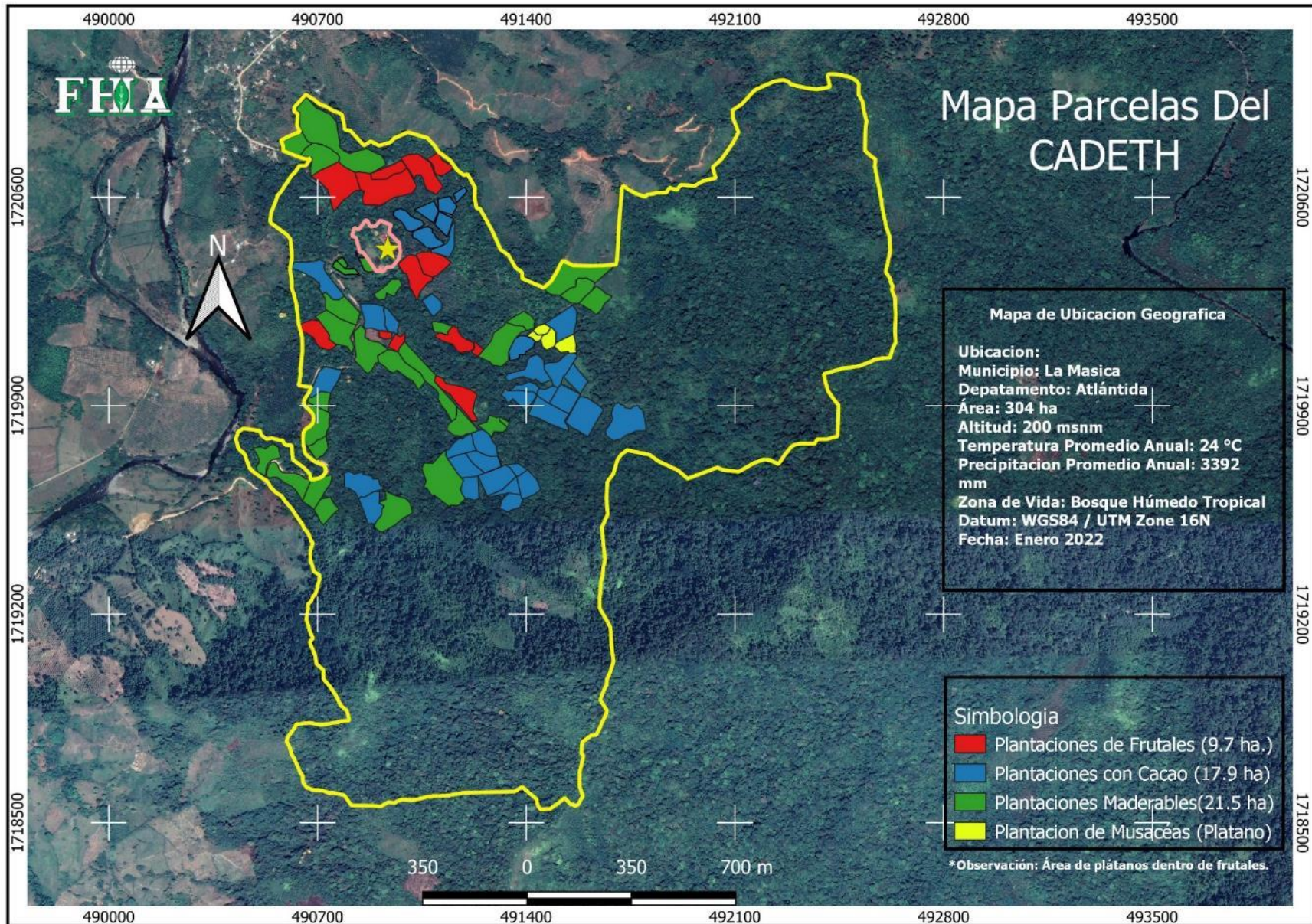
El componente de investigación forestal y agroforestal, reportada en la Sección IV, presenta el crecimiento y desarrollo de diferentes especies forestales en parcelas asociadas con cacao, en parcelas puras y en linderos establecidas en suelos de ladera con niveles de baja fertilidad.

En lo referente a proyectos especiales, Catholic Relief Services (CRS) Programa en Honduras y la Fundación Hondureña de Investigación agrícola (FHIA) suscribieron un contrato de consultoría para desarrollar el análisis de los resultados de 21 parcelas de validación/investigación de cacao con aplicación de planes nutricionales en tres municipios (Siuna, Rosita y Bonanza) del departamento Región Autónoma Atlántico Norte (RACCN). Esta consultoría incluyó visitas de campo a parcelas de productores en los municipios beneficiados en Nicaragua, el saneamiento y análisis de datos registrados por dos años de estudio y la redacción de informes para cada municipio. Finalmente, la elaboración y presentación de resultados ante la mesa cacaotera de Nicaragua en diciembre de 2023



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 cruza promisorias con paletto
10	Lote monoclonal ICS-1 A.C./renovación de copas/asociado con hormigo	34	Lote criollos de La Mosquitia con paletto
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 cruza 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.



II. REGISTROS CLIMÁTICOS DEL CEDEC-JAS Y CADETH-AMR

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

La precipitación se mantiene con variaciones año a año con respecto al promedio histórico en las estaciones CEDEC-JAS y CADETH-AMR. En el 2023 se registraron 55.6 mm más que el promedio histórico de la precipitación desde 1987 en el CEDEC-JAS y de 446.1 mm promedio para el CADETH-AMR desde 1997 (Cuadro 1, Figura 2).

En el CEDEC-JAS la precipitación de 2023 fue de 2,944.4 mm (Cuadro 1), esto es 175 mm menos que en el 2022. Al igual que en 2022 se registró lluvia todos los meses del año. Sin embargo, se observa que las menores precipitaciones se registraron en los meses de abril y mayo con un total de 55.1 mm. También, se observó que los meses mas lluviosos fueron diciembre, octubre y noviembre con acumulados de 1,927.6 mm, respectivamente (Cuadro 1, Figura 1). Adicionalmente, el 2023 queda registrado como el año con la menor cantidad de días con lluvia; o sea se registró lluvia en 114 de 365 días que equivale a 31.4 % (Figura 3).

En este mismo Centro, en este 2023 se registra por primera vez una temperatura media anual por encima de los 28 °C, lo que sin duda es un indicativo que el clima está cambiando como consecuencia del cambio climático (Figura 5). La temperatura máxima promedio fue de 34.1 °C y la temperatura mínima fue de 22.2 °C, respectivamente. En lo referente a la temperatura máxima por mes, observamos que entre los meses de mayo y agosto se registraron los mayores valores; mientras que, entre noviembre y marzo se registraron los menores valores. Los meses de noviembre y diciembre registraron las menores temperaturas promedio (Cuadro 1).

Para el CADETH-AMR (Cuadro 2), la precipitación anual en 2023 fue 876.8 mm menor a la registrada en 2022. También este valor es menor al registrado en el CEDEC-JAS; lo cual es un hecho poco común, pues históricamente desde 1997 en el CADETH-AMR se registra siempre mayor precipitación y esta sería la quinta vez que esto sucede (Figura 2). En lo referente a la temperatura anual media, el valor registrado para este periodo fue de 26.2 °C, con intervalos entre 22.5 y 28.4 °C. Finalmente, las temperaturas mínimas y máximas promedio fueron de 21.0 y 31.1 °C, respectivamente.

Cuadro 1. Precipitación, temperaturas mínima, máxima y media mensual en el CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida, Honduras, en 2023.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura media mensual (°C)		
		Mínima	Máxima	Promedio
Enero	176.4	18.9	31.3	25.1
Febrero	56.4	19.1	31.8	25.4
Marzo	128.1	21.0	31.7	26.4
Abril	21	22.1	34.7	28.4
Mayo	34.1	23.2	37.0	30.1
Junio	128.3	24.1	39.3	31.7
Julio	87.2	23.7	38.1	30.9
Agosto	235.2	23.6	37.1	30.3
Septiembre	150.1	23.3	35.1	29.2
Octubre	630	23.2	33.2	28.2
Noviembre	557.1	22.5	31.6	27.1
Diciembre	740.5	21.2	28.4	24.8
Total/promedio	2,944.4	22.2	34.1	28.1

Cuadro 2. Precipitación, temperatura mínima, máxima y media mensual en el CADETH-AMR en La Masica, Atlántida, Honduras, en 2023.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura media mensual (°C)		
		Mínima	Máxima	Promedio
Enero	94.8	19.1	29.4	24.4
Febrero	104.6	17.4	27.1	22.5
Marzo	123.5	20.3	32.3	26.5
Abril	197.0	19.9	31.9	26.1
Mayo	14.1	21.5	32.3	27.0
Junio	80.9	22.2	34.1	28.4
Julio	156.0	22.9	33.2	28.3
Agosto	204.3	22.7	33.2	28.1
Septiembre	378.6	21.8	32.4	27.3
Octubre	482.3	22.4	32.3	27.0
Noviembre	373.6	21.1	27.8	24.5
Diciembre	632.2	20.4	27.1	23.9
Total/promedio	2,841.9	21.0	31.1	26.2

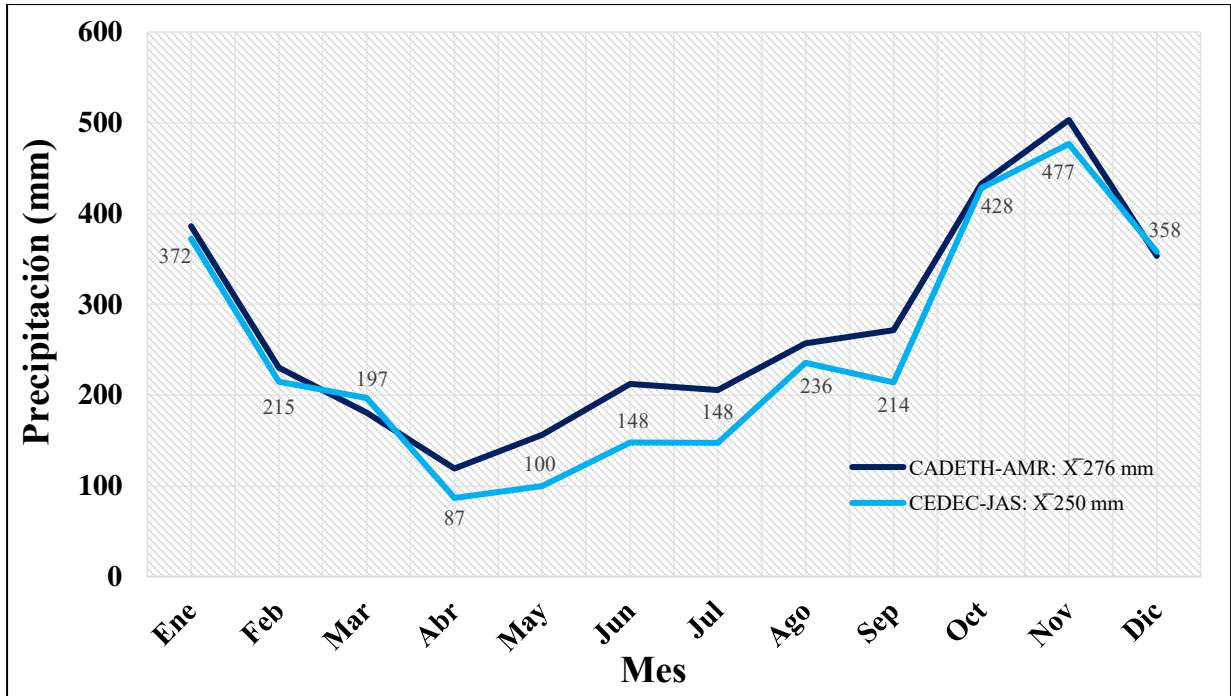


Figura 1. Precipitación mensual promedio en el CEDEC-JAS (1987-2023) y CADETH-AMR (1997-2023). La Masica, Atlántida, Honduras.

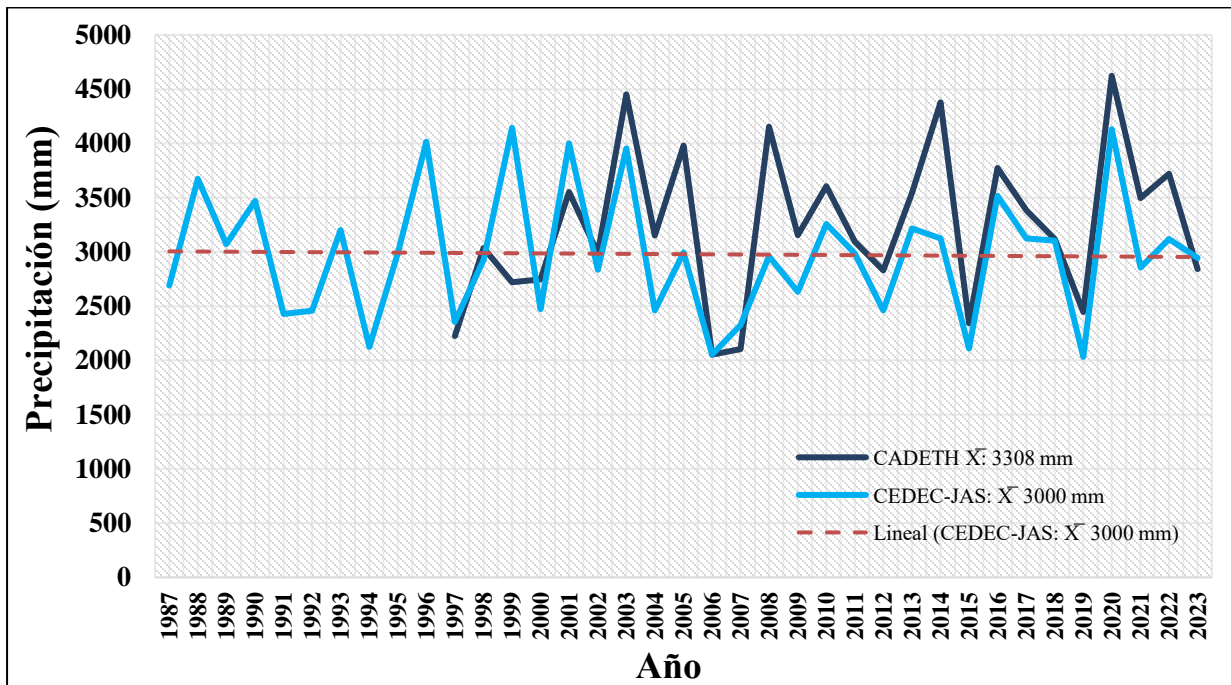


Figura 2. Precipitación anual histórica en el CEDEC-JAS (1987-2023) y CADETH-AMR (1997-2023). La Masica, Atlántida, Honduras.

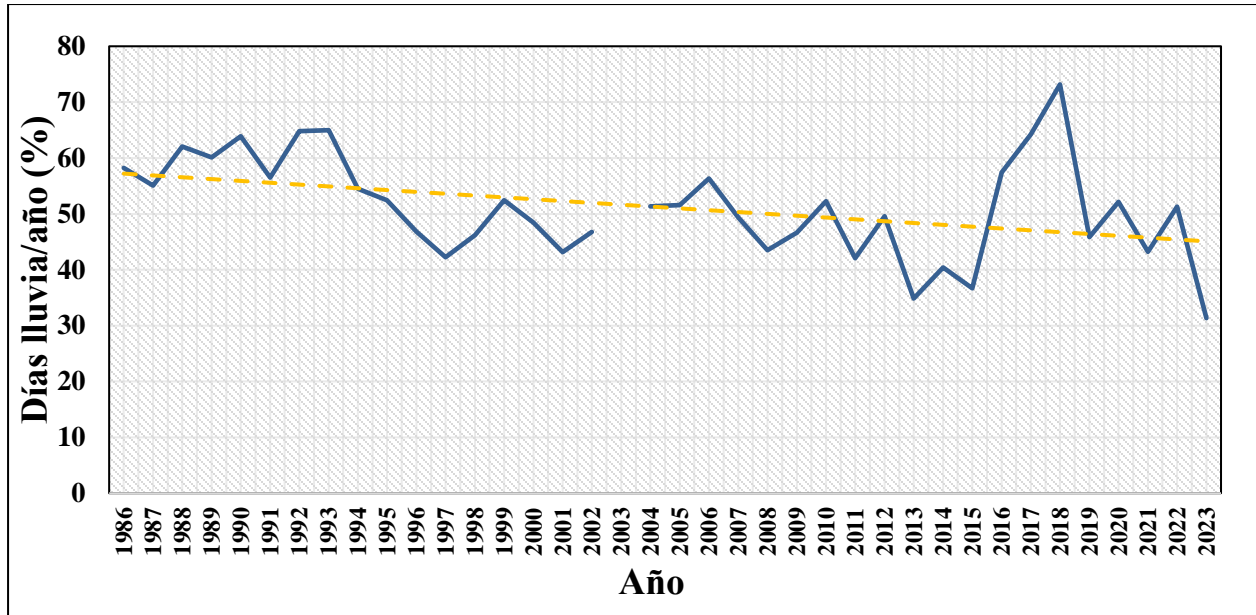


Figura 3. Distribución en porcentajes de días lluviosos de la precipitación anual histórica en el CEDEC-JAS (1987-2023). La Masica, Atlántida, Honduras.

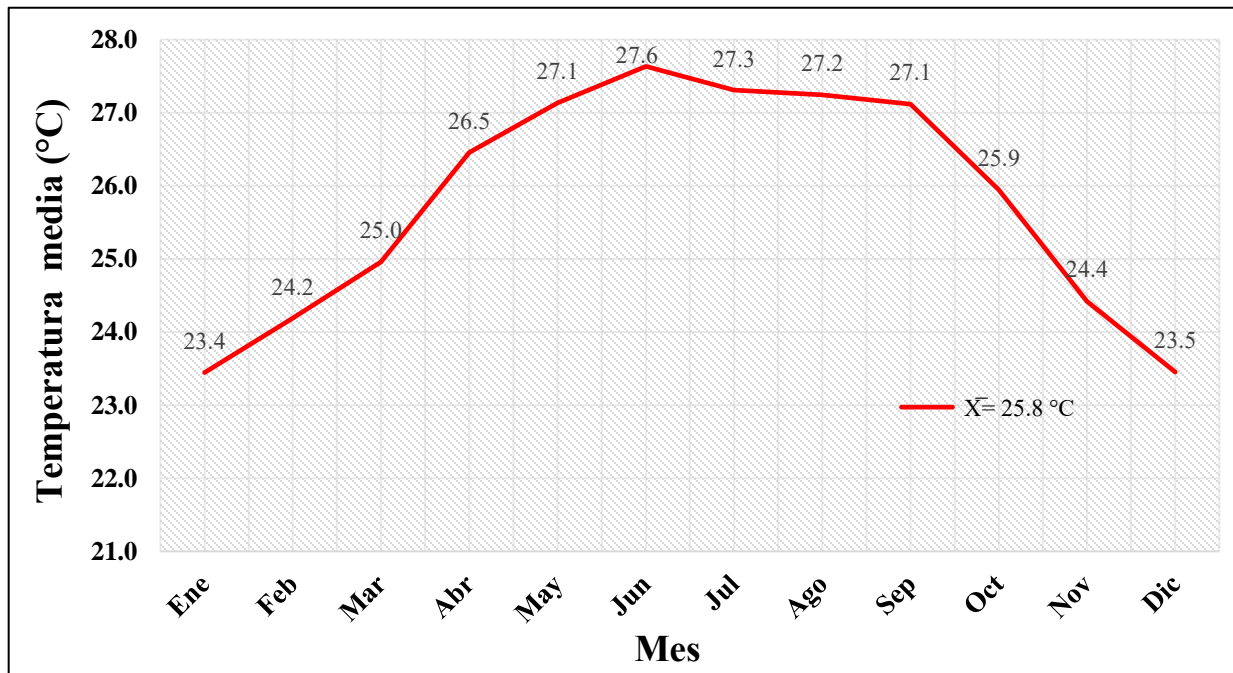


Figura 4. Temperatura media mensual en el CEDEC-JAS, promedio de 1987 a 2023. La Masica, Atlántida, Honduras.

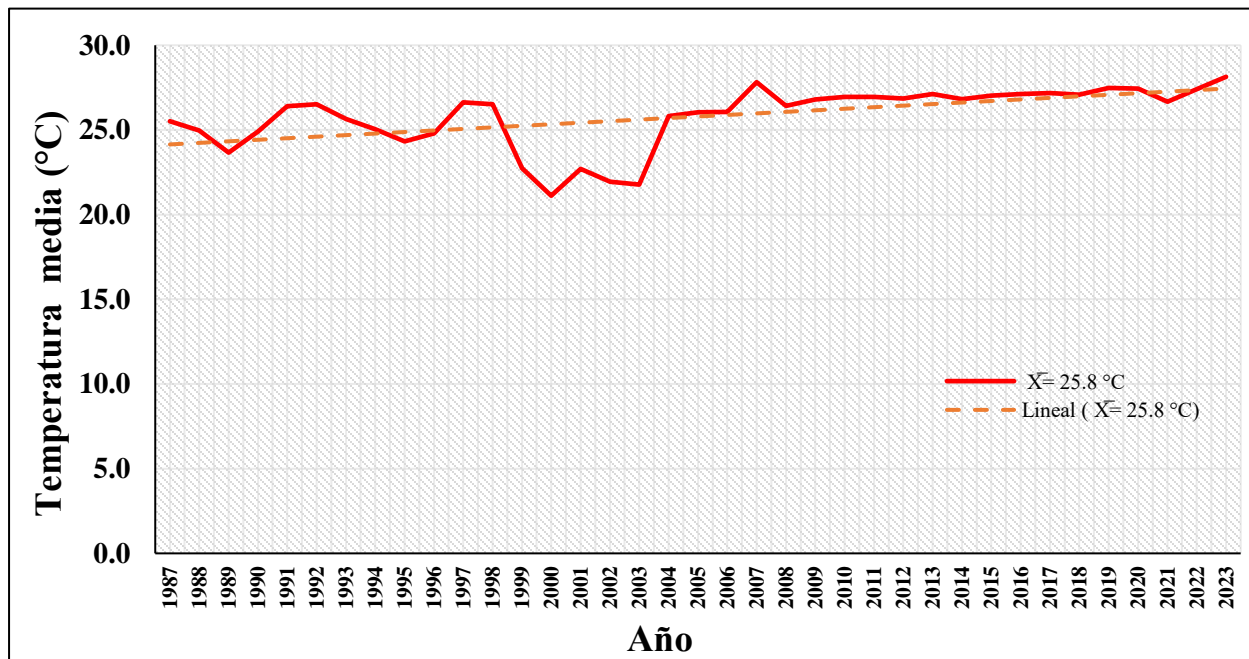


Figura 5. Temperatura media anual en el CEDEC-JAS de 1987 a 2023 (FHIA. La Masica, Atlántida, Honduras).

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 22 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 6:

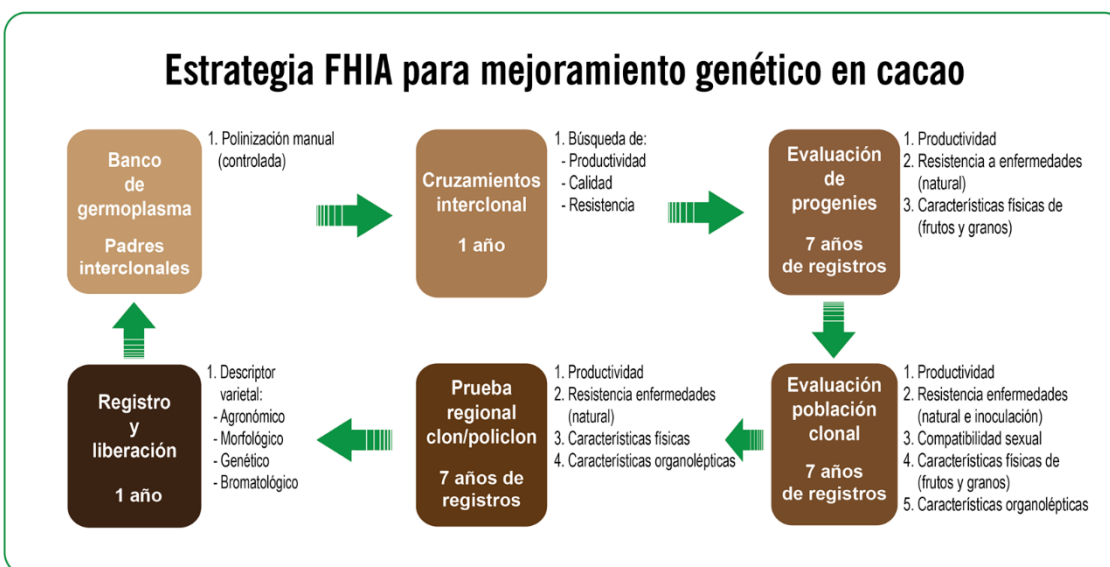


Figura 6. Estrategia de mejoramiento genético en cacao.

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

Productividad. La producción de frutos sanos por árbol, en promedio mayor o igual a 25 frutos por año es el principal criterio para la selección de clones.

Resistencia a las enfermedades moniliasis y mazorca negra. 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.

Niveles de autocompatibilidad e intercompatibilidad sexual. Esta característica se evalúa realizando polinizaciones manuales en o entre los clones de cacao, registrando el porcentaje de frutos que se desarrollan después de 15 días de realizadas las polinizaciones. Si la cantidad de frutos prendidos es mayor o igual a 30 % se clasifica el clon como autocompatible, o, inter-compatible cuando el cruzamiento se realizó entre clones. La compatibilidad es importante en la selección de clones para el diseño de arreglos policlonales a establecer en el campo.

Características organolépticas de fineza y aroma. Estas variables brindan información sobre las características de sabor y aroma de los clones. La diversidad de atributos de cada clon es importante e influyente en la mezcla total de granos.

Todos los esfuerzos en mejoramiento genético se desarrollan para proveer a los productores de cacao del país y la región clones con alta productividad, buena tolerancia a las principales enfermedades (moniliasis y mazorca negra) y con excelentes características organolépticas de fineza y aroma.

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

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

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 6), 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 fue establecido bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con 4 repeticiones. Cada unidad experimental está conformada por 6 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. La parcela experimental establecida en sistema agroforestal tiene un área de 972 m² y está en asocio con la especie forestal granadillo rojo (*Dalbergia glomerata*) como sombra permanente.

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 específico 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 realizará 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

A continuación, se presentarán los datos correspondientes entre el cuarto al noveno año de edad de la plantación (acumulado de seis años de cosecha). Para cada clon se presentarán los valores de producción de mazorcas por árbol y extrapolado a rendimiento de cacao seco por hectárea con el ajuste por índice de mazorca. También se presenta la incidencia de enfermedades del último año de registro (año 2022). Finalmente se presenta una propuesta de un nuevo arreglo policlonal (Figura 7).

Rendimiento comercial. El rendimiento comercial promedio de los 18 clones en el 2023 fue 230 kg menos al del 2022 y muy similar al promedio acumulado de siete años (Cuadro 3). Con relación a la producción de 2023, el rendimiento varió desde 2,180 kg por hectárea para FHIA-612 hasta 837 kg por hectárea para FHIA-707. El promedio general del año fue de 1,336 kg por hectárea. La propuesta de un nuevo arreglo policlonal conformado por los clones FHIA-330 (AC), FHIA-310 (AI), FHIA-612 (AC), FHIA-533 (AI) y FHIA-65 (AC) presentado en el informe técnico 2022 y establecido en el CEDEC-JAS en el 2021, se esperaría potencialmente una producción de 1,705 kg de cacao seco por hectárea. Incluso, si extrapoláramos el rendimiento promedio de siete años con la densidad de plantación de árboles de 3.5 m x 3.5 m, la cual es más comúnmente utilizada por los productores, hay siete clones que producirían más de la tonelada de cacao seco por hectárea y dos adicionales cuyo rendimiento estaría cercano a la tonelada. Los nueve clones de menor rendimiento en las condiciones de manejo del estudio promedian 1,032 kg por hectárea, prácticamente tres veces la producción promedio estimada de productores en zonas de topografía plana en Honduras.

La producción de frutos sanos fue en promedio 27.4 frutos por árbol, con un decremento de 4.7 frutos en relación con la producción del 2022. Al aplicar el índice de mazorca para cada clon se observa que el clon FHIA-612 es el único que registra un rendimiento promedio mayor a las dos toneladas por hectárea; sin embargo, si incluimos los límites de confianza (95 % de probabilidad) observamos que potencialmente tenemos tres clones que pueden superar las dos toneladas de cacao seco por hectárea.

Cuadro 3. Producción anual, promedio e incidencia de enfermedades en 18 clones de cacao desarrollados y evaluados por la FHIA. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.

Clon FHIA	Frutos/árbol										Producción (kg/ha)	
	4° 2017	5° 2018	6° 2019	7° 2020	8° 2021	9° 2022	10° 2023	Sanos (7 años)	MN (2023)	Mon (2023)	2023	Promedio (LC)
612	19.8	28.1	45.1	33.5	28.3	34.8	38.7	32.6	0.4	3.0	2,180	1,839 (1,573-2,105)
330	29.0	21.0	51.0	35.4	43.9	47.7	41.9	38.5	0.6	2.8	1,981	1,825 (1,543-2,107)
65	24.4	39.6	53.8	37.5	33.1	39.2	40.3	38.3	0.4	5.4	1,891	1,796 (1,570-2,022)
310	22.8	20.4	31.2	27.0	32.9	23.9	19.4	25.4	0.6	0.9	1,353	1,769 (1,562-1,976)
276	18.8	17.8	34.2	37.0	32.6	34.4	31.6	29.5	0.3	2.4	1,802	1,684 (1,374-1,994)
741	20.7	19.1	41.3	27.7	26.2	33.3	24.8	27.6	0.6	1.2	1,386	1,543 (1,274-1,812)
533	23.5	24.8	50.6	40.4	40.6	35.6	34.1	35.7	0.1	2.3	1,459	1,525 (1,309-1,740)
515	23.3	18.4	35.5	28.6	30.1	38.0	33.5	29.6	0.9	3.5	1,473	1,303 (1,104-1,502)
677	20.7	21.9	44.0	20.6	29.0	30.5	23.7	27.2	0.4	7.0	1,117	1,284 (1,042-1,527)
430	19.3	15.6	41.5	17.8	23.7	28.8	17.5	23.5	0.2	1.9	940	1,260 (1,037-1,484)
671	14.3	13.4	34.2	27.3	24.5	33.8	27.4	25.0	0.5	1.2	1,241	1,131 (925-1,337)
707	22.8	14.8	35.7	31.9	27.8	30.5	19.5	26.1	0.6	1.3	837	1,122 (969-1,274)
225	19.8	18.2	31.6	15.0	34.0	29.8	26.7	25.0	0.5	2.2	1,191	1,117 (895-1,338)
130	12.7	19.1	36.6	17.6	20.8	32.8	25.4	23.6	1.0	2.4	1,174	1,089 (887-1,295)
708	7.3	16.2	33.0	28.6	25.8	30.7	25.8	23.9	0.5	4.1	1,174	1,087 (886-1,288)
228	23.2	22.0	33.6	30.7	23.6	33.3	25.7	27.4	1.1	2.8	1,014	0,1086 (912-1,260)
63	18.8	17.1	23.9	23.0	29.3	23.8	20.1	22.3	0.1	1.0	963	1,071 (902-1,240)
736	9.9	11.1	15.7	20.2	20.5	17.4	16.6	16.0	0.6	2.0	875	843 (722-964)
Media	19.5	19.9	37.4	27.8	29.3	32.1	27.4	27.6	0.5	2.6	1,336	1,354 (1,258-1,450)
p-valor	0.001	<0.001	0.002	0.066	0.072	0.091	0.0003	<0.001	0.6198	0.004	0.001	<0.0001
C.V.	32.07	26.8	26.2	41.2	32.7	32.1	30.3	17.2	113.3	66.1	30.8	17.9
R ²	0.69	0.73	0.67	0.35	0.38	0.48	0.57	0.72	0.51	0.63	0.58	0.75

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

La Figura 7 muestra el rendimiento promedio acumulado de siete años en kilogramos por hectárea de los 18 clones FHIA. Para la determinación del rendimiento se toma en cuenta el índice de mazorca para cada clon. Por ejemplo, para el clon FHIA-310 con un índice de mazorca es de 15.8 y un promedio a los siete años de 25.4 frutos por árbol, equivale a 1.61 kg de cacao seco por árbol.

El criterio de selección de la FHIA para el índice de mazorca es que sea igual o menor a 20; sin embargo, valores por encima de este valor no deben ser descartados al momento de conformar arreglos policlonales, pues existen otras características como la tolerancia a enfermedades que deberán considerarse para incrementar la resistencia genética y la diversidad de sabores y aromas durante en beneficiado del cacao. En la misma Figura, observamos la incidencia de afectación por las enfermedades mazorca negra y monilia expresada en kilogramos.

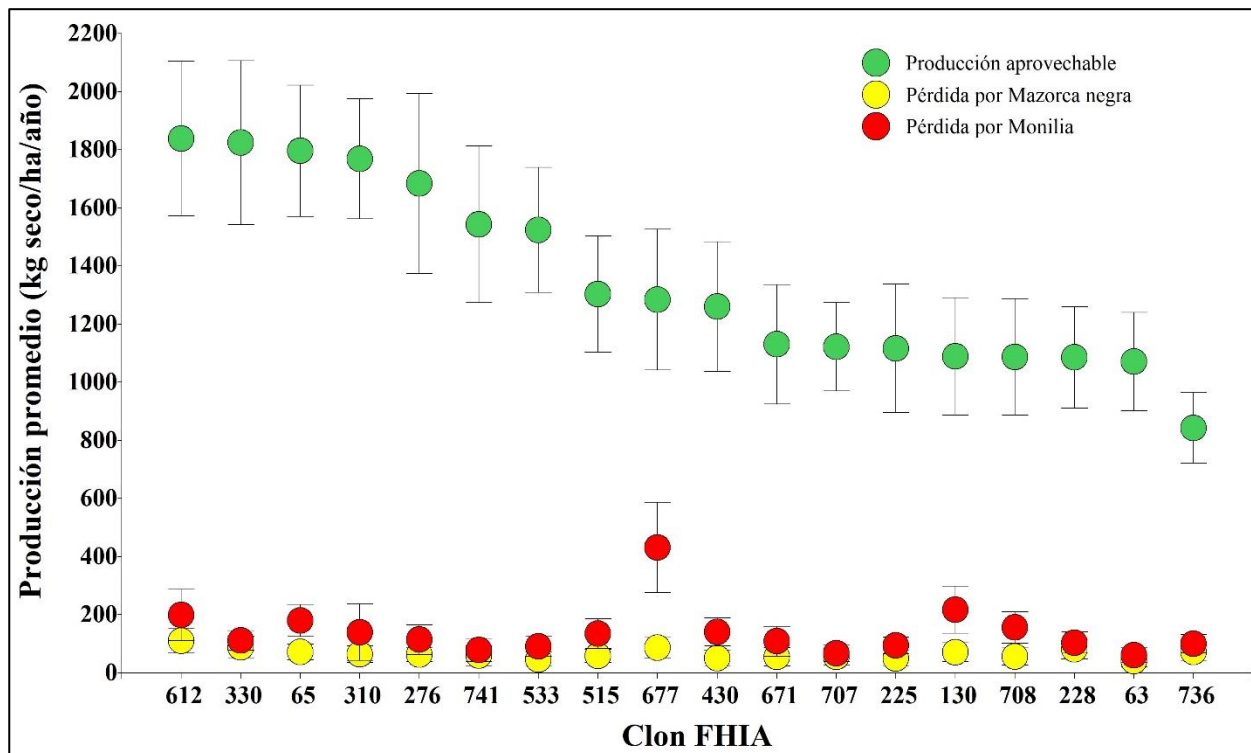


Figura 7. Rendimiento promedio (2017-2023) de 18 clones de cacaos evaluados y seleccionados por la FHIA. CEDEC-JAS La Masica, Atlántida, Honduras.

Distribución de la producción. Al comparar el rendimiento total y proporción de frutos dañados, se observa que en el 2023 hubo un 1.0 % más de aprovechamiento de frutos sanos que en el año anterior (Figura 8). La monilia se mantiene como la principal enfermedad que afecta la producción con 8.6 % de incidencia y continua a la baja por tercer año consecutivo en parte debido a la implementación de practias integradas de manejo como ser: mayor frecuencia en la remoción de frutos enfermos, aplicación de fungicidas y el manejo constante de podas de mantenimiento. La afectación por mazorca negra fue apenas de 1.6 %, se considera baja.

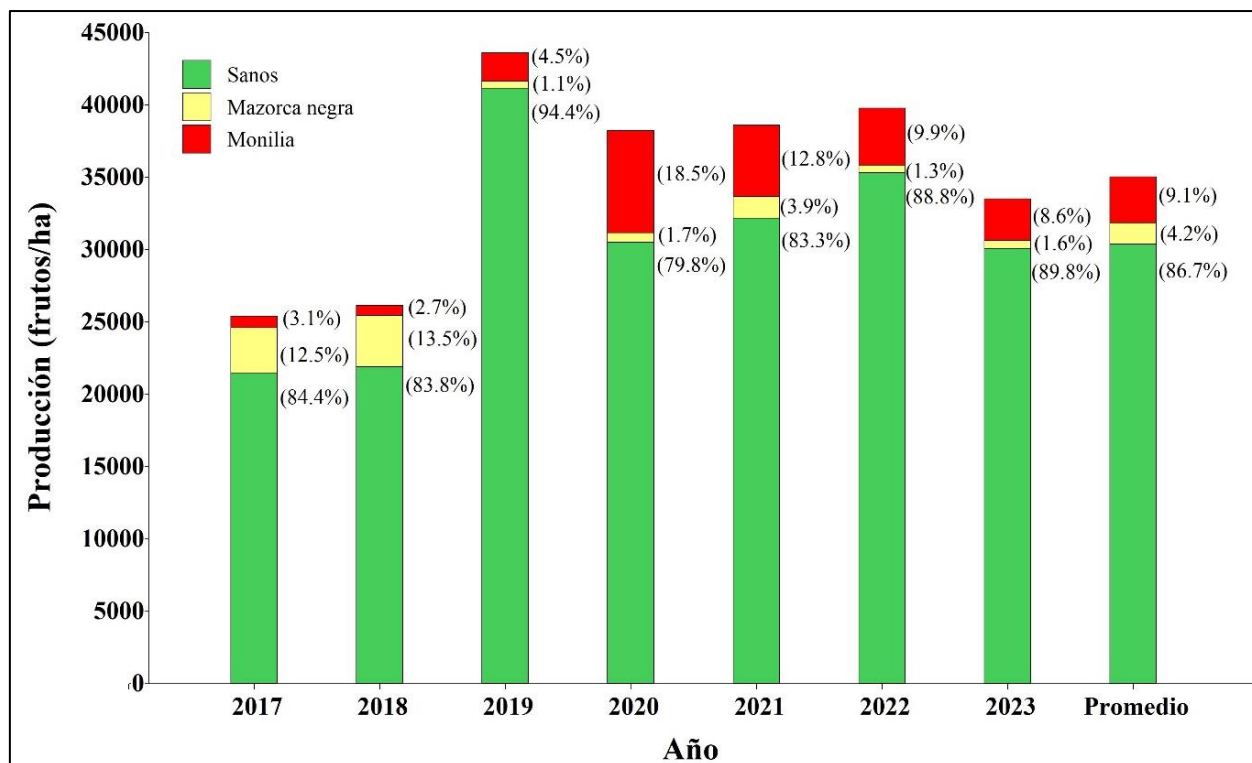


Figura 8. Rendimiento total y proporción de pérdidas por enfermedades por año de 18 cultivares de cacao evaluados y seleccionados por FHIA. CEDEC-JAS La Masica, Atlántida, Honduras.

Índice de enfermedad y producción. Según el Dr. Ramón Jaimez y colaboradores (2020) definen el DPI (Disease and Production Index) como un índice que contempla valorar la interacción del nivel de resistencia a enfermedades y producción de clones de cacao. En general, el DPI es una expresión matemática que se deriva de la lógica que cuanto mayor sea el rendimiento potencial y menor sea el porcentaje de incidencia de la enfermedad, mayor será el índice, por lo tanto, puede ser utilizado como herramienta en la toma de decisiones dentro de programas de mejoramiento en la búsqueda de materiales genéticos con alta productividad y tolerancia a monilia y/o con resistencia a mazorca negra:

$$\text{DPI} = [\text{NHP} + \text{NDP} / \text{DPC}] \times 0.1, \text{ donde}$$

NHP = Número de frutos sanos por año

NDP = Número de frutos enfermos por año

DPC = $(\text{NDP} + 1) / (\text{NHP} + 1)$ y es un coeficiente para total de frutos enfermos

Se calcula para cada enfermedad o juntando los datos de las dos enfermedades (general).

El análisis de correlación de 504 datos (18 clones x 4 repeticiones x 7 años) muestra la asociación entre las variables determinantes (frutos sanos, afectados por monilia y mazorca negra) para el cálculo del DPI de los 18 cultivares. La Prueba de Pearson muestra que el DPI está más correlacionado y de manera positiva con los frutos sanos ($R\text{-Pearson} = 0.72$ y $p\text{-valor} < 0.0001$), mientras que, de forma negativa ($R\text{-Pearson} = -0.32$ y $p\text{-valor} < 0.0001$) en lo referente a la resistencia a mazorca negra y monilia ($R\text{-Pearson} = -0.19$ y $p\text{-valor} < 0.0001$).

En el Cuadro 4 se muestra los resultados del análisis de varianza con una alta significancia para clon. La prueba de medias muestra que los clones más productivos, muestran los mayores DPI.

Cuadro 4. Separación de medias y resumen de resultados del análisis de varianza para el índice de enfermedad y producción general, analizando la productividad y tolerancia a ambas enfermedades, de 18 clones de cacao, evaluados y seleccionados por la FHIA. CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2017-2023.

Clon FHIA	Índice de producción y enfermedad						
533	54.28	a					
330	45.39	a	b				
65	37.39	b	c				
741	36.82	b	c	d			
276	36.35	b	c	d	e		
707	31.61	b	c	d	e		
612	30.83	b	c	d	e	f	
515	27.27	c	d	e	f		
225	26.97	c	d	e	f		
310	26.52	c	d	e	f	g	
671	26.48	c	d	e	f	g	
63	23.08	c	d	e	f	g	
430	21.24	c	d	e	f	g	
228	20.19	d	e	f	g		
130	19.84	e	f	g			
708	16.54	f	g				
677	14.62	g					
736	9.82						h
C.V.	35.37						
R²	0.69						
p-valor	<0.0001						

Índice de producción y enfermedad con letras en común son estadísticamente similares.

La información de producción es complementada con la información de las características físicas y organolépticas de los clones. Todos los parámetros evaluados por clon permitirán tomar mejores decisiones referentes para la conformación de policlones, su registro y posterior liberación.

Conclusiones

- Se finaliza la etapa cuatro dentro de la estrategia de mejoramiento genético de clones de cacao. La producción promedio de 7 años mantiene de forma sostenible el orden jerárquico de los clones.
- Todos los clones evaluados sobrepasan claramente el promedio de producción del país.
- La moniliasis es la principal enfermedad que reduce la producción de cacao con una incidencia promedio de 9.1 %.
- Se debe iniciar la evaluación de estos materiales en arreglos policlonales en zonas con condiciones edafoclimáticas diferentes como parte de la etapa 5 de la estrategia de mejoramiento.

Recomendación

Con la información recabada al séptimo año de producción y la estabilidad de los rendimientos es momento de iniciar evaluaciones a nivel de policlones en zonas geográficas con condiciones de clima y suelo diferentes a las del CEDEC-JAS para determinar su adaptación y productividad.

Resultados del estudio de 12 cultivares. Como complemento al estudio anterior de 18 cultivares, se presentan los resultados al sexto año de registro de producción (noveno año de establecidos) de 12 cultivares adicionales.

El promedio de producción de frutos sanos por árbol registró un decremento de 4 frutos en comparación al ciclo de 2022. El promedio de seis años es de 17.9 frutos sanos por árbol que equivalen a un promedio de 944 kg de cacao seco por hectárea con el supuesto de un índice de mazorca de 20.5 (Cuadro 5). En este periodo se utilizó para el cálculo de rendimiento el índice de mazorca para cada clon calculado en el 2021 y se estimó el intervalo de confianza de la producción promedio de los seis años; con lo cual se puede afirmar, con 95 % de confianza, que el rendimiento promedio del clon FHIA-21C al sexto año está entre 962 y 1,320 kg por hectárea, lo cual es bueno. Con excepción de los clones FHIA-100 y FHIA-255, los demás clones muestran un rendimiento promedio mayor a 900 kg por hectárea y con potencial para producir más de una tonelada de cacao seco por hectárea. Los valores de afectación por moniliasis y mazorca negra fueron muy similares a los observados en el ciclo anterior. Moniliasis continúa teniendo mayor relevancia que mazorca negra.

Cuadro 5. Producción anual de frutos sanos por árbol desde el 4° al 9° de producción y de frutos enfermos en el 2023 de 12 clones de cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2018-2023.

Clon FHIA	Frutos/árbol									Producción (kg/ha)	
	4° 2018	5° 2019	6° 2020	7° 2021	8° 2022	9° 2023	Media (6 años)	MN (2023)	Mon (2023)	2023	Promedio (LC)
21C	19.4	15.7	22.2	22.6	31.3	22.6	22.3	1.1	3.1	1,184	1,141 (962-1,320)
224	11.0	13.4	20.6	14.5	22.7	20.8	17.2	1.8	4.0	1,316	1,026 (818-1,233)
74	13.8	19.0	16.4	19.6	22.6	23.3	19.1	0.7	1.9	1,298	1,024 (871-1,176)
63	9.8	17.3	24.8	21.3	30.8	24.4	21.4	0.9	3.4	1,155	1,014 (805-1,224)
161	8.6	11.4	13.3	12.0	21.1	17.7	14.0	0.6	2.8	1,328	961 (762-1,161)
5	8.4	19.1	16.6	14.3	21.9	19.4	16.6	2.3	4.3	1,163	940 (776-1,103)
108	8.8	11.8	18.5	19.4	28.1	17.8	17.4	1.2	1.8	985	937 (746-1,128)
32	14.9	22.0	23.0	18.7	16.3	21.7	19.4	0.3	17.6	1,029	925 (801-1,050)
245	11.5	14.5	15.6	13.4	20.5	20.7	16.0	0.4	4.2	1,268	924 (778-1,070)
146	12.3	13.7	18.3	23.0	31.4	17.4	19.4	1.0	3.5	806	904 (739-1,068)
100	11.4	14.0	20.8	16.9	24.5	18.2	17.6	0.6	2.1	784	780 (651-908)
255	9.2	12.7	16.7	12.8	19.7	18.3	14.9	1.0	2.7	939	750 (642-858)
Media	11.6	15.4	18.9	17.4	24.2	20.2	17.9	1.0	4.3	1,105	944 (897-990)
p-valor	0.007	0.004	0.252	0.001	0.122	0.571	0.0094	0.0746	0.0068	0.0484	0.0632
C.V.	32	23.8	30.2	22.7	31.96	25.46	16.36	82.36	114.8	24.1	15.97
R ²	0.64	0.67	0.31	0.61	0.54	0.28	0.53	0.51	0.54	0.44	0.46

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

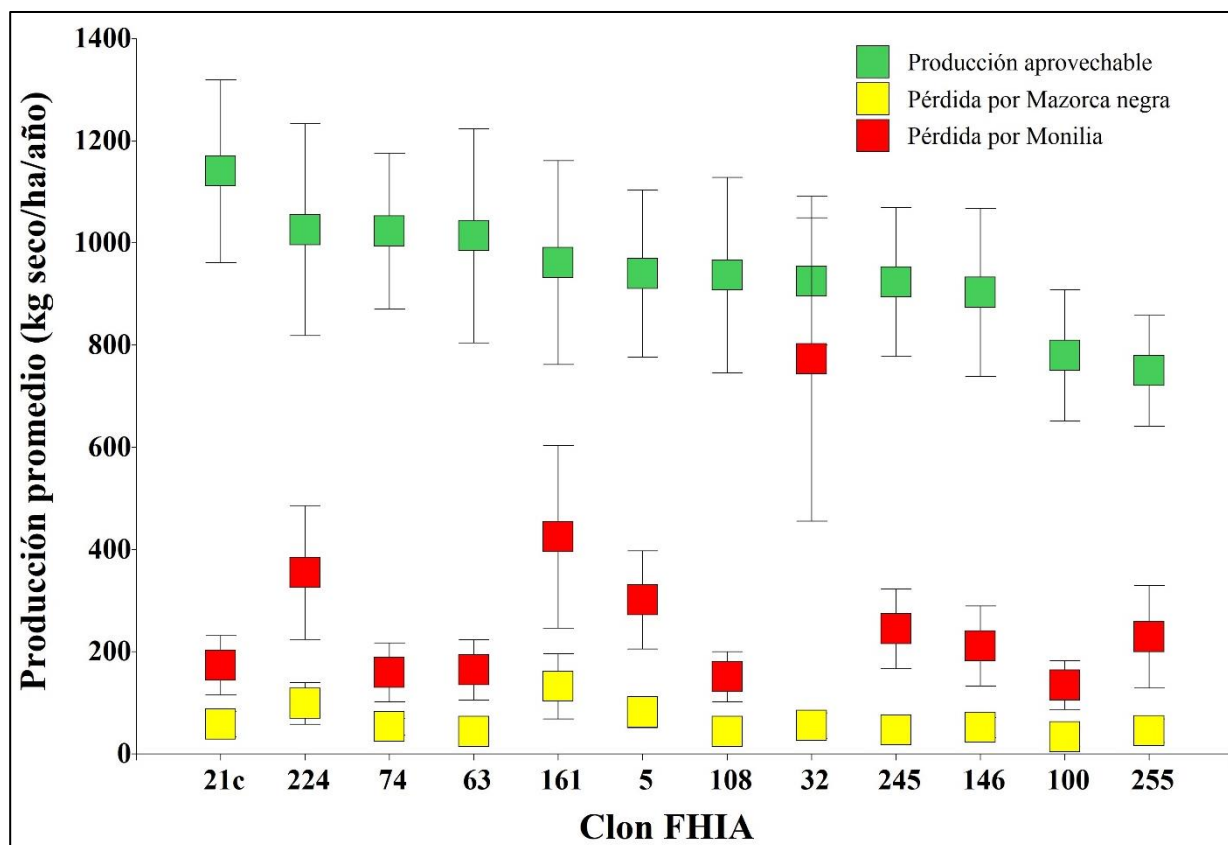


Figura 9. Rendimiento anual promedio de 6 años de cacao seco y pérdidas por enfermedades en 12 clones de clones seleccionados y evaluados por la FHIA. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2018-2023.

En Honduras, se estima que el promedio de producción de cacao seco es de 350 kg/ha; por lo tanto, al relacionar ese valor con los resultados de este estudio, se puede observar que todos los clones sobrepasan ampliamente dicho promedio (Figura 9). Sin embargo, en nuestro plan de mejoramiento se desean clones que produzcan arriba de la tonelada por hectárea después de los 7 años de vida productiva y en este caso, al sexto año de registro los clones FHIA 21-C, FHIA-224, FHIA-74 y FHIA-63 cumplen con este criterio.

El promedio de seis años de frutos sanos por planta (Figura 9) muestra que el clon FHIA-21C mantiene los registros más altos de producción; y en general, el comportamiento productivo de los clones en el 2023 se mantiene consistente con los registros de años anteriores. Adicionalmente en el 2023, ocho clones registraron valores por encima de la tonelada por hectárea y solamente los clones FHIA-108, FHIA-146, FHIA-100 y FHIA-255 promediaron valores menores a los mil kilogramos. El FHIA-32 muestra una producción total aceptable pero también es el clon que muestra la mayor susceptibilidad de mazorcas afectadas por moniliasis en este ensayo. Una alternativa podría consistir en recomendar su establecimiento en zonas con condiciones ambientales con menor precipitación (alrededor de los 2 mil mm anuales), o sea menos favorables para el desarrollo del hongo y que el productor aplique prácticas de manejo frecuentes y efectivas.

La Figura 10 muestra la distribución del rendimiento comercial en sus diferentes categorías. Por

ejemplo, es notorio como la producción total ha sido afectada por enfermedades, especialmente por moniliasis durante los últimos seis años. Se observa que, durante el período 2023, de cada 100 mazorcas cosechadas, 79 fueron sanas y se perdieron 17 por afectación de moniliasis y 4 por mazorca negra. La afectación de frutos por moniliasis en el 2023 registró un promedio de 4.3 frutos por árbol, 1.3 frutos menos que la incidencia registrada en el 2022 (5.6 frutos). La reducción se debe en gran parte a las prácticas de control como aplicaciones de productos cúpricos y remoción de frutos enfermos con mayor frecuencia que se iniciaron a partir del segundo semestre de 2022.

Desde el punto de vista de susceptibilidad a moniliasis, FHIA-32 muestra mayor nivel de susceptibilidad con 17.6 %. Los demás clones registran niveles entre 1.8 y 4.3 %, considerados como bajos. La incidencia de mazorca negra fue mínima y en los últimos años se mantiene alrededor del 1.0 %.

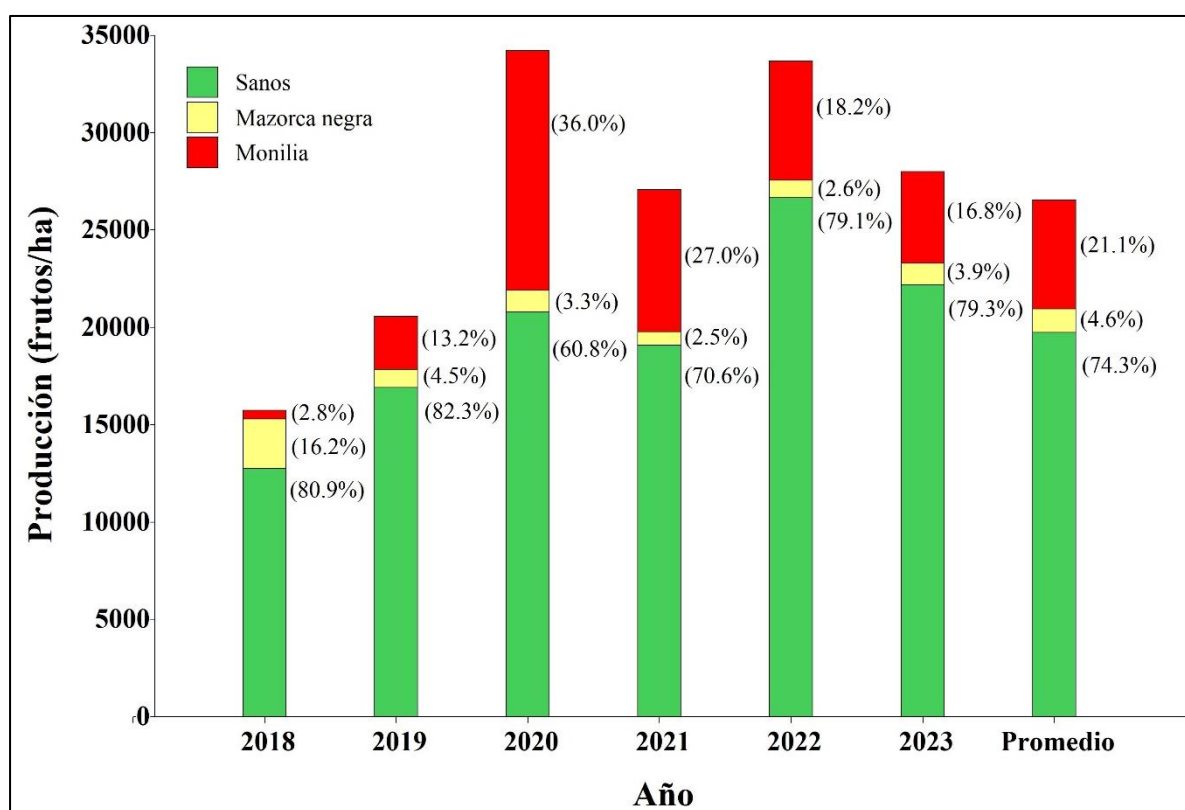


Figura 10. Distribución del rendimiento total en 12 clones desarrollados y evaluados por la FHIA, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2018-2023.

En general, los promedios tanto de mazorcas sanas como de mazorcas afectadas por enfermedades disminuyeron en comparación al ciclo anterior; sin embargo, es claro el incremento en el rendimiento general de los 12 clones en el presente periodo.



Figura 11. Clones de cacao promisorios del estudio de 12 cultivares. CEDEC-JAS. 2023.

Conclusiones del periodo

- Al sexto año de registro, la producción promedio de todos los clones fue de 20.2 mazorcas/árbol que corresponde a 1,105 kg/ha de cacao seco.
- El clon FHIA-21C continúa registrando de forma sostenible un rendimiento promedio arriba de 1.0 tonelada de cacao seco por hectárea.
- Cuatro clones mantienen un promedio de rendimiento superior a los 1,000 kg/ha.
- La moniliasis continúa siendo la principal enfermedad que afecta a las mazorcas de cacao en este sitio. Se observó en este periodo una disminución en la incidencia de mazorcas afectadas por moniliasis en comparación al ciclo anterior.
- La incidencia de mazorca negra continúa siendo baja y se mantiene en niveles por debajo del 5 %.

3.2. Prueba regional: evaluación de 28 clones comerciales de cacao bajo las condiciones del CADETH-AMR. AGF 17-01

Oscar Ramírez, Alfredo Martínez y Francisco Javier Díaz

Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen. El estudio fue establecido en 2016, en el marco del proyecto Mejoramiento de ingresos y empleo para productores(as) de cacao en Honduras (PROCACAO), con el objetivo de conocer la adaptación, productividad y tolerancia a enfermedades/plagas de los diferentes arreglos policlonales y clones de cacao en suelos de ladera en zona de vida bosque húmedo tropical. La parcela experimental de una hectárea se estableció en sistema agroforestal: cacao-plátano-madreado-caoba del Atlántico con arreglos de plantación 3 x 3, 3 x 3, 6 x 6 y 6 x 12 m, respectivamente. Los tratamientos consistieron en 12 arreglos policlonales, cada uno con 4-5 clones en arreglo u ordenados de acuerdo con su intercompatibilidad sexual. En total se utilizaron 28 clones de cacao para la conformación de los policlones. El diseño experimental es de bloques completos al azar con seis repeticiones. Los datos se registraron al momento de la cosecha por clon: frutos sanos, dañados por monilia, por mazorca negra y plagas (ardillas y pájaros).

El rendimiento del cacao seco por hectárea se estimó con el acumulado de la producción de frutos por clon entre su índice de mazorca. Se encontraron diferencias estadísticas significativas (p -valor <0.05) entre los tratamientos/policlones, con respecto a la producción media anual de frutos totales y sanos, frutos dañados por plagas y cacao seco. Los arreglos policlonales 8 y 7 conformados por los clones EET no son diferentes estadísticamente entre sí; sin embargo, son diferentes al resto de los policlones y continúan siendo los de mayor producción, con un promedio anual de 2019 a 2023 de 745 y 705 kg/ha, respectivamente. La incidencia ambas enfermedades se incrementó; la monilia pasó a 11.1 % y la de mazorca a 21.5 %. El % de frutos dañados por plagas continúa siendo importante, con pérdidas en este último año de 14.2 %. En general, se ha mantenido un mejor comportamiento productivo en los policlones que cuentan con mayor cantidad de clones autocompatibles.

Palabras clave: adaptación, productividad, intercompatibilidad, policlones, frutos dañados

Introducción

Desde el 2010 con el desarrollo del proyecto Promoción de Sistemas Agroforestales de Alto Valor con Cacao en Honduras, ejecutado por la FHIA y financiado por el gobierno de Canadá, se marcó el surgimiento del sector cacaotero hondureño, tanto desde el punto de vista de la expansión de áreas de cultivo como en la investigación, y desarrollo del gremio asociado. Las más de 4,000 ha nuevas establecidas con este y otros proyectos, así como las potenciales por establecer, son seleccionadas y desarrolladas con base en criterios técnicos como son la ubicación, topografía, el clima, suelo, entre otros, sin embargo, la selección de material genético a establecer se basa en información desarrollada por la FHIA en sus centros en La Masica, Atlántida.

La selección de materiales difiere de acuerdo con las condiciones agroecológicas propias de cada lugar. En ese sentido, es importante disponer de materiales genéticos adaptados a cada zona, con buena productividad, resistencia a enfermedades y características de calidad, para evitar recomendar aquellos que muestran poca adaptación a lugares y condiciones específicas. Las pruebas regionales fue un concepto desarrollado en 2015 por el Programa de Cacao y

Agroforestería que buscaba la evaluación de clones de cacao de uso comercial en diferentes zonas geográficas del país. Sin embargo, esta iniciativa por ser formulada como parte de un proyecto (FHIA-PROCACAO) no contó con el apoyo a largo plazo y fue abandonada por falta de financiamiento.

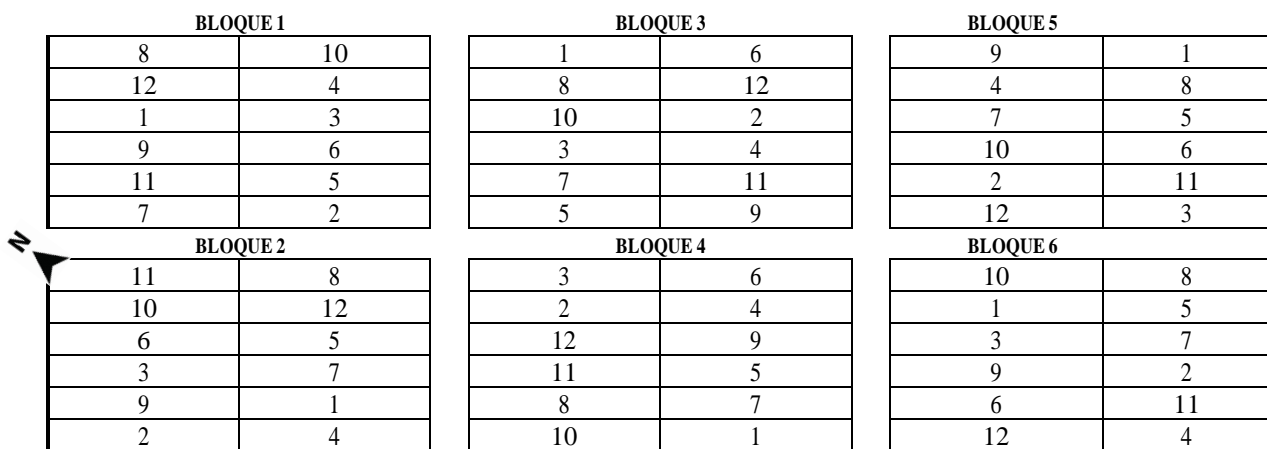
De los 8 sitios inicialmente establecidos únicamente se dio seguimiento al lote establecido por la FHIA en el CADETH-AMR (Centro Agroforestal Demostrativo del Trópico Húmedo - Adolfo Martínez Rondanelli), en la comunidad de El Recreo, La Masica, Atlántida. Esta parcela, está establecida en un terreno de ladera, con suelos característicos de muchas zonas de producción. En este informe se presentan los resultados obtenidos de enero a diciembre de 2023 con árboles de cacao de 82 a 94 meses de edad. Adicionalmente, se incluyen los resultados anuales desde el 2018, para conocer la evolución de los clones/policlones de cacao a través del tiempo (Ramírez, *et al.*, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022).

Objetivo

Conocer la adaptación, productividad y tolerancia a enfermedades/plagas de los diferentes arreglos policlonales y clones de cacao en suelos de ladera ubicado en zonas de vida de bosque húmedo tropical.

Materiales y métodos

En abril de 2016 se estableció en el CADETH-AMR (UTM X:491604, Y:1719864.) una parcela experimental de una hectárea bajo sistema agroforestal: cacao-plátano-madreado-caoba del atlántico, con 28 clones de cacao distribuidos en 12 arreglos policlonales según su intercompatibilidad sexual. Dicho sitio cuenta con precipitaciones promedio entre 3,000-3,500 mm/año, temperatura media entre 26-27 °C, altitud de 274 msnm y terrenos con pendientes entre 15-20 %. El ensayo fue establecido bajo un diseño de bloques completos al azar con seis repeticiones y 12 tratamientos (arreglos policlonales), con un total de 72 unidades experimentales (Figura 12).



BLOQUE 1		BLOQUE 3		BLOQUE 5	
8	10	1	6	9	1
12	4	8	12	4	8
1	3	10	2	7	5
9	6	3	4	10	6
11	5	7	11	2	11
7	2	5	9	12	3
BLOQUE 2		BLOQUE 4		BLOQUE 6	
11	8	3	6	10	8
10	12	2	4	1	5
6	5	12	9	3	7
3	7	11	5	9	2
9	1	8	7	6	11
2	4	10	1	12	4

Figura 12. Croquis del experimento. Nota: el número dentro del cuadrante corresponde al tratamiento-policlon.

Los arreglos policlonales estuvieron conformados por cuatro o cinco clones de cacao. Cada unidad experimental- policlon ocupó 135 m² (15 plantas de cacao).

Cuadro 6. Clones incluidos en cada uno de doce arreglos policlonales evaluados.

Arreglo policlonal	Hilera				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	POUND-12	FCS-A2	SPA-9	CCN-51	IMC-67
T2	POUND-12	FCS-A2	CCN-51	SPA-9	FCS-A2
T3	UF-667	ICS-1	ICS-39	TSH-565	ICS-95
T4	TSH-565	ICS-1	ICS-39	TSH-565	ICS-95
T5	FHIA-168	FHIA-708	FHIA-168	FHIA-330	FHIA-738
T6	FHIA-707	FHIA-708	FHIA-168	FHIA-330	FHIA-738
T7	EET-48	EET-162	EET-62	EET-95	EET-96
T8	EET-62	EET-162	EET-95	EET-8	EET-95
T9	TSH-565	ICS-1	ICS-39	UF-296	UF-29
T10	TSH-565	ICS-1	ICS-39	UF-296	UF-29
T11	CAUCA-47	CAUCA-37	CCN-51	CAUCA-39	CAUCA-43
T12	CAUCA-34	CCN-51	CAUCA-39	CAUCA-43	CCN-51

Variables de evaluación:

- Porcentaje de sobrevivencia al final del año
 - Frutos sanos por árbol, quincenal
 - Frutos con moniliasis por árbol, quincenal
 - Frutos con mazorca negra por árbol, quincenal
 - Frutos dañados por plagas por árbol, quincenal
 - Índice de grano por clon
 - Índice de mazorca por clon
 - Rendimiento de cacao seco en kg/ha
- En la cosecha (Figura 13A)
- Final del secado (Figura 13B)



Figura 13. A. Registro de variables durante la cosecha y B. Al terminar el beneficiado.

Para el análisis estadístico de la variable se empleó el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020) para realizar el análisis de varianza y la prueba de separación de medias de Duncan. Adicionalmente, se construyeron los intervalos de confianza al 95 % específicamente para la variable rendimiento de cacao seco (kg/ha).

Manejo del experimento. Las actividades en el cacao incluyeron dos podas de mantenimiento, dos de control de maleza (chapia), cuatro jornadas de eliminación de chupones y la fertilización

realizada en dos momentos de la dosis de 75-40-80 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O más 92 kg de cal dolomita. Se eliminó 65 % del madreado y se remarcaron los árboles de caoba del atlántico como parte del manejo de los activos biológicos de la estación. En total se utilizaron alrededor de 56 jornales para realizar todas las actividades de manejo agroforestal.

Resultados y discusión

El rendimiento de frutos por árbol en 2023 mostró un incremento de 0.3 frutos con relación al valor registrado en el ciclo anterior. La producción de frutos sanos; por lo tanto, fue similar a las de 2022. De igual manera, las incidencias de moniliasis y mazorca negra se mantuvieron bajas y las pérdidas por ardillas y pájaros representó 10.7 % de la producción (Figura 14).

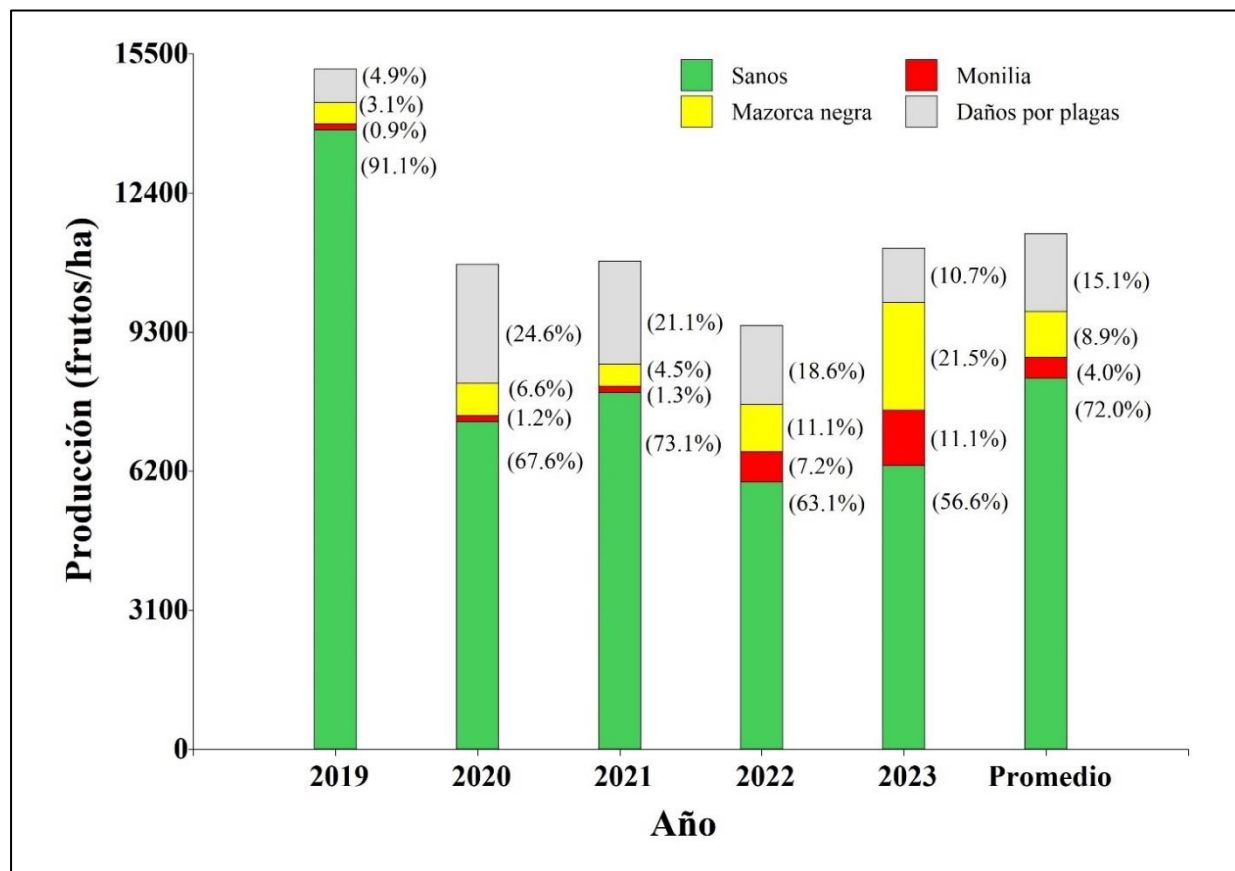


Figura 14. Producción de frutos sanos y con diversos daños por plagas y enfermedades en la prueba regional en el CADETH (FHIA. El Recreo, La Masica, Atlántida. 2018-2023.

En este año la plantación de cacao entró a la etapa adulta de acuerdo con los parámetros descritos por Dubón y Sánchez (2016). Se encontraron diferencias estadísticas significativas en la producción de frutos totales y frutos sanos, mas no para el rendimiento de cacao seco entre los arreglos policlonales. No se encontró diferencias (p -valor < 0.05) en la incidencia de monilia, mazorca negra y daños por plaga (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resumen de resultados del análisis de varianza de las variables de producción de 12 arreglos policlones de cacao en la prueba regional. CADETH-AMR, El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras. 2019-2023.

Variable	2019			2020			2021			2022			2023		
	P-valor	R ²	C.V.	P-valor	R ²	C.V.	P-valor	R ²	C.V.	P-valor	R ²	C.V.	P-valor	R ²	C.V.
Totales	0.0035	0.52	26	0.0040	0.56	27	0.0097	0.53	39	0.2095	0.22	30	0.0126	0.51	33
Sanos	0.0155	0.49	29	0.0755	0.38	38	0.0006	0.59	43	0.2358	0.21	42	0.0009	0.58	46
Monilia	0.3656	0.27	132	0.8247	0.35	121	0.0371	0.39	91	0.0400	0.30	60	0.2242	0.38	56
M. negra	0.5222	0.35	193	0.2275	0.48	135	0.0023	0.53	90	0.1738	0.23	69	0.2413	0.21	53
Plagas	0.0130	0.43	73	0.0123	0.56	54	0.4042	0.37	63	0.0013	0.40	47	0.1001	0.37	62
Cacao seco	0.0066	0.53	24	0.0102	0.54	28	0.0285	0.52	36	0.8854	0.26	30	0.4342	0.44	32

Valores en negrita muestran diferencias estadísticas significativas (p-valor < 0.05) entre los policlones.

R²: coeficiente de determinación; C.V.: coeficiente de variación (%).

Producción de frutos. Los arreglos policlonales más destacados en 2023 fueron los clones 5, 11, 8, 7 y 12 con una producción de 9.4, 6.9, 6.9, 6.4 y 6.0 frutos sanos/planta, respectivamente (Cuadro 8). El primer arreglo (5) está conformado por clones de la FHIA. Este desplazó a los policlones 7 y 8 (clones EET) que siempre mantuvieron los primeros lugares hasta el 2021. Sin embargo, estos continúan liderando el promedio general. Finalmente, los arreglos menos destacados conforman el policlon 9 y 3 con promedio de 4.3 y 4.0 frutos sanos/árbol, respectivamente (Figura 15).

Cuadro 8. Producción de frutos de cacao por árbol por arreglo policlonal en la prueba regional del CADETH. El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras. 2019-2023.

Policlón	Frutos por árbol									Rendimiento anual (kg/ha)	
	Sanos						Dañados, 2023			2023	Promedio (IC)
	3° 2019	4° 2020	5° 2021	6° 2022	7° 2023	Media	Mon	MN	Plagas		
8	16.1	8.2	9.9	5.6	6.9	9.3	1.3	1.9	1.5	693	745 (617-873)
7	15.3	8.4	9.7	4.3	6.4	8.8	1.0	1.5	1.1	615	705 (596-815)
12	12.0	6.4	6.2	5.3	6.0	7.2	0.5	2.1	1.6	601	613 (535-692)
5	14.0	8.0	12.3	7	9.4	10.1	1.4	2.4	1.6	704	609 (534-685)
11	13.3	7.2	6.2	6.9	6.9	8.1	0.9	2.1	0.8	588	604 (509-700)
1	13.0	6.5	5.4	4	4.6	6.7	1.1	2.4	1.2	527	588 (492-684)
2	12.0	6.0	6.9	5.2	4.7	7.0	1.1	2.9	1.0	547	582 (505-660)
10	10.4	5.7	6.1	4.9	4.4	6.3	1.6	2.0	0.7	535	555 (509-602)
6	14.1	7.3	8.3	6.9	8.3	9.0	0.9	1.4	1.2	564	530 (435-625)
9	10.9	6.8	5.8	4.5	4.2	6.4	0.9	1.6	0.7	464	525 (458-591)
4	8.8	4.1	4.5	4.4	3.7	5.1	1.1	3.2	0.9	564	517 (443-591)
3	9.2	4.4	4.5	5.4	2.6	5.2	1.4	2.3	0.6	464	491 (423-559)
Media	12.4	6.6	7.2	5.4	5.7	7.4	1.1	2.2	1.1	572	588 (564-614)

°: edad en años; Mon: monilia; MN: mazorca negra; IC: intervalo de confianza ≥ 95 %.

Medias con letras diferentes en la misma columna presentaron diferencias estadísticamente significativas (p < 0.05).

Rendimiento potencial de cacao seco. El rendimiento de cacao seco se estimó sumando la producción anual y el índice de mazorca determinado para cada clon en condiciones del CEDEC-JAS. Por ejemplo, el policlon 5 (FHIA-168, FHIA-708, FHIA-330 y FHIA-738) alcanzó el mayor rendimiento en el 2023 con 704 kg/ha, seguido por el policlon 8 (EET-62, EET-162, EET-62, EET-95 y EET-8) con 693 kg/ha, el cual también presenta el rendimiento promedio de los cuatro años,

más alto, con 745 kg/ha y un rango de producción entre 617 y 873 kg por ha por año. Hasta la fecha únicamente los policlones 8 y 7 se mantienen en un grupo estadístico con el mayor rendimiento de cacao seco. Finalmente, el policlon menos productivos es el #3 con rendimiento que pueden estar entre 423-559 kg/ha·año.

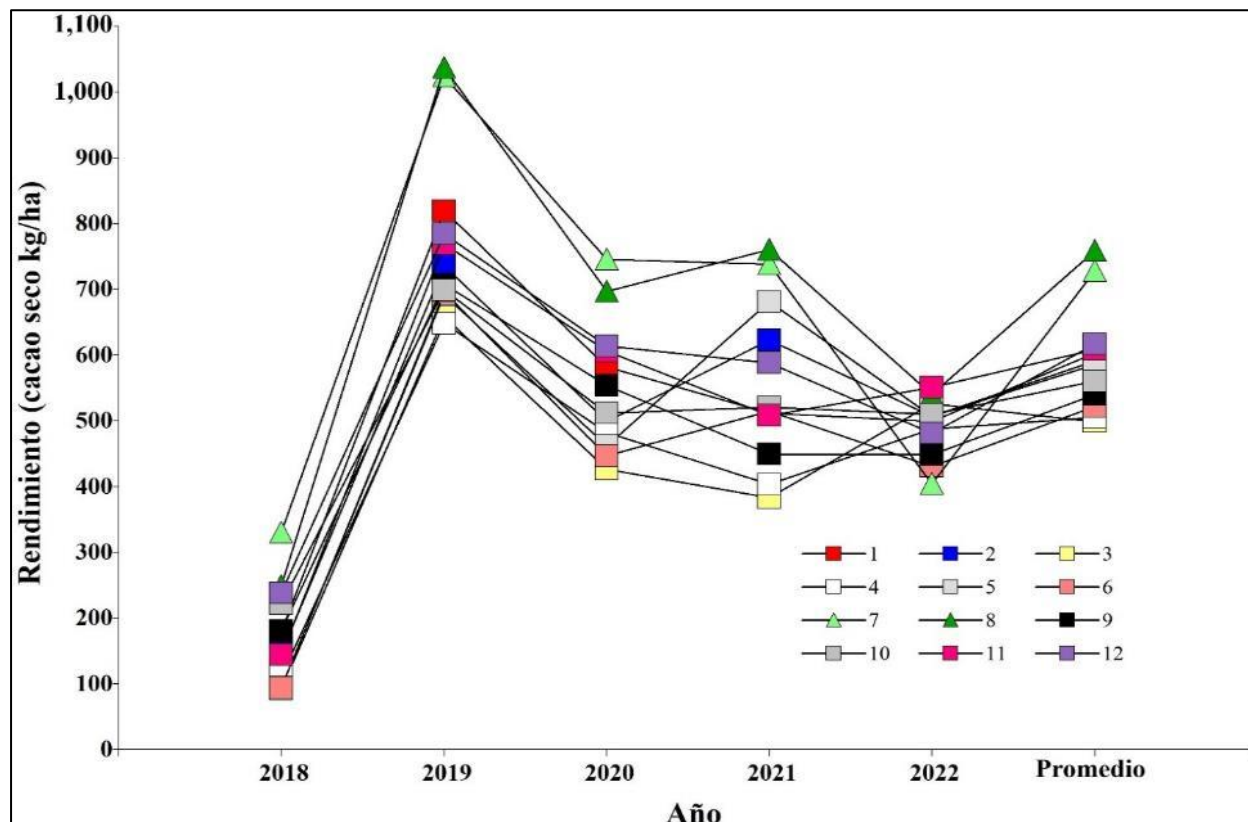


Figura 15. Rendimiento anual desde el 2018 al 2022 y promedio de cacao seco por policlon de la prueba regional del CADETH-AMR. El Recreo, La Masica, Atlántida. 2018-2023.

Distribución de frutos por clon. El análisis por clon adolece del supuesto de independencia, ya que este depende del arreglo policlonal. En 2023 los cultivares FHIA-708, EET- 62, EET-96 y FHIA-168 fueron los que tuvieron mejor rendimiento en la producción de frutos sanos, con 12.9, 7.7, 7.1 y 7.0 frutos/árbol, respectivamente. Entre las principales características de estos materiales genéticos está el carácter de autocompatibilidad a excepción de FHIA-708. Sin embargo, el cultivar con el promedio de rendimiento más alto en los últimos 4 años es el EET-96 con 14.6 frutos/árbol, seguido del FHIA-708 con 14.2 y el UF-29 con 13.2. Mientras que, los cultivares EET-48, FHIA-707, UF-296 e IMC-67 fueron los de menor producción con 2.0, 2.8, 2.9 y 2.9 frutos/árbol, respectivamente. Durante su desarrollo los cultivares menos productivos fueron el EET-8 con un promedio de 2.9 frutos/árbol·año y el EET-48 con 3.2 frutos/árbol·año (Cuadro 9).

Con respecto a las enfermedades FHIA-708 registró baja incidencia a monilia con 0.6 frutos (3.4 %), mientras que, TSH-565 presentó la mayor incidencia con 14 % (1.4 frutos/planta). El clon

CCN-51 fue el más afectado por mazorca negra con un 19 % de su producción (2.3 frutos/planta). La mayor afectación por plagas como ardillas y pájaros carpinteros fue registrada en el POUND-12 con 26 % con 3.1 frutos/planta (Cuadro 9).

Rendimiento de cacao seco potencial por clon. El cultivar que produjo mayor rendimiento de cacao seco y frutos sanos en 2023 fue el CCN-51 con 1,058 kg/ha (Figura 16); en segundo lugar, están los clones EET-96 y EET-62 con 970 kg/ha. Los cultivares EET-96 y EET-162, lograron mantenerse como los más productivos en el promedio de 2019 a 2023 con 1,103 kg/ha y un intervalo de confianza entre 890 y 1,315 kg y, 977 con intervalo de confianza entre 824 y 1,129 kg/ha·año, respectivamente. Clones como FHIA-707 y EET-48 se mantienen con los bajos en rendimiento promedio el cual no superan los 300 kg/ha por año (Figura 16). Finalmente, el clon ICS-1 que es autocompatible y muestra muy buena producción en las condiciones del CEDEC-JAS, es de los clones con menor producción en la localidad de El Recreo; esto probable, a las condiciones pobres que predominan en los suelos de la estación.

El conocer el comportamiento agronómico para cada clon (Cuadro 9) permite rediseñar o modificar los arreglos policlonales para obtener mejores resultados. Puede mejorarse la producción con la inclusión de clones autocompatibles que por lo general son intercompatibles y con buen comportamiento productivo (López *et al.* 2017; Ramírez *et al.* 2019).

Cuadro 9. Producción de frutos y rendimiento de cacao por clon en la prueba regional del CADETH-AMR. El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras. 2019-2023.

Clon	Frutos por árbol									Rendimiento (kg/ha)	
	Sanos						Dañados, 2023			2023	Promedio (LC)
	3° 201 9	4° 202 0	5° 202 1	6° 202 2	7° 202 3	Medi a	Mo n	M N	Plaga s		
EET-96	22.6	12.6	16.0	7.1	9.1	13.5	1.3	2.1	2.3	970	1,103 (890-1,315)
EET-162	19.3	10.3	14.9	4.4	7.4	11.3	1.5	2.0	2.3	811	977 (824-1,129)
CCN-51	12.2	5.2	9.8	6.2	8.4	8.4	1.3	4.0	1.6	1058	959 (877-1,041)
EET-62	16.2	13.5	14.9	7.7	14.2	13.3	1.0	0.8	0.7	970	941 (773-1,109)
FHIA-708	23.5	7.8	12.5	12.9	10.5	13.4	1.7	3.1	1.7	860	844 (721-967)
UF-29	19.3	12.9	14.6	5.8	11.4	12.8	1.5	1.2	0.9	792	784 (682-886)
FHIA-168	14.8	8.4	13.6	7.0	12.1	11.2	1.6	2.2	1.6	809	650 (578-722)
ICS-39	10.7	5.2	4.2	4.1	2.7	5.4	0.9	2.2	0.8	521	618 (559-677)
TSH-565	8.3	6.9	3.1	5.4	2.6	5.3	1.7	3.2	0.7	571	617 (568-667)
IMC-67	11.6	5.6	4.3	2.9	3.5	5.6	0.3	2.3	1.3	463	573 (454-693)
EET-95	16.6	6.1	6.6	4.3	4.2	7.6	1.3	1.6	1.2	460	563 (491-636)
POUND-12	17.1	10.7	7.0	6.0	5.1	9.2	1.8	2.9	1.0	444	561 (483-640)
FHIA-330	12.2	8.1	13.3	5.9	10.5	10.0	1.1	1.1	1.6	661	546 (471-622)
FCS-A2	10.1	3.6	4.7	4.2	2.7	5.1	1.1	2.0	0.7	421	503 (435-571)
CAUCASIA-37	17.5	7.6	5.7	6.8	6.7	8.9	0.6	1.4	0.7	401	498 (383-612)
ICS-95	11.9	2.9	10.5	5.1	3.9	6.9	0.9	2.9	1.5	463	471 (387-555)
CAUCASIA-	14.4	8.4	4.2	6.0	5.5	7.7	0.4	1.3	0.9	382	467 (395-538)

Clon	Frutos por árbol									Rendimiento (kg/ha)		
	Sanos						Dañados, 2023			2023	Promedio (LC)	
	3° 2019	4° 2020	5° 2021	6° 2022	7° 2023	Medi a	Mo n	M N	Plaga s			
43												
UF-667	6.0	1.9	1.7	6.1	1.5	3.4	2.3	3.7	0.1	600	455 (332-578)	
CAUCASIA-47	9.8	7.5	4.7	6.4	7.1	7.1	0.5	1.5	0.5	442	451(357-544)	
CAUCASIA-34	8.8	8.0	4.1	5.9	6.6	6.7	0.4	2.6	1.3	499	444 (355-533)	
SPA-9	12.8	6.8	6.2	4.9	4.1	7.0	0.9	2.1	1.3	350	423 (369-476)	
CAUCASIA-39	12.1	6.6	3.9	3.9	3.9	6.1	0.3	0.8	1.5	303	384 (329-439)	
FHIA-738	9.3	7.1	4.6	3.8	4.4	5.8	0.6	2.0	1.3	382	369 (298-440)	
UF-296	11.1	4.0	2.7	2.9	2.3	4.6	0.4	1.0	0.8	243	339 (270-407)	
EET-8	5.2	1.7	1.4	3.2	0.8	2.5	0.8	2.5	0.4	360	331 (248-414)	
ICS-1	5.4	2.0	3.6	4.7	3.5	3.8	1.5	1.9	0.3	399	309 (278-341)	
EET-48	6.8	2.7	1.4	2.0	0.8	2.7	0.7	2.0	0.4	270	294 (204-384)	
FHIA-707	7.4	5.4	2.0	2.8	1.6	3.8	0.2	0.2	0.4	107	228 (172-284)	
Media	12.2	6.6	6.7	5.2	5.5	7.2	1.0	2.0	1.0	520	561	

°: Edad en años; Mon: monilia; MN: mazorca negra; IC: intervalo de confianza = 95 %.

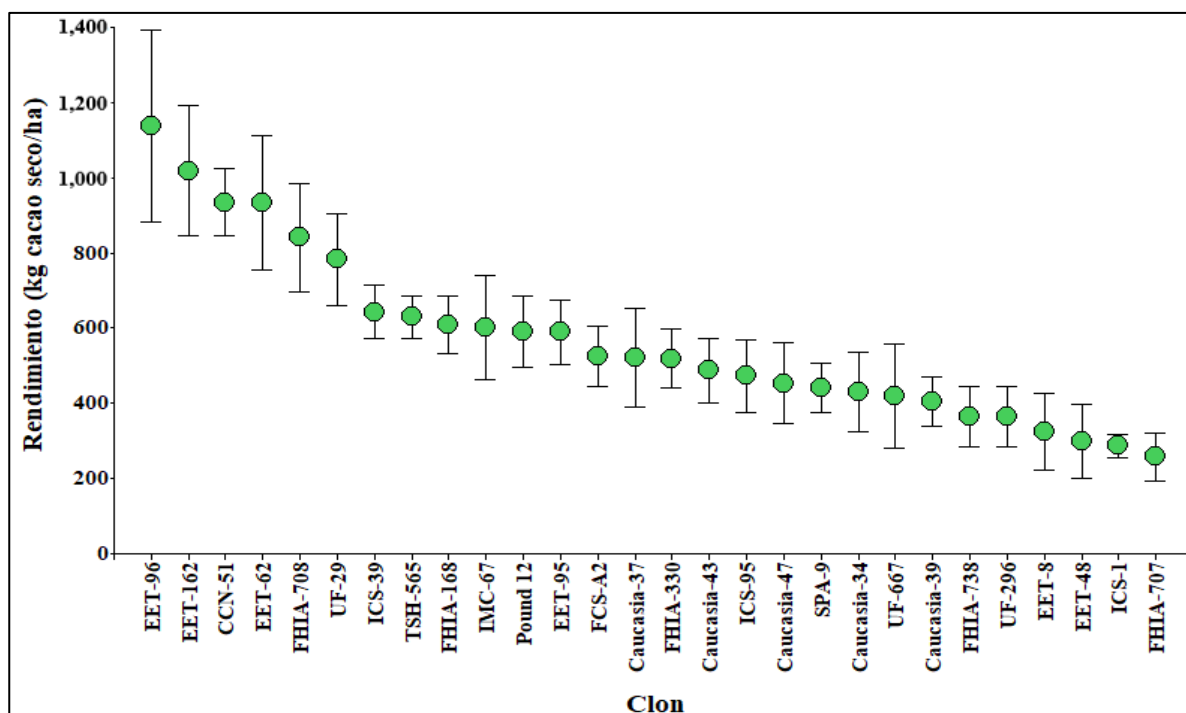


Figura 16. Rendimiento promedio de 2019 al 2022 por clon en la prueba regional CADETH, El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras, 2019-2023.

Conclusiones

1. En 2023 el rendimiento de los policlones se mantuvo estable y dentro del promedio acumulado.
2. EL incidencia de enfermedades y daños por plagas se mantuvo estable y con valores aceptables.
3. Las mayores pérdidas en producción continúan siendo ocasionadas por plagas como ardillas y pájaros carpinteros, seguido de la enfermedad de mazorca negra.

Recomendación

Al momento de seleccionar un arreglo policlonal para el establecimiento de nuevas plantaciones se debe tener en cuenta que el comportamiento productivo de los arreglos policlonales está influenciado por condiciones de suelo y clima propios del sitio; y también, por el carácter de autocompatibilidad de los clones.

Literatura citada

- Ramírez O., A. Martínez y F.J. Díaz. 2022. Prueba regional: evaluación de 28 clones comerciales de cacao bajo las condiciones del CADETH. Pág. 22-36. In: Informe Técnico 2021, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. La Lima, Cortés, Honduras, C.A. 164 p.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada y C.W. Robledo. 2020. C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Ramírez O., A. Dubón 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. Pág. 50-60. In: Informe Técnico 2019, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. La Lima, Cortés, Honduras, C.A. 73 p.
- Martínez A., O. Ramírez y F.J. Díaz. 2019. Prueba regional: evaluación de 28 clones comerciales de cacao bajo las condiciones del CADETH. Pág. 15-24. In: Informe Técnico 2018, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. La Lima, Cortés, Honduras, C.A. 89 p.

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

Oscar Ramírez, Aroldo Dubón, Francisco Javier Díaz y Enrique Maldonado

Programa de Cacao y Agroforestería

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 en alto porcentaje el fenómeno de autoincompatibilidad sexual, el cual se manifiesta cuando el polen de la flor de una planta no consigue fecundar los óvulos de las flores de la misma planta. Adicionalmente, puede presentarse el carácter de interincompatibilidad, cuando el polen de la flor de una planta no consigue 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 autocompatibilidad e inter-compatibilidad entre los clones de cacao que se destinarían para el establecimiento de plantaciones. Clones que desde 1990 se han evaluado y seleccionado en el CEDEC-JAS de una amplia colección de más de 350 clones de cacao.

Fue con esta experiencia adquirida por más de 30 años que se seleccionaron 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, como parte del proceso de certificación estos clones como aptos para las plantaciones en el país 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. Posteriormente, las semillas fueron sembradas a nivel de vivero, las plantas producidas se usaron para establecer en 2016 dos parcelas que incluyen un total de 993 plantas procedentes de 58 familias. Se busca plantas compatibles, de alta productividad y resistencia a enfermedades y de buena calidad organoléptica.

Objetivo

Seleccionar los árboles de cacao (progenies) más productivos, resistentes a enfermedades y con alto grado de auto- e inter- compatibilidad sexual. Para posteriormente y siempre como parte de la estrategia de mejoramiento genético iniciar la evaluación como población clonal.

Materiales y métodos

Se establecieron dos parcelas de evaluación. La primera con un total de 300 plantas procedentes de 15 cruces, tratamiento o familia con 20 plantas por familia 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 2,989 mm, temperatura media anual de 27 °C y a 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 cuantificará la cantidad de los frutos sanos y enfermos.

El Cuadro 10, 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 10. Progenitores de los cruzamientos, intercompatibilidad 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 (<i>Inga edulis</i>) y caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>)					
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 (<i>Cordia bicolor</i>)					
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

T	Madre	Padre	Rendimiento potencial ¹ (kg/árbol)		Inter- compatibilidad (%)
			Madre	Padre	
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
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.

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 interconal utilizada en el lote Sombra de ternero.

Manejo de las parcelas. El 2023 se realizó el mismo manejo agroforestal ejecutado en años anteriores: control de malezas en forma manual (chapia) cada 3 meses, poda en cacao 2 veces al año (junio-julio y enero-febrero) y la fertilización fraccionada en dos aplicaciones según análisis de suelo del 2021, una al inicio y otra al final de las lluvias. En los árboles de sombra no se realizó ninguna actividad.

Cuadro 11. Resultados de análisis de suelo y aplicación de macronutrientes según requerimientos.

Nombre de parcela	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Requerimiento (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) (kg/ha)
		(g/kg)			(ppm)				
Sombra de ternero	5.56	23.9	1.19	15	30	1,715	319	180.4	75-35-90
	M	B	B	M	B	M	A	---	
Sombra con Guama y Caoba del atlántico	5.55	36.01	1.8	19	42	1,770	397	216.3	65-35-90
	M	M	B	M	B	M	A	---	

MO: Materia orgánica, A: alto; M: medio; B: bajo. ---: no se analizó.

Variables evaluadas. Es importante señalar que, desde el periodo anterior, solo se da seguimiento a las plantas que demuestran mayor productividad. La resistencia a enfermedades se calculó bajo presión de inóculo natural. En el 2023 se redujo la lista de progenies a evaluar con base al promedio acumulado al 4to año de la cantidad de frutos sanos, preferiblemente superior a 20 frutos/árbol·año. Además, se inició la evaluación de índice de mazorca de cada progenie promisoría para realizar proyecciones de rendimiento de cacao seco. Adicionalmente, se determinará el índice de grano.

Las variables a evaluar son:

- Frutos con moniliasis
- Frutos con mazorca negra
- Índice de semilla, por determinar
- Índice de mazorca, por determinar
- Rendimiento (kg/árbol), por determinar

Resultados preliminares

Lote Guama. En este periodo, el rendimiento de frutos sanos por árbol disminuyó en comparación al ciclo 2023, debido a la poca precipitación registrada entre los meses de febrero a mayo (240 mm). Este fenómeno afectó negativamente el tamaño y peso de las mazorcas en el primer pico de cosecha y también alargó el inicio de la floración en el segundo pico de producción. De cualquier forma, el árbol 21 (Caucasia-39 x Caucasia-37) mantiene el mayor rendimiento promedio con 45 frutos por árbol. El árbol 183 (Pound-12 x UF-613) registró el mayor rendimiento de mazorcas sanas en el periodo 2023 con 34 mazorcas y un promedio general al cuarto año de cosecha de 31 mazorcas por árbol, respectivamente.

En general, son 25 arboles a los que se les esta dando un seguimiento riguroso en este lote durante el 2023. Del total de árboles, 1 mantiene un rendimiento promedio arriba de 40 mazorcas por árbol, 4 árboles con rendimiento promedio arriba de 30 mazorcas sanas por árbol y los 20 árboles restantes, con rendimientos promedio arriba de 20 mazorcas por árbol (Cuadro 12). La afectación por las enfermedades monilia y mazorca negra fueron bajas durante el periodo; producto de las practicas integradas de manejo implementadas desde 2022 y también a condiciones desfavorables en el clima para el desarrollo y multiplicación de los patógenos (Figura 17).

Cuadro 12. 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. 2020-2023.

Progenie	2020			2021			2022			2023			Promedio		
	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon
A21T9	45	0	0	60	0	2	58	12	2	18	0	1	45.3	3.0	1.3
A22T9	65	0	2	38	0	2	31	2	3	15	0	0	37.3	0.5	1.8
A141T53	68	0	4	27	0	0	48	0	3	3	0	0	36.5	0.0	1.8
A184T13	47	1	3	28	3	5	35	1	5	22	0	0	33.0	1.3	3.3
A183T13				34	0	0	25	0	2	34	0	0	31.0	0.0	0.7
A142T3	51	1	3	23	0	2	27	0	0	9	0	0	27.5	0.3	1.3
A187T5				26	1	1	42	2	4	14	0	0	27.3	1.0	1.7
A101T10	60	0	1	22	0	0	22	1	3	3	0	0	26.8	0.3	1.0
A103T10				31	0	2	37	1	5	12	0	0	26.7	0.3	2.3
A72T14	45	0	0	16	1	1	22	1	1	23	0	1	26.5	0.5	0.8
A102T10	41	1	1	24	0	5	27	5	1	11	0	0	25.8	1.5	1.8
A241T6	42	1	2	19	1	1	40	0	0	2	0	2	25.8	0.5	1.3
A266T4				22	2	4	28	1	4	27	0	1	25.7	1.0	3.0
A144T3				29	0	0	24	0	2	22	0	1	25.0	0.0	1.0
A63T11				32	0	0	27	0	0	15	0	2	24.7	0.0	0.7
A145T3	33	0	1	19	0	1	25	1	0	15	0	0	23.0	0.3	0.5
A166T14	32	0	5	23	1	6	31	1	7	6	0	1	23.0	0.5	4.8
A122T15	37	4	1	23	6	0	23	0	0	6	0	0	22.3	2.5	0.3
A109T11	34	0	1	9	0	0	28	0	0	16	1	1	21.8	0.3	0.5
A230T15				28	1	0	19	0	3	18	0	3	21.7	0.3	2.0
A91T10	28	0	4	30	1	2	19	1	4	8	0	0	21.3	0.5	2.5
A14T3				7	0	0	34	0	0	21	0	0	20.7	0.0	0.0
A27T6				16	0	0	38	0	2	7	0	0	20.3	0.0	0.7
A189T5				25	1	1	36	1	0	0	0	0	20.3	0.7	0.3
A143T3	22	0	0	18	0	2	26	0	1	14	0	0	20.0	0.0	0.8
Media	43	1	2	25	1	1	30	1	2	14	0	1	26.1	0.6	1.4
%	95	1	4	92	3	5	90	3	6	96	0	4	93.1	2.1	4.9

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

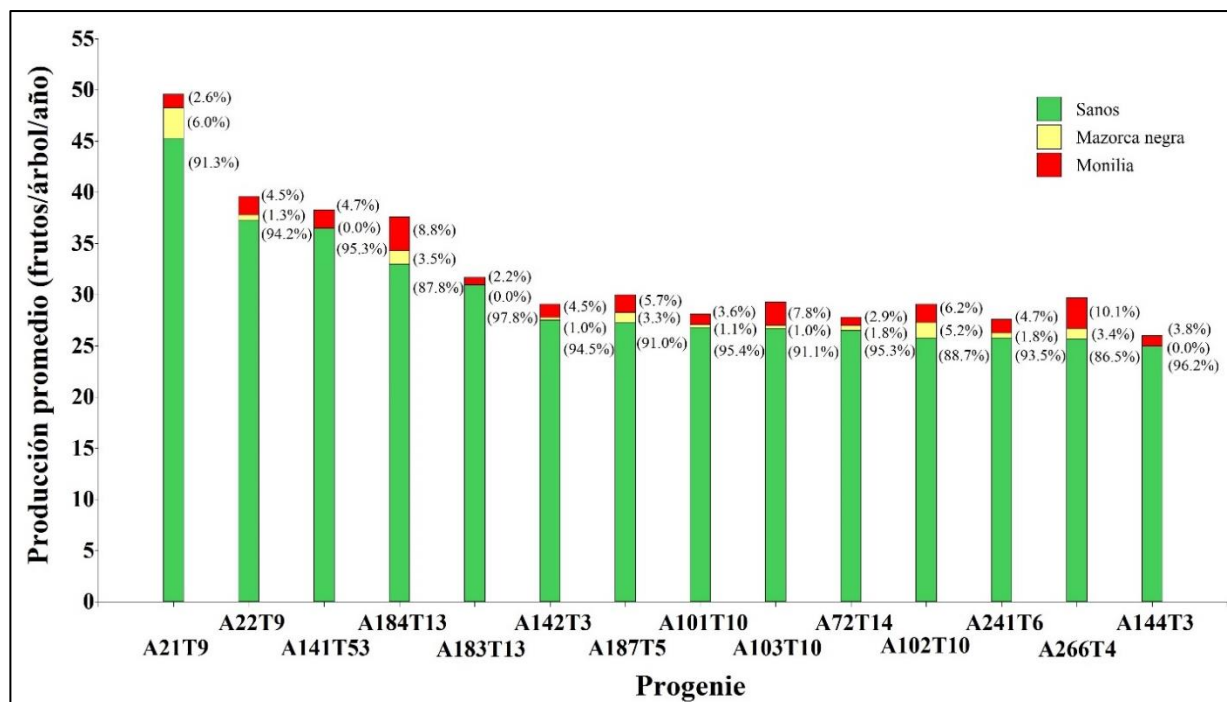


Figura 17. Cantidad de frutos sanos y enfermos de las progenies más productivas en el lote Guama. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.

Las progenies de las familias T9 (Caucacia-39 x Caucacia-37) y T13 (Pound-12 x UF-613), han sobresalido en la producción de frutos, representado con cuatro árboles (21, 22, 184 y 183) de los cinco árboles más productivos después de tres años de evaluación (Figura 18).

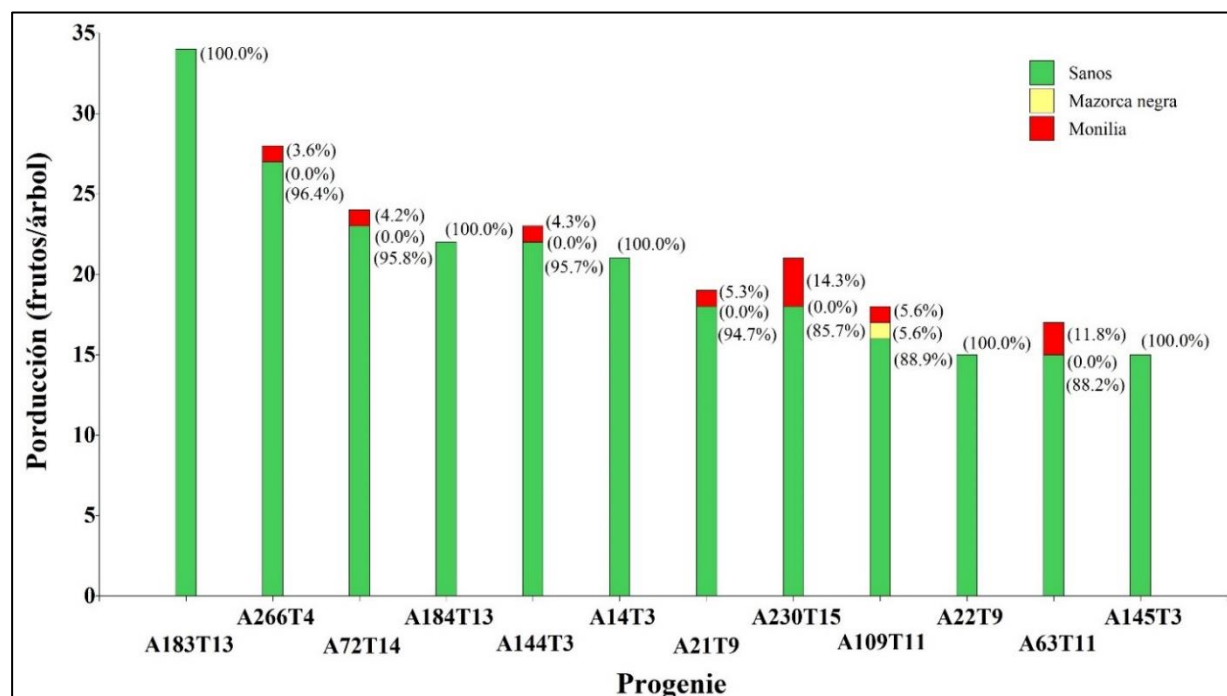


Figura 18. Cantidad de frutos sanos y enfermos de las progenies más productivas en el lote Guama. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2022.

Lote Sombra de ternero. Los rendimientos obtenidos en el periodo 2023 fortalecen los promedios acumulados ahora de cuatros años de cosechas. De los 693 árboles originalmente establecidos en esta parcela, solamente 16 progenies promedian rendimientos arriba de las 20 mazorcas por árbol (cuadro 13). En este periodo 2023, el árbol 652 (Caucasia-34 x IMC-67) continúa mostrando por segundo año consecutivo el mayor rendimiento de mazorcas por árbol (37 mazorcas) y unamuy buena resistencia a mazorca negra. Por otro lado, el árbol 692 que presenta un 72.3 % de su producción promedio de frutos sanos, por lo que se infiere una baja tolerancia a enfermedades, probablemente heredada por el SCC-61. Otros árboles como el 591 (Caucasia-39 x CCN-51), 619 (Caucasia-39 x ICS-95), 622 (Caucasia 34 x Caucasia-43) y 645 (Pound-12 x UF-273) presentan un rendimiento promedio entre 29 frutos sanos/año, correspondiente a 87.7 % de la producción total (Cuadro 14; Figuras 19 y 20).

Cuadro 13. Frutos sanos y enfermos de progenies interclonales de cacao seleccionadas en el lote Sombra de ternero. CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2023.

Progenie	2020			2021			2022			2023			Promedio		
	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon
A652T58	63	0	0	27	2	1	32	2	4	27	0	9	37.3	1.0	3.5
A591T24				27	0	1	23	2	4	46	1	0	32.0	1.0	1.7
A619T28	37	0	4	30	0	9	7	1	2	50	0	2	31.0	0.3	4.3
A622T19	38	0	1	19	0	4	20	0	8	39	0	4	29.0	0.0	4.3
A645T23	38	0	0	6	0	0	17	0	0	39	0	19	25.0	0.0	4.8
A342T16	39	0	5	29	1	17	19	0	4	11	0	1	24.5	0.3	6.8
A286T21	58	0	1	13	0	22	8	0	0	16	0	0	23.8	0.0	5.8
A442T24	39	0	1	17	0	8	13	1	0	26	0	7	23.8	0.3	4.0
A544T44	37	0	3	30	0	0	13	0	1	14	3	4	23.5	0.8	2.0
A616T28	55	0	1	13	0	2	3	0	1	23	0	5	23.5	0.0	2.3
A692T50				21	0	0	30	0	21	17	0	5	22.7	0.0	8.7
A241T32	45	0	3	20	0	7	18	1	7	4	0	2	21.8	0.3	4.8
A115T38	41	0	5	14	0	5	13	1	8	17	0	4	21.3	0.3	5.5
A648T23	35	0	0	24	0	0	9	0	0	17	0	0	21.3	0.0	0.0
A479T45	26	0	0	16	0	4	20	0	6	20	1	3	20.5	0.3	3.3
A540T44	44	0	2	18	1	16	12	1	4	8	3	2	20.5	1.3	6.0
Media	43	0	2	20	0	6	16	1	4	23	1	4	25.1	0.3	4.2
%	96	0	4	76	1	23	76	3	21	83	2	15	84.6	1.2	14.2

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

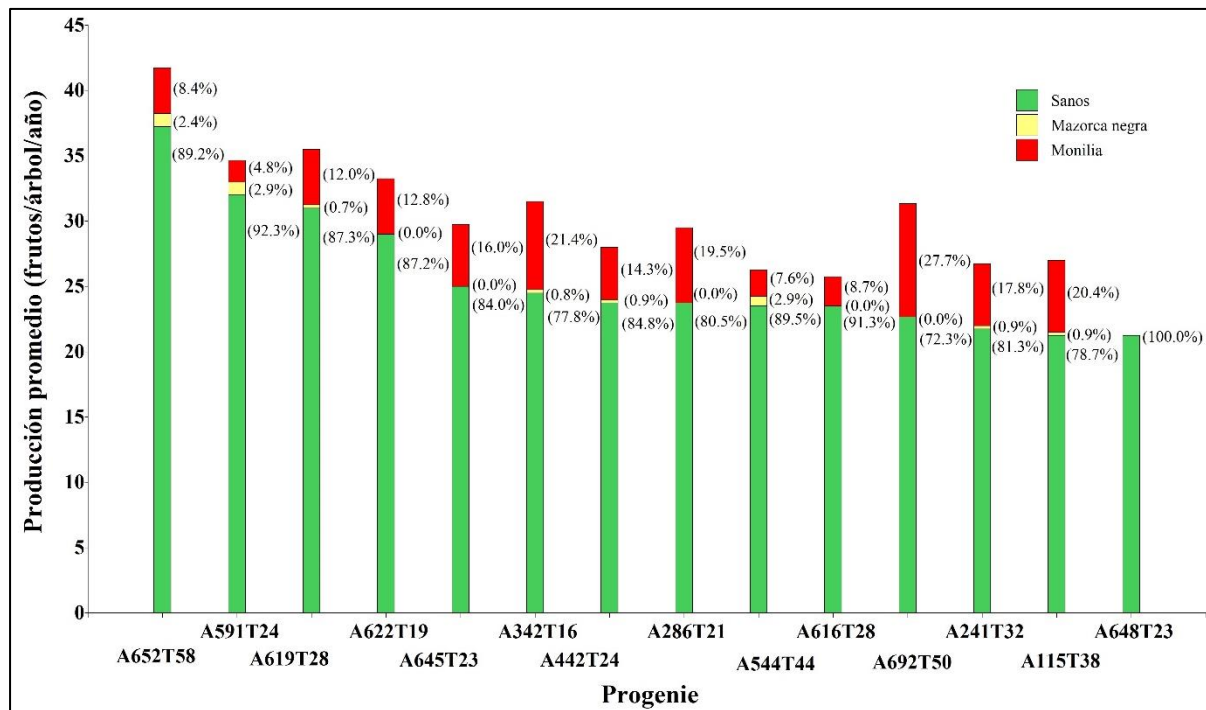


Figura 20. Cantidad de frutos sanos y enfermos por árbol de las progenies más productivas en el lote con sombra de ternero. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020- 2023.

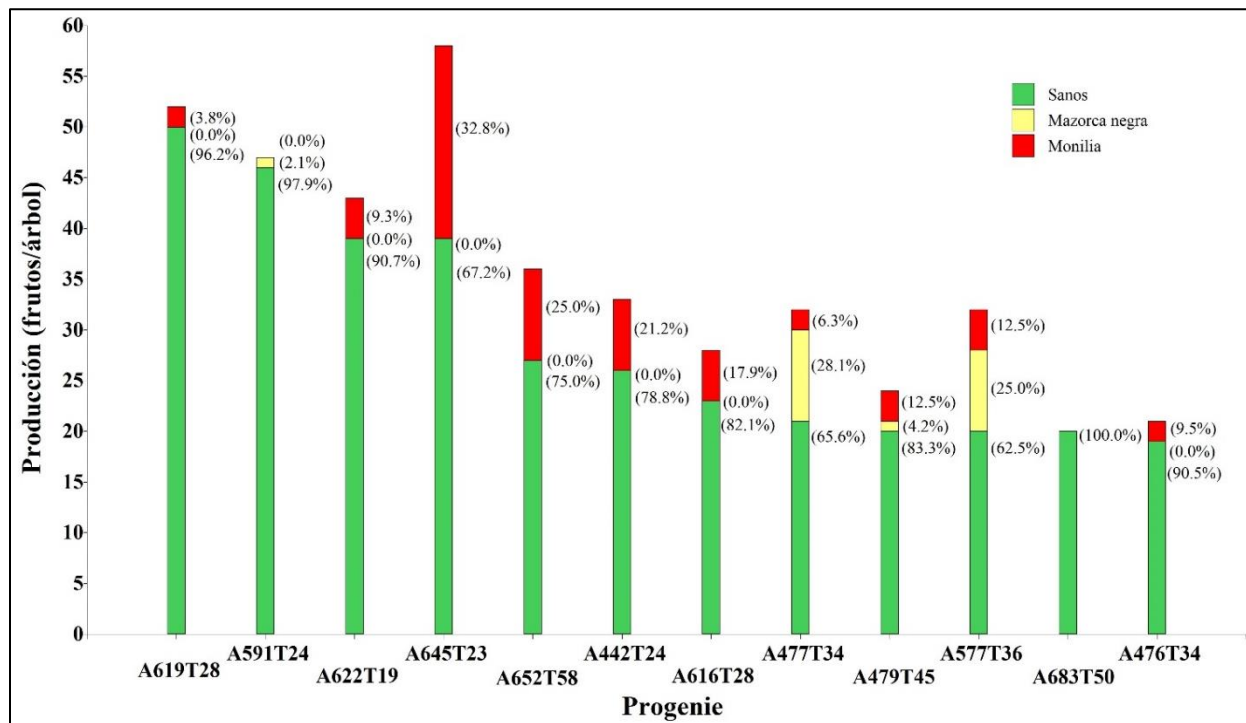


Figura 19. Cantidad de frutos sanos y enfermos por árbol de las progenies más productivas en el lote con Sombra de ternero. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.

Conclusión

- La producción promedio de mazorcas al cuarto año de evaluación se considera muy valiosa, pues existen clones con muy buena capacidad de producción de mazorcas.
- Se debe iniciar la medición de otros parámetros como el índice de mazorca, por ejemplo, para determinar de forma efectiva y práctica el rendimiento potencial de cacao seco por árbol.

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

Oscar Ramírez, Aroldo Dubón y Enrique Maldonado

Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen

En junio de 2019, se estableció una parcela de 0.3 ha para evaluar el comportamiento agronómico de 20 clones de cacao autocompatibles que en su mayoría sobresalieron en producción en otros estudios. Se establecieron 15 plantas por clon en hileras independientes sin arreglo experimental y bajo un diseño agroforestal con caoba del Atlántico-madreado-plátano-cacao con distanciamientos 12 x 12 m, 6 x 6 m, 3 x 3 m, y 3 x 3 m, respectivamente. En 2021 de los 18 a 30 meses de edad del cacao se observó una producción precoz de frutos en plantas de todos los clones.

Por lo tanto, a partir del 2022 se inició el registro formal de la producción en cada uno de los 20 clones. Entre los resultados del primer año de registro, los clones que sobresalen en producción de frutos fueron: FHIA-478, FHIA-32, CATIE-R27, CATIE-R82, DFEAR-5, FHIA-65, FHIA-515 y FHIA-513 con 43.3, 34.9, 31.5, 30.1, 27.1, 27.1, 25.2 y 25.0 frutos/árbol, respectivamente. Mientras que, clones como DFTA-4 y FHIA-169 fueron los de menor producción con 9.9 y 7.7 frutos/árboles, respectivamente. Sin embargo, para ser su primer año de registro entre 2.5 a 3.5 años se considera una producción aceptable de todos los clones y con bajas pérdidas por enfermedades (< 7 %).

Palabras clave: polinización, autocompatibilidad, precocidad, *Theobroma*.

Introducción

Se considera que la compatibilidad sexual es uno de los factores que influyen en la producción del cacao. Las implicaciones prácticas de esta característica sobre los rendimientos hacen necesario conocer el grado de compatibilidad existente dentro de un mismo clon, como también entre clones diferentes. Los materiales autocompatibles a diferencia de los autoincompatibles tienen la capacidad de autofecundarse y, por ende, de aumentar la posibilidad de alcanzar mayores rendimientos. Por lo tanto, es necesario la búsqueda y validación en campo de diferentes clones autocompatibles que permitan en el corto plazo el establecimiento de nuevas parcelas conformadas por arreglos policlonales efectivos desde el punto de vista de la compatibilidad sexual y más productivos, además de hacer más simple la logística de establecimiento al usar menos clones por arreglo donde no es necesario conocer y seguir un orden de intercompatibilidad sexual. En el presente informe se divulgarán los resultados producto del primer año de registro de información acumulada de las cosechas.

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 aquellos clones que presenten los mejores resultados.

Materiales y métodos

La parcela está conformada por 20 clones (Cuadro 14), 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.), madreño (*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. 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
- Frutos con mazorca negra
- Frutos con moniliasis
- Compatibilidad (validar)
- Índice de fruto/mazorca
- Índice de grano
- Características organolépticas

Manejo de la parcela. En el 2023 se continuó con las actividades de manejo agroforestal. El cacao recibió poda de formación y fertilización cada seis meses, para acumular en el año la aplicación de 41-22-46 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente. Se realizó la eliminación de chupones cada 2 a 3 meses. Adicionalmente, para reducir la incidencia a las enfermedades se ejecutaron seis aplicaciones cúpricas para una dosis de aproximadamente 3 kg/ha de producto comercial Kocide 35 WG. Desde el 2021 se eliminó por completo las plantas de plátano que generaba la sombra temporal. En el madreño se realizó poda para regular crecimiento y sombra, mientras que, en el maderable no se realizó ninguna actividad.

Resultados preliminares. La producción promedio en este segundo año de registro de cosecha fue en promedio 8.2 mazorcas mayor a la registrada en el ciclo anterior. Los clones que lideraron la producción de frutos son el CATIE-R32 y CATIE-R82 con 57 y 55 mazorcas sanas por planta, respectivamente. Tres clones, incluyendo el FHIA-330 y FHIA-478 registraron valores arriba de las 40 mazorcas sanas por árbol y otros tres clones mas registraron valores arriba de las 30 mazorcas. Finalmente, cinco clones incluyendo tres de FHIA promediaron valores por debajo de las 20 mazorcas por árbol.

Ahora bien, al analizar el promedio de los dos años de registro de cosechas, observamos que 10 clones (6 de FHIA) promediaron valores arriba de las 25 mazorcas sanas por árbol. La afectación por moniliasis en el periodo fue en promedio 0.3 mazorcas; mientras que, para mazorca negra, la afectación fue en promedio 2.7 mazorcas. El % de aprovechamiento de mazorcas se mantiene por encima del 91 %, lo que indica que estos clones tienen muy buena tolerancia a ambas enfermedades y que las practicas de manejo integrado implementadas están mostrando resultados favorables.

Cuadro 14. Producción de frutos sanos y enfermos por planta en clones autocompatibles de cacao evaluados en campo. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2023.

Clon	2022 (2.5-3.5 años)			2023 (3.5-4.5 años)			Promedio		
	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon
CATIE-R-32*	34.9	0.2	1.5	57.3	0.2	1.9	46.1	0.2	1.7
CATIE-R82	30.1	0.1	1.7	55.4	1.5	2.5	42.8	0.8	2.1
FHIA-478	43.3	0.3	1.3	41.2	0.2	2.5	42.3	0.2	1.9
CATIE-R27	31.5	0.0	0.9	49.3	0.3	2.5	40.4	0.1	1.7
FHIA-330	23.3	0.0	0.3	44.7	0.0	1.3	34.0	0.0	0.8
FHIA-65	27.1	0.8	1.5	35.0	0.0	3.3	31.1	0.4	2.4
FHIA-513	25.0	0.4	1.0	34.0	0.0	2.3	29.5	0.2	1.7
DFEAR-5	27.1	1.0	1.8	29.1	1.9	2.8	28.1	1.5	2.3
FHIA-612	17.3	0.0	1.4	34.7	0.0	4.3	26.0	0.0	2.9
FHIA-515	25.2	1.5	3.3	26.0	0.0	3.3	25.6	0.7	3.3
FHIA-677	23.7	2.0	3.5	24.7	0.2	8.2	24.2	1.1	5.9
CDC-1	22.1	0.1	1.1	23.4	0.0	2.2	22.7	0.1	1.7
CDC-3	15.5	0.1	0.4	23.2	0.1	1.5	19.4	0.1	0.9
CDC-2	16.0	0.0	0.6	16.3	0.5	1.1	16.2	0.2	0.9
DFTA-4	9.9	0.1	0.5	21.7	0.3	4.0	15.8	0.2	2.3
FHIA-630	12.2	0.0	0.1	12.9	0.0	0.7	12.6	0.0	0.4
FHIA-430	10.5	0.0	1.3	13.8	0.0	4.9	12.1	0.0	3.1
FHIA-169	7.7	0.0	0.1	16.5	0.1	0.3	12.1	0.1	0.2
CDC-4	11.1	0.0	0.7	11.1	0.1	1.3	11.1	0.1	1.0
Media	21.8	0.3	1.2	30.0	0.3	2.7	25.9	0.3	1.9
%	93.4	1.5	5.1	91.0	0.9	8.1	92.0	1.1	6.9

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

*Clon erróneamente identificado como FHIA-32 en informe técnico del 2022.

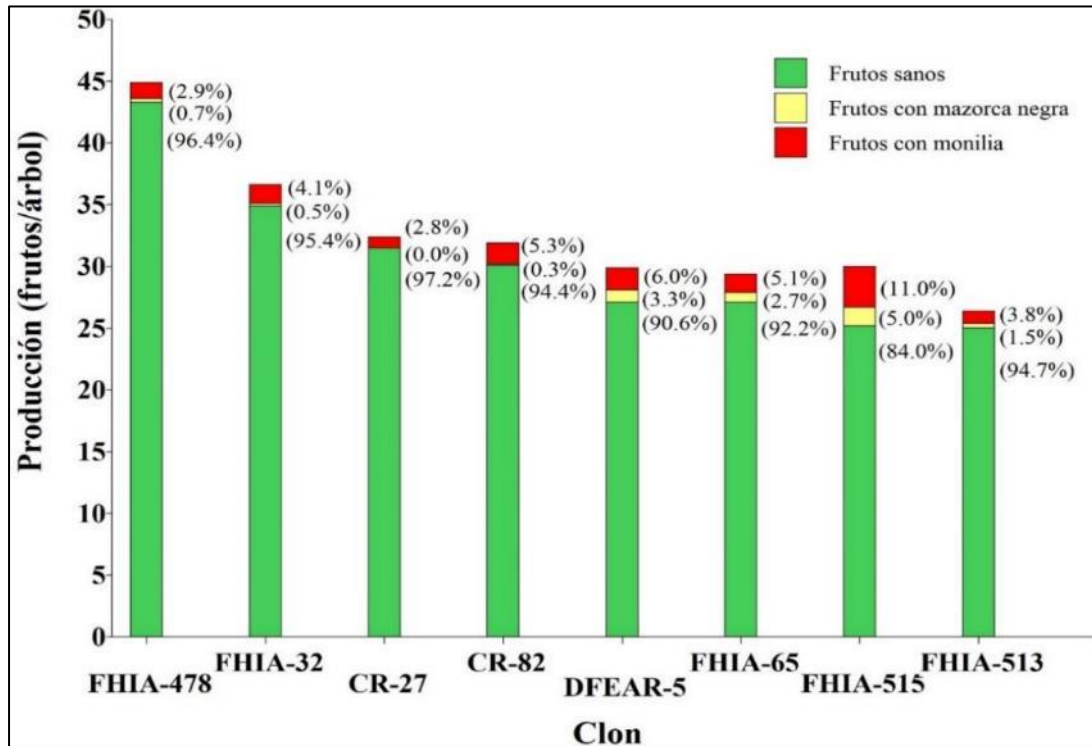


Figura 21. Cantidad de frutos sanos y enfermos por árbol de los clones autocompatible más productivos en el primer año de cosecha. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.

Conclusión

La selección de una buena genética ligada al carácter de autocompatibilidad favorece la producción precoz del cacao, por lo que desde edad muy temprana se esperan rendimientos importantes cercanos a una tonelada de cacao seco como se logra en una plantación adulta en plena edad productiva, lo que hace del rubro cacao atractivo para el productor e inversionista.



Figura 22. Plantas del clon de cacao DFEAR-5 con 2.5 años, lote autocompatible. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.



Figura 23. Plantas del clon de cacao autocompatible FHIA-478 con 3 años. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2023.

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.

IV. EVALUACIÓN DE ESPECIES FORESTALES

Un componente esencial de los sistemas agroforestales (SAF) es la presencia de la especie forestal. La FHIA, durante los últimos 28 años ha llevado a cabo un estudio exhaustivo en 36 especies de árboles maderables, principalmente provenientes del bosque tropical húmedo. Estas especies se han integrado como sombra permanente en asociación con el cacao, proporcionando no solo cobertura al cultivo, sino también beneficios ambientales adicionales. Estos beneficios se complementan con ingresos económicos significativos para los productores, derivados de la explotación de estas especies maderables, que se conceptualizan como una "cuenta de ahorro", ya que su inclusión posibilita la generación de ingresos hasta 10 veces mayores en comparación con los cacaotales expuestos al pleno sol o aquellos que cuentan con especies de sombra tradicionales. Por otro lado, la OIMT (Organización Internacional de las Maderas Tropicales) promueve el uso de especies nativas, fortaleciendo su aprovechamiento sostenible y la conservación de la biodiversidad (OIMT 2011). En ese sentido, las especies maderables evaluadas se caracterizan en gran parte por ser nativas de la zona, de alto valor comercial y muy utilizadas por los transformadores de la madera de la región.

El Programa de Cacao y Agroforestería de la FHIA no solo evalúa los árboles en sistemas agroforestales con cacao (SAF-Cacao), sino que también estudia estas especies en sistemas de Parcelas Puras y en árboles en línea. Con esta diversificación de enfoques se proporciona alternativas de producción para los agricultores ubicados en zonas de laderas que buscan una gestión mejorada del suelo y la protección de los recursos naturales permitiendo ajustar las prácticas agroforestales a diferentes contextos y necesidades específicas, y, ofreciendo opciones flexibles que se alinean con sus condiciones particulares y promoviendo así la sostenibilidad en la producción agrícola. En los últimos dos años se ha realizado el consolidado de información de las 36 especies en SAF-Cacao. El primer grupo de 12 SAF fue publicado en el informe técnico 2021 y en la revista científica internacional FRONTERAS donde se abordó el análisis desde el punto de vista agroeconómico y de interacción entre Sombra-Cultivo.

Durante el año 2023, los esfuerzos se centraron en la consolidación de información sobre el rendimiento y crecimiento forestal en las 24 especies restantes del estudio en SAF-cacao. Además, se inició una nueva línea de investigación enfocada en el estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de las cuatro especies más promisorias en SAF-Cacao.

4.1. Estudio de especies forestales latifoliadas bajo la modalidad agroforestal multiestratos con cacao. CAC 02-01

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

Introducción

Los sistemas agroforestales (SAF) se definen como la asociación e interacción de diversas plantas leñosas, como frutales, maderables, forrajeras, palmáceas y especies de uso múltiple, de manera secuencial o simultánea, con cultivos agrícolas y/o actividades pecuarias. Estas plantas leñosas pueden ser cultivadas o manejadas en regeneración natural. Los SAF se perciben como una alternativa efectiva para aumentar la productividad, desarrollando resiliencia frente a la variabilidad y el cambio climático.

Además, contribuyen directamente a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente aquellos relacionados con una producción saludable y equilibrada. En 1987, la FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola) inició la evaluación del cacao dentro de los SAF en los lotes ubicados en el CEDEC-JAS, utilizando especies de sombra tradicionales. Entre 1995-2001, se dio inicio al proceso de cambio de estas especies permanentes, predominantemente guama (*Inga sp.*), madreño (*Gliricidia sepium*) y pito (*Erythrina sp.*), por especies latifoliadas, mayormente nativas y con un destacado potencial en la industria maderera. El cambio representó la transición de especies tradicionales de sombra a especies de alto valor comercial (Ramírez-Argueta 2021) permitiendo no solo contribuir en aspectos económico, sino que también ofrecer beneficios adicionales al proporcionar sombra adecuada para el cacao, promoviendo un entorno más sostenible y diversificado.

A continuación, se presentará la dinámica de crecimiento dasométrico de 24 especies maderables evaluados en SAF-Cacao en el CEDEC-JAS.

Metodología

En cada uno de los 30 árboles maderables estudiados (entre 100-130 plantas por hectárea) en promedio, de las 24 especies maderables, se registraron las variables: utilizando cinta diamétrica se calculó el diámetro a la altura de pecho (DAP, cm) y el diámetro a la altura comercial (DAC, cm), este último se determinó escalando cada uno de los árboles para obtener el factor de forma del tronco (Ff) que se utilizó para obtener un volumen comercial más ajustado. La altura total (AT, m), altura comercial hasta la bifurcación del tronco del árbol (AC, m) fueron calculadas con una vara telescópica y/o clinómetro. Con las variables dasométricas antes descritas se calculó el volumen de madera comercial (V_c , m³) acumulado a través del tiempo. Se estimó la oclusión (Oc) y área de copa (Arc) para calcular la cobertura de sombra en la parcela (Cp).

También se colectaron muestras de madera del tronco a 1.30 m de altura de cuatro árboles por SAF, utilizando un barrenado de incremento para estimar la densidad de la madera (D_m) luego de someter la muestra de la madera a 70 grados Celsius por 48 horas para liberar la humedad de la madera y con ello estimar la biomasa del V_c que fue utilizada para el cálculo de carbono al multiplicar esta por una fracción de Carbono (C) de 0.5 y a carbono equivalente (C.equiv) cuando se multiplica el carbono acumulado por 3.67 (relación peso CO₂ sobre C). Una vez construida la base de datos se procedió a su acondicionamiento y curado.

Análisis de datos

Para el análisis de datos se empleó el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2019). En las especies maderables se construyeron las curvas de crecimiento y estimaron las tasas de crecimiento anual en DAP, V_c y Carbono equivalente, usando registros históricos de las mediciones dasométricas anuales hasta los 14-28 años, dependiendo del tiempo de registro de cada especie.

Para cada una de las variables de crecimiento se realizó un análisis de regresión lineal en función del tiempo (usando años como variable regresora), y se seleccionaron los modelos de regresión (simples o polinómicos) con mejor ajuste según el AIC (criterio de información de Akaike) y BIC (criterio de información Bayesiano).

Con el modelo seleccionado se estimó el crecimiento de los árboles despejando la fórmula: $Y = \beta_0 + \beta_1(x) + \beta_2(x)^2 + \beta_3(x)^3$, donde “Y” es la variable de respuesta en crecimiento; β_0 , β_1 , β_2 y β_3

los coeficientes de los efectos fijos y “X” la variable regresora. También se realizó un ANAVA para detectar diferencias entre las curvas de crecimiento registradas por especies, complementado la prueba de comparación de medias DGC (Di Rienzo *et al.* 2002).

El análisis de correlación (Pearson), se realizó utilizando los datos extrapolados a hectárea o promedio por árbol. Entre las variables dasométricas entre la cobertura arbórea (%) y área basal del maderable (m² /ha) Para las correlaciones se utilizaron los registros de siete años (2006, 2008, 2014, 2015, 2016, 2017, 2020 y 2022) ya que solo en estos años fue posible registrar las variables necesarias para estimar la cobertura (Arc y Oc) de los árboles de sombra evaluados.

Resultados

En el factor Altura comercial (AC) sobre Altura total (AT), la AC fluctuó entre 0.27 (Paleta) y 0.60 (Nazareno), en relación con la AT que siempre representó el valor de “1.0”. La Limba fue la especie con mayor conicidad del tronco (0.62) mientras que Nazareno se aproximó más a una forma cilíndrica con el mayor Factor de forma-Ff (0.99). La especie Paleta además presentó la más alta Dm (0.880 g/cm³), en contraposición, especies como Cañamito y Sombra de Ternero registraron la menor densidad, con 0.390 y 0.400 g/cm³, respectivamente. Con el ancho de copa se calcula el área de copa, que osciló entre 276 a 31 m² para las especies Zorra y Redondo, respectivamente.

Esta última especie también registró la más alta oclusión con 92% mientras que el guapinol manifestó la menor oclusión (34%). En agroforestería se desean especies de un alto factor AC/AT, que permitan menor tiempo de sombra en determinada área (según ancho de copa de cada especie) y mayor movilidad de esta. Mientras que las especies con mayor Ff permiten un mayor rendimiento de la madera en rollo. Finalmente, es preferible usar especies de bajo ancho/área de copa y Oclusión permitiendo incluir mas árboles por unidad de área (Cuadro 15).

Cuadro 15. Resumen de variables dasométricas complementarias para la construcción de curvas de crecimiento y correlación entre variables, de especies maderables evaluadas en SAF-Cacao. La Masica, Atlántida. 2023.

#	Nombre científico	Nombre común	Factor AC/AT (0-1)	Ff (0-1)	Dm (g/cm ³ o t/m ³)	Ancho de copa (m)	Área de copa (m ²)	Oc (%)
1	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	Cedro de la India	0.35	0.74	0.500	10.5	86	76
2	<i>Andira Inermis</i>	Almendro de Rio	0.44	0.90	0.690	9.0	64	77
3	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	Cañamito	0.32	0.90	0.390	11.6	106	79
4	<i>Astronium graveolens</i>	Ciruelillo	0.35	0.94	0.870	8.5	57	82
5	<i>Cordia bicolor</i>	Sombra de Ternero	0.55	0.86	0.400	12.3	119	69
6	<i>Dialium guianense</i>	Paletto	0.27	0.82	0.880	10.6	88	79
7	<i>Entandrophragma angolense</i>	Zapelle	0.44	0.68	0.500	11.8	109	84
8	<i>Genipa americana</i>	Jagua	0.40	0.72	0.770	12.1	115	56
9	<i>Huertia cubensis</i>	Cedrillo	0.32	0.86	0.460	14.2	158	76
10	<i>Hymenea courbaril</i>	Guapinol	0.27	0.89	0.810	11.6	106	34
11	<i>Jacaranda copaia</i>	Zorra	0.39	0.86	0.630	18.8	276	37
12	<i>Khaya ivorensis</i>	Caoba de Lagos	0.46	0.80	0.520	7.2	40	78
13	<i>Khaya senegalensis</i>	Caoba africana	0.40	0.75	0.670			81
14	<i>Magnolia yoroconte</i>	Redondo	0.41	0.92	0.670	6.3	31	92
15	<i>Mastichodendron capiri</i>	Tempisque	0.31	0.82	0.640	8.1	52	75
16	<i>Peltogine paniculata</i>	Nazareno	0.60	0.99	0.860	11.0	95	89
17	<i>Pterocarpus hayesii</i>	Sangre Blanco	0.51	0.82	0.440	8.5	57	59
18	<i>Pterocarpus indicus</i>	Narra	0.34	0.85	0.800	7.1	39	67
19	<i>Simarouba glauca</i>	Aceituno	0.54	0.95	0.480	12.7	126	64
20	<i>Tabebuia Rosea</i>	Macuelizo	0.48	0.77	0.510	9.4	69	65
21	<i>Tapirira guianensis</i>	Piojo	0.34	0.94	0.580	14.9	174	83
22	<i>Terminalia amazonia</i>	Cumbillo	0.57	0.91	0.720	15.2	180	79
23	<i>Terminalia superba</i>	Limba	0.54	0.62	0.430	17.0	227	72
24	<i>Vitex gaumeri</i>	Flor azul						
Promedio			0.42	0.84	0.618	11.3	108	71

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

Curvas de crecimiento

DAP (cm). En las curvas de crecimiento en DAP se identificaron cinco grupos estadísticos identificado por letra y color de conector (Figura 24). Siendo la Limba la especie con mayor crecimiento diametral (97 cm) y con una media diferente al resto de las especies. Por otro lado, Redondo registró el menor crecimiento con 28 cm. Ambas especies comparadas a los 26 años. El Cedro de la India presentó el mayor crecimiento en los primeros seis años, registrando en promedio 56 cm a los 16 años, es decir; 3.5 cm de crecimiento medio anual (IMA). Sin embargo, este crecimiento a disminuido, promediando únicamente 1 cm, entre 16-22 años. Estos resultados dan la pauta para realizar un aprovechamiento temprano de esta especie, inclusive, al igual que la Limba su aprovechamiento desde los seis años que ya se ha logrado 30 cm de DAP que es el indicado para el aprovechamiento según el Instituto de Conservación Forestal (Figura 24).

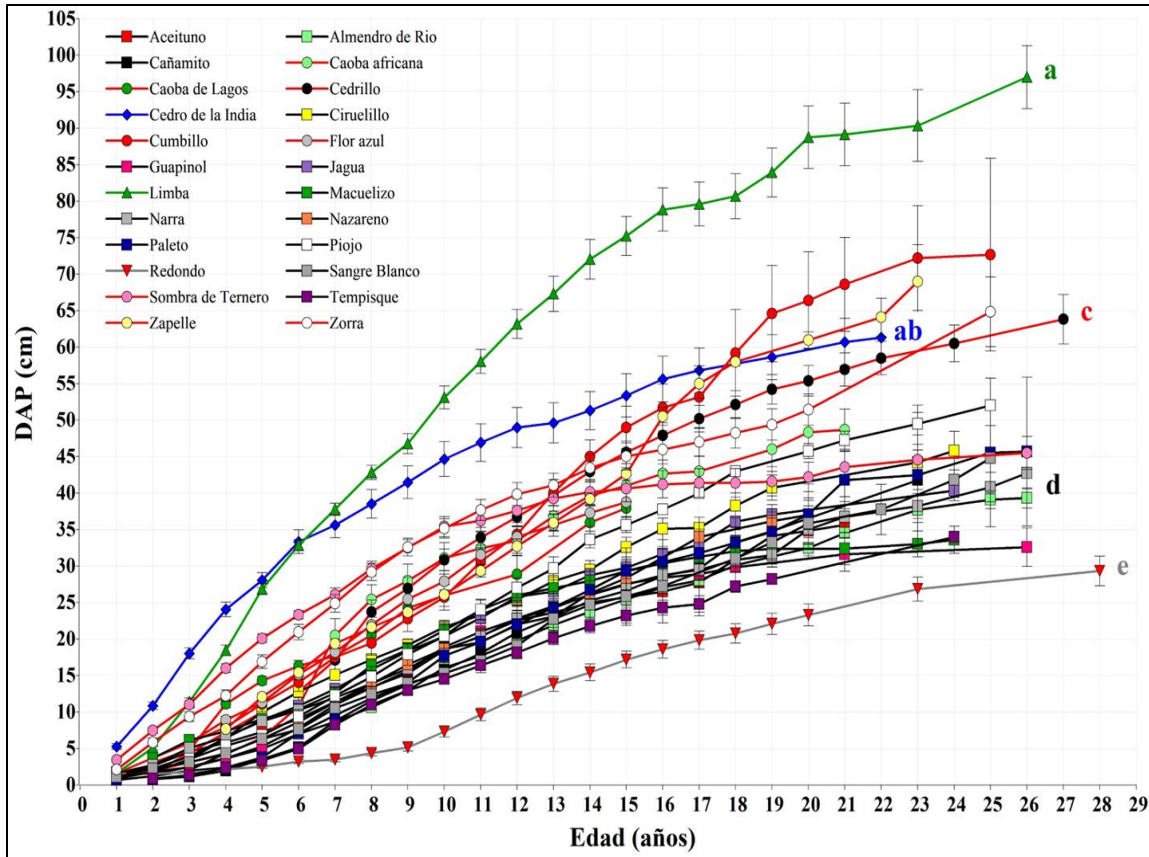


Figura 24. Curvas de crecimiento en DAP (cm) y su error estándar (E.E.), en 24 especies maderables evaluados en sistemas agroforestales con cacao. Signos geométricos iguales muestran especies con similar DAP (prueba DGC $p > 0.05$). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 1996-2023.

El Cuadro 16 muestra los coeficientes de regresión (valores de β_0 , β_1 , β_2 , β_3), para estimar el DAP (cm) entre 1-26 años (dependiendo de la especie) en los maderables, despejando la fórmula $Y = \beta_0 + \beta_1(x) + \beta_2(x)^2 + \beta_3(x)^3$, donde “Y” es el DAP esperado, “x” la edad (años) que es multiplicada por su expresión cuadrática o cúbica.

Cuadro 16. Modelos con mejor ajuste para la estimación del Dap (cm) para cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao. CEDEC-JAS, 1996-2023.

Especie maderable	β_0	\pm	E.E.	β_1	\pm	E.E.	β_2	\pm	E.E.	β_3	\pm	E.E.
Cedro de la India	-2.05853	\pm	0.74607	7.67988	\pm	0.28918	-	\pm	0.03038	0.00719	\pm	0.00092
Almendra de río	-0.49838	\pm	0.67368	0.74962	\pm	0.24078	0.37318	\pm	0.02330	-	\pm	0.00065
Cañamito	-3.26938	\pm	1.23250	1.17548	\pm	0.39979	0.09771	\pm	0.03619	0.00333	\pm	0.00096
Ciruelillo	-2.96917	\pm	0.50588	2.64108	\pm	0.10796	-	\pm	0.00489	0.00281	\pm	
Sombra de ternero	-3.75024	\pm	0.75940	6.10290	\pm	0.26942	-	\pm	0.02598	0.00433	\pm	0.00072
Paleta	-1.14043	\pm	0.89762	0.62634	\pm	0.31842	0.27517	\pm	0.03072	-	\pm	0.00085
Caoba angoleña	7.58516	\pm	6.12425	-	\pm	1.73485	0.16408	\pm	0.14562	-	\pm	0.00372
Jagua	-0.90876	\pm	0.73225	0.58395	\pm	0.30896	0.33424	\pm	0.03542	0.00856	\pm	0.00117
Cedrillo	-2.56660	\pm	1.26620	1.62489	\pm	0.45448	0.08400	\pm	0.04595	-	\pm	0.00132
Guapinol	-1.86431	\pm	1.02994	2.29474	\pm	0.37332	0.15070	\pm	0.03803	0.00596	\pm	0.00114
Zorra	-4.00893	\pm	0.65934	0.93293	\pm	0.14460	0.17746	\pm	0.00669	-	\pm	
Caoba de Lagos	-8.45644	\pm	3.02054	4.94971	\pm	1.48192	-	\pm	0.20794	0.11177	\pm	0.00862
Caoba africana	-5.02726	\pm	2.80303	6.21458	\pm	1.08439	0.44510	\pm	0.11343	-	\pm	0.00339
Redondo	3.37976	\pm	0.93057	2.82843	\pm	0.30111	0.11033	\pm	0.02728	0.00603	\pm	0.00073
Tempisque	-1.65780	\pm	1.25861	-	\pm	0.30111	0.22117	\pm	0.02728	-	\pm	0.00073
Nazareno	-4.10020	\pm	0.42920	1.21416	\pm	0.47590	0.15807	\pm	0.05071	0.00545	\pm	0.00159
Sangre Blanco	-0.00879	\pm	0.60823	0.56522	\pm	0.47590	0.15807	\pm	0.05071	0.00563	\pm	0.00193
Narra	-0.72170	\pm	0.70855	2.17707	\pm	0.03829	-	\pm	0.06400	0.00122	\pm	0.00193
Aceituno	-1.64141	\pm	0.82021	2.17707	\pm	0.03829	0.05017	\pm	0.02307	-	\pm	0.00067
Macuelizo	1.41983	\pm	1.26168	0.85702	\pm	0.22742	0.09763	\pm	0.02307	0.00264	\pm	0.00067
Piojo	-0.27182	\pm	0.59607	1.82975	\pm	0.25138	0.01659	\pm	0.02424	-	\pm	0.00067
Cumbillo	1.70828	\pm	1.11183	0.01257	\pm	0.00758	-	\pm	0.00758	0.00099	\pm	
Limba	-7.19005	\pm	1.29551	2.03454	\pm	0.17173	0.18596	\pm	0.05084	-	\pm	0.00160
Flor Azul	-0.09190	\pm	1.25138	0.83593	\pm	0.47706	0.018596	\pm	0.05084	0.00766	\pm	0.00160
				0.59430	\pm	0.19424	0.21593	\pm	0.01766	-	\pm	0.00047
				0.59430	\pm	0.19424	0.21593	\pm	0.01766	0.00646	\pm	0.00047
				0.49811	\pm	0.39445	0.27852	\pm	0.03804	-	\pm	0.00105
				0.49811	\pm	0.39445	0.27852	\pm	0.03804	0.00714	\pm	0.00105
				6.96363	\pm	0.45962	-	\pm	0.04432	-	\pm	0.00123
				6.96363	\pm	0.45962	0.06945	\pm	0.04432	0.00213	\pm	0.00123
				1.14603	\pm	0.50665	0.31778	\pm	0.06102	-	\pm	0.00224
				1.14603	\pm	0.50665	0.31778	\pm	0.06102	0.01483	\pm	0.00224

β_0 : ordenada al origen; β_1 - β_3 : coeficientes de regresión; E.E.: error estándar

Vc (m³). Al igual que las curvas de crecimiento en DAP, en el Vc también se identificaron cinco grupos estadísticos. Manteniéndose la especie Limba con la mayor tasa de crecimiento y diferente al resto, promediando 10 m³/árbol y registrando 20 veces más volumen en relación con la especie de menor crecimiento como lo es el Redondo (0.4 m³/árbol) comparadas a los 26 años. A los 14 años las especies Cedro de la India, Cubillo y Zorra acumularon 1.5 m³ equivalente a 300 pie tablar promedio por árbol.

Para el caso del Cedro de la India únicamente a acumulado 0.7 m³ desde sus 14 hasta sus 26 años. Adicionalmente, en la Figura 2 se puede observar en la mayoría de las especies que el volumen maderable no se está incrementando de manera significativa.

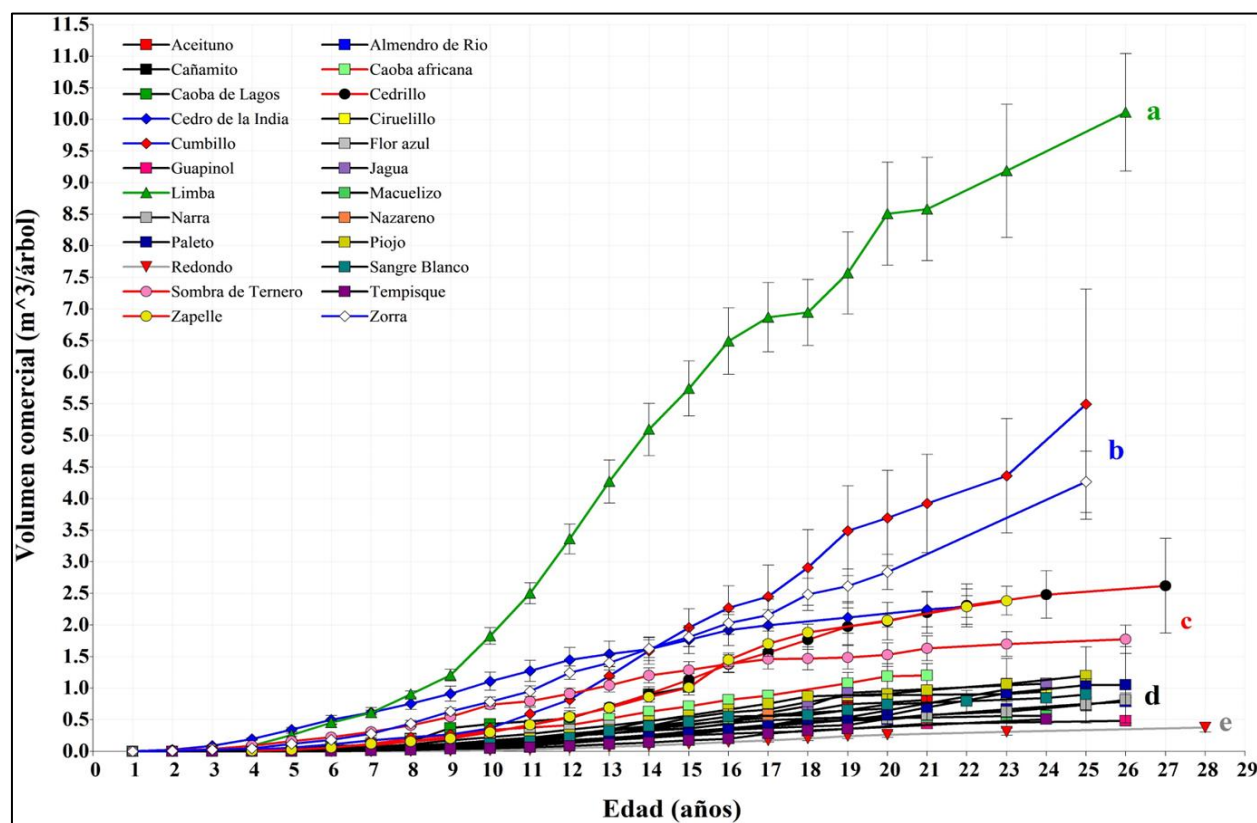


Figura 25. Curvas de crecimiento en volumen comercial (m³/árbol) y su error estándar (E.E.), en 24 especies maderables evaluados en sistemas agroforestales con cacao. Signos geométricos iguales muestran especies con similar Vc (prueba DGC $p > 0.05$). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 1996-2023.

El Cuadro 17 muestra los coeficientes de regresión (valores de β_0 , β_1 , β_2 , β_3), para estimar el volumen comercial (Vc) entre 1-26 años (dependiendo de la especie) en los maderables, despejando la fórmula $Y = \beta_0 + \beta_1(x) + \beta_2(x)^2 + \beta_3(x)^3$, donde “Y” es el Vc esperado, “x” la edad (años) que es multiplicada por su expresión cúbica.

Cuadro 17. Modelos con mejor ajuste para la estimación en volumen comercial (m³/árbol) para cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao. CEDEC-JAS, 1996-2023.

Especie maderable	β_0	±	E.E.	β_1	±	E.E.	β_2	±	E.E.	β_3	±	E.E.	
Cedro de la India	-0.09315	±	0.03671	0.04048	±	0.01423	0.01168	±	0.00149	-	±	0.00005	
Almendra de río	0.04939	±	0.01742	-0.03356	±	0.00623	0.00481	±	0.00060	0.00040	-	±	0.00002
Cañamito	0.02588	±	0.01647	-0.01321	±	0.00534	0.00130	±	0.00048	0.00010	-	±	0.00001
Ciruelillo	0.04978	±	0.02343	-0.03461	±	0.00904	0.00551	±	0.00095	0.00005	±	0.00001	
Sombra de ternero	-0.01923	±	0.04489	-0.01244	±	0.01592	0.01174	±	0.00154	0.00008	-	±	0.00003
Paleto	0.03679	±	0.01516	-0.02441	±	0.00538	0.00318	±	0.00052	0.00035	-	±	0.00004
Caoba angoleña	0.92250	±	0.29473	-0.33082	±	0.08349	0.03418	±	0.00701	0.00003	-	±	0.00001
Jagua	-0.03638	±	0.03171	0.02083	±	0.01338	-	±	0.00153	0.00074	-	±	0.00018
Cedrillo	0.17987	±	0.07314	-0.13734	±	0.02625	0.01909	±	0.00265	0.00021	±	0.00005	
Guapinol	0.07756	±	0.01277	-0.04369	±	0.00463	0.00621	±	0.00047	0.00255	-	±	0.00008
Zorra	0.09209	±	0.03783	-0.08825	±	0.01522	0.02046	±	0.00166	0.00038	-	±	0.00001
Caoba de Lagos	0.19867	±	0.12105	-0.13268	±	0.05939	0.02445	±	0.00833	0.00017	-	±	0.00005
Caoba africana	0.02908	±	0.02727	-0.03474	±	0.01055	0.00785	±	0.00110	0.00046	-	±	0.00003
Redondo	0.05877	±	0.01495	-0.02683	±	0.00484	0.00284	±	0.00044	0.00017	-	±	0.00003
Tempisque	0.00418	±	0.01589	-0.00255	±	0.00601	0.00017	±	0.00064	0.00005	-	±	0.00001
Nazareno	0.08136	±	0.03991	-0.04362	±	0.01374	0.00643	±	0.00138	0.00005	-	±	0.00002
Sangre Blanco	0.07129	±	0.03049	-0.04870	±	0.01140	0.00730	±	0.00116	0.00013	-	±	0.00004
Narra	0.01989	±	0.01447	-0.01521	±	0.00513	0.00287	±	0.00050	0.00016	-	±	0.00003
Aceituno	0.01754	±	0.02670	-0.01705	±	0.01029	0.00369	±	0.00108	0.00005	-	±	0.00001
Macuelizo	0.06717	±	0.01908	-0.03955	±	0.00721	0.00635	±	0.00077	0.00005	-	±	0.00003
Piojo	0.20780	±	0.05084	-0.10410	±	0.01657	0.01290	±	0.00151	0.00015	-	±	0.00002
Cumbillo	0.36796	±	0.13403	-0.21859	±	0.04755	0.02815	±	0.00459	0.00015	-	±	0.00004
Limba	0.72816	±	0.25824	-0.53785	±	0.09162	0.09011	±	0.00884	0.00029	-	±	0.00003
Flor azul	0.07914	±	0.01910	-0.04504	±	0.00776	0.00747	±	0.00094	0.00021	-	±	0.00013
										0.00221	-	±	0.00024
										0.00016	-	±	0.00003

β_0 : ordenada al origen; β_1 - β_3 : coeficientes de regresión; E.E.: error estándar

C.equiv. Las variables de crecimiento de las especies mostraron alta correlación positiva. Para el caso del DAP está muy correlacionado con valores de R-Pearson de 0.94, 0.70, 0.80 y 0.82 con AT, AC, Vc y Cequiv, respetivamente. Por lo tanto, las especies que mostraron las mayores tasas de crecimiento mostraron mayor cantidad de Cequiv independientemente de la Dm que estuvo correlacionado débilmente con el Vc ($R = -0.22$)

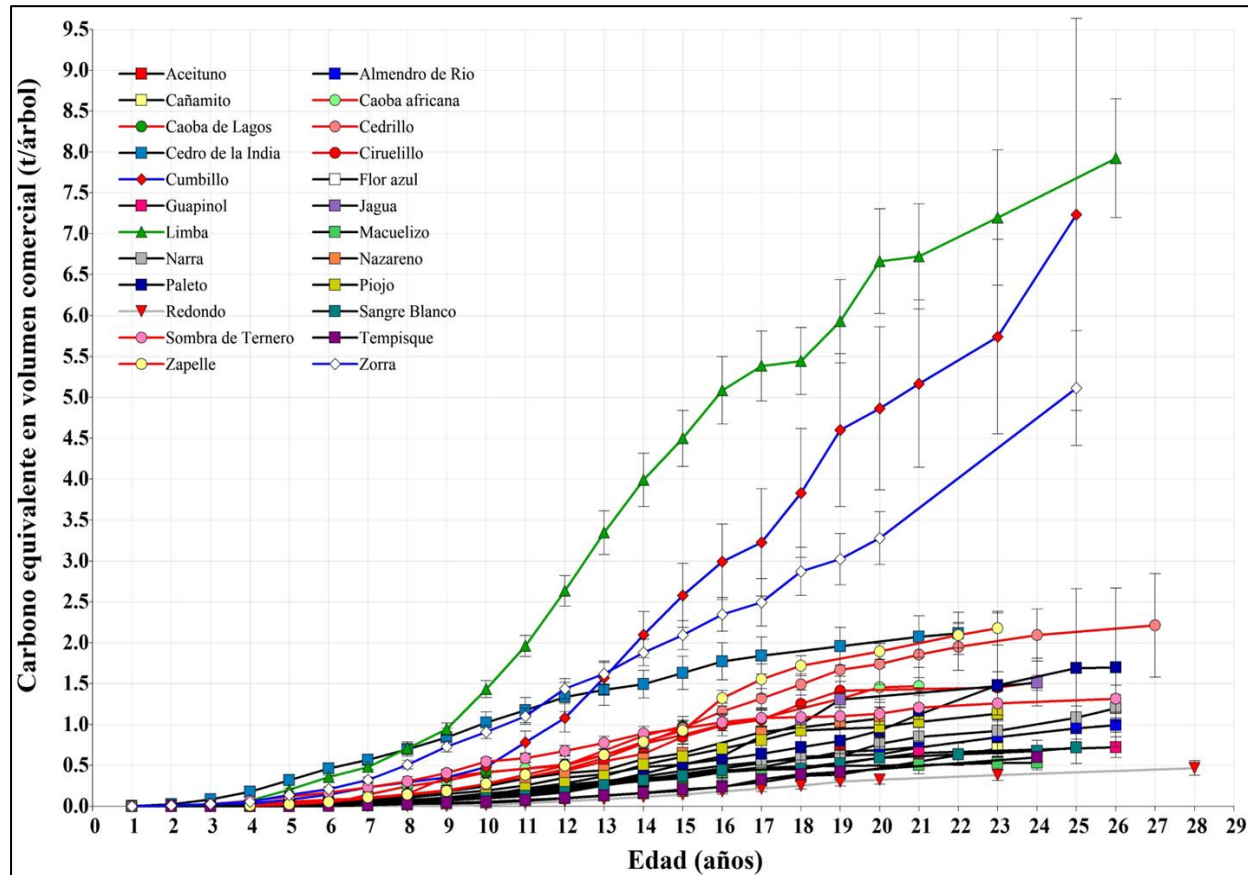


Figura 26. Curvas de crecimiento en captura de Carbono equivalente contenido en el volumen comercial (t/árbol) y su error estándar (E.E.), en 24 especies maderables evaluados en sistemas agroforestales con cacao. Signos geométricos iguales muestran especies con similar media (prueba DGC $p > 0.05$). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 1996-2023

Índices de crecimiento diametral (IMA e ICA)

Además del crecimiento en el DAP, existen otros índices para evaluar/medir el crecimiento diametral de los árboles, como: el IMA (Incremento medio anual) y el ICA (Incremento corriente anual). El primero se calcula dividiendo el DAP sobre la edad, mientras que el segundo es la ganancia en incremento diametral de un año a otro. Uno de los criterios para el aprovechamiento forestal utilizado es cuando las variables antes descritas se entrecruzan.

La Figura 27, representa el IMA y el ICA promedio de las 36 especies maderables representando un traslape de las variables entre los 11 y 14 años (IMA e ICA de 2.4 cm), lo cual indica su tiempo/turno de aprovechamiento. Sin embargo, las especies demostraron diferencias en crecimiento, por lo tanto, el turno de aprovechamiento se debe realizar por cada especie. Por otro

lado, se observó que entre los 23-24 años las especies en promedio crecieron menos de 0.7 cm (ICA), promediando un IMA que ha venido reduciéndose desde los 14 años desde 2.4 cm a 2.0 cm a los 24 años.

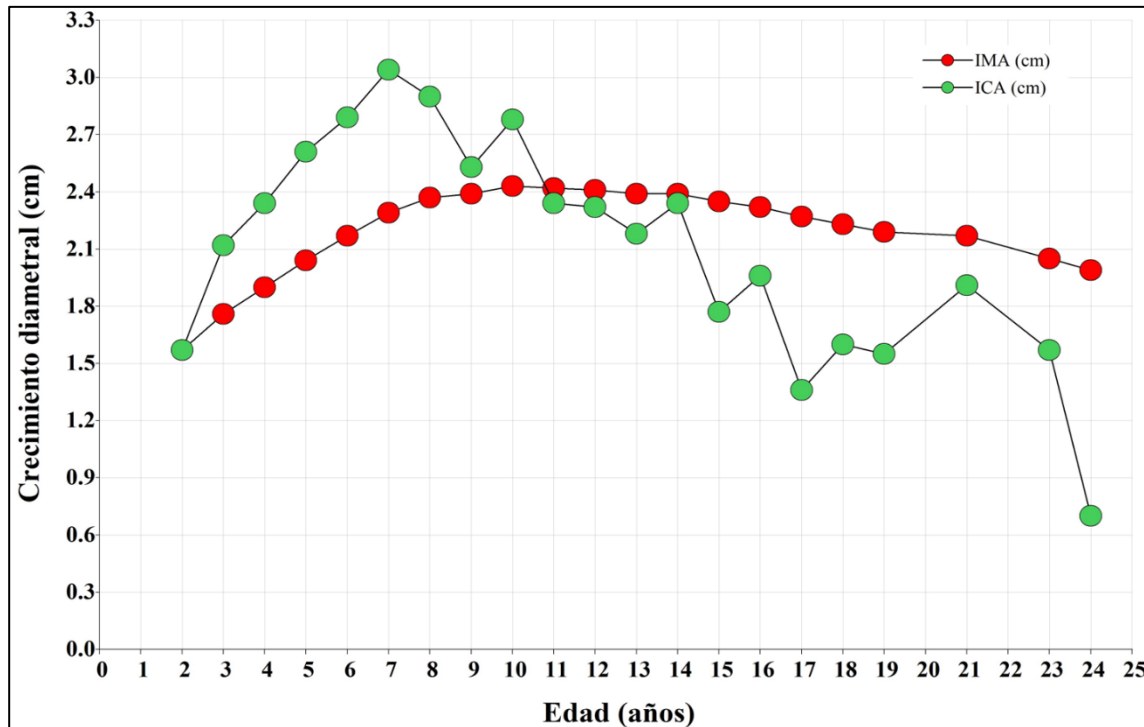


Figura 27. Tasas de crecimiento diametral: IMA (incremento medio anual) e ICA (incremento corriente anual), promedio del total de especies evaluados en SAF-Cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 1998-2023

Adicionalmente, a los 14 años se construyó el IMA para cada una de las especies; edad donde ninguna de estas había sufrido algún tipo de raleo en su población de árboles. En la Figura 28, se representan en grupo estadístico por el color del gráfico de barras con su media con su desviación estándar. Evidentemente la Limba sobresale con un IMA de 5.2 cm, mientras que el Redondo incrementó 1.1 cm por año. Con fines de producción de madera en SAF, Dubón y Sánchez (2016), consideran aceptable IMA igual y superior a 1.5 cm, bajo ese escenario se descartaría únicamente la especie descrita anteriormente.

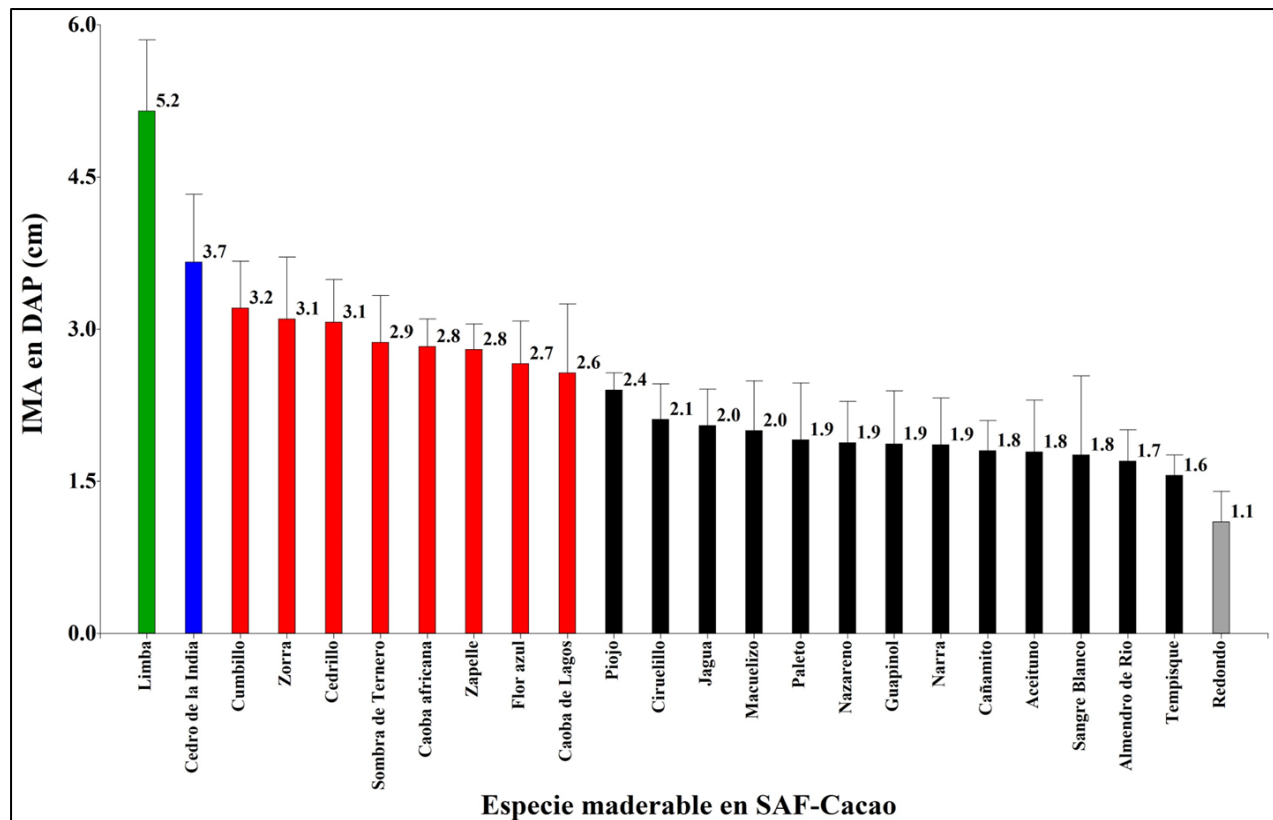


Figura 28. Promedios de IMA (incremento medio anual) en DAP (cm) y desviación estándar de 24 especies maderables evaluadas en SAF-Cacao a 14 años. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.

Análisis de correlación de sombra, área basal del maderable y rendimiento del cacao

Para este análisis se recopiló la información publicada en los informes técnicos sobre la oclusión y ancho de copa en 21 de las 24 especies. De las cuales se encontró diferencia (p -valor <0.05 , $R >0.6$) entre la correlación sombra generada por la especie al cacao vs su área basal, en 18 especies de las 21 especies; es decir, cuando incrementó la sombra incrementó el área basal del maderable. Por lo antes mencionado se puede usar como criterio técnico en los cacaotales: mantener la sombra por debajo del 30% y el área basal por debajo de 10 m^2 por hectárea (Cuadro 18 y Figura 29).

Cuadro 18. Análisis de correlación de Pearson (p-valor) entre la cobertura/sombra (%) generada por el maderable al cultivo de cacao vs su área basal (m²/ha). 2006-2023.

Especie maderable	Cobertura (%)		Área basal (m ² /ha)		n	R	P-valor
	L.I.	L.S.	L.I.	L.S.			
Cedro de la india	20.7	33.7	9.2	13.8	9	0.97	<0.0001
Guapinol	7.7	18.3	2.8	5.9	6	0.99	0.0003
Caoba africana	1.3	6.4	0.7	1.4	6	0.98	0.0004
Zapelle	9.4	22.6	4.0	9.5	9	0.92	0.0004
Sangre blanco	14.7	27.5	4.3	8.9	9	0.91	0.0006
Nazareno	17.1	41.7	1.6	3.5	7	0.95	0.0011
Jagua	9.4	24.6	4.3	11.6	6	0.97	0.0015
Piojo	16.3	39.7	3.7	7.1	8	0.89	0.0034
Macuelizo	10.4	22.6	3.6	6.1	6	0.94	0.0061
Cedrillo	16.8	34.5	7.3	11.7	6	0.93	0.0074
Ciruelillo	22.5	32.9	5.3	8.9	7	0.88	0.0094
Almendo de río	17.2	50.8	4.5	7.7	6	0.91	0.0130
Aceituno	5.6	9.1	1.5	2.8	6	0.89	0.0189
Sombra de ternero	10.5	32.5	7.4	9.8	6	0.86	0.0285
Redondo	2.1	6.6	0.9	2.5	6	0.81	0.0482
Narra	10.1	13.9	3.4	6.3	9	0.61	0.0786
Limba	49.3	81.3	23.1	38.6	7	0.70	0.0788
Tempisque	13.6	27.9	1.8	4.4	6	0.92	0.1000
Cañamito	6.8	10.2	1.1	2.6	6	0.35	0.4975
Paleta	29.6	45.5	4.6	8.8	9	0.20	0.6011
Cumbillo	19.5	34.3	5.6	9.2	9	0.04	0.9222

L.I.: límite inferior; L.S.: límite superior; p-valor (valor de probabilidad) menor o igual 0.05 indica correlación; coeficiente de Pearson (R); n: cantidad de datos/años analizados.

En la Figura 29, se observa la relación entre la cobertura/sombra (%) y el rendimiento del cacao seco expresado en kg/ha, encontrándose que el rendimiento disminuyó a medida que incrementaba la sombra. Misma tendencia se observa entre el área basal vs el rendimiento del cacao. Finalmente se puede apreciar que hasta un 20 % de cobertura y 5 m² los rendimientos en cacao no se ven afectados.

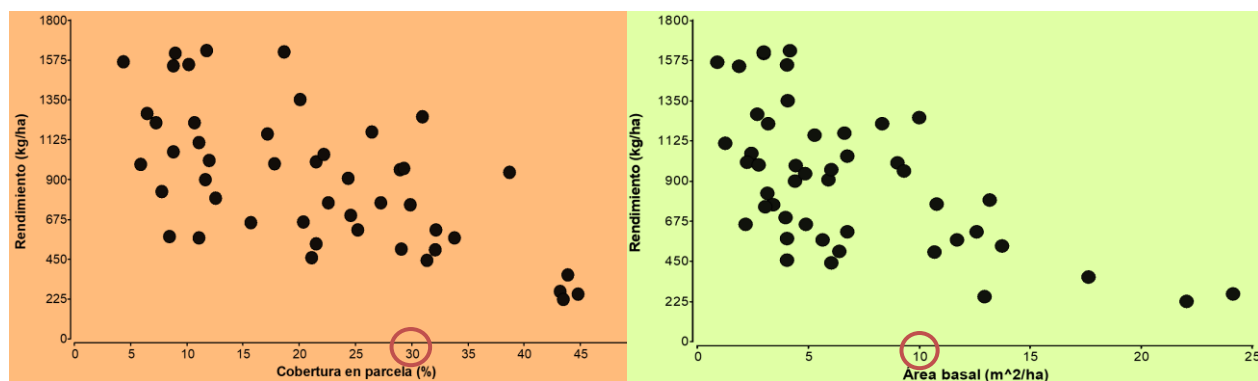


Figura 29. Correlación entre la cobertura (izquierda) y área basal (derecha) de los maderables sobre el rendimiento del cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.

Conclusión

- Las especies maderables mostraron diferencias en sus tasas de crecimiento; por lo tanto, los marcos de plantación en parcelas agroforestales con cacao, deben ajustarse de acuerdo a sus índices de crecimiento manteniendo como máximo un 30 % de cobertura y/o 10 m²/hectárea para no afectar los rendimientos del cacao de manera drástica.

Literatura citada

Ramírez Argueta, O. A. (2021). Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte de Honduras.

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>

Di Rienzo, JA; Guzmán, AW; Casanoves, F. 2002. A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 2(7):129-142. DOI: 10.1198/10857110260141193.

4.2. 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

Jennifer Alvarado, Ashley Gutiérrez, Marlon Perdomo y Robert Muñoz
Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR)

M.Sc. Oscar Ramírez e Ing. Alfredo Martínez
Programa de Cacao y Agroforestería, FHIA

Resumen

Este estudio analiza las propiedades físico-mecánicas de la madera en las especies *Tabebuia donnell smithii* rose, *Swietenia macrophylla* king, *Dalbergia glomerata* Hemsl y *Platymiscium dimorphandrum*, cuyos árboles crecieron dentro de un sistema agroforestal con cacao y mostrando un crecimiento mas rápido de lo habitual. Se llevaron a cabo cinco pruebas físicas, dos pruebas mecánicas y cuatro pruebas de trabajabilidad en las especies descritas. Al comparar los resultados con investigaciones de la misma especie en entornos naturales, se observaron resultados positivos en *Tabebuia donnell smithii* rose, *Swietenia macrophylla* king, pues en su comparación se encuentran dentro de las mismas categorías y niveles de calidad y resistencia que en plantaciones silvestres; en contraste *Dalbergia glomerata* Hemsl se clasificó en una categoría inferior en términos de propiedades físicas en comparación con su entorno natural, así como *Platymiscium dimorphandrum* que mostró cambios de categorías en sus resultados mecánicos.

Introduccion

Las propiedades físico-mecánicas de una especie son cruciales para determinar los usos para los cuáles es apta la madera. La FHIA ha establecido sistemas agroforestales en donde se ha combinado cacao con especies forestales, dentro de las cuáles se encuentran *Tabebuia donnell smithii* Rose, *Swietenia macrophylla* King, *Dalbergia glomerata* Hemsl y *Platymiscium dimorphandrum*, dichas especies fueron sometidas a una serie de pruebas físicas y mecánicas para determinar su calidad y resistencia. Posteriormente se compararon con investigaciones previas realizadas en entornos naturales, revelando en su mayoría resultados positivos para las cuatro especies. Destacándose algunas pequeñas diferencias y cambios de categoría para la especie de *Dalbergia glomerata* Hemsl y *Platymiscium dimorphandrum*. el crecimiento rápido presentado por las especies dentro del sistema agroforestal no influyó de manera negativa, ni redujo el valor de calidad y resistencia de las especies.

Objetivos

Objetivo general

- Evaluar las propiedades físico-mecánicas de las especies *Tabebuia donnell smithii* Rose, *Swietenia macrophylla* King, *Dalbergia glomerata* Hemsl y *Platymiscium dimorphandrum* en plantación agroforestal establecida en el municipio de La Masica, departamento de Atlántida, Honduras.

Objetivos específicos

- Identificar los estudios realizados sobre las propiedades físico-mecánicas de las especies.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas de las especies en plantación agroforestal.
- Determinar los usos de la madera de las especies.
- Realizar una comparación de las propiedades físico-mecánicas de las especies entre ambiente natural y plantación agroforestal.

Metodología

Se desarrolló en los siguientes pasos:



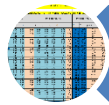
Aserrado y secado de la madera



Elaboración de probetas para pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad



Ejecución de las pruebas físico-mecánicas y de trabajabilidad



Tabulación y cálculos de los datos



Análisis de los datos obtenidos

Resultados y discusión

Cuadro 19. Resultados de las propiedades físicas de las cuatro especies forestales cultivadas en el CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2023.

Propiedades físicas	Especies			
	<i>Tabebuia donnell smithii</i> Rose	<i>Swietenia macrophylla</i> King	<i>Dalbergia glomerata</i> Hemsl	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>
Densidad básica (gr/cm ³)	0.37	0.56	0.55	0.48
Densidad al aire libre (gr/cm ³)	0.44	0.59	0.65	0.50
Contracción tangencial anhidra (%)	5.59	4.79	4.57	5.40
Contracción radial anhidra (%)	2.89	3.22	2.00	4.10
Relación contracción Tangencial/Radial (%)	1.93	1.50	2.31	0.38
Contracción volumétrica (%)	11.16	8.03	7.00	9.80
Coefficiente de contracción volumétrica (Coeficiente)	0.42	0.38	0.31	0.46
Contenido de humedad al aire libre (%)	15.73	14.15	13.40	12.7
Contenido de humedad saturado (%)	173.33	111.41	94.05	79.40

Cuadro 20. Usos de la madera según la clasificación de Bárcenas según el coeficiente de contracción volumétrica y su Relación Tangencial/Radial.

Usos de la madera según sus propiedades físicas				
Usos	Especie			
	<i>Tabebuia donnell smithii</i> Rose	<i>Swietenia macrophylla</i> King	<i>Dalbergia glomerata</i> Hemsl	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>
Clasificación	Mediana estabilidad dimensional	Mediana estabilidad dimensional	Baja estabilidad dimensional	Mediana estabilidad dimensional
Usos según Bárcenas tomando en cuenta el coeficiente de contracción volumétrico y la Relación Tangencial/Radial	Piezas de ebanistería, puertas y ventana, mango y herramientas, lambrines, artículos deportivos, ataúdes, vigas laminadas, etc.	Piezas de ebanistería, puertas y ventana, mango y herramientas, lambrines, artículos deportivos, ataúdes, vigas laminadas, etc.	Construcción en general: Vigas, largueros Construcciones pesadas: Puentes, naves industriales bodegas, etc.	Piezas de ebanistería, puertas y ventana, mango y herramientas, lambrines, artículos deportivos, ataúdes, vigas laminadas, etc.

Cuadro 21. Resultados de las propiedades mecánicas de las cuatro especies.

Propiedades mecánicas	Especies			
	<i>Tabebuia donnell smithii</i> Rose	<i>Swietenia macrophylla</i> King	<i>Dalbergia glomerata</i> Hemsl	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>
Flexión estática				
Esfuerzo al límite proporcional de las fibras (kg/cm ²)	973.82	562.39	644.11	446.68
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
Compresión paralela a las fibras				
Esfuerzo al límite proporcional de las fibras (kg/cm ²)	264.01	289.79	332.02	213.71
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²

Pruebas de trabajabilidad de la madera según normas ASTM

La escala utilizada en las pruebas de trabajabilidad obtenida de las normas ASTM es la siguiente:



Según las normas para clasificar maderas mexicanas las especies según los datos de sus pruebas físicas y mecánicas se encuentran dentro de las siguientes categorías, se clasifican mediante la siguiente escala, Muy baja, Baja, Media, Alta y Muy alta.

Cuadro 22. Clasificación de las especies con las categorías de clasificación de madera mexicanas.

Dato de clasificación	Especies			
	<i>Tabebuia donnell smithii</i> Rose	<i>Swietenia macrophylla</i> King	<i>Dalbergia glomerata</i> Hemsl	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>
Densidad	Baja	Media	Media	Media
Flexión estática (EFLP)	Muy alta	Media	Alta	Media
Compresión paralela a las fibras (EFLP)	Media	Alta	Alta	Media

Al momento de realizar la comparación de los datos anteriores con los estudios identificados de las mismas especies en ambientes naturales, en el caso de las propiedades físicas se puede determinar que para *Tabebuia donnell smithii* Rose sus datos son muy similares, se encuentran dentro de la misma categoría, por lo que no se presentan diferencias importantes, para *Swietenia macrophylla* King presenta que es más densa que la madera de la especie en ambiente natural, *Dalbergia glomerata* Hemsl presentó una contracción volumétrica menor que la que presenta la especie en ambiente natural, su relación Tangencial/Radial es mayor, estas diferencias pueden influir en la resistencia y calidad de la madera, *Platymiscium dimorphandrum* no presenta diferencias muy notables entre ambos sistemas, pertenecen a la misma categoría a diferencia de la densidad la cual resultó ser menos densa que en ambiente natural.

Los datos de pruebas mecánicas para *Tabebuia donnell smithii* Rose aunque hay leves diferencias en la flexión estática entre el ambiente natural y el sistema agroforestal en ambas situaciones se encuentran dentro de la misma categoría, para la prueba de compresión paralela a las fibras si existe un cambio de categoría siendo la madera de sistema agroforestal de menor resistencia que la del ambiente natural, *Swietenia macrophylla* King en los datos obtenidos de las dos pruebas, se encuentran dentro de las mismas categorías que presenta la especie en ambiente natural, *Dalbergia glomerata* Hemsl presenta una mayor resistencia en la flexión estática que la que presenta la madera dentro de un ambiente natural, en el caso de la prueba de Compresión paralela a las fibras

se encuentran dentro de la misma categoría, *Platymiscium dimorphandrum* presenta diferencias de categorías en ambas pruebas siendo la más notable en la Flexión estática en donde la especie en sistema agroforestal es media y la del ambiente natural está en categoría muy alta, para la compresión paralela a las fibras la especie en sistema agroforestal cambia una categoría, posicionándose en resistencia media, resultado positivo comparado con el del sistema natural que está en categoría baja. La trabajabilidad para las cuatro especies se presentó dentro de las categorías de regular excelente para las cuatro pruebas.

Clasificación de Pruebas de trabajabilidad según la escala de las normas ASTM				
Pruebas de trabajabilidad	Especie			
	<i>Tabebuia donnell smithii</i> Rose	<i>Swietenia macrophylla</i> King	<i>Dalbergia glomerata</i> Hemsl	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>
Escopleado	Muy bueno	Excelente	Regular	Regular
Perforado	Excelente	Muy buena	Bueno	Buena
Lijado	Muy bueno	Excelente	Muy bueno	Buena
Clavado	Excelente	Muy buena	Excelente	Muy buena

Conclusión

Los datos obtenidos sobre las pruebas físicas y mecánicas de las especies nos reflejan lo siguiente:

- Los estudios e investigaciones de las especies que se identificaron en ambiente natural han desempeñado un papel fundamental al proporcionar una base sólida de datos, que ha sido crucial para comprender y comparar las propiedades de las especies entre su ambiente natural y una plantación agroforestal.
- Las cinco pruebas físicas, dos pruebas mecánicas y cuatro pruebas de trabajabilidad proporcionaron un conjunto completo de datos para evaluar las propiedades físico-mecánicas de las especies en la plantación agroforestal. Estos datos fueron cruciales para determinar la resistencia, la durabilidad y la capacidad de trabajo de las especies estudiadas en el contexto específico de la plantación agroforestal.
- El análisis de las propiedades físico-mecánicas de las diferentes especies proporcionó información crucial para determinar sus posibles usos. Se encontró que tres de las cuatro especies presentaban propiedades favorables para ebanistería y carpintería (caoba, San Juan Guayapeño y Hormigo) mientras que, en el caso del granadillo rojo, se observó un cambio en su categoría de usos determinándose apta para construcción.

Para las especies San Juan Guayapeño y caoba del Atlántico tanto sus propiedades físicas como en las mecánicas se encuentran dentro de las mismas categorías que en el ambiente natural, su calidad y resistencia son determinadas como iguales. Granadillo rojo presenta diferencias en sus propiedades mecánicas y en algunos datos de propiedades físicas condicionando diferencias para los usos de su madera, hormigo presentó cambio de categorías por sus datos de pruebas mecánicas.

V. ESTUDIOS DE INVESTIGACIÓN DE PRÁCTICAS AGROFORESTALES

5.1. Compatibilidad sexual de clones de cacao comerciales y promisorios de la FHIA y recomendación de arreglos de plantación en campo. CAC 16-01

Oscar Ramírez, Aroldo Dubón y Francisco Javier Díaz

Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen

Como parte de la implementación de tecnologías innovadoras, a inicios de 2015 se establecieron nuevas parcelas de cacao con arreglos de plantación en función a la intercompatibilidad sexual. Con esta tecnología se espera potenciar el cuajamiento de frutos en la polinización. La conformación de los arreglos fue posible por los resultados de los cruzamientos o polinizaciones manuales controladas entre los clones después de 15 días cuando se contabilizó el porcentaje de frutos formados. Se consideraron los intercompatibles y/o autoincompatibles y los cruzamientos y/o autopolinización que estaban igual o por arriba del 30 % de cuaje de frutos.

Entre 2015-2017, se realizaron 770 cruzamientos (46 % de las posibles 1,600 cruzamientos), lo suficiente para formar diversos arreglos policlonales. De estos, el 63 % fueron intercompatibles y se destacan, con mayor intercompatibilidad, los clones autocompatibles (9 de 40 clones) como; EET-162, UF-29, CCN-51, ICS-95, EET-62, FHIA-330, FHIA-168, ICS-1 y EET-96. Mientras que entre 2017-2019, la investigación en compatibilidad se enfocó en conocer la autocompatibilidad de los clones promisorios de la FHIA. Se trabajó de forma separada en dos lotes, el primero compuesto por 18 clones seleccionados de árboles progenies de alto rendimiento con más de 45 frutos/árbol/año y con baja incidencia de moniliasis (3.4 %).

Entre los resultados 6 de 18 clones fueron autocompatibles (FHIA-65, -330, -430, -515, -612 y -677). Y, un segundo lote compuesto por 26 clones (lote Marapolán) seleccionados de árboles progenies por tener más de 30 % de semillas con cotiledón de color blanco o crema, de las cuales 16 fueron autocompatibles: FHIA-32, -168, -193, -359, -478, -513, -537, -621, -630, -687, -709, -740, -765, -360, -408 y -428. Parte de 2019 hasta el 2021, se avanzó en conocer la intercompatibilidad de los siete clones con mayor rendimiento en el lote marapolán: FHIA-32, -483, -513, -168, -630, -359, y -483, siendo este último autoincompatible e intercompatible (<30 % de cuajamiento del fruto), especialmente cuando se evaluó como madre/hembra. Al mismo tiempo se evaluó la intercompatibilidad de los 10 clones con mayores índices de rendimiento del lote 18 cultivares, donde 5 de los 6 clones autocompatibles estaban presentes. Se ha avanzado en 94 % de la matriz de intercompatibilidad, donde el 73 % de los cruzamientos fueron intercompatibles que sobresalen, como en cruzamientos anteriores, los clones autocompatibles.

En 2021, se inició la evaluación de la autocompatibilidad de los clones del ensayo “12 cultivares” que se seleccionaron por el rendimiento y tolerancia a enfermedades entre 385 progenies/árboles con rendimientos promedios de 52 frutos/árbol. Se avanzó en 10 clones, donde 3 fueron autocompatibles (FHIA-63, -245 y -224). Además, se inició la evaluación de intercompatibilidad de los 5 clones más productivos entre 2018-2020, avanzando en 66 % del total de cruzamientos, donde destaca el FHIA-63 como donador de polen y el FHIA-21C como receptor. En el 2022 se realizaron 19 cruzamientos dirigidos a conocer la intercompatibilidad entre los clones más promisorios del lote Marapolán y los 18 cultivares, lo cual nos permite ofrecer, en un futuro

cercano, arreglos policlonales de alta productividad y calidad. Únicamente 6 cruzamientos fueron interincompatible donde el 50 % de estos fue cuando se cruzó FHIA-483 como hembra.

Palabras claves: polinización, intercompatible, interincompatible, autocompatible.

Introducción

La productividad en las plantaciones de cacao depende de diversos factores, entre ellos, el manejo agronómico, condiciones agroecológicas y material genético utilizado. El cacao es una planta que presenta el fenómeno de *autoincompatibilidad sexual*, que se manifiesta cuando el polen de la flor de una planta no consigue fecundar los óvulos de sus flores; y el carácter de *interincompatibilidad* sucede cuando el polen de la flor de una planta no consigue fecundar los óvulos de las flores de otra planta (Cadavid-Vélez, 2006). En la Figura 30 se muestra el flujo de polen que determina el carácter de compatibilidad en una plantación de cacao. La compatibilidad sexual de los clones al establecer una plantación de cacao permite incrementar las posibilidades de fecundación de los óvulos y la obtención de frutos. La colección del banco de germoplasma de la FHIA contiene más de 300 clones, los cuales han sido introducidos, algunos de ellos, desde hace más de 30 años.

Como parte de la implementación de tecnologías innovadoras, a inicios de 2015 se establecieron nuevas parcelas de cacao utilizando arreglos de plantación en función a la intercompatibilidad sexual de un grupo de 40 clones que fueron seleccionados y registrados ante el departamento de certificación de semillas CERTISEM-SENASA principalmente por sus características de productividad y calidad. En el presente informe se detallan los avances en los estudios de determinación de la intercompatibilidad sexual en los clones más productivos del lote denominado 18 cultivares seleccionados de árboles progenies de alto rendimiento con más de 45 frutos/árbol/año y con baja incidencia de moniliasis (3.4 %) (Sánchez y Dubón 2014) con los clones más productivos y que presentan almendra blanca del lote de Marapolán (Sánchez y Dubón 2018), lo cual nos permitirá ofrecer arreglos policlonales de alta productividad y calidad organoléptica.

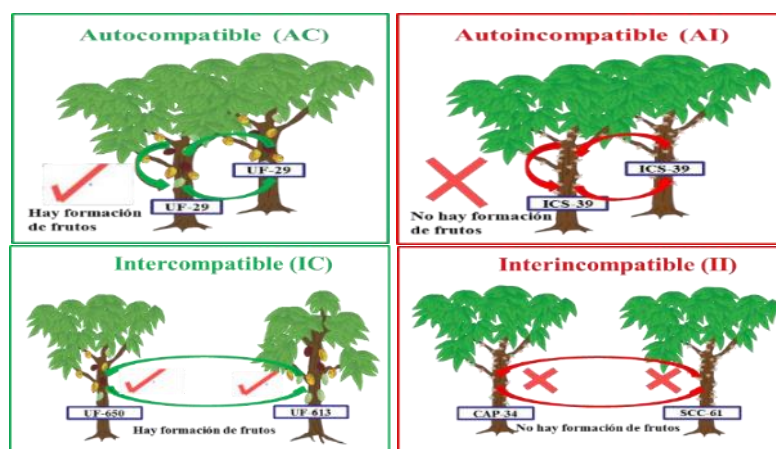


Figura 30. Diagrama de los términos de compatibilidad con base en el intercambio de polen entre un mismo clon (superior) y distintos clones (inferior) y posibles resultados.

Objetivo

Conocer para cada clon promisorio en evaluación su nivel tanto de compatibilidad sexual propia e intercompatibilidad con otros clones de cacao, permitiendo un mejor criterio para la conformación

de arreglos policlonales de siembra.

Materiales y métodos

En la Figura 32 se presentan los materiales utilizados en los procesos para realizar la polinización manual, estos incluyen: 1. Caja de madera para hacer la colecta de las flores, 2. Pinzas para emasculación de flores, 3. Cilindros de plástico cubierto los extremos con plastilina y malla fina para proteger los botones florales y flores emergidas, 4. Rotulaciones para identificar el cruzamiento realizado, el nombre del lado izquierdo siempre representa la madre y 5. Formato para registro de la información.

Proceso de polinización

En la FHIA, el proceso de polinización que se utiliza para hacer pruebas de compatibilidad sexual entre clones de cacao, contiene los pasos que a continuación se detallan:

Selección del botón floral un día antes de que la flor abra o esté disponible para ser polinizada. Dicho botón con aproximadamente entre 28-30 días se protege con un tubo especial de plástico cubierto los extremos con plastilina y malla fina. Se revisa al siguiente día para verificar que el botón se convirtió en la flor completamente abierta. Se protege la flor que está abierta y lista para ser polinizada (flor hembra), para evitar que otros polinizadores lleguen antes y fecunden la flor (Figura 31).



Figura 31. Aislamiento de botón floral.

Práctica de polinización

En horas tempranas se realiza la selección y recolección de la flor que servirá como macho, la cual se desprende cuidadosamente del otro árbol, se debe observar que los sacos polínicos (anteras) sean de color blanco cremoso y no marron que es indicativo de polen no viable (Figura 32a). Al estar frente al árbol, para realizar la polinización, a la flor que se utilizará como receptora (hembra) se le quitan los estaminoides. Esto permite dejar listo el pistilo para recibir el polen de la otra flor que servirá como macho, proveniente del árbol de otro clon en caso que se quiera conocer la intercompatibilidad (Figura 32b). Se eliminan todos los pétalos (cogula y lígula) de la flor recolectada para seguidamente proceder a la polinización en la cual se frotan las anteras de la flor macho en todo el pistilo de la flor hembra (Figura 32c). Si hay intercompatibilidad sexual entre los clones, se observa posteriormente el crecimiento y desarrollo de frutos en la flor fecundada (Figura 32d).



Figura 32. Práctica de polinización. Recolección de flores donadoras de polen (a), eliminación de estaminoides de flor receptora (b), frotamiento de pistilo con antera de flor donadora (c), fruto formado producto de la intercompatibilidad o autocompatibilidad. (d).

En el proceso de polinización asistida se usan 30 flores de cada árbol que funciona como hembra; posterior al proceso de polinización asistida se hacen tres revisiones a los 3, 8 y 15 días, respectivamente, para observar y registrar el *cuajamiento* del fruto.

Si no hubo fecundación de la flor polinizada, esta se desprende a los 3 u 8 días, pero si hubo fecundación, la flor persiste en el árbol y a los 15 días se empieza a observar la formación de un fruto. En un formato de campo se registran las observaciones y las fechas. Para determinar la compatibilidad sexual del cruzamiento, a los 15 días después de la polinización, se calcula el porcentaje de frutos desarrollados (cuajamiento) a partir de las 30 flores que fueron polinizadas. Si el porcentaje de cuajamiento de frutos es mayor al 30 % de las flores polinizadas, se determina que hay intercompatibilidad entre los clones cruzados.

Cuando el porcentaje observado es menor de 30 % se determina que hay interincompatibilidad entre los clones cruzados. En el periodo 2023 se realizaron avances en los clones con mejor comportamiento en los ensayos de 18 y 12 cultivares; así como también, se inició la valoración entre clones de los 18 cultivares y del lote Marapolán.

Resultados y discusión

Lote 18 cultivares. Se realizaron 4 cruzamientos dirigidos a conocer la intercompatibilidad entre los clones más promisorios del ensayo de 18 cultivares, 12 cruzamientos en el ensayo de 12 cultivares y 26 cruzamientos entre clones del ensayo de 18 cultivares y clones sobresalientes del lote marapolán. La información registrada permitirá ofrecer en un futuro cercano arreglos policlonales de alta productividad y calidad. Para el caso, el clon FHIA-708 (madre) fue cruzado recibiendo polen de los clones FHIA-677, FHIA-276 y FHIA-430. Los resultados indican en los tres casos, los porcentajes de cuajamiento fueron inferiores a 30 %; por lo tanto, asumimos que estos clones son inter-incompatibles. Por otro lado, el clon FHIA-677 al recibir polen del clon FHIA-430 registró un % de 47; lo cual indica que existe la intercompatibilidad entre estos dos clones, ya que en el cruzamiento opuesto el % fue de 63 (Cuadro 23).

Cuadro 23. Porcentaje de frutos formados producto de las cruzas para evaluar la intercompatibilidad de clones de cacao desarrollados por la FHIA (18 cultivares). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2017-2023.

Auto e Inter compatibilidad sexual (%)		Madre FHIA-										Promedio
		741*	310	330	533	612	677	708	276	430	65	
Padre FHIA-	741	3	0	10	23	23	0	20	27	20	47	17
	310	7	0	17	80	40	90	13	60	63	60	43
	330	50	77	50	48	70	43	37	37	73	53	54
	533	53	37	23	15	10	57	10	3	33	63	30
	612	20	53	73	40	35	80	23	47	60	60	49
	677	50	57	13	60	57	67	17	13	63	60	46
	708	33	43	63	87	62	73	0	60	17	83	52
	276	43	58	37	0	62	33	7	0	30	90	36
	430	10	65	33	57	61	47	0	57	36	37	40
	65	43	48	57	87	50	65	17	13	80	50	51
Promedio		31	44	38	50	47	56	14	32	48	60	42

*Clon autocompatible $\geq 30\%$ (azul), autoincompatible $< 30\%$ (amarillo), intercompatibles entre 30-69.5 (verde claro) e intercompatibles $\geq 70\%$ (verde oscuro).

Lote 12 cultivares. Se realizaron un total de 12 cruzamientos marcados en negrilla dentro de la matriz de compatibilidad (Cuadro 24). Esta matriz comprende los cruzamientos entre los seis clones más promisorios del lote de 12 cultivares. La matriz nos indica que los clones FHIA-63 y FHIA-32 son autocompatibles; además que este mismo clon FHIA-63 es una excelente madre ya que muestra alta intercompatibilidad con los demás clones. También observamos que el clon FHIA-100 muestra muy poca intercompatibilidad, especialmente cuando recibe polen de otros clones.

Cuadro 24. Porcentaje de frutos formados producto de las cruzas para evaluar la intercompatibilidad de clones de cacao desarrollados por la FHIA (lote 12 cultivares). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2017-2023.

Auto e Inter compatibilidad sexual (%)		Madre FHIA-						Promedio
		21c*	63	32	74	100	146	
Padre FHIA-	21c	0	38	33	67	20	10	28
	63	53	47	40	7	20	67	39
	32	57	33	30	73	43	17	42
	74	70	33	53	0	7	59	37
	100	60	33	0	10	0	23	21
	146	83	33	40	13	10	10	32
Promedio		54	36	33	28	17	31	33

* Clon autocompatible $\geq 30\%$ (azul), autoincompatible $< 30\%$ (amarillo), intercompatibles entre 30-69.5 (verde claro) e intercompatibles $\geq 70\%$ (verde oscuro).

Clones 18 cultivares vs clones marapolán. Esta matriz (Cuadro 25) contiene 12 clones promisorios de dos diferentes ensayos para un total de 144 cruzamientos. En el 2023 se logró un avance acumulado del 77 % de la matriz. Existen siete clones que muestran autocompatibilidad, lo cual es muy buena señal y soporte en la toma de decisiones para la conformación de nuevos arreglos policlonales. Puede observarse además que el clon FHIA-483 muestra muy poco cuajamiento de frutos cuando es donante de polen (Prom. 7 %), pero que mejora cuando recibe polen de otros clones (Prom. 3 %). El clon FHIA-65 muestra excelentes niveles de cuajamiento tanto cuando actúa como proveedor de polen (Prom. 53 %) como cuando recibe polen (Prom. 46 %).

Cuadro 25. Porcentaje de frutos formados producto de las cruza para evaluar la intercompatibilidad de clones de cacao desarrollados por la FHIA (lote 18 cultivares vs Marapolán). CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2017-2023.

Auto e Inter compatibilidad sexual (%)		Madre FHIA-												Promedio
		741	310	330	533	612	276	65	32	513	168	483	359	
Padre FHIA-	741	3	0	10	23	23	27	47		30		0		18
	310	7	0	17	80	40	60	60				3		33
	330	50	77	50	48	70	37	53	17	43	23	13	73	46
	533	53	37	23	15	10	3	63				3		26
	612	20	53	73	40	35	47	60		54		10		44
	276	43	58	37	0	62	0	90				0		36
	65	43	48	57	87	50	13	50	53			10		46
	32	43	30		27	30	50	53	72	73	70	13	13	43
	513	40	0	20	37	37	3	65	75	50	40	13	3	32
	168	53	13		23	37	40	20	53	70	51	0		36
	483		13	3		17		40	50	77	60	7		33
	359	77	3	37	17	57		40					60	42
Promedio		39	28	33	36	39	28	53	53	57	49	7	37	

* Clon autocompatible $\geq 30\%$ (azul), autoincompatible $< 30\%$ (amarillo), intercompatibles entre 30-69 % (verde claro) e intercompatibles $\geq 70\%$ (verde oscuro).

Conclusión preliminar

Los mejores donadores y receptores de polen, como en años anteriores, son los clones autocompatibles. Esta característica será de especial importancia a considerar para la selección de nuevos cultivares de cacao y la conformación de arreglos policlonales. De igual manera el clon FHIA-483 continúa mostrando la menor intercompatibilidad sexual.

Recomendación

Finalizar los cruzamientos en 2024 entre los clones de los 18 cultivares y los clones del lote de marapolán para publicar la mayor cantidad de información de intercompatibilidad en el documento “Catálogo descriptor de clones de cacao FHIA”.

Literatura citada

- Cadavid-Vélez, S. 2006. Características de compatibilidad sexual de algunos clones de cacao y su aplicación en siembras comerciales. Compañía Nacional de Chocolates. Colombia. 28 p.
- Sánchez, J. y A. Dubón. 2014. Evaluación de materiales híbridos con resistencia potencial a moniliasis (*Moniliophthora roreri*) bajo condiciones de inóculo natural. CAC 99-01. Pág. 18-22. *In: Informe técnico 2013, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.*
- Sánchez, J. y A. Dubón. 2018. Búsqueda de materiales con potencial de calidad para la producción de cacao fino con destino a mercados específicos. CAC 07-01. Pág. 9-11. *In: Informe técnico 2017, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. LaLima, Cortés, Honduras.*
- Ramírez, O. 2019. Compatibilidad sexual de cultivares de cacao para desarrollar propuestas de plantaciones con arreglos policlonales. 64 Reunión “Programa Cooperativo.

5.2. Adaptación y comportamiento agronómico de plantas de cacao en campo a partir de plantas de vivero bajo tres condiciones de raíz. AGF 17-01

Oscar Ramírez, Alfredo Martínez y Francisco Javier Díaz

Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen

El estudio fue establecido en agosto de 2017 (0.43 ha) bajo condiciones del CADETH-AMR (Centro Agroforestal Demostrativo del Trópico Húmedo-Adolfo Martínez Rondanelli), con el objetivo de evaluar el efecto de tres condiciones de raíces (normal, raíz pasada sin poda y pasada podada) en seis clones de cacao (CCN-51, Caucasia-43, Caucasia-47, Caucasia-39, UF-667 e ICS-1), sobre la mortalidad de plantas, la producción de frutos sanos y dañados por enfermedades (monilia y mazorca negra) y plagas (ardilla/aves) y el rendimiento del cacao seco (kg/ha).

El experimento se estableció en un arreglo de bloques completos al azar con parcelas divididas, donde la condición de raíz representa la parcela principal y cada uno de los 6 clones las subparcelas. En 2023 no se encontró diferencia estadística significativas ($p\text{-valor}>0.05$) para ninguna de las variables de estudio en la interacción condición de raíz*clon ni para la mortalidad*condición de raíz. Sin embargo, entre los clones se mantienen las diferencias ($p\text{-valor}<0.05$) en la producción de frutos totales, frutos sanos, frutos con mazorca negra y dañados por plagas.

Los clones CCN-51 y Caucasia-39 lideran la producción de frutos totales con promedios entre 13.5 y 9.3 frutos/árbol/año, respectivamente. El clon CCN-51, también presentó la mayor pérdida por mazorca negra con 1.97 frutos/árbol (14.6 %) y daños por plagas de 3.17 frutos/árbol (23.4 %).

El rendimiento de cacao seco promedio general incrementó 8 kg/ha, pasando de 265 kg/ha a 273 kg/ha en 2023, siendo CCN-51 el de mayor rendimiento con 539 kg/ha/año. Finalmente, la incidencia de plantas muertas osciló entre 8 y 10 % manteniéndose casi la misma población que el 2022. Sin embargo, el 2023 fue un año con una distribución de lluvias anormal; las plantas se vieron expuestas a periodos de sequía o baja precipitación (enero a julio) que según los antecedentes es cuando los problemas de mortalidad son mayores.

Palabra clave: deformación, raíces, *Theobroma*.

Introducción

En los últimos años se ha encontrado, tanto en nuestras estaciones experimentales (CEDEC-JAS y CADETH-AMR) como en fincas de productores, incidencias aisladas de plantas de cacao muertas, próximas a entrar en edad de producción con 2 a 3 años. Al tratar de determinar la o las causas asociadas a la mortalidad, se ha observado que en aproximadamente en el 50 % de los casos, la mortalidad se debe a problemas en el sistema radicular como ahorcamiento de raíces, raíz pivotante bifurcada, ausencia de raíces secundarias o raíz principal en forma de L.



Figura 33. Deformación de raíces adultas.

De acuerdo con las estadísticas del Departamento de Protección Vegetal (Rivera, 2018) desde el 2012, en el país se han intensificado los reportes de plantas con problemas de crecimiento, amarillamiento en el sistema foliar y de manera frecuente la muerte de estas al iniciar su etapa productiva con 2 a 6 años (Figura 33). Por esto se infiere que se debe especialmente por anomalías en el sistema radicular. Esta situación se ve principalmente en cultivos como cacao, café y aguacate, viéndose más afectados en años con periodos largos de sequía y altas temperaturas.

Las deformaciones en la raíz del cacao, probablemente se deba a que la planta fue dejada en el vivero durante un periodo mayor a los 6 meses recomendados. Esto ocasiona lo siguiente: primero, la raíz al llegar al fondo de la bolsa comienza a enrollarse para formar la característica conocida como "cola de chanco"; segundo, la raíz pudo romper la bolsa y seguir su crecimiento en el suelo y al momento de llevarla al campo se procedió a cortarla.

En el presente informe se describen los resultados agronómicos obtenidos en los tres años de registro de información en la evaluación del efecto de tres condiciones de raíz en seis clones de cacao evaluados en CADETH-AMR.

Objetivo

Evaluar el efecto de tres condiciones de raíz en seis materiales genéticos con respecto a la sobrevivencia, comportamiento productivo y tolerancia a las enfermedades y plagas en el cultivo de cacao, bajo condiciones del trópico húmedo hondureño.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en agosto de 2017, en el CADETH-AMR, bajo el modelo agroforestal cacao-plátano-madreado-barba de jolote (*Cojoba arborea*) ordenados en distancia de 3 m x 3 m, 6 m x 6 m, 12 m x 12 m y 3 m x 3 m, respectivamente.

Tratamientos

Corresponden a la combinación de cada uno de los factores de estudio, donde el factor "A" es la condición de la raíz pivotante y el factor "B" cada uno de los clones donde se evaluó la condición de raíz ordenados de acuerdo con su intercompatibilidad sexual.

Factor “A”

- Parcela 1. Raíz normal (planta de 6 meses)
- Parcela 2. Raíz deformada sin podar doblada/pasada (planta > 7 meses)
- Parcela 3. Raíz deformada podada al ras de la parte inferior de la bolsa (planta > 7 meses).

Factor “B”

Clones: CCN-51, UF-667, ICS-1, CAUCASIA-39, CAUCASIA-43 y CAUCASIA-47



Figura 34. Raíces de cacao en distintos estudios según tiempo en el vivero.

Diseño del experimento. El experimento se estableció en un diseño de parcelas divididas con arreglo en bloques completos al azar con 3 repeticiones, donde la condición de raíz representa la parcela principal y cada uno de los seis clones las subparcelas. Tres tratamientos y tres bloques, lo que hace un total de nueve parcelas y 54 subparcelas distribuidas en un área de 4,374 m². Cada subparcela está constituida por 9 plantas distanciadas de 3.0 m, con un área de 54 m² (Figura 35).

Bloque	Raíz normal									Raíz deformada sin poda									Raíz deformada podada										
	Bloque Nº 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bloque Nº 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bloque Nº 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Bloque Nº 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Bloque Nº 5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Bloque Nº 6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Factor A (parcela): condición de raíz					
Plantas con raíz normal					
Plantas con raíz deformada sin poda					
Plantas con raíz deformada podada					

Factor B (subparcela): clon					
1	CCN-51				
2	UF-667				
3	ICS-1				
4	CAUCASIA-39				
5	CAUCASIA-43				
6	CAUCASIA-47				

54 Plantas por parcela
9 Plantas por sub-parcelas
Total de plantas 486

Distanciamiento entre planta y surco: 3 m x 3 m. Área total: 4,374 m²

Figura 35. Croquis del experimento para evaluar tres condiciones de raíz al trasplante. CADETH, El Recreo, La Masica, Atlántida.

Análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizó el software InfoStat realizando ANAVA al 5 %, después de haber comprobado los supuestos estadísticos como la normalidad a través de la prueba de Shapiro-Wilks (p-valor > 0.05) y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene (p-valor > 0.05).

También se realizaron pruebas de comparación de medias con el método de Duncan para las variables con diferencias significativas entre los tratamientos.

Variables por evaluar:

1. Porcentaje de sobrevivencia/mortalidad, al final del año.
2. Frutos sanos por árbol, quincenal.
3. Frutos con moniliasis por árbol, quincenal.
4. Frutos con mazorca negra por árbol, quincenal.
5. Frutos dañados con plagas por árbol, quincenal.
6. Rendimiento en cacao seco (kg/ha), al final del año.

Los frutos se registran cosecha a cosecha previamente clasificados según el estado de sanidad de estos. El rendimiento en cacao seco se estimó dividiendo los frutos sanos acumulados por clon entre su índice de mazorca, determinado bajo las condiciones del CEDEC-JAS (López *et al.*, 2017).

Manejo del experimento

Las actividades de manejo que se le han dado a la parcela agroforestal en 2022 se encuentran, el control manual de malezas el cual se ha realizado cada 3 meses, una poda de formación a mitad del año. Se realizaron dos comaleos y fertilizaciones, la primera durante el mes de febrero durante la época del final de lluvia, donde se aplicó 9.8 onzas/planta de cal dolomita y 6.5 onzas/planta de mezcla de fertilizante químico (15-15-15, nitrato de amonio y KCl). La segunda fertilización realizada fue durante septiembre al inicio de lluvias. Se aplicó 3 onzas/planta de cal y 8 onzas/planta de fertilizante químico. También se hizo regulación de sombra durante los meses de septiembre se eliminaron árboles de madreaje (Figura 36).



Figura 36. Ensayo evaluación de tres condiciones de raíz en seis clones de cacao. Vista panorámica (A) y plantas de cacao CCN-51 mostrando producción de frutos (B).

Resultados preliminares y discusión

El 2023 representa el tercer año de registro de cosechas. No se encontró diferencia estadística significativas ($p\text{-valor} > 0.05$) para ninguna de las variables de estudio en la interacción condición de raíz*clon de cacao, ni para la condición de raíz-mortalidad de plantas. Sin embargo, entre los clones se mantienen las diferencias ($p\text{-valor} < 0.05$) en la producción de frutos totales, frutos sanos, frutos con mazorca negra y dañados por plagas. Los clones CCN-51 y Caucasia-39 lideran la producción de frutos totales con promedio en 2023 entre 13.5 y 9.3 frutos/árbol/año,

respectivamente (Cuadro 26). El clon CCN-51, continuó registrando las mayores pérdidas por mazorca negra con 1.97 frutos/árbol (14.6 %) y por plagas con 3.17 frutos/árbol (23.4 %) (Figura 48).

El rendimiento de cacao seco de la parcela en general incrementó 8 kg/ha, pasando de a 283 kg/ha en 2023, siendo CCN-51 el de mayor rendimiento con 539 kg/ha/año (Cuadro 27), mientras que el ICS-1 registra el menor rendimiento (165 kg/ha/año). El comportamiento productivo de estos últimos dos clones es evidente en varios estudios (prueba regional y evaluación de la injertación en campo de clones) siempre en CADETH-AMR, donde el CCN-51 está entre los clones líderes en producción y el ICS-1 entre los clones de menor comportamiento productivo. Finalmente, la incidencia de plantas muertas osciló entre 8 y 10 % siendo estadísticamente similares y manteniéndose casi la misma población que en el 2022.

Cuadro 26. Resultados preliminares en las variables de productividad del cacao en el ensayo de evaluación del efecto de la condición de raíz*clon. El Recreo, CADETH-AMR, 2023.

Fuente de variación	Frutos por árbol					Cacao seco (kg/ha)
	Sanos	monilia	mazorca negra	Plagas	Totales	
Condición de raíz						
Normal	4.23	0.37	0.62	1.02	6.24	228
Pasada sin poda	5.12	0.48	0.63	1.29	7.52	287
Pasada podada	5.58	0.27	0.54	1.41	7.80	304
p-valor	0.183 n.s.	0.493 n.s.	0.910 n.s.	0.248 n.s.	0.092 n.s.	0.195 n.s.
Clon						
CCN-51	7.76 a	0.61	1.97 a	3.17 a	13.51 a	539 a
Caucasia-39	7.40 a	0.16	0.31 b	1.47 b	9.33 b	343 b
Caucasia-43	4.78 b	0.33	0.16 b	1.26 b	6.53 c	221 bc
Caucasia-47	4.27 b	0.14	0.21 b	0.87 bc	5.49 cd	198 c
ICS-1	3.59 bc	0.42	0.58 b	0.42 c	5.02 cd	174 c
UF-667	2.07 c	0.57	0.36 b	0.28 c	3.27 d	165 c
p-valor clon	<0.001**	0.268 n.s.	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**
p-valor-inter.	0.763 n.s.	0.631 n.s.	0.986 n.s.	0.676 n.s.	0.294 n.s.	0.753 n.s.
R ²	0.61	0.31	0.57	0.75	0.80	0.65
C.V. (%)	43.84	138.25	115.36	56.57	30.71	47.15

n.s. diferencias estadísticas no significativas; R²: coeficiente de determinación; C.V.: coeficiente de variación

La distribución relativa de la producción de los frutos por condición de raíz fue estadísticamente similar. Las plantas con raíz pasada registraron un porcentaje mayor (71.5 %) de frutos sanos en comparación al de plantas con raíces dobladas y sanas (Figura 48). Este diferencial se debe principalmente a la incidencia de enfermedades que fue levemente menor en las plantas con condición de raíz podada (Figura 47).

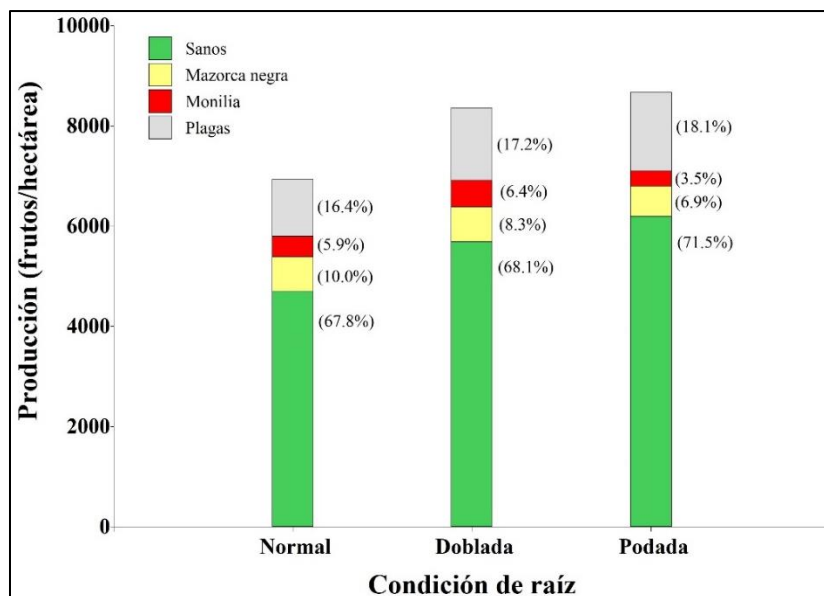


Figura 37. Distribución de frutos de cacao por condición de raíz. CADETH, El Recreo, La Masica, Atlántida. 2023.

En la distribución relativa de la producción de los frutos por condición genética (clon) se marcaron diferencias importantes. Se encontró un mayor porcentaje de frutos sanos entre los cuatro clones más productivos: Caucasia-39 y Caucasia-43 con 79.3 % (7.4 frutos/árbol) y 73.3 % (4.8 frutos/árbol). Caso contrario el clon CCN-51 que únicamente un 57.5 % de su producción registró frutos libres de plagas y enfermedades. Sin embargo, su gran potencial productivo y buen índice de mazorca (16 frutos por kilogramo de cacao seco) compensa estos problemas fitosanitarios y hace de este un clon de cacao una buena alternativa para las condiciones propias del CADETH-AMR (Figura 38).

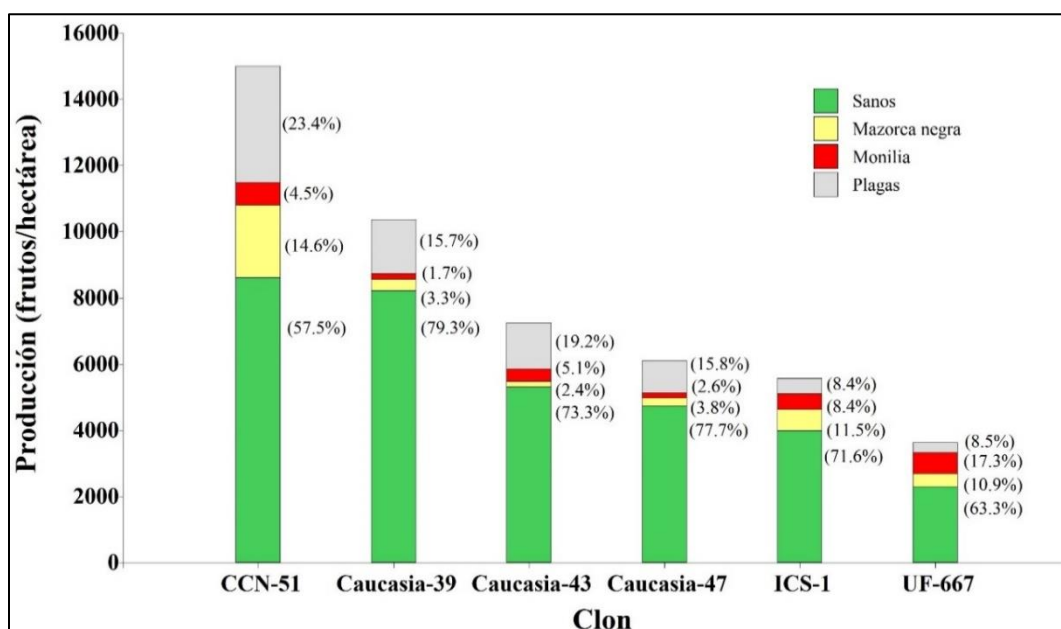


Figura 38. Distribución de frutos de cacao por clon, ensayo tres condiciones de raíz. CADETH-AMR, El Recreo, La Masica, Atlántida. 2023.

Conclusiones preliminares

- No hay diferencias en la mortalidad de plantas de cacao producto de la condición de raíz ni entre los clones evaluados.
- La condición de raíz no afecta los rendimientos del cacao.
- Como en otros estudios, los clones de cacao son diferentes en cuanto a su producción y tolerancia a enfermedades.

Literatura citada

Rivera, J.M. 2018. Raíces saludables significan larga vida productiva para cacao, café y otros perennes leñosos. 1^a ed. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). La Lima, Cortés, Honduras, C.A. 14 p.

López, M; Ramírez, O; Dubón, A. 2017. Catálogo de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). Evaluados y seleccionados por la FHIA. Cortés, Honduras. 88 pp.

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

Oscar Ramírez y Francisco Javier Díaz

Programa de Cacao y Agroforestería

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 13 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 rendimiento variables de acuerdo con el manejo brindado y 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 no tiene 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 a la producción de cacao fino y de aroma, y mejor cuando se comercializa bien fermentado y seco, de manera que pueda comercializarse a precios superiores que permitan cubrir el costo del fertilizante (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.

En el presente trabajo se prevé determinar el efecto productivo y económico en fincas de cacao en edad productiva, ubicadas en dos zonas representativas del cultivo, Jutiapa y La Masica, Atlántida, 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.

Antecedentes

El Programa de Cacao y Agroforestería de la FHIA, desde su inicio ha realizado 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 de la zona norte del país, en áreas con condiciones similares a La Masica.

En el primer experimento iniciado en 1987, se evaluaron 12 niveles de N, P₂O₅, K₂O en una plantación por semilla, en donde las dosis se fueron incrementando hasta aplicar el 100 % de los niveles de fertilización planteados en el estudio 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, P₂O₅, K₂O 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 obtenía 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 siguientes dos años, 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 un tratamiento con bocashi a razón de 5 kg/árbol al año y un testigo sin fertilización. A inicios del ensayo las parcelas tenían 3 años sin 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, P₂O₅, K₂O, 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, esta última se fertilizaba con 220 g/planta de 15-15-15 hasta un año antes de la aplicación de gallinaza. Las parcelas con cobertura no recibieron fertilización 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.

Se continuó con los registros, obteniendo un rendimiento en promedio entre el 2000 al 2006, con y sin gallinaza de 1,059 y 888 kg/ha, 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 K₂O (30, 60, 90 g/planta), 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 K₂O 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 K₂O 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, evaluación 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, en cada tratamiento.

Materiales y métodos

El estudio inició en el 2019 con la selección de nueve parcelas-plantaciones de cacao en sistemas agroforestales ubicadas en las principales zonas cacaoteras de Honduras (Cuadro 27, Figura 39); 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 realiza 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 la aplicación de cada fuente de nutrición.

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 27. 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

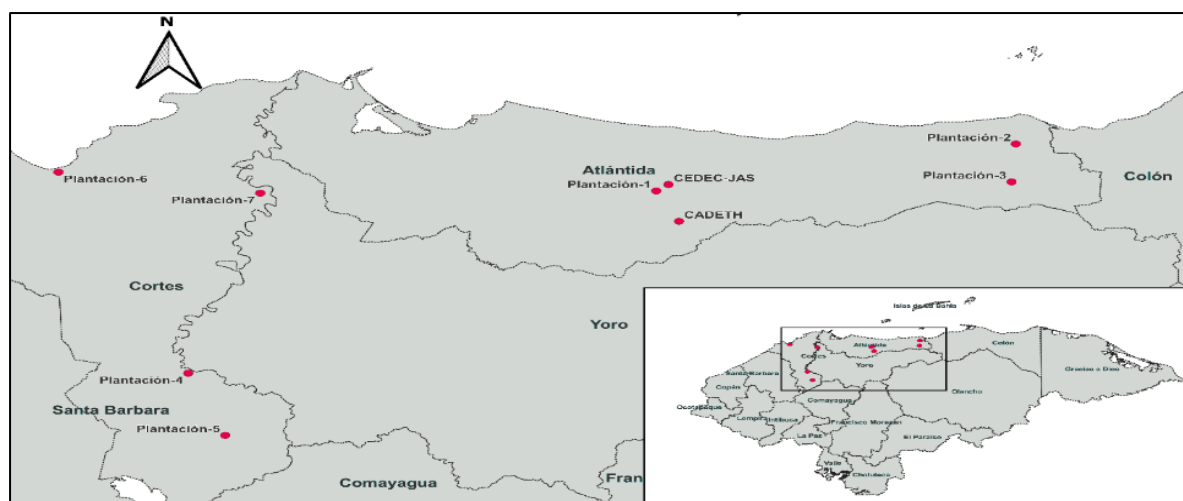


Figura 39. Ubicación geográfica de las parcelas en estudio de nutrición.

Las parcelas cuentan con diferentes materiales genéticos de cacao, especies de sombra (Cuadro 28) y condiciones edafoclimáticas. Sin embargo, se encuentran en áreas tradicionalmente cacaoteras.

Cuadro 28. 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

Los tratamientos consistieron en el uso de fuentes de fertilización química versus fertilización orgánica (lombricomposta), ambas aplicadas según análisis de suelo (Anexo 1, Figura 40). Adicionalmente, se evaluó un tercer tratamiento que fue la práctica de nutrición tradicional que realizaba el productor, la cual no está basada en análisis de suelo (Anexo 2 y 3). En la plantación de CEDEC-JAS se incluyó un cuarto tratamiento o testigo absoluto sin aplicación de fertilizante (Cuadro 29). Se colocaron cintas color azul, verde y anaranjadas (Figura 40a) 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 cintas café.

Cuadro 29. 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 ha realizado el muestreo de suelo (Figura 40b) 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 4). Se realizó también el análisis químico a posteriori del abono orgánico utilizado en la práctica tradicional del productor de la plantación-2 (Anexo 4). 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 realizará 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

Los datos se analizaron como estructura unifactorial en diseño en bloques completos al azar, donde cada plantación constituye una repetición-bloque conformado por 270 plantas de cacao, 90 plantas por cada tratamiento (Figura 41). 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 (Figura 42), sin embargo; para efectos de análisis de dicha parcela 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 estaban a un distanciamiento

de 3.0 m x 3.0 m y/o 3.5 m x 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.



Figura 40. Rotulado de plantas (a), muestreo de suelo (b), mezclas físicas de fertilizantes (c) y aplicación de cal y lombricomposta (d).

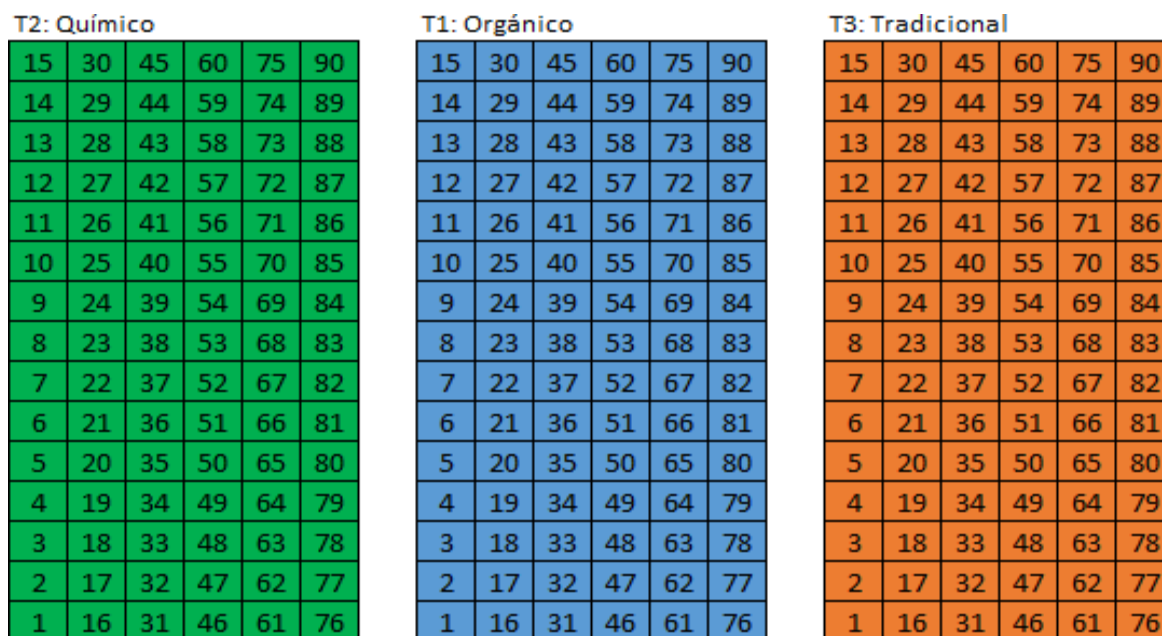


Figura 41. Croquis del ensayo nutricional de cacao en plantación de cacao de los productores y el CADETH productores.

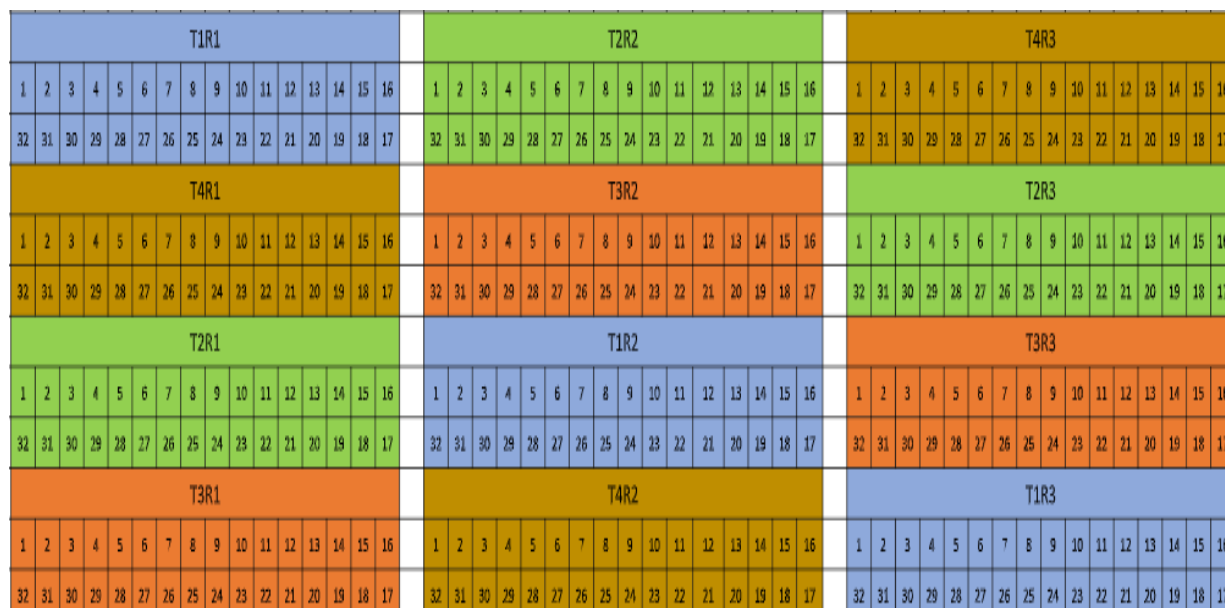


Figura 42. Croquis del ensayo nutricional en la parcela de cacao del CEDEC-JAS.

A finales de 2019 y por única vez se midió de forma exploratoria las variables en floración cantidad de cojinetes, de flores/botones y de pepinillos. No se encontraron diferencias estadísticas significativas para entre los tratamientos para ninguna de las variables. Sin embargo, se manifestó un ligero incremento de cojinetes florales, flores y pepinillos con la fertilización química recomendada por el laboratorio.

Desde el 2020 se han registrado las variables de producción frutos sanos, enfermos (moniliasis y mazorca negra), dañados por plagas (pájaros y ardillas) y el peso del cacao en baba, excepto la plantación-3 que se inició la toma de datos en la cosecha desde 2021. Finalmente, en este 2023 únicamente se llevó el registro de datos de manera consistente en las parcelas experimentales con que cuenta la FHIA (CADETH-AMR y CEDEC-JAS). El rendimiento de cacao seco se estimó mediante con el número de frutos sanos acumulados en todas las cosechas por el índice de mazorca de la finca; este índice fue determinado según los frutos sanos, su peso en baba, y el factor de conversión 0.37 que es el porcentaje del peso del cacao en baba que llega hasta el final de secado.

Análisis de datos

Para el análisis de los datos agronómicos se utilizó el promedio por árbol de cada variable por tratamiento para después aplicar 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 realizaron contrastes ortogonales para comparaciones específicas que se le ilustran en los resultados, prueba de comparación de medias con el método de Duncan y Análisis de Componentes Principales (PCA) para conocer las correlaciones entre las propiedades químicas del suelo y los rendimientos de cacao seco por cada sistema de nutrición utilizando la información 2020-2023.

Análisis económico

El análisis económico 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. Este 2023, 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

Ciclo de producción 2023. Este año no se realizó aplicación de fertilizantes, por lo que se pretendió evaluar el efecto residual de los tratamientos. Al igual que en 2021 y 2022, no se encontraron diferencias estadísticas significativas (p -valor > 0.05) entre las fuentes de nutrición con respecto a la producción total de frutos, ni en su distribución por estado sanitario (frutos sanos, enfermos por monilia y/o mazorca negra y, dañados por aves/ardillas). Tampoco se mostraron diferencias en el rendimiento de cacao seco (kg/ha) (Cuadro 4). Cabe destacar que, se registró información consistente en únicamente dos de las cuatro parcelas en evaluación en los últimos años. Se obtuvo una reducción en la producción de frutos sanos (6.6 promedio/árbol), y por ende un descenso en el rendimiento general de cacao seco, al pasar de 920 kg/ha a 843 kg/ha en este último año.

Adicionalmente, se presentó un incremento de las pérdidas por plagas y enfermedades, al estar en 2022 en 4.2 y pasar en 2023 a 7.4 frutos/árbol. En gran medida, el promedio de pérdidas se incrementó, ya que las dos parcelas utilizadas en el análisis en 2023 (CADETH-AMR y CEDEC-JAS) históricamente han sido las más afectadas por plagas y enfermedades. Finalmente, y por segundo año consecutivo la fertilización orgánica logró la mayor producción de frutos sanos con 14.85 frutos/árbol (Cuadro 30, Figura 43). Por lo que se puede inferir que la producción de frutos y de cacao seco está siendo afectada de manera positiva por la residualidad de los abonos orgánicos. Se continúa encontrando diferencias estadísticas entre las plantaciones/bloques con respecto a las

medias en todas las variables de estudio (p -valor < 0.05). Con respecto a la producción de frutos sanos CADETH-AMR y CEDEC-JAS produjeron 20.2 y 6.8 frutos por árbol (Cuadro 30), correspondientes a 61.5 y 75.3 % de la producción total, respectivamente (Figura 44).

Cuadro 30. Rendimiento anual de cacao en sistemas agroforestales con diferentes fuentes de nutrientes en cuatro sitios/plantación en Honduras. 2023.

Fuente de variación	Frutos por árbol					Cacao seco (kg/ha)
	Sanos	Monilia	M. negra	Plagas	Totales	
Condición de raíz						
Orgánico	14.85	1.10	5.70	0.25	21.9	927
Del productor	13.05	1.35	6.10	0.55	21.0	807
Química	12.60	1.40	5.25	0.65	19.9	794
Promedio	13.50	1.28	5.68	0.48	20.9	843
p-valor	0.969 n.s.	0.965 n.s.	0.994 n.s.	0.855 n.s.	0.993 n.s.	0.959 n.s.
Clon						
CADETH-AMR	20.2	0.5	11.2	1.0	32.87	1,191
CEDEC-JAS	6.8	2.1	0.1	0.0	9.00	495
p-valor	0.0006	0.0027	<0.0001	0.0158	0.0001	0.0010
R ²	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
C.V. (%)	70.84	92.91	138.38	149.91	81.01	59.14

Diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$). Diferencia estadística altamente significativa ($p \leq 0.01$). P-valor: probabilidad de no diferencia entre los tratamientos.

C.V.: coeficiente de variación. R²: Coeficiente de determinación. Mon: monilia; I de M: Índice de mazorca 19.0 y 15.3, respectivamente y población de 1,111 plantas/ha, respectivamente.

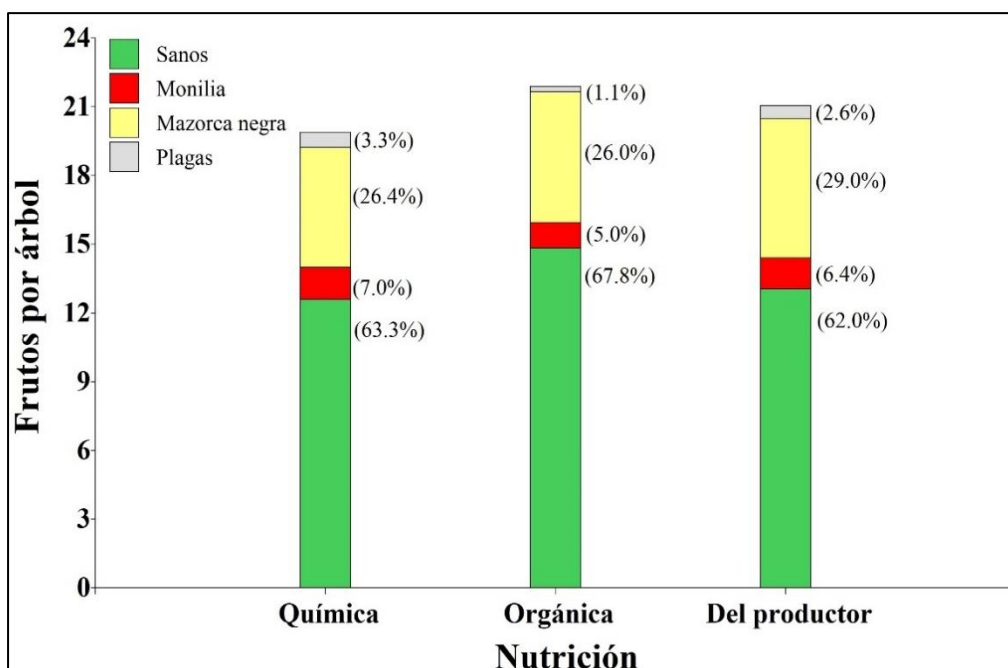


Figura 43. Producción de frutos por árbol bajo diferentes sistemas de fertilización y proporción de afectaciones por causa. 2023.

Aún cuando se ha realizado el levantamiento de información de campo (cosechas) con mayor frecuencia, la información del CEDEC-JAS continúan siendo afectados por el hurto específicamente de frutos sanos, ya que se ha encontrado los actores de este evento (enemigos de lo ajeno) dentro y en los alrededores de la parcela. Por lo tanto, sospechamos que los registros de baja producción están siendo afectados por este fenómeno (Figura 44).

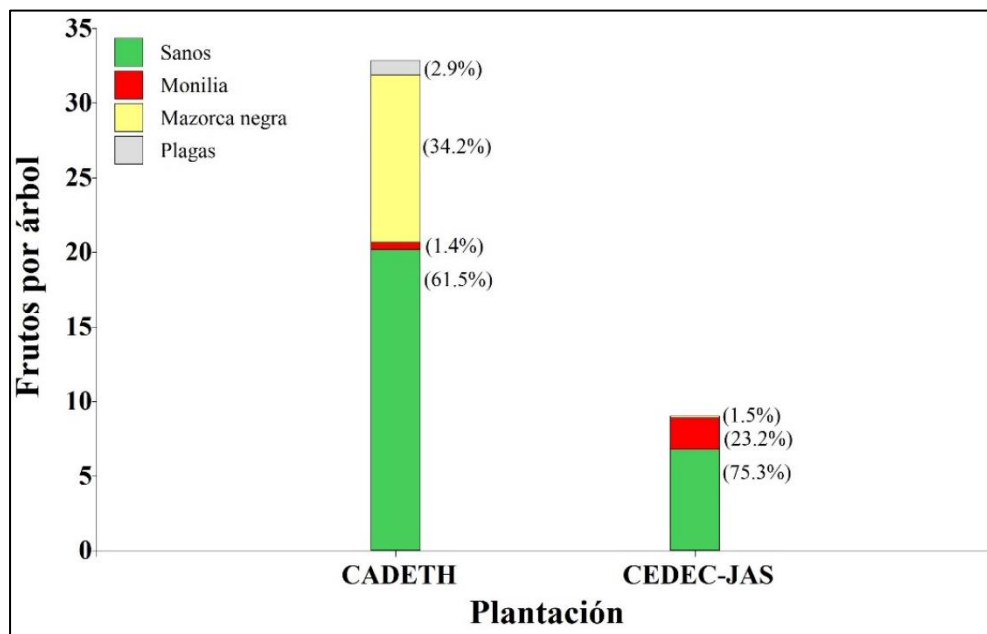


Figura 44. Producción de frutos por árbol en distintas plantaciones y proporción de afectaciones por causa. 2023.

En la Figura 45, se puede apreciar la distribución de la producción expresada en kg de cacao seco por hectárea desde el 2020 a 2023 en cada uno de los tratamientos o sistemas de nutrición y, su promedio de producción durante ese rango de tiempo. Los registros en promedio entre 2020-2022 demostraron diferencias estadísticas significativas (p -valor < 0.05) entre los tratamientos con respecto a la producción en kg de cacao, donde a fertilización química, recomendada por el laboratorio, fue la de mayor rendimiento (970 kg/ha/año) y con la menor variabilidad, en comparación al abonamiento orgánico aún dosificado de acuerdo con recomendación de laboratorio (846 kg/ha/año) y, más diferente a la fertilización química/orgánica que tradicionalmente realiza el productor sin análisis de suelo (747 kg/ha/año), siendo esta última la más fluctuante.

El promedio de producción incluyendo el 2023 (donde se evaluó el efecto residual), continúan favoreciendo los resultados para el tratamiento químico, seguido del orgánico y posteriormente el del productor y finalmente el control absoluto con 945, 860, 744 y 512 kg/ha/año, respectivamente. Con una diferencia de 443 kg si comparamos el sistema de fertilización química vs sin fertilización y 348 kg al comparar el sistema de fertilización orgánica siempre recomendada por laboratorio vs la no fertilización.

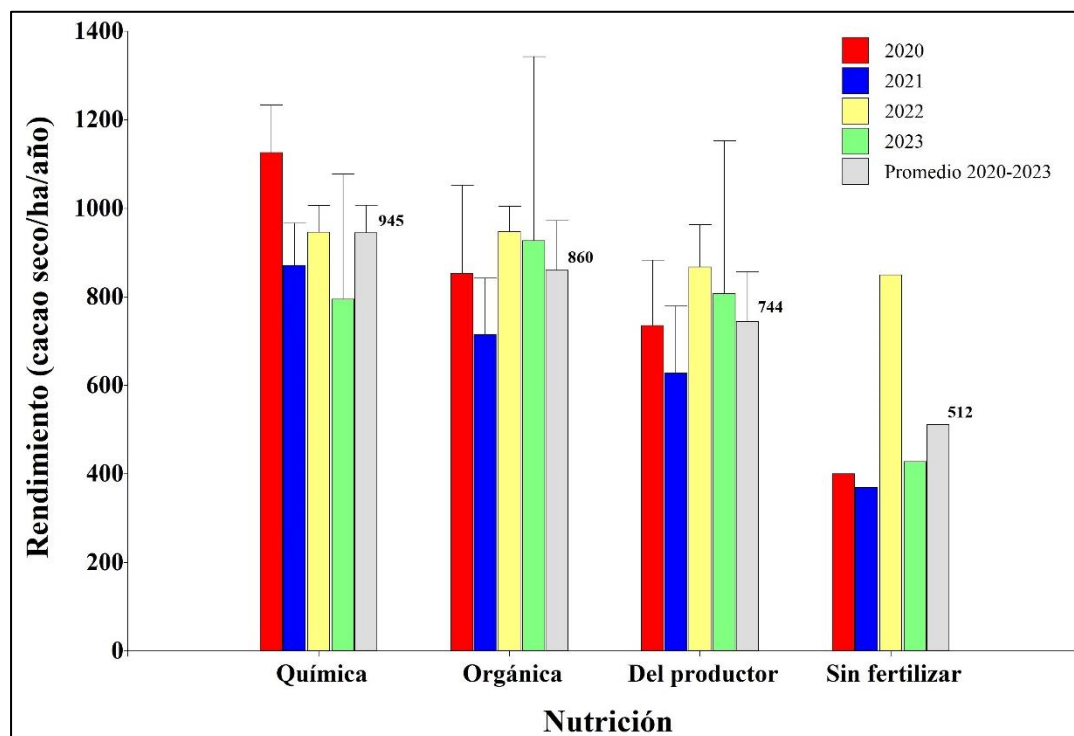


Figura 45. Rendimiento de cacao seco y su intervalo de confianza (95 %) comportamiento de los tratamientos por año y promedio entre 2020-2023. Ensayo nutrición del cacao en Honduras. 2023

El efecto residual sobre la producción de cacao en el CADETH-AMR fue más notorio que en CEDEC-JAS, ya que no solo incrementó el rendimiento del cacao seco en comparación al 2022 (1,343 vs 1,052), sino que también logró mayor producción con 265 kg más comparado con el tratamiento químico en 2023, ocupando en promedio 2020-2023 la mayor producción con el sistema orgánico (1,109 kg/ha), desplazando al tratamiento químico al segundo lugar con 1,091 kg (Cuadro 31).

Cuadro 31. Producción de frutos por árbol y rendimiento con diferentes fuentes para la nutrición de cacao en el sitio experimental del CADETH en El Recreo, La Masica, Atlántida. 2020 y 2023.

Fuente de nutrientes	Frutos/árbol en 2023					Rendimiento (kg/ha)				
	Sanos	Monilia	Mazorca negra	Plagas	Total	2020	2021	2022	2023	Prom
Orgánica	22.7	0.5	11.2	0.5	34.9	1,080	959	1,052	1,343	1,109
Química	18.2	0.3	10.4	1.3	30.2	1,274	1034	979	1,078	1,091
Del productor	19.7	0.6	12.1	1.1	33.5	982	1,010	1,060	1,153	1,051
Promedio	20.2	0.5	11.2	1.0	32.9	1,112	1,001	1,030	1,191	1,084

Rendimiento estimado con IM de 19, 17.4, 18 y 19 en los años 2020, 2021, 2022 y 2023, respectivamente, y población de 1,111 plantas/ha.

El Cuadro 32, registra el rendimiento agronómico del promedio de frutos por árbol en cada uno de los sistemas de nutrición en 2023. Adicionalmente, el rendimiento en kg de cacao seco desde el 2020 hasta 2023 (4 años). Históricamente el sistema de fertilización química recomendada por laboratorio ha registrado los mayores rendimientos, este 2023 no fue la excepción. Por otro lado, los rendimientos entre los sistemas químicos y orgánicos fueron muy similar obteniendo en ambos sistemas inusualmente un rendimiento de 511 kg por hectárea.

Cuadro 32. Rendimiento en frutos/árbol y kg/ha, en la parcela experimental del CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2020-2023.

Fuente de nutrientes	Frutos/árbol en 2023					Rendimiento (kg/ha)				
	Sanos	Monilia	Mazorca negra	Plagas	Total	2020	2021	2022	2023	Prom
Química	7.0	2.5	0.1	0.0	9.6	916	680	1,076	511	796
Del productor	6.4	2.1	0.1	0.0	8.5	470	480	958	462	593
Orgánica	7.0	1.7	0.2	0.0	8.9	454	401	946	511	578
Sin fertilizar	5.9	2.4	0.1	0.1	8.5	400	369	850	428	512
Promedio	6.6	2.2	0.1	0.0	8.9	560	483	957	478	619

Rendimiento estimado con IM de 14.5, 14.2, 14.7 y 15.3 en los años 2020, 2021, 2022 y 2023 respectivamente, 1,111 plantas/ha.

Análisis económico marginal

Para el análisis económico se tomaron en cuenta los costos relacionados a la nutrición y los precios de venta de L. 22.05 por kilogramo de cacao en baba en sistemas de nutrición orgánica o nutrición natural (práctica del productor de la plantación-3) y de L. 17.64 en sistemas con fertilización química. También, se incluyó el costo por concepto de mano de obra por aplicación de fertilizantes de L.2,000.00 y 2,400.00 en la fertilización química y orgánica recomendada por laboratorio, respectivamente. En la nutrición del productor, cuando se usó de origen química se empleó un costo de L.2,000.00 mientras cuando se realizó la nutrición de origen orgánica (únicamente plantación-2) se empleó un costo de L.2,400.00.

El año 2022 se caracterizó por un incremento significativo asociado al costo de los insumos hasta de un 74%. Finalmente, en 2023 no se incluyó costo para ninguno de los sistemas de nutrición ya que no se aplicó ningún tipo de fertilizantes.

Comparación entre 2021 y 2022. En 2022, aun cuando el tratamiento de fertilización química recomendada por laboratorio incrementó 75 kg/ha en relación con el 2021, se obtuvieron menos ingresos netos promedio de las 4 parcelas, con L. 28,043.07 vs L. 31,306.58 logrados en 2021. Estos bajos ingresos netos se justifican especialmente al incremento de un 67 % (L. 10,182.5 a L. 17,009.49) de los costos asociados a la fertilización, especialmente al costo de los insumos que tuvieron un alza en los precios de un 74 %.

El tratamiento químico también fue el que menos ingresos netos generó en 2022. La fertilización orgánica recomendada por el laboratorio generó ingresos de L. 34,550.56 (L. 22,613.40 en 2021) aun cuando los costos también se incrementaron de L.1,9926.50 a L. 21,825.78 en ese mismo año, sin embargo, este tratamiento se vio favorecido por el incremento de 232 kg/ha de cacao seco (de 715 a 947 kg/ha), además, de un mejor precio de venta del cacao en baba. La práctica de

fertilización realizada por el productor registró los mayores ingresos con L. 35,607.00 (L.24,443.71 en 2021) aun cuando los costos a la práctica de fertilización incrementaron un 58 % (de L. 8,451.10 a L.13397.28 en 2022).

Esta mejora en los ingresos en gran parte a se debe a efecto de un mayor rendimiento, pasando de 627 a 868 kg/ha, es decir, 241 kg de incremento en comparación de 2021, sumado a eso el pago por cacao orgánico de la plantación-2 y plantación-3, esta última sin ningún costo asociado a la fertilización “fertilidad natural del suelo” (Cuadro 33).

Año 2023. Los ingresos se vieron favorecidos por lo antes mencionado; sin embargo, solo se analizaron las parcelas del CADETH-AMR y CEDEC-JAS. La primera, incrementando los ingresos de manera significativa en todos los tratamientos de nutrición: químico (L. 27,906.55 en 2022 a L.51,342.98 en 2023), orgánico (L. 45,917.87 a L. 79,955.50 en 2023) y del productor (L. 38,262.12 a L. 54,915.08) (Cuadro 33).

Cuadro 33. Ingresos netos (L.) por programa de nutrición en cada una de las parcelas del ensayo de nutrición de cacao en Honduras entre 2020-2023.

Parcela	Año	Química (L.)	Orgánica (L.)	Productor (L.)
CADETH-AMR	2020	52,046.00	54,910.00	41,131.00
CADETH-AMR	2021	40,202.28	37,138.70	41,271.43
CADETH-AMR	2022	27,906.55	45,917.87	38,262.12
CADETH-AMR	2023	51,342.98	79,955.50	54,915.08
CADETH-AMR	Promedio	42,874.45	54,480.52	43,894.91
CEDEC-JAS	2020	35,316.00	20,279.00	15,835.00
CEDEC-JAS	2021	21,942.75	522.65	14,610.18
CEDEC-JAS	2022	32,610.23	27,529.45	31,366.40
CEDEC-JAS	2023	24,337.91	30,422.38	22,004.13
CEDEC-JAS	Promedio	28,551.72	19,688.37	20,953.93
Plantación-3	2021	38,520.98	32,256.95	33,868.80
Plantación-3	2022	31,939.03	37,103.05	49,833.00
Plantación-3	Promedio	35,230.01	34,680.00	41,850.90
Plantación-2	2020	56,840.00	62,936.00	38,820.00
Plantación-2	2021	24,560.32	20,535.30	8,024.40
Plantación-2	2022	19,716.46	27,651.85	22,969.15
Plantación-2	Promedio	33,705.59	37,041.05	23,271.18
Promedio general 2020-203		35,090.44	36,472.48	32,492.73

Análisis de la evaluación de las propiedades del suelo

El ACP realizado con las 12 variables de propiedades físicas químicas del suelo y el rendimiento de cacao seco estudiadas desde 2020 hasta 2023 explica el 100% de la variabilidad de los datos con los dos componentes principales mostrados en la Figura 8. El CP1 explica el 68.6% de la variabilidad separando los sistemas de nutrición con mayor rendimiento (sistema químico). Esta variable a su vez está altamente correlacionada de manera positiva (ángulo agudo entre los vértices formados entre las variables) con los niveles de potasio, fósforo, manganeso y, muy correlacionado negativamente (ángulo cercano a los 180 grados entre los vértices formados entre las variables)

con los niveles de magnesio y zinc. El CP2 explica el 31.4% de la variabilidad separando el sistema de nutrición orgánico recomendado por laboratorio que está muy correlacionado positivamente con los niveles de materia orgánica, nitrógeno, cobre y pH (Figura 46 y Anexo 1).

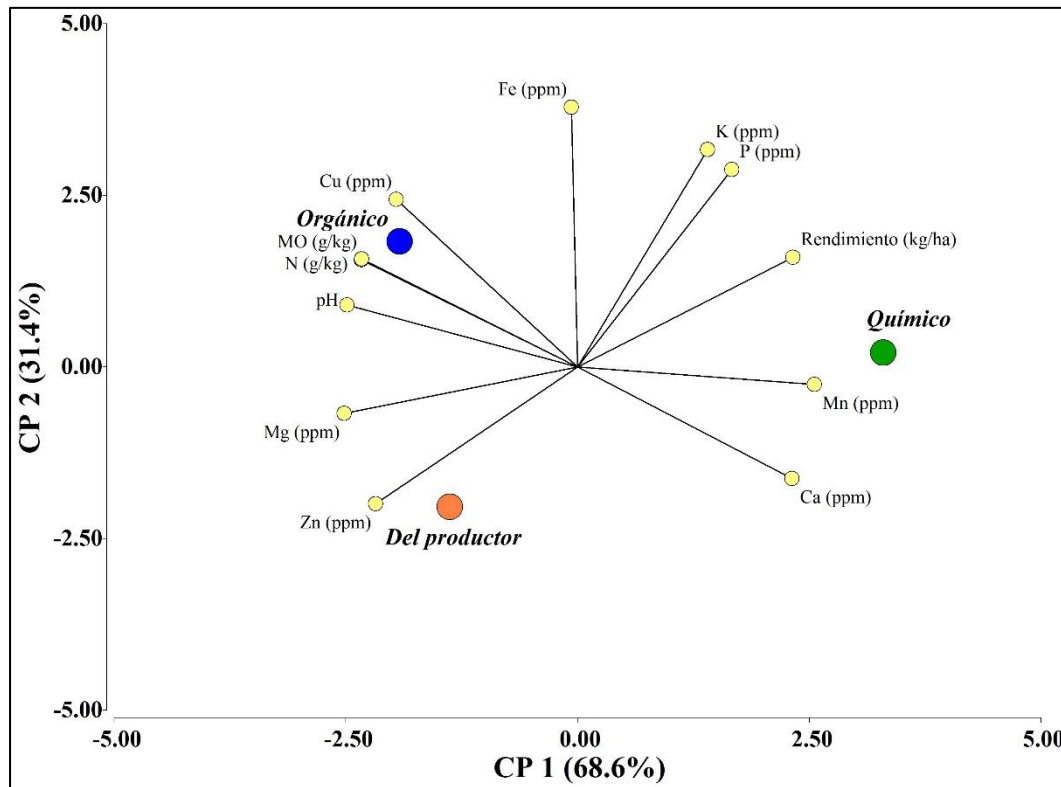


Figura 46. Biplots de CP1 y CP2, de las variables químicas del suelo y el rendimiento en ensayo nutrición del cacao en Honduras

Existe una alta correlación entre el Rendimiento del cacao y los niveles de potasio (p valor: 0.0106). Por ejemplo, en los suelos del CADETH-AMR independientemente del sistema de nutrición, se han mantenido a través del tiempo los mayores niveles de Potasio, por ende, los mayores índices de producción y generación de ingresos (Anexo 1).

Conclusiones

- Después de cuatro años de evaluación los mayores rendimientos e ingresos se alcanzaron en parcelas que reciben un programa de nutrición química con base en resultados y recomendaciones de análisis de suelos, lo que permitió un incremento del 27 % en el rendimiento del cacao en comparación a la práctica tradicional de fertilización realizada por el productor y 84 % cuando no se fertiliza.
- El alto costo de los fertilizantes sintéticos incidió negativamente en la rentabilidad de la producción. Para el caso, los precios de estos insumos se incrementaron un 74 % entre 2020 comparado con 2022. Por lo tanto, se puede inferir que la rentabilidad práctica de fertilización está influenciada directamente con los precios de los insumos y que el productor obtenga buenos precios por la venta del cacao.
- Según el análisis de 12 parámetros químicos del suelo, aun no existe una claridad en la evolución de la fertilizada del mismo a través del tiempo para ninguno de los tratamientos de

fertilización; sin embargo, este 2023 las parcelas fertilizadas con abono orgánico en base a recomendación de laboratorio mostraron incremento en el rendimiento igual o superior a las parcelas fertilizadas químicamente, infiriendo un efecto residual a favor del abono orgánico.

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 1998, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.*
- Ramos, B; Ramírez, O. 2020. Uso de preparados minerales y productos comerciales de forma preventiva en frutos de cacao para el control de *P. palmivora* *In* Informe Técnico 2019 Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Informe técnico. 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras. p. 73-77

Anexo 1. Resultados de análisis de suelo, requerimiento nutricional y recomendación para aplicación de tratamientos. Año 2020-2023.

Año	Plantación/ parcela	Nutrición	Composición química del suelo											Requerimiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg/ha)
			pH	MO (g/kg)	N (g/kg)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	
2020	CEDEC-JAS	Químico	5.9	25.7	1.3	5	40	1787	333	57.8	8.1	3.5	2.0	105-60-125
2020	CEDEC-JAS	Orgánico	5.7	26.6	1.3	8	66	1362	204	48.7	4.4	3.4	1.8	82-68-82
2020	CEDEC-JAS	Del productor	5.7	26.6	1.3	8	66	1362	244	48.7	4.4	3.4	1.8	60-34-79
2020	CADETH	Químico	5.0	37.1	1.9	1	84	462	61	36.9	4.5	0.4	0.7	94-60-91
2020	CADETH	Orgánico	4.9	37.4	1.9	1	102	354	52	32.6	4.6	4.5	0.5	95-68-81
2020	CADETH	Del productor	4.9	27.3	1.4	1	86	334	60	25.8	4.5	0.4	0.7	50-28-66
2020	Plantación-2	Químico	6.0	17.3	0.8	1	130	809	165	6.4	22.7	1.8	2.3	95-68-88
2020	Plantación-2	Orgánico	6.2	18.8	0.9	2	145	852	164	71.0	23.6	2.1	4.0	95-68-88
2020	Plantación-2	Del productor	6.0	29.9	1.5	1	112	968	182	69.1	30.9	2.4	3.1	
2020	Plantación-3	Químico	5.8	25.6	1.3	1	45	1188	253	40.1	25.8	0.9	1.3	80-51-90
2020	Plantación-3	Orgánico	5.7	36.4	1.8	1	83	1135	237	59.5	29.3	1.4	2.3	70-58-58
2020	Plantación-3	Del productor	5.8	35.5	1.8	1	41	1342	268	48.3	21.7	1.3	1.7	
2021	CEDEC-JAS	Químico	5.9	37.6	1.9	14	73.5	1970	405	202.6	24.9	13.5	8.5	70-35-90
2021	CEDEC-JAS	Orgánico	5.9	31.2	1.6	13	44	1995	420	202.3	27.7	14.2	8.0	80-35-90
2021	CEDEC-JAS	Del productor	6.0	31.6	1.6	13	42	1660	341	173.6	21.9	13.5	6.6	60-34-79
2021	CADETH	Químico	5.6	38.3	1.9	9	117	1170	142	190.7	174.6	4.9	8.4	60-40-60
2021	CADETH	Orgánico	5.2	38.6	1.9	9	56	575	48	135.2	129.0	3.6	7.6	60-10-75
2021	CADETH	Del productor	5.3	37.0	1.9	9	85	750	83	126.7	133.0	5.8	9.7	50-28-66
2021	Plantación-2	Químico	6.2	21.0	1.1	11	51.5	2640	410	194.9	52.6	8.7	9.4	80-35-90
2021	Plantación-2	Orgánico	6.1	22.9	1.2	11	113	2130	354	193.5	52.2	10.5	13.4	80-35-70
2021	Plantación-2	Del productor	6.3	21.4	1.1	9	60	2795	422	209.0	58.5	9.3	28.4	
2021	Plantación-3	Químico	5.3	28.0	1.4	14	19.5	3610	654	159.5	83.8	7.2	6.0	80-35-100
2021	Plantación-3	Orgánico	5.7	29.0	1.5	11	25.5	3405	578	159.9	42.1	9.9	6.6	80-35-90
2021	Plantación-3	Del productor	5.7	35.4	1.8	9	24.5	3245	550	164.9	55.6	6.9	6.6	
2022	CEDEC-JAS	Químico	5.5	19.8	1.0	5	79.4	1010	224	80.9	4.6	3.3	0.9	100-60-110
2022	CEDEC-JAS	Orgánico	6.1	20.1	1.0	3	28.3	1198	260	67.4	5.5	2.4	0.9	80-70-140
2022	CEDEC-JAS	Del productor	5.8	20.7	1.0	3	42.4	967	218	69.6	4.7	2.8	1.0	60-34-79
2022	CADETH	Químico	5.1	36.1	1.8	6	149.5	331	88	58.9	10.2	0.5	0.7	70-60-65
2022	CADETH	Orgánico	5.3	37.4	1.9	3	56	462	76	43.3	8.2	0.5	0.9	70-70-105
2022	CADETH	Del productor	5.0	28.6	1.4	4	47.3	133	58	45.8	7.5	0.5	0.6	50-28-66

2022	Plantación-2	Químico	5.7	15.4	0.8	2	47.3	2872	4	83.7	18.9	1.9	2.0	100-70-130
2022	Plantación-2	Orgánico	5.9	15.4	0.8	2	75.35	1920	296	75.6	17.3	2.0	2.6	70-50-90
2022	Plantación-2	Del productor	6.0	19.2	1.0	2	62.2	2309	449	72.4	26.0	2.0	2.2	
2022	Plantación-3	Químico	5.6	22.9	1.2	2	29.2	3346	650	48.6	24.6	1.3	1.8	60-50-110
2022	Plantación-3	Orgánico	5.6	27.7	1.4	2	29.5	3890	703	58.4	18.9	1.3	1.6	60-50-110
2022	Plantación-3	Del productor	5.6	31.4	1.6	1	30	3525	632	61.9	21.8	1.7	1.4	
2023	CEDEC-JAS	Químico	6.0	1.4	0.1	3	36.74	1364	249	62.0	3.9	2.2	0.9	105-70-138
2023	CEDEC-JAS	Orgánico	6.2	2.0	0.1	1	28.99	1587	289	57.6	6.0	2.1	1.1	94-75-145
2023	CEDEC-JAS	Control	6.1	1.6	0.1	1	29.25	1945	405	49.2	5.3	1.8	0.6	102-75-142
2023	CEDEC-JAS	Del productor	5.8	1.4	0.1	1	23.65	1303	273	61.3	4.1	3.0	0.7	112-75-150
2023	CADETH	Químico	5.3	2.3	0.1	1	91.28	4365	49	31.9	17.4	0.3	0.7	88-75-83
2023	CADETH	Orgánico	5.8	2.8	0.1	1	40.2	791	35	36.4	16.9	0.5	0.5	85-75-132
2023	CADETH	Del productor	5.6	1.9	0.1	1	77.78	345	49	27.1	12.1	0.2	0.5	100-75-90
2023	Plantación-2	Químico	5.8	1.1	0.1	1	53.21	2602	495	72.2	18.5	1.8	2.4	120-75-120
2023	Plantación-2	Orgánico	5.9	1.6	0.1	1	85.53	2538	411	80.4	15.8	1.9	3.4	100-75-85
2023	Plantación-2	Del productor	6.0	1.1	0.1	1	95.52	3784	566	67.6	22.7	2.0	2.4	122-75-80
2023	Plantación-3	Químico	5.5	2.2	0.1	1	31.96	3986	759	55.1	29.9	1.4	1.5	90-75-136
2023	Plantación-3	Orgánico	5.7	2.1	0.1	1	49.39	4040	775	55.4	21.9	1.3	1.7	92-75-125
2023	Plantación-3	Del productor	5.6	2.5	0.1	1	23.75	6619	824	49.8	20.0	1.4	1.9	90-75-150

pH: potencial de Hidrógeno; MO: materia orgánica; N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Fe: Hierro; Mn: Manganeso; Cu: Cobre; Zn: Zinc; ppm: partes por millón; g: gramos; kg: kilogramos. Color de la celda verde, amarillo y rojo indican alta, media y baja concentración del elemento químico del suelo, respectivamente

Anexo 2. Recomendación de dosis en los tratamientos químico y orgánico, para estimar producir 1,000 kg de cacao por hectárea. Año 2020 y 2021.

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 ₄ NO ₃ : 3.5 KCl:1.5	KCl: 3.5 NH ₄ NO ₃ : 3.5					12-24-12: 6 NH ₄ NO ₃ : 4 Sulfato de Potasio: 2.5	NH ₄ NO 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 ₄ NO ₃ : 1.2 KCl: 1.2	15-15-15: 3.6 NH ₄ NO ₃ : 1.2 KCl: 1.2					15-15-15: 3.6 NH ₄ NO ₃ : 1.2 KCl: 1.2	12-24-12: 3.6 NH ₄ NO ₃ : 1.2 KCl: 1.2
CADETH	Químico	12-24-12: 8 NH ₄ NO ₃ : 3.5 KCl: 1.5	KCl: 1.7 NH ₄ NO ₃ : 2.5					12-24-12: 7 NH ₄ NO ₃ : 3 KCl: 1.2	KCl: 1.7 NH ₄ NO ₃ : 2.2				
	Orgánico			2	2					8.3	5.6		
	Del productor					15-15-15: 3 NH ₄ NO ₃ : 1 KCl: 1	15-15-15: 3 NH ₄ NO ₃ : 1 KCl: 1					15-15-15: 3 NH ₄ NO ₃ : 1 KCl: 1	12-24-12: 3 NH ₄ NO ₃ : 1 KCl: 1
Plantación-2	Químico	12-24-12 : 8 NH ₄ NO ₃ : 3.5 Sulfomag: 3	NH ₄ NO ₃ : 2.5 sulfomag: 4.5					12-24-12: 6 NH ₄ NO ₃ : 4.5 Sulfato potasio: 2.5	NH ₄ NO ₃ : 3.5 Sulfato potasio:3.8				
	Orgánico			1.8 lb + 3 oz Sulfomag	1.8 lb + 3 oz Sulfomag					8.56	4.41		
	Del productor					5 lb preparado orgánico	5 lb preparado orgánico					4 lb preparado orgánico	4 lb preparado orgánico
Plantación-3	Químico	12-24-12: 8 NH ₄ NO ₃ : 3.5 KCl: 1.5	NH ₄ NO ₃ : 2.5 KCl: 2.5					12-24-12: 6 NH ₄ NO ₃ : 4.5 Sulfato de Potasio: 2.8	NH ₄ NO ₃ : 3.5 Sulfato de Potasio: 4.3				
	Orgánico			1.5	1					11.02	5.6		
	Productor					0	0					0	0

Anexo 3. Recomendación de dosis en los tratamientos químico y orgánico, para estimar producir 1,000 kg de cacao por hectárea. Año 2022.

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 ₄ NO 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 ₄ NO ₃ : 1.2 KCl: 1.2	15-15-15: 3.6 NH ₄ NO ₃ : 1.2 KCl: 1.2
CADETH	Químico	18-46-0: 4 NH ₄ NO ₃ : 2.6 KCl: 1.4	Sulfato de Amonio:2.9 KCl:2.1				
	Orgánico			7.1	7.1		
	Del productor					15-15-15: 3 NH ₄ NO ₃ : 1 KCl: 1	15-15-15: 3 NH ₄ NO ₃ : 1 KCl: 1
Plantación-2	Químico	18-46-0: 5.7 NH ₄ NO ₃ : 4.8 KCl: 4.1	Sulfato de Amonio: 5.1 KCl: 4				
	Orgánico			7.1	7.1		
	Del productor					5 lb preparado orgánico	5 lb preparado orgánico
Plantación-3	Químico	18-46-0: 4 NH ₄ NO ₃ : 2.7 KCl: 2.7	Sulfato de Amonio:2.8 KCl: 4				
	Orgánico			8.6	8.6		
	Productor					0	0

Anexo 4. Análisis químico a priori de lombricomposta (orgánica) y a posteriori del insumo de abonamiento de la plantación-2.

Parámetro analizado	Lombricomposta	Preparado Plantación-2
N (% M.S.)	1.63	0.92
P (% M.S.)	0.95	0.36
K (% M.S.)	1.22	1.53
Ca (% M.S.)	0.48	2.61
Mg (% M.S.)	0.55	0.60
S (% M.S.)	1.86	0.42
Fe (ppm)	7,860	560
Mn (ppm)	776	317
Cu (ppm)	42	31
Zn (ppm)	250	116
B (ppm)	40.6	46
M.O. (%)	39.08	47.3
Carbono Orgánico (%)	21.79	26.02
Relación C/N	13.19	28.28

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

VI. PUBLICACIONES 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.

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

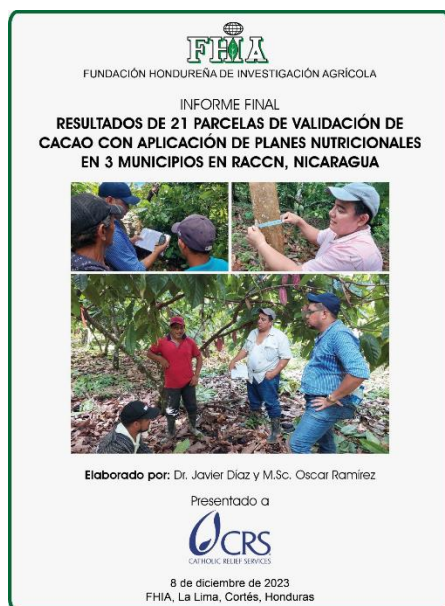
Oscar Ramirez¹, Fco. Javier Díaz¹, Luis Orozco²

¹Programa de Cacao y Agroforestería, FHIA

²Centro agrícola Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, Turrialba, Costa Rica.

En el mes de noviembre se sometió para revisión en la revista científica *Frontiers* un manuscrito 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. La novena edición de este artículo constituirá un reconocimiento adicional a la destacada trayectoria y dedicado trabajo que la FHIA ha llevado a cabo durante más de 37 años.

6.2. Consultoría para Catholic Relief Services



Entre los meses de noviembre y diciembre, el equipo técnico del Programa desarrolló por siete semanas una consultoría para desarrollar el análisis de los resultados de 21 parcelas de validación/investigación de cacao con aplicación de planes nutricionales, basados en el análisis físico-químico de suelos y el ajuste de las fórmulas de fertilizantes en tres municipios (Siuna, Rosita y Bonanza) del departamento Región Autónoma Atlántico Norte (RACCN). Los resultados fueron hechos con base en la información suministrada enteramente por el equipo técnico del Programa de Gestión Rural Empresarial Sanidad y Ambiente (PROGRESA CARIBE), encargado de la conceptualización, establecimiento, manejo y registro de datos en todas las parcelas de investigación. La consultoría incluyó una visita por cinco días de dos técnicos del programa quienes visitaron y valoraron el estado de las parcelas de productores en los tres municipios beneficiados por el proyecto.

Además, se realizó un trabajo arduo en el saneamiento de la base de datos, análisis de la información registrada durante dos años y posterior redacción de los informes técnicos correspondientes. Finalmente, los resultados de esta consultoría fueron presentados a la mesa cacaoera de Nicaragua.

6.3. Participación en eventos científicos

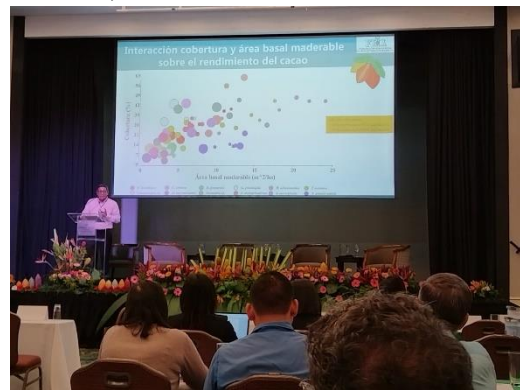
6.3.1. Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales

Este foro Centroamericano fue celebrado en Guatemala del 26 al 30 de junio. El Programa de Cacao y Agroforestería a través del M.Sc. Oscar Ramírez participó con dos presentaciones. La primera: “Selección de clones de cacao con alta productividad, calidad organoléptica y tolerancia a moniliasis bajo condiciones del trópico húmedo” y la segunda: “Evaluación productiva y potencial económica de doce sistemas agroforestales con cacao en la zona norte de Honduras”. Ambas presentaciones fueron muy bien recibidas y recibieron muchas preguntas que fueron respondidas a la audiencia.



6.3.2. Foro Latinoamericano y Caribeño de Cacao. San José, Costa Rica

Este foro fue celebrado entre el 30 de agosto y 1 de septiembre en la ciudad de San José, Costa Rica, fue organizado por el CATIE. El Dr. Javier Díaz, Líder del Programa de Cacao y Agroforestería fue invitado como ponente magistral para presentar el plan de investigación y transferencia de tecnologías en cacao y especies forestales evaluadas por más de 25 años. El evento incluyó también una gira a las instalaciones del CATIE, en la ciudad de Turrialba. Durante la gira de campo, técnicos y estudiantes de agroforestería presentaron avances en sus programas de mejoramiento genético, valoración de tolerancia a enfermedades y características organolépticas de los clones de cacao que han sido desarrollados por el CATIE como alternativa de producción de este rubro en Costa Rica y demás países de la región.



6.3.3. Diplomado Manejo de cultivos tropicales no tradicionales bajo condiciones del trópico seco

Este evento fue organizado y patrocinado por JICA (Agencia de Cooperación Internacional de Japón) y ejecutado por el INIFAP (Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria) en la ciudad de Veracruz, México. El M.Sc. Oscar Ramírez representó a la FHIA en este evento que fue en febrero y tuvo una duración de dos semanas. La temática incluyó el aprendizaje sobre producción de cultivos como pitahaya, limón, chicozapote, tamarindo, abonos verdes y sistema MIAF (milpa intercalada con frutales).



6.4. Proyecto FHIA-SAVIA

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 recíprocas de intercambio de conocimientos entre instituciones aprovechando mostrar las fortalezas de cada una de ellas.

El grupo de técnicos de Colombia (3 de Agrosavia y 1 de Fedecacao) visitaron las estaciones experimentales del Programa a principios de junio; mientras que, para la visita a Colombia, 5 técnicos del Programa de Cacao y Agroforestería visitaron en el mes de octubre las instalaciones de Agrosavia en Bucaramanga y de la FEDECACAO en Bogotá y la regional de San Vicente de Chucuri. Las actividades contemplaron, además, cursos y desarrollo de investigaciones.

Esta iniciativa la consideramos muy positiva pues enriquece el conocimiento entre instituciones, permite compartir experiencia y logros en investigación y muestra las capacidades reales de las instituciones en campos específicos de la investigación y el desarrollo.



6.5. Cursos y capacitaciones

6.5.1. Curso Eco fisiología del cacao

Del 4 al 6 de julio de 2023 se realizó en el CEDEC-JAS por primera vez en Centroamérica el curso **Ecofisiología del cacao: mediciones y análisis para incrementar la productividad en el sistema agroforestal**. Los 21 participantes, con procedencia de Nicaragua, Guatemala y Honduras fueron parte de este evento que permitió conocer más sobre los aspectos relacionados a métodos y protocolos para mediciones de variables de respuestas de las plantas a condiciones de estrés abiótico, floración, cherelle wilt y dinámica de producción del cacao. Otros temas impartidos fueron la poda y sus efectos fisiológicos sobre emisión foliar, efecto de la sombra en la productividad del cacao, comportamiento fisiológico productivo y sanitario de genotipos de cacao en sistemas agroforestales. La ejecución de actividades prácticas fue parte de la capacitación.

El curso contó con la colaboración directa del Dr. Ramón Eduardo Jaimez, de la Universidad Técnica de Manabí de Ecuador, más la participación adicional de los conferencistas: Dr. Luis Orozco Aguilar, Consultor, Costa Rica; M.Sc. Genaro Agudelo, AGROSAVIA de Colombia; Dr. Eduardo Chávez, Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador; y el M.Sc. Oscar Ramírez de la FHIA de Honduras, quienes compartieron diversos temas en este curso.

Deseamos agradecer de forma especial al CATIE, Costa Rica, al Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios de la Universidad del valle de Guatemala por su colaboración y al Proyecto PROGRESA CARIBE (Programa de Gestión Rural Empresarial Sanidad y Ambiente) CRS-Nicaragua por confiar en la FHIA para la formación de su personal técnico, quienes compartieron valiosa información de su trabajo en Nicaragua. También se agradece a RIKOLTO por su apoyo.



6.5.2 Comitivas del Perú

- **UNIQ (Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba).** Entre el 22 y 26 de mayo brindamos una capacitación a los distinguidos profesores Wilton Henry Céspedes, Fanny Rosario Márquez y Alfredo Modesto Marcavillaca. Durante este periodo, los visitantes recibieron capacitación en aspectos puntuales de producción de cacao en sistema agroforestal con énfasis en la parte de mejoramiento genético y poscosecha de cacao.



- **UNAS (Universidad Nacional Agraria de la Selva).** Por recomendación de los profesores de la Universidad de Quillabamba, recibimos una nueva visita de cinco profesores de la UNAS. La capacitación incluyó temas sobre producción de cacao en sistema agroforestal con énfasis en la evaluación de la resistencia/tolerancia de los clones de cacao a la moniliasis y mazorca negra. Se incluyó la visita a las dos estaciones experimentales del programa y también a parcelas de productores independientes para que pudieran valorar de primera mano, la forma de producción y comercialización de cacao en el país.



6.5.3. Transferencia de conocimientos

De igual forma y complemento de la capacitación, los compañeros de Belice pudieron visitar plantaciones de productores e instalaciones de la asociación de productores de Pico Bonito ASOPROPIB.

En conclusión, durante el 2023, invertimos 50 días para actividades de capacitación y transferencia de tecnologías a 550 personas (38 % mujeres y 62 % hombres) de 14 diferentes nacionalidades. Dentro de estas 550 personas, 62 % fueron estudiantes y docentes, 19 % fueron técnicos e investigadores, 4 % productores y 15 % correspondiente a visitantes varios.

Nuestro aporte será siempre brindado en la mejor de nuestras capacidades en apoyo a la capacitación de la academia, técnicos y productores tanto de Honduras como de otros países.





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

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

CEDEC-JAS

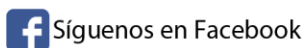
- 📍 Centro Experimental y Demostrativo de Cacao - Jesús Alfonso Sánchez
- 📍 La Masica, Atlántida, Honduras
- ☎ (504) 9519-2988
- ✉ cedecjas@fhia-hn.org

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) 2756-1078
9800-6576
- ✉ fhia_comayagua@fhia-hn.org



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