



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

INFORME TÉCNICO 2025 PROGRAMA DE CACAO Y AGROFORESTERÍA



FHIA, La Lima, Cortés, Honduras
Abril de 2026



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

INFORME TÉCNICO 2025 PROGRAMA DE CACAO Y AGROFORESTERÍA



633.74

F981 Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
Programa de Cacao y Agroforestería: Informe Técnico 2025 /
Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. -- 1a ed.—
La Lima, Cortés: FHIA, 2026.
171 p.: il.

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

633.74—dc20

INFORME TÉCNICO 2025

**PROGRAMA
DE CACAO Y AGROFORESTERÍA**

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

La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
Abril de 2026

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	4
III. Desarrollo y evaluación de clones de cacao	11
3.1. Evaluación de progenies de cacao procedentes de semilla que demostraron mayor porcentaje de intercompatibilidad sexual en el CEDEC-JAS. CAC 20-01	13
3.2. Validación del comportamiento agronómico de 20 cultivares de cacao autocompatibles establecidos con un diseño agroforestal recomendado por la FHIA. 19-01	27
IV. Desarrollo de estudios para incrementar la producción de cacao	34
4.1. Manejo nutricional del cacao en Honduras. CAC 19-02	34
V. Evaluación de especies forestales	48
5.1. Estudio de especies forestales latifoliadas bajo la modalidad de árboles en línea. CAC 02-02	49
5.2. Adaptación y crecimiento de caoba del atlántico (<i>Swietenia macrophylla</i>), en el valle de Sula	60
5.3. Efecto del espesor de la capa de secado sobre la calidad física y sensorial del grano de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en época seca	74
5.4. Efecto de 3 especies maderables con diferentes tasas de crecimiento (<i>Terminalia superba</i> , <i>Cojoba arborea</i> , <i>Swietenia macrophylla</i>) sobre el carbono orgánico y propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo en sistemas agroforestales de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en La Masica Atlántida, Honduras	85
5.5. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de las especies <i>Guarea grandifolia</i> , <i>Huerteia cubensis</i> , <i>Ilex tectónica</i> , <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> , <i>Cojoba arborea</i> , <i>Hyeronima alchorneoides</i> , <i>Terminalia superba</i> y <i>Cordia megalantha</i> , en plantaciones agroforestales de la FHIA, en el departamento de Atlántida, Honduras	102
5.6. Evaluación de la biomasa aérea y factores de expansión de biomasa de tres especies maderables en SAF-Cacao: <i>Ilex tectónica</i> , <i>Terminalia superba</i> , y <i>Hyeronima alchorneoides</i> en el municipio de La Masica, Atlántida, Honduras.	114
5.7. Estimación de la diversidad de avifauna del CEDEC-JAS y CADETH-AMR, La Masica, Atlántida	122
5.8. Estimación de la Diversidad de Mamíferos Terrestres del CEDEC-JAS y CADETH-AMR, La Masica, Atlántida	145
5.9. Distribución del mono aullador (<i>Alouatta palliata</i>) en el CADETH- AMR, La Masica, Atlántida	157
VI. Transferencia de tecnología	168
6.1. Capacitaciones en CEDEC-JAS	168
6.2. Ejecución de Actividades técnicas, consultoría y vinculación Institucional	170

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Precipitación, temperaturas mínima, máxima y media mensual en el CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida, Honduras, en 2025.	4
Cuadro 2. Precipitación, temperatura mínima, máxima y media mensual en el CADETH-AMR en El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras, en 2025.	5
Cuadro 3. Progenitores de los cruzamientos, intercompatibilidad promedio y rendimiento potencial de estos progenitores. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.	15
Cuadro 4. Promedio y desviación estándar (DE) de la producción de frutos sanos por árbol y afectados por enfermedades en el lote con guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025..	18
Cuadro 5. Correlación de Pearson: coeficientes / probabilidades de las variables físicas del fruto y agronómicas de progenies de cacao con antes sombra de guama. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2024-2025.....	21
Cuadro 6. Promedio de las mediciones fisicoquímicas en los frutos de cacao de las en el lote con guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2024.	22
Cuadro 7. Promedio de las mediciones fisicoquímicas en los frutos de cacao de las en el lote con guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2025.....	23
Cuadro 8. Promedio de las mediciones fisicoquímicas en los frutos de cacao en el lote con guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2024-2025	24
Cuadro 9. Promedio y desviación estándar (DE) Producción de frutos sanos por árbol y afectados por enfermedades en el lote sombra de ternero en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025...	26
Cuadro 10. Producción de frutos sanos y enfermos por planta en clones autocompatibles de cacao evaluados en campo. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2022-2025.....	31
Cuadro 11. Tratamientos aplicados para la nutrición de árboles de cacao en plantaciones agroforestales en Honduras.	38
Cuadro 12. Promedio por año y desviación estándar de la producción de frutos por árbol y su distribución por estado sanitario, además del rendimiento de cacao seco por año CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2020 y 2025.	41
Cuadro 13. Análisis financiero de la aplicación de diferentes fuentes de nutrición en cacao de finca de CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2020-2025.	44
Cuadro 14. Resumen de variables dasométricas complementarias para la construcción de curvas de crecimiento y correlación entre variables, de especies maderables evaluadas en línea. La Masica, Atlántida. 2025.....	52
Cuadro 15. Modelos con mejor ajuste para la estimación del DAP (cm) en función de la edad.....	54
Cuadro 16. Modelos ajustados para la estimación del V_c ($m^3/\text{árbol}$) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2025.	55
Cuadro 17. Modelos ajustados para la estimación del Bio ($t/\text{árbol}$) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS, 2025.	56
Cuadro 18. Modelos para la estimación C equivalente ($t/\text{árbol}$) en función de la edad del maderable según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS, 2025.	58

Cuadro 19. Establecimiento de parcelas de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>) y cacao en el CEDPRR-FHIA. Sección 38, Guaruma 1, La Lima, Cortés, Honduras.	61
Cuadro 20. Características dasométricas de los lotes de caoba del atlántico en 2025, ubicadas en CEDPRR-FHIA.	63
Cuadro 21. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) de los árboles en el Lote 1A (parcela de 4.0 m x 4.0 m).	65
Cuadro 22. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 1B.	66
Cuadro 23. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 2A.	67
Cuadro 24. Distribución de frecuencias del diámetro (DAP) para los árboles en el Lote 2C.	68
Cuadro 25. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 3A.	68
Cuadro 26. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 3B.	69
Cuadro 27. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 4.	70
Cuadro 28. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 5.	71
Cuadro 29. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 6.	72
Cuadro 30. Media y desviación estándar en variables de rendimiento en grano seco de cuatro diferentes espesores de secado en cacao, así como el valor de probabilidad de diferencia estadística entre tratamientos (p-valor), coeficiente de determinación y de variación. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.	79
Cuadro 31. Media y desviación estándar en variables de evaluación física de cuatro diferentes espesores de secado en cacao, así como el valor de probabilidad de diferencia estadística entre tratamientos (p-valor), coeficiente de determinación y de variación. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.	81
Cuadro 32. Media y desviación estándar en las dimensiones de tres tamaños de grano de cuatro diferentes espesores de secado en cacao, así como el valor de probabilidad de diferencia estadística entre tratamientos (p-valor), coeficiente de determinación y de variación. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.	82
Cuadro 33. Media y desviación estándar en los atributos organolépticos del licor de cacao procedente de cuatro diferentes espesores de secado en cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.	84
Cuadro 34. Media y Desviación estándar de propiedades físicas, químicas y biológicas de tres SAF-Cacao y cacao sin sombra (testigo) a diferente profundidad del suelo (0 – 15 cm y 16 – 30 cm), así como los valores de probabilidad (p-valor) por SAF-Cacao, Profundidad y su interacción, R ² : coeficiente de determinación; C.V. (%): coeficiente de variación. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. Año 2025.	95
Cuadro 35. Correlación de Spearman entre el carbono orgánico del suelo (CO) y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.	96
Cuadro 36. Contenido de macro y micronutrientes foliares en especies maderables, cacao asociado y cacao en condición de testigo.	98
Cuadro 37. Correlaciones de Pearson entre nutrientes foliares de especies maderables, cacao y propiedades químicas del suelo.	98

Cuadro 38. Propiedades químicas y físicas del suelo en relación con la posición bajo el dosel de árboles. Dentro: debajo del dosel del árbol; Fuera: entre las copas de los árboles.	99
Cuadro 39. Resultados de las pruebas físicas de las ocho especies forestales cultivadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2025.....	108
Cuadro 40. Usos de la madera de las ocho especies según clasificación de Bárcenas según coeficiente de contracción volumétrica y su Relación Tangencial/Radial.	109
Cuadro 41. Resultados de las propiedades mecánicas de ocho especies forestales.....	110
Cuadro 42. Clasificación de las especies con las categorías de clasificación de madera mexicanas.	111
Cuadro 43. Clasificación de las especies por pruebas de trabajabilidad según la escala de las Normas ASTM.	111
Cuadro 44. Biomasa aérea por especie arbórea y contenido de humedad madera en laboratorio CEPCO.	118
Cuadro 45. Volumen comercial y FEB de especies seleccionadas.	119
Cuadro 46. Volumen comercial y FEB de especies seleccionadas.	119
Cuadro 47. Diversidad de aves: taxas, individuos, índices de Shannon, Simpson y Chao-1. CADETH-AMR. Febrero-abril 2025.	127
Cuadro 48. Diversidad de aves: taxas, individuos, índices de Shannon, Simpson y Chao-1. CEDEC-JAS. Febrero-abril 2025.	128
Cuadro 49. Riqueza y abundancia de aves en común (37) entre CADETH-AMR y CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. Febrero a abril 2025.	129
Cuadro 50. Riqueza y abundancia de aves propias del CADETH-AMR (43). La Masica, Atlántida. Febrero a abril 2025.....	130
Cuadro 51. Riqueza y abundancia de aves propias del CEDEC-JAS (22). La Masica, Atlántida. Febrero a abril 2025.....	133
Cuadro 52. Abundancia de especies de mamíferos registradas en CEDEC-JAS.....	148
Cuadro 53. Abundancia de especies de mamíferos registradas en CADETH-AMR.....	149
Cuadro 54. Índices de Shannon H y Simpson en CEDEC-JAS.	152
Cuadro 55. Comparación de los índices de diversidad Shannon y Simpson en CADETH-AMR. ..	153
Cuadro 56. Estado de conservación de mamíferos terrestres registrados en CADETH-AMR según diferentes categorías internacionales y nacionales.	155
Cuadro 57. Población encontrada por tropas.	161
Cuadro 58. Especies arbóreas asociadas a <i>Alouatta palliata</i>	162
Cuadro 59. Capacitaciones y recibimientos de visitas en CEDEC-JAS. Año 2025.	168
Cuadro 60. Actividades de transferencia de tecnología de desarrollo de consultoría nacional e internacional. Año 2025.	170

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitación mensual promedio en el CEDEC-JAS (1987-2025) y CADETH-AMR (1997-2025). La Masica, Atlántida, Honduras.	5
Figura 2. Precipitación anual histórica en el CEDEC-JAS (1987-2025) y CADETH-AMR (1997-2025). La Masica, Atlántida, Honduras.	6
Figura 3. Distribución en porcentajes de los días lluviosos de la precipitación anual en el CEDEC-JAS (1987-2025). La Masica, Atlántida, Honduras.	7
Figura 4. Temperatura media mensual en el CEDEC-JAS, del 2025 y la promedia 1987 a 2025. La Masica, Atlántida, Honduras.	7
Figura 5. Temperatura media anual promedio CEDEC-JAS entre 1987-2025.	8
Figura 6. Análisis de componente principal. a) 2005-2025 y b) 2025.	9
Figura 7. Rendimiento de cacao seco en beneficiado (%) y su desviación estandar mensual. a) Rendimiento por año b) Promedio del rendimiento por mes entre 2015-2025 vs 2025. Centro de beneficiado del CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.	10
Figura 8. Estrategia de mejoramiento genético en cacao (6 etapas).	11
Figura 9. Producción y sanidad de las progenies de cacao con sombra de guama. a) Comparación del rendimiento seco promedio (2020-2024) y del 2024 expresado en kg/ha/año. b) Cantidad de frutos sanos y enfermos. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras.	20
Figura 10. Conglomerados de progenies de cacao en lote guama de acuerdo al Índice de Mazorca y rendimiento de cacao seco. La Masica, Atlántida, Honduras. 2025.	25
Figura 11. Cantidad de frutos sanos de las progenies más productivas en el lote con sombra de ternero. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020 – 2025.	27
Figura 12. Parcela de cacao con 20 clones autocompatibles ordenados en hileras de 15 plantas.	29
Figura 13. Distribución anual de la producción de frutos por su estado fitosanitario en clones de cacao autocompatibles, La Masica, Atlántida, Honduras.	30
Figura 14. Distribución de la producción promedio de frutos de cacao por su estado fitosanitario en cada uno de los cultivares de evaluación de estudio evaluación de 20 cultivares autocompatibles, La Masica, Atlántida, Honduras. 2022-2024.	32
Figura 15. A) Rotulado de plantas, b) muestreo de suelo, c) mezclas físicas de fertilizantes y d) aplicación de cal.	39
Figura 16. Distribución de la producción de frutos de cacao/árbol/año según su condición fitosanitaria en ensayo nutrición de cacao en Honduras. 2020-2024.	40
Figura 17. Distribución de la producción de frutos de cacao/árbol/año según su condición fitosanitaria en ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025.	42
Figura 18. Producción promedio aprovechable de cacao seco en kg/ha/año por cada uno de los tratamientos del ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025.	42
Figura 19. Evolución de la producción aprovechable de cacao seco en kg/ha/año por cada uno de los tratamientos del ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025.	43
Figura 20. Biplots de CP1 y CP2, de variables químicas del suelo y el rendimiento del cacao CEDEC-JAS, La Masica, Honduras.	45
Figura 21. Curvas de crecimiento en DAP (cm) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica no diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras.	53

Figura 22. Curvas de crecimiento en V_c ($m^3/\text{árbol}$) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica que no hay diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.	55
Figura 23. Curvas de crecimiento en Bio ($t/\text{árbol}$) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica que no hay diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.	56
Figura 24. Curvas de crecimiento en C-equivalente ($t/\text{árbol}$) de 16 especies maderables en línea. El mismo color indica que no hay diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.	57
Figura 25. Vista aérea de las parcelas de la Sección 38 (11 parcelas).	61
Figura 26. Parcela de caoba con y sin cultivo de cacao por debajo.	62
Figura 27. Comparación del diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio entre dos mediciones o tratamientos en diferentes lotes de caoba del atlántico en CEDPRR-FHIA,2025.....	63
Figura 28. Cuadro de DAP a los 11 años para caoba del Atlántico.	64
Figura 29. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 1A.	65
Figura 30. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 1B.	66
Figura 31. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 2A.	67
Figura 32. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 2C.	68
Figura 33. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 3A.	69
Figura 34. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 3B.	70
Figura 35. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 4.	71
Figura 36. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 5.	72
Figura 37. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 6.	73
Figura 38. Media y desviación estándar de la humedad del cacao.	77
Figura 39. Distribución de la masa de cacao seco.....	78
Figura 40. Índices de grano según clasificación física de la masa de fermentación.....	78
Figura 41. Clasificación física interna del grano empleando prueba de corte.....	80
Figura 42. Distribución de peso por cotiledón y cascarilla.	80
Figura 43. Dimensiones del grano mm (largo, ancho y grosor) clasificado por tamaños.	82
Figura 44. Gráfico de componentes principales que muestra la relación de las variables organolépticas y de los tratamientos espesor de secado del grano.	83
Figura 45. Gráfico de correspondencia que muestra la relación de variables cualitativas (color-olor del grano) con la nota global y atributos a nuez y astringencia.....	84
Figura 46. a) Medición de profundidad suelo 0-15 cm. b) Cilindro para extraer muestra de suelo...88	88
Figura 47. Calicata y separación de suelo por 2 profundidades.	88
Figura 48. Medición de flujo de CO_2 del suelo con EGM-5.	89
Figura 49. Contenido de carbono y materia orgánicos (promedio y D.E.) en SAF y a diferentes profundidades. a) profundidad 0 – 15 cm; b) Profundidad 16 – 30 cm).	91

Figura 50. Promedio de minerales en el suelo con su D.E. por SAF y diferentes profundidades. a) Profundidad 0–15 cm; b) Profundidad 16–30 cm).	92
Figura 51. Densidad aparente del suelo por SAF-Profundidad.	92
Figura 52. Promedio de elementos (P, Cu, Zn y Mn) en el suelo con su D.E. por SAF y diferentes profundidades. a) Profundidad 1, de 0 – 15 cm; b) Profundidad 2, de 16 – 30 cm).....	93
Figura 53. Promedio de elementos (K, Ca, Mg y Na) en el suelo con su D.E. por SAF y diferentes profundidades. a) profundidad 1, de 0 – 15 cm; b) profundidad 2, de 16 – 30 cm).	94
Figura 54. Cantidad de lombrices. a) profundidad 0-15 cm b) 16-30 cm.....	94
Figura 55. Análisis de componentes principales entre las interacciones SAF-Profundidad de muestreo y su relación con las variables de estudio.	97
Figura 56. Muestras de madera de las especias maderables estudiadas.	105
Figura 57. Descripción grafica de la metodología de investigación.....	106
Figura 58. SAF-Cacao con <i>T. Superba</i>	116
Figura 59. Árbol derribado listo para medir los diámetros y longitud.....	117
Figura 60. a) Medición del diámetro y b) Lectura y registro de longitud de ramas.....	117
Figura 61. Variación en PC superior y PC inferior.	120
Figura 62. Croquis indicando puntos de muestreo: a) CADETH-AMR y b) CEDEC-JAS.	124
Figura 63. Curva de acumulación de especies de aves, CEDEC-JAS. Febrero a abril 2025.	126
Figura 64. Curva de acumulación de especies de aves, CADETH-AMR. Febrero a abril 2025.....	126
Figura 65. Comparación de índice de diversidad por semana en CADETH-AMR.....	127
Figura 66. Comparación de índice de diversidad por semana en CEDEC-JAS.	128
Figura 67. Análisis clúster o dendrograma, CADETH-AMR.	139
Figura 68. Análisis clúster o dendrograma, CEDEC-JAS.....	140
Figura 69. Análisis de componente principal (ACP) CADETH-AMR.....	140
Figura 70. Análisis de componente principal (ACP) CEDEC-JAS.....	141
Figura 71. Comparación de los índices de diversidad Shannon y Simpson entre los sitios de estudio CEDEC-JAS.....	152
Figura 72. Índices de diversidad Shannon (H') y Simpson (1-D) por sitio y tipo de método de muestreo en CADETH-AMR.	153
Figura 73. Gremios tróficos de especies generalistas en sistemas agroforestales.	154
Figura 74. Variables climáticas CEDEC-JAS y CADETH-AMR.....	154
Figura 75. Imagen del mono aullador (macho).	158
Figura 76. Escenarios climáticos/socioeconómicos.	159
Figura 77. a) macho, b) hembra, c) juvenil y d) infantes.....	160
Figura 78. Mapa puntos de distribución <i>Alouatta palliata</i>	161
Figura 79. Cantidad de monos aulladores agrupados por familia de árboles donde se avistó.....	163
Figura 80. Probabilidad de presencia del mono aullador por mes, según temperaturas y precipitación, periodo de tiempo actual 1970-2000.	163
Figura 81. Probabilidad de presencia del mono aullador por mes, según temperaturas y precipitación, periodo de tiempo actual 2021-2040.	164
Figura 82. Comparación de cambios presentes y futuros en la distribución de la especie.....	165

ANEXOS

Anexo 1. Aplicación de productos cúpricos para la protección y mejora de la sanidad de los frutos de cacao en periodos lluviosos. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2024.....	33
Anexo 2. Recomendación de dosis en los tratamientos químico y orgánico, para estimar producir 1,000 kg de cacao por hectárea. Año 2020 y 2022.	47
Anexo 3. Análisis químico a priori de lombricomposta (orgánica).	48
Anexo 4. Especies Maderables: a) Cortés, b) San Juan de Pozo, c) Sangre Rojo, d) Caoba del Atlántico, e) Caoba de Lagos f) Framire, g) Marapolán, h) Limba, i) Cedrillo, j) Pochote k) Sangre Blanco y l) Teca.	59

I. INTRODUCCIÓN

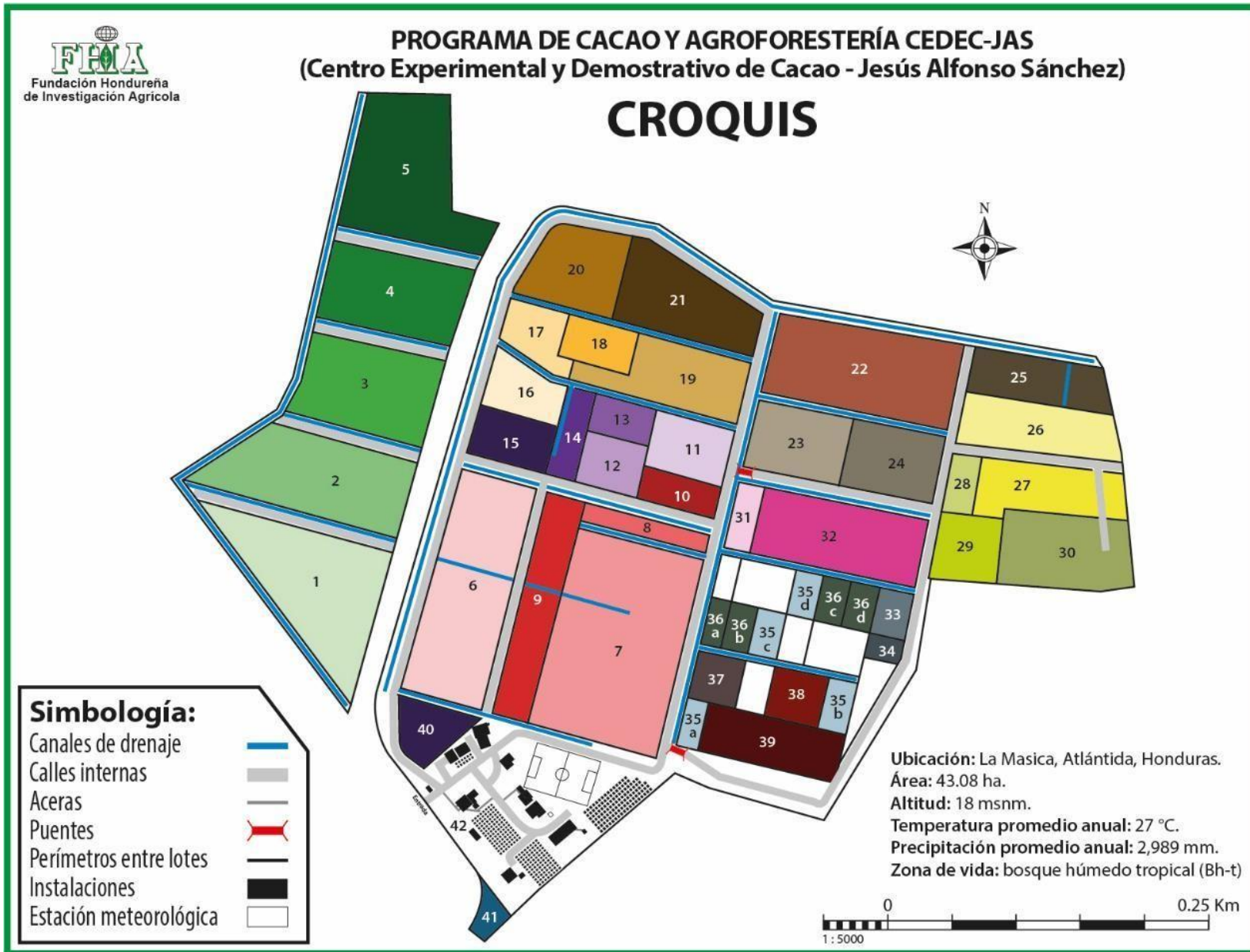
El presente Informe Técnico documenta las actividades de investigación y transferencia tecnológica desarrolladas por el Programa de Cacao y Agroforestería de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) durante el año 2025. Las acciones descritas se ejecutaron en los dos centros experimentales y demostrativos del Programa: el Centro Experimental y Demostrativo de Cacao - Jesús Alfonso Sánchez (CEDEC-JAS) y el Centro Agroforestal y Demostrativo del Trópico Húmedo-Adolfo Martínez Rondanelli (CADETH-AMR), ambos localizados en el municipio de La Masica, departamento de Atlántida.

Las investigaciones realizadas se sustentan en una base de información histórica generada entre 1987 y 2025, lo que permite analizar los resultados del año en estudio dentro de una perspectiva climática, productiva y ambiental de largo plazo. Este enfoque fortalece la comprensión de las tendencias, la variabilidad interanual y los efectos del cambio climático sobre los sistemas agroforestales con cacao, aportando elementos técnicos sólidos para la toma de decisiones y la formulación de estrategias de manejo sostenible.

Durante el 2025, el Programa consolidó y amplió sus líneas tradicionales de investigación en mejoramiento genético, manejo agronómico, nutrición, poscosecha y componente forestal, e incorporó de manera formal nuevas líneas de investigación orientadas al estudio de la biodiversidad y del suelo en los sistemas agroforestales con cacao. En el ámbito de la biodiversidad, los estudios desarrollados en CEDEC-JAS y CADETH-AMR incluyen evaluaciones de avifauna, mamíferos terrestres y primates, así como análisis de la distribución potencial de especies bajo escenarios de cambio climático, reconociendo el valor de estos sistemas productivos como corredores biológicos y espacios de conservación dentro del paisaje agrícola. De forma complementaria, se integraron investigaciones sobre las propiedades y la evolución del suelo desde los enfoques químico, orgánico y biológico, con el fin de comprender los procesos que regulan la fertilidad, la salud del suelo y su relación con la productividad y sostenibilidad de los sistemas agroforestales.

Paralelamente, las investigaciones agronómicas abordaron no solo la calidad física y sensorial del cacao y la selección de nuevas progenies y materiales genéticos, sino también la evaluación de la calidad de las maderas provenientes de especies forestales asociadas al cacao, considerando sus propiedades físicas, mecánicas y energéticas. Estos estudios permiten definir usos potenciales de la madera, aportando información clave para la diversificación productiva, el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales y el fortalecimiento del enfoque multifuncional de los sistemas agroforestales.

Un aspecto relevante del quehacer científico del programa durante el período evaluado ha sido el fortalecimiento del vínculo con universidades nacionales e internacionales, mediante el desarrollo de investigaciones conjuntas y la ejecución de trabajos de tesis a nivel de pregrado y posgrado. Esta colaboración contribuye a la formación de recurso humano especializado, amplía la capacidad investigativa institucional y asegura la generación de información científica pertinente y de alta calidad. En su conjunto, los resultados presentados en este informe reflejan un enfoque integral que articula productividad, sostenibilidad ambiental, conservación de la biodiversidad, manejo del suelo y formación académica, reafirmando el compromiso de la FHIA con el desarrollo de sistemas agroforestales con cacao resilientes y adaptados a los desafíos actuales del cambio climático y la sostenibilidad productiva.



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

M.Sc. Oscar Ramírez Argueta, Dr. Francisco Javier Díaz e Ing. Elvin Ávila
Programa de Cacao y Agroforestería

Durante el 2025, en el CEDEC-JAS se registró una precipitación anual total de 2,691.1 mm. El régimen pluviométrico presentó un máximo principal en el mes de enero, con 465.2 mm, seguido por noviembre, con 431.4 mm, ambos meses asociados a la influencia de frentes fríos y perturbaciones atmosféricas provenientes del Caribe al inicio y al final del año. En contraste, se observó una estación seca poco definida durante los meses de abril y mayo, característica del régimen tropical húmedo de la zona. No obstante, agosto fue el mes más seco del año, registrando únicamente 51.6 mm de precipitación, correspondiente al período de canícula. Estos patrones de precipitación reflejan la marcada variabilidad intra-anual que caracteriza la región (Cuadro 1).

La temperatura máxima promedio anual fue de 32.2 °C, mientras que, la mínima promedio se situó en 21.9 °C. El mes más cálido en promedio fue mayo (29.3 °C), coincidiendo con el final de la estación seca, cuando también se registró la temperatura máxima del año (35.2 °C). Los meses más frescos fueron enero y noviembre, con promedios de 24.6 y 25.4 °C, respectivamente, vinculados a los períodos de mayor nubosidad y precipitación. La temperatura mínima absoluta (20.2 °C) se registró en noviembre (Cuadro 1).

Cuadro 1. Precipitación, temperaturas mínima, máxima y media mensual en el CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida, Honduras, en 2025.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura media mensual (°C)		
		Mínima	Máxima	Promedio
Enero	465.2	20.6	28.6	24.6
Febrero	112.5	20.8	31.3	26.0
Marzo	211.6	21.5	32.4	27.0
Abril	159.0	21.0	33.1	27.0
Mayo	122.2	23.4	35.2	29.3
Junio	224.2	23.0	34.2	28.6
Julio	145.4	22.3	33.0	27.7
Agosto	51.6	22.4	33.3	27.9
Septiembre	150.8	23.5	33.0	28.3
Octubre	283.6	22.7	31.0	26.9
Noviembre	431.4	20.2	30.5	25.4
Diciembre	333.6	21.3	31.4	26.4
Total/promedio	2,691.1	21.9	32.2	27.1

El CADETH-AMR, reveló un comportamiento climático distintivo para el año 2025, con una elevada precipitación anual total de 3,570.6 mm. El mes con mayor precipitación fue en noviembre (598.4 mm), seguido muy de cerca por octubre (558.2 mm), concentrando ambos meses cerca del 32 % de la precipitación anual. La canícula fue perceptible, pero de forma moderada, con un mínimo en mayo con 116.7 mm.

En cuanto al régimen térmico, los datos muestran un ambiente cálido, pero notablemente templado para la región, con una temperatura media anual de 26.2 °C. Las temperaturas siguen un patrón

inverso a la precipitación. El mes más cálido fue mayo (28.6 °C), coincidiendo con el punto más bajo de lluvias y registrando la temperatura máxima absoluta del año (34.5 °C). A medida que avanza la estación lluviosa intensa, las temperaturas descienden. Los meses más frescos fueron noviembre y diciembre, ambos con 24.6 °C de promedio. En estos dos meses, así como en enero, se registraron las temperaturas mínimas promedias mensuales más bajas (19.8 °C) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Precipitación, temperatura mínima, máxima y media mensual en el CADETH-AMR en El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras, en 2025.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura media mensual (°C)		
		Mínima	Máxima	Promedio
Enero	260.7	19.8	27.9	23.8
Febrero	155.2	20.7	29.6	25.1
Marzo	275.1	20.8	31.5	26.1
Abril	208.1	20.4	31.7	26.1
Mayo	116.7	22.7	34.5	28.6
Junio	409.1	22.1	32.8	27.4
Julio	274.8	21.8	32.5	27.2
Agosto	159.1	21.8	32.9	27.3
Septiembre	277.2	22.5	32.5	27.5
Octubre	558.2	21.9	30.1	26.0
Noviembre	598.4	19.8	29.3	24.6
Diciembre	278.0	19.8	29.3	24.6
Total/promedio	3,570.6	21.2	31.2	26.2

El análisis histórico de precipitación (1987-2025 para CEDEC-JAS y 1997-2025 para CADETH-AMR) revela un patrón climático regional coherente, pero con diferencias sistemáticas. El CADETH-AMR es consistentemente más húmedo que la CEDEC-JAS. El promedio mensual histórico de CADETH-AMR es de 280 mm, frente a los 251 mm de CEDEC-JAS, lo que se traduce en una diferencia anual aproximada de 350 mm más de lluvia. En noviembre, CADETH-AMR registra un promedio de 546 mm, superando en 45 mm a los 501 mm de CEDEC-JAS (Figura 1).

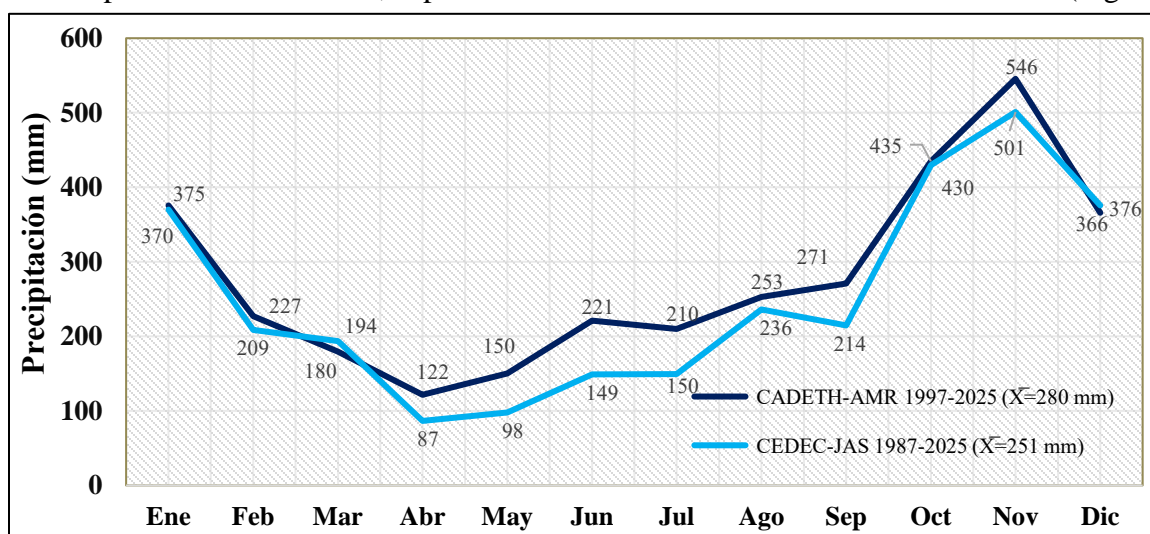


Figura 1. Precipitación mensual promedio en el CEDEC-JAS (1987-2025) y CADETH-AMR (1997-2025). La Masica, Atlántida, Honduras.

Continuando el análisis entre estaciones experimentales, únicamente en los meses de marzo y diciembre el CEDEC-JAS ha registrado mayor precipitación (Figura 1).

La comparación entre los sitios CADETH-AMR y CEDEC-JAS durante el período 1987-2025 confirma la existencia de un régimen climático notablemente más húmedo en el primero, con un promedio de 3,356 mm frente a los 3,012 mm del segundo. La marcada variabilidad interanual, común a ambos registros, es una característica inherente del trópico húmedo (Figura 2).

La influencia de los fenómenos de El Niño y La Niña emerge como el principal modulador de esta variabilidad, explicando coherentemente la alternancia entre años secos y húmedos identificados en ambos sitios. Los años con precipitaciones cercanas a 2,000-2,200 mm coinciden típicamente con eventos de El Niño, los cuales suponen condiciones más secas para la región. A la inversa, los años extremadamente húmedos que superan los 4,500 mm en CADETH-AMR. En síntesis, aunque ambos sitios comparten un contexto climático tropical húmedo y la misma forzante principal de variabilidad, existen diferencias significativas atribuibles a factores locales (Figura 2).

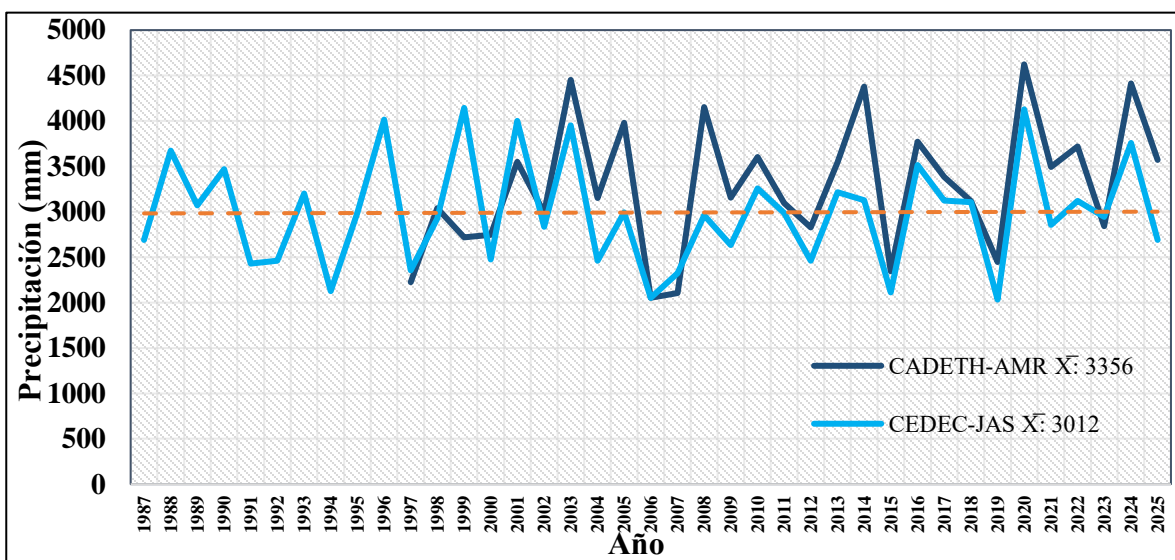


Figura 2. Precipitación anual histórica en el CEDEC-JAS (1987-2025) y CADETH-AMR (1997-2025). La Masica, Atlántida, Honduras.

El porcentaje de días con lluvias del CEDEC-JAS por año, va desde un mínimo del 32 % en 2023 hasta un máximo del 73 % en 2018. En este contexto, el año 2025, con un valor del 46.3 %, se sitúa moderadamente por debajo de la media (aproximadamente 52 %), mostrando una condición de relativa normalidad (Figura 3).

La lectura del 46.3 % en 2025 sugiere un año con una actividad pluviométrica más estable en comparación con los extremos recientes. Este valor es cercano al promedio histórico y representa una notable recuperación frente al mínimo del 32 % registrado en 2023, el cual coincidió con una fase intensa de El Niño que suprimió la convección y redujo la frecuencia de eventos extremos.

Esto implica que, aunque casi la mitad de los días del año fueron clasificados como inusuales, no hubo una dominancia marcada de condiciones extremadamente húmedas o secas sostenidas, sino una mezcla más equilibrada (Figura 3).

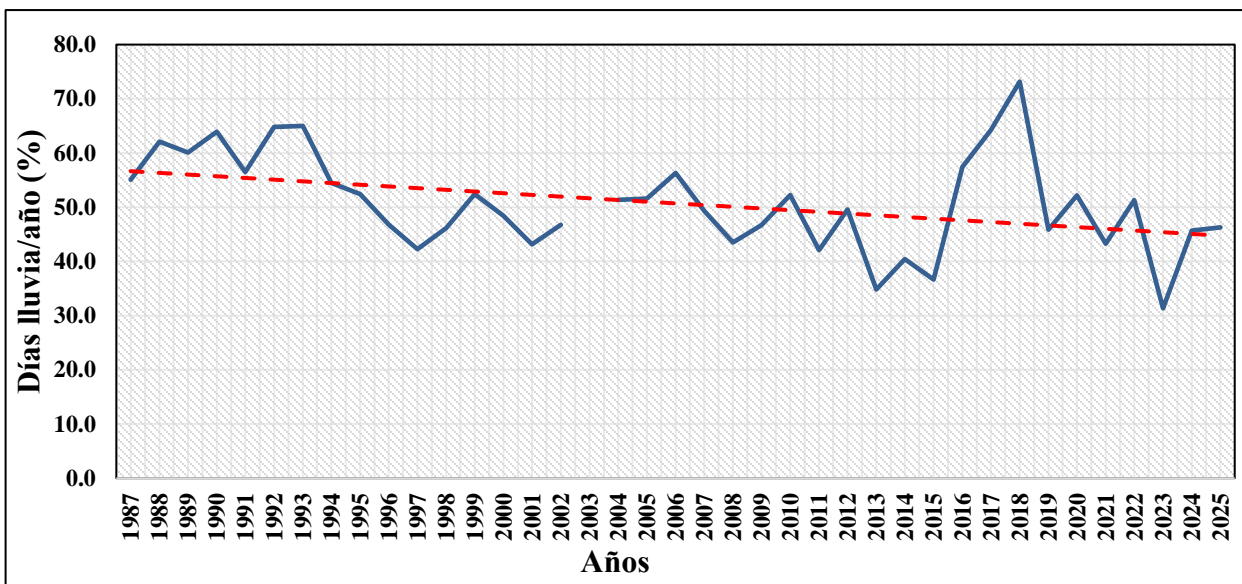


Figura 3. Distribución en porcentajes de los días lluviosos de la precipitación anual en el CEDEC-JAS (1987-2025). La Masica, Atlántida, Honduras.

Al comparar los datos de temperatura media mensual del año 2025 con el promedio histórico del período 1987–2025, se observa un aumento generalizado y significativo de las temperaturas a lo largo de todos los meses. El promedio anual de temperatura en 2025 fue de 27.1 °C, superando en 1.2 °C el promedio histórico (25.9 °C). Este incremento no se distribuyó de manera uniforme, sino que fue particularmente marcado durante los meses del primer semestre y el inicio del segundo semestre, acentuándose en mayo, cuando la diferencia alcanzó los 2.0 °C (27.3 °C histórico frente a 29.3 °C en 2025). También, destacan diciembre y febrero, con aumentos de 2.8 °C y 1.7 °C, respectivamente (Figura 4).

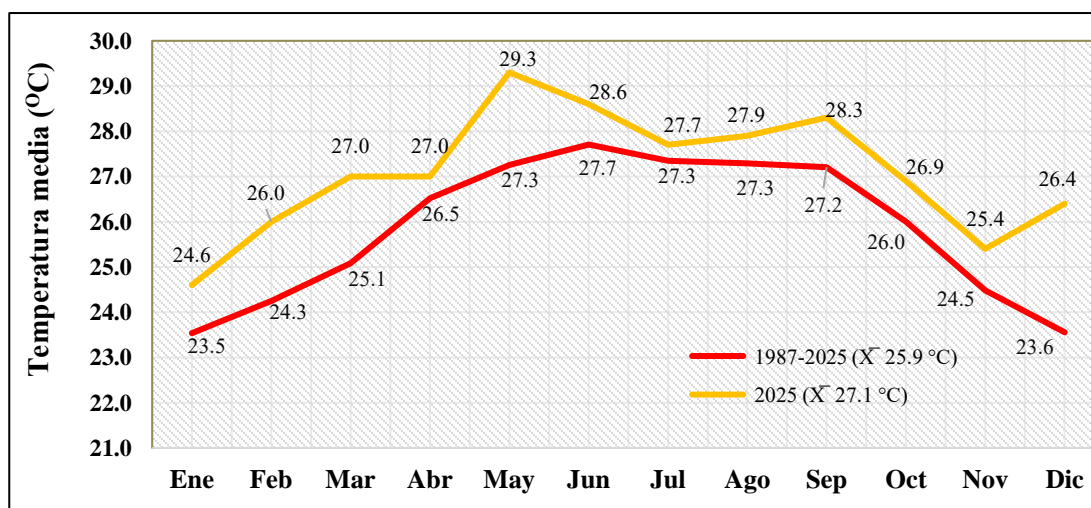


Figura 4. Temperatura media mensual en el CEDEC-JAS, del 2025 y la promedia 1987 a 2025. La Masica, Atlántida, Honduras.

La temperatura media anual entre 1987 y 2025, con un promedio general de 25.9 °C, muestra una marcada estabilidad en el largo plazo, aunque con episodios significativos de variabilidad

interanual, especialmente durante la primera década del registro. Durante el período 1987 - 2004, se observa una fluctuación considerable, con valores que descienden hasta 21.5 °C (1999) y ascienden hasta 28.0 °C (2007). Particularmente, los años más fríos, como 1998, 1999 y principios de la década de 2000, podrían estar asociados a eventos de La Niña (Figura 5).

A partir de 2005, es notorio un ligero incremento de la temperatura. Los valores se mantienen consistentemente en el rango, de 25.5 °C y 27.0 °C, con tendencia al incremento en la última década. Esta transición desde una fase de alta variabilidad y ligero calentamiento es el hallazgo más destacado. Sin embargo, el hecho de que los últimos 20 años se sitúen predominantemente por encima del promedio histórico de 25.9 °C sugiere un cambio de régimen más cálido establecido en el siglo 21 (Figura 5).

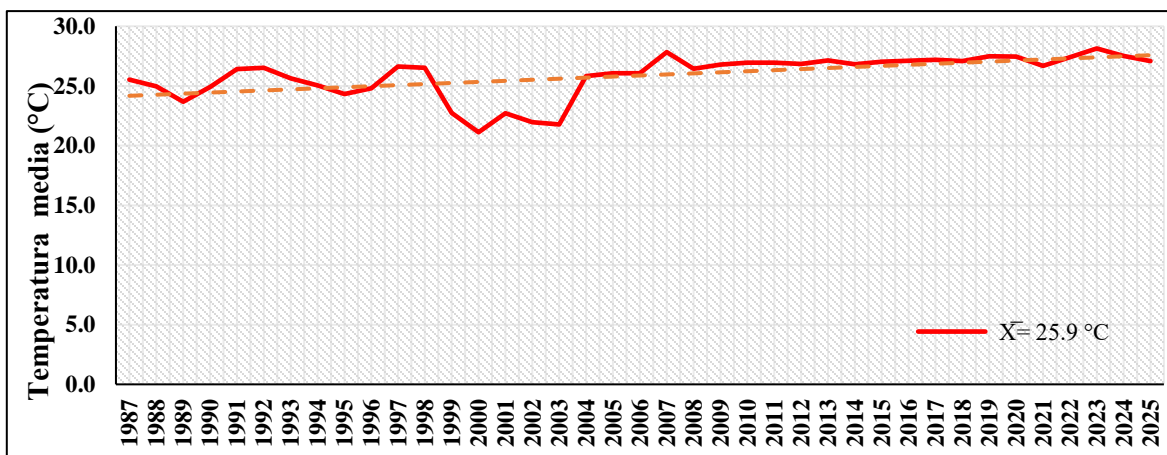


Figura 5. Temperatura media anual promedio CEDEC-JAS entre 1987-2025.

En conclusión, el año 2025 representa un retorno a condiciones de variabilidad climática típicas después de un evento extremo, sin mostrar señales de una nueva anomalía sostenida. El seguimiento continuo de este indicador más allá de 2025 será crucial para discernir si la aparente estabilidad es temporal o si se consolida como parte de un nuevo patrón en el contexto de un clima global en cambio.

Interacción de variables climáticas sobre la agronomía del cacao

Se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) con el propósito de analizar la asociación entre variables climáticas fundamentales como temperatura, precipitación y porcentaje de días con lluvia con los parámetros agronómicos, tanto relativos como absolutos, vinculados a la producción de frutos y a la dinámica de enfermedades en cultivos de cacao. El análisis se basó en datos acumulados correspondientes a aproximadamente el 70 % del área del CEDEC-JAS (30 ha), abarcando el período comprendido entre 2005-2025 (Figura 6a).

En ese lapso, el PCA revela una estructura de influencia climática explicada en un 86.2 % por los dos primeros componentes principales. El Componente 1 (CP1), que explica el 60.7 % de la varianza, separando a los meses con mayor temperatura y que al mismo tiempo coinciden con los meses con mayor porcentaje de frutos sanos (abril y mayo) vs los meses con menor temperatura y mayor precipitación favoreciendo la proliferación de enfermedades (noviembre, diciembre y enero) (Figura 6a).

Por otro lado, el CP2 explica el 25.5 % de la varianza de los datos separando los meses con mayor cantidad de frutos sanos, sobresaliendo el mes de marzo y abril, coincidiendo con los meses de menor cantidad de días lluvia (Figura 6a). El análisis PCA del 2025 muestra la misma tendencia del comportamiento productivo y sanitario a través de los meses, con ciertas variaciones como por ejemplo que la mayor cantidad de frutos sanos se concentró en el mes de febrero (Figura 6b).

En conjunto, estos hallazgos constituyen un respaldo técnico para el diseño de estrategias de adaptación al clima en el cultivo de cacao, tales como la optimización del calendario de manejo agroforestal tales como la regulación de sombra, control de enfermedades, poda y la aplicación de prácticas orientadas a la conservación de la humedad del suelo durante los periodos críticos. Asimismo, el elevado porcentaje de varianza explicado confirma la pertinencia del PCA como herramienta para apoyar la toma de decisiones climáticamente informadas en sistemas agroforestales sensibles como lo son los SAF-Cacao del trópico húmedo.

En conclusión, este análisis pone de manifiesto que la producción de cacao en el CEDEC-JAS está fuertemente influenciada por la variabilidad climática a escala intramensual, destacando a febrero y marzo como meses determinantes en la definición del desempeño productivo anual y los meses de verano con la mayor sanidad de la finca.

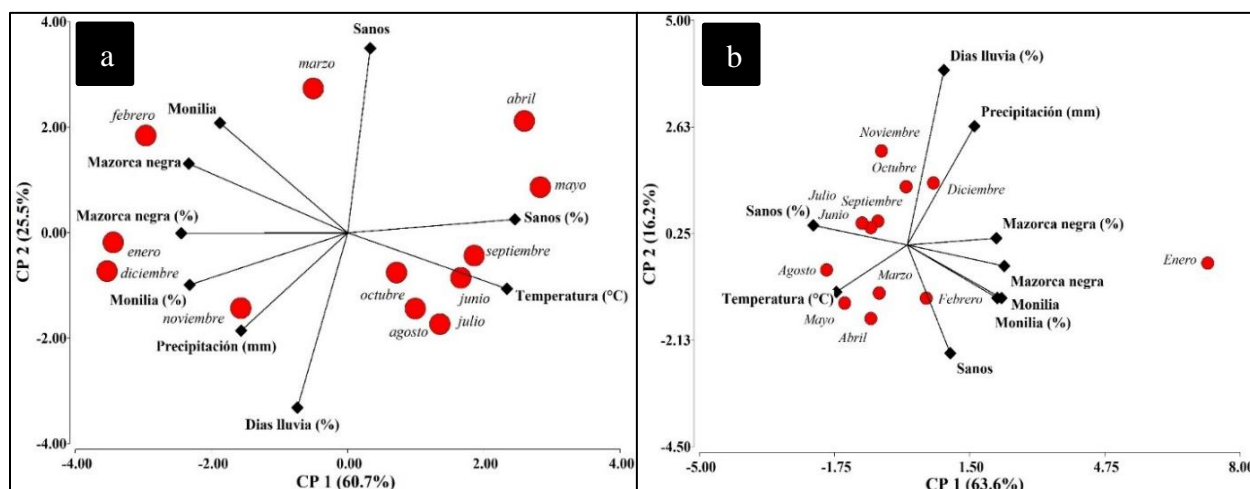


Figura 6. Análisis de componente principal. a) 2005-2025 y b) 2025.

Los datos de rendimiento de cacao en beneficiado medido como el porcentaje de cacao en baba que pasa a cacao seco a 6.5% de humedad (promedio un 37 %), muestran una alta consistencia entre el año 2025 y el promedio del período 2015–2025. A nivel mensual, los valores correspondientes a 2025 se mantuvieron muy cercanos a los promedios históricos, con variaciones mínimas que en la mayoría de los casos no superan los 2 puntos porcentuales (Figura 7a).

Este comportamiento estable indica que el proceso poscosecha en el centro de beneficiado se ha desarrollado bajo condiciones controladas, evidenciando un adecuado nivel de estandarización en las operaciones. Un aspecto positivo para destacar es que los meses de mayor rendimiento se concentran en el primer semestre del año, específicamente de marzo a junio, donde se supera consistentemente el 38 % e incluso se alcanzó un pico de 41.4 % en mayo de 2025 (Figura 7b).

Esto indica que, en los meses de verano la calidad del cacao en baba (menos agua), resulta en una mayor eficiencia en la transformación a cacao seco. Este patrón estacional es valioso para la planificación operativa del centro, ya que permite anticipar periodos de mayor productividad en el beneficiado y optimizar logística, mano de obra y capacidad de beneficiado (Figura 7).

La disminución observada hacia final de año (especialmente en noviembre, con 33.9 % en 2025) se asocia con mayor contenido de humedad debido a las lluvias. La consistencia interanual en el rendimiento baba/seco es un indicador de la calidad del manejo poscosecha y un indicador para comprar cacao en baba de mejor calidad en términos de rendimiento.

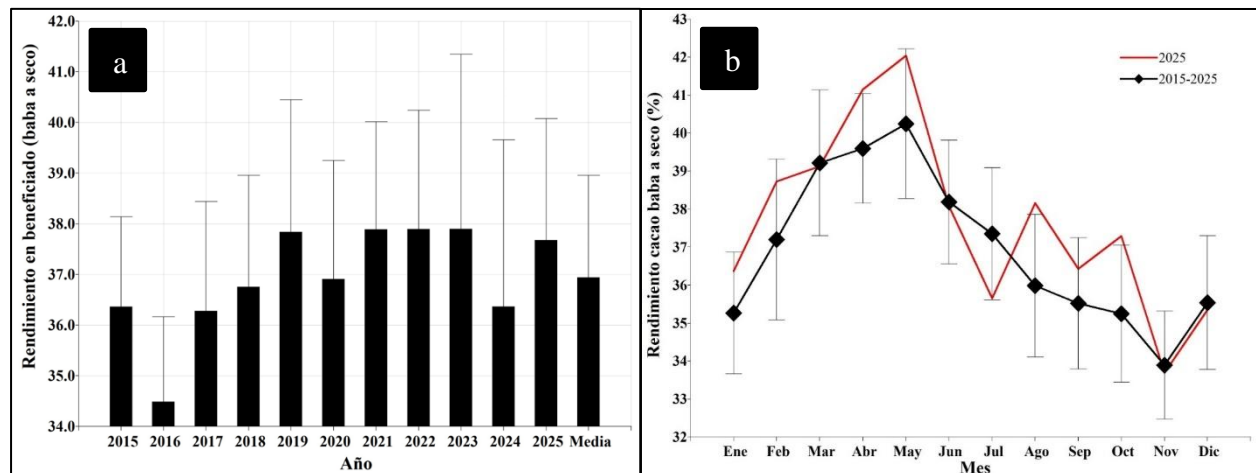


Figura 7. Rendimiento de cacao seco en beneficiado (%) y su desviación estandar mensual. a) Rendimiento por año b) Promedio del rendimiento por mes entre 2015-2025 vs 2025. Centro de beneficiado del CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida.

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 25 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 8.

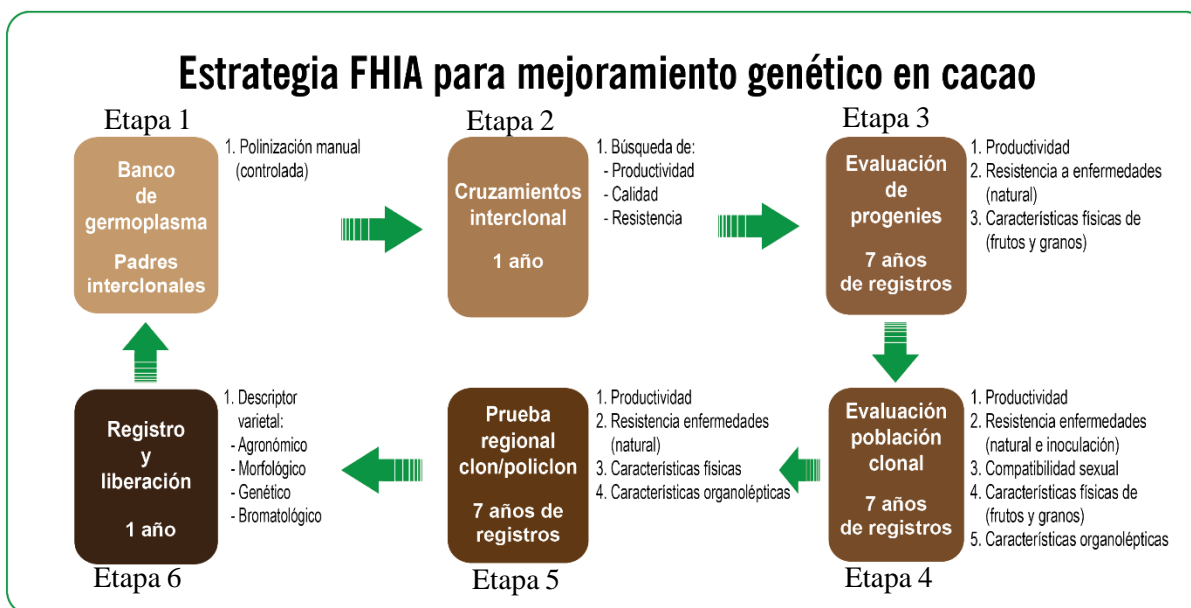


Figura 8. Estrategia de mejoramiento genético en cacao (6 etapas).

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

Índices de rendimiento. Los investigadores y centros especializados establecen como referencia rendimientos ≥ 1000 kg/ha/año, meta que busca duplicar el promedio mundial actual (450 kg/ha/año) (Somarriba *et al.* 2018; López-Simpson y Somarriba 2018). Este atributo está interrelacionado con parámetros agronómicos como: 1. producción de ≥ 20 frutos sanos/árbol/año, 2. índice de mazorca (IM) ≤ 22 frutos/kg de cacao seco (cantidad de frutos necesarios para obtener 1 kg de cacao fermentado y seco), 3. índice de grano (IG) > 1.2 g/grano seco (con variabilidad ≥ 1.0 g, umbral mínimo para mercados de exportación), y 4. peso de cacao en baba ≥ 120 g/fruto. Un IM bajo optimiza la eficiencia operativa (utilización de menos mano de obra en la cosecha), mientras que un IG por arriba de 1.2 g y con buena uniformidad en el tamaño del grano, garantiza cacaos con potencial para hacer chocolates finos.

Resistencia a las enfermedades moniliasis y mazorca negra. Se desean materiales genéticos que presenten tolerancia a enfermedades, y, que las pérdidas en la producción por enfermedades no superen el 15 % de la producción, esto tomando en consideración que por los menos un 30 % de la producción mundial se pierde por enfermedades (Marelli *et al.* 2019; ICCO 2024). A partir de 2015, se tomó como base las referencias establecidas por el CATIE para la evaluación de la

resistencia genética de clones de cacao a la moniliasis y mazorca negra mediante inoculación de frutos de manera artificial. En el caso de moniliasis, la escala utilizada mide la severidad de daño del tejido interno de la mazorca, la cual va de 0 a 5, en donde 0 = frutos sanos, 1 = 1-20 % de daño interno, 2 = 21-40 % de daño interno, 3 = 41-60 % de daño interno, 4 = 61-80 % y 5 = mayor a 81 % de daño interno. Para el Programa de mejoramiento, los clones que se seleccionan son aquellos que en escala promedien valores de severidad no mayores de 0-1.25 (considerados resistentes), y valores entre 1.26-2.50 (moderadamente resistentes). Para la mazorca negra, la escala es con base en el diámetro de la lesión y se distribuye de la siguiente manera: materiales resistentes con diámetro entre 0.0-2.0 cm, moderadamente resistentes para manchas con diámetro entre 2.1-4.0 cm, moderadamente susceptibles para manchas entre 4.1-6.0 cm y susceptibles para manchas con diámetro mayor a 6.0 cm. Igual que para moniliasis, se seleccionan materiales bajo las primeras dos categorías de clasificación de la resistencia.

Autocompatibilidad e intercompatibilidad sexual. Por naturaleza, el cacao es una especie de polinización cruzada debido a su autoincompatibilidad sexual, mecanismo genético heredable que impide la autofecundación aun cuando sus flores son hermafroditas (Aranzazu, 2008; Dubón y Sánchez, 2016; López *et al.*, 2021). Este fenómeno se manifiesta cuando el tubo polínico es rechazado por los tejidos del ovario de la misma planta, lo que subraya la importancia de evaluar la intercompatibilidad (aceptación de polen entre clones) y la autocompatibilidad (capacidad de autofecundación), presente en solo el 5-20 % de los clones comerciales. Como programa de investigación, priorizamos la identificación de materiales autocompatibles, ya que estos no dependen de la sincronía floral ni del polen externo, muestran mayor precocidad productiva y, en la mayoría de los casos, mantienen alta intercompatibilidad con otros cultivares. La evaluación se realiza mediante polinizaciones manuales intraclonales o interclonales, clasificando como autocompatible a clones con ≥ 30 % de frutos cuajados a los 15 días postpolinización. Este criterio es vital para diseñar arreglos policlonales eficientes en campo, donde la complementariedad genética asegura estabilidad reproductiva y altos rendimientos.

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

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

El programa de mejoramiento genético de cacao después de 25 años ya ha dado frutos. Actualmente un grupo de 15 clones están finalizando la Etapa 6 que corresponde al registro y liberación de materiales genéticos ante la secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG) para así poner a disposición a mediados del año 2026 nueva genética ante el sector cacao nacional e internacional.

Revisión bibliográfica

- Aranzazu, H. 2008. Compatibilidad e intercompatibilidad de materiales universales y regionales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia (FEDECACAO). (diapositivas). Venezuela, octubre de 2008. 42 diapositivas.
- Dubón, A; Sánchez, J 2016. Manual de producción de cacao. 2da edición FHIA. La Lima, Cortés.
- Marelli, JP, Guest, DI, Bailey, BA, Evans, HC, Brown, JK, Junaid, M., ... y Puig, AS (2019). El chocolate amenazado por enfermedades antiguas y nuevas del cacao. *Fitopatología*, 109 (8), 1331-1343.
- López, M; Ramírez, O; Dubón, A; Ribeiro, C; Díaz, FJ; Chalfun-junior, A. 2021. Sexual compatibility in cacao clones drives arrangements in the field leading to high yield. *Scientia Horticulturae* 287(2021):110276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110276>.
- Somarriba, E; Orozco, L; Cerda, R; López, A. 2018. Analysis and design of the shade canopy of cocoa-based agroforestry systems. Achieving sustainable cultivation of cocoa (on line). Consultado 29 ago. 2020. Disponible [http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/8916/Analysis and design of the shade.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/8916/Analysis%20and%20design%20of%20the%20shade.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Somarriba, E; López, A. 2018. Coffee and Cocoa Agroforestry Systems: Pathways to Deforestation, Reforestation, and Tree Cover Change (on line). Innovation and action for forests. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultado 30 ago. 2020. Disponible en <http://201.207.189.89/handle/11554/9035>

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

M.Sc. Oscar Ramírez, Ing. Elvin Ávila y Dr. Javier Díaz
Programa de Cacao y Agroforestería

M.Sc. Héctor Aguilar
Unidad de Poscosecha

Alexis Maldonado
Universidad de San Pedro Sula (USAP)

Resumen

A finales del 2015, se inició un segundo proceso de mejoramiento genético de cacao, con el objetivo de identificar progenies (Etapa 3 del mejoramiento genético), superiores en productividad, tolerancia a enfermedades y eficiencia agronómica, para disponer de una segunda generación materiales clonales FHIA. El ensayo incluyó 993 plantas por semilla, distribuidas en dos lotes, cuyas cosechas han sido evaluadas de manera continua desde 2020. En el Lote 1, tras el período de evaluación 2020–2025, se seleccionaron 29 progenies con una producción superior a 20 frutos sanos por árbol por año, alcanzando un promedio de 1.35 t de cacao seco/ha/año y mostrando alta tolerancia a moniliasis y mazorca negra. A partir del análisis fisicoquímico de frutos realizado en 2024, se depuró la selección a 13 progenies promisorias, las cuales presentaron menor índice de mazorca, mayor peso de baba y mayor peso individual de grano, logrando un rendimiento promedio de 1.67 t/ha/año, superior al resto de progenies evaluadas. Durante 2025, el seguimiento productivo

confirmó la estabilidad y superioridad agronómica de este grupo seleccionado. Este lote de 13 progenies mostró una media elevada de frutos sanos (30 frutos/planta), superior al promedio histórico del período 2020–2024, junto con una incidencia extremadamente baja de enfermedades, particularmente de moniliasis. Progenies como el A187T5, A266T4 y A122T15 destacaron por combinar alta producción de frutos sanos, bajo índice de mazorca y rendimientos estimados de cacao seco superiores a 2.0 t/ha/año, alcanzando en algunos casos valores cercanos a 4.8 t/ha/año. Asimismo, las mediciones fisicoquímicas de 2025 ratificaron la eficiencia productiva de progenies como la A262T14, con índices de mazorca aún más bajos que en 2024, y pesos de grano y baba consistentemente altos. En contraste, el Lote 2 presentó una respuesta productiva más limitada, con solo 12 progenies superando el umbral mínimo de selección (>20 frutos sanos/árbol/año), las cuales continúan en evaluación para una posible caracterización fisicoquímica posterior. Los resultados consolidan avances hacia materiales genéticos de alta productividad, resiliencia y calidad, aptos para cacaos finos y de aroma.

Palabras claves: mejoramiento genético, etapa, productividad, tolerancia a enfermedades.

Introducción

El mejoramiento genético se consolida como una herramienta clave en la agricultura para garantizar la producción frente al cambio climático, y en el cultivo de cacao este enfoque no es la excepción. La productividad de este cultivo está determinada por diversos factores, entre ellos la compatibilidad sexual del material genético utilizado. El cacao es una planta que presenta de forma natural un alto porcentaje de autoincompatibilidad sexual, que 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 intercompatibilidad, cuando el polen de la flor de una planta no consigue fecundar los óvulos de las flores de otra planta. En ese sentido, inició en el 2015 las polinizaciones manuales controladas en flores para conocer el grado de compatibilidad (auto e intercompatibilidad) de los clones que se destinarían para el establecimiento de plantaciones.

En el Programa de Cacao y Agroforestería existen clones que desde 1990 fueron evaluados para diferentes parámetros y seleccionados en el CEDEC-JAS a partir de una amplia colección de más de 350 clones de cacao. Fue con esta experiencia adquirida por más de 30 años que se seleccionaron inicialmente unos 40 clones por su alto potencial productivo, resistencia a enfermedades y calidad del grano. Además, era de suma importancia incluir el carácter de compatibilidad dentro del descriptor varietal en el Catálogo de cultivares de cacao en Honduras para poder complementar la investigación y cumplir con los requerimientos del proceso de certificación ante la SAG.

Producto de esas pruebas de polinización se seleccionaron las semillas procedentes de los cruzamientos con mayor porcentaje de intercompatibilidad, lo que dio origen a este estudio como parte de la estrategia de mejoramiento (Etapa 1 y 2). Posteriormente, las semillas fueron sembradas a nivel de vivero y las plantas producidas se usaron para establecer en 2016 dos parcelas que incluyen un total de 993 plantas (progenies) procedentes de 58 familias. Se busca con este ensayo la identificación de plantas compatibles, de alta productividad y resistencia a enfermedades y de buena calidad organoléptica que permitan una producción más rentable y sostenible en el país.

Objetivo

Seleccionar los árboles de cacao (progenies) más productivos, resistentes a enfermedades, con alto grado de compatibilidad sexual y con alta calidad física y sensorial de los granos de cacao,

para posteriormente, puedan ser incluidos en la siguiente fase de mejoramiento genético evaluándolos como población clonal.

Materiales y métodos

Se establecieron dos parcelas de evaluación. La primera con un total de 300 plantas o progenies procedentes de cruzamientos o familias, con 20 plantas de cada una; y la segunda, con 693 plantas producto de 43 cruzamientos con 5 a 20 plantas por familia. El estudio está ubicado en el CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida, donde la precipitación anual promedio es de 3,020 mm, temperatura media anual de 27 °C y una altitud de 20 msnm. El primer lote 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.

El segundo lote se estableció en un área ya sombreada con la especie forestal sombra de ternero (*Cordia bicolor*) que se encuentra en un arreglo en cuadro de 9.0 m x 18.0 m. Cada una de las 993 plantas en evaluación constituye un objeto de estudio, a los cuales se les cuantifica la cantidad de los frutos sanos y enfermos. Al primer año de establecido se replantaron los espacios dejados por plantas muertas. Para el caso del lote con sombra de guama y caoba del Atlántico por la indisponibilidad de plantas de los cruzamientos originales, se replantó con individuos de una de las familias interclonales utilizada en el lote sombra de ternero (T53). El Cuadro 3, describe los cruzamientos con sus progenitores, rendimiento potencial de cacao seco (kg/árbol) y porcentaje de intercompatibilidad de sus progenitores (López *et al.* 2017).

Cuadro 3. 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

T	Madre	Padre	Rendimiento potencial ¹ (kg/árbol)		Inter-compatibilidad (%)
			Madre	Padre	
20	EET-95	EET-96	2.0	2.4	80
21	EET-96	EET-95	2.4	2.0	37
22	ICS-6	UF-613	2.6	1.7	73
23	POUND-12	UF-273	1.2	1.4	50
24	Caucasia-39	CCN-51	2.0	2.5	75
25	TSH-565	ICS-1	2.6	1.8	62
26	EET-95	POUND-12	2.0	1.2	43
27	ICS-39	ICS-1	2.0	1.8	76
28	Caucasia-39	ICS-95	2.0	1.9	60
29	Caucasia-37	CCN-51	1.5	2.5	67
30	Caucasia-43	CCN-51	2.1	2.5	39
31	ICS-39	UF-613	2.0	1.7	59
32	SPA-9	FHIA-662	1.0	1.0	67
33	ICS-39	UF-221	2.0	3.4	53
34	Caucasia-47	SCC-61	3.0	1.0	33
35	Caucasia-34	CCN-51	2.4	2.5	83
36	CCN-51	Caucasia-39	2.5	2.0	77
37	TSH-565	UF-667	2.6	2.9	76
8	UF-667	TSH-565	2.9	2.6	30
39	Caucasia-43	ICS-95	2.1	1.9	30
40	ICS-39	UF-676	2.0	3.1	46
41	ICS-39	UF-667	2.0	2.9	31
42	EET-162	EET-96	1.5	2.4	40
43	EET-96	EET-48	2.4	2.6	30
44	TSH-565	IMC-67	2.6	2.3	53
45	IMC-67	FCS-A2	2.3	1.8	33
46	Caucasia-34	CCN-51	2.4	2.5	83
47	ICS-39	UF-676	2.0	3.1	46
48	EET-95	EET-162	2.0	1.5	53
49	Caucasia-34	ICS-95	2.4	1.9	30
50	IMC-67	SCC-61	2.3	1.0	33
51	IMC-67	CCN-51	2.3	1.5	63
52	CCN-51	SCC-61	2.5	1.0	67
53	Caucasia-39	Caucasia-43	2.0	2.1	70
54	POUND-12	EET-400	1.2	1.9	30
55	TSH-565	UF-221	2.6	3.4	40
56	TSH-565	UF-676	2.6	3.1	33
57	TSH-565	ICS-6	2.6	2.6	30
58	Caucasia-34	IMC-67	2.4	2.3	87

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

Manejo de las parcelas. En el 2025 se realizó el mismo manejo agronómico ejecutado en años anteriores: control manual de malezas (chapia) cada 3 meses, poda en el cacao 2 veces al año (junio-julio y enero-febrero) y la fertilización fraccionada en dos aplicaciones, aplicando en el año un total de 80-40-80 kg de N-P₂O₅-K₂O. En los árboles de sombra no se realizó ninguna actividad.

Variables evaluadas. Es importante señalar que, procurando una mejor utilización de los recursos, desde 2023, se inició el seguimiento únicamente de las plantas que demuestran mayor productividad (> 15 frutos por planta). Un total de 168 registros de cosecha se han realizado entre 2020 a 2025, con 28 eventos en 2025. En cada cosecha se recuentan los frutos sanos y afectados por plagas y enfermedades. Adicionalmente, estos últimos dos años en conjunto con la unidad de Poscosecha, se realizaron evaluaciones fisicoquímicas en frutos, semillas y licor de cacao; que incluyen, la determinación del índice de mazorca (IM) que se define como la cantidad de frutos necesarios para hacer un kg de cacao seco de cada progenie promisoria, esto para realizar proyecciones de rendimiento de cacao en kg. También se ha calculado el índice de grano (IG) que corresponde al peso promedio de un grano de cacao seco.

Paralelamente, se midieron las propiedades físicas del fruto: peso en gramos (total, cáscara, semillas placenta), largo y diámetro (cm), cantidad de almendras/semillas, grosor de cáscara del fruto en el surco y lomo (mm), brix, rendimiento cacao baba a seco, porcentaje de basura después del secado. En el grano seco se midieron sus dimensiones en milímetros (largo, ancho y grosor), porcentaje de humedad y cascarilla, así como evaluaciones físicas de los granos en la prueba de corte (porcentaje de granos sobre fermentados, bien fermentando, ligeramente fermentados, pizarrosos y con moho interno). Finalmente, se hicieron los licores en cada una de las progenies evaluadas para conocer de manera exploratoria los atributos organolépticos (cacao, acidez, amargor, astringencia, floral, nuez, habas verdes y otros) de las progenies promisorias. Los resultados de estos atributos organolépticos serán completados y publicados en 2026.

Resultados preliminares

Lote 1 (guama): El análisis de los datos de 2025 en el lote con guama del CEDEC-JAS mantiene un desempeño productivo y sanitario sólido comparado al año anterior y al promedio histórico 2020-2024. En cuanto a la producción de frutos sanos, la media general de 2025 (32.4 frutos/planta) se mantuvo cercana a la alta cifra registrada en 2024 (37) y por encima del promedio histórico (28.5). Progenies como A187T5 volvieron a destacar de manera excepcional, alcanzando 92.0 frutos sanos, un incremento notable respecto a sus 70.0 frutos en 2024. Otras como A103T10 y A27T6 también mostraron aumentos considerables, pasando de 49.0 a 60.0 y de 36.0 a 53.0 frutos sanos, respectivamente, evidenciando una respuesta productiva vigorosa y consistente en los materiales mejor adaptados (Cuadro 4 y Figura 5b).

La incidencia de enfermedades se mantuvo excepcionalmente baja en 2025, consolidando el excelente perfil sanitario observado previamente. La media de frutos con mazorca negra (MN) fue de solo 0.8 por planta, superior a la de 2024 (0.1) y al promedio histórico (0.5). Es destacable que 15 de las 29 progenies (51.7 %) no registraron ningún fruto con MN en 2025, mostrando una tolerancia o resistencia altamente efectiva bajo condiciones de presión de inóculo natural. La moniliasis (Mon) presentó una incidencia aún menor, con una media de 0.1 fruto/planta en 2025, cifra muy inferior al promedio histórico (1.0) y a la de 2024 (0.8). Este resultado sugiere que las condiciones climáticas de 2025 y/o el manejo aplicado fueron excepcionalmente desfavorables para el desarrollo de esta enfermedad (Cuadro 4 y Figura 5b).

El rendimiento estimado de cacao seco para 2025 confirma el alto potencial productivo de las progenies más destacadas. A187T5 volvió a liderar con un rendimiento estimado excepcional de 4,776 kg/ha, superando incluso su alto rendimiento de 2024 (3,377 kg/ha). Otras como A266T4 (3,076 kg/ha), A122T15 (2,624 kg/ha) y A72T14 (2,182 kg/ha) también mostraron rendimientos

muy por encima de la media general (1,552 kg/ha). Estos resultados subrayan no solo una alta productividad en número de frutos, sino también una buena calidad y eficiencia de transformación en estos materiales. En contraste, algunas progenies como A141T53 (165 kg/ha) y A183T13 (459 kg/ha) confirmaron su bajo rendimiento, información clave para la selección y descarte de materiales. (Cuadro 4 y Figura 5a y b).

Al comparar el grupo de progenies promisorias con la media general en 2025, se observa que, si bien el promedio de frutos sanos (29.3) fue ligeramente inferior a la media general (32.4), el rendimiento estimado en cacao seco (1,718 kg/ha) fue superior a dicha media (1,552 kg/ha). Esto refuerza la observación de que estas progenies seleccionadas combinan una productividad aceptable con una mayor eficiencia de transformación, reflejada en un mayor índice de mazorca o peso del grano.

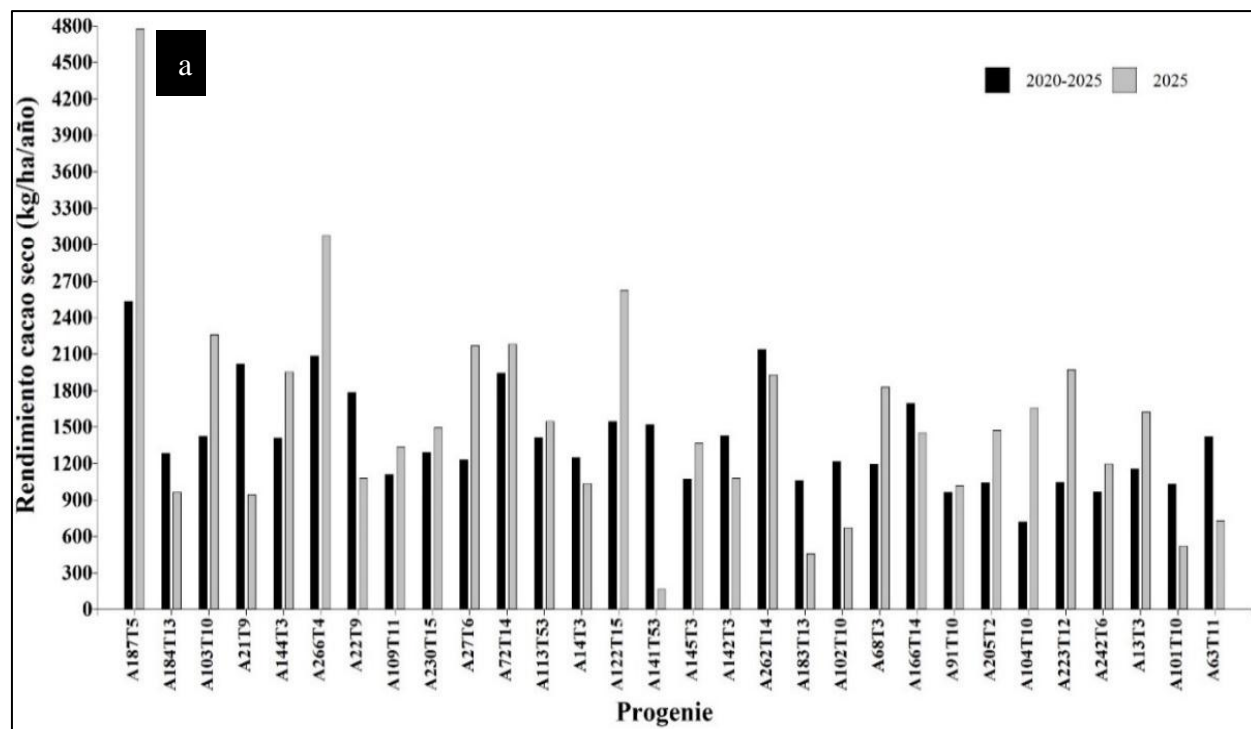
En términos sanitarios, las progenies promisorias mostraron una incidencia de enfermedades similar a la media general en 2025, manteniendo un perfil sanitario adecuado (Cuadro 4). Se confirma la superioridad agronómica de progenies como A187T5, A266T4 y A122T15, caracterizadas por una alta producción de frutos sanos, una notable tolerancia a enfermedades.

Cuadro 4. Promedio y desviación estándar (DE) de la producción de frutos sanos por árbol y afectados por enfermedades en el lote con guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025.

Progenie	Frutos/planta				Cacao seco (kg/ha) 2025	Frutos/planta 2020-2025			Prom. Cacao seco kg/ha/año
	Sanos		Enfermos			Sanos	Enfermos		
	7° (2024)	8° (2025)	MN (2025)	Mon (2025)			Media ± DE	MN Media ± DE	
A187T5	70.0	92.0	0.0	0.0	4776	48.8±32.0	0.6±0.9	1.0±1.7	2534
A184T13	71.0	29.0	2.0	0.0	962	38.7± 18.0	1.2±1.2	2.2±2.5	1282
A103T10	49.0	60.0	0.0	0.0	2260	37.8±18.2	0.2±0.5	1.6±2.1	1424
A21T9	21.0	17.0	0.0	0.0	940	36.5±20.3	2.0±4.9	0.83±1.0	2017
A144T3	50.0	48.0	0.0	0.0	1953	34.6±13.4	0.0±0.0	0.6±0.9	1408
A266T4	40.0	49.0	0.0	0.0	3076	33.2±11.0	1±1.0	1.8±2.1	2084
A22T9	30.0	20.0	0.0	0.0	1076	33.17±17.6	0.33±0.8	1.17±1.3	1784
A109T11	60.0	37.0	0.0	0.0	1337	30.67±17.9	0.2±0.4	2.0±4.0	1108
A230T15	51.0	35.0	0.0	0.0	1496	30.2±13.6	0.4±0.6	1.4±1.5	1290
A27T6	36.0	53.0	0.0	0.0	2169	30±18.4	0±0.0	0.4±0.9	1228
A72T14	37.0	33.0	2.0	1.0	2182	29.33±10.9	0.67±0.8	0.67±0.5	1940
A113T53	55.0	31.0	0.0	0.0	1544	28.4±17.6	0.6±1.3	0.4±0.6	1415
A14T3	54.0	23.0	0.0	0.0	1035	27.8±17.5	0.0±0.0	0.2±0.5	1250
A122T15	30.0	47.0	4.0	0.0	2624	27.67±14.0	2.3±2.7	0.2±0.4	1545
A141T53	17.0	3.0	0.0	0.0	165	27.7±26.0	0.0±0.0	1.2±1.8	1522
A145T3	34.0	34.0	0.0	0.0	1366	26.7±8.3	0.2±0.4	0.7±0.8	1071
A142T3	29.0	20.0	0.0	0.0	1079	26.5±13.9	0.2±0.4	1.0±1.3	1429
A262T14	56.0	23.0	2.0	0.0	1929	25.5±18.1	0.83±1.0	1.17±2.4	2138
A183T13	23.0	11.0	1.0	0.0	459	25.4±9.5	0.2±0.5	0.4±0.9	1059
A102T10	35.0	14.0	0.0	0.0	672	25.3±11.6	1.0±2.0	1.5±1.9	1216

Progenie	Frutos/planta				Cacao seco (kg/ha) 2025	Frutos/planta 2020-2025			Prom. Cacao seco kg/ha/año
	Sanos		Enfermos			Sanos Media ± DE	Enfermos		
	7° (2024)	8° (2025)	MN (2025)	Mon (2025)			MN Media ± DE	Mon Media ± DE	
A68T3	31.0	38.0	8.0	0.0	1828	24.8±16.0	1.8±3.5	0.2±0.5	1193
A166T14	34.0	21.0	0.0	0.0	1454	24.5±10.5	0.3±0.5	3.2±3.2	1696
A91T10	32.0	25.0	0.0	0.0	1017	23.67±8.9	0.33±0.5	1.67±2.0	963
A205T2	37.0	33.0	0.0	0.0	1469	23.4±12.9	0.0±0.0	0.8±0.8	1042
A104T10	6.0	53.0	0.0	0.0	1656	23.0±21.5	0.0±0.0	0.8±1.2	719
A223T12	32.0	43.0	3.0	0.0	1970	22.8±16.7	1.0±1.6	0.3±0.5	1046
A242T6	35.0	28.0	1.0	0.0	1196	22.6±14.3	0.2±0.5	0.2±0.5	966
A13T3	22.0	31.0	0.0	1.0	1625	22.0±9.8	0.4±0.6	2.0±1.4	1153
A101T10	12.0	11.0	0.0	1.0	522	21.7±20.1	0.2±0.4	1.0±1.1	1029
A63T11	22.0	11.0	0.0	0.0	730	21.4±8.6	0±0.0	0.4±0.9	1419
Media general	37.0	32.4	0.8	0.1	1552	28.5±15.6	0.5±0.9	1.0±1.4	1399
*Media promisorias	34.1	29.3	0.6	0.2	1718	29.4±15.7	0.7±1.2	1.2±1.5	1729

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



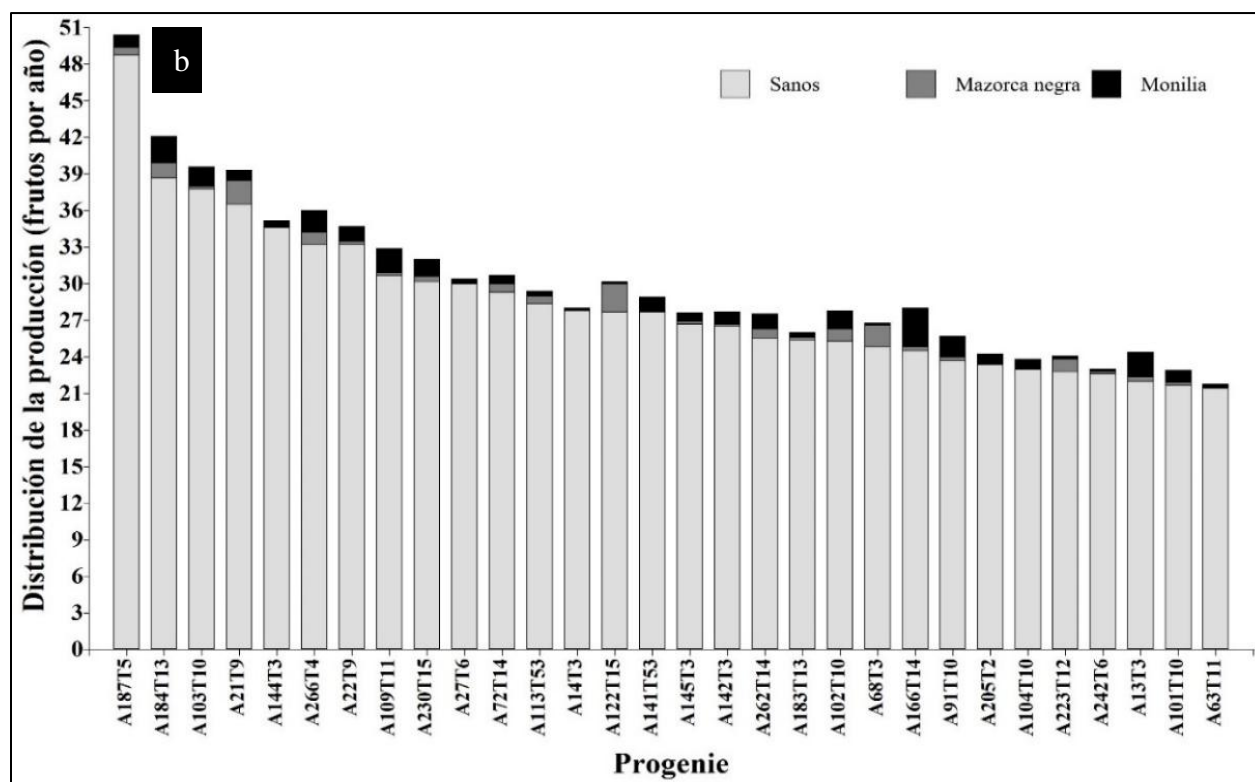


Figura 9. Producción y sanidad de las progenies de cacao con sombra de guama. a) Comparación del rendimiento seco promedio (2020-2024) y del 2024 expresado en kg/ha/año. b) Cantidad de frutos sanos y enfermos. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras.

Mediciones fisicoquímicas de frutos. El lote guama corrobora el desempeño superior de un grupo selecto de progenies, destacándose aquellas con atributos clave para la eficiencia productiva y la calidad industrial. Entre ellas, A262T14 se consolida como un material excepcional, presentando el índice de mazorca (IM) más bajo (12.1) (Cuadro 5) registrado, dato incluso menor a 2024 con un IM de 14.4 (Cuadro 6) entre ambos años obtiene un promedio de 13.3 IM (Cuadro 7), lo que indica una altísima eficiencia en la transformación de fruto fresco a grano seco. Esta progenie también exhibe un peso de baba muy elevado (213 g) y granos de tamaño considerable (1.79 g), una combinación de rasgos directamente vinculada a un mayor rendimiento potencial por hectárea. Otras progenies como A63T11, A266T4 y A72T14 también muestran perfiles sobresalientes, con pesos de baba y grano muy por encima del promedio y valores de IM favorables, confirmando su potencial como materiales genéticos de alto valor (Cuadro 7 y 8).

Este 2025, al comparar el grupo de progenies clasificadas como promisorias con la media general de todas las familias evaluadas, se evidencia una superioridad consistente en los indicadores más críticos para la rentabilidad. Este grupo presenta un peso de baba significativamente mayor (154.4 g frente a 127.3 g), un peso del grano individual más alto (1.53 g frente a 1.28 g) y, de manera crucial, un índice de mazorca mucho más favorable (18.3 frente a 23.3). Estos resultados validan objetivamente los criterios de selección empleados, los cuales priorizaron de manera acertada las características productivas, físicas del fruto y grano que predicen una mayor producción de cacao seco por unidad de área (Cuadro 7).

El análisis de correlaciones entre la agronomía y características del fruto. Entre las correlaciones más importantes, el rendimiento (kg/ha/año) muestra correlaciones positivas y estadísticamente significativas con el peso de la baba (PB) (R=0.52, p=0.003) y el índice de grano (IG) (R=0.55, p=0.002). Un hallazgo crucial es la fuerte correlación negativa entre el índice de mazorca (IM) y el rendimiento (R=-0.67, p=0.000). El IM representa el número de frutos necesarios para producir un kilogramo de cacao seco; por lo tanto, un valor más bajo indica frutos más pesados o granos con mayor rendimiento interno. Esta correlación negativa fuerte valida al IM como uno de los indicadores más importantes para la selección indirecta de alto rendimiento. Seleccionar materiales con un IM bajo (menos frutos por kg de cacao seco) conducirá eficientemente a mayores rendimientos. Además, el IM también se correlaciona negativa y muy significativamente con el peso de la baba (PB) (R=-0.87, p=0.000) y el peso del grano (IG) (R=-0.78, p=0.000), lo que refuerza su eficiencia productiva (Cuadro 5). Respecto a las enfermedades, los resultados son alentadores ya que no se encontraron correlaciones positivas significativas entre el rendimiento (kg/ha/año) y la incidencia de mazorca negra (MN) o moniliasis (Mon). Esto sugiere que es posible combinar alto rendimiento con buena tolerancia a estas enfermedades, lo cual es esencial para desarrollar variedades resilientes.

Finalmente, la correlación positiva significativa entre el rendimiento y el número de frutos sanos (FS) (R=0.63, p=0.0002) es un resultado esperado pero vital, ya que vincula directamente la sanidad en campo (baja incidencia de enfermedades) con el resultado final de producción. En resumen, para la selección de materiales superiores, el análisis señala que se debe priorizar la combinación de: 1) un índice de mazorca (IM) bajo, 2) un alto peso de baba (PB) y de grano (IG), y 3) una alta cantidad de frutos sanos (FS). La ausencia de pérdidas por enfermedades en los materiales de alto rendimiento abre un camino prometedor para el mejoramiento genético, permitiendo seleccionar simultáneamente por productividad y sostenibilidad sanitaria (Cuadro 8).

Cuadro 5. Correlación de Pearson: coeficientes / probabilidades de las variables físicas del fruto y agronómicas de progenies de cacao con antes sombra de guama. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2024-2025.

Variables	PF (g)	L (cm)	D (cm)	PB (g)	PP (g)	# Almedra	PC (g)	GCL (mm)	GCS (mm)	Brix	IM	IG (g)	RBaS	FS	MN	Mon	kg/ha/año
PF (g)	1	0.0000	0.0000	0.0001	0.0038	0.0611	0.0000	0.0000	0.0000	0.4960	0.0004	0.0090	0.5832	0.0765	0.8745	0.8236	0.1659
L (cm)	0.76	1	0.0408	0.0055	0.0431	0.0292	0.0000	0.0371	0.0556	0.5713	0.0281	0.4669	0.1097	0.0334	0.7594	0.5368	0.8059
D (cm)	0.81	0.36	1	0.0018	0.0355	0.3519	0.0000	0.0000	0.0001	0.2187	0.0004	0.0012	0.6456	0.2891	0.9256	0.7551	0.0704
PB (g)	0.64	0.48	0.53	1	0.3990	0.0022	0.0039	0.3575	0.1645	0.7899	0.0000	0.0000	0.4985	0.1745	0.6992	0.8360	0.0031
PP (g)	0.50	0.36	0.37	0.15	1	0.9985	0.0039	0.1633	0.1377	0.2370	0.4801	0.7481	0.0867	0.4767	0.3098	0.2367	0.9936
# Almedras	0.33	0.39	0.17	0.52	0.00	1	0.1445	0.7800	0.6542	0.1049	0.0034	0.8401	0.5644	0.8457	0.0827	0.5073	0.0550
PC (g)	0.98	0.75	0.80	0.50	0.50	0.26	1	0.0000	0.0000	0.4369	0.0068	0.0536	0.6911	0.0904	0.8911	0.8790	0.3618
GCL (mm)	0.75	0.37	0.70	0.17	0.25	-0.05	0.81	1	0.0000	0.4954	0.2987	0.1531	0.4862	0.5461	0.7329	0.3114	0.7241
GCS (mm)	0.72	0.34	0.62	0.25	0.27	0.08	0.76	0.80	1	0.3223	0.1518	0.1300	0.3754	0.6773	0.8223	0.7212	0.4821
Brix	0.12	0.10	0.22	0.05	-0.22	0.29	0.14	0.13	0.18	1	0.1502	0.9902	0.0075	0.2936	0.4149	0.7625	0.9776
IM	-0.59	-0.39	-0.59	-0.87	-0.13	-0.50	-0.47	-0.19	-0.26	-0.26	1	0.0000	0.1873	0.5712	0.1596	0.9235	0.0000
IG (g)	0.45	0.13	0.55	0.75	0.06	-0.04	0.34	0.26	0.27	0.00	-0.78	1	0.1651	0.5659	0.6798	0.3407	0.0016
RBaS	-0.10	-0.29	0.08	-0.12	-0.31	-0.11	-0.07	0.13	0.16	0.46	-0.24	0.25	1	0.1334	0.0178	0.0500	0.0603
FS	-0.33	-0.39	-0.20	-0.25	-0.14	-0.04	-0.31	-0.11	-0.08	-0.20	0.11	-0.11	0.28	1	0.3104	0.3954	0.0002
MN	0.03	-0.06	0.02	0.07	-0.19	0.32	0.03	0.07	-0.04	0.15	-0.26	0.08	0.43	0.19	1	0.6430	0.0696
Mon	-0.04	-0.12	0.06	-0.04	-0.22	-0.13	-0.03	0.19	0.07	-0.06	-0.02	0.18	0.36	0.16	-0.09	1	0.4079
kg/ha/año	0.26	0.05	0.33	0.52	0.00	0.35	0.17	0.07	0.13	0.01	-0.67	0.55	0.35	0.63	0.34	0.16	1

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

Cuadro 6. Promedio de las mediciones fisicoquímicas en los frutos de cacao de las en el lote con guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2024.

Progenie	Frutos evaluados	Peso fruto (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Peso baba (g)	Peso placenta (g)	# Almendras fruto	Peso de cáscara (g)	Grosor de cáscara en lomo (mm)	Grosor de cáscara en surco (mm)	Brix	IM	IG (g)	Rendimiento baba-seco
A187T5	29	613.3	16.1	9.3	119.3	21.4	35.8	472.6	16.7	14.1	13.8	23.0	1.26	0.37
A184T13	15	418.7	14.8	8.2	69.0	7.0	35.4	342.7	16.5	12.0	15.0	35.8	0.81	0.41
A103T10	33	582.9	17.1	9.0	110.2	18.0	48.3	454.7	15.6	13.1	13.3	29.7	1.01	0.33
A21T9	10	631.0	19.6	9.0	100.8	6.8	36.9	523.4	18.0	13.3	18.6	21.5	1.26	0.46
A144T3	22	541.7	17.4	9.0	103.7	14.7	39.3	423.3	16.4	12.5	16.4	26.9	1.04	0.37
A266T4	3	658.1	17.1	10.1	137.0	15.7	39.7	505.4	17.2	11.2	12.0	18.0	1.49	0.41
A22T9	6	672.4	21.1	8.9	151.2	15.0	42.8	506.1	15.8	10.0	12.0	20.2	1.2	0.33
A109T11	4	599.0	15.6	9.5	97.8	12.9	29.3	488.3	18.8	12.5	11.7	31.8	1.24	0.34
A230T15	9	528.3	17.1	8.7	97.8	9.2	34.0	421.3	16.9	13.0	16.3	25.9	1.23	0.41
A27T6	7	519.5	16.3	9.1	83.7	14.5	29.4	421.3	15.4	11.4	14.0	30.1	1.15	0.41
A72T14	2	1046.0	23.1	10.8	181.5	27.0	45.5	837.5	21.0	13.8	17.4	17.4	1.4	0.32
A113T53	17	650.2	19.6	8.9	116.6	14.0	44.5	519.6	16.6	11.5	15.0	25.4	0.89	0.35
A14T3	11	709.1	18.3	9.7	118.2	17.6	38.8	573.3	18.6	15.0	13.2	25.0	1.06	0.36
A122T15	10	550.1	16.8	9.1	132.5	13.4	43.3	404.3	14.1	11.6	14.3	21.4	1.2	0.37
A141T53	1	661.1	19.0	10.2	129.7	10.3	41.0	521.1	16.0	12.0	18.0	20.2	1.2	0.38
A145T3	4	580.8	19.3	8.7	94.7	21.5	30.3	464.6	15.1	11.8	13.0	28.7	1.14	0.37
A142T3	13	647.4	17.1	9.7	106.4	12.8	41.9	528.1	16.4	13.1	17.1	20.6	1.2	0.42
A262T14	30	823.0	20.1	9.6	178.1	16.0	47.9	629.0	18.1	14.8	14.7	14.4	1.47	0.39
A183T13	15	461.4	15.6	8.3	102.9	16.4	32.1	342.1	14.8	10.0	16.5	29.3	1.18	0.34
A102T10	19	674.0	18.6	9.5	128.3	13.8	43.7	532.0	17.8	12.1	16.7	21.1	1.2	0.40
A68T3	13	734.4	19.4	9.4	121.5	18.6	47.9	594.3	18.2	12.3	15.8	24.1	0.92	0.37
A166T14	4	614.8	19.1	9.1	151.5	12.5	38.0	450.8	15.8	12.0	16.2	16.2	1.63	0.42
A91T10	14	667.3	20.7	9.2	96.0	12.8	33.9	558.4	18.5	12.9	15.3	27.8	0.85	0.39
A205T2	15	654.5	20.0	9.0	110.3	32.7	37.0	511.5	16.1	12.2	13.3	28.2	0.97	0.32
A104T10	4	706.9	19.0	9.1	98.7	11.9	32.5	596.3	18.0	14.9	16.1	35.5	1.02	0.36
A223T12	17	659.8	18.0	9.7	114.5	15.5	31.1	529.8	18.4	13.2	15.9	24.3	1.44	0.35
A242T6	22	813.2	21.7	9.6	130.1	25.2	38.2	658.0	18.9	14.4	15.1	23.2	1.13	0.34
A13T3	8	942.6	19.7	10.6	155.0	20.4	48.5	767.3	21.1	17.1	15.9	17.9	1.2	0.37
A101T10	9	611.1	21.1	8.7	131.4	12.9	49.3	466.8	14.7	10.5	18.3	21.2	0.99	0.39
A63T11	10	591.5	17.8	8.9	156.6	12.2	34.4	422.7	15.5	11.7	14.0	21.5	1.55	0.32
A32T12	12	718.0	17.8	10.0	96.1	14.1	29.3	607.8	19.2	15.8	16.9	25.5	1.44	0.42
A66T3	6	482.7	16.7	8.9	89.2	16.1	37.8	377.5	15.2	9.7	14.0	32.2	0.84	0.35
Media general	394	648.9	18.5	9.3	119.1	15.7	38.7	514.1	17.0	12.7	15.2	24.5	1.18	0.37
Promisori	145	701.9	18.9	9.6	140.6	15.2	41.5	546.2	17.2	12.8	15.4	19.5	1.33	0.38

Cuadro 7. Promedio de las mediciones fisicoquímicas en los frutos de cacao de las en el lote con guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2025.

Progenie	Frutos evaluados	Peso fruto (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Peso baba (g)	Peso placenta (g)	# Almendras fruto	Peso de cáscara (g)	Grosor de cáscara en lomo (mm)	Grosor de cáscara en surco (mm)	Brix	IM	IG (g)	Rendimiento baba-seco
A187T5	61	721.0	16.7	9.6	127.0	23.0	36.0	571.0	19.0	16.0	14.1	19.8	1.43	0.40
A184T13	20	456.0	15.5	8.4	76.0	11.0	40.0	369.0	18.0	13.0	14.8	31.2	0.80	0.42
A103T10	37	526.0	17.0	8.7	98.0	14.0	35.0	414.0	16.0	13.0	12.4	29.3	0.98	0.35
A21T9	11	768.0	21.4	9.2	136.0	14.0	42.0	618.0	20.0	15.0	14.7	18.7	1.32	0.41
A144T3	29	596.0	17.2	9.2	103.0	14.0	37.0	479.0	18.0	14.0	14.5	27.7	1.07	0.36
A266T4	26	802.0	16.4	10.6	149.0	27.0	32.0	627.0	21.0	13.0	14.5	17.4	1.82	0.39
A22T9	13	710.0	21.3	9.0	138.0	14.0	37.0	557.0	17.0	12.0	13.1	21.1	1.28	0.35
A109T11	24	645.0	15.4	9.6	87.0	13.0	27.0	545.0	22.0	14.0	12.8	29.7	1.28	0.40
A230T15	18	481.0	15.1	8.7	85.0	11.0	31.0	386.0	17.0	12.0	16.4	26.1	1.16	0.46
A27T6	40	787.0	17.9	10.1	124.0	33.0	34.0	630.0	19.0	16.0	12.1	24.2	1.26	0.34
A72T14	15	833.0	19.3	10.1	153.0	22.0	42.0	658.0	19.0	14.0	15.7	16.2	1.46	0.39
A113T53	16	827.0	20.9	9.5	150.0	18.0	49.0	658.0	18.0	13.0	15.2	19.2	1.07	0.35
A14T3	11	658.0	17.9	9.6	112.0	12.0	37.0	534.0	18.0	14.0	15.3	24.4	1.18	0.37
A122T15	15	575.0	16.2	9.1	140.0	16.0	40.0	419.0	14.0	11.0	14.2	18.4	1.41	0.40
A141T53														
A145T3	14	605.0	19.3	8.6	111.0	20.0	37.0	474.0	15.0	11.0	13.7	26.6	1.12	0.38
A142T3	10	749.0	18.7	9.7	156.0	27.0	39.0	566.0	19.0	16.0				
A262T14	12	1241.0	23.7	10.9	213.0	20.0	46.0	1009.0	23.0	20.0	14.3	12.1	1.79	0.39
A183T13	4	427.0	14.9	8.2	110.0	19.0	44.0	298.0	14.0	10.0	15.4	24.0	0.89	0.38
A102T10	8	871.0	19.7	10.2	132.0	21.0	34.0	718.0	22.0	17.0	15.5	25.2	1.34	0.33
A68T3	24	848.0	19.3	10.1	119.0	20.0	42.0	710.0	21.0	15.0	15.1	22.1	1.09	0.38
A166T14	10	737.0	19.1	9.6	155.0	15.0	36.0	567.0	17.0	13.0	14.5	15.9	1.79	0.41
A91T10	21	1007.0	22.7	10.3	115.0	34.0	30.0	858.0	23.0	16.0	12.9	26.8	1.32	0.33
A205T2	25	896.0	21.7	9.8	128.0	31.0	40.0	736.0	19.0	15.0	14.6	21.7	1.18	0.37
A104T10	37	611.0	18.3	8.8	90.0	17.0	31.0	504.0	19.0	14.0	13.3	35.6	0.97	0.33
A223T12	23	495.0	14.9	8.8	100.0	11.0	34.0	384.0	16.0	12.0	14.9	24.2	1.26	0.42
A242T6	19	806.0	21.4	9.4	102.0	19.0	31.0	684.0	19.0	15.0	14.2	28.8	1.14	0.34
A13T3	18	626.0	17.0	9.3	113.0	13.0	39.0	501.0	18.0	15.0	14.9	24.5	1.09	0.37
A101T10	6	804.0	20.7	9.7	121.0	18.0	34.0	666.0	21.0	16.0	13.5	25.6	1.29	0.35
A63T11	4	866.0	19.4	10.1	241.0	16.0	39.0	609.0	19.0	15.0	13.3	12.0	2.13	0.35
A32T12	5	1048.0	18.6	11.2	144.0	25.0	37.0	878.0	24.0	18.0	17.1	16.4	1.65	0.43
A66T3	9	596.0	17.8	8.9	118.0	14.0	35.0	464.0	16.0	12.0	14.6	34.5	0.89	0.36
Media general	585	729.6	18.6	9.5	127.3	18.8	37.0	583.6	18.7	14.2	14.4	23.3	1.28	0.39
Promisori	203	791.6	19.1	9.8	154.4	19.0	38.5	618.3	19.0	14.8	14.4	18.3	1.53	0.38

Cuadro 8. Promedio de las mediciones fisicoquímicas en los frutos de cacao en el lote con guama en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2024-2025

Progenie	Frutos evaluados	Peso fruto (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Peso baba (g)	Peso placenta (g)	# Almendras fruto	Peso de cáscara (g)	Grosor de cáscara en lomo (mm)	Grosor de cáscara en surco (mm)	Brix	IM	IG (g)	Rendimiento baba-seco
A187T5	90	667.1	16.4	9.4	123.2	22.2	35.9	521.8	17.9	15.1	13.9	21.4	1.34	0.39
A184T13	35	437.4	15.2	8.3	72.5	9.0	37.7	355.9	17.3	12.5	14.9	33.5	0.81	0.41
A103T10	70	554.5	17.1	8.8	104.1	16.0	41.6	434.4	15.8	13.1	12.8	29.5	0.99	0.34
A21T9	21	699.5	20.5	9.1	118.4	10.4	39.5	570.7	19.0	14.2	16.6	20.1	1.29	0.43
A144T3	51	568.9	17.3	9.1	103.3	14.3	38.1	451.1	17.2	13.3	15.4	27.3	1.05	0.36
A266T4	29	730.0	16.8	10.3	143.0	21.4	35.9	566.2	19.1	12.1	13.3	17.7	1.66	0.40
A22T9	19	691.2	21.2	8.9	144.6	14.5	39.9	531.5	16.4	11.0	12.6	20.6	1.24	0.34
A109T11	28	622.0	15.5	9.6	92.4	12.9	28.1	516.6	20.4	13.3	12.3	30.8	1.26	0.37
A230T15	27	504.6	16.1	8.7	91.4	10.1	32.5	403.6	16.9	12.5	16.4	26.0	1.20	0.43
A27T6	47	653.3	17.1	9.6	103.8	23.8	31.7	525.6	17.2	13.7	13.1	27.1	1.21	0.38
A72T14	17	939.5	21.2	10.4	167.3	24.5	43.8	747.8	20.0	13.9	16.6	16.8	1.43	0.35
A113T53	33	738.6	20.3	9.2	133.3	16.0	46.8	588.8	17.3	12.3	15.1	22.3	0.98	0.35
A14T3	22	683.5	18.1	9.7	115.1	14.8	37.9	553.6	18.3	14.5	14.3	24.7	1.12	0.36
A122T15	25	562.5	16.5	9.1	136.3	14.7	41.6	411.6	14.1	11.3	14.3	19.9	1.30	0.39
A141T53	1	661.1	19.0	10.2	129.7	10.3	41.0	521.1	16.0	12.0	18.0	20.2	1.20	0.38
A145T3	18	592.9	19.3	8.7	102.8	20.8	33.6	469.3	15.1	11.4	13.3	27.6	1.13	0.38
A142T3	23	698.2	17.9	9.7	131.2	19.9	40.5	547.0	17.7	14.6	17.1	20.6	1.20	0.42
A262T14	42	1032.0	21.9	10.3	195.6	18.0	47.0	819.0	20.6	17.4	14.5	13.3	1.63	0.39
A183T13	19	444.2	15.3	8.3	106.5	17.7	38.0	320.1	14.4	10.0	15.9	26.6	1.03	0.36
A102T10	27	772.5	19.1	9.8	130.2	17.4	38.9	625.0	19.9	14.6	16.1	23.1	1.27	0.36
A68T3	37	791.2	19.4	9.8	120.3	19.3	45.0	652.1	19.6	13.7	15.4	23.1	1.00	0.38
A166T14	14	675.9	19.1	9.3	153.3	13.8	37.0	508.9	16.4	12.5	15.3	16.1	1.71	0.41
A91T10	35	837.1	21.7	9.8	105.5	23.4	31.9	708.2	20.8	14.4	14.1	27.3	1.08	0.36
A205T2	40	775.3	20.9	9.4	119.2	31.9	38.5	623.8	17.6	13.6	13.9	24.9	1.07	0.34
A104T10	41	659.0	18.6	8.9	94.3	14.4	31.8	550.1	18.5	14.4	14.7	35.5	0.99	0.34
A223T12	40	577.4	16.4	9.3	107.3	13.3	32.5	456.9	17.2	12.6	15.4	24.3	1.35	0.39
A242T6	41	809.6	21.6	9.5	116.0	22.1	34.6	671.0	18.9	14.7	14.7	26.0	1.14	0.34
A13T3	26	784.3	18.4	9.9	134.0	16.7	43.8	634.1	19.6	16.1	15.4	21.2	1.15	0.37
A101T10	15	707.5	20.9	9.2	126.2	15.4	41.6	566.4	17.9	13.3	15.9	23.4	1.14	0.37
A63T11	14	728.8	18.6	9.5	198.8	14.1	36.7	515.9	17.3	13.3	13.7	16.8	1.84	0.34
A32T12	17	883.0	18.2	10.6	120.0	19.6	33.1	742.9	21.6	16.9	17.0	20.9	1.54	0.42
A66T3	15	539.4	17.3	8.9	103.6	15.1	36.4	420.8	15.6	10.8	14.3	33.4	0.86	0.35
Media general	979	688.2	18.5	9.4	123.2	17.1	37.9	547.9	17.9	13.4	14.9	23.8	1.23	0.38
Promisori	348	741.7	19.0	9.7	146.6	16.8	40.1	578.5	18.0	13.7	15.2	19.1	1.40	0.38

La Figura 10 muestra el análisis de conglomerados de las progenies de cacao basado en los principales índices agronómicos (peso de baba por fruto, Índice de mazorca, índice de grano y rendimiento de cacao seco). El dendrograma evidencia una clara separación en dos grandes grupos, lo que indica la existencia de diferencias marcadas en el desempeño agronómico entre las progenies evaluadas. El primer conglomerado, integrado mayoritariamente por las 13 progenies clasificadas como promisorias, se caracteriza por presentar los valores más altos y favorables de los índices agronómicos, reflejando una alta eficiencia productiva y un comportamiento homogéneo entre sus integrantes. La corta distancia de agrupamiento dentro de este grupo sugiere que estas progenies no difieren significativamente entre sí en términos de rendimiento y eficiencia.

En contraste, el segundo conglomerado agrupa a las progenies con valores agronómicos intermedios o inferiores, mostrando una mayor dispersión interna y, por ende, una variabilidad más amplia en su desempeño productivo. En conjunto, estos resultados refuerzan que las 13 progenies promisorias presentan un perfil productivo superior y relativamente uniforme, lo que las posiciona como materiales de alto valor para programas de mejoramiento genético y mejoramiento productivo en sistemas cacaoteros.

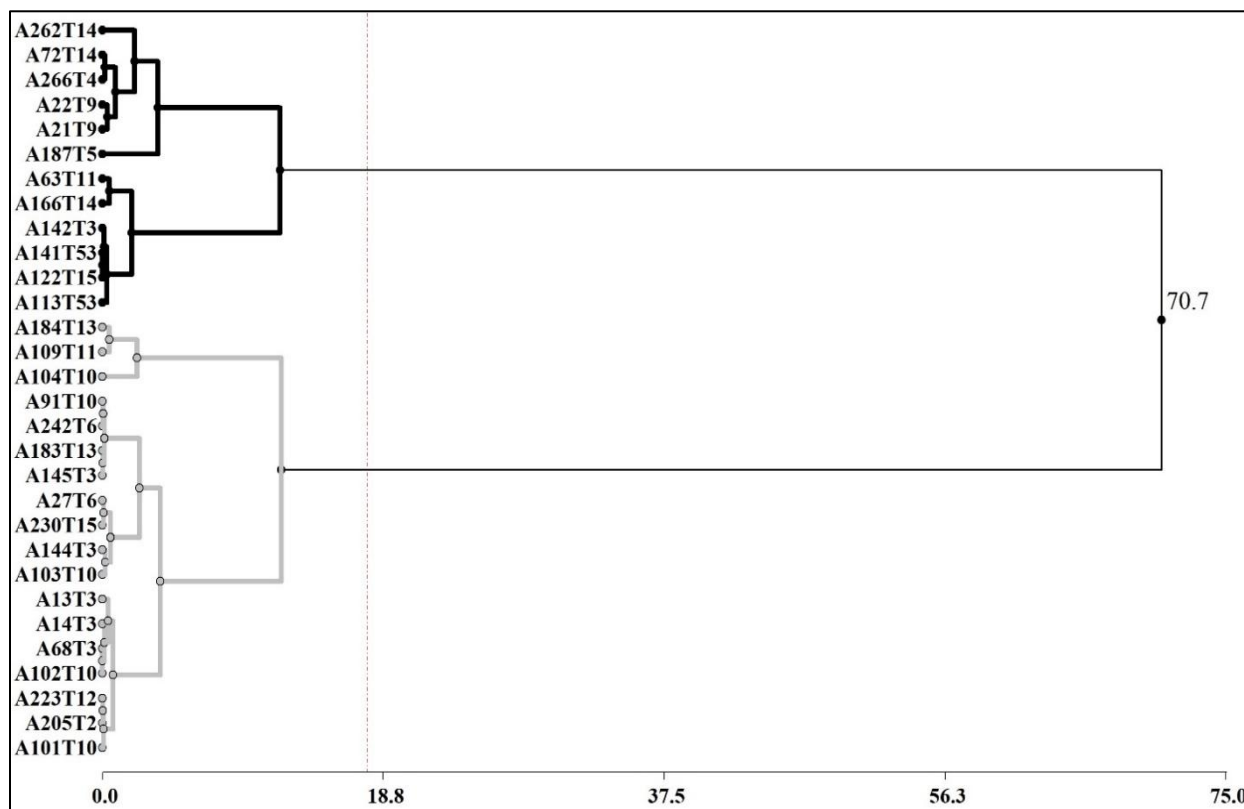


Figura 10. Conglomerados de progenies de cacao en lote guama de acuerdo al Índice de Mazorca y rendimiento de cacao seco. La Masica, Atlántida, Honduras. 2025.

Lote 2 (Sombra de ternero). A diferencia de las progenies del lote guama, las progenies de este otro lote presentan una disminución de la producción de frutos en 2024. La producción media de frutos sanos por planta fue de 23.9 ± 13.5 , mostrando una variabilidad considerable entre progenies. Destacan progenies como el A652T58, que alcanzó 39 frutos sanos en 2024 y mantuvo

un promedio de 33.0 ± 17.5 , confirmando su alto potencial productivo. Le siguen A619T28 y A591T24 con promedios de 27.0 y 26.4 frutos respectivamente, los cuales no solo sobresalen en rendimiento, sino que además presentan una incidencia reducida de enfermedades como la mazorca negra (MN) y la moniliasis (Mon), lo que los convierte en candidatos sólidos para selección en ambientes con presión fitosanitaria media (Cuadro 9 y Figura 11).

En cuanto a la respuesta a enfermedades, se observa un perfil sanitario diferenciado entre las progenies evaluadas. La mazorca negra afectó con mayor intensidad a A648T23 y A652T58 mientras que, la moniliasis fue más severa en A645T23 y A342T16. Sin embargo, materiales como A622T19 y A342T16 registraron incidencia nula o casi nula de mazorca negra, sugiriendo una posible resistencia genética a este patógeno. Por otro lado, A591T24 mostró una combinación destacada: alta producción junto con muy baja presencia de ambas enfermedades, lo que la posiciona como una progenie particularmente equilibrada y promisoría para sistemas de producción con bajo uso de fungicidas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Promedio y desviación estándar (DE) Producción de frutos sanos por árbol y afectados por enfermedades en el lote sombra de ternero en diferentes familias interclonales de cacao seleccionadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025.

Progenie	Frutos/planta				Frutos/planta 2020-2025		
	Sanos		Enfermos		Sanos Media \pm DE	Enfermos	
	7° (2024)	8° (2025)	MN (2025)	Mon (2025)		MN Media \pm DE	Mon Media \pm DE
A652T58	39	10	0	0	33.0 \pm 17.5	3.3 \pm 6.3	4.0 \pm 3.5
A619T28	30	8	5	0	27.0 \pm 16.8	1.6 \pm 2.3	3.0 \pm 3.2
A591T24	13	23	0	0	26.4 \pm 12.1	0.8 \pm 0.8	1.6 \pm 1.8
A326T53	26	35	0	2	24.0 \pm 7.2	2.0 \pm 3.4	3.6 \pm 3.0
A616T28	11	35	0	0	23.3 \pm 19.0	0.2 \pm 0.4	3.5 \pm 3.5
A648T23	25	24	14	3	22.3 \pm 8.7	4.0 \pm 6.3	0.5 \pm 1.2
A342T16	22	11	0	0	21.8 \pm 10.8	0.2 \pm 0.4	5.2 \pm 6.0
A115T38	13	25	1	0	20.5 \pm 11.0	0.3 \pm 0.5	4.8 \pm 2.3
A622T19	6	0	0	3	20.3 \pm 16.0	0.0 \pm 0.0	4.0 \pm 3.2
A645T23	19	3	0	0	20.3 \pm 15.4	1.2 \pm 2.9	6.0 \pm 9.0
Media	20.4	17.4	2	0.8	23.9\pm13.5	1.3\pm2.3	3.6\pm3.7

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

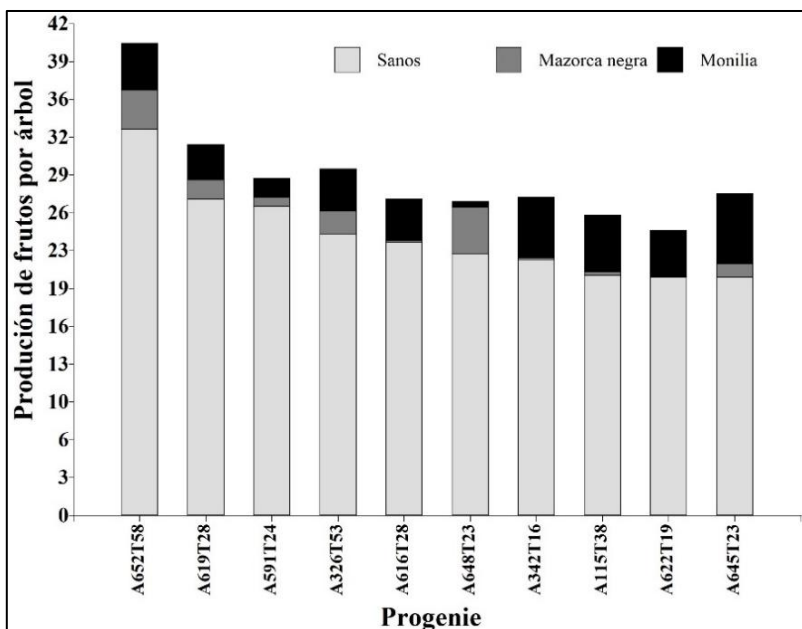


Figura 11. Cantidad de frutos sanos de las progenies más productivas en el lote con sombra de ternero. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras. 2020 – 2025.

Conclusiones

- En 2025 se confirma y consolida el potencial productivo de las progenies promisorias previamente identificadas en 2024, evidenciando una respuesta agronómica estable a lo largo del tiempo. Las 13 progenies promisorias mantienen un desempeño superior en términos de producción de frutos sanos, rendimiento de cacao seco y eficiencia productiva, lo que respalda su idoneidad para avanzar hacia la fase de evaluación clonal (Etapa 4) dentro del programa de mejoramiento genético.
- El análisis integrado de los índices agronómicos (peso en baba por fruto, índice de mazorca, índice de grano y rendimiento de cacao seco) demuestra que las progenies seleccionadas presentan comportamientos homogéneos entre sí, sin diferencias significativas, pero claramente superiores al promedio poblacional. Esta homogeneidad refuerza su valor como material genético élite, con un potencial productivo estimado cercano a 1, 670 kg/ha/año, superando ampliamente el rendimiento promedio nacional.

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

M.Sc. Oscar Ramírez e Ing. Elvin Ávila
Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen

La evaluación incluye 20 clones de cacao autocompatibles establecidos en 2019 en el CEDEC-JAS, en un área de 0.3 ha. La parcela se manejó sin diseño experimental, con 15 plantas por clon ordenados en hileras bajo un modelo agroforestal que integró plátano (*Musa* sp.), madreado

(*Gliricidia sepium*), caoba del Atlántico (*Swietenia macrophylla*) y cacao (*Theobroma cacao* L.), con marcos de plantación diferenciados de 3×3 m, 6×6 m, 12×12 m y 3×3 m, respectivamente. Se midió el rendimiento anual promedio de mazorcas sanas por planta, así como la incidencia de moniliasis y mazorca negra. Los resultados acumulados al sexto año de edad (2025) mostraron un promedio de 24.3 mazorcas sanas por planta, con un rango entre 34.8 (CATIE-82) y 12.9 (CDC-4). La incidencia de moniliasis se redujo notablemente a solo 0.2 mazorcas por planta en promedio, el valor más bajo registrado en los cuatro años de evaluación, mientras que la mazorca negra se mantuvo en niveles bajos (0.7 mazorcas/planta). Catorce clones superaron consistentemente las 20 mazorcas sanas por planta, lo que sugiere un potencial productivo superior a una tonelada de cacao seco por hectárea bajo este sistema agroforestal. Clones como CATIE-82, CATIE-32, CATIE-27 y FHIA-330 destacaron por combinar alta productividad y baja afectación por enfermedades, especialmente moniliasis, consolidándose como materiales promisorios para la renovación de parcelas en la región. Los clones autocompatibles evaluados representan una alternativa viable para incrementar la productividad de manera sostenible, siempre que se adapte el manejo agronómico y fitosanitario a las condiciones específicas del sistema agroforestal con cacao. La estabilidad productiva y sanitaria observada en 2025 refuerza la importancia de priorizar estos genotipos en programas de propagación clonal y renovación de áreas cacaoteras en Honduras.

Palabras claves: rendimiento, mazorcas, enfermedades, estabilidad productiva.

Introducción

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

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

Objetivos

Validar y seleccionar los clones de cacao autocompatibles con mayor potencial productivo, preferiblemente tolerantes a enfermedades y con los mejores atributos de calidad organoléptica.

Materiales y métodos

La parcela está conformada por 20 clones (Cuadro 10), 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 (Figura 12). 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, madreño, caoba del Atlántico y cacao, en un marco de plantación de 3 x 3 m, 6 x 6 m, 12 x 12 m y 3 x 3 m, respectivamente tal y como se recomendaría en una producción comercial. El establecimiento de la parcela agroforestal fue finalizado en junio de 2019 con el trasplante de los clones de cacao.



Figura 12. Parcela de cacao con 20 clones autocompatibles ordenados en hileras de 15 plantas.

Variables para evaluar

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

Manejo de la parcela. Durante el 2025 se continuaron las mediciones en las variables establecidas para evaluar los 20 cultivares de cacaos autocompatibles. El programa de mantenimiento incluyó podas periódicas para favorecer la estructura vegetativa y fertilización semestral con una fórmula NPK de 80-40-80 kg/ha (N-P₂O₅-K₂O), acumulando dicha dosis anual en dos aplicaciones. Adicionalmente, se implementó la eliminación de chupones cada seis semanas y el control de malezas trimestral para minimizar la competencia por recursos.

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

Resultados

En el año 2025, la producción de frutos sanos por árbol promedió 24.3, ubicándose ligeramente

por debajo del promedio general del periodo 2022-2025 (25.4 frutos sanos/árbol). Esto refleja una productividad moderada y estable (Figura 13 y Cuadro 10).

Respecto a la incidencia de enfermedades, en 2025 se observó una afectación por mazorca negra de 0.8 frutos por árbol, valor que se mantuvo dentro del rango bajo y estable mostrado en todo el periodo (entre 0.5 y 0.9). Por otro lado, la moniliasis presentó 0.8 % frutos afectados, una cifra significativamente menor que la registrada en 2023 (8.1 %) e inferior también a la de 2024 (3.7 %), lo que resalta la efectividad de prácticas de manejo implementadas (Figura 13 y Cuadro 10).

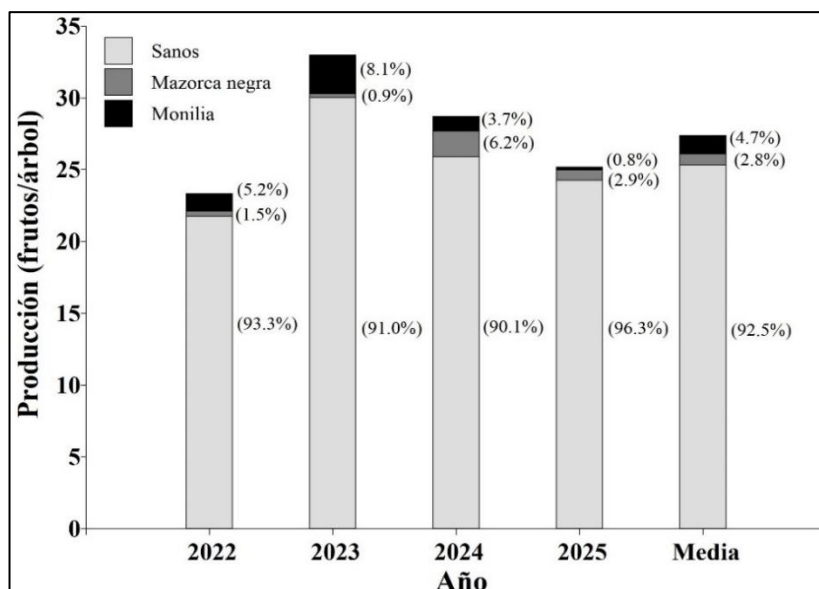


Figura 13. Distribución anual de la producción de frutos por su estado fitosanitario en clones de cacao autocompatibles, La Masica, Atlántida, Honduras.

El 2025 destacó notablemente en términos fitosanitarios. La incidencia de moniliasis (Mon) cayó a 0.2 frutos por planta en promedio, el valor más bajo de todo el cuatrienio, muy por debajo de los 2.7 de 2023 y 1.0 de 2024. Respecto a la mazorca negra (MN), en 2025 se registró 0.7 frutos afectados por planta, una cifra intermedia entre el mínimo de 2022-2023 (0.3) y el máximo de 2024 (1.7), lo que sugiere una presión moderada y manejable de este patógeno (Cuadro 10 y Figura 10).

Al comparar clones individuales, en 2025 sobresalieron CATIE-82 (34.8 FS, 0.0 Mon) CATIE-32(35.2 FS,1.2 Mon), CATIE 27(32.8 FS, 1.1 Mon) y FHIA-330 (28.2 FS, 0.4 Mon), que no solo mantuvieron alta productividad, sino también una excelente sanidad. Esto contrasta con años anteriores como 2023, donde a pesar de la alta producción, clones como FHIA-677 tuvieron hasta 8.2 frutos con moniliasis (Cuadro 10 y Figura 14).

Cuadro 10. Producción de frutos sanos y enfermos por planta en clones autocompatibles de cacao evaluados en campo. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2022-2025.

Cultivar	2022 (2-3 años)			2023 (3-4 años)			2024 (4-5 años)			2025 (5-6 años)			Media		
	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon	FS	MN	Mon
CATIE-82	30.1	0.1	1.7	55.4	1.5	2.5	31.7	3.7	0.8	34.8	0.5	0.0	38.0	1.5	1.3
CATIE-32	34.9	0.2	1.5	57.3	0.2	1.9	22.9	2.1	1.3	25.6	0.2	0.3	35.2	0.7	1.2
CATIE-27	31.5	0.0	0.9	49.3	0.3	2.5	24.3	2.1	0.6	26.0	0.7	0.3	32.8	0.8	1.1
FHIA-330	23.3	0.0	0.3	44.7	0.0	1.3	33.3	2.1	0.6	28.2	0.8	0.4	32.4	0.7	0.7
FHIA-478	43.3	0.3	1.3	41.2	0.2	2.5	17.7	2.6	0.2	26.3	1.2	0.3	32.1	1.1	1.1
FHIA-65	27.1	0.8	1.5	35.0	0.0	3.3	34.0	4.9	0.6	24.1	0.3	0.1	30.1	1.5	1.4
FHIA-677	23.7	2.0	3.5	24.7	0.2	8.2	34.3	0.8	1.6	25.9	1.7	0.3	27.1	1.2	3.4
CDC-1	22.1	0.1	1.1	23.4	0.0	2.2	28.6	0.7	3.0	31.5	1.7	1.3	26.4	0.6	1.9
CDC-3	15.5	0.1	0.4	23.2	0.1	1.5	35.3	0.2	1.7	26.9	0.7	0.0	25.2	0.3	0.9
FHIA-612	17.3	0.0	1.4	34.7	0.0	4.3	21.3	0.9	0.6	27.4	1.1	0.1	25.2	0.5	1.6
FHIA-513	25.0	0.4	1.0	34.0	0.0	2.3	18.6	3.4	0.4	22.2	0.5	0.3	25.0	1.1	1.0
FHIA-515	25.2	1.5	3.3	26.0	0.0	3.3	25.2	1.0	1.3	22.1	1.4	0.1	24.6	1.0	2.0
DFEAR-5	27.1	1.0	1.8	29.1	1.9	2.8	14.6	2.6	2.0	16.7	0.7	0.2	21.9	1.6	1.7
DFTA-4	9.9	0.1	0.5	21.7	0.3	4.0	29.5	1.0	1.1	25.2	0.1	0.0	21.6	0.4	1.4
CDC-2	16.0	0.0	0.6	16.3	0.5	1.1	22.3	1.3	0.9	21.3	1.3	0.1	19.0	0.8	0.7
FHIA-430	10.5	0.0	1.3	13.8	0.0	4.9	24.3	1.5	0.6	23.5	0.0	0.0	18.0	0.4	1.7
CDC-4	11.1	0.0	0.7	11.1	0.1	1.3	31.3	0.5	0.3	12.9	0.1	0.0	16.6	0.2	0.6
FHIA-169	7.7	0.0	0.1	16.5	0.1	0.3	16.8	0.7	1.4	21.5	0.6	0.0	15.6	0.3	0.5
FHIA-630	12.2	0.0	0.1	12.9	0.0	0.7	17.9	1.2	0.7	18.7	0.4	0.0	15.4	0.4	0.4
Media	21.8	0.3	1.2	30.0	0.3	2.7	25.5	1.7	1.0	24.3	0.7	0.2	25.4	0.8	1.3
%	93.3	1.5	5.2	91.0	0.9	8.1	90.1	6.2	3.7	96.3	2.9	0.8	92.5	2.8	4.7

Para consolidar en 2025 los resultados como criterios de selección definitivos, es fundamental calcular el índice de mazorca (IM) de cada material evaluado. Este indicador permitirá estimar el rendimiento real expresado en kilogramos de cacao seco por hectárea, dado que el número de frutos no siempre se correlaciona directamente con el volumen de grano comercializable. Una vez obtenido y validado el IM, se procederá a la propagación vegetativa de los clones más eficientes en términos productivos y cualitativos, optimizando así la planificación para el establecimiento o renovación de plantaciones en la región. Esta etapa que integra datos de producción, índice de mazorca y, posteriormente, evaluaciones de calidad organoléptica será determinante para priorizar aquellos genotipos que combinen alto rendimiento, resiliencia fitosanitaria y aptitud comercial,

Conclusiones

- El 2025 fue un año de equilibrio productivo y sanitario destacado. Aunque la producción

promedio de frutos sanos (24.3–24.5 por planta) no superó los picos de 2023, se mantuvo en niveles estables y superiores al promedio general del cuatrienio. Al mismo tiempo, se registró la menor incidencia de moniliasis de todo el período (0.2 frutos afectados/planta), lo que refleja una mejora significativa en el manejo fitosanitario, posibles condiciones ambientales menos favorables al patógeno, y la manifestación de tolerancia en los materiales evaluados.

- Los clones CATIE-82, CATIE-32, CATIE-27 y FHIA-330 demostraron un desempeño consistente y superior, combinando alta productividad con baja afectación por enfermedades, especialmente moniliasis. Estos genotipos se consolidan como materiales promisorios para la selección y propagación en sistemas productivos de la región.
- La mazorca negra se mantuvo en niveles bajos y manejables durante todos los años de evaluación, con una incidencia promedio de 0.7–0.8 frutos/planta en 2025. Esto sugiere que los clones evaluados poseen cierta tolerancia natural a este patógeno, o bien que las condiciones locales no favorecen su desarrollo severo.

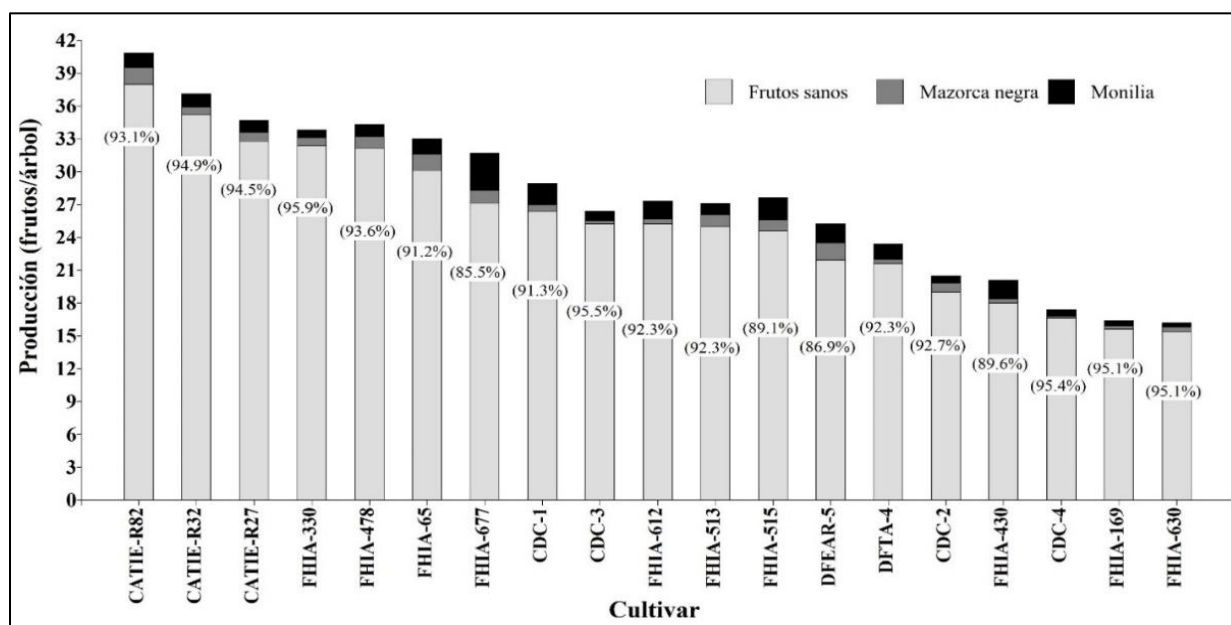


Figura 14. Distribución de la producción promedia de frutos de cacao por su estado fitosanitario en cada uno de los cultivares de evaluación de estudio evaluación de 20 cultivares autocompatibles, La Masica, Atlántida, Honduras. 2022-2024.

Literatura citada

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



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

IV. DESARROLLO DE ESTUDIOS PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE CACAO

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

M.Sc. Oscar Ramírez, Dr. Francisco Javier Díaz e Ing. Elvin Ávila

Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen

El Programa de Cacao y Agroforestería, iniciado en 2019, evaluó el efecto de tres programas de nutrición: química, orgánica basada en análisis de suelo y la práctica de fertilización del productor, además de un control absoluto en cuatro parcelas localizadas en La Masica y Jutiapa, Atlántida. El estudio se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, aplicando los tratamientos durante cuatro años y continuando la evaluación en años posteriores para medir efectos residuales sobre la productividad (2023-2025), sanidad del cacao, rentabilidad económica y propiedades químicas del suelo. Los resultados indican que la aplicación de fertilizantes químicos u orgánicos incrementa el rendimiento de cacao seco entre 200 y 500 kg/ha/año. En 2024 y 2025, con datos únicamente del CEDEC-JAS desde 2020 a 2025, el rendimiento promedio por año del tratamiento químico alcanzó 767 kg/ha, superando a los tratamientos orgánico y del productor (620–624 kg/ha), mientras que el control presentó el menor rendimiento (456 kg/ha). Este comportamiento refleja la capacidad de la nutrición química para maximizar los picos productivos mientras que, las alternativas orgánicas y del productor ofrecen mayor estabilidad interanual. En términos de sanidad, la producción de 2025 mostró un alto porcentaje de frutos sanos (87.4 %), baja incidencia de monilia (10.1 %) y mínima presencia de mazorca negra (2.5 %), confirmando un control efectivo de enfermedades y un aumento de la eficiencia productiva, ya que la mayoría de los frutos cosechados fueron comercialmente aprovechables. Comparado con los primeros años del ensayo (2020–2021), cuando la moniliasis superaba el 50 % de los frutos por bajo nivel de control de enfermedades por restricciones de personal por efecto pandemia COVID-19, se evidencia una mejora sostenida en la sanidad del cultivo en los últimos años al retomar un estricto control de enfermedades. Desde el punto de vista financiero, el tratamiento químico generó el mayor ingreso neto (L. 117,844.74 /ha/año), seguido por el tratamiento del productor (L. 95,760.08/ha/año), tratamiento orgánico (L. 88,889.99/ha/año), y el control el menor ingreso (L. 81,443.88/ha). El tratamiento orgánico mostró un efecto residual positivo; en 2024, igualó e incluso superó el rendimiento del tratamiento químico, evidenciando su potencial para generar beneficios sostenibles a largo plazo. Además, se observó un ligero incremento en la materia orgánica y el nitrógeno del suelo en los tratamientos orgánicos, lo que refuerza su aporte a la sostenibilidad del sistema agroforestal. En conclusión, los resultados del ensayo muestran que la nutrición basada en análisis de suelo no solo mejora la productividad, sino que también incrementa significativamente la rentabilidad económica y aporta beneficios residuales para la sostenibilidad del cultivo de cacao y la salud del suelo.

Palabras claves: fertilización química y orgánica, rentabilidad, análisis de suelo.

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 15 años el establecimiento de áreas nuevas con cacao en sistemas de producción agroforestal ha sido importante y muchas de estas plantaciones ya están en producción con rendimientos variables según el manejo brindado por el productor y condiciones de suelo y clima producto de su ubicación. A pesar de la expansión del cultivo y de la utilización de genética mejorada, prácticas de manejo agronómico y otras innovaciones, el productor carece de claridad en el tema relacionado a la nutrición, ya sea orgánica o convencional.

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

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

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

Antecedentes

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

En el primer experimento iniciado en 1987, se evaluaron 12 niveles de N, P₂O₅, K₂O en una plantación por semilla, en donde las dosis se fueron incrementando hasta aplicarse el 100 % de los niveles de fertilización planteados al cuarto año de establecimiento del cacao. Los datos acumulados durante los primeros siete años de registro (nueve años del cultivo) mostraron

consistentemente que con la combinación de los tres elementos en relación 60-30-30 y 60-30-60 g/árbol/año de N, 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 obtuvo una ganancia de L. 1.63. Además, se concluyó que después de 7 años intensivos de la aplicación de fertilización, el efecto residual mantiene los rendimientos durante los dos años posteriores, observándose después una caída drástica de estos al tercer año y un desbalance en la relación de los cationes del suelo (Dubón 1998; Dubón *et al.* 1997).

En una segunda etapa de investigación iniciada en 1998, con plantas de cacao de 11 años hasta los 17, se continuó el ensayo con cinco de los 12 tratamientos iniciados en 1987, que tuvieron un mejor comportamiento productivo y adicionalmente se incluyó un tratamiento con bocashi a razón de 5 kg/árbol/año y un testigo sin fertilización. A inicios del ensayo las parcelas venían de un periodo de 3 años sin recibir fertilización. Como resultado, 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 de especie forestal, esta última se fertilizó con 220 g/planta de 15-15-15 hasta un año antes de la aplicación de gallinaza. Las parcelas con cobertura no 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.

Posterior a la finalización del ensayo, se continuó con los registros, obteniendo un rendimiento en promedio entre el 2000 al 2006, de 1,059 kg/ha (con gallinaza) y de 888 kg/ha (sin gallinaza), respectivamente. Se calculó un incremento en rendimiento del cacao en 20 %, con una tasa de retorno marginal de 40 %; es decir, se obtuvo pérdida en 60 % de la inversión por concepto de aplicación de gallinaza. Se descartaron los rendimientos entre 2002 y 2003 debido a que las plantas fueron sometidas a podas severas para disminuir el daño por moniliasis (Dubón *et al.* 2007).

Siempre en 1998 pero hasta 2001, se evaluó el efecto de la aplicación de gallinaza (5.0 y 0.0 kg/árbol) en parcelas con y sin cobertura de especie forestal, esta última se fertilizó con 220 g/planta de 15-15-15 hasta un año antes de la aplicación de gallinaza. Las parcelas con cobertura no 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.

Posterior a la finalización del ensayo, se continuó con los registros, obteniendo un rendimiento en promedio entre el 2000 al 2006, de 1,059 kg/ha (con gallinaza) y de 888 kg/ha (sin gallinaza), respectivamente. Se calculó un incremento en rendimiento del cacao en 20 %, con una tasa de retorno marginal de 40 %; es decir, se obtuvo pérdida en 60 % de la inversión por concepto de aplicación de gallinaza. Se descartaron los rendimientos entre 2002 y 2003 debido a que las plantas fueron sometidas a podas severas para disminuir el daño por moniliasis (Dubón *et al.* 2007).

Por último, se realizó un ensayo en plantación por semilla e injerta, donde se evaluaron tres niveles de K₂O (30, 60, 90 g/planta) mientras que los niveles de N (60 g) y P₂O₅ (30 g) se mantuvieron constantes. Además, se incluyó un tratamiento a base de gallinaza en dosis de 5 kg/planta para la parcela clonal y un testigo sin fertilizante para la parcela propagada por semilla. No existió un resultado claro en el efecto de los tratamientos; sin embargo, se encontró una relación inversamente proporcional entre el rendimiento del cacao y el nivel de aplicación de 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; 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

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

Materiales y métodos

Ubicación. El estudio inició en el 2019 con la selección de nueve parcelas de cacao en sistemas agroforestales ubicadas en diferentes zonas cacaoteras de Honduras; incluyendo dos plantaciones

de la FHIA, una ubicada en el CEDEC-JAS y otra en el CADETH-AMR. El registro de datos de las variables agronómicas se realizó cada 7 a 14 días según la época de producción en el año. Los datos acumulados se extrapolaron a hectárea. Adicionalmente, para dar mayor soporte a la determinación de la factibilidad de la implementación de programas de nutrición, se realizó un análisis económico marginal con precios actuales de cacao en baba versus los costos asociados a los tratamientos. En 2020, solo se rescató la información de las variables en cosecha en tres parcelas, y de cuatro parcelas en 2021. En 2022 se continuó la evaluación de cuatro de las nueve parcelas seleccionadas inicialmente (CEDEC-JAS, CADETH, Plantación-2 y Plantación-3). Las cinco parcelas restantes fueron desatendidas producto de la pandemia Covid-19 y a los efectos devastadores de las tormentas tropicales Eta y Iota. A partir del 2023 únicamente se lleva registro del CEDEC-JAS, midiendo el efecto residual.

Tratamientos y variables de estudio. Los primeros 4 años (2019 al 2022), Los tratamientos consistieron en el uso de fuentes de fertilización química versus fertilización orgánica (lombricomposta), ambas aplicadas según análisis de suelo. Adicionalmente, se evaluó un tercer tratamiento que fue la práctica de nutrición tradicionalmente realizaba por el productor, la cual no está basada en análisis de suelo. En la plantación de CEDEC-JAS se incluyó adicionalmente, un cuarto tratamiento o testigo absoluto sin aplicación de fertilizante (Cuadro 11). Se colocaron cintas color azul, verde y anaranjadas (Figura 15a) que indican los tratamientos orgánicos, químico y la práctica tradicional que realiza el productor, respectivamente, y en el CEDEC-JAS, el cuarto tratamiento identificado con cinta café. Las variables evaluadas fueron: frutos totales, frutos sanos, frutos con mazorca negra, con moniliasis y rendimiento en cacao seco por hectárea partiendo del índice de mazorca (IM).

Cuadro 11. Tratamientos aplicados para la nutrición de árboles de cacao en plantaciones agroforestales en Honduras.

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

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

Estimación de elementos químicos de suelo y fertilización del cacao. Anualmente se realizó el muestreo de suelo (Figura 15b) 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 (Anexo 2) para obtener un rendimiento de una tonelada de cacao seco por hectárea, aproximadamente.

Para ello, se consideró el contenido de nutrientes de los fertilizantes químicos (Figura 15c) y los indicados por el análisis químico de la lombricomposta (Anexo 3). Asimismo, se realizó un análisis químico a posteriori del abono orgánico utilizado en la práctica tradicional del productor de la Plantación-2. 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). Sin embargo, a partir del 2023 no se realizó ningún tipo de aplicación de fertilizantes; esto, para ver el efecto residual después de cuatro años de aplicación de fertilizantes de manera ininterrumpida.

Diseño del experimento. Hasta 2023, los datos se analizaron bajo una estructura unifactorial en diseño en bloques completos al azar, donde cada plantación constituyó un bloque conformado por 270 plantas de cacao, distribuidas en 90 plantas por tratamiento. Únicamente la parcela ubicada en el CEDEC-JAS presenta un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, con un total de 96 plantas por tratamiento. Particularmente en el CEDEC-JAS se incluyó un cuarto tratamiento, “testigo absoluto”, sin aplicación de fertilizante, el cual fue incorporado en el análisis económico. Las plantaciones de cacao constan de un distanciamiento de 3.0 m x 3.0 m y/o 3.5 m x 3.5 m obteniendo densidades de plantas de 1,111 y 943 plantas por hectárea, respectivamente. En otros estudios donde se evaluó el efecto de la densidad poblacional del cacao, no se encontró diferencias estadísticas significativas en plantaciones en edad productiva (Sánchez y Dubón, 1998); por lo tanto, las conclusiones de este estudio permiten comparar el efecto de los sistemas de nutrición. Este 2025 se analizó el CEDEC-JAS con sus datos acumulados 2020-2025, donde cada año representó una repetición (medidas repetidas en el tiempo).



Figura 15. A) Rotulado de plantas, b) muestreo de suelo, c) mezclas físicas de fertilizantes y d) aplicación de cal.

Metodología para el análisis de datos. Para el análisis de los datos agronómicos se aplicó el análisis de la varianza con una significancia del 5 %, después de haber comprobado los supuestos estadísticos como la normalidad. Se usó la prueba de Shapiro-Wilks (p -valor > 0.05) y la homogeneidad de varianza con la prueba de Levene (p -valor > 0.05). También, se aplicó la prueba de comparación de medias con el método de Duncan y Análisis de Componentes Principales (PCA); este último para conocer las correlaciones entre las propiedades químicas del suelo y los rendimientos de cacao seco por cada sistema de nutrición entre 2020-2025.

Análisis financiero. Se realizó a partir del ingreso con precios actuales de cacao en baba versus los costos asociados a los insumos y mano de obra para la aplicación de cada fuente de nutrición por hectárea. Entre 2023 y 2025, se evaluó el efecto residual de los planes de nutrición; por lo tanto, no se aplicó ningún tipo de fertilizante y/o enmienda.

Resultados y discusión

Análisis del comportamiento de la producción por año. En 2025, la producción estuvo dominada por frutos sanos, que representaron 87.4 % del total, mientras que la incidencia de monilia fue baja (10.1 %) y la mazorca negra prácticamente marginal (2.5 %). Este patrón indica un control efectivo de las enfermedades y una mejora significativa en la sanidad del cultivo, lo cual se traduce en una mayor eficiencia productiva, ya que la mayor parte de los frutos cosechados fueron comercialmente aprovechables. Aunque el número total de frutos por árbol no fue el más alto del período, la calidad sanitaria de la producción alcanzó su punto más favorable (Figura 12).

Al comparar 2025 con los primeros años del ensayo, especialmente 2020 y 2021, el contraste es marcado. En 2020, la producción estuvo fuertemente afectada por moniliasis, que alcanzó 62.0 %, superando ampliamente a los frutos sanos (27.4 %), lo que refleja una alta presión de enfermedad y pérdidas. En 2021, aunque se observa una ligera mejora, la monilia continuó siendo dominante (52.5 %), con una proporción de frutos sanos aún limitada (38.4 %). Estos años evidencian una etapa inicial con alta vulnerabilidad fitosanitaria del sistema al no mantener un control constante de enfermedades, que fue lo ocurrido por las restricciones de Covid19 (Figura 16).

El año 2022 representa una fase de transición, donde los frutos sanos alcanzaron 65.8 %, reduciéndose considerablemente la monilia (29.6 %) y la mazorca negra (4.6 %). Aunque la producción total fue relativamente alta, la presencia aún relevante de monilia sugiere que el sistema todavía se encontraba en proceso de estabilización sanitaria.

En 2023, si bien la producción total disminuyó por el levantamiento de la fertilización, la proporción de frutos sanos aumentó a 74.1 %, confirmando una tendencia sostenida de mejora, con una incidencia de mazorca negra casi inexistente (1.4 %) (Figura 16).

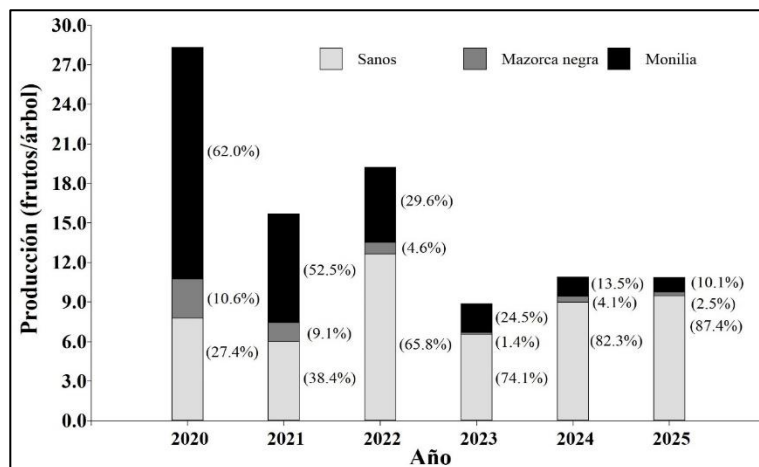


Figura 16. Distribución de la producción de frutos de cacao/árbol/año según su condición fitosanitaria en ensayo nutrición de cacao en Honduras. 2020-2024.

Análisis del comportamiento de la producción por sistema de nutrición. En el período evaluado (promedio 2020–2025), la condición sanitaria de los frutos y el rendimiento de cacao seco mostraron respuestas diferenciadas según la fuente de nutrición, evidenciando efectos estadísticamente, principalmente en la producción de frutos sanos y en el rendimiento final.

La variable frutos sanos presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.0063$; $R^2 = 0.83$), indicando una fuerte influencia del tipo de nutrición sobre la producción. El tratamiento químico alcanzó el mayor promedio (10.47 ± 2.81 frutos/árbol), seguido por los tratamientos orgánico (8.48 ± 2.89) y productor (8.49 ± 2.69), que mostraron valores similares entre sí. El tratamiento control registró el menor número de frutos sanos (6.89 ± 2.41). El coeficiente de variación (16.9 %) refleja una variabilidad moderada, lo que sugiere una respuesta relativamente homogénea del cultivo, especialmente bajo nutrición química (Cuadro 12 y Figura 17).

En contraste, la incidencia de mazorca negra no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.4069$), lo que indica que la variabilidad observada no estuvo asociada de forma consistente a la fuente de nutrición. Los valores promedio fueron bajos en todos los tratamientos, destacando el tratamiento orgánico (0.87 ± 0.74 frutos/árbol) como el de menor incidencia. Sin embargo, el alto C.V. (48.6 %) evidencia una elevada dispersión de los datos, posiblemente relacionada con factores ambientales o de manejo distintos a la nutrición. De manera similar, la moniliasis no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p = 0.2248$), aunque se observaron tendencias claras. El tratamiento químico presentó el mayor promedio (8.23 ± 10.2 frutos/árbol), mientras que los tratamientos orgánicos, productor y control registraron valores menores y similares (entre 5.16 y 5.50 frutos/árbol) (Cuadro 12, Figura 17 y 18).

Finalmente, el rendimiento de cacao seco (kg/ha/año) mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.0042$; $R^2 = 0.77$), consolidando el impacto de la nutrición sobre la productividad final. El tratamiento químico alcanzó el mayor rendimiento (767 ± 209 kg/ha/año), seguido por los tratamientos orgánico (621 ± 212) y productor (624 ± 196), que presentaron desempeños comparables. El control registró el rendimiento más bajo (456 ± 77 kg/ha/año). El C.V. de 19.4 % indica una variabilidad aceptable para ensayos de campo de largo plazo (Cuadro 12 y Figura 13 y 14).

Cuadro 12. Promedio por año y desviación estándar de la producción de frutos por árbol y su distribución por estado sanitario, además del rendimiento de cacao seco por año CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2020 y 2025.

Variable de estudio	n	Tratamiento de nutrición								p-valor	R ²	C.V. (%)
		Quí ±	D.E.	Org ±	D.E.	Pro ±	D.E.	Con ±	D.E.			
Sanos	24	10.47 ±	2.81	8.48 ±	2.89	8.49 ±	2.69	6.89 ±	2.41	0.0063	0.83	16.9
Mazorca negra	24	1.33 ±	1.75	0.87 ±	0.74	0.96 ±	0.91	0.95 ±	0.97	0.4069	0.87	48.6
Moniliasis	24	8.23 ±	10.2	5.50 ±	4.74	5.16 ±	4.99	5.28 ±	5.48	0.2248	0.88	46.5
Cacao seco (kg/ha/año)	24	767 ±	209	621 ±	212	624 ±	196	456 ±	77	0.0042	0.77	19.4

Valores de p-valor < 0.05 (negrita) indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos; n: cantidad UE analizadas; Quí: química; Org: orgánica; Pro: Del productor; Con: control absoluto (sin tratamiento de nutrición); D.E.: Desviación estándar; R²: coeficiente de determinación; C.V. (%): coeficiente de variación.

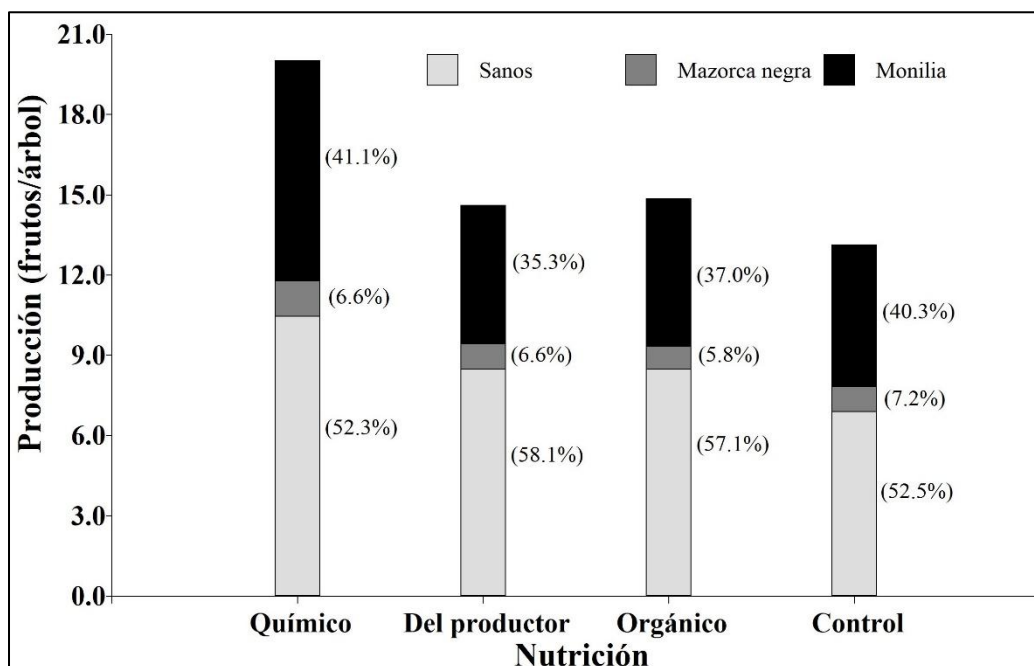


Figura 17. Distribución de la producción de frutos de cacao/árbol/año según su condición fitosanitaria en ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025.

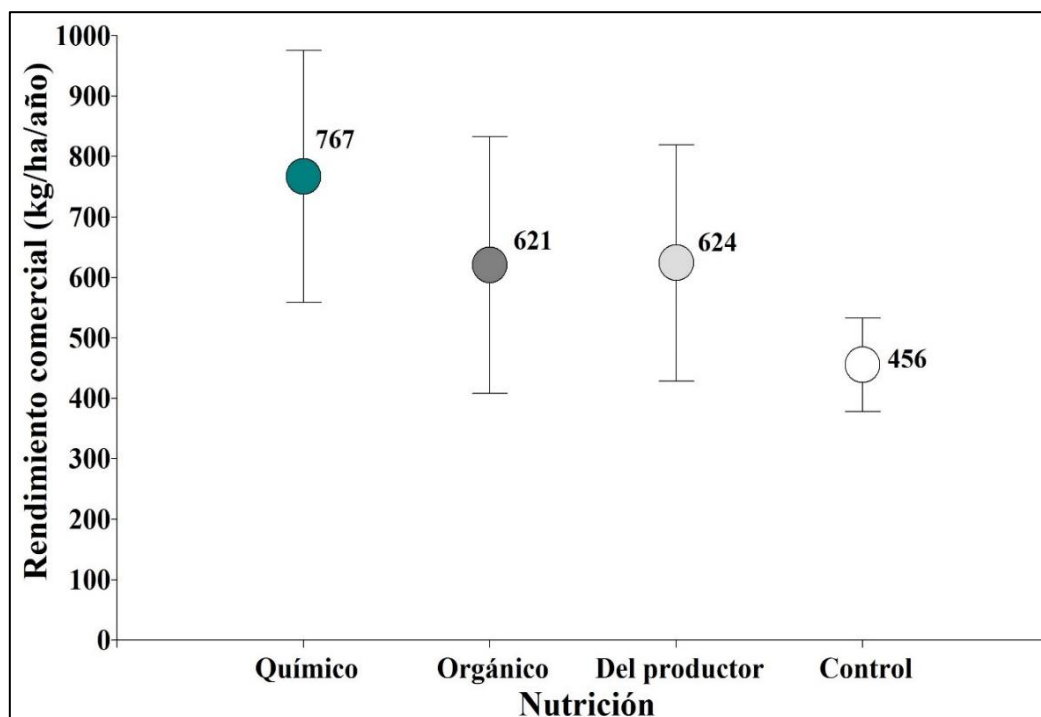


Figura 18. Producción promedio aprovechable de cacao seco en kg/ha/año por cada uno de los tratamientos del ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025.

La evolución de la producción aprovechable de cacao seco entre 2020 y 2025 evidencia diferencias claras entre tratamientos, con una ventaja inicial y sostenida del manejo químico, pero también con una respuesta progresiva de los sistemas alternativos. En 2020, el tratamiento químico presentó el mayor rendimiento (920 kg/ha), muy por encima de los tratamientos orgánico, del productor y control, que oscilaron entre 400 y 470 kg/ha; en 2021 se registró una disminución generalizada del rendimiento, aunque el tratamiento químico se mantuvo como el más productivo (680 kg/ha).

El año 2022 marcó el máximo productivo del ensayo, con el tratamiento químico superando los 1050 kg/ha y los tratamientos orgánicos y del productor alcanzando valores cercanos a 950 kg/ha, reduciendo notablemente la brecha productiva, mientras que el control permaneció limitado (540 kg/ha). En 2023, todos los tratamientos mostraron una caída simultánea del rendimiento, situándose en un rango estrecho de 430 a 510 kg/ha, lo que sugiere un efecto interanual adverso independiente del tipo de nutrición.

Posteriormente, en 2024, se observó una recuperación marcada, destacando los tratamientos orgánico y del productor con rendimientos superiores a 750 kg/ha, incluso por encima del tratamiento químico (610 kg/ha), y en 2025 el tratamiento químico volvió a liderar la producción (767 kg/ha) mientras que, los tratamientos orgánico y del productor mantuvieron valores intermedios y estables (620–624 kg/ha) y el control mostró una mejora moderada (456 kg/ha), indicando que, aunque la nutrición química maximiza los picos de rendimiento, las alternativas no químicas tienden a una mayor estabilidad productiva en los años recientes (Figura 19).

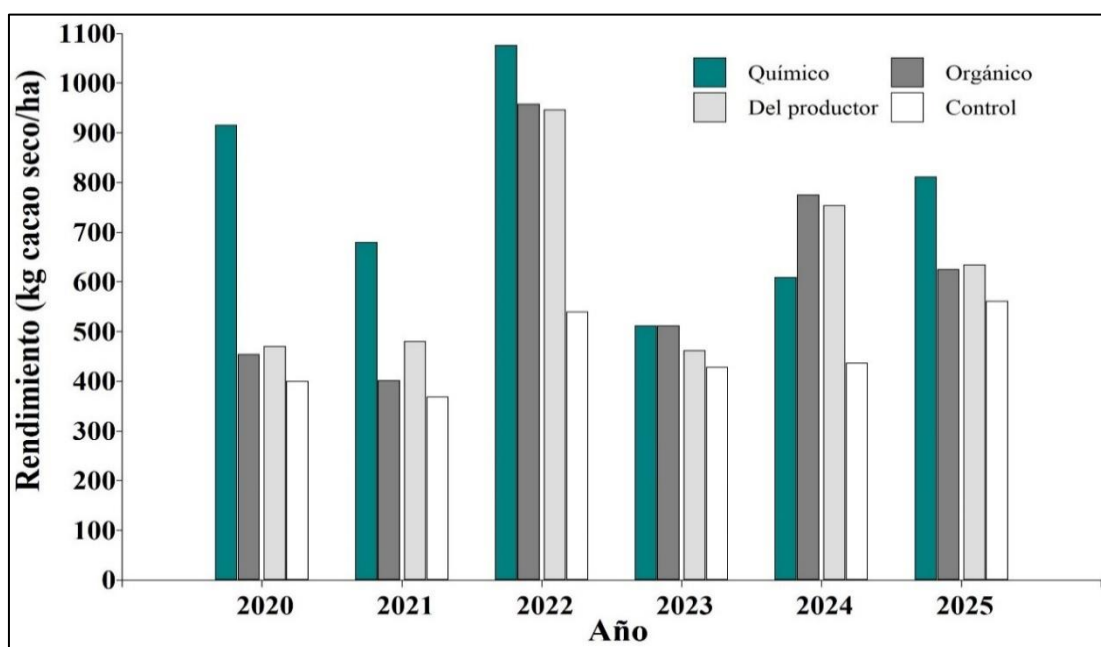


Figura 19. Evolución de la producción aprovechable de cacao seco en kg/ha/año por cada uno de los tratamientos del ensayo nutrición de cacao en Honduras, CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida, Honduras. 2020-2025.

Análisis financiero. El tratamiento orgánico registró el mayor costo total (L. 22,023.72/ha/año), compuesto por L. 17,823.72/ha en insumos y L. 4,200/ha/año en aplicación, lo que redujo su

ingreso neto a L. 88,889.99/ha/año, a pesar de obtener precios más altos por el grano en baba. El tratamiento químico presentó costos totales intermedios (L. 10,012.63/ha/año), con L. 7,012.63/ha/año en insumos y L. 3,000/ha/año en aplicación, los cuales fueron compensados por un mayor rendimiento, permitiendo alcanzar el ingreso neto más alto (L. 117,844.74/ha).

Por su parte, el tratamiento del productor mostró la mayor eficiencia en costos, con un gasto total de L. 8,259.47/ha (L. 5,259.47/ha en insumos y L. 3,000/ha en aplicación), logrando un ingreso neto de L. 95,760.08/ha, superior al orgánico y con un incremento del 18 % respecto al control (Cuadro 13). El tratamiento control, sin costos de fertilización, alcanzó el menor ingreso neto (L. 81,443.88/ha), evidenciando que la ausencia de inversión limita el retorno económico, y que una inversión moderada en nutrición puede generar beneficios netos sustancialmente mayores (Cuadro 13).

En la rentabilidad económica entre tratamientos durante el período 2020–2025. El tratamiento químico generó el mayor ingreso neto (L. 117,844.74/ha/año), asociado al mayor rendimiento de cacao seco (767 kg/ha) y de cacao en baba (2,071 kg/ha), lo que permitió compensar sus costos de insumos y aplicación (L. 10,012.63/ha) y alcanzar un incremento del 45 % en el ingreso respecto al testigo absoluto, posicionándolo como la alternativa más rentable en términos económicos directos. El tratamiento del productor, pese a presentar un rendimiento intermedio (624 kg/ha de cacao seco), mostró una alta eficiencia costo–beneficio, ya que con costos relativamente bajos (L. 8,259.47/ha) alcanzó un ingreso neto de L. 95,760.08/ha, representando un incremento del 18 % frente al control. (Cuadro 13).

Por su parte, el tratamiento orgánico, aunque obtuvo precios de venta más altos por kilogramo de grano en baba (L. 66.15/kg), presentó los costos más elevados (L. 22,023.72/ha), lo que redujo su ingreso neto a L. 88,889.99/ha, apenas un 9 % superior al testigo, evidenciando que su rentabilidad se ve limitada por los altos costos de implementación. El control, sin costos de fertilización, registró el menor rendimiento e ingreso neto (L. 81,443.88/ha), confirmando que la aplicación de programas de nutrición, especialmente el químico y el del productor, no solo incrementa la productividad, sino que mejora sustancialmente la rentabilidad económica del sistema cacaotero (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis financiero de la aplicación de diferentes fuentes de nutrición en cacao de finca de CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. 2020-2025.

Concepto	Fertilización			
	Químico	Orgánico	Productor	Control
Rendimiento cacao seco (kg/ha)	767	621	624	456
Rendimiento cacao baba (kg/ha)	2071	1677	1685	1231
Precio de venta de cacao en baba (L./kg)	61.74	66.15	61.74	66.15
Ingreso bruto (L./ha)	127,857.37	110,913.71	104,019.55	81,443.88
Costo de insumos (L./ha)	7012.63	17823.72	5259.47	0
Costo de aplicación de fertilizante (L./ha)	3000	4200	3000	0
Costo total (L./ha)	10012.63	22023.72	8259.47	0
Ingreso neto (programa de nutrición (L./ha)	117,844.74	88,889.99	95,760.08	81,443.88
Incremento ingreso % versus testigo absoluto	45%	9%	18%	

Análisis de la evaluación de las propiedades del suelo. El biplot de los componentes principales CP1 (68.1 %) y CP2 (24.3 %) explica en conjunto el 92.4 % de la variabilidad total, lo que indica una representación robusta de la relación entre las variables químicas del suelo y el rendimiento del cacao en CEDEC-JAS. El CP1 está claramente asociado a un gradiente de fertilidad y productividad, donde el tratamiento químico se ubica en el extremo positivo y se relaciona estrechamente con rendimiento (kg/ha), frutos sanos, y mayores contenidos de N, P y Cu, evidenciando que estos elementos están directamente vinculados con el incremento productivo y la sanidad del cultivo. En contraste, el control se posiciona hacia valores negativos de CP1, asociado a pH bajo y menores concentraciones de nutrientes, reflejando su limitada capacidad productiva.

El CP2 discrimina principalmente los efectos asociados a bases intercambiables y micronutrientes, separando al tratamiento orgánico que se ubica en valores negativos del eje y se asocia con Mg, Zn y la incidencia de monilia, con menos disponibilidad de calcio y potasio; por lo que la deficiencia de los elementos mencionados, por último, afectan la inmunidad de las plantas (Figura 20).

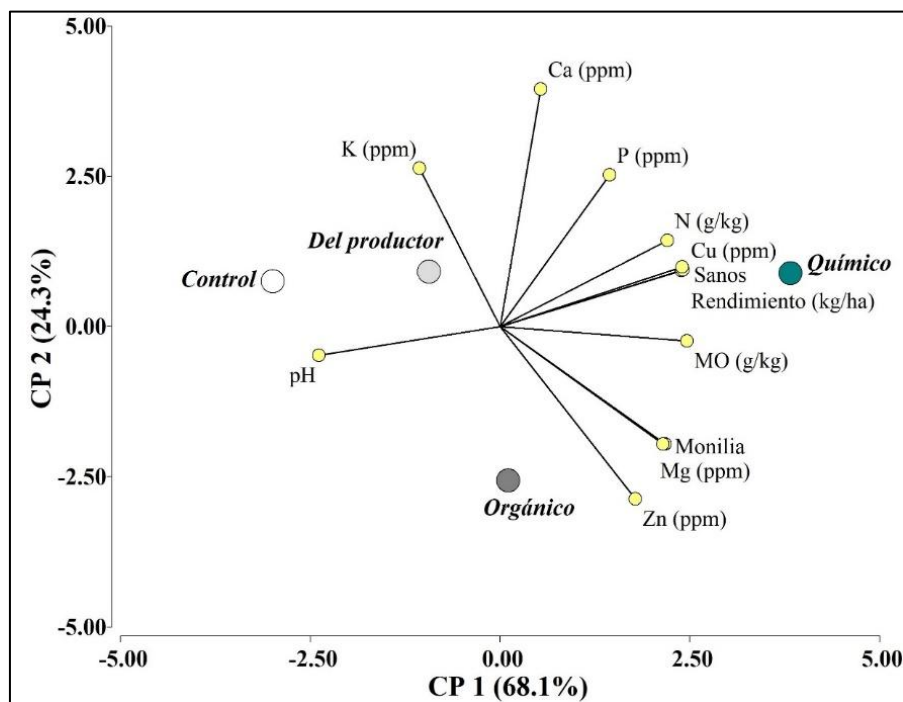


Figura 20. Biplots de CP1 y CP2, de variables químicas del suelo y el rendimiento del cacao CEDEC-JAS, La Masica, Honduras.

Conclusiones

- La producción de cacao durante 2025 estuvo dominada por frutos sanos (87.4 %), con baja incidencia de monilia (10.1 %) y mazorca negra (2.5 %), mostrando un avance significativo respecto a los primeros años del ensayo (2020–2021), cuando la monilia afectaba más del 50 % de la producción. Esto indica que las prácticas de manejo implementadas han contribuido a un control efectivo de enfermedades y a una mayor proporción de frutos comercialmente

aprovechables.

- Los tratamientos de nutrición influyeron en la producción de frutos sanos y en el rendimiento de cacao seco. La nutrición química permitió alcanzar los mayores rendimientos (767 kg/ha/año) y frutos sanos (10.47 frutos/árbol), mientras que los sistemas orgánicos y del productor mostraron rendimientos intermedios y estables, evidenciando que, aunque los tratamientos químicos maximizan picos productivos, las alternativas no químicas favorecen la estabilidad y consistencia de la producción. La incidencia de moniliasis y mazorca negra mostró alta variabilidad interanual, dependiente más de factores climáticos que del tipo de nutrición.
- El análisis de componentes principales reveló que el tratamiento químico se asocia a mayores contenidos de N, P y Cu, rendimiento y frutos sanos, mientras que el control mostró pH bajo y menores nutrientes, reflejando su limitada capacidad productiva.
- Económicamente, el manejo químico generó el mayor ingreso neto (L. 117,844.74/ha, 45 % superior al control), mientras que el tratamiento del productor presentó la mejor eficiencia costo–beneficio con un incremento del 18 % frente al control. Esto evidencia que programas de nutrición bien gestionados no solo mejoran la productividad, sino que aumentan la rentabilidad económica del cultivo de cacao.

Literatura citada

- Dubón, A; Sánchez, J; Herrera, J. 2007. Ensayos de nutrición en el cultivo de cacao. Pág. 30-39. *In: Informe técnico 2006. Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.*
- Dubón, A; Sánchez, J. 1998. Los efectos directos y residuales de fertilización con NPK en cacao desde el estado de plantía. Pág. 15-22. *In: Informe técnico 1997, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.*
- Dubón, A.; Sánchez, J; Suárez, A. 1998. Efecto en la fertilización en cacao en estado de plantía. Pág. 15-19. *In: Informe Técnico 1997, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.*
- Sánchez, J; Dubón, A.1998. Efecto del arreglo y la densidad de siembra en el rendimiento y la economía de manejo del cultivo de cacao propagado vegetativamente. Pág. 16-18. *In: Informe Técnico 1997, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.*
- Sánchez, J; Dubón, A; Suarez, A. 2002. Fertilización del cacao (*Theobroma cacao*) con gallinaza composteada bajo sistema de agricultura orgánica. CAC 97-03. Pág. 25-30. *In: Informe Técnico 2001, Programa de Cacao y Agroforestería. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 1era edición. La Lima, Cortés, Honduras.*
- Ramírez Argueta, Orozco, L; Casanoves, F; Díaz, J. 2021. Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte de Honduras.

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

Parcela/ Plantación	Nutrición	Año 2020						Año 2021					
		Químico (mezcla física)		Orgánico (lombricomposta)		Del productor		Químico (mezcla física)		Orgánico (lombricomposta)		Del productor	
		Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta	Inicio lluvias lb/pta	Final lluvias lb/pta	Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta	Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta	Inicio lluvias lb/pta	Final lluvias lb/pta	Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta
CEDEC-JAS	Químico	12-24-12:8 NH 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
	Productor					0	0					0	0

Parcela/ Plantación	Nutrición	Año 2022					
		Químico (mezcla física)		Orgánico (lombricomposta)		Del productor	
		Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta	Inicio lluvias lb/pta	Final lluvias lb/pta	Inicio lluvias oz/pta	Final lluvias oz/pta
CEDEC-JAS	Químico	18-46-0: 4 NH 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

Anexo 3. Análisis químico a priori de lombricomposta (orgánica).

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

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

V. EVALUACIÓN DE ESPECIES FORESTALES

Tras un primer estudio de largo plazo (1987-2010) de Sistemas Agroforestales con cacao (SAF-Cacao) se evaluaron especies de sombra tradicional (mezcla de leguminosas Ingas, Erithrinas y Gliricidia), frutales como rambután y maderables de valor comercial (cedro y laurel negro) (Dubón y Sánchez 2010); se mostró un mejor desempeño agroeconómico de los SAF-Cacao con especies maderables de valor comercial, lo que motivó a la FHIA a ampliar su investigación incorporando 36 especies maderables en su gran mayoría nativas del bosque tropical húmedo. A la fecha se ha extendido su evaluación por 28-30 años, registrando su crecimiento, capacidad de captura de carbono, adaptación como sombra permanente y dinámicas de interacción con el cacao.

El Programa emplea un diseño multifacético, evaluando las especies no solo en SAF-Cacao (integración agroforestal) y parcelas puras (monocultivos forestales) sino que también en la modalidad en línea (linderos, senderos y franjas). Esta diversificación metodológica ofrece alternativas adaptadas a zonas de ladera para agricultura y ganadería sostenible. En 2022, se publicó los resultados de 12 SAF-Cacao en la revista *Frontiers* (Ramírez-Argueta *et al.* 2022), destacando la relación entre sombra, rendimiento y salud del cacao. Para 2024 y 2025, se consolidaron datos de crecimiento y productividad de las 24 especies restantes en SAF-Cacao (Ramírez-Argueta *et al.* 2024).

En alianza con la UNACIFOR (Universidad Nacional de Ciencias Forestales), se inició en 2023 una línea de investigación que determina las propiedades físico-mecánicas de la madera de cuatro especies: granadillo rojo, hormigo, caoba del Atlántico y san juan guayapeño (Alvarado *et al.* 2024). Las propiedades físico-mecánicas de la madera son parámetros que permiten conocer el uso en la industria y el nivel de trabajabilidad de la madera aserrada; es decir, la capacidad de soportar fuerzas externas durante su transformación. Por ejemplo, la densidad está directamente relacionada a la resistencia para soportar ataques de plagas y también a la facilidad para dimensionarla en el aserrío. Por otro lado, estas características son importantes en construcciones, pues la capacidad de soportar fuerzas que intenten su estiramiento o forma es vital para mantener la calidad de la estructura. Entre 2024-2025, la colaboración con UNACIFOR se amplió, estudiando ocho especies adicionales: barba de jolote, cedrillo, limba, san juan areno, marapolán, rosita, cedro de la India y laurel negro.

Paralelamente, se construyeron curvas de crecimiento tomando como base el registro histórico entre 23-30 años en las 16 especies evaluadas en sistemas de árboles en línea, integrando métricas como: diámetro a la altura del pecho (DAP, cm), volumen comercial (m³/árbol) y biomasa en volumen comercial (t/árbol) y captura de carbono equivalente (t/árbol) estimada a partir del volumen comercial, un indicador crítico para cuantificar su contribución a la mitigación de gases de efecto invernadero. Estos avances no solo fortalecen la base científica para el manejo forestal sostenible, sino que proporcionan herramientas prácticas para que los agricultores equilibren productividad, rentabilidad y resiliencia ambiental.

En 2025, siempre con la UNACIFOR se inició con el desarrollo de los Factores de Expansión de Biomasa (FEB), elaborados a partir del análisis de árboles de las especies, san juan areno, limba, rosita.

En colaboración con la UNAG (Universidad Nacional de Agricultura), se ha iniciado con el diseño y metodología de evaluación de la biodiversidad (riqueza y abundancia) de aves y mamíferos en CEDEC-JAS y CADETH-AMR y la riqueza y abundancia del mono aullador

Finalmente, junto a la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) y apoyo de la Universidad Panamericana Zamorano, se midieron mediante análisis de suelo y foliar la evolución de las propiedades físicas, químicas y biológicas y, la relación y traslocación de estas propiedades en tres SAF-Cacao con especies maderables de diferentes tasas de crecimiento vs un monocultivo de cacao.

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

M.Sc. Oscar Ramírez, Ing. Aroldo Dubón, Dr. Javier Díaz e Ing. Jesús Sánchez
Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen

Árboles de 16 especies forestales del bosque latifoliado fueron establecidos en parcelas de medición permanente (PMP) bajo la modalidad de linderos en el CEDEC-JAS de La Masica, Atlántida. Las tasas de crecimiento o variables medidas inicialmente incluyeron el diámetro a la altura de pecho (DAP) y la altura comercial (a la bifurcación del fuste); con estas mediciones se determinó las estimaciones de volumen comercial utilizando la fórmula John Rooper. También, se elaboró la curva de crecimiento de los árboles para cada especie, con sus respectivos modelos de regresión que proyectan el crecimiento del árbol hasta de 30 años de edad. Finalmente se realizó el cálculo de estimaciones del índice de fuste aprovechable y factor de forma (relacionado a la conicidad del fuste), la biomasa, el carbono equivalente capturado para cada especie, así como su densidad básica. Los resultados indican que existen variaciones en el crecimiento entre las especies a lo largo de su vida de desarrollo. Especies como *Terminalia ivorensis* determinó el mayor índice de fuste aprovechable, mientras que *Pterocarpus havesii* registró el menor índice aprovechable. Para el factor de forma, *Vochysia guatemalensis* registró el más alto índice lo que denota que es una especie con troncos cilíndricos y óptimos para aserrío; mientras que, *Huertea cubensis* muestra fustes más cónicos. La densidad básica determina la dureza /trabajabilidad de la madera y para este caso, *Tabebuia guayacan* determinó el mayor valor 1.142 t/m³. Finalmente, para el análisis de las curvas de crecimiento, el análisis determinó 5 grupos estadísticamente diferenciados en donde la *Terminalia superba* se muestra como la especie de más rápido crecimiento bajo esta modalidad de

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

Palabras claves: tasas de crecimiento, Dap, Altura comercial, volumen, biomasa, carbono.

Introducción

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

Se ha monitoreado el comportamiento de 16 especies latifoliadas en linderos del valle de La Masica, Atlántida, registrando parámetros dasométricos anuales como el diámetro a la altura del pecho (DAP, en cm), altura total (m), altura comercial (m) y volumen maderable ($m^3/\text{árbol}$ y m^3/km lineal), calculado inicialmente mediante la fórmula de Smalian. En 2015, se adoptó la fórmula de John Rooper para estimar volúmenes comerciales basados en la altura hasta la primera rama (altura comercial). Para 2024 y 2025, el estudio se amplió con la cuantificación de biomasa y carbono equivalente (t/árbol), además de la construcción de curvas de crecimiento para todas las variables analizadas, incluyendo estas nuevas métricas. El objetivo central de esta investigación de largo plazo (+29 años) es evaluar la adaptación y el desarrollo dasométrico de las especies en condiciones de bosque húmedo tropical del norte de Honduras, con el fin de generar recomendaciones técnicas para su establecimiento en áreas subutilizadas de sistemas productivos. Los hallazgos buscan guiar a los productores en la integración estratégica de árboles en línea, transformando espacios improductivos en activos económicos y ecológicos bajo un enfoque de sostenibilidad integral.

Materiales y métodos

Se establecieron aproximadamente 1,200 individuos procedentes de 16 especies maderables (Anexo 4) latifoliadas (tradicionales y no tradicionales con potencial maderero) entre 1987 y 2000 (Cuadro 14), bajo condiciones ambientales propias del Bosque Tropical Húmedo (Bt-H) propias del CEDEC-JAS en La Masica, Atlántida (Coordenadas: 15.64554, -87.09986, 18-20 msnm, precipitación media anual: 3,000 mm y temperatura: 25.5-27.5 °C), que cuenta con suelos planos y de fertilidad baja a media. Las evaluaciones se realizaron en parcelas de medición permanente (PMP), diseñadas para monitorear el comportamiento dasométrico, sin emplear diseños estadísticos clásicos. Cada especie se plantó en hileras con espaciamiento de 5-6 m entre árboles. A partir del segundo año, se midió anualmente parámetros dasométricos mediante protocolos estandarizados: diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) con pie de rey y cinta diamétrica, y altura total (m) con vara telescópica y clinómetro. Las lecturas se realizaron en submuestras de 5-25 árboles por especie (excluyendo individuos extremos), ajustándose el tamaño muestral tras raleos

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

Entre 2024 y 2025, se elaboró la curva de crecimiento de los árboles para cada especie, con sus respectivos modelos de regresión lineal $Y = \beta_0 + \beta_1(x) + \beta_2(x)^2 + \beta_3(x)^3$ utilizando el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo, 2019) (Cuadro 16, 17, 18 y 19), comparando edades desde 1 hasta 29 años, siendo esta última la edad predominante en 2024 para las especies establecidas entre 1995 y 1996 (Cuadro 14). Adicionalmente, se estimó la biomasa y el carbono equivalente acumulado en el volumen comercial. Se empleó una tercera metodología para la estimación del volumen comercial, utilizando el DAP, la altura comercial y un factor de forma (factor de conicidad de troza comercial utilizando el DAP y el diámetro a la altura comercial). Para obtener la altura comercial en el período anterior a 2015, se aplicó un factor de conversión: la relación entre la altura comercial (AC) y la altura total (AT).

Este factor, calculado en 2024, se determinó dividiendo la AC entre la AT en cada uno de los árboles por especie. Adicionalmente, se estimó la densidad de la madera al 12 % de humedad dividiendo la masa entre el volumen (Cuadro 14). Con esta información, se realizaron estimaciones de biomasa y, a partir de esta, se estimó el carbono multiplicando la biomasa por la constante 0.5. Finalmente, se estimó el carbono equivalente capturado multiplicando el carbono por 3.97 (relación peso CO₂ sobre C). Estas dos últimas variables se midieron únicamente en volumen comercial o Vc (Ramírez-Argueta *et al.* 2022).

Resultados

El análisis de las variables dasométricas complementarias para las 16 especies maderables muestra información valiosa sobre la calidad del fuste y las propiedades de la madera. En conjunto, las especies presentan un factor de forma promedio alto de 0.84, lo que indica fustes con buena conformación cilíndrica, un atributo deseable para la producción maderable ya que se traduce en menor desperdicio durante el aserrado y mayor rendimiento volumétrico. Destacan especialmente especies como san juan de pozo (*Vochysia guatemalensis*) con un valor de 0.94, mostrando una forma casi cilíndrica ideal, mientras que caoba de Lagos (*Khaya ivorensis*) presenta el valor más bajo con 0.74, sugiriendo una mayor conicidad en su fuste (Cuadro 14).

Respecto al factor altura comercial y altura total (AC/AT), se observa una amplia variabilidad entre especies, con valores que oscilan entre 0.19 para Sangre blanco (*Pterocarpus hayesii*) y 0.87 para Framire (*Terminalia ivorensis*). Esta variabilidad probablemente refleja diferencias en las estrategias de crecimiento y uso del espacio entre especies (Cuadro 14).

La densidad de la madera muestra diferencias aún más marcadas entre especies, con valores que van desde 0.335 t/m³ para pochote (*Bombacopsis quinata*) hasta 1.142 t/m³ para cortés (*Tabebuia guayacan*). Esta variabilidad tiene implicaciones directas en los usos potenciales de la madera: las especies con densidades bajas como el ochote son adecuadas para aplicaciones donde se busca ligereza, mientras que maderas pesadas como el cortés ofrecen mayor durabilidad y resistencia, aptas para construcciones exigentes. El promedio general de 0.589 t/m³ sitúa a la mayoría de las especies en el rango de maderas medianamente pesadas (Cuadro 14).

La temporalidad de los registros, que abarca desde 1999-2002 hasta 2025 para la mayoría de las especies, proporciona una base sólida para el análisis, permitiendo observar el comportamiento dasométrico a lo largo de aproximadamente 25 años de crecimiento. Las diferentes edades de establecimiento (entre 1987 y 2000) ofrecen además perspectivas complementarias sobre el desarrollo de las especies en etapas de mediana edad. Estos datos dasométricos complementarios, al integrarse con información sobre el crecimiento en diámetro y volumen, permitirán una caracterización más completa del potencial productivo de cada especie y proporcionarán criterios técnicos fundamentales para la selección de especies en programas de reforestación y manejo forestal sostenible en la región.

Cuadro 14. Resumen de variables dasométricas complementarias para la construcción de curvas de crecimiento y correlación entre variables, de especies maderables evaluadas en línea. La Masica, Atlántida. 2025.

#	Nombre científico	Nombre común	Año de establecimiento	Años de registro	Factor: AC/AT (0-1)	Factor de forma (0-1)	Dm (t/m ³)
1	<i>Casimiroa edulis</i>	Matasano	1999	2002-2025	0.27	0.87	0.936
2	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	1987	2002-2015	0.34	0.86	0.443
3	<i>Cordia alliodora</i>	Laurel blanco	1987	1999-2024	0.31	0.87	0.507
4	<i>Cordia megalantha</i>	Laurel negro	1987	1999-2024	0.66	0.83	0.459
5	<i>Guarea grandifolia</i>	Marapolán	1996	2002-2025	0.29	0.88	0.528
6	<i>Huerteia cubensis</i>	Cedrillo	1995	2002-2025	0.37	0.79	0.460
7	<i>Khaya ivorensis</i>	Caoba de lagos	1995	2002-2025	0.33	0.74	0.520
8	<i>Bombacopsis quinata</i>	Pochote	1996	2002-2025	0.25	0.82	0.335
9	<i>Pterocarpus hayesii</i>	Sangre blanco	1995	2002-2025	0.19	0.83	0.440
10	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba del Atlántico	1987	1999-2009	0.40	0.88	0.537
11	<i>Tabebuia guayacan</i>	Cortés	1996	2002-2025	0.39	0.84	1.142
12	<i>Tectona grandis</i>	Teca	1989	1999-2009	0.38	0.79	0.669
13	<i>Terminalia ivorensis</i>	Framire	1987	1999-2025	0.87	0.82	0.652
14	<i>Terminalia superba</i>	Limba	2000	2002-2025	0.74	0.79	0.430
15	<i>Virola koschnyi</i>	Sangre rojo	1995	2002-2025	0.67	0.84	0.500
16	<i>Vochysia guatemalensis</i>	San Juan de Pozo	1995	2002-2025	0.43	0.94	0.411
Promedio					0.42	0.84	0.589

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

Resultados en las curvas de crecimiento

DAP (cm). El análisis dasométrico reveló cinco grupos diferenciados (identificados por colores en la Figura 17), basados en las tasas de crecimiento diametral. La limba (*Terminalia superba*) destacó como la especie con el mayor incremento, alcanzando un DAP de 92 cm a los 24 años, valor significativamente superior al de las demás especies, a pesar de tener cinco años menos de evaluación comparado con el periodo total de 30 años. Este comportamiento sugiere una adaptación excepcional al sitio y una tasa de crecimiento anual elevada (3.83 cm/año). El maderable san juan de pozo (*Vochysia guatemalensis*) mostró un patrón similar a limba durante la primera década

(DAP = 83 cm a los 24 años, 9 cm menos que limba), pero su crecimiento se estabilizó posteriormente, registrando 92.5 cm a los 30 años (Figura 21).

En contraste, cedrillo (*Huertea cubensis*) presentó el menor desempeño con un DAP de 38.0 cm a los 24 años (54 cm menos que limba) y 42.7 cm a los 30 años, valor equivalente al que limba alcanzó a los 9 años. Esta divergencia evidencia una tasa de crecimiento anual crítica (1.58 cm en cedrillo vs 3.83 cm por año en limba). Los datos mostrados pueden utilizarse como soporte técnico en la decisión de que especie forestal establecer. Por ejemplo, si la intención fuese obtener madera para embalaje de forma rápida, la limba y san juan de pozo serían los mejores candidatos (Figura 21).

Se observa que las especies de alto valor comercial como marapolán (*Guarea grandifolia*), teca (*Tectona grandis*), caoba del Atlántico (*Swietenia macrophylla*), laurel negro (*Cordia megalantha*) y laurel blanco (*Cordia alliodora*) alcanzan diámetros comerciales considerables (más de 40 cm a los 20 años) pero moderados en comparación de especies de rápido desarrollo inicial como limba (*Terminalia superba*) y san juan de pozo (*Vochysia guatemalensis*) con Dap mayores a 70 cm comparados a la misma edad. Los individuos mejor desarrollados llegaron a 41-50 cm a los 10 años sobresaliendo especies como Limba, San Juan de Pozo y Pochote, mostrando que la mayor acumulación diametral ocurrió en su primera década (Figura 21). La teca mostró un patrón particular: aunque su crecimiento nunca fue acelerado (apenas 1.0-1.8 cm/año entre los 12-22 años). Su fase de mayor incremento ocurrió entre los 12 y 18 años, estabilizándose después de los 20 años con mínimos aumentos diametrales, alcanzando promedios de 40-45 cm a los 22 años.

Desde el punto de vista silvicultural, este intervalo de 15 a 25 años constituye el período óptimo de aprovechamiento, en el cual el crecimiento aún es significativo y se pueden planificar raleos y cosechas que maximicen tanto el rendimiento volumétrico como la calidad final de la madera.

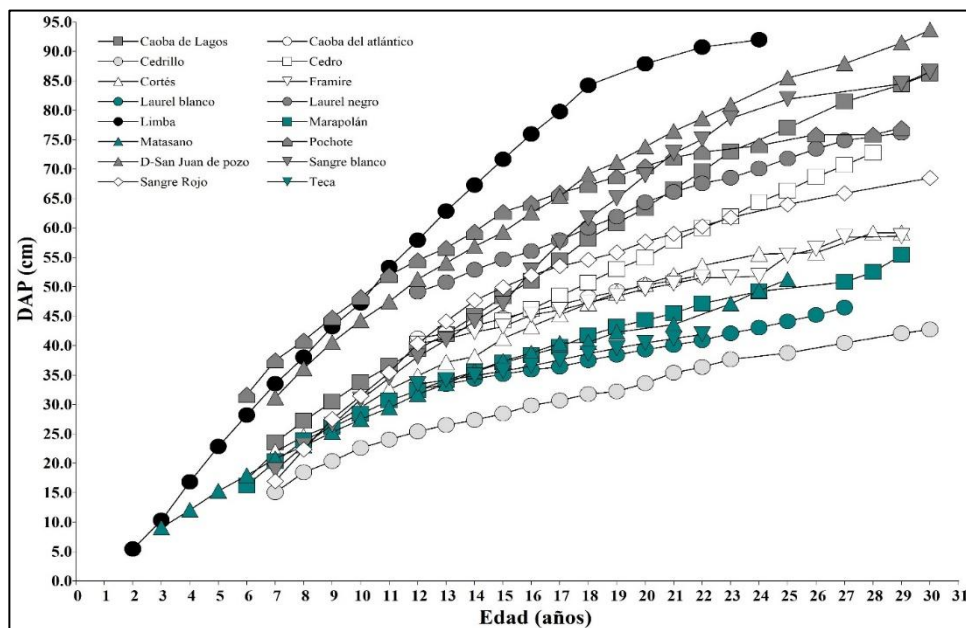


Figura 21. Curvas de crecimiento en DAP (cm) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica no diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.

Cuadro 15. Modelos con mejor ajuste para la estimación del DAP (cm) en función de la edad.

Especie maderable	$\beta_0 \pm \text{E.E.}$	$\beta_1 \pm \text{E.E.}$	$\beta_2 \pm \text{E.E.}$	$\beta_3 \pm \text{E.E.}$
Matasano	-2.27195 \pm 0.98759	4.06444 \pm 0.28429	-0.12437 \pm 0.02340	0.00180 \pm 0.00057
Cedro	28.05712 \pm 8.61085	-0.41005 \pm 1.24526	0.13045 \pm 0.05889	-0.00210 \pm 0.00091
Laurel blanco	19.12034 \pm 2.45245	1.55134 \pm 0.39976	-0.04830 \pm 0.02105	0.00105 \pm 0.00036
Laurel negro	38.48436 \pm 5.75348	-0.31556 \pm 0.90099	0.13144 \pm 0.04536	-0.00261 \pm 0.00074
Marapolán	-6.05463 \pm 2.39243	4.70531 \pm 0.50341	-0.14936 \pm 0.03194	0.00198 \pm 0.00062
Cedrillo	-3.04304 \pm 2.68441	3.45514 \pm 0.52379	-0.11347 \pm 0.03125	0.00167 \pm 0.00058
Caoba de lagos	8.96132 \pm 2.17245	1.55256 \pm 0.42390	0.11076 \pm 0.02529	-0.00256 \pm 0.00047
Pochote	-2.31393 \pm 1.79742	6.87961 \pm 0.37889	-0.20272 \pm 0.02412	0.00203 \pm 0.00047
Sangre blanco	12.77643 \pm 4.24929	-0.97103 \pm 0.82873	0.34261 \pm 0.04942	-0.00771 \pm 0.00092
Caoba del Atlántico	39.80761 \pm 4.38721	-1.41209 \pm 0.80196	0.17162 \pm 0.04795	-0.00374 \pm 0.00094
Cortés	-2.61324 \pm 0.86093	3.79817 \pm 0.11290	-0.05762 \pm 0.00336	
Teca	48.83636 \pm 3.26180	-3.87381 \pm 0.59624	0.28164 \pm 0.03565	-0.00545 \pm 0.00070
Framire	27.49301 \pm 0.64029	1.07956 \pm 0.03086		
Limba	-3.93056 \pm 1.05808	4.77308 \pm 0.33434	0.10383 \pm 0.02937	-0.00566 \pm 0.00075
Sangre rojo	-40.2107 \pm 3.38444	10.54744 \pm 0.66038	-0.38039 \pm 0.03940	0.00496 \pm 0.00073
San Juan de Pozo	1.91486 \pm 0.91595	4.73244 \pm 0.11244	-0.05669 \pm 0.00316	

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

Volumen comercial ($V_c \text{ m}^3$). Al igual que los grupos observados en el diámetro a la altura del pecho (DAP), los cuales se representan mediante colores en la Figura 22. La especie limba destaca por su alta productividad, alcanzando un volumen maderable de 11.1 $\text{m}^3/\text{árbol}$. Esta cifra se traduce en un volumen total de 1,843 m^3/km en una plantación lineal con una densidad de 166 árboles por kilómetro, asumiendo un espaciamiento de 6 metros entre árboles. La limba no solo exhibe la mayor tasa de crecimiento, sino que también supera significativamente al resto de las especies evaluadas. Su volumen promedio es casi 15 veces superior al de la especie con menor crecimiento, el cedrillo, cuyo volumen a los 24 años es de apenas 0.75 $\text{m}^3/\text{árbol}$. Es notable que, a pesar de tener cinco años menos, que la segunda especie con mayor crecimiento, también la supera en 2.6 $\text{m}^3/\text{árbol}$ (san juan de pozo = 8.5 $\text{m}^3/\text{árbol}$).

Al igual que los patrones observados en el diámetro a la altura del pecho (DAP), representados mediante colores en la Figura 22, las diferencias en volumen comercial entre las especies son claras. El laurel negro destaca por su alto rendimiento, ubicándolo en tercer lugar, alcanzando un volumen maderable de 7.2 $\text{m}^3/\text{árbol}$ a los 29 años. Esta cifra supera ampliamente a especies como marapolán y cedrillo, que registran apenas 1 $\text{m}^3/\text{árbol}$ a edades similares (29 y 30 años, respectivamente). La caoba del Atlántico, con 1.8-2.1 $\text{m}^3/\text{árbol}$ a los 22 años, se posiciona como una alternativa intermedia (Figura 22).

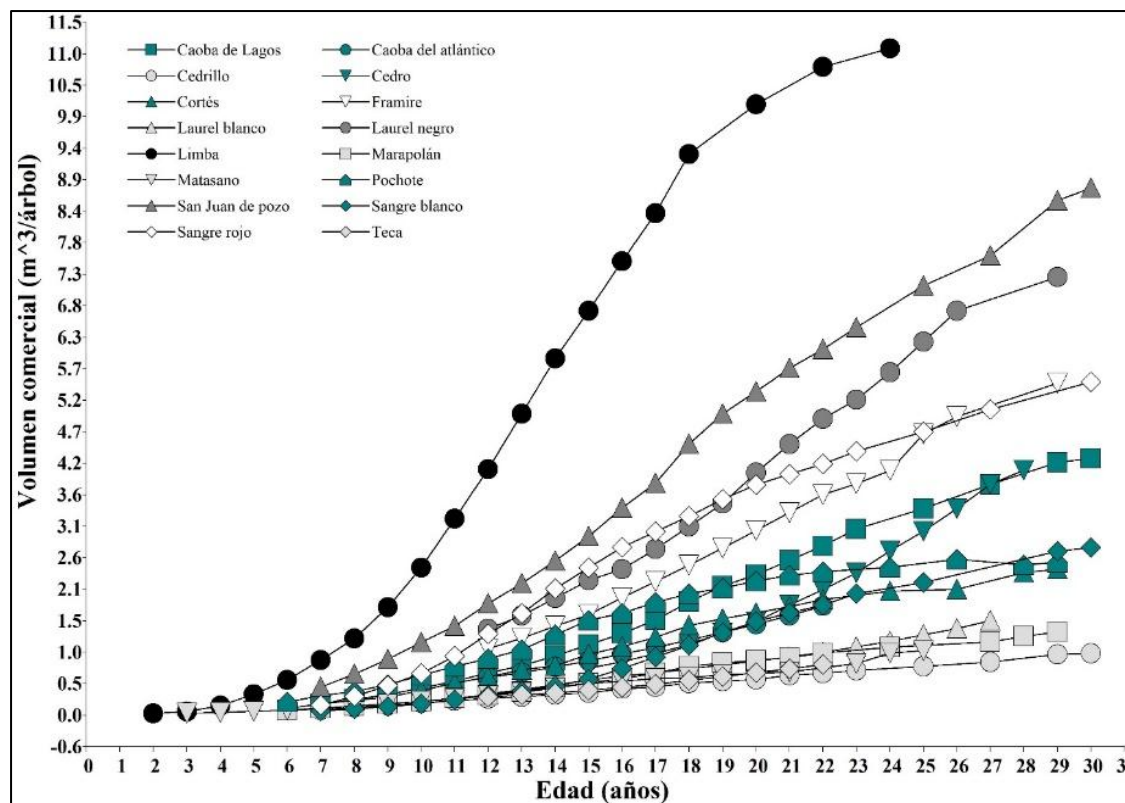


Figura 22. Curvas de crecimiento en Vc (m³/árbol) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica que no hay diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.

Cuadro 16. Modelos ajustados para la estimación del Vc (m³/árbol) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS. 2025.

Especie maderable	$\beta_0 \pm E.E.$	$\beta_1 \pm E.E.$	$\beta_2 \pm E.E.$	$\beta_3 \pm E.E.$
Matasano	-0.04453 ± 0.06956	0.00681 ± 0.02002	0.00235 ± 0.00165	-0.00004 ± 0.00004
Cedro	6.70811 ± 1.84125	-0.96453 ± 0.26627	0.04584 ± 0.01259	-0.00053 ± 0.00019
Laurel blanco	-1.79738 ± 0.12763	0.30565 ± 0.02080	-0.01391 ± 0.00110	0.00027 ± 0.00002
Laurel negro	8.15498 ± 1.56336	-1.40726 ± 0.24482	0.08763 ± 0.01233	-0.00138 ± 0.00020
Marapolán	0.15484 ± 0.10668	-0.05724 ± 0.02245	0.00782 ± 0.00142	-0.00016 ± 0.00003
Cedrillo	-0.18671 ± 0.02041	0.03413 ± 0.00251	0.00021 ± 0.00007	
Caoba de lagos	1.05471 ± 0.17186	-0.27904 ± 0.03353	0.02544 ± 0.00200	-0.00042 ± 0.00004
Pochote	0.06163 ± 0.19147	-0.07226 ± 0.04036	0.01741 ± 0.00257	-0.00042 ± 0.00005
Sangre blanco	1.26512 ± 0.22250	-0.32317 ± 0.04339	0.02523 ± 0.00259	-0.00043 ± 0.00005
Caoba del atlántico	-0.10978 ± 0.22782	0.04215 ± 0.04164	0.00073 ± 0.00249	0.00006 ± 0.00005
Cortés	0.23215 ± 0.18376	-0.09960 ± 0.03875	0.01455 ± 0.00247	-0.00030 ± 0.00005
Teca	0.84048 ± 0.11148	-0.13663 ± 0.02038	0.00912 ± 0.00122	-0.00013 ± 0.00002
Framire	2.40084 ± 1.53747	-0.45440 ± 0.24045	0.03536 ± 0.0120.8	-0.00055 ± 0.00020
Limba	1.34743 ± 0.21543	-0.76870 ± 0.06807	0.11863 ± 0.00598	-0.00291 ± 0.00015
Sangre rojo	-1.34570 ± 0.47855	0.10096 ± 0.09338	0.01535 ± 0.00557	-0.00038 ± 0.00010
San Juan pozo	0.54108 ± 0.52745	-0.24922 ± 0.10292	0.03825 ± 0.00614	-0.00070 ± 0.00011

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

Las tendencias observadas en biomasa (t/árbol) y carbono equivalente (t/árbol) son consistentes con las de volumen. La limba se distingue nuevamente a los 24 años, presentando los valores más altos de biomasa (4.8 t/árbol) y carbono equivalente (8.7 t/árbol). En contraste, el cedrillo se mantiene como la especie con los valores más bajos en ambos parámetros (0.5 y 0.8 t/árbol, respectivamente), como se detalla en las Figuras 19 y 20.

La comparación entre especies resalta la importancia de considerar estrategias de manejo diferenciadas según los objetivos del productor: para ingresos rápidos y alta captura de carbono en el corto plazo, especies de crecimiento acelerado como la limba son ideales; para maximizar la calidad de la madera y la estabilidad del carbono almacenado, especies de crecimiento más lento con densidad media o alta constituyen mejor opción.

Además, el análisis de biomasa y carbono equivalente evidencia que los linderos y sistemas agroforestales pueden diseñarse para combinar beneficios económicos con servicios ecosistémicos, optimizando el uso del suelo y contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia de las fincas.

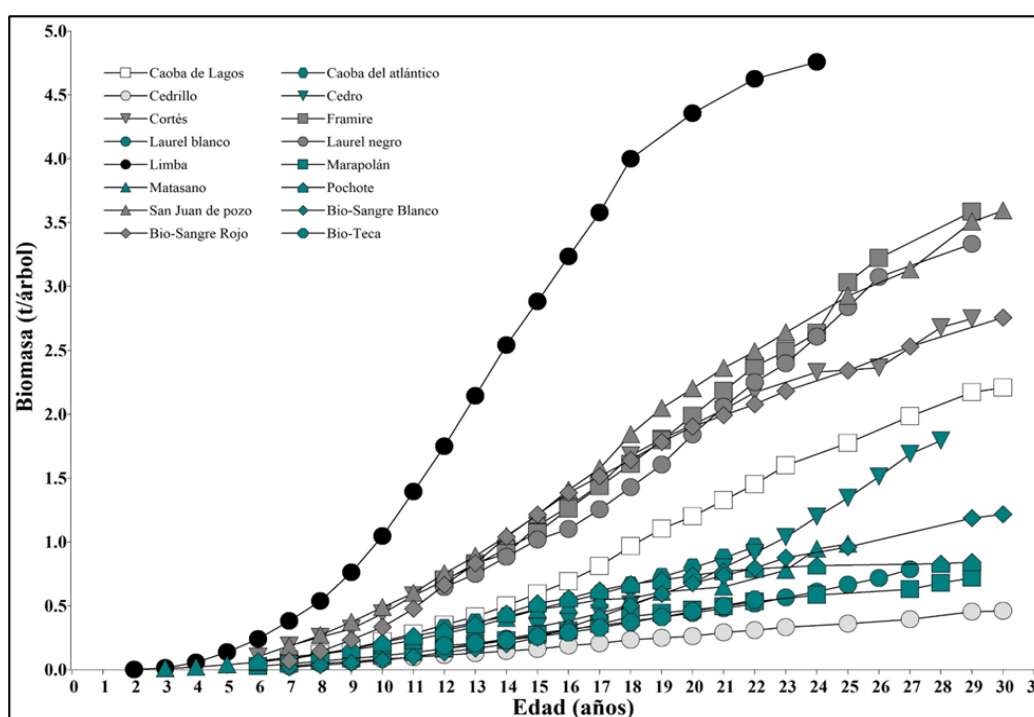


Figura 23. Curvas de crecimiento en Bio (t/árbol) de 16 especies maderables evaluados en línea. El mismo color indica que no hay diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.

Cuadro 17. Modelos ajustados para la estimación del Bio (t/árbol) en función de la edad de cada maderable, según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS, 2025.

Especie maderable	$\beta_0 \pm E.E.$	$\beta_1 \pm E.E.$	$\beta_2 \pm E.E.$	$\beta_3 \pm E.E.$
Matasano	-0.09557 \pm 0.03363	0.02365 \pm 0.00565	0.00072 \pm 0.00021	
Cedro	2.97169 \pm 0.81567	-0.42729 \pm 0.11796	0.02031 \pm 0.00558	-0.00023 \pm 0.00009
Laurel blanco	-0.91127 \pm 0.06471	0.15497 \pm 0.01055	-0.00705 \pm 0.00056	0.00013 \pm 0.00001
Laurel negro	3.74314 \pm 0.71758	-0.64593 \pm 0.11237	0.04022 \pm 0.00566	-0.00063 \pm 0.00009

Especie maderable	$\beta_0 \pm E.E.$	$\beta_1 \pm E.E.$	$\beta_2 \pm E.E.$	$\beta_3 \pm E.E.$
Marapolán	0.08176 ± 0.05632	-0.03022 ± 0.01185	0.00413 ± 0.00075	-0.00008 ± 0.00001
Cedrillo	-0.08588 ± 0.00939	0.01570 ± 0.00115	0.00010 ± 0.00003	
Caoba de lagos	0.53896 ± 0.09293	-0.14401 ± 0.01813	0.01320 ± 0.00108	-0.00022 ± 0.00002
Pochote	0.02065 ± 0.06414	-0.02421 ± 0.01352	0.00583 ± 0.00086	-0.00014 ± 0.00002
Sangre blanco	0.55665 ± 0.09790	-0.14219 ± 0.01909	0.01110 ± 0.00114	-0.00019 ± 0.00002
Caoba del Atlántico	-0.05895 ± 0.12234	0.02264 ± 0.02236	0.00039 ± 0.00134	0.00003 ± 0.00003
Cortés	0.26512 ± 0.20985	-0.11375 ± 0.04426	0.01661 ± 0.00282	-0.00034 ± 0.00006
Teca	0.56228 ± 0.07458	-0.09141 ± 0.01363	0.00610 ± 0.00082	-0.00009 ± 0.00002
Framire	1.56535 ± 1.00243	-0.29627 ± 0.15678	0.02305 ± 0.00788	-0.00036 ± 0.00013
Limba	0.57940 ± 0.09263	-0.33054 ± 0.02927	0.05101 ± 0.00257	-0.00125 ± 0.00007
Sangre rojo	-0.67285 ± 0.23928	0.05048 ± 0.04669	0.00768 ± 0.00279	-0.00019 ± 0.00005
San Juan pozo	0.22238 ± 0.21678	-0.10243 ± 0.04230	0.01572 ± 0.00252	-0.00029 ± 0.00005

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

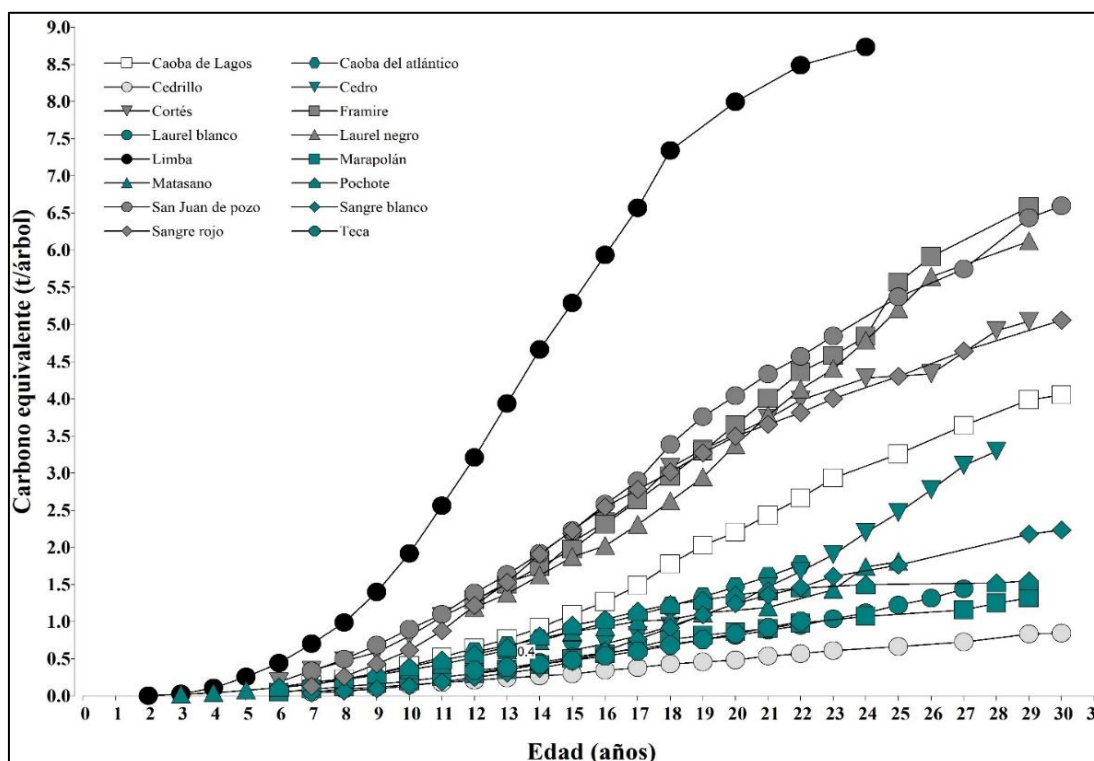


Figura 24. Curvas de crecimiento en C-equivalente (t/árbol) de 16 especies maderables en línea. El mismo color indica que no hay diferencia entre especies. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2025.

Cuadro 18. Modelos para la estimación C equivalente (t/árbol) en función de la edad del maderable según los criterios AIC y BIC, en la modalidad en línea. CEDEC-JAS, 2025.

Especie maderable	$\beta_0 \pm E.E.$	$\beta_1 \pm E.E.$	$\beta_2 \pm E.E.$	$\beta_3 \pm E.E.$
Matasano	-0.17536 \pm 0.06172	0.04341 \pm 0.01036	0.00132 \pm 0.00038	
Cedro	5.45306 \pm 1.49676	-0.78407 \pm 0.21645	0.03726 \pm 0.01024	-0.00043 \pm 0.00016
Laurel blanco	-1.67219 \pm 0.11874	0.28436 \pm 0.01935	-0.01294 \pm 0.00102	0.00025 \pm 0.00002
Laurel negro	6.86866 \pm 1.31677	-1.18528 \pm 0.20620	0.07381 \pm 0.01038	-0.00116 \pm 0.00017
Marapolán	0.15002 \pm 0.10336	-0.05546 \pm 0.02175	0.00758 \pm 0.00138	-0.00015 \pm 0.00003
Cedrilla	-0.15760 \pm 0.01723	0.02881 \pm 0.00211	0.00017 \pm 0.00006	
Caoba de lagos	1.01017 \pm 0.16961	-0.26691 \pm 0.03309	0.02431 \pm 0.00197	-0.00040 \pm 0.00004
Pochote	0.03789 \pm 0.11770	-0.04442 \pm 0.02481	0.01070 \pm 0.00158	-0.00026 \pm 0.00003
Sangre blanco	1.02145 \pm 0.17964	-0.26093 \pm 0.03504	0.02037 \pm 0.00209	-0.00035 \pm 0.00004
Caoba del Atlántico	-0.10818 \pm 0.22450	0.04154 \pm 0.04104	0.00072 \pm 0.00245	0.00006 \pm 0.00005
Cortés	0.48649 \pm 0.38507	-0.20872 \pm 0.08121	0.03048 \pm 0.00517	-0.00063 \pm 0.00010
Teca	1.03179 \pm 0.13686	-0.16773 \pm 0.02502	0.01120 \pm 0.00150	-0.00016 \pm 0.00003
Framire	2.87241 \pm 1.83946	-0.54366 \pm 0.28768	0.04230 \pm 0.01445	-0.00066 \pm 0.00023
Limba	1.06319 \pm 0.16998	-0.60654 \pm 0.05371	0.09361 \pm 0.00472	-0.00229 \pm 0.00012
Sangre rojo	-1.23468 \pm 0.43907	0.09263 \pm 0.08567	0.01409 \pm 0.00511	-0.00035 \pm 0.00009
San Juan de Pozo	0.40807 \pm 0.39780	-0.18796 \pm 0.07762	0.02885 \pm 0.00463	-0.00053 \pm 0.00009

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

Conclusiones

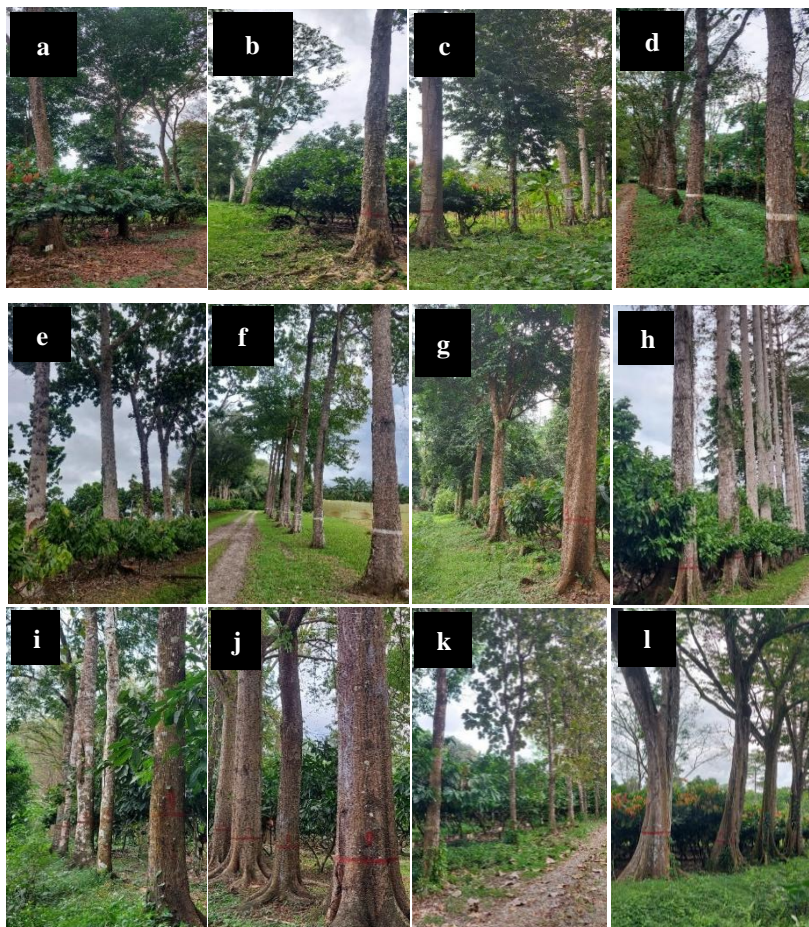
- El estudio reveló diferencias significativas en las tasas de crecimiento de las especies maderables evaluadas. Especies como la limba, san juan de pozo y laurel negro se presentan como alternativas viables para la producción de madera a corto plazo, gracias a su rápido crecimiento, tanto así, que a los 12 años alcanzan diámetros de corte de 50 cm. No obstante, es crucial considerar que estas especies podrían generar competencia con cultivos colindantes. En contraste, especies como la caoba del Atlántico, el cedro y el cortés se perfilan como opciones adecuadas cuando se busca minimizar el impacto sobre el rendimiento de cultivos adyacentes.
- Se observó que la densidad de la madera está estrechamente relacionada con el crecimiento de cada especie y su valor económico potencial. Las especies de rápido crecimiento generan altos volúmenes de madera en períodos cortos, pero presentan densidades menores y, por lo tanto, calidad inferior comparada con maderas de densidad media o alta. En contraste, las especies de crecimiento más lento desarrollan estructuras celulares más compactas, produciendo madera más pesada, duradera y de mayor valor en el mercado. Este patrón permite orientar la planificación silvícola según los objetivos productivos: ciclos cortos para flujo rápido de volumen y capital, o ciclos largos para maximizar la calidad, durabilidad y valor económico de la madera, ajustando la selección de especies a la demanda del mercado.
- En términos generales, el establecimiento de especies forestales en linderos representa una estrategia prometedora para la reforestación, la conservación de recursos naturales y el uso eficiente del suelo.

Además, esta práctica ofrece una fuente de ingresos a largo plazo, lo que subraya la importancia de promover su adopción entre productores de regiones tropicales húmedas.

Literatura citada

- Alvarado, J; Gutierrez, A; Perdomo, M; Muñoz, R; Ramírez, O; Martínez, A. 2024. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de las especies *Tabebuia donnell smithii*, *Swietenia macrophylla*, *Platymiscium dimorphandrum* y *Dalbergia glomerata* en ambiente natural contra plantación agroforestal de la FHIA, en el departamento de Atlántida, Honduras. In Programa de Cacao y Agroforestería. Cortés, Honduras, FHIA. p. 57-62. (Informe técnico 2023).
- Di Rienzo JA; Casanoves F; Balzarini MG; González L; Tablada M., Robledo CW. 2019. InfoStat versión 2019 Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dubón, A; Sánchez, J. 2016. Manual de producción de cacao. 2nd edición. Cortés, Honduras, FHIA. 264 p.
- Ramírez Argueta, O. A. (2022). Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte de Honduras.

Anexo 4. Especies Maderables: a) Cortés, b) San Juan de Pozo, c) Sangre Rojo, d) Caoba del Atlántico, e) Caoba de Lagos f) Framire, g) Marapolán, h) Limba, i) Cedrillo, j) Pochote k) Sangre Blanco y l) Teca.



5.2. Adaptación y crecimiento de caoba del atlántico (*Swietenia macrophylla*), en el valle de Sula

M.Sc. Oscar Ramírez, Dr. Francisco Javier Díaz, Ing. Elvin Ávila, M.Sc. José Fiallos e Ing. Julio Coto

Programa de Cacao y Agroforestería

Resumen

El análisis de las plantaciones de caoba del Atlántico en el CEDPRR-FHIA, evaluadas a los 11 años de edad, revela un crecimiento heterogéneo marcado por la densidad inicial y el manejo silvícola. El desarrollo diamétrico (DAP) no ha alcanzado los valores óptimos esperados en varias parcelas, especialmente en aquellas con alta densidad inicial (p. ej., marcos de 3.5 m x 3.5 m), donde los promedios oscilan entre 13.5 y 19 cm. Este crecimiento limitado se atribuye a la competencia intraespecífica intensa, que restringe el acceso individual a luz, agua y nutrientes. En contraste, las parcelas establecidas con espaciamientos más amplios (como 6.0 m x 5.0 m) registran los mayores DAP promedio (hasta 22.5 cm), confirmando que una menor densidad favorece significativamente el crecimiento diamétrico individual. Respecto a la estructura poblacional, la mayoría de los lotes presentan una distribución diamétrica fuertemente concentrada (44 %-56 % de los árboles) en la clase de 15-20 cm de DAP, lo que define rodales jóvenes, homogéneos y con escasa regeneración bajo dosel. Solo algunos lotes (3A, 4 y 6) comienzan a mostrar una transición hacia clases comerciales (>25 cm), aunque en proporciones aún bajas. Los resultados a la fecha destacan la necesidad crítica de intervenciones de manejo activo, principalmente raleos selectivos, en las parcelas más densas para reducir la competencia, liberar el crecimiento diamétrico de los árboles futuros y promover la regeneración. La supervivencia promedio del 60 % es aceptable, pero el potencial productivo no se está maximizando bajo el régimen de competencia actual. Se recomienda priorizar el manejo de la densidad para reorientar estas plantaciones hacia la producción de madera de mayor diámetro y valor comercial.

Palabras claves: plantación, DAP, densidad, marcos de plantación, clases diamétricas.

Introducción

Ante la disponibilidad de áreas de cultivo y el riesgo asociado a potenciales invasiones por pobladores de colonias vecinas, FHIA decidió en el año 2010 establecer un estudio de adaptación y crecimiento de caoba del Atlántico (*Swietenia macrophylla*) en el valle de Sula, específicamente en el Centro Experimental y Demostrativo Phillip Ray Rowe (CEDPRR), Guaruma 1, La Lima, Cortés.

Esta iniciativa respondió a la necesidad institucional de generar información técnica que permitiera respaldar el uso productivo y sostenible de las áreas experimentales, así como evaluar el comportamiento de especies forestales de alto valor comercial en condiciones representativas de la región. El estudio tuvo como objetivo determinar la adaptación de la caoba al ambiente edafoclimático del valle de Sula y generar información sobre su potencial de crecimiento y calidad bajo diferentes arreglos espaciales, densidades de siembra y esquemas de raleo. El programa de plantación se desarrolló entre 2010 y 2014, permitiendo establecer una base experimental que facilitara el análisis del desempeño silvicultural de la especie y su viabilidad para futuros esquemas productivos y de diversificación.

Objetivo

Determinar la adaptación y generar información sobre el potencial de crecimiento y calidad de la caoba (*Swietenia macrophylla*) al ambiente edafoclimático prevaleciente en el valle de Sula con diferentes arreglos, densidades de siembra y raleos.

Materiales y métodos

El CEDPRR está localizado a 31 msnm, con una precipitación media anual de 1,200 mm y temperatura media anual de 28 °C y dentro de un ecosistema que va de bosque seco a semihúmedo tropical de acuerdo a la clasificación de Holdridge. En la sección 38 de Guaruma 1 se evaluaron 11 parcelas de caoba del Atlántico establecidas en diferentes años, entre 2010 a 2014, muchas de ellas con diferentes marcos de plantación (Cuadro 19, Figura 26).

Cuadro 19. Establecimiento de parcelas de caoba (*Swietenia macrophylla*) y cacao en el CEDPRR-FHIA. Sección 38, Guaruma 1, La Lima, Cortés, Honduras.

Parcela	Modalidad	Fecha de siembra	Espaciamiento (m)	Densidad (árbol/ha)	Cantidad		Área(ha)
					Inicial	Año 2025	
2B	Caoba	Sep. 2010	3.0 x 3.0	1,111	600	292	0.55
2C	Caoba	Jun. 2012	3.5 x 3.5	816	310	160	0.37
7	Caoba	Jun. 2012	3.5 x 3.5	816	1,120	965	1.28
3A	Caoba/cacao	Oct. 2012	6.0 x 5.0	333	271	335	0.69
3B	Caoba/cacao	Oct. 2012	6.0 x 3.0	555	390	285	0.69
2A	Caoba	Oct. 2013	3.5 x 3.5	816	374	326	0.52
6	Caoba	Ago. 2014	3.5 x 3.5	816	1,122	507	1.38
5	Caoba	Sep. 2014	3.5 x 3.5	816	1,122	609	1.38
4	Caoba/cacao	Sep. 2014	3.5 x 3.5	816	1,122	463	1.38
1A	Caoba/cacao	Oct. 2014	4.0 x 4.0	625	286	213	0.46
1B	Caoba/cacao	Oct. 2014	4.0 x 4.0	625	308	106	0.49
Total					7,025	4,259	9.19

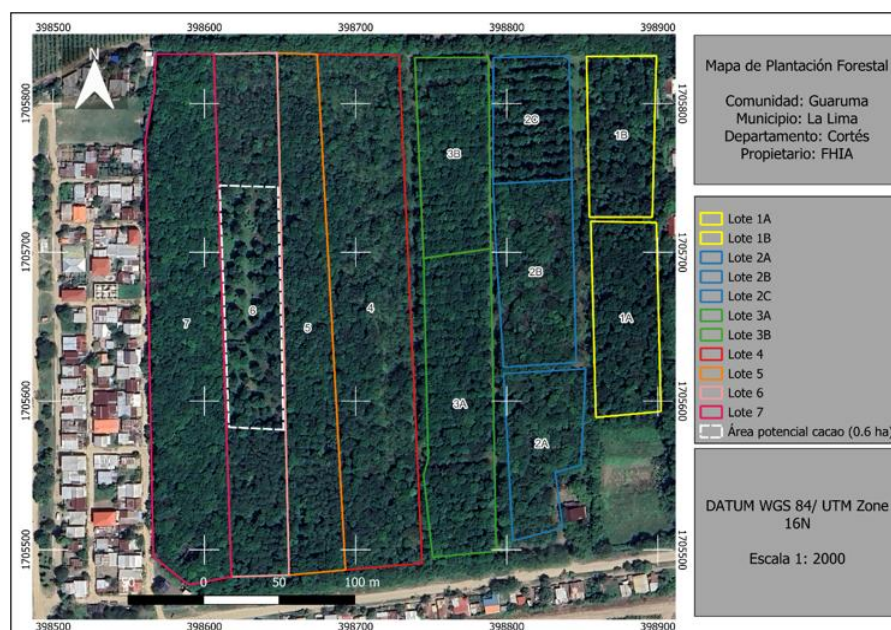


Figura 25. Vista aérea de las parcelas de la Sección 38 (11 parcelas).

A mediados de 2021, el manejo de estas parcelas pasó a cargo del Programa de Cacao y Agroforestería, realizando diferentes raleos de los árboles de caoba entre otras especies (leucaena, madreño, cacao) que se establecieron inicialmente dentro de las parcelas de caobas (Figura 26).

En 2025, se continuó dando el manejo de las parcelas, encaminando los esfuerzos al control de maleza y al levantamiento de la información de crecimiento de los árboles (medición del DAP).



Figura 26. Parcela de caoba con y sin cultivo de cacao por debajo.

Resultados y discusiones

Al año 2025, las parcelas de caoba y caoba/cacao del CEDPRR-FHIA presentan un desarrollo heterogéneo, reflejando diferencias en edad de siembra, densidad inicial, espaciamiento y manejo. En términos de diámetro a la altura del pecho (DAP), muchas de las parcelas más antiguas, como 2B (2010) y 2C (2012), no han alcanzado los valores esperados para su edad, con promedios entre 19 y 24 cm. Este crecimiento limitado se puede atribuir a la alta densidad inicial, la competencia intraespecífica y las características edafoclimáticas del sitio. En contraste, parcelas más jóvenes o con espaciamiento más amplio, como 3A, 3B y 7, presentan DAP promedio más altos, evidenciando que un manejo adecuado del espaciamiento favorece incrementos diamétricos individuales más significativos (Cuadro 20 y Figura 27).

Respecto a la altura comercial, los árboles muestran un rango de crecimiento entre 3.85 y 5.01 m, con valores mayores en parcelas donde la densidad remanente permitió mayor disponibilidad de recursos. Aunque algunas parcelas no alcanzaron los diámetros esperados, los árboles remanentes han logrado desarrollar alturas comerciales razonables, aprovechando el espacio y la luz disponible (Cuadro 20 y Figura 27).

El volumen por árbol refleja la interacción entre DAP y altura comercial. Las parcelas con DAP limitado y alturas moderadas, como 2B y 2C, presentan volúmenes individuales relativamente bajos (0.0834–0.1334 m³), mientras que parcelas con menor densidad remanente y buen desarrollo, como 3A y 7, presentan volúmenes mayores (0.1189 y 0.0860 m³), lo que indica que el espaciamiento y la competencia controlada permiten un crecimiento más eficiente de cada árbol. En general, la plantación mantiene una densidad remanente de 4,259 árboles sobre 7,025 iniciales, equivalente a una supervivencia promedio del 60 % (Cuadro 20). Estos resultados muestran que, aunque la supervivencia es aceptable, el crecimiento diametral aún es limitado en varias parcelas antiguas, lo que resalta la necesidad de implementar manejos silviculturales complementarios, como raleo selectivo para maximizar el desarrollo del DAP del volumen maderable.

Cuadro 20. Características dasométricas de los lotes de caoba del atlántico en 2025, ubicadas en CEDPRR-FHIA.

Lote	Marco de plantación (m)	n	DAP (cm) D.E.	A.C. (m) D.E.	Vol.C. (m ³) D.E.
1A	4.0 × 4.0	213	20.84 ± 4.32	5.01 ± 1.32	0.1061 ± 0.0638
1B	4.0 × 4.0	105	20.55 ± 3.8	4.14 ± 0.6	0.0837 ± 0.034
2A	3.5 × 3.5	325	19.19 ± 6.11	4.31 ± 0.78	0.0834 ± 0.0567
2B	3.0 × 3.0	292	23.87 ± 5.27	4.82 ± 0.75	0.1334 ± 0.0686
2C	3.5 × 3.5	160	19.44 ± 4.51	4.76 ± 0.62	0.0887 ± 0.0445
3A	6.0 × 5.0	335	23.17 ± 3.95	4.63 ± 0.54	0.1189 ± 0.0425
3B	6.0 × 3.0	285	20.59 ± 4.21	4.64 ± 0.55	0.0957 ± 0.0406
4	3.5 × 3.5	463	18.01 ± 4.58	3.85 ± 0.65	0.0612 ± 0.0315
5	3.5 × 3.5	609	17.94 ± 3.6	3.92 ± 0.7	0.0609 ± 0.0263
6	3.5 × 3.5	507	17.7 ± 4.58	4.14 ± 0.72	0.0351 ± 0.0422
7	3.5 × 3.5	965	18.82 ± 5.34	4.82 ± 0.73	0.086 ± 0.0474

DAP: Diámetro altura del pecho, A.C: altura comercial, Vol.C: volumen comercial, D.E: Desviación estándar.

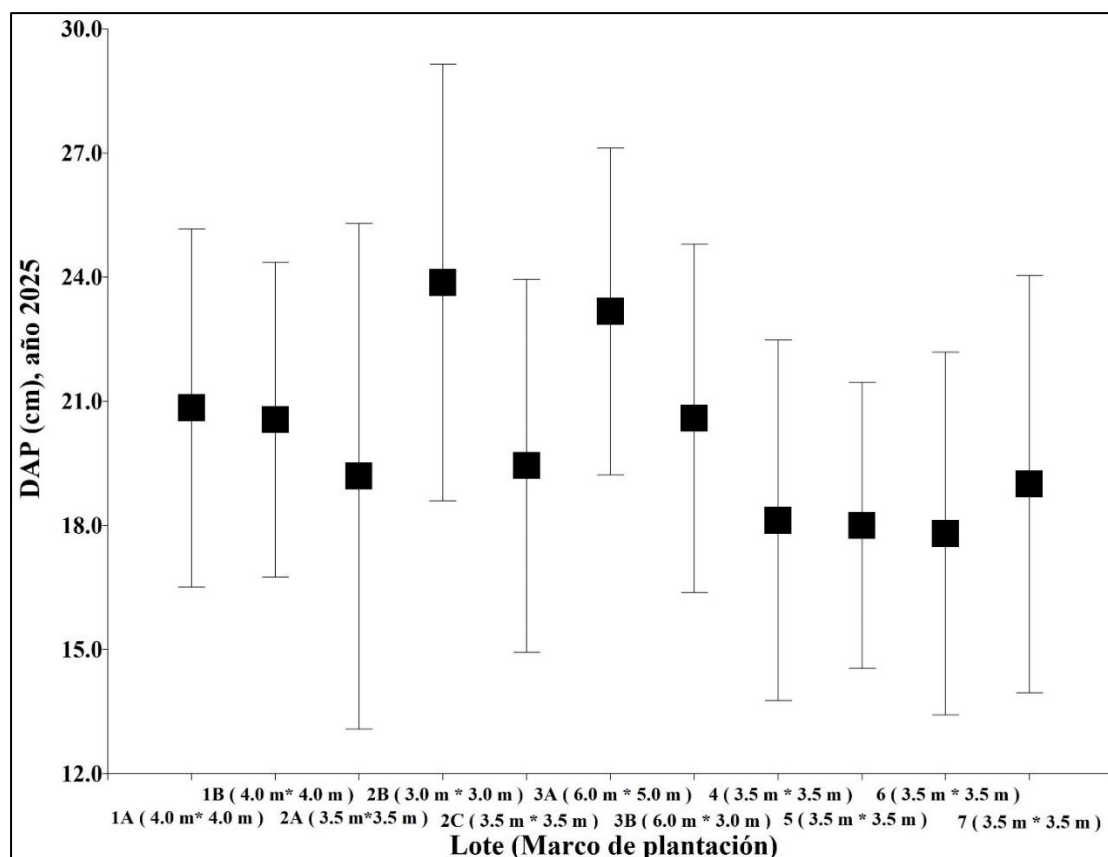


Figura 27. Comparación del diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio entre dos mediciones o tratamientos en diferentes lotes de caoba del atlántico en CEDPRR-FHIA, 2025.

La comparación fundamental del crecimiento en diámetro (DAP) de plantaciones de caoba del Atlántico a los 11 años de edad, organizadas según su marco de plantación. La tendencia más clara e importante es la relación inversa entre la densidad de plantación y el DAP promedio. Los lotes

con marcos más amplios, y por lo tanto menor densidad de árboles por hectárea, muestran consistentemente los mayores diámetros individuales. El lote 3A (6.0 m x 5.0 m), con la densidad más baja, alcanza el DAP promedio más alto de 22.5 cm, lo que demuestra el menor efecto de la competencia por recursos como luz, agua y nutrientes, permitiendo un crecimiento diamétrico más robusto (Figura 28).

Por el contrario, los lotes establecidos con marcos más estrechos y mayor densidad, como la configuración común de 3.5 m x 3.5 m, presentan los DAP promedio más bajos, que oscilan entre 13.5 cm y 18.5 cm. Está marcada diferencia evidencia el impacto de la competencia intraespecífica intensa en el desarrollo individual de los árboles. Cuando la densidad es mayor, los recursos disponibles se distribuyen entre un mayor número de individuos, limitando el crecimiento en grosor de cada uno. Este patrón es consistente en todos los lotes comparados, confirmando que el espacio vital es un factor crítico para el desarrollo diamétrico de la especie (Figura 28).

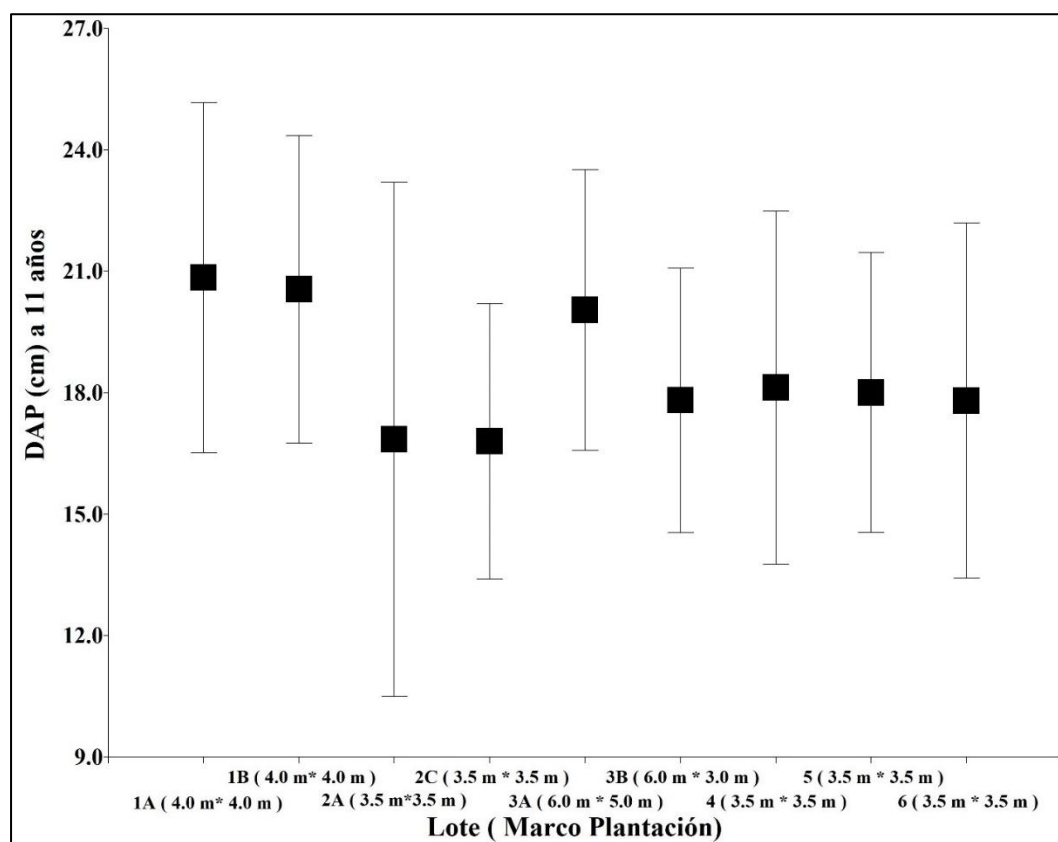


Figura 28. Cuadro de DAP a los 11 años para caoba del Atlántico.

La tabla muestra la distribución diamétrica de los árboles en el Lote 1A, revelando una estructura poblacional claramente dominada por árboles jóvenes o de diámetro intermedio. El dato más significativo es que casi la mitad de los individuos (44.6 %) se concentran en la clase de DAP entre 15 y 20 centímetros. Esta frecuencia relativa de 0.446 no solo es la más alta por un amplio margen, sino que define la característica principal del lote: es un rodal mayoritariamente compuesto por árboles en una fase de desarrollo similar, probablemente correspondiente a una cohorte o regeneración relativamente uniforme. (Cuadro 21).

Este pico de concentración en la clase 4 (15-20 cm) indica que la población no tiene una distribución normal o equilibrada en todos los tamaños, sino que está fuertemente sesgada hacia diámetros bajos. La frecuencia decae rápidamente hacia las clases superiores: mientras que el 41.8 % de los árboles está en la siguiente clase (20-25 cm), este porcentaje cae drásticamente a 4.7 % para la clase de 25-30 cm, y a menos del 2 % para árboles con DAP superior a 30 cm. Las dos primeras clases (0-10 cm) están completamente vacías, lo que sugiere una ausencia o una mortalidad muy alta de brinzales y latizales en este momento del inventario (Cuadro 21).

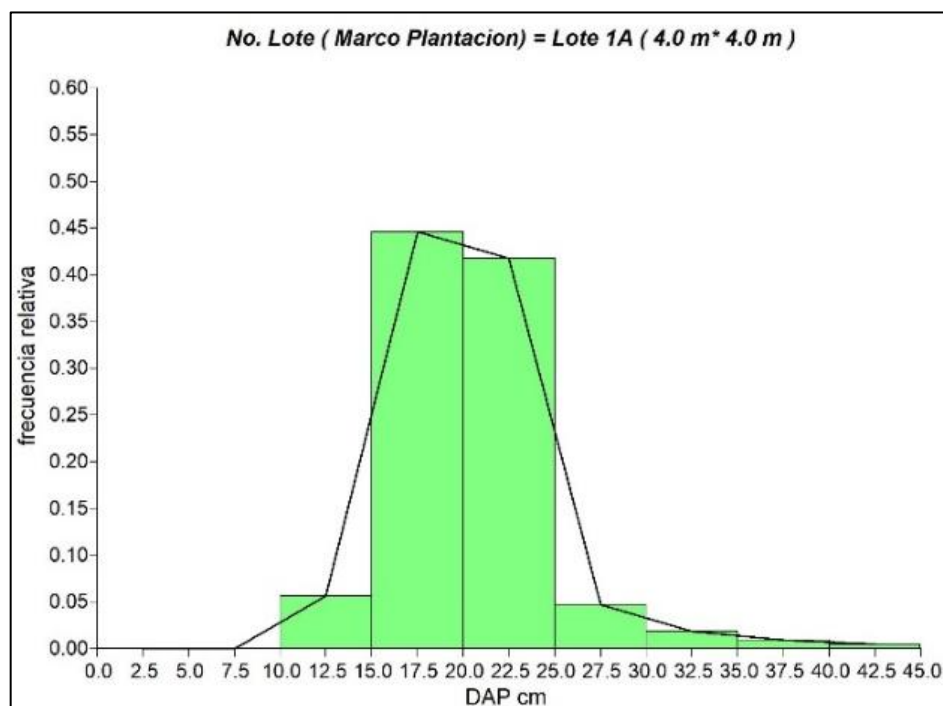


Figura 29. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 1A.

Cuadro 21. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) de los árboles en el Lote 1A (parcela de 4.0 m x 4.0 m).

No. Lote	Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Lote 1A	DAP cm	1	[0.000	5.000]	2.5	0	0	0	0
Lote 1A	DAP cm	2	(5.000	10.000]	7.5	0	0	0	0
Lote 1A	DAP cm	3	(10.000	15.000]	12.5	12	0.056	12	0.056
Lote 1A	DAP cm	4	(15.000	20.000]	17.5	95	0.446	107	0.502
Lote 1A	DAP cm	5	(20.000	25.000]	22.5	89	0.418	196	0.92
Lote 1A	DAP cm	6	(25.000	30.000]	27.5	10	0.047	206	0.967
Lote 1A	DAP cm	7	(30.000	35.000]	32.5	4	0.019	210	0.986
Lote 1A	DAP cm	8	(35.000	40.000]	37.5	2	0.009	212	0.995
Lote 1A	DAP cm	9	(40.000	45.000]	42.5	1	0.005	213	1

Clase: Número del intervalo. LI y LS: Límites del rango de DAP para cada clase. MC: Punto medio del intervalo (valor representativo). FA: Número de árboles en esa clase. FR: Proporción de árboles en esa clase. FAA: Número total de árboles acumulado hasta esa clase. FRA: Proporción acumulada de árboles hasta esa clase.

El Lote 1B presenta una estructura diamétrica típica de un rodal joven y homogéneo, dominada por árboles de tamaño intermedio, donde casi la mitad de los individuos (47.6 %) se concentra en la clase de 15 a 20 cm de DAP. La ausencia total de árboles en las clases inferiores (0-10 cm) indica una falta de regeneración actual, mientras que la rápida disminución de frecuencias en clases superiores (>25 cm) revela una escasa presencia de individuos maduros, configurando una población con gran potencial de crecimiento, pero sin reclutamiento aparente y con mínima representación de árboles de dimensiones comerciales (Cuadro 22 y Figura 30).

Cuadro 22. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 1B.

No. Lote	Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Lote 1B	DAP cm	1	[0.000	5.000]	2.5	0	0	0	0
Lote 1B	DAP cm	2	(5.000	10.000]	7.5	0	0	0	0
Lote 1B	DAP cm	3	(10.000	15.000]	12.5	7	0.067	7	0.067
Lote 1B	DAP cm	4	(15.000	20.000]	17.5	50	0.476	57	0.543
Lote 1B	DAP cm	5	(20.000	25.000]	22.5	38	0.362	95	0.905
Lote 1B	DAP cm	6	(25.000	30.000]	27.5	7	0.067	102	0.971
Lote 1B	DAP cm	7	(30.000	35.000]	32.5	3	0.029	105	1

Clase: Número del intervalo. LI y LS: Límites del rango de DAP para cada clase. MC: Punto medio del intervalo (valor representativo). FA: Número de árboles en esa clase. FR: Proporción de árboles en esa clase. FAA: Número total de árboles acumulado hasta esa clase. FRA: Proporción acumulada de árboles hasta esa clase.

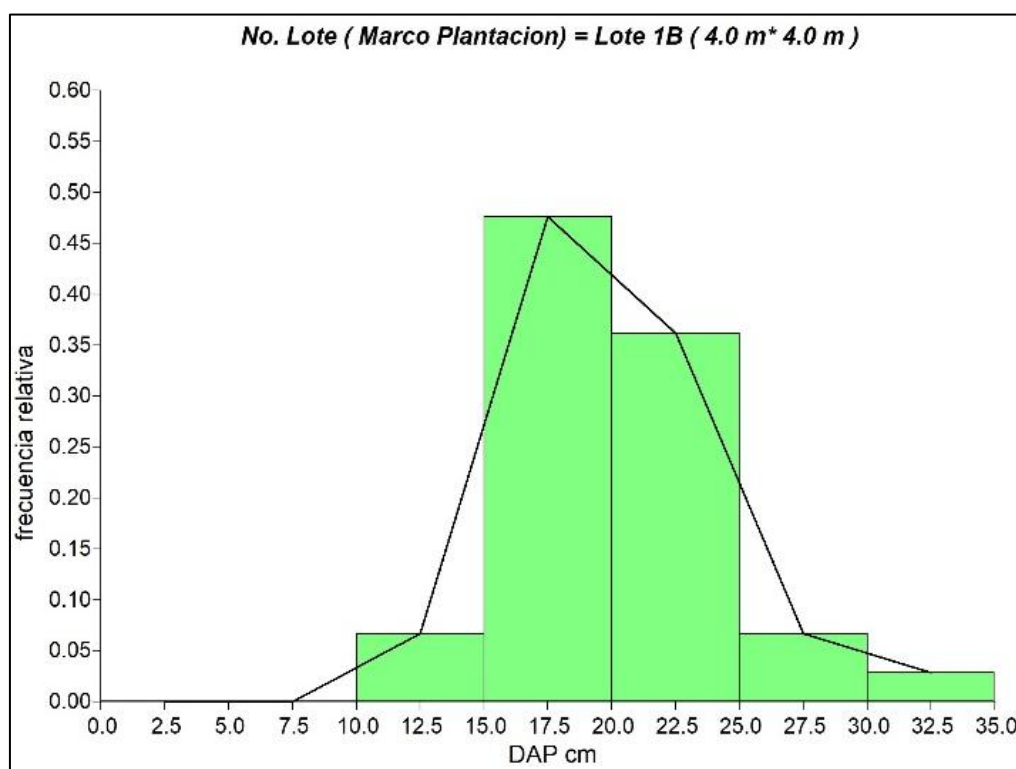


Figura 30. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 1B.

La distribución diamétrica del Lote 2A muestra una población forestal con una estructura concentrada y joven, donde el 44.4 % de los árboles se encuentra en la clase de 15 a 20 cm de DAP, constituyendo la frecuencia relativa máxima. Está marcada dominancia en diámetros bajos, junto con la presencia acumulada del 75 % de los individuos por debajo de los 20 cm y la ausencia de árboles mayores a 30 cm, caracteriza al lote como un rodal en etapa de desarrollo juvenil a intermedio, con una distribución unimodal y asimétrica positiva típica de plantaciones o regeneraciones uniformes, y sin una cohorte significativa de árboles maduros (Cuadro 23).

Cuadro 23. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 2A.

No. Lote	Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Lote 2A	DAP cm	1	[0.000	5.000]	2.5	3	0.083	3	0.083
Lote 2A	DAP cm	2	(5.000	10.000]	7.5	2	0.056	5	0.139
Lote 2A	DAP cm	3	(10.000	15.000]	12.5	6	0.167	11	0.306
Lote 2A	DAP cm	4	(15.000	20.000]	17.5	16	0.444	27	0.75
Lote 2A	DAP cm	5	(20.000	25.000]	22.5	7	0.194	34	0.944
Lote 2A	DAP cm	6	(25.000	30.000]	27.5	2	0.056	36	1

Clase: Número del intervalo. LI y LS: Límites del rango de DAP para cada clase. MC: Punto medio del intervalo (valor representativo). FA: Número de árboles en esa clase. FR: Proporción de árboles en esa clase. FAA: Número total de árboles acumulado hasta esa clase. FRA: Proporción acumulada de árboles hasta esa clase.

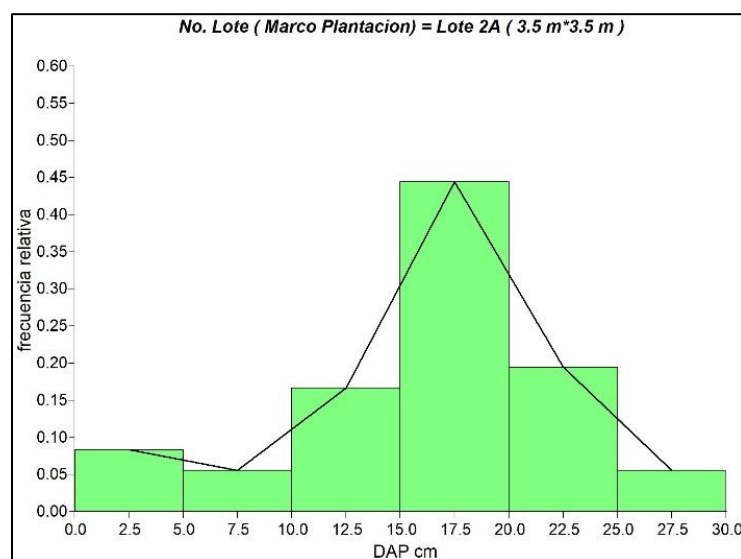


Figura 31. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 2A.

El Lote 2C presenta una estructura diamétrica altamente concentrada y homogénea, caracterizada porque más de la mitad de los árboles (53.1 %) se agrupan en la clase de 15 a 20 cm de DAP, lo que indica un rodal en etapa de desarrollo juvenil a intermedio resultante de una plantación o regeneración uniforme; la ausencia de individuos en la clase inferior (0-5 cm) señala una falta de regeneración actual, mientras que la escasísima presencia de árboles en clases superiores a 25 cm (solo 0.3 %) refleja una limitada progresión hacia tamaños mayores, sugiriendo una fuerte competencia intraespecífica que condiciona el crecimiento futuro y la necesidad de intervenciones de manejo para diversificar la estructura (Cuadro 24 y Figura 32).

Cuadro 24. Distribución de frecuencias del diámetro (DAP) para los árboles en el Lote 2C.

No. Lote	Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Lote 2C	DAP cm	1	[0.000	5.000]	2.5	0	0	0	0
Lote 2C	DAP cm	2	(5.000	10.000]	7.5	10	0.032	10	0.032
Lote 2C	DAP cm	3	(10.000	15.000]	12.5	91	0.294	101	0.327
Lote 2C	DAP cm	4	(15.000	20.000]	17.5	164	0.531	265	0.858
Lote 2C	DAP cm	5	(20.000	25.000]	22.5	43	0.139	308	0.997
Lote 2C	DAP cm	6	(25.000	30.000]	27.5	1	0.003	309	1

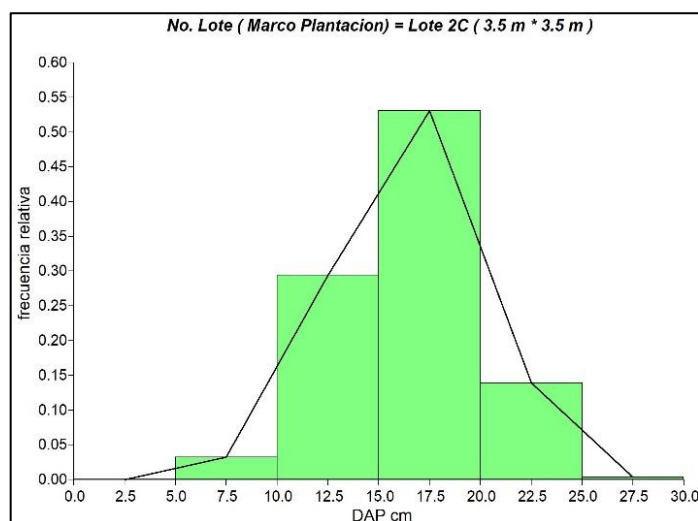


Figura 32. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 2C.

El Lote 3A, establecido con un marco amplio de 6.0 m x 5.0 m, muestra una distribución diamétrica que se destaca por tener una alta concentración (87.1 % acumulado) de árboles en las clases productivas de 15 a 25 cm de DAP, siendo la clase de 15-20 cm la más frecuente (46.1 %); esta estructura, junto con una presencia significativa de individuos en la clase superior de 20-25 cm (39.0 %) e incluso algunos árboles mayores de 25 cm (5.1 %), refleja un rodal en un estado de desarrollo más avanzado y balanceado en comparación con otros lotes, lo que sugiere que el mayor espaciamiento inicial ha permitido un mejor crecimiento diamétrico individual y una progresión más efectiva hacia clases de tamaño comercial. (Cuadro 25 y Figura 33).

Cuadro 25. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 3A.

No. Lote	Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Lote 3A	DAP cm	1	[0.000	5.000]	2.5	0	0	0	0
Lote 3A	DAP cm	2	(5.000	10.000]	7.5	1	0.003	1	0.003
Lote 3A	DAP cm	3	(10.000	15.000]	12.5	32	0.095	33	0.098
Lote 3A	DAP cm	4	(15.000	20.000]	17.5	155	0.461	188	0.56
Lote 3A	DAP cm	5	(20.000	25.000]	22.5	131	0.39	319	0.949
Lote 3A	DAP cm	6	(25.000	30.000]	27.5	17	0.051	336	1

Clase: Número del intervalo. LI y LS: Límites del rango de DAP para cada clase. MC: Punto medio del intervalo (valor representativo). FA: Número de árboles en esa clase. FR: Proporción de árboles en esa clase. FAA: Número total de árboles acumulado hasta esa clase. FRA: Proporción acumulada de árboles hasta esa clase.

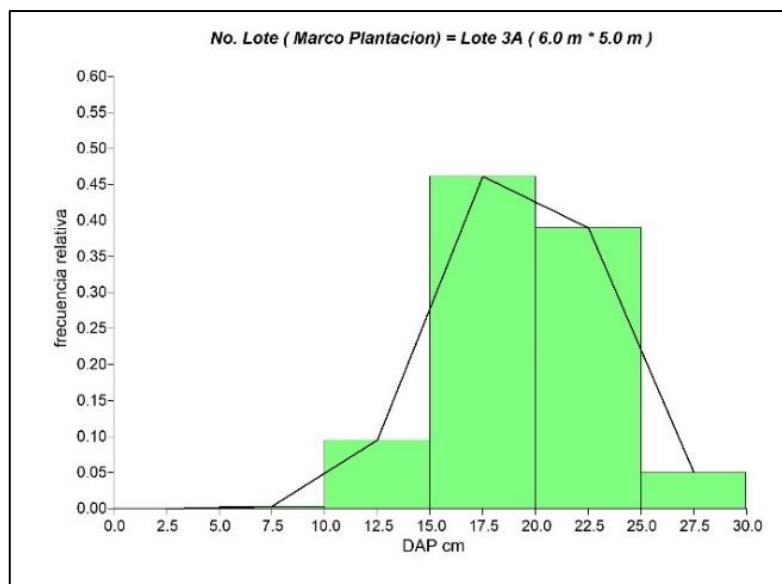


Figura 33. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 3A.

El Lote 3B exhibe la distribución diamétrica más concentrada de todos los lotes analizados, con una mayoría absoluta de árboles (56.5 %) ubicados en la clase de 15 a 20 cm de DAP, lo que define un rodal extremadamente homogéneo y joven; esta elevada densidad en la clase media, combinada con una presencia moderada en la clase inmediatamente superior (20-25 cm, 20.0 %) y una casi nula representación en clases mayores (>25 cm, 0.7 %), indica una población en etapa de desarrollo intermedio donde la competencia podría estar limitando fuertemente la diferenciación de tamaños y el avance hacia diámetros comerciales, a pesar del marco de plantación relativamente amplio (6.0 m x 3.0 m) (Cuadro 26 y Figura 34).

Cuadro 26. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 3B.

No. Lote	Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Lote 3B	DAP cm	1	[0.000	5.000]	2.5	0	0	0	0
Lote 3B	DAP cm	2	(5.000	10.000]	7.5	5	0.018	5	0.018
Lote 3B	DAP cm	3	(10.000	15.000]	12.5	60	0.211	65	0.228
Lote 3B	DAP cm	4	(15.000	20.000]	17.5	161	0.565	226	0.793
Lote 3B	DAP cm	5	(20.000	25.000]	22.5	57	0.2	283	0.993
Lote 3B	DAP cm	6	(25.000	30.000]	27.5	2	0.007	285	1

Clase: Número del intervalo. LI y LS: Límites del rango de DAP para cada clase. MC: Punto medio del intervalo (valor representativo). FA: Número de árboles en esa clase. FR: Proporción de árboles en esa clase. FAA: Número total de árboles acumulado hasta esa clase. FRA: Proporción acumulada de árboles hasta esa clase.

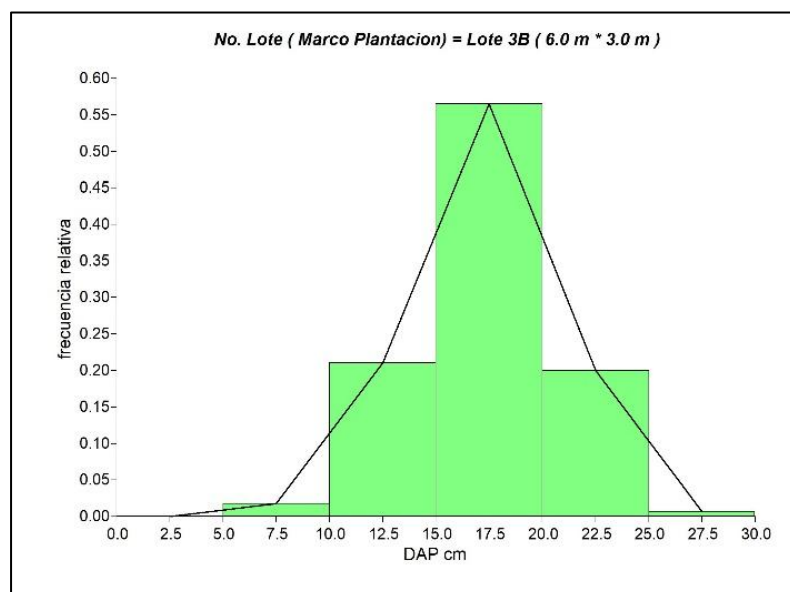


Figura 34. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 3B.

El Lote 4 presenta una estructura diamétrica moderadamente concentrada pero con una mayor diversidad de tamaños en comparación con lotes más homogéneos, donde casi la mitad de los árboles (48.5 %) se ubica en la clase de 15 a 20 cm de DAP; sin embargo, la presencia significativa de individuos en clases superiores con un 20.9 % en 20-25 cm, 3.5 % en 25-30 cm y 2.2 % en 30-35 cm — revela un rodal en transición hacia una etapa de desarrollo más avanzada, que comienza a desarrollar una cohorte de árboles de mayor diámetro, mientras que la baja frecuencia en clases inferiores (0-15 cm, 25.0 %) sugiere un limitado reclutamiento de regeneración bajo el dosel actual. (Cuadro 27 y Figura 35).

Cuadro 27. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 4.

No. Lote	Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Lote 4	DAP cm	1	[0.000	5.000]	2.5	1	0.002	1	0.002
Lote 4	DAP cm	2	(5.000	10.000]	7.5	9	0.02	10	0.022
Lote 4	DAP cm	3	(10.000	15.000]	12.5	105	0.228	115	0.25
Lote 4	DAP cm	4	(15.000	20.000]	17.5	223	0.485	338	0.735
Lote 4	DAP cm	5	(20.000	25.000]	22.5	96	0.209	434	0.943
Lote 4	DAP cm	6	(25.000	30.000]	27.5	16	0.035	450	0.978
Lote 4	DAP cm	7	(30.000	35.000]	32.5	10	0.022	460	1

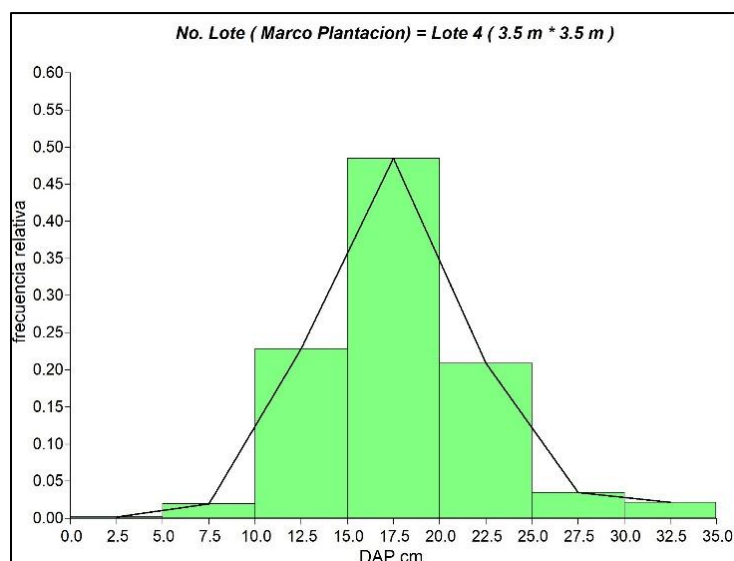


Figura 35. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 4.

El Lote 5 se caracteriza por una distribución diamétrica donde más de la mitad de los árboles (51.4 %) se concentran en la clase de 15 a 20 cm de DAP, definiendo un rodal predominantemente joven y homogéneo; sin embargo, muestra una presencia considerable de individuos en la clase siguiente (20-25 cm, 24.2 %), lo que indica que una parte significativa de la población está progresando hacia diámetros mayores, aunque la casi nula representación en clases superiores a 25 cm (1.5 %) y la muy baja frecuencia en clases inferiores a 10 cm (1.2 %) reflejan un desarrollo aún limitado hacia tamaños comerciales y un reclutamiento de regeneración muy escaso bajo las condiciones actuales de competencia. (Cuadro 28 y Figura 36).

Cuadro 28. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 5.

No. Lote	Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Lote 5	DAP cm	1	[0.000	5.000]	2.5	0	0	0	0
Lote 5	DAP cm	2	(5.000	10.000]	7.5	7	0.012	7	0.012
Lote 5	DAP cm	3	(10.000	15.000]	12.5	132	0.217	139	0.229
Lote 5	DAP cm	4	(15.000	20.000]	17.5	312	0.514	451	0.743
Lote 5	DAP cm	5	(20.000	25.000]	22.5	147	0.242	598	0.985
Lote 5	DAP cm	6	(25.000	30.000]	27.5	9	0.015	607	1

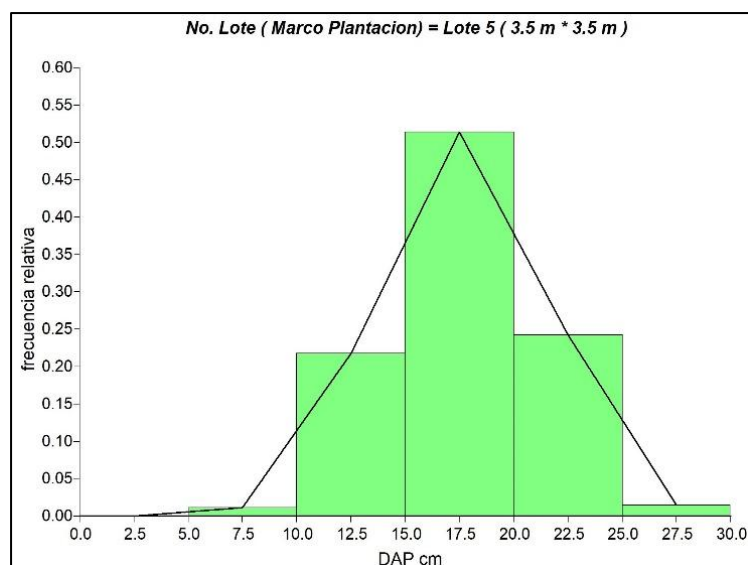


Figura 36. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 5.

El Lote 6 muestra la distribución diamétrica más dispersa y balanceada entre los lotes analizados, donde ninguna clase individual supera el 42.1 % de frecuencia (clase 15-20 cm), destacando una presencia significativa y casi equivalente en las clases adyacentes de 10-15 cm (24.4 %) y 20-25 cm (23.8 %); esta estructura, junto con una proporción notable de árboles en clases mayores (4.8 % en 25-30 cm e incluso un árbol en 30-35 cm), sugiere un rodal con mayor diversidad de tamaños y en una etapa de desarrollo más avanzada, que está progresando de manera más efectiva hacia diámetros comerciales en comparación con otros lotes de similar marco de plantación.

Cuadro 29. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 6.

No. Lote	Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Lote 6	DAP cm	1	[0.000	5.000]	2.5	0	0	0	0
Lote 6	DAP cm	2	(5.000	10.000]	7.5	25	0.05	25	0.05
Lote 6	DAP cm	3	(10.000	15.000]	12.5	123	0.244	148	0.294
Lote 6	DAP cm	4	(15.000	20.000]	17.5	212	0.421	360	0.714
Lote 6	DAP cm	5	(20.000	25.000]	22.5	120	0.238	480	0.952
Lote 6	DAP cm	6	(25.000	30.000]	27.5	23	0.046	503	0.998
Lote 6	DAP cm	7	(30.000	35.000]	32.5	1	0.002	504	1

Clase: Número del intervalo. LI y LS: Límites del rango de DAP para cada clase. MC: Punto medio del intervalo (valor representativo). FA: Número de árboles en esa clase. FR: Proporción de árboles en esa clase. FAA: Número total de árboles acumulado hasta esa clase. FRA: Proporción acumulada de árboles hasta esa clase

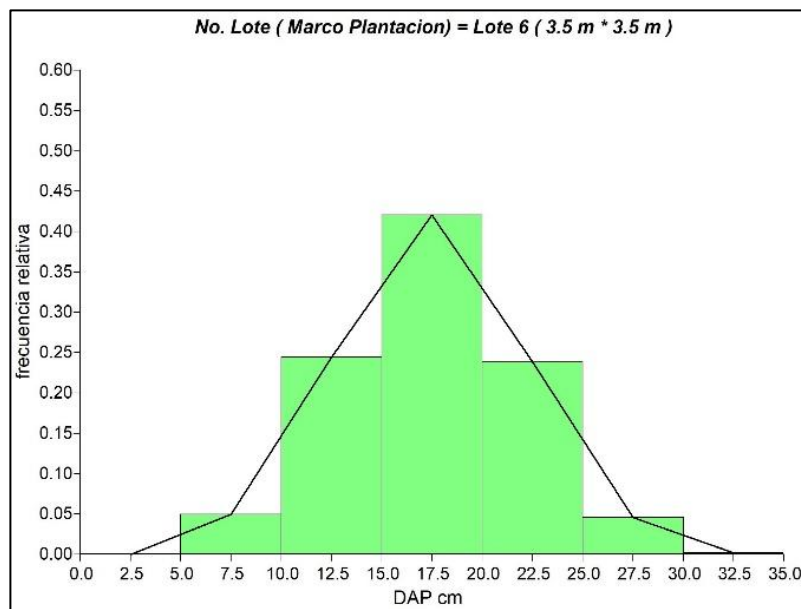


Figura 37. Distribución de frecuencias del diámetro a la altura del pecho (DAP) para los árboles en el Lote 6.

Conclusiones

- El espaciamiento inicial es el factor determinante principal del crecimiento diamétrico individual. Existe una relación inversa y consistente entre la densidad de plantación y el DAP promedio alcanzado a los 11 años. Los lotes con marcos más amplios (menor densidad), como el 3A (6.0 m x 5.0 m), lograron los mayores diámetros promedio, evidenciando que un menor nivel de competencia intraespecífica permite un uso más eficiente de los recursos (luz, agua, nutrientes) para el crecimiento en grosor de cada árbol.
- La mayoría de las plantaciones presentan una estructura diamétrica joven, homogénea y con regeneración limitada. Independientemente del marco, la gran mayoría de los lotes (especialmente 1A, 1B, 2A, 2C, 3B, 5) muestran una fuerte concentración (entre 44 % y 56 % de los individuos) en la clase de 15-20 cm de DAP, configurando rodales con una cohorte dominante muy definida.
- El desarrollo hacia clases diamétricas comerciales (>25 cm de DAP) es aún incipiente y heterogéneo. Solo los lotes con menor densidad (3A, 4, 6) y el Lote 6 (con la distribución más balanceada) comienzan a mostrar una proporción significativa (superior al 5 %) de individuos en clases superiores a 25 cm. Esto subraya que, si bien el crecimiento en diámetros bajos e intermedios está generalizado, la transición hacia tamaños de valor comercial es lenta y está fuertemente condicionada por la competencia. Se evidencia la necesidad urgente de raleos selectivos en los lotes más densos y homogéneos para liberar recursos y acelerar el crecimiento diamétrico de los árboles remanentes con mayor potencial.

5.3. Efecto del espesor de la capa de secado sobre la calidad física y sensorial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) en época seca

Evin Flores

Universidad de San Pedro Sula (USAP)

Ing. Elvin Ávila, M.Sc. Oscar Ramírez, M.Sc. Héctor Aguilar y Dr. Javier Díaz

Programa de Cacao y Agroforestería, FHIA

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto del espesor de la capa de secado sobre las propiedades físicas y organolépticas del grano y licor de cacao en época de verano bajo condiciones del trópico húmedo en las instalaciones del CEDEC-JAS. Se evaluaron cuatro tratamientos correspondientes a espesores de capa de secado de 1, 2 (testigo comercial), 3 y 4 pulgadas. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones por tratamiento, conformando un total de 12 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo constituida por 45.45 kg (100 lb) de cacao fermentado. Durante el estudio se evaluaron 30 variables físicas cuantitativas del grano de cacao y 11 propiedades organolépticas cualitativas del licor de cacao.

Los datos de las variables cuantitativas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$), seguido de pruebas de comparación de medias mediante LSD de Fisher. La evaluación sensorial se realizó conforme al protocolo establecido por la FHIA, por un panel de jueces entrenados empleando análisis de componente principal (PCA), análisis de correspondencia y correlación de Pearson. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad del grano al mismo tiempo de secado (8 días) bajo condiciones naturales (secado al sol), observándose un incremento de la humedad a medida que aumentó el espesor de la capa de secado. La capa de 4 pulgadas presentó el mayor contenido de humedad (6.63 %), en comparación con las capas de 1, 2 y 3 pulgadas, que registraron valores de 6.37 %, 6.43 % y 6.50 %, respectivamente. No obstante, los valores de humedad de todos los tratamientos se encontraron dentro de los rangos permitidos para el almacenamiento y exportación del grano de cacao.

Asimismo, el grosor del grano pequeño se vio significativamente afectado, mostrando una relación inversamente proporcional al espesor de la capa de secado; es decir, a mayor espesor de capa, menor grosor del grano, con valores de 8.13 mm (1 pulg), 8.07 mm (2 pulg), 8.03 mm (3 pulg) y 7.53 mm (4 pulg). En las variables físicas evaluadas mediante la prueba de corte no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En la evaluación sensorial, la calificación global de las muestras osciló entre 7.5 y 7.9, valores considerados de alta aceptabilidad. El tratamiento con espesor de capa de 3 pulg fue el más favorecido, al presentar mayor intensidad de atributos a frutos frescos y nueces, así como menor amargor y astringencia. Se detectaron diferencias en el atributo visual, específicamente en la coloración del grano, donde el tratamiento de 4 pulgadas presentó tonalidades grisáceas y presencia de granos con moho interno. En general, los tratamientos de secado con espesores de 1, 2 y 3 pulgadas pueden recomendarse para el proceso de secado; sin embargo, la capa de 3 pulgadas mostró el mejor desempeño organoléptico y favoreció el aprovechamiento de la infraestructura de secado al permitir procesar mayor masa y volumen de cacao. Se recomienda repetir nuevamente el ensayo en verano e invierno para obtener conclusiones más robustas.

Palabras claves: análisis organoléptico, humedad, tratamientos, pulgadas, licor de cacao.

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran importancia económica y social en las regiones tropicales, particularmente para pequeños productores, debido a su contribución a los ingresos familiares y a su potencial de inserción en mercados diferenciados que demandan alta calidad física y sensorial del grano (FAO, 2019; ICCO, 2022). En Honduras, la producción de cacao es realizada mayoritariamente por pequeños productores organizados en cooperativas y asociaciones, lo que facilita el acceso a mercados formales, mejores condiciones de comercialización y servicios de asistencia técnica. No obstante, a pesar de estos avances organizativos, aún persisten limitaciones técnicas en el manejo poscosecha, especialmente en las etapas de fermentación y secado, las cuales determinan en gran medida la calidad final del grano y su aceptación en el mercado.

El secado del cacao constituye una fase crítica del proceso de beneficiado, ya que permite reducir el contenido de humedad del grano hasta niveles seguros para su almacenamiento y exportación, además de favorecer la estabilización de los compuestos precursores del aroma y sabor generados durante la fermentación (Afoakwa, 2014; Beckett, 2017). Un secado inadecuado puede ocasionar defectos físicos y sensoriales como la aparición de mohos, olores indeseables, granos frágiles o pizarrosos, así como sabores excesivamente ácidos, amargos o astringentes, afectando negativamente la calidad y el valor comercial del cacao (ICCO, 2020).

Diversos factores influyen en la eficiencia del secado, entre ellos las condiciones climáticas, el tipo de infraestructura, el tiempo de secado y el manejo del grano durante el proceso. Sin embargo, uno de los aspectos menos documentados, especialmente bajo condiciones productivas locales, es el efecto del espesor de la capa de secado sobre las propiedades físicas y organolépticas del cacao. En la práctica, los productores suelen variar el espesor de la capa de grano con el objetivo de maximizar el uso de las áreas de secado, sin contar con criterios técnicos claros que permitan garantizar una calidad uniforme del producto final (Afoakwa *et al.* 2013).

La falta de información científica específica sobre el espesor óptimo de la capa de secado en sistemas de producción tradicionales limita la toma de decisiones técnicas durante el beneficiado del cacao y puede generar inconsistencias en la calidad del grano destinado a mercados especializados. En este contexto, se plantea la presente investigación con el objetivo de determinar el efecto del espesor de la capa de secado sobre las propiedades físicas del grano y las características organolépticas del licor de cacao (*Theobroma cacao*). Los resultados de este estudio permitirán establecer criterios técnicos para el manejo adecuado del secado, optimizar el uso de la infraestructura disponible y contribuir al fortalecimiento de la competitividad del cacao hondureño en mercados de mayor valor agregado, impactando positivamente en los ingresos de los productores.

Objetivo

Evaluar el efecto del espesor de la capa de secado sobre las propiedades físicas del grano y las características organolépticas del licor de cacao, con el fin de establecer criterios técnicos para el manejo del secado del cacao en condiciones productivas del trópico húmedo hondureño en la época de verano.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el CEDEC-JAS durante febrero y abril de 2025. Para la ejecución del estudio se utilizaron granos de cacao fermentado, parihuelas de secado, herramientas de cosecha y beneficiado, y equipo de laboratorio. En las instalaciones del departamento de Poscosecha en La Lima, Cortés se elaboraron los licores de cacao para posteriormente evaluar las propiedades organolépticas del con el panel de cata (3 miembros).

Manejo del experimento. Las bellotas de cacao fueron cosechadas manualmente en estado óptimo de madurez, trasladadas al área de recepción y clasificadas para descartar frutos dañados. Posteriormente, se realizó el partido de bellotas y la extracción de los granos, los cuales fueron pesados en baba y depositados en cajones fermentadores de madera previamente higienizados. La fermentación se llevó a cabo durante siete días, con control diario de temperatura en distintos puntos de cada cajón. Durante las primeras 48 horas no se realizaron remociones, y a partir del tercer día se efectuaron volteos para favorecer la aireación y el incremento térmico. El avance de la fermentación fue monitoreado mediante pruebas de corte, determinándose el momento óptimo para el inicio del secado cuando se alcanzaron porcentajes cercanos al 75 % de fermentación.

El secado se realizó en parihuelas bajo condiciones naturales, aplicando los espesores de capa establecidos para cada tratamiento. El proceso incluyó una fase de presecado con exposiciones alternadas a sol y sombra y remociones frecuentes, seguida de secado continuo hasta alcanzar un contenido de humedad entre 6 y 7.5 %. El monitoreo de humedad se realizó con un medidor calibrado, tomando múltiples lecturas por unidad experimental. El grano de cacao fue secado en condiciones naturales (secado al sol).

Variables evaluadas

Variables físicas. Se evaluaron variables relacionadas con rendimiento, humedad, clasificación comercial, calidad física interna y dimensiones del grano. Entre ellas se incluyeron: peso total de grano seco sin clasificar, porcentaje de humedad, rendimiento de fermentado a seco, índice de grano (total, pequeño, gemelo y quebrado), pesos de grano clasificado por categorías, peso de cotiledón y cascarilla, porcentaje de cascarilla, y variables de la prueba de corte (porcentaje de granos bien fermentados, ligeramente fermentados, violetas, sobre fermentados y con moho interno). Asimismo, se midieron las dimensiones físicas (largo, ancho y grosor) de granos grandes, medianos y pequeños mediante pie de rey.

Variables organolépticas. Las variables sensoriales se evaluaron en licor de cacao y comprendieron atributos de sabor y aroma tales como: cacao, acidez, astringencia, afrutado, floral, nuez, panela/malta, crudo/habas verdes, otros sabores, además de una calificación global de calidad. La evaluación se realizó mediante un panel de jueces expertos, utilizando una escala de intensidad de 0 a 10.

Análisis estadístico. Los datos de las variables físicas cuantitativas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$). Aplicando prueba de comparación de medias LSD de Fisher. Las variables sensoriales se analizaron de manera descriptiva, integrando la valoración del panel de expertos empleando entre sus datos análisis de Componentes Principales (PCA), correlación de Pearson y análisis de correspondencia.

Resultados y discusión

Variables de rendimiento.

La humedad del grano seco (%) fue la única variable de rendimiento que presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p = 0.0485$). Se observó un incremento progresivo de la humedad a medida que aumentó el espesor de la capa de secado, desde 6.37 % en 1 pulgada hasta 6.63 % en 4 pulgadas, lo que indica que capas más gruesas (más masa de cacao) requiere de mayor radiación solar. El $R^2 = 0.73$ evidencia que el espesor explica gran parte de la variabilidad observada, mientras que el C.V. de 1.4 % confirma una alta precisión experimental (Figura 38, Cuadro 30).

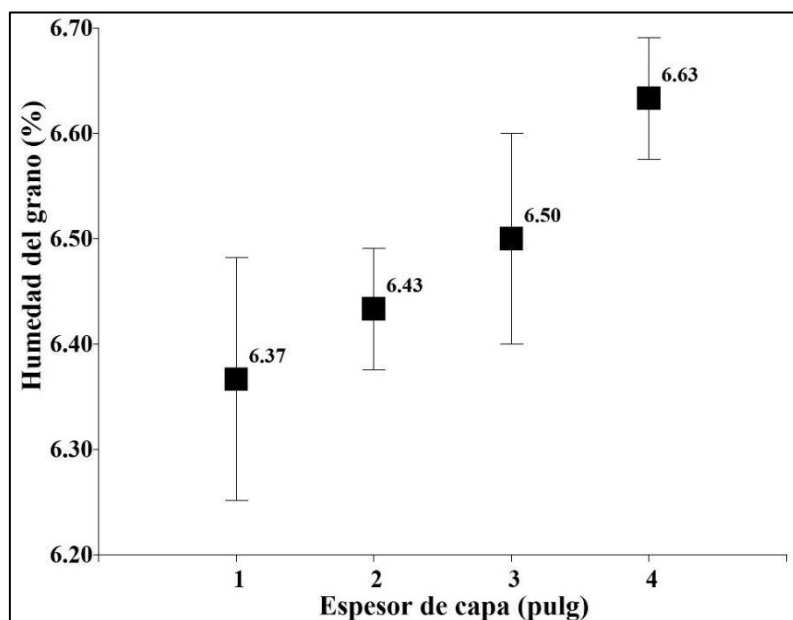


Figura 38. Media y desviación estándar de la humedad del cacao.

En contraste, las variables asociadas al peso del grano (grano sin clasificar, grano clasificado, grano pequeño, grano quebrado, grano gemelo y basura total) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los espesores de capa de secado evaluados ($p > 0.05$), con coeficientes de determinación (R^2) bajos a moderados (0.05–0.60). Estos resultados indican que el espesor de la capa de secado no influyó de manera determinante en la distribución física del grano, lo que evidencia la estabilidad del proceso de secado bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Los coeficientes de variación elevados observados en las fracciones de grano pequeño y grano quebrado (C.V. > 30 %) reflejan una alta heterogeneidad respecto a la media general, atribuible principalmente a la variabilidad intrínseca de la materia prima y al manejo previo a la fermentación, más que al efecto directo del espesor de secado.

El peso del grano seco obtenido a partir de 45.35 kg de cacao húmedo fermentado (100 lb) se mantuvo en un rango de 19.8 a 20.7 kg, lo que representa aproximadamente el 95 % del peso total de la masa seca, independientemente del espesor de la capa de secado. Por su parte, el grano pequeño registró valores entre 0.50 y 0.59 kg, equivalentes a cerca del 2.5 % de la masa total.

Asimismo, la distribución de peso correspondiente a grano quebrado, grano gemelo y basura fue reducida y no superó el 3 % del peso total del cacao seco, lo cual confirma una adecuada integridad física del grano y una mínima generación de defectos asociados al proceso de secado (Figura 39, Cuadro 30).

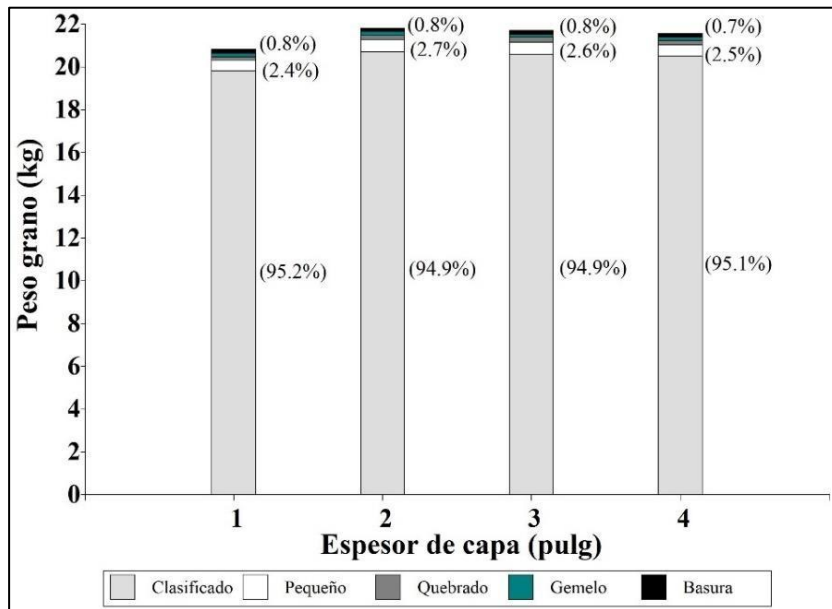


Figura 39. Distribución de la masa de cacao seco.

El IG, tanto para grano clasificado como para las fracciones pequeña, quebrada y gemela, tampoco presentó diferencias significativas ($p > 0.05$). Los coeficientes de variación (CV) menores al 15 % y R^2 intermedios indican estabilidad del tamaño y peso individual del grano frente a variaciones en el espesor de secado a excepción del IG del grano clasificado donde se encontró tendencia a mayores índices en las capas de secado de menor espesor (1.4 vs 1.3 g) (Figura 40, Cuadro 30).

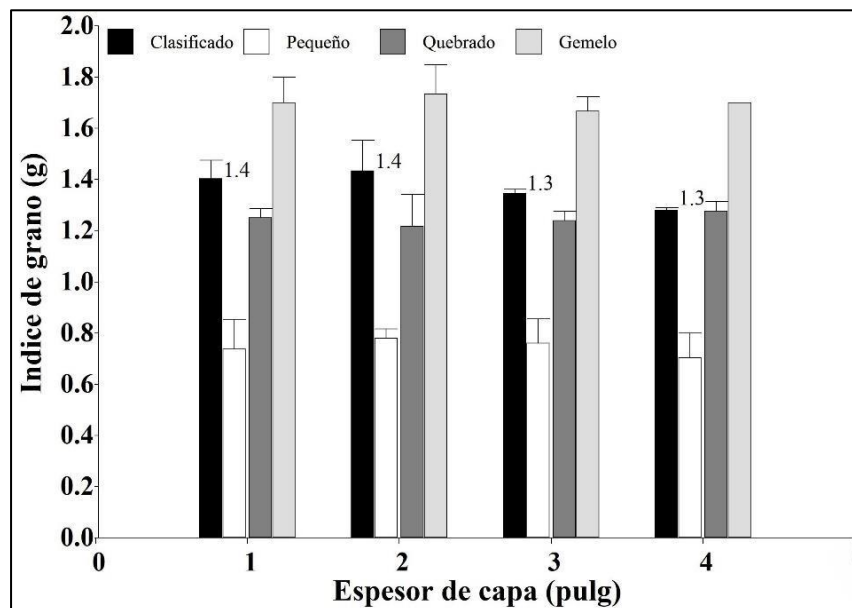


Figura 40. Índices de grano según clasificación física de la masa de fermentación.

El rendimiento fermentado-seco (%) fue estadísticamente similar entre tratamientos ($p = 0.9858$), con valores cercanos al 48 % en todos los espesores, lo que demuestra que el espesor de capa no afectó la conversión de cacao fermentado a cacao seco.

Cuadro 30. Media y desviación estándar en variables de rendimiento en grano seco de cuatro diferentes espesores de secado en cacao, así como el valor de probabilidad de diferencia estadística entre tratamientos (p-valor), coeficiente de determinación y de variación. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.

Tipo de variable	Variable de estudio	1 pulgada		2 pulgada		3 pulgada		4 pulgada		p-valor	R ²	C.V (%)
		Med.	± D.E	Med.	± D.E	Med.	± D.E	Med.	± D.E			
Rendimiento	Humedad del grano seco (%)	6.37	± 0.12	6.43	± 0.06	6.50	± 0.10	6.63	± 0.06	0.0485	0.73	1.4
	*Peso grano sin clasificar (kg)	21.57	± 1.45	21.88	± 0.69	21.7	± 0.43	21.7	± 0.56	0.9850	0.05	4.6
	*Peso grano clasificado (kg)	19.82	± 1.56	20.70	± 0.63	20.59	± 0.19	20.49	± 0.29	0.6620	0.31	4.5
	*Peso grano pequeño (kg)	0.50	± 0.30	0.59	± 0.07	0.57	± 0.20	0.54	± 0.17	0.9565	0.23	37.7
	*Peso grano quebrado (kg)	0.15	± 0.02	0.16	± 0.05	0.23	± 0.10	0.20	± 0.08	0.5006	0.51	34.4
	*Peso grano gemelo (kg)	0.17	± 0.02	0.20	± 0.04	0.14	± 0.02	0.16	± 0.04	0.2549	0.59	17.3
	*Peso de basura (kg)	0.17	± 0.03	0.17	± 0.03	0.18	± 0.02	0.16	± 0.01	0.6116	0.60	10.0
	Ig clasificado (g)	1.40	± 0.07	1.43	± 0.12	1.35	± 0.02	1.28	± 0.01	0.1988	0.52	5.9
	Ig pequeño (g)	0.74	± 0.12	0.78	± 0.04	0.76	± 0.10	0.70	± 0.10	0.8258	0.14	14.0
	Ig quebrado (g)	1.25	± 0.04	1.22	± 0.13	1.24	± 0.04	1.28	± 0.04	0.6840	0.52	4.8
	Ig gemelo (g)	1.70	± 0.10	1.73	± 0.12	1.67	± 0.06	1.70	± 0.00	0.8411	0.19	5.3
	Rend. fermentado-seco (%)	47.47	± 3.21	48.13	± 1.52	47.83	± 0.97	47.80	± 1.21	0.9858	0.04	4.6

Med: media/promedio; D.E: desviación estándar; p-valor: valor de probabilidad; R²: coeficiente de determinación y C.V: coeficiente de variación.

Evaluación física interna del grano. En la clasificación de granos bien fermentados, aunque se observó una tendencia decreciente desde 84.67 % (1 pulgada) hasta 77.33 % (4 pulgadas), las diferencias no fueron significativas ($p = 0.5953$). El R² de 0.38 indica una relación moderada y el CV de 8.3 % refleja una variabilidad aceptable. Las categorías de grano ligeramente fermentado, violeta, con moho interno y sobrefermentado tampoco presentaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$). Sin embargo, los CV muy elevados en moho interno y sobrefermentado (>100 %) evidencian alta dispersión de los datos, lo que limita la sensibilidad estadística para detectar efectos del espesor. La ausencia de granos pizarrosos y con plaga en todos los tratamientos confirma que el proceso de

fermentación y secado fue adecuado, independientemente del espesor de capa (Cuadro 31, Figura 41).

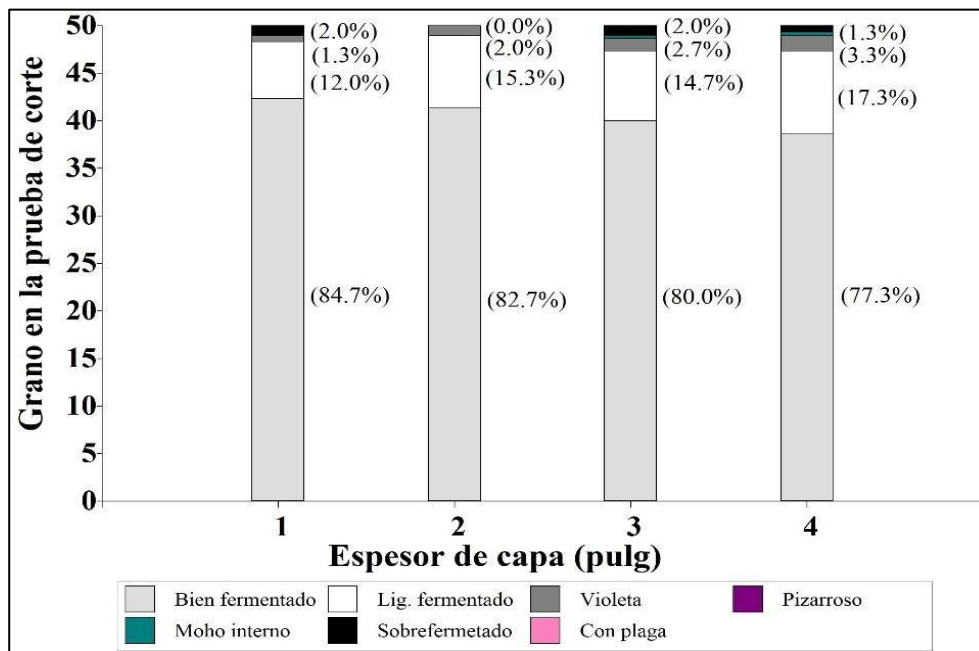


Figura 41. Clasificación física interna del grano empleando prueba de corte.

El peso total, peso de cotiledón, peso de cascarilla y porcentaje de cascarilla no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), con medias entre 63 a 66 g acumulado del peso de los 50 granos, mismos que se sometieron a prueba de corte, de los cuales entre 13.9 a 14.5 % del peso correspondió a la cascarilla (Cuadro 31, Figura 42).

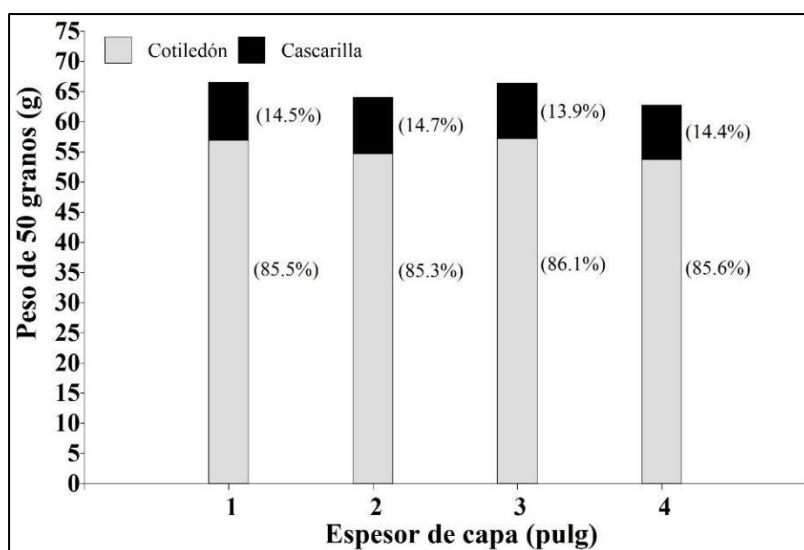


Figura 42. Distribución de peso por cotiledón y cascarilla.

Cuadro 31. Media y desviación estándar en variables de evaluación física de cuatro diferentes espesores de secado en cacao, así como el valor de probabilidad de diferencia estadística entre tratamientos (p-valor), coeficiente de determinación y de variación. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.

Tipo de variable	Variable de estudio	1 pulgada		2 pulgada		3 pulgada		4 pulgada		p-valor	R ²	C.V (%)
		Med.	± D.E	Med.	± D.E	Med.	± D.E	Med.	± D.E			
Evaluación física (prueba de corte)	Grano bien fermentado (%)	84.67	± 4.16	82.67	± 9.02	80.00	± 4.00	77.33	± 7.57	0.5953	0.38	8.3
	Grano ligeramente fermentado (%)	12.00	± 3.46	15.33	± 8.08	14.67	± 3.06	17.33	± 7.57	0.7102	0.45	37.3
	Grano violeta (%)	1.33	± 1.15	2.00	± 2.00	2.67	± 1.15	3.33	± 2.31	0.6246	0.30	0.8
	Grano pisarroso (%)	0.00	± 0.00	0.00	± 0.00	0.00	± 0.00	0.00	± 0.00			
	Grano con moho interno (%)	0.00	± 0.00	0.00	± 0.00	0.67	± 1.15	0.67	± 1.15	0.6542	0.30	264.6
	Grano sobrefermentado (%)	2.00	± 2.00	0.00	± 0.00	2.00	± 3.46	1.33	± 2.31	0.4049	0.72	114.6
	Grano con plaga (%)	0.00	± 0.00	0.00	± 0.00	0.00	± 0.00	0.00	± 0.00			
Muestra de 50 granos	Peso total (g)	66.57	± 2.15	64.10	± 4.00	66.43	± 1.79	62.77	± 2.58	0.3118	0.55	4.1
	Peso cotiledón (g)	56.90	± 1.73	54.70	± 3.99	57.20	± 1.75	53.73	± 2.19	0.3095	0.57	4.3
	Peso de cascarilla (g)	9.67	± 0.47	9.40	± 0.60	9.23	± 0.46	9.03	± 0.45	0.4533	0.51	5.0
	Cascarilla (%)	14.52	± 0.34	14.70	± 1.26	13.90	± 0.73	14.39	± 0.34	0.4838	0.61	4.3

Dimensiones del grano. Las variables de largo, ancho y grosor para granos grandes, medianos y pequeños fueron estadísticamente similares entre espesores ($p > 0.05$), excepto el grosor del grano pequeño, que presentó diferencias significativas ($p = 0.0171$). En este caso, se observó una reducción progresiva del grosor desde 8.13 mm (1 pulgada) hasta 7.53 mm (4 pulgadas) (Cuadro 32, Figura 43).

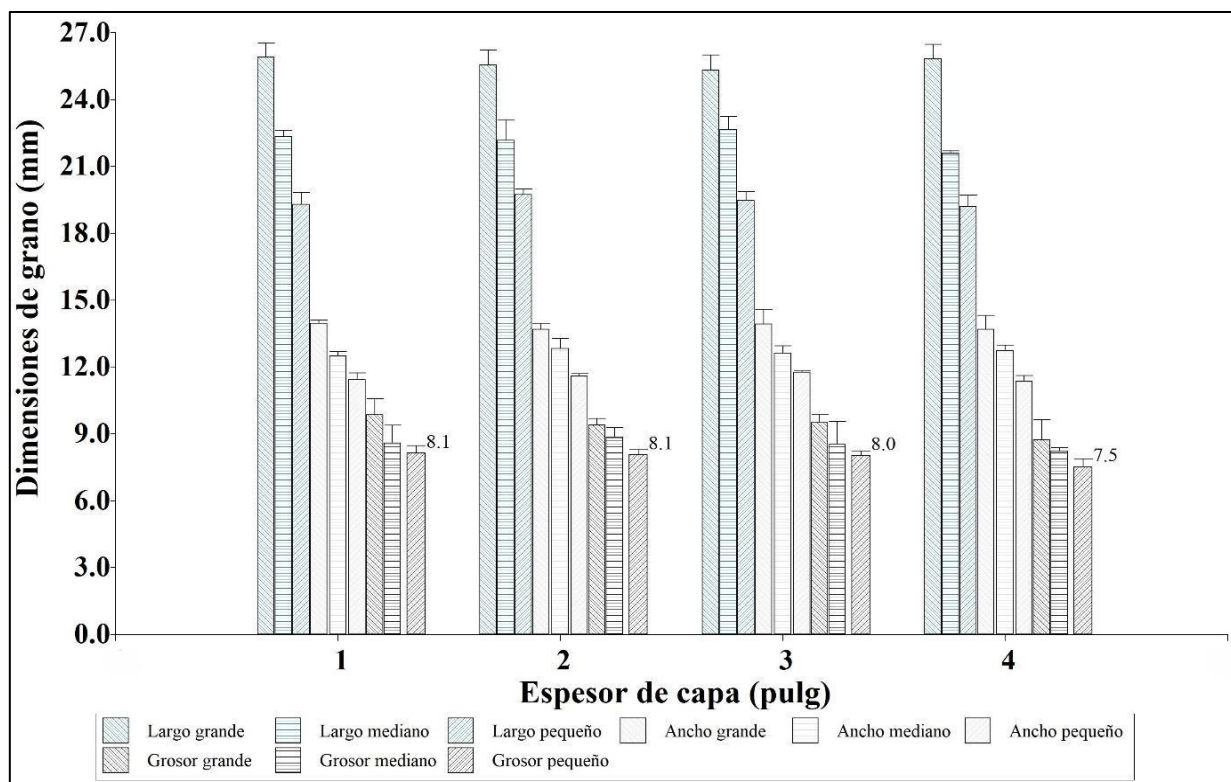


Figura 43. Dimensiones del grano mm (largo, ancho y grosor) clasificado por tamaños.

Cuadro 32. Media y desviación estándar en las dimensiones de tres tamaños de grano de cuatro diferentes espesores de secado en cacao, así como el valor de probabilidad de diferencia estadística entre tratamientos (p-valor), coeficiente de determinación y de variación. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.

Tipo de variable	Variable de estudio	1 pulgada	2 pulgada	3 pulgada	4 pulgada	p-valor	R ²	C.V (%)
		Med. ± D.E	Med. ± D.E	Med. ± D.E	Med. ± D.E			
Dimensión de grano (mm)	Largo de grano grande	25.90 ± 0.62	25.57 ± 0.65	25.33 ± 0.67	25.83 ± 0.64	0.7775	0.16	2.9
	Largo de grano mediano	22.33 ± 0.29	22.17 ± 0.93	22.67 ± 0.57	21.60 ± 0.10	0.1801	0.64	2.3
	Largo de grano pequeño	19.30 ± 0.53	19.73 ± 0.25	19.47 ± 0.40	19.20 ± 0.53	0.6131	0.27	2.6
	Ancho de grano grande	13.97 ± 0.15	13.70 ± 0.26	13.93 ± 0.65	13.70 ± 0.62	0.8104	0.41	3.2
	Ancho de grano mediano	12.50 ± 0.20	12.83 ± 0.45	12.63 ± 0.32	12.73 ± 0.25	0.6103	0.44	2.4
	Ancho de grano pequeño	11.43 ± 0.31	11.60 ± 0.10	11.77 ± 0.06	11.37 ± 0.25	0.2346	0.51	2.0
	Grosor de grano	8.1	8.1	8.0	7.5			

Tipo de variable	Variable de estudio	1 pulgada		2 pulgada		3 pulgada		4 pulgada		p-valor	R ²	C.V (%)
		Med.	± D.E	Med.	± D.E	Med.	± D.E	Med.	± D.E			
	Grosor de grano grande	9.87	± 0.71	9.40	± 0.30	9.50	± 0.36	8.73	± 0.91	0.0841	0.78	4.6
	Grosor de grano mediano	8.60	± 0.79	8.87	± 0.42	8.53	± 1.02	8.23	± 0.15	0.8036	0.15	9.2
	Grosor de grano pequeño	8.13	± 0.35	8.07	± 0.23	8.03	± 0.21	7.53	± 0.35	0.0171	0.87	2.2

Med: media/promedio; D.E: desviación estándar; p-valor: valor de probabilidad; R²: coeficiente de determinación y CV: coeficiente de variación.

Variabes organolépticas. Los valores medios de la evaluación sensorial evidenciaron tendencias relevantes en los licores de cacao asociadas al espesor de la capa de secado. Los tratamientos de 3 y 4 pulgadas presentaron mayores intensidades en las notas frutales, florales y a nuez, mientras que el tratamiento de 1 pulgada mostró una mayor acidez y astringencia, atributos considerados menos deseables. La calidad global fue similar entre los tratamientos; no obstante, se registraron valores ligeramente superiores en el tratamiento de 3 pulgadas (7.87), lo que sugiere que este espesor de capa podría favorecer un mejor balance sensorial, sin afectar negativamente otras variables físicas del grano (Cuadro 33).

El análisis de Componentes Principales (Figura 40), indicó que la calidad global se asocia positivamente con las notas de cacao, floral y fruta fresca, y negativamente con el amargor y la astringencia (Figura 44).

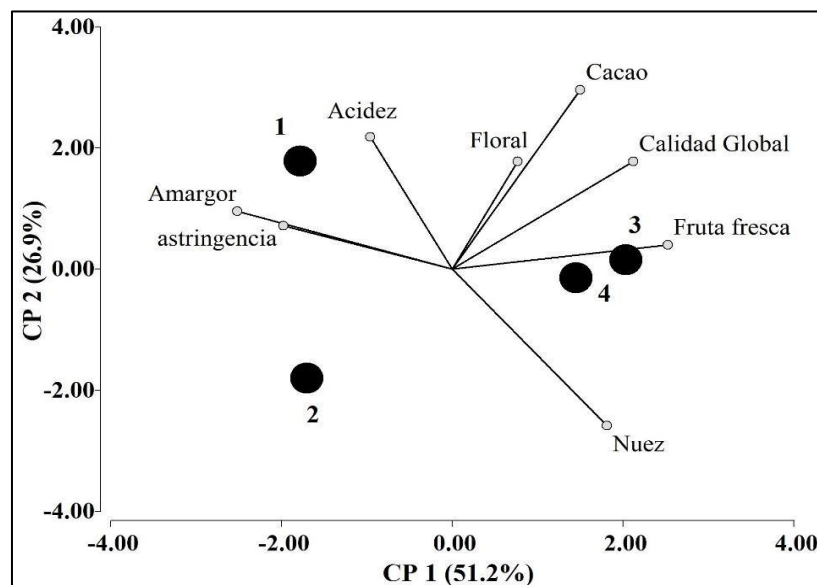


Figura 44. Gráfico de componentes principales que muestra la relación de las variables organolépticas y de los tratamientos espesor de secado del grano.

Por otra parte, el tratamiento con capa de secado de 4 pulgadas presentó granos con color café gris oscuro y presencia de olor a humedad con notas a levadura, lo cual podría afectar la aceptación comercial del grano, particularmente por su apariencia externa, aun cuando los valores de calidad global no difirieron marcadamente entre tratamientos (Figura 45).

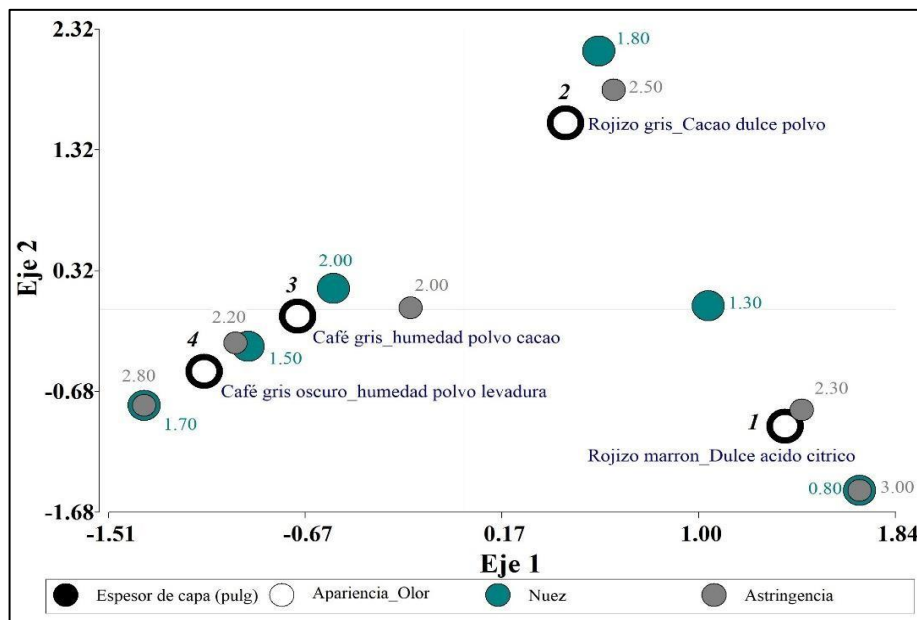


Figura 45. Gráfico de correspondencia que muestra la relación de variables cualitativas (color-olor del grano) con la nota global y atributos a nuez y astringencia.

Cuadro 33. Media y desviación estándar en los atributos organolépticos del licor de cacao procedente de cuatro diferentes espesores de secado en cacao. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, 2025.

Tipo de variable	Variable de estudio	1 pulgada	2 pulgada	3 pulgada	4 pulgada	p-valor	R ²	C.V (%)
		Med. ± D.E	Med. ± D.E	Med. ± D.E	Med. ± D.E			
variables organolépticas (1-10)	Cacao	4.83 ± 0.15	4.50 ± 0.20	4.87 ± 0.12	4.80 ± 0.36			
	Acidez	2.17 ± 0.35	1.93 ± 0.40	2.07 ± 0.12	1.77 ± 0.50			
	Amargor	1.93 ± 0.32	1.87 ± 0.12	1.73 ± 0.06	1.73 ± 0.06			
	Astringencia	2.43 ± 0.51	2.33 ± 0.29	2.07 ± 0.12	2.33 ± 0.42			
	Fruta fresca	1.53 ± 0.25	1.50 ± 0.00	1.70 ± 0.17	1.73 ± 0.06			
	Floral	1.50 ± 0.20	1.40 ± 0.36	1.43 ± 0.12	1.57 ± 0.12			
	Nuez	1.13 ± 0.29	1.70 ± 0.36	1.83 ± 0.29	1.73 ± 0.25			
	Caramelo	0.87 ± 0.12	1.00 ± 0.20	1.13 ± 0.12	0.93 ± 0.12			
	Crudo/Habas verdes	0.77 ± 0.06	1.03 ± 0.25	0.97 ± 0.25	0.93 ± 0.32			
	Otros sabores	0.37 ± 0.12	0.30 ± 0.00	0.43 ± 0.12	0.50 ± 0.20			
	Calida global	7.67 ± 0.42	7.50 ± 0.20	7.87 ± 0.58	7.70 ± 0.17			

Med: media/promedio; D.E: desviación estándar

Conclusiones

- Durante la época de verano, el espesor de la capa de secado comprendido entre 1 y 4 pulgadas no influyó significativamente sobre la mayoría de las variables físicas, de rendimiento y de calidad del grano de cacao, evidenciando la robustez del proceso de secado bajo las condiciones evaluadas. Las únicas variables que presentaron diferencias estadísticamente significativas fueron la humedad final del grano seco y el grosor del grano pequeño, donde espesores de capa mayores tendieron a retener ligeramente más humedad y a reducir el grosor del grano, sin comprometer los estándares de calidad comercial.
- La calidad global de los licores de cacao fue estadísticamente similar entre los diferentes tratamientos de espesor de capa de secado; sin embargo, se observó una tendencia a valores superiores en el tratamiento de 3 pulgadas (7.87). Este espesor mostró un perfil sensorial más equilibrado, caracterizado por mayores intensidades de notas frutales, florales y a nuez, junto con una menor percepción de amargor y astringencia, considerados atributos sensoriales no deseables, sin afectar negativamente las variables físicas ni el rendimiento del grano. En consecuencia, bajo condiciones de secado en época seca, el uso de una capa de secado de aproximadamente 3 pulgadas se perfila como una alternativa técnicamente viable para optimizar la calidad sensorial del cacao, manteniendo la eficiencia del proceso y la integridad física del grano.

Literatura citada

- Afoakwa, E. O. (2014). *Chocolate science and technology*. Wiley-Blackwell.
- Afoakwa, E. O., Quao, J., Takrama, J., Budu, A., & Saalia, F. K. (2013). Influence of fermentation and drying on cocoa flavor development. *Journal of Food Science and Nutrition*.
- Beckett, S. T. (2017). *Industrial chocolate manufacture and use*. Wiley.
- FAO. (2019). *Cocoa post-harvest management*.
- ICCO. (2020, 2022). *Cocoa quality requirements and market reports*.

5.4. Efecto de 3 especies maderables con diferentes tasas de crecimiento (*Terminalia superba*, *Cajuputa arborea*, *Swietenia macrophylla*) sobre el carbono orgánico y propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en La Masica Atlántida, Honduras

Nicolas Fiallos, Aníbal Sacbaja, Hugo Tobías
Universidad San Carlos de Guatemala (USAC)

M.Sc. Oscar Ramírez
Programa de cacao y agroforestería, FHIA

Ricardo Peña
Universidad Agrícola Panamericana (EAP)

Resumen

El presente estudio evaluó el efecto de tres especies maderables con diferentes tasas de crecimiento: limba, de crecimiento rápido; barba de jolote, de crecimiento medio; y caoba del Atlántico, de crecimiento medio-bajo, sobre el carbono orgánico del suelo (COS) y sus propiedades físicas, químicas y biológicas en sistemas agroforestales con cacao (SAF-Cacao) establecidos en 1997 (28

años) en el CEDEC-JAS, ubicado en La Masica. Se evaluaron propiedades físicas del suelo como textura, porosidad, densidad aparente y humedad volumétrica; propiedades químicas que incluyeron M.O., pH, CIC, N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn y Na; y propiedades biológicas representadas por la abundancia de lombrices, la concentración y el flujo de CO₂. De manera complementaria, se realizó un muestreo foliar en las especies maderables y en el cacao con el objetivo de analizar la concentración de nutrientes y explorar posibles relaciones suelo-planta.

Como referencia comparativa se incluyó un sistema testigo de cacao sin sombra. El muestreo de suelo se llevó a cabo tanto en el área de influencia de la copa de los árboles maderables (tres individuos por especie) como entre copas, considerando dos profundidades (0 -15 cm y 16 - 30 cm), lo que permitió evaluar la variabilidad espacial y vertical de las propiedades edáficas en los diferentes SAF-Cacao; la humedad volumétrica, así como la concentración y el flujo de CO₂, se midieron únicamente en la capa superficial del suelo. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANAVA, > 0.05), pruebas de separación de medias LSD de Fisher, Análisis de Componentes Principales (PCA) y correlaciones de Pearson. Los resultados indicaron que los SAF-Cacao presentaron contenidos significativamente mayores de COS, M.O. y N en comparación con el sistema sin sombra ($p < 0.0001$), especialmente en la capa superficial del suelo; en los SAF-Cacao, el COS superficial osciló entre 2.0 y 2.4 %, mientras que el cacao sin sombra presentó apenas 1.2 %. En la profundidad de 16–30 cm, el COS de los SAF-Cacao promedió 1.0 % en SAF-Cacao vs 0.4 % en cacao sin sombra. Se encontraron diferencias asociadas a la profundidad del suelo en la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas, con excepción de la textura, P, Cu, Fe y Na; asimismo, no se evidenciaron correlaciones significativas entre las concentraciones de nutrientes del suelo y las del sistema foliar del cacao y de los maderables, ni entre el carbono orgánico medido dentro y fuera de la copa de los árboles.

Desde el punto de vista físico, los SAF-Cacao mostraron menores valores de densidad aparente, mayor porosidad y arcillas (%); la humedad volumétrica fue superior en los sistemas con sombra, destacándose el SAF asociado con limba. Las propiedades químicas del suelo fueron más favorables en los sistemas con árboles maderables, registrándose mayores valores de CIC, saturación de bases y cationes básicos, particularmente en la capa superficial, así como mayores concentraciones de P y Ca disponibles y de micronutrientes como Zn y Mn, sobresaliendo el sistema asociado con barba de jolote. Desde el punto de vista biológico, la abundancia de lombrices, la respiración del suelo y el flujo lineal de CO₂ no presentaron diferencias estadísticas significativas, aunque se observó una tendencia a valores más altos en los SAF-Cacao. El análisis de correlación confirmó el papel central del COS, evidenciando relaciones positivas. En conclusión, los SAF-Cacao con especies maderables contribuyen significativamente a la mejora de la calidad del suelo y al aumento del carbono orgánico en comparación con sistemas de cacao sin sombra, destacándose la barba de jolote, por su carácter leguminoso, como la especie con mayor potencial.

Palabras claves: evaluación de suelo, nutrientes, lombrices, respiración, muestreo.

Introducción

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente esencial que regula las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, influyendo en su calidad, fertilidad y capacidad productiva, además de desempeñar un papel clave en la mitigación del cambio climático mediante el secuestro

de carbono (Casanova-Lugo *et al.* 2011). En este contexto, los sistemas agroforestales (SAF) se reconocen como una alternativa sostenible, ya que integran cultivos con especies arbóreas y favorecen la acumulación de COS a través de mayores aportes de biomasa, hojarasca y raíces, así como una menor perturbación del suelo, en comparación con sistemas agrícolas convencionales (Callo-Concha *et al.* 2002; Casanova-Lugo *et al.* 2011). Metaanálisis a escala global confirman que los SAF incrementan las reservas de COS, especialmente en las capas superficiales, aunque su efecto depende del tipo de sistema, suelo, clima y uso previo de la tierra (Hübner *et al.* 2021; Mayer *et al.* 2022; T.M. *et al.* 2023).

En Honduras, el cacao es un cultivo de alta importancia socioeconómica que se maneja bajo SAF. Si bien las especies maderables asociadas aportan beneficios económicos, un manejo inadecuado de la sombra puede afectar la productividad del cultivo (Ramírez-Argueta *et al.* 2022). No obstante, existe información limitada sobre el efecto específico de las distintas especies de sombra en el contenido de COS. Por ello, esta investigación evalúa el contenido COS bajo SAF-Cacao asociados con las especies maderables latifoliadas caoba del atlántico, barba de jolote y limba, con el fin de generar información local que contribuya al manejo sostenible del suelo, la mitigación del cambio climático y la toma de decisiones en la gestión de los sistemas agroforestales del norte de Honduras.

Objetivo

Evaluar el efecto de 3 especies arbóreas de diferentes tasas de crecimiento sobre el carbono orgánico y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en sistemas agroforestales de cacao establecidos desde hace 28 años, considerando su distribución vertical a diferentes profundidades.

Materiales y métodos

Se evaluaron cuatro tratamientos correspondientes a SAF-Cacao asociados a tres especies maderables y a un cacaotal sin sombra como tratamiento testigo. Las especies maderables seleccionadas fueron caoba del Atlántico, limba y barba de jolote, elegidas en función de su valor comercial, su función como sombra permanente y sus beneficios ambientales dentro del sistema agroforestal. Las especies maderables presentaron tasas de crecimiento diferenciadas, clasificadas de acuerdo con el incremento medio anual (IMA) del diámetro a la altura del pecho (DAP) como de crecimiento medio-bajo para la caoba del Atlántico ($\leq 1.9 \text{ cm año}^{-1}$), crecimiento medio para barba de jolote ($\geq 2.0 \text{ cm año}^{-1}$) y crecimiento rápido para la limba ($\geq 3.5 \text{ cm año}^{-1}$).

En cada SAF-Cacao y parcela al pleno sol se seleccionaron al azar tres árboles maderables por especie y/o puntos de muestreo aleatorios. El muestreo de suelo se realizó dentro del área de influencia del árbol, definida como la zona ubicada a la mitad del radio de proyección de la copa. En cada unidad se establecieron cuatro puntos de muestreo en los puntos cardinales (norte, sur, este y oeste). Las muestras de suelo se recolectaron a dos profundidades (0–15 cm y 16–30 cm) (Figura 46a). Se obtuvieron muestras individuales por punto cardinal de cada árbol y profundidad, así como una muestra compuesta por árbol. La densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro (Figura 46b), utilizando cilindros de volumen conocido, en los mismos puntos y profundidades. Las muestras fueron secadas en estufa a 105 °C hasta peso constante y la densidad aparente se calculó como la relación entre la masa seca y el volumen del cilindro (g cm^{-3}).

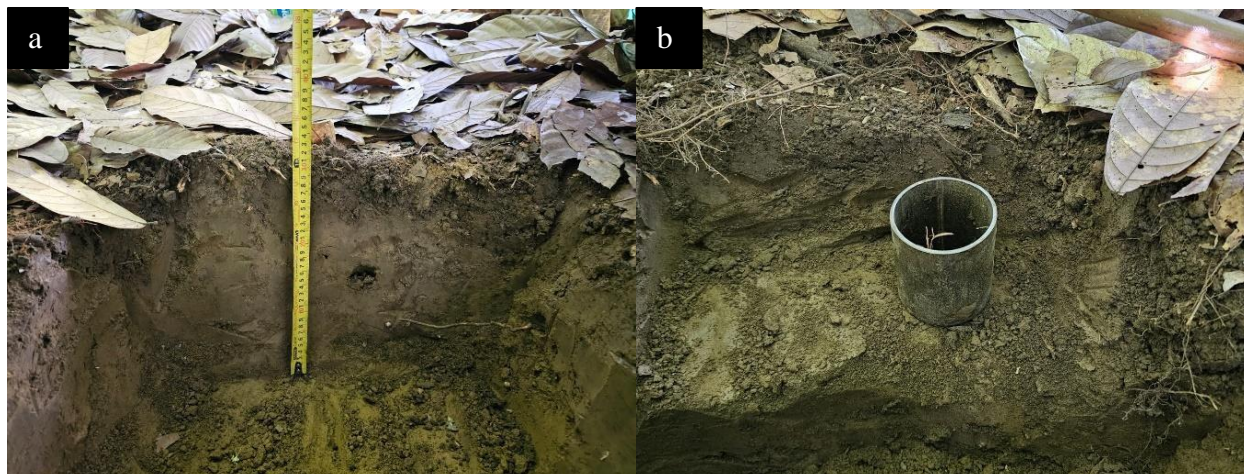


Figura 46. a) Medición de profundidad suelo 0-15 cm. b) Cilindro para extraer muestra de suelo.

Para el análisis químico, las muestras individuales recolectadas en los cuatro puntos cardinales por planta fueron integradas en muestras compuestas, por árbol y por profundidad (0–15 cm y 16–30 cm). Las muestras fueron homogenizadas, eliminando restos gruesos, y se tomó una submuestra representativa para su análisis, con el fin de reducir la variabilidad puntual y representar adecuadamente el área de influencia del árbol.

El muestreo de lombrices se realizó en el área de influencia de cada árbol como indicador biológico de la calidad del suelo. En cada unidad experimental se excavó manualmente una cajuela de 30×30×30 cm, separando el suelo en dos profundidades (0–15 cm y 16–30 cm). Las lombrices fueron recolectadas y contabilizadas manualmente en campo, registrándose el número de individuos por profundidad. Los datos se estandarizaron a número de lombrices por metro cuadrado para su comparación entre SAF-Cacao (Figura 47).

La respiración del suelo se midió en campo mediante un analizador portátil de CO₂ EGM-5, basado en infrarrojo no dispersivo (NDIR), utilizando una cámara cerrada. En cada árbol se establecieron cuatro puntos de medición en los puntos cardinales, donde se instalaron collares de PVC (10 cm de altura), enterrados parcialmente (Figura 48). En cada punto, la cámara se colocó herméticamente sobre el collar y se registró el incremento de la concentración de CO₂ durante un periodo de 60 a 120 s. El flujo de CO₂ se calculó a partir de la



Figura 47. Calicata y separación de suelo por 2 profundidades.

pendiente del aumento de CO₂ en el tiempo, considerando el volumen de la cámara y el área cubierta, y se expresó en gr CO₂ m⁻² hr⁻¹. Durante las mediciones se registraron variables

ambientales como temperatura y humedad del suelo, evitando condiciones de saturación o precipitaciones recientes.



Figura 48. Medición de flujo de CO₂ del suelo con EGM-5.

Adicionalmente, se realizó un muestreo foliar compuesto, tanto del cacao como de la especie maderable para explorar relaciones en la traslocación de nutrientes entre el suelo, el cacao y las especies maderables.

Variables de estudio

Las propiedades físicas del suelo evaluadas en este estudio fueron: a) densidad aparente, utilizada para estimar el grado de compactación del suelo y su efecto sobre la porosidad, la aireación y el crecimiento radicular; b) porosidad, que permite describir el volumen de espacios porosos responsables del movimiento del agua y del intercambio gaseoso; c) humedad volumétrica, que refleja el contenido de agua del suelo y su disponibilidad para las plantas; y d) textura, que indica las proporciones de los minerales del suelo: arena, limo y arcilla.

Con respecto a las propiedades químicas del suelo se incluyeron: a) materia orgánica, b) carbono orgánico y c) nitrógeno orgánico, como indicador de la fertilidad del suelo, la estabilidad estructural y la reserva de nutrientes; d) la capacidad de intercambio catiónico (CIC), que mide la capacidad del suelo para retener y suministrar cationes esenciales; e) el pH del suelo, determinante de la disponibilidad de nutrientes y de la actividad química y biológica; f) el contenido de macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn y Na), que representan los elementos esenciales disponibles para el crecimiento y desarrollo vegetal.

Por otro lado, entre las propiedades biológicas del suelo fueron consideradas la a) mesofauna edáfica, evaluada a través del recuento de lombrices como indicador del estado funcional del suelo y de la actividad biológica asociada a los procesos de descomposición y bioturbación; y b) el flujo de CO₂ del suelo, utilizado como medida de la respiración edáfica asociada a la actividad metabólica de raíces y microorganismos.

Finalmente, las propiedades químicas estudiadas en el sistema foliar fueron: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn.

Análisis de datos

El análisis de datos se inició mediante estadísticos descriptivos, utilizando la media y la desviación estándar para evaluar la variabilidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en los distintos sistemas agroforestales y profundidades. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) considerando como factores el sistema agroforestal (SAF), la profundidad del suelo y su interacción (SAF × profundidad), con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ complementados de pruebas de separación de medias LSD de Fisher y la desviación estándar (D.E.). Asimismo, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación entre el carbono orgánico del suelo y las demás variables evaluadas.

De manera complementaria, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con todas las variables medidas, con el fin de identificar patrones multivariados y relaciones entre los SAF-Cacao y propiedades del suelo.

Resultados

Carbono, materia orgánica y nitrógeno. Los contenidos de carbono orgánico (CO) y materia orgánica (MO), determinados mediante muestra individual (MI) y muestra compuesta (MC), fueron significativamente mayores en los sistemas agroforestales (SAF) que en el testigo sin sombra ($p < 0.0001$), y disminuyeron con la profundidad del suelo. En la capa superficial (0–15 cm), los SAF presentaron valores superiores de CO (MI: 2.0–2.4 %) y MO (MI: 3.6 – 4.2 %) en comparación con el suelo sin sombra (CO: 1.2 %; MO: 2.0 %).

Esta tendencia se mantuvo en el análisis con muestras compuestas, aunque con valores ligeramente menores, atribuibles a la homogenización del muestreo. En la profundidad de 16–30 cm se observó una reducción general de 50–60 % en los contenidos orgánicos; sin embargo, los SAF continuaron mostrando valores superiores (CO MI: 0.9–1.1 %) respecto al testigo (0.4 %). La disminución vertical fue más marcada en el suelo sin sombra, evidenciando una menor incorporación de materia orgánica en ausencia de árboles. Este comportamiento resalta el papel de los sistemas radicales y la hojarasca en la transferencia y acumulación de carbono en capas más profundas. (Cuadro 34, Figura 49).

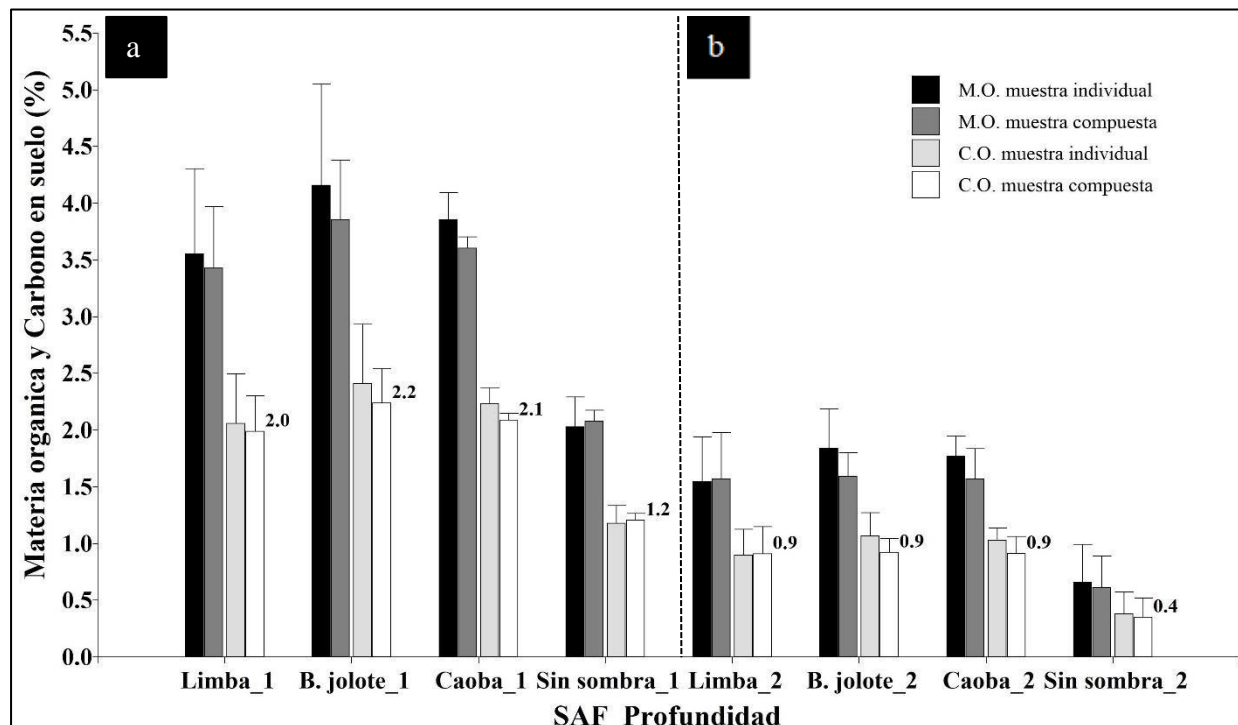


Figura 49. Contenido de carbono y materia orgánicos (promedio y D.E.) en SAF y a diferentes profundidades. a) profundidad 0 – 15 cm; b) Profundidad 16 – 30 cm).

Las diferencias entre metodologías (MI vs. MC) fueron menores, con coeficientes de variación cercanos al 20 % en MI y 15 % en MC, y altos coeficientes de determinación ($R^2 > 0.90$). El nitrógeno orgánico presentó un patrón similar al del CO y la MO. En la capa superficial, los SAF registraron mayores contenidos (0.2 %) que el suelo sin sombra (0.1 %), diferencia que, aunque atenuada, se mantuvo en profundidad (0.1 % vs. 0.03 %). Estos resultados evidencian una mayor acumulación y reciclaje de materia orgánica y nitrógeno en los sistemas agroforestales (Cuadro 34).

Propiedades físicas del suelo. Las fracciones texturales presentaron diferencias altamente significativas entre sistemas agroforestales ($p < 0.0001$), pero sin efectos significativos de la profundidad ni de la interacción SAF \times profundidad. Los sistemas con sombra permanente (limba, barba de jolote y caoba) mostraron mayores contenidos de arcilla y limo, mientras que el testigo sin sombra presentó mayor proporción de arena en ambas profundidades (Cuadro 34 y Figura 50).

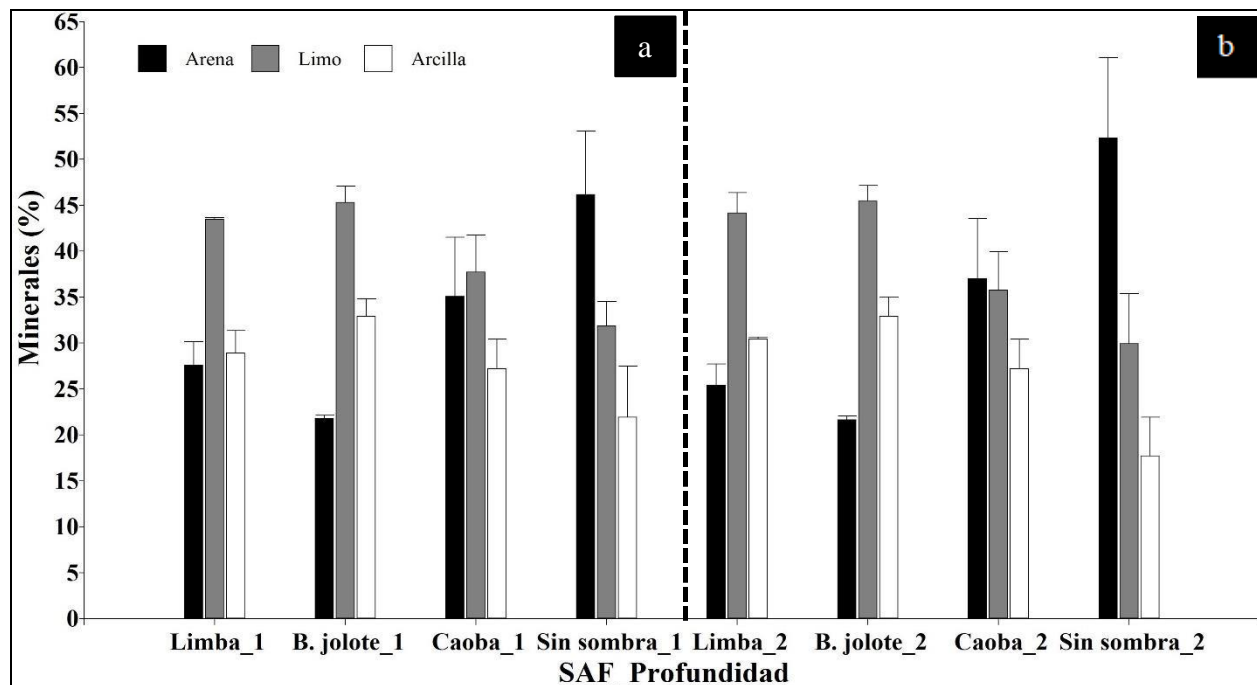


Figura 50. Promedio de minerales en el suelo con su D.E. por SAF y diferentes profundidades. a) Profundidad 0–15 cm; b) Profundidad 16–30 cm).

En densidad aparente (DA) se encontraron diferencias entre SAF ($p < 0.0001$), con menor DA en especies de mayor crecimiento y, mayor a medida incrementa la profundidad ($p < 0.0001$). Por otro lado, se encontró significancia del efecto de interacción SAF- Profundidad, favoreciendo la densidad aparente con la especie barba de jolote (Cuadro 34, Figura 51).

De forma complementaria, la porosidad fue mayor en los SAF y disminuyó con la profundidad y en ausencia de cobertura arbórea, reflejando mejores condiciones para el crecimiento radicular y la infiltración de agua.

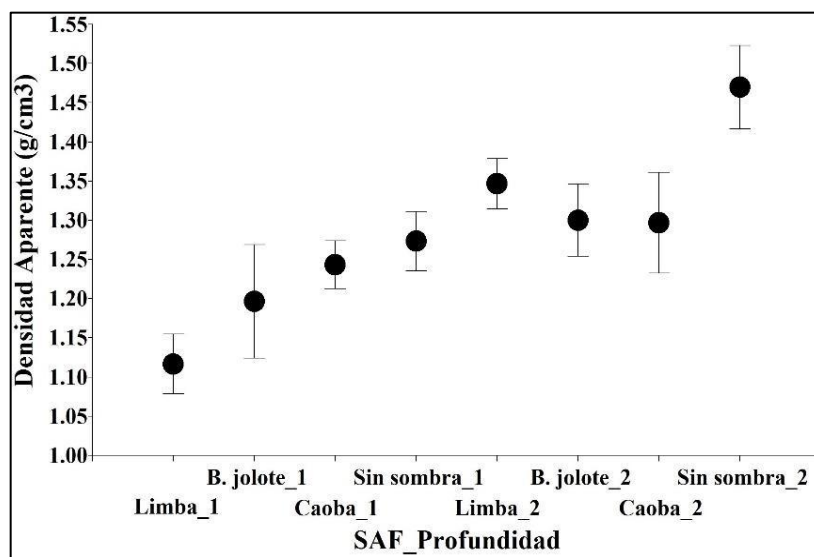


Figura 51. Densidad aparente del suelo por SAF-Profundidad.

La humedad volumétrica, evaluada en la capa superficial, fue mayor bajo limba y se diferenció estadísticamente del resto de los sistemas (Cuadro 34).

Propiedades químicas del suelo. El pH no presentó diferencias significativas entre sistemas ni profundidades, manteniéndose en un rango ligeramente ácido, adecuado para el cultivo de cacao. El P disponible mostró diferencias significativas entre sistemas agroforestales ($p = 0.0402$), no así entre profundidad registrando mayores valores con la especie B. jolote. Los micronutrientes mostraron respuestas variables. El Zn presentó diferencias significativas únicamente entre profundidades, con valores mayores en la capa superficial, favoreciendo ligeramente a barba de jolote. El Mn fue significativamente más alto en los SAF y a menor profundidad, especialmente bajo caoba. No se encontraron diferencias en Fe y Cu tanto para los SAF, como para la profundidad de suelo (Figura 52, Cuadro 34).

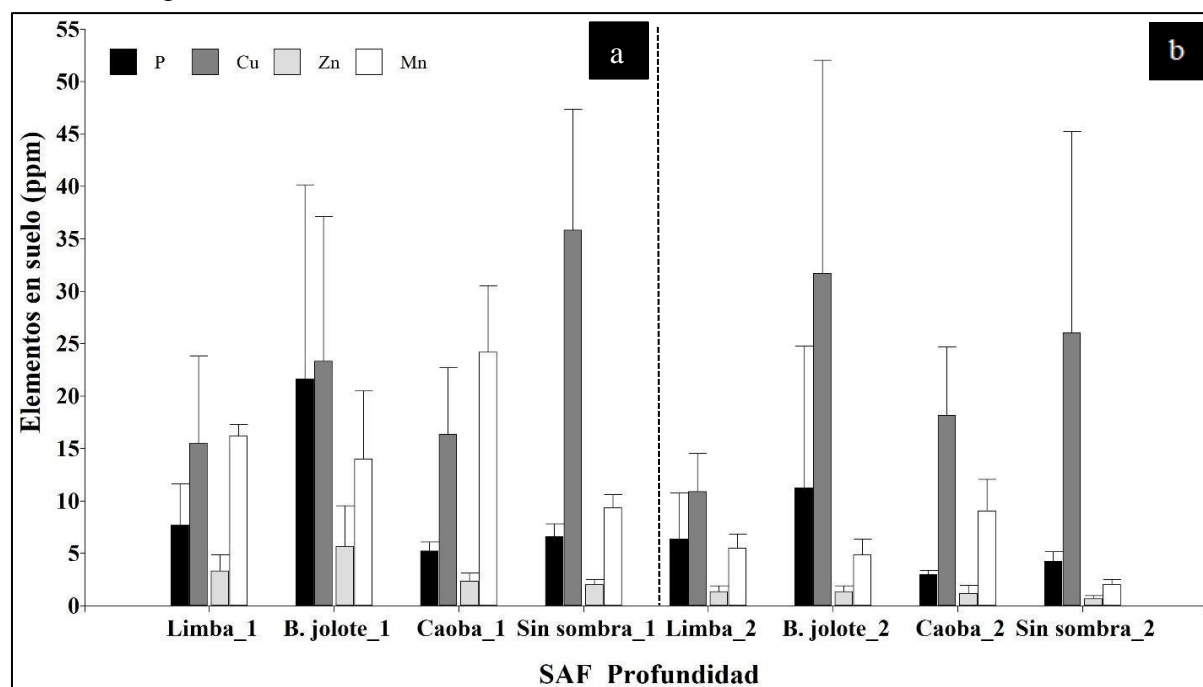


Figura 52. Promedio de elementos (P, Cu, Zn y Mn) en el suelo con su D.E. por SAF y diferentes profundidades. a) Profundidad 1, de 0 – 15 cm; b) Profundidad 2, de 16 – 30 cm).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue mayor en los SAF (22.4 - 22,7 meq 100 g⁻¹) y disminuyó con la profundidad y en el sistema sin sombra (17,3 meq 100 g⁻¹), en estrecha relación con los mayores contenidos de arcilla y materia orgánica. De forma similar, los cationes básicos (Ca, Mg y K) y la saturación de bases fueron más elevados en los SAF y en la capa superficial, reflejando una mayor fertilidad del suelo en sistemas con cobertura arbórea utilizando en asocio agroforestal la especie maderable barba de jolote (Figura 53, Cuadro 34).

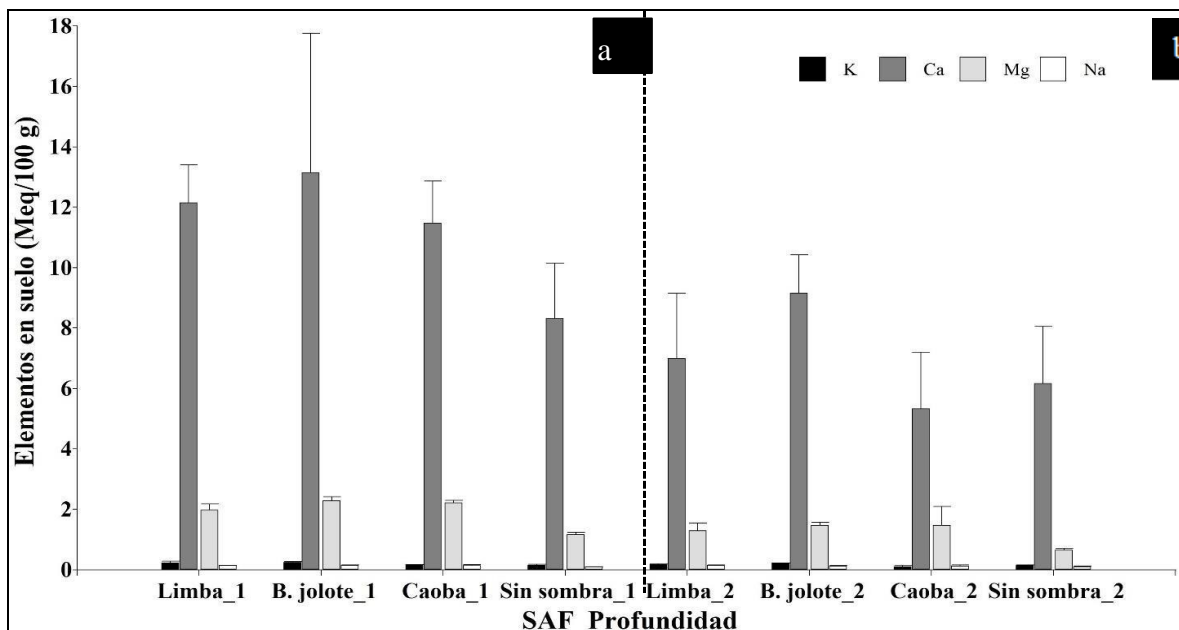


Figura 53. Promedio de elementos (K, Ca, Mg y Na) en el suelo con su D.E. por SAF y diferentes profundidades. a) profundidad 1, de 0 – 15 cm; b) profundidad 2, de 16 – 30 cm).

Indicadores biológicos y respiración del suelo. En el número de lombrices no se encontraron diferencias significativas, mientras que entre profundidades si se encontraron diferencias mostrando mayor cantidad de lombrices en la capa superficial, con tendencia a favorecer el cacaotal asociado con limba y caoba. Esto indica que existe una tendencia a que los SAF generan condiciones más favorables para la actividad biológica del suelo, asociadas a mayor humedad, aporte de residuos y menor compactación. El flujo lineal de CO₂, evaluado únicamente en la capa superficial, tampoco mostró diferencias significativas entre sistemas, aunque los valores tendieron a ser mayores en los SAF. Esto sugiere una mayor actividad microbiana asociada a sistemas con sombra, aunque con alta variabilidad, como lo refleja el coeficiente de variación (Cuadro 34, Figura 54).

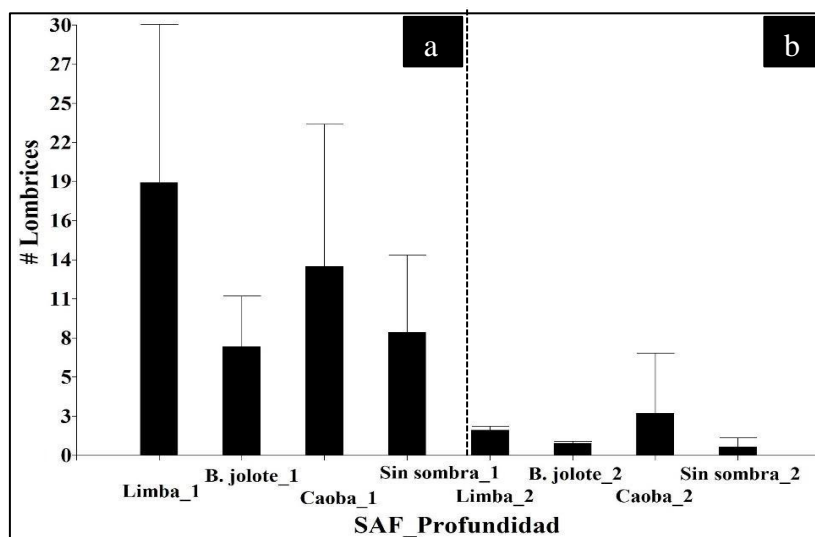


Figura 54. Cantidad de lombrices. a) profundidad 0-15 cm b) 16-30 cm.

Cuadro 34. Media y Desviación estándar de propiedades físicas, químicas y biológicas de tres SAF-Cacao y cacao sin sombra (testigo) a diferente profundidad del suelo (0 – 15 cm y 16 – 30 cm), así como los valores de probabilidad (p-valor) por SAF-Cacao, Profundidad y su interacción, R²: coeficiente de determinación; C.V. (%): coeficiente de variación. CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. Año 2025.

Variable de estudio	Profundida 1 (0-15 cm)				Profundida 2 (16-30 cm)				p-valor (SAF-Cacao)	p - valor (Prof.)	p-valor Interacción	R ²	C.V (%)	
	Limba	Barba de jolote	Caoba	Sin sombra	Limba	Barba de jolote	Caoba	Sin sombra						
	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.						
Físicas	Arcilla (%)	28.9 ± 2.42	32.9 ± 1.91	27.2 ± 3.21	21.9 ± 5.56	30.5 ± 0.22	32.9 ± 2.11	27.2 ± 3.21	17.7 ± 4.2	<0.0001	0.5923	0.4162	0.83	10.9
	Limo (%)	43.4 ± 0.22	45.3 ± 1.78	37.7 ± 4.01	31.9 ± 2.64	44.2 ± 2.21	45.4 ± 1.73	35.8 ± 4.16	29.9 ± 5.48	<0.0001	0.5260	0.7974	0.88	7.51
	Arena (%)	27.6 ± 2.54	21.8 ± 0.38	35.1 ± 6.46	46.2 ± 6.89	25.4 ± 2.32	21.6 ± 0.43	37.0 ± 6.53	52.4 ± 8.7	<0.0001	0.4435	0.4422	0.89	13.4
	DA (g/cm ³)	1.1 ± 0.04	1.2 ± 0.07	1.2 ± 0.03	1.3 ± 0.04	1.4 ± 0.03	1.3 ± 0.05	1.3 ± 0.06	1.5 ± 0.05	0.0001	<0.0001	0.0056	0.92	3.07
	Porosidad (%)	57.9 ± 1.43	54.8 ± 2.73	53.1 ± 1.15	52.0 ± 1.43	49.2 ± 1.22	50.9 ± 1.73	51.1 ± 2.43	44.5 ± 2.00	0.0001	<0.0001	0.0056	0.92	2.87
	Humedad vol (%)	35.9 ± 2.81	30.0 ± 2.38	29.9 ± 1.46	31.0 ± 1.15	- -	- -	- -	- -	0.0558	-	-	0.70	7.33
Químicas	pH (0-14)	6.1 ± 0.1	6.0 ± 0.44	6.1 ± 0.12	6.0 ± 0.00	5.8 ± 0.15	5.9 ± 0.35	5.9 ± 0.21	5.9 ± 0.06	0.9832	0.0751	0.7942	0.34	3.73
	P (ppm)	7.7 ± 3.93	21.6 ± 18.5	5.2 ± 0.87	6.6 ± 1.21	6.4 ± 4.41	11.2 ± 13.54	3.0 ± 0.39	4.2 ± 0.93	0.0402	0.1866	0.6738	0.61	87.4
	Cu (ppm)	15.5 ± 8.32	23.3 ± 13.77	16.3 ± 6.35	35.8 ± 11.55	10.9 ± 3.67	31.7 ± 20.36	18.2 ± 6.53	26.0 ± 19.22	0.0963	0.8399	0.6443	0.44	57.6
	Zn (ppm)	3.3 ± 1.53	5.7 ± 3.88	2.3 ± 0.76	2.0 ± 0.5	1.3 ± 0.58	1.3 ± 0.58	1.2 ± 0.76	0.7 ± 0.29	0.1399	0.0040	0.3149	0.63	70.6
	Fe (ppm)	29.7 ± 13.04	18.7 ± 4.04	66.5 ± 74.72	29.7 ± 5.92	50.3 ± 14.05	40.0 ± 2.6	48.2 ± 41.2	35.5 ± 4.77	0.4020	0.5556	0.6389	0.38	75.2
	Mn (ppm)	16.2 ± 1.15	14.0 ± 6.5	24.2 ± 6.33	9.3 ± 1.26	5.5 ± 1.32	4.8 ± 1.53	9.0 ± 3.04	2.0 ± 0.5	0.0015	<0.0001	0.3439	0.85	35.1
	CIC (Meq/100 g)	20.3 ± 3.24	22.7 ± 1.22	22.6 ± 0.94	17.3 ± 0.94	22.3 ± 3.22	20.3 ± 2.03	18.2 ± 2.93	13.5 ± 1.87	0.0015	0.0435	0.1269	0.74	12.0
	Ca (Meq/100 g)	12.1 ± 1.25	13.1 ± 4.61	11.5 ± 1.39	8.3 ± 1.84	7.0 ± 2.17	9.2 ± 1.28	5.3 ± 1.88	6.2 ± 1.89	0.0763	0.0006	0.5406	0.68	26.7
	Mg (Meq/100 g)	2.0 ± 0.2	2.3 ± 0.13	2.2 ± 0.08	1.2 ± 0.08	1.3 ± 0.26	1.5 ± 0.1	1.5 ± 0.62	0.7 ± 0.06	<0.0001	<0.0001	0.7700	0.88	16.7
	Na (Meq/100 g)	0.1 ± 0.01	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.04	0.1 ± 0.01	0.1 ± 0.01	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.04	0.1 ± 0.01	0.0180	0.7193	0.6929	0.56	17.9
	K (Meq/100 g)	0.2 ± 0.05	0.2 ± 0.03	0.2 ± 0.00	0.2 ± 0.03	0.2 ± 0.03	0.2 ± 0.02	0.1 ± 0.04	0.1 ± 0.03	0.0007	0.0062	0.3808	0.77	19.6
	SB (%)	72.3 ± 11.12	70.4 ± 23.8	62.0 ± 4.83	55.9 ± 7.63	40.0 ± 15.36	54.3 ± 7.13	38.5 ± 14.38	51.3 ± 7.99	0.4974	0.0042	0.3824	0.56	24.7
	CO (%) MI	2.1 ± 0.44	2.4 ± 0.52	2.2 ± 0.14	1.2 ± 0.15	0.9 ± 0.23	1.1 ± 0.2	1.0 ± 0.11	0.4 ± 0.19	0.0002	<0.0001	0.4232	0.91	20.4
	MO (%) MI	3.6 ± 0.75	4.2 ± 0.89	3.9 ± 0.24	2.0 ± 0.26	1.5 ± 0.4	1.8 ± 0.35	1.8 ± 0.18	0.7 ± 0.33	0.0002	<0.0001	0.4150	0.91	20.3
	CO (%) MC	2.0 ± 0.31	2.2 ± 0.3	2.1 ± 0.06	1.2 ± 0.06	0.9 ± 0.24	0.9 ± 0.12	0.9 ± 0.15	0.4 ± 0.16	<0.0001	<0.0001	0.2639	0.95	14.8
MO (%) MC	3.4 ± 0.54	3.9 ± 0.52	3.6 ± 0.1	2.1 ± 0.1	1.6 ± 0.41	1.6 ± 0.21	1.6 ± 0.27	0.6 ± 0.28	<0.0001	<0.0001	0.2651	0.95	14.8	
N orgánico (%)	0.2 ± 0.03	0.2 ± 0.03	0.2 ± 0.01	0.1 ± 0.004	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.01	0.1 ± 0.01	0.0 ± 0.01	<0.0001	<0.0001	0.2651	0.95	14.8	
Biológicas	# Lombrices	19.0 ± 11.05	7.6 ± 3.55	13.2 ± 9.92	8.6 ± 5.38	1.8 ± 0.25	0.8 ± 0.14	2.9 ± 4.19	0.6 ± 0.63	0.2615	0.0006	0.4462	0.67	86.9
	Concentración de CO ₂ (ppm)	154.3 ± 58.49	120.3 ± 26.67	119.8 ± 14.00	109.9 ± 26.87	- -	- -	- -	- -	0.3338	-	-	0.64	22.7
	Flujo lineal de CO ₂ (g/m ² /hr)	1.3 ± 0.54	0.9 ± 0.27	0.9 ± 0.08	0.8 ± 0.22	- -	- -	- -	- -	0.1825	-	-	0.69	26.6

MI: muestra individual; MC: muestra compuesta; p-valor negrita: diferencias estadísticas significativa (<0.05); ppm: partes por millón; Meq: miliequivalente.

Coefficientes de correlación y análisis de componentes principales entre variables del suelo.

El análisis de correlación mostró que el CO se relaciona de manera significativa con varias propiedades químicas, físicas y biológicas, confirmando su papel central en el funcionamiento de los sistemas agroforestales evaluados. El CO presentó una correlación perfecta con la materia orgánica y una relación muy alta con el nitrógeno orgánico ($R = 0.97$; $p < 0.0001$), evidenciando el estrecho acoplamiento entre los ciclos del carbono y del nitrógeno. Asimismo, el CO se correlacionó positivamente con fósforo disponible, Zn, Mn, Ca, Mg, saturación de bases y CIC, indicando que a mayor CO favorecen la retención y disponibilidad de nutrientes.

En contraste, el sodio y el cobre no mostraron relaciones significativas, mientras que el hierro presentó una correlación negativa moderada con el CO (Cuadro 35). Desde el punto de vista físico, el CO mostró una fuerte correlación negativa con la densidad ($R = -0.83$; $p < 0.0001$) y positiva con la porosidad ($R = 0.83$; $p < 0.0001$), lo que refleja mejores condiciones estructurales del suelo asociadas a mayores contenidos de carbono. Las fracciones texturales no presentaron correlaciones significativas. En el componente biológico, el CO se correlacionó positivamente con el número de lombrices ($R = 0.71$; $p = 0.0001$), indicando una mayor actividad de la macrofauna en suelos con mayor contenido de carbono orgánico. Finalmente, las variables asociadas a la dinámica del CO₂ del suelo no mostraron correlaciones significativas con el CO, posiblemente debido al reducido tamaño de muestra y a la alta variabilidad temporal de estos procesos (Cuadro 35).

Cuadro 35. Correlación de Spearman entre el carbono orgánico del suelo (CO) y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson (R)	p-valor
CO (%)	Arcilla	24	0.31	0.1448
CO (%)	Limo	24	0.28	0.1825
CO (%)	Arena	24	-0.32	0.1286
CO (%)	DA	24	-0.83	<0.0001
CO (%)	Porosidad (%)	24	0.83	<0.0001
CO (%)	Humedad vol (%)	12	0.08	0.7808
CO (%)	pH	24	0.39	0.0615
CO (%)	MO (%)	24	1.00	<0.0001
CO (%)	P (Ppm)	24	0.48	0.0165
CO (%)	Cu (Ppm)	24	0.04	0.8636
CO (%)	Zn (Ppm)	24	0.77	<0.0001
CO (%)	Fe (Ppm)	24	-0.47	0.0211
CO (%)	Mn (Ppm)	24	0.80	<0.0001
CO (%)	CIC (Meq/100 g)	24	0.47	0.0191
CO (%)	Ca (Meq/100 g)	24	0.78	<0.0001
CO (%)	Mg (Meq/100 g)	24	0.79	<0.0001
CO (%)	Na (Meq/100 g)	24	0.24	0.2554
CO (%)	K (Meq/100 g)	24	0.54	0.0070
CO (%)	SB (%)	24	0.66	0.0004
CO (%)	MO (%)	24	1.00	<0.0001
CO (%)	N orgánico (%)	24	0.97	<0.0001
CO (%)	Lombrices (#)	24	0.71	0.0001
CO (%)	Flujo lineal CO ₂ (g/m ² /hr)	12	0.17	0.5620

p-valor negrita: diferencias estadísticas entre la correlación del Carbono Orgánico (CO) con las demás variables (<0.05); ppm: partes por millón; Meq: miliequivalente.

El análisis de componentes principales (PCA) muestra que los dos primeros componentes explican en conjunto el 74.5 % de la varianza total, con una contribución del 56.4 % para el Componente Principal 1 (CP1) y del 18.1 % para el Componente Principal 2 (CP2), lo que indica que estos ejes capturan la mayor parte de la variabilidad del sistema evaluado.

El CP1 representa el principal gradiente de variación y está dominado por atributos químicos del suelo relacionados con la fertilidad, separando a principalmente a la profundidad 1 (0-15) con mayor fertilidad (derecha) sobresaliendo limba y barba de jolote, de la profundidad 2 (16-30 cm) (izquierda) sobresaliendo el cacaotal sin sombra. Variables como Fe, Ca, Mg, K, Zn y P presentan cargas positivas elevadas en este componente, junto con el carbono orgánico del suelo (C.O.) y la suma de bases (SB).

Esto sugiere que el CP1 refleja un gradiente de calidad química y fertilidad del suelo, asociado a una mayor disponibilidad de nutrientes y a una mejor capacidad de retención de cationes, condiciones típicas de suelos con mayor aporte y estabilización de materia orgánica bajo determinados sistemas agroforestales. El CP2, por su parte, está asociado principalmente a la separación a las interacciones SAF*Profundidad que cuentan con más Fe, CIC y arena, con menores cantidades de Cu y SB (arriba) como limba y caoba de las interacciones con menos Fe y más Cu como lo es el cacaotal sin sombra en sus diferentes profundidades (abajo) (Figura 55).

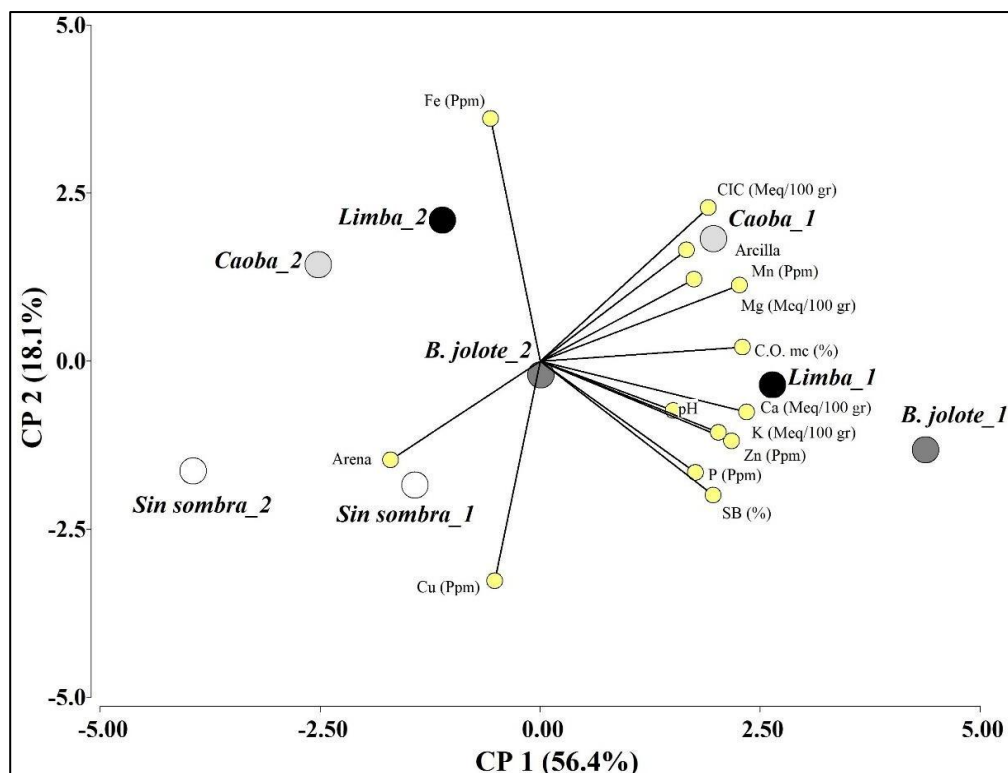


Figura 55. Análisis de componentes principales entre las interacciones SAF-Profundidad de muestreo y su relación con las variables de estudio.

Análisis químico foliar. El análisis foliar evidenció diferencias claras en la concentración de nutrientes entre el cacao, las especies maderables y el sistema testigo. En general, el cacao presentó mayores concentraciones de K, Mg, Mn y Zn en comparación con las especies maderables, lo que refleja su alta demanda nutricional y mayor capacidad de acumulación de micronutrientes, particularmente bajo condiciones de sombra. Destaca el cacao asociado a barba de jolote, que mostró los mayores contenidos de N y P, lo cual puede atribuirse al carácter leguminoso de barba de jolote y a su influencia positiva en la disponibilidad de nitrógeno dentro del sistema agroforestal. En contraste, las especies maderables presentaron concentraciones más elevadas de Ca, especialmente limba y caoba, coherente con su función estructural y fisiológica (Cuadro 36).

Cuadro 36. Contenido de macro y micronutrientes foliares en especies maderables, cacao asociado y cacao en condición de testigo.

Especie	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (pm)
Limba	1.86	0.27	0.95	1.53	0.45	111	39	9	16
Barba de jolote	2.87	0.14	0.95	0.95	0.26	410	43	9	19
Caoba del atlántico	1.31	0.11	0.49	1.48	0.32	178	23	13	16
Cacao (Limba)	1.56	0.21	1.2	1.69	0.85	197	526	8	96
Cacao (B. jolote)	2.22	0.23	1.48	0.91	0.66	285	272	12	95
Cacao (Caoba)	1.86	0.19	1.11	1.17	0.8	129	511	7	97
Cacao (Testigo)	1.71	0.18	1.54	1.46	0.84	561	302	9	82

ppm: partes por millón

El análisis de correlación de Pearson entre los nutrientes foliares de las especies maderables (MF), el cacao (CF) y el suelo mostró que, en la mayoría de los casos, no se detectaron relaciones estadísticamente significativas de correlación ($p > 0.05$). Este resultado indica que, bajo las condiciones del estudio, no puede afirmarse una asociación lineal significativa entre la concentración de nutrientes en los distintos compartimentos del sistema agroforestal. La única correlación estadísticamente significativa fue la observada entre el contenido de K foliar en las especies maderables (K % MF) y el K intercambiable del suelo (K meq/100 g), con un coeficiente de correlación ($R = 1$, $p < 0,0001$). No obstante, este resultado debe interpretarse con cautela, ya que el bajo tamaño de muestra limita el análisis y puede sobreestimar la magnitud de la relación observada (Cuadro 37).

Cuadro 37. Correlaciones de Pearson entre nutrientes foliares de especies maderables, cacao y propiedades químicas del suelo.

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
N (%) MF	N (%) CF	3	0.68	0.5259
N (%) MF	N orgánico (%) Suelo	3	0.97	0.1427
P (%) MF	P (%) CF	3	0.18	0.8871
P (%) MF	P (ppm)Suelo	3	-0.22	0.8569
K (%) MF	K (%) CF	3	0.69	0.5168
K (%) MF	K (Meq/100 g) Suelo	3	1.00	<0.0001
Ca (%) MF	Ca (%) FC	3	0.80	0.4048
Ca (%) MF	Ca (Meq/100 g) Suelo	3	-0.89	0.3051
Mg (%) MF	Mg (%) CF	3	0.89	0.3034

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Mg (%) MF	Mg (Meq/100 g) Suelo	3	-0.95	0.1999
Fe (ppm) MF	Fe (ppm) CF	3	0.79	0.4233
Fe (ppm) MF	Fe (ppm) Suelo	3	-0.98	0.1353
Mn (ppm) MF	Mn (ppm) CF	3	-0.61	0.5791
Mn (ppm) MF	Mn (ppm) Suelo	3	0.45	0.7000
Cu (ppm) MF	Cu (ppm) CF	3	-0.65	0.5456
Cu (ppm) MF	Cu (ppm) Suelo	3	0.93	0.2313
Zn (ppm) MF	Zn (ppm) CF	3	-0.87	0.3333
Zn (ppm) MF	Zn (ppm) Suelo	3	0.91	0.2687
N (%) CF	N orgánico (%) Suelo	4	0.56	0.4384
P (%) CF	P (ppm) Suelo	4	0.90	0.1027
K (%) CF	K (Meq/100 g) Suelo	4	-0.08	0.9237
Ca (%) FC	Ca (Meq/100 g) Suelo	4	-0.50	0.499
Mg (%) CF	Mg (Meq/100 gr) Suelo	4	-0.45	0.5497
Fe (ppm) CF	Fe (ppm) Suelo	4	0.86	0.1405
Mn (ppm) CF	Fe (ppm) Suelo	4	-0.29	0.7143
Cu (ppm) CF	Cu (ppm) Suelo	4	-0.29	0.7073
Zn (ppm) CF	Zn (ppm) Suelo	4	0.39	0.6059

MF: Análisis foliar de las especies maderables, CF: análisis foliar del cacao.

Carbono orgánico, materia orgánica y densidad aparente dentro y fuera del dosel maderable.

No hubo diferencias significativas, tanto dentro de la copa de los árboles como entre copas (fuera). Aunque los valores de carbono y materia orgánica fueron ligeramente mayores bajo el dosel, estas diferencias no fueron estadísticamente relevantes. En algunas especies, los valores fueron ligeramente mayores bajo el dosel, mientras que en limba se observó la tendencia contraria, con valores algo más altos fuera de la copa.

Esta variabilidad podría deberse al tamaño y la forma de los árboles, ya que la hojarasca no necesariamente se deposita completamente bajo el dosel, sino que se distribuye también hacia las áreas del alrededor. La densidad aparente también presentó variaciones leves, sin diferencias significativas, indicando que la estructura física del suelo no se ve fuertemente afectada por la presencia de estas especies (Cuadro 38).

Cuadro 38. Propiedades químicas y físicas del suelo en relación con la posición bajo el dosel de árboles. Dentro: debajo del dosel del árbol; Fuera: entre las copas de los árboles.

Variable	Posición	Caoba del Atlántico	Barba de jolote	Limba	P-valor
Carbono orgánico (%)	Dentro	2.23 a	2.41 a	2.06 a	0.2446
	Fuera	1.84 a	2.01 a	2.10 a	
Materia orgánica (%)	Dentro	3.85 a	4.16 a	3.55	0.4367
	Fuera	3.57 a	3.47 a	3.63	
Densidad aparente (g/cm ³)	Dentro	1.24 a	1.20 ab	1.12 b	0.834
	Fuera	1.25 a	1.13 ab	1.15 ab	

Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en los sistemas agroforestales de cacao establecidos en La Masica,

Atlántida, confirman que la agroforestería constituye una estrategia efectiva para mejorar la calidad del suelo y aumentar el carbono orgánico del suelo (COS) en ambientes tropicales húmedos. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Handa *et al.* (2020), Zomer *et al.* (2022) y Lorenz y Lal (2014), quienes destacan el papel de los sistemas con mayor cobertura y diversidad arbórea en la restauración de suelos degradados y el secuestro de carbono. Sin embargo, este estudio demuestra que los beneficios edáficos no dependen únicamente de la presencia de árboles, sino de la identidad funcional de las especies maderables y de las condiciones edafoclimáticas locales.

El sistema testigo sin sombra presentó los valores más bajos de COS, mayor densidad aparente y menor actividad biológica, lo que coincide con lo señalado por Handa *et al.* (2020) para sistemas agrícolas simplificados. En contraste, los sistemas agroforestales incrementaron el COS y mejoraron las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, validando el planteamiento de Zomer *et al.* (2022) sobre el papel de la cobertura arbórea en la mitigación del cambio climático. No obstante, la magnitud de estos beneficios varió significativamente entre especies, un aspecto frecuentemente generalizado en estudios a escala global.

Barba de jolote mostró el mayor contenido de carbono orgánico y la mejor fertilidad química del suelo, lo que respalda lo propuesto por Lorenz y Lal (2014), quienes indican que las especies leguminosas favorecen la acumulación y estabilización del carbono mediante la fijación biológica de nitrógeno, el reciclaje de nutrientes y la formación de complejos órgano-minerales. Asimismo, la relación positiva entre COS y abundancia de lombrices coincide con lo reportado por Fonte *et al.* (2010) en el sistema Quesungual del occidente de Honduras, destacando el rol de la biota del suelo en los procesos de secuestro de carbono.

Por su parte, limba destacó principalmente por mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo, mostrando menor densidad aparente, mayor porosidad y abundancia de lombrices. Estos resultados concuerdan con Bhadauria y Saxena (2010), quienes señalan que la macrofauna edáfica contribuye a la formación de agregados estables y a la mejora de la estructura del suelo. En contraste, caoba del atlántico presentó efectos positivos, pero más moderados, consistentes con lo descrito por Lorenz y Lal (2014).

En conjunto, los resultados confirman que la selección de especies maderables en sistemas agroforestales de cacao determina de manera diferenciada la dinámica del COS, la fertilidad química, la estructura física y la actividad biológica del suelo. Barba de jolote se perfila como una especie clave para la restauración de suelos y el secuestro de carbono, mientras que limba sobresale por su contribución a la calidad física y biológica del suelo. Caoba del atlántico por su parte, aporta beneficios más graduales y un componente estratégico de rentabilidad a largo plazo. Estos efectos complementarios resaltan la importancia de combinaciones balanceadas de especies y un manejo adecuado para maximizar los servicios ecosistémicos y la sostenibilidad de los sistemas agroforestales de cacao.

Conclusiones

- La presencia de árboles incrementa el carbono orgánico del suelo y mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas frente al sistema sin sombra. Sin embargo, el impacto varía según la especie, confirmando que la selección de árboles de sombra es clave para potenciar el secuestro de carbono y la sostenibilidad del sistema.

- Barba de jolote mostró el mayor potencial para incrementar el carbono orgánico del suelo, lo que se atribuye a su condición de leguminosa, su capacidad de fijación biológica de nitrógeno y la calidad de su hojarasca. Limba presentó un efecto complementario, destacando principalmente en la mejora de las propiedades físicas y biológicas del suelo, mientras que caoba del atlántico un efecto positivo, pero más moderado. Estos resultados indican que la selección de especies maderables debe ajustarse a los objetivos de manejo del suelo, priorizando leguminosas cuando el objetivo principal sea maximizar el secuestro de carbono orgánico.
- El carbono orgánico del suelo es un indicador de la fertilidad y la calidad del suelo. Su estrecha relación con la materia orgánica, el nitrógeno, varios nutrientes esenciales, la estructura física del suelo y la actividad de la macrofauna evidencia que mayores contenidos de carbono orgánico se asocian con suelos más fértiles, porosos y biológicamente activos.
- Los análisis foliares realizados muestran que las concentraciones de nutrientes en las hojas de las especies maderables estudiadas se mantienen dentro de rangos adecuados, sin diferencias significativas entre especies, lo que indica un buen estado nutricional general de los árboles en el sistema agroforestal.
- Los análisis de suelo dentro y fuera del dosel revelan que el carbono orgánico, la materia orgánica y la densidad aparente presentan leves variaciones entre posiciones y especies. Estas tendencias sugieren que la presencia del dosel puede favorecer ligeramente la acumulación de materia orgánica y carbono bajo la copa, mientras que factores como el tamaño del árbol y la dispersión de hojarasca pueden generar variabilidad espacial.

Literatura citada

- Bhadauria, T., & Saxena, K. G. (2010). Role of Earthworms in Soil Fertility Maintenance through the Production of Biogenic Structures. *Applied and Environmental Soil Science*, 2010, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2010/816073>
- Bolívar Gamboa, A., Camacho Hilarión, C. A., Ordoñez Delgado, N., Gutiérrez Díaz, J., Alvarez Lucero, G., Guevara Santamaría, M., Olivera, C., Olmedo, G., Bunning, S., & Vargas, R. (2021). Estimación de carbono orgánico del suelo en Colombia, una herramienta de gestión del territorio. *Ecosistemas*, 30(1), 2019. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2019>
- Callo-Concha, D., Krishnamurthy, L., & Alegre, J. (2002). Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 8(2), 101–106.
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*.
- Handa, A. K., Sirohi, C., Arunachalam, A., & Chavan, S. B. (2020). Agroforestry Interventions for Carbon Sequestration and Improving Degraded Lands. *Climate Change and Environmental Sustainability*, 8(1), 3–12.
- Hübner, R., Kühnel, A., Lu, J., Dettmann, H., Wang, W., & Wiesmeier, M. (2021). Soil carbon sequestration by agroforestry systems in China: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 315, 107437. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107437>
- Lorenz, K., & Lal, R. (2014). Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 443–454. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0212-y>

- Mayer, S., Wiesmeier, M., Sakamoto, E., Hübner, R., Cardinael, R., Kühnel, A., & Kögel-Knabner, I. (2022). Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107689. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107689>
- Páliz Larrea, P. I. (2016). Efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en el suelo y hojarasca de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras. Zamorano.
- Ramírez-Argueta, O., Orozco-Aguilar, L., Dubón, A. D., Díaz, F. J., Sánchez, J., & Casanoves, F. (2022). Timber growth, cacao yields, and financial revenues in a long-term experiment of cacao agroforestry systems in northern Honduras. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1–28. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.941743>
- Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. (2020). Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. In *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814608-8.09991-6>
- T.M., K. K., Pal, S., Chand, P., & Kandpal, A. (2023). Carbon sequestration potential of agroforestry systems in Indian agricultural landscape: A Meta-Analysis. *Ecosystem Services*, 62, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101537>
- Vela Correa, G., López Blanco, J., & Rodríguez Gamiño, M. de L. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, (77), 18–30.
- Zomer, R. J., Bossio, D. A., Trabucco, A., Noordwijk, M. van, & Xu, J. (2022). Global carbon sequestration potential of agroforestry and increased tree cover on agricultural land. *Circular Agricultural Systems*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.48130/CAS-2022-0003>

5.5. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de las especies *Guarea grandifolia*, *Huerteia cubensis*, *Ilex tectonica*, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Cojoba arborea*, *Hyeronima alchorneoides*, *Terminalia superba* y *Cordia megalantha*, en plantaciones agroforestales de la FHIA, en el departamento de Atlántida, Honduras

René Benítez, Joaquín Sánchez, Dunia Colindres, Nazareth Armijo, Alejandra Escalante, Yurizh Gudiel, Milton Discua, Wilman Díaz, Yahir Pineda y Oscar Padilla
Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR)

M.Sc. Oscar Ramírez e Ing. Elvin Ávila
Programa de Cacao y Agroforestería, FHIA

Resumen

El presente estudio evaluó las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad de la madera de ocho especies forestales de 28 años de edad, establecidas en un sistema agroforestal con cacao (SAF-Cacao) en el CEDEC-JAS. Se analizaron cuatro árboles por especie: marapolán (*Guarea grandifolia*), cedrillo (*Huerteia cubensis*), san juan areno (*Ilex tectonica*), cedro de la India (*Acrocarpus fraxinifolius*), barba de jolote (*Cojoba arborea*), rosita (*Hyeronima alchorneoides*), limba (*Terminalia superba*) y laurel negro (*Cordia megalantha*), con el objetivo de determinar la calidad de la madera y sus potenciales usos. Se realizaron 11 propiedades físicas, 2 pruebas mecánicas y 7 evaluaciones de trabajabilidad, comparando los resultados con estudios previos de árboles desarrollados en condiciones naturales. En cuanto a las propiedades físicas, la densidad básica varió entre 0.429 g/cm³ en *Cordia megalantha* y 0.930 g/cm³ en *Huerteia cubensis*. La contracción volumétrica presentó diferencias marcadas, con valores muy bajos en *Terminalia*

superba (1.23 %), lo que indica una muy alta estabilidad dimensional, y valores elevados en *Huerteia cubensis* (12 %), asociados a baja estabilidad. La relación tangencial/radial osciló entre 1.01 y 2.28, reflejando comportamientos contrastantes en estabilidad dimensional.

El contenido de humedad saturado alcanzó hasta 90 % en *Ilex tectonica* y *Acrocarpus fraxinifolius*. De acuerdo con la clasificación de Bárcenas, *Terminalia superba* se ubicó en la categoría de muy alta estabilidad dimensional; *Guarea grandifolia*, *Ilex tectonica*, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Cojoba arborea* y *Cordia megalantha* presentaron estabilidad media; mientras que *Huerteia cubensis* y *Hyeronima alchorneoides* mostraron baja estabilidad. Estas características permiten usos que van desde elementos estructurales, vigas y durmientes, hasta carpintería fina, pisos y artesanías, evidenciando la versatilidad de las especies evaluadas. Respecto a las propiedades mecánicas, la flexión estática mostró módulos de elasticidad elevados, destacando *Hyeronima alchorneoides* con 82,771 kg/cm² e *Ilex tectonica* con 44,425 kg/cm². El mayor módulo de ruptura (MOR) se registró en *Terminalia superba* (697.18 kg/cm²). En compresión paralela, *Guarea grandifolia* y *Cojoba arborea* presentaron los valores más altos, mientras que *Huerteia cubensis* e *Ilex tectonica* evidenciaron un desempeño inferior. En compresión perpendicular, *Guarea grandifolia* alcanzó 48.08 kg/cm² y *Terminalia superba* mostró los valores más bajos (31.14 kg/cm²). Según la clasificación mexicana, *Guarea grandifolia*, *Ilex tectonica*, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Cojoba arborea* y *Terminalia superba* se clasificaron como maderas de alta resistencia; *Cordia megalantha* como resistencia media; y *Huerteia cubensis* junto con *Hyeronima alchorneoides* como de baja resistencia. Las pruebas de trabajabilidad, evaluadas bajo normas ASTM, evidenciaron un desempeño generalmente favorable. El escopleado y perforado fueron excelentes en *Guarea grandifolia*, *Huerteia cubensis* y *Cojoba arborea*. El lijado y cepillado destacaron en *Cojoba arborea* y *Huerteia cubensis*, mientras que *Terminalia superba* presentó deficiencias en cepillado y moldurado. El clavado fue excelente en *Cordia megalantha* y deficiente en *Hyeronima alchorneoides*. El torneado y moldurado resultaron sobresalientes en la mayoría de las especies, con excepción de *Terminalia superba*, cuyo desempeño fue de regular a malo. En síntesis, el crecimiento acelerado de las especies forestales en sistemas agroforestales con cacao influyó positivamente en la mayoría de las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad, aunque se observaron variaciones específicas que requieren análisis particulares por propiedad. *Guarea grandifolia*, *Cojoba arborea* y *Terminalia superba* destacan por su amplia versatilidad para usos estructurales y de carpintería; *Huerteia cubensis* y *Hyeronima alchorneoides* presentan limitaciones en estabilidad y resistencia, pero poseen potencial para carpintería fina y artesanías; y, en general, la trabajabilidad confirma la aptitud de estas especies para procesos industriales y artesanales. Estos resultados refuerzan la relevancia de los sistemas agroforestales como una alternativa sostenible para la producción de madera de calidad, contribuyendo a la diversificación de usos y al manejo responsable de los recursos forestales.

Introducción

La diversidad forestal tropical representa un recurso de alto valor ecológico y económico, especialmente en regiones mesoamericanas donde convergen especies con notables cualidades para el aprovechamiento maderable. Entre ellas, *Guarea grandifolia*, *Huerteia cubensis*, *Ilex tectonica*, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Cojoba arborea*, *Hyeronima alchorneoides*, *Terminalia superba* y *Cordia megalantha* constituyen un conjunto de especies de importancia estratégica para la industria forestal debido a su crecimiento, adaptación ecológica y propiedades tecnológicas. Estas especies se distribuyen en diferentes pisos altitudinales y tipos de bosque, cumpliendo funciones ambientales esenciales y aportando materia prima para diversas aplicaciones estructurales y no

estructurales (Lamprecht, 1990).

La evaluación integral de estos recursos forestales exige comprender tanto su biología como su comportamiento físico y mecánico. La densidad básica, el contenido de humedad, la contracción, la resistencia a la compresión, la flexión estática y la dureza son propiedades fundamentales que permiten determinar la calidad y el rendimiento de la madera frente a esfuerzos mecánicos y condiciones ambientales (Forest Products Laboratory, 2010).

Estas características varían significativamente entre especies, influyendo directamente en la selección del material según los requerimientos de uso, ya sea para construcción, carpintería, mueblería o laminados. Asimismo, la trabajabilidad de la madera, entendida como la facilidad con la que puede ser aserrada, cepillada, perforada, lijada o acabada, constituye un factor decisivo en los procesos industriales. La integración de estos parámetros físicos, mecánicos y de trabajabilidad permite realizar una caracterización completa que fortalece la toma de decisiones en el manejo forestal y en la transformación industrial.

El presente trabajo se enfoca en la descripción y análisis de estas especies tropicales de interés, abordando sus características anatómicas generales, sus propiedades físicas y mecánicas, así como su desempeño en los procesos de transformación. Esta información constituye una base técnica fundamental para apoyar futuras investigaciones y la optimización de la industria maderera en la región. Finalmente, es importante destacar el papel que desempeña FHIA, la cual ha impulsado programas de mejora genética, manejo sostenible y estudios de productividad en especies forestales y agroforestales de alto valor. Su aporte en investigación aplicada y transferencia tecnológica ha permitido fortalecer las capacidades del sector forestal hondureño, promoviendo prácticas responsables y el uso eficiente de los recursos naturales (FHIA, 2015).

Objetivo

Conocer los usos potenciales y la calidad de la madera de las especies *Guarea grandifolia*, *Huertia cubensis*, *Ilex tectonica*, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Cojoba arborea*, *Hyeronima alchorneoides*, *Terminalia superba* y *Cordia megalantha*, mediante la evaluación de sus propiedades físicomecánicas y de trabajabilidad, utilizando madera proveniente de árboles establecidos en sistemas agroforestales con cacao (SAF-Cacao), bajo las condiciones del trópico húmedo de Honduras.

Materiales y métodos

La presente metodología describe de forma secuencial el proceso técnico aplicado para la evaluación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de ocho especies latifoliadas (Figura 56) proveniente de sistemas agroforestal con cacao. A continuación, se detallan las actividades desarrolladas desde la preparación inicial del material hasta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos.



Figura 56. Muestras de madera de las especies maderables estudiadas.

Aserrado y secado de la madera. La madera obtenida de los árboles seleccionados fue sometida a un proceso de aserrado para la obtención de tablas, las cuales posteriormente se secaron bajo condiciones controladas, con el fin de alcanzar un contenido de humedad adecuado para la elaboración de probetas y la ejecución de los ensayos.

Elaboración de probetas para pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad. A partir del material seco, se prepararon las probetas normalizadas según las dimensiones y especificaciones requeridas para cada tipo de ensayo. Este proceso incluyó el dimensionado, cepillado, rotulado y clasificación de las muestras.

Ejecución de las pruebas físico-mecánicas y de trabajabilidad. Las probetas fueron sometidas a ensayos de propiedades físicas y mecánicas, así como a pruebas de trabajabilidad, utilizando equipos y procedimientos estandarizados. En esta fase se registraron los datos experimentales correspondientes a cada prueba.

Tabulación y cálculos de los datos. Los resultados obtenidos en los ensayos fueron organizados en matrices de datos, realizándose los cálculos necesarios para la determinación de los parámetros físico-mecánicos y los índices de trabajabilidad de la madera evaluada.

Análisis y comparación de los datos obtenidos. Finalmente, los resultados fueron analizados e interpretados mediante comparaciones entre especies y con valores de referencia reportados en la literatura, permitiendo establecer conclusiones sobre la calidad y los usos potenciales de la madera proveniente de sistemas agroforestales con cacao.



Figura 57. Descripción grafica de la metodología de investigación.

Variables de estudio

Pruebas físicas: Las pruebas físicas comprenden un conjunto de propiedades cuantitativas que describen el comportamiento de la madera frente a las condiciones ambientales y a la acción de fuerzas externas, las cuales influyen directamente en su desempeño durante el uso y servicio. Estas propiedades son fundamentales, ya que condicionan la estabilidad dimensional, el rendimiento industrial y la resistencia mecánica de la madera, especialmente cuando se destina a aplicaciones estructurales. De acuerdo con Winandy (1994), la caracterización física de la madera constituye un criterio esencial para su clasificación tecnológica y para la definición de usos adecuados.

- Las propiedades físicas evaluadas en este estudio se describen a continuación:
- Densidad básica (gr/cm^3). Relación entre masa seca y volumen verde de la madera.
- Densidad al aire libre (gr/cm^3). Masa de la madera con humedad ambiental sobre su volumen en ese estado.
- Densidad saturada. Masa de la madera completamente impregnada de agua sobre su volumen saturado.
- Densidad anhidra. Masa de la madera totalmente seca (0 % humedad) sobre su volumen seco.
- Contracción tangencial anhidra (%). Reducción dimensional en dirección tangencial al secarse completamente.
- Contracción radial anhidra (%). Reducción dimensional en dirección radial al secarse completamente.
- Relación contracción tangencial/radial (%). Cociente entre ambas contracciones, indica estabilidad dimensional.
- Contracción volumétrica (Coeficiente). Pérdida total de volumen de la madera al pasar de saturada a anhidra.
- Contenido de humedad al aire libre (%). Cantidad de agua presente en equilibrio con el ambiente.
- Contenido de humedad saturado (%). Máxima cantidad de agua que puede contener la madera.
- PSF (Punto de saturación de fibras). Estado en que las paredes celulares están saturadas de agua, pero las cavidades no.

Pruebas mecánicas: comprenden el conjunto de propiedades resistentes de la madera determinadas mediante la aplicación controlada de cargas externas, las cuales permiten evaluar su comportamiento estructural bajo distintos tipos de sollicitación (Winandy, 1994). Estas propiedades representan la capacidad intrínseca del material para soportar esfuerzos mecánicos, sin considerar las tensiones internas inducidas por variaciones en el contenido de humedad o por fenómenos higroscópicos (Campos, 2015). Su determinación es esencial para clasificar la madera según su aptitud para usos estructurales y semiestructurales. Entre las propiedades estudiadas se encuentran:

- Flexión estática. Esfuerzo al límite proporcional en flexión; punto donde la deformación deja de ser lineal bajo carga de doblado.
- Esfuerzo al límite proporcional de las fibras (kg/cm^2). Punto donde la deformación deja de ser proporcional bajo compresión transversal.
- Módulo de elasticidad (kg/cm^2). Rigidez de la madera a compresión en dirección de las fibras.
- Esfuerzo máximo (kg). Carga máxima soportada antes de la ruptura.
- MOR (Módulo de Ruptura). Resistencia máxima de la madera en flexión antes de fallar.

Compresión paralela. Esfuerzo al límite proporcional en compresión longitudinal; resistencia inicial de la madera cuando se comprime en dirección de sus fibras.

Esfuerzo al límite proporcional de las fibras (kg/cm^2). Punto donde la deformación deja de ser lineal bajo compresión longitudinal.

Módulo de elasticidad (kg/cm^2). Capacidad de la madera para resistir deformaciones elásticas bajo carga.

Esfuerzo máximo (kg/cm^2). Resistencia máxima antes de la falla por compresión paralela.

Compresión perpendicular. Esfuerzo al límite proporcional en compresión transversal; resistencia inicial de la madera cuando se comprime en dirección perpendicular a sus fibras.

Esfuerzo al límite proporcional de las fibras (kg/cm^2). Valor de tensión donde la deformación deja de ser proporcional al esfuerzo.

Módulo de elasticidad (kg/cm^2). Capacidad de la madera para recuperar forma bajo compresión perpendicular

Esfuerzo máximo (kg/cm^2). Resistencia máxima antes de la deformación permanente o falla transversal.

Pruebas de trabajabilidad: es un conjunto de características y propiedades que presenta una madera determinada, al ser expuesta al trabajo manual o a la acción de herramientas eléctricas o manuales. Cuando una madera responde de manera positiva al cepillado, moldurado, lijado, torneado, taladrado entre otros, se dice que tiene una buena trabajabilidad (Benítez y Montesinos, 1998).

- Escopleado. Corte o rebaje rectangular en la madera para ensamblar piezas (ej. espiga y mortaja).
- Perforado. Realización de orificios en la madera mediante brocas o taladros.
- Lijado. Desgaste superficial con abrasivos para alisar y preparar la madera.
- Clavado. Unión de piezas mediante clavos, evaluando resistencia y facilidad de penetración.
- Moldurado. Conformación de perfiles decorativos o funcionales en los bordes de la madera.
- Cepillado. Alisado y ajuste de la superficie con cepillo manual o eléctrico.
- Torneado. Conformación de piezas cilíndricas o curvas mediante torno.

Resultados

Cuadro 39. Resultados de las pruebas físicas de las ocho especies forestales cultivadas en el CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida. 2025.

Propiedades físicas	Especies							
	<i>Guarea grandifolia</i>	<i>Huertea cubensis</i>	<i>Ilex tectonica</i>	<i>Acrocarpus fraxinifolus</i>	<i>Cojoba arborea</i>	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	<i>Terminalia superba</i>	<i>Cordia megalantha</i>
Densidad básica (g/cm ³)	0.79	0.93	0.44	0.46	0.63	0.58	0.44	0.429
Densidad al aire libre (g/cm ³)	0.67	0.39	-	-	0.78	0.66	-	0.528
Densidad saturada (g/cm ³)	0.96	0.55	0.84	0.87	1.04	0.74	0.64	0.61
Densidad anhidra (g/cm ³)	-	0.44	0.47	0.52	-	0.65	0.48	-
Contracción tangencial anhidra (%)	5.56	6	6	5.52	5.4	5.91	4.07	6.68
Contracción radial anhidra (%)	4.37	6	3.75	3.54	4.69	4.27	8.48	4.45
Relación contracción Tangencial/ Radial (%)	1.02	-	1.96	1.56	1.18	2.28	1.01	1.58
Contracción volumétrica (Coeficiente)	9.91	12	7.38	10.08	7.49	11.44	1.23	11.3
Contenido de humedad al aire libre (%)	28.9	16.59	-	-	16.98	8.39	33.7	11.7
Contenido de humedad saturada (%)	68.39	33.38	90.95	90.34	74.94	65.35	69.45	-
PSF (Punto de Saturación de Fibras)	55.75	30.05	29.23	28.25	22.81	26.68	-	29.73

Cuadro 40. Usos de la madera de las ocho especies según clasificación de Bárcenas según coeficiente de contracción volumétrica y su Relación Tangencial/Radial.

Especies	<i>Guarea grandifolia</i>	<i>Huertea cubensis</i>	<i>Ilex tectonica</i>	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	<i>Cojoba arborea</i>	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	<i>Terminalia superba</i>	<i>Cordia megalantha</i>
Clasificación	Mediana estabilidad dimensional	Baja estabilidad dimensional	Mediana estabilidad dimensional	Mediana estabilidad dimensional	Mediana estabilidad dimensional	Baja estabilidad dimensional	Muy alta estabilidad dimensional	Mediana estabilidad dimensional
Usos según Bárcenas tomando en cuenta el coeficiente de contracción volumétrico y la relación Tangencial/Radial	Elementos estructurales, vigas, durmientes, postes, mobiliario, carpintería, pisos, revestimientos muebles, construcción	Muebles finos, lineales y torneados, puertas, ventanas, chapas decorativas, artesanías, molduras y carpintería en general, elementos estructurales que soportan cargas livianas, marcos para ventanas y puertas.	Puertas, ventanas, mangos, herramientas, molduras, lápices, cajas, estuches, recubrimientos de interiores, duelas, juguetes, artesanías, artículos torneados y chapas decorativas	Muebles, recubrimientos, y pisos; instrumentos musicales, aparatos científicos, puertas, ventanas y deslizantes, acabados finos, en interiores y chaps.	Apta para construcciones, ya que soporta cargas semipesadas. Excelente para la elaboración de muebles, tanto para interiores como exteriores. Utilizada para la elaboración de muebles y ventanas.	Mueblería fina y carpintería interior, pisos y revestimientos, puertas, marcos y ventanas, torneados artesanales o decorativos, tableros y carpintería estructural ligera.	Pisos interiores, muebles, ebanistería, enchapados, contrachapados cajas, remos y canoas.	Carpintería/ mueblería interior y productos ensamblados con menor riesgo de alabeo

Cuadro 41. Resultados de las propiedades mecánicas de ocho especies forestales.

Propiedades mecánicas	Especie							
	<i>Guarea grandifolia</i>	<i>Huertea cubensis</i>	<i>Ilex tectonica</i>	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	<i>Cojoba arborea</i>	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	<i>Terminalia superba</i>	<i>Cordia megalantha</i>
Flexión estática								
Esfuerzo al límite proporcional de las fibras (kg/cm ²)	-	-	346.53	623.74	-	458.23	454.89	-
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	26,703.60	3,764.41	44,425.08	-	19,476.58	82,771	47,988.86	-
Esfuerzo máximo (kg)	1,012.60	-	-	-	249.83	-	-	-
MOR (Módulo de Ruptura)	-	626.94	-	-	262.07	-	683.1	697.18
Compresión paralela								
Esfuerzo al límite proporcional de las fibras (kg/cm ²)	-	156.39	155.04	196.41	-	157.39	123.79	162.33
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	69,339.60	-	22,308.55	-	14,785	-	12,219.25	-
Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	54.07	-	198.4	-	1,590.20	165	169.98	-
Compresión perpendicular								
Esfuerzo al límite proporcional de las fibras (kg/cm ²)	48.08	37.17	33.6	-	-	63	31.14	41.70
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	1,560.15	-	1,769.90	-	22,433	-	1,117.60	-
Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	662.8	-	48.12	-	267.1	-	51.29	-

Cuadro 42. Clasificación de las especies con las categorías de clasificación de madera mexicanas.

Datos de clasificación	Especie							
	<i>Guarea grandifolia</i>	<i>Huete cubensis</i>	<i>Ilex tectonica</i>	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	<i>Cojoba arborea</i>	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	<i>Terminalia superba</i>	<i>Cordia megalantha</i>
Densidad	Alta	Ligera	Ligera	Media	Media	Media	Ligera	Ligera
Flexión estática (EFLP)	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Media
Compresión paralela a las fibras (EFLP)	Alta	Baja	Bajo	Media	Alta	Baja	Baja	Media
Compresión perpendicular a las fibras (EFLP)	Alta	Baja	Bajo	-	Medio	Media	Baja	Media

Cuadro 43. Clasificación de las especies por pruebas de trabajabilidad según la escala de las Normas ASTM.

Pruebas de trabajabilidad	Especies							
	<i>Guarea grandifolia</i>	<i>Huete aubensis</i>	<i>Ilex tectonica</i>	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	<i>Cojoba arborea</i>	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	<i>Terminalia superba</i>	<i>Cordia megalantha</i>
Escopleado	Excelente/ Muy bueno	Excelente/ Muy bueno	Bueno/ Regular	Bueno/ Muy bueno	Excelente/ Muy buen	Muy bueno	Bueno/ Regular/malo	Bueno
Perforado	Excelente	Excelente/ Muy bueno	Muy bueno/ Bueno	Muy bueno/bueno	Excelente	Muy bueno	Bueno/ Regular	Bueno
Lijado	Bueno	Muy bueno	Muy bueno/Bueno	Muy bueno	Excelente/ Muy buen	Muy bueno/ Bueno	Bueno	Bueno
Clavado	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Malo	Regular	Excelente
Moldurado	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente/ Bueno	Excelente/ Muy buen	Excelente	Regular/ Malo	-
Cepillado	Excelente/ Bueno	Excelente	Excelente/ Bueno	Excelente/ Bueno	Excelente	Regular/Bueno	Malo	Bueno
Torneado	Excelente/ Bueno	Muy bueno	Excelente/ Bueno	Bueno/ Excelente	Excelente/ Muy buen	Excelente	Bueno	Bueno

Discusión

La evaluación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de las ocho especies forestales cultivadas en el sistema agroforestal en asocio con cacao del CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, muestran una variabilidad que refleja tanto la influencia del entorno de cultivo como las características intrínsecas de cada especie. En cuanto a las propiedades físicas, se observaron rangos de densidad que van desde maderas ligeras como *Ilex tectónica*, *Terminalia superba* y *Cordia megalantha*, hasta especies densas como *Guarea grandifolia* y *Huertea cubensis*. Esta diversidad confirma lo señalado por Lamprecht (1990), quien destaca que la densidad básica constituye un parámetro clave para diferenciar usos estructurales frente a aplicaciones ligeras.

Asimismo, la relación tangencial/radial mostró valores cercanos a 1 en especies como *Guarea grandifolia* y *Terminalia superba*, lo que refleja buena estabilidad dimensional y menor riesgo de deformaciones, mientras que *Hyeronima alchorneoides* presentó una relación elevada de 2.28, indicando mayor susceptibilidad a cambios dimensionales y limitando su uso en aplicaciones que requieren precisión. El contenido de humedad también varió significativamente, siendo más alto en especies como *Ilex tectónica* y *Acrocarpus fraxinifolius*, lo que las hace más sensibles a condiciones ambientales, frente a otras con valores moderados como *Cojoba arborea* y *Hyeronima alchorneoides*, que ofrecen mayor estabilidad para sus usos. (Forest Products Laboratory, 2010).

En las propiedades mecánicas, especies como *Ilex tectónica* y *Hyeronima alchorneoides* destacaron por sus altos valores de flexión estática y módulo de elasticidad, posicionándose como maderas aptas para elementos estructurales y de carga. Por su parte, *Guarea grandifolia* y *Cojoba arborea* mostraron buen desempeño en compresión paralela, confirmando su potencial para vigas y postes, mientras que *Terminalia superba* y *Cordia megalantha* presentaron menor resistencia en compresión perpendicular, lo que restringe su uso en estructuras sometidas a cargas transversales. Estos resultados permiten clasificar las especies en categorías que van de ligeras a altas según las normas mexicanas de clasificación de maderas, lo que facilita su asignación a usos específicos (Bárcenas, 2005).

Respecto a la trabajabilidad, la mayoría de las especies mostró excelente desempeño en procesos de cepillado, torneado y moldurado, lo que favorece su aprovechamiento industrial. Sin embargo, *Hyeronima alchorneoides*, pese a su resistencia mecánica, presentó dificultades en clavado y cepillado, implicando mayores costos de mecanizado. En contraste, *Terminalia superba* y *Cordia megalantha*, aunque ligeras, ofrecen buena maquinabilidad, lo que las hace atractivas para carpintería ligera, artesanías y chapas decorativas. Esta combinación de resistencia y facilidad de trabajo confirma que las especies evaluadas poseen un amplio espectro de aplicaciones, desde usos estructurales hasta productos de valor agregado (Baldwin, 2000).

En síntesis, los resultados muestran que el sistema agroforestal con cacao no solo es viable para la producción agrícola, sino que también genera condiciones favorables para el crecimiento y calidad de la madera, en algunos casos con valores superiores a los reportados en condiciones naturales. La diversidad de propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad permite un uso diferenciado y sostenible de las especies, evitando la sobreexplotación de una sola y promoviendo un manejo forestal responsable. De esta manera, se fortalece la integración de la producción agroforestal con la industria maderera, consolidando estrategias de aprovechamiento basadas en evidencia científica y orientadas a la sostenibilidad (FHIA, 2015).

Conclusiones

- Las especies presentan una amplia variabilidad en densidad y resistencia, desde maderas ligeras: san juan areno, limba, laurel negro hasta densas y resistentes: marapolán y barba de jolote. Las especies marapolán, barba de jolote y san juan areno destacan en propiedades mecánicas, siendo aptas para usos estructurales y elementos de carga. Las especies ligeras se recomiendan para artesanías, chapas decorativas, instrumentos musicales y carpintería ligera, donde prima la facilidad de trabajo. Especies de densidad media como rosita y cedro de la india son más adecuadas para mueblería fina, carpintería interior y revestimientos.
- En trabajabilidad, la mayoría mostró excelente desempeño en cepillado, torneado y moldurado, lo que facilita su aprovechamiento industrial.
- La diversidad de propiedades permite un uso diferenciado y sostenible, evitando la sobreexplotación de una sola especie y promoviendo un manejo forestal responsable.

Literatura citada

- Bárceñas, G. (2005). Clasificación de maderas mexicanas según sus propiedades físicas y mecánicas. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Baldwin, R. F. (2000). Wood machinability and workability of tropical species. *Forest Products Journal*, 50(6), 25–33.
- Baldwin, S. (2000). Propiedades tecnológicas de maderas tropicales de América Latina. Centro de Investigación Forestal Tropical.
- Benítez, R., & Montesinos, J. (1998). Catálogo de cien especies forestales de Honduras, distribución, propiedades y usos. Siguatepeque, Comayagua, Honduras: ESNACIFOR.
- Campos Wellman, C. A. (2015). Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus maximinoi* H. E. Moore; Cobán, Alta Verapaz. San Juan Chamelco, Alta Verapaz. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>
- FHIA. (2015). Programas de investigación y desarrollo agroforestal en Honduras. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.
- Forest Products Laboratory. (2010). Wood handbook: Wood as an engineering material. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Forest Products Laboratory. (2010). Wood handbook: Wood as an engineering material (General Technical Report FPL-GTR-190). Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). (2015). Informe de investigación aplicada en sistemas agroforestales. La Lima, Cortés, Honduras: FHIA.
- Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los trópicos: ecosistemas forestales y especies arbóreas — posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenible. GTZ.
- Martínez, J., & Bolaños, R. (2007). Características físicas y mecánicas de maderas tropicales de interés comercial. Instituto Nacional de Investigación Forestal.
- Richter, H., & Dallwitz, M. (2000). Commercial timbers: Descriptions, properties, and uses. CSIRO Publishing.
- Wegner, T., & Milner, H. (2013). Mechanical behavior of tropical woods. International Timber Institute.
- Winandy, J. (1994). Wood properties. USD–Forest Service, Forest Products Laboratory.

Encyclopedia of Agricultural. Orlando, Florida. Obtenido de <https://www.eximcorp.co.in/pdf/wood-properties-forest-product-lab-usa.pdf>

5.6. Evaluación de la biomasa aérea y factores de expansión de biomasa de tres especies maderables en SAF-Cacao: *Ilex tectónica*, *Terminalia superba*, y *Hyeronima alchorneoides* en el municipio de La Masica, Atlántida, Honduras.

Emily Girón Peralta, Dr. Menelio Bardales

Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR)

M.Sc. Oscar Ramírez e Ing. Elvin Ávila

Programa de Cacao y Agroforestería (FHIA)

Resumen

La presente investigación, evaluó la biomasa aérea, los Factores de Expansión de Biomasa (FEB) y las características energéticas de tres especies arbóreas (28 años): san juan areno (*Ilex tectonica*), limba (*Terminalia superba*) y rosita (*Hyeronima alchorneoides*), con el propósito de generar información técnica que contribuya a la estimación del carbono almacenado y al potencial energético de estas especies. Los maderables crecieron en SAF-Cacao del CEDEC-JAS, FHIA en el municipio de La Másica, Atlántida, Honduras. Se aplicaron métodos directos sobre ramas con diámetro superior a 1 pulgada, integrando mediciones de volumen, peso fresco y seco, así como propiedades energéticas como poder calorífico, contenido de humedad y cenizas. Se seleccionaron cuatro individuos por especie mediante muestreo aleatorio, determinando biomasa aérea por pesaje y cálculo de volumen mediante la fórmula de Smalian, y extrapolando los resultados a toneladas por hectárea.

Los FEB se calcularon como la relación entre biomasa de ramas y volumen comercial del fuste, mientras que las características energéticas se evaluaron en laboratorio mediante calorimetría de bomba y secado controlado. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre las especies. *T. superba* presentó la mayor biomasa aérea (14.78 kg peso seco por rama; con un contenido de humedad de 13.86 %) y el mayor poder calorífico (PCS = 4165.36 kcal/kg; PCI = 3819.61 kcal/kg), y contenido de cenizas intermedio (1.23 %), destacándose por su eficiencia energética. Por su parte, *I. tectonica* y *H. alchorneoides* mostraron menor biomasa absoluta (0.33–0.31 t·ha⁻¹), pero mayores FEB (3.43 y 2.74 kg/m³, respectivamente), lo que indica mayor eficiencia de biomasa residual por unidad de volumen comercial. El modelo de regresión desarrollado demostró que el volumen total de ramas es el predictor más robusto de biomasa aérea, con un R² de 0.92 y alta significancia (p < 0.0001), validando su utilidad práctica para estimaciones no destructivas en inventarios forestales y proyectos bioenergéticos. El coeficiente de regresión (0.609 kg/m³) permite convertir de manera directa el volumen de ramas en biomasa seca, simplificando las predicciones.

En conclusión, *T. superba* destaca por su mayor producción de biomasa y superior calidad energética, mientras que *I. tectonica* y *H. alchorneoides* aportan eficiencia volumétrica gracias a sus elevados factores de expansión. El uso combinado de las tres especies permite optimizar tanto la producción de biomasa como la eficiencia energética, ofreciendo herramientas prácticas para el manejo sostenible de sistemas agroforestales y aprovechamiento bioenergético.

Palabras claves: FEB, características energéticas, regresión, contenido de humedad.

Introducción

La estimación de la biomasa forestal es fundamental para cuantificar los recursos arbóreos y evaluar su aporte productivo, energético y ambiental dentro de los sistemas agroforestales. Tradicionalmente, estas estimaciones se han basado en el volumen del fuste, excluyendo componentes como ramas y madera de menor diámetro, lo que puede generar subestimaciones de la biomasa total (Brown, 1997). La biomasa aérea, integrada por fuste, ramas y follaje, depende de variables dasométricas, condiciones del sitio y composición de especies, lo que resalta la necesidad de contar con información local confiable (FAO, 2013; Avendaño Hernández *et al.* 2009).

En los SAF-Cacao de Honduras, la limitada disponibilidad de ecuaciones alométricas y Factores de Expansión de Biomasa (FEB) específicos para especies maderables incrementa la incertidumbre en la estimación de biomasa y carbono (Návar, 2010; Solano *et al.* 2014). Diversos estudios han demostrado que el uso de FEB y modelos dasométricos permite mejorar la precisión de estas estimaciones, al considerar de manera integral los diferentes componentes del árbol. Hernández-Ramos *et al.* (2017), Rodríguez-Ortiz *et al.* (2019) y Soriano-Luna *et al.* (2015) destacaron la importancia de cuantificar por separado fuste, ramas y follaje para obtener estimaciones confiables de biomasa aérea. No obstante, para especies en estudio la información técnica local en SAF-Cacao continúa siendo limitada.

Desde el punto de vista ambiental, la cuantificación de la biomasa aérea en los SAF-Cacao es clave para estimar el carbono almacenado y fortalecer el aporte de estos sistemas a la mitigación del cambio climático (FAO, 2013). A su vez, la biomasa leñosa asociada al cacao representa un recurso con potencial para el aprovechamiento energético, especialmente a partir de ramas y residuos generados durante las labores de manejo silvicultural, los cuales han sido tradicionalmente subvalorados (Gárate & Blanco, 2014).

En este contexto, el presente estudio evalúa la biomasa aérea, los factores de expansión de biomasa (FEB) y las características energéticas de las especies san juan areno (*Ilex tectonica*), limba (*Terminalia superba*) y rosita (*Hyeronima alchorneoides*), establecidas en SAF-Cacao.

Objetivo

Evaluar la biomasa aérea, los factores de expansión de biomasa (FEB) y las características energéticas de las especies arbóreas san juan areno, limba y rosita, con el fin de generar información técnica que contribuya a la estimación del carbono almacenado y al potencial energético de estas especies establecidas SAF-Cacao, en La Másica, departamento de Atlántida.

Materiales y métodos

En el Centro Experimental y Demostrativo de Cacao Jesús Alfonso Sánchez (CEDEC-JAS), se valoraron cuatro individuos por especie (limba, rosita y san juan areno) establecidos en SAF-Cacao en 1997 (Figura 58), los cuales fueron derribados y desramificados siguiendo protocolos de seguridad y manejo forestal sostenible del Instituto Nacional de Conservación Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF). Aunque este número es inferior a lo sugerido teóricamente, se consideró adecuado para representar las especies bajo las condiciones específicas del sitio de estudio, ajustando el criterio estadístico a la viabilidad operativa del proyecto.

El muestreo se realizó mediante selección completamente aleatoria de los individuos, garantizando igual probabilidad de selección y reduciendo sesgos.

Descripción de variables de estudio. a) Biomasa aérea, definida como la masa seca de las ramas con diámetro mayor a una pulgada, expresada en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; b) Factores de expansión de biomasa (FEB), calculados como la relación entre el volumen de ramas y el volumen comercial del fuste, expresados en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (IPCC, 2006); c) Modelo causal de estimación de biomasa y FEB, desarrollado mediante regresión múltiple a partir de variables estructurales como DAP, altura y densidad, evaluado con coeficientes y R^2 ; d) Volumen comercial, estimado desde el tocón hasta la primera ramificación mediante la ecuación de Smalian y expresado en m^3 (Riaño Melo & Lizarazo, 2016); e) Poder calorífico superior (PCS), determinado en laboratorio mediante bomba calorimétrica y expresado en $\text{cal}\cdot\text{g}^{-1}$ o $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$; f) Contenido de humedad, calculado como el porcentaje de pérdida de peso tras secado a $105\text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$); y g) contenido de cenizas, definido como el porcentaje de residuo incombustible obtenido tras la combustión completa de la biomasa (Martínez & Lira, 2008).



Figura 58. SAF-Cacao con *T. Superba*.

Para la cuantificación de la biomasa aérea de ramas con diámetro superior a una pulgada, se midieron variables estructurales-dasométricas como; diámetro basal (cm), longitud (m) y número de ramas por individuo. El volumen de las ramas se estimó mediante la fórmula de Smalian y la biomasa se expresó en metros cúbicos y toneladas por hectárea, considerando el espaciamiento de plantación y el área de muestreo. Con estas variables se desarrolló un modelo causal mediante regresión múltiple, con el fin de identificar la influencia de las variables estructurales sobre la biomasa aérea estimada.

Para la cuantificación de la biomasa aérea en ramas en peso seco de las especies arbóreas, se utilizó la ecuación: $\text{Peso seco (kg)} = \text{Peso fresco (kg)} \times [1 - (\text{H}/100)]$. Donde H corresponde al contenido de humedad (%) específico de cada especie, determinado previamente mediante pruebas de laboratorio. El peso fresco de las ramas se obtuvo mediante pesaje directo en balanza. Una vez estimada la biomasa aérea promedio por árbol en kilogramos para cada especie, estos valores se extrapolaron a toneladas por hectárea ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Para ello, se consideró un marco de plantación de $9 \times 18\text{ m}$, equivalente a una densidad de 62 árboles por hectárea, sobre un área total de muestreo de 0,43 ha. La conversión de biomasa a toneladas por hectárea se realizó mediante la siguiente ecuación: $\text{Biomasa (t}\cdot\text{ha}^{-1}) = (\text{Bi} \times \text{N}) / 1000$. Donde Bi representa la biomasa aérea promedio por árbol (kg) y N el número de árboles por hectárea.

Para calcular los FEB ($\text{FEB} = \text{Biomasa aérea total en seco} / \text{Volumen comercial}$), se utilizaron los datos de biomasa aérea de diez ramas seleccionadas al azar con diámetro $>1''$ (Figura 59). Además, se determinó el volumen comercial de cada árbol mediante la fórmula de Smalian, integrando

biomasa y volumen para el análisis de los FEB.



Figura 59. Árbol derribado listo para medir los diámetros y longitud.

Volumen comercial y de cada segmento de rama, se calculó utilizando la fórmula de Smalian: $V = ((A_1 + A_2) / 2) * (L)$. Donde: V = volumen de la troza (m^3), A_1 = área transversal en el extremo menor (m^2), A_2 = área transversal en el extremo mayor (m^2), L = longitud de la troza (m). Las áreas transversales se calcularon a partir de los diámetros de las ramas/trozadas (Figura 60a), desarrollando la fórmula = $(3.1416/4) (\text{diámetro}, m) (\text{diámetro}, m)$ (Figura 60b).



Figura 60. a) Medición del diámetro y b) Lectura y registro de longitud de ramas.

Para la determinación de las características energéticas (poder calorífico), se extrajo una muestra representativa de aproximadamente 500 g en forma de disco, obteniéndose un total de doce muestras. Estas fueron debidamente etiquetadas y trasladadas al Laboratorio CEPCO, propiedad de la Choloma Electric Power Company, donde se utilizó un calorímetro de bomba, el cual es un equipo que quema la muestra bajo alta presión de oxígeno en una cámara sellada y mide la energía liberada por el aumento de temperatura en un baño de agua circundante (CALNESIS, 2020).

Resultados

Biomasa área. Los resultados muestran diferencias marcadas en la producción de biomasa aérea entre las especies evaluadas. *T. superba* presentó el mayor peso fresco promedio por rama (15.04 kg), peso seco (14.78 kg) y biomasa aérea estimada ($0.92 t \cdot ha^{-1}$), evidenciando una mayor productividad por individuo bajo las condiciones del sitio. En contraste, *Ilex tectonica* y *Hyeronima alchorneoides* registraron valores similares y considerablemente menores de biomasa aérea, con

0.33 y 0.31 t·ha⁻¹, respectivamente. El contenido de humedad fue bajo y homogéneo entre especies (1.08–1.74 %), lo que indica condiciones favorables para la evaluación de biomasa seca. A pesar de contar con igual densidad de árboles (62 árboles·ha⁻¹) y área de muestreo (0.43 ha), las diferencias observadas reflejan variaciones inherentes a la arquitectura y crecimiento de cada especie, destacando a *T. superba* como la de mayor potencial productivo en términos de biomasa aérea (Cuadro 44).

Cuadro 44. Biomasa aérea por especie arbórea y contenido de humedad madera en laboratorio CEPCO.

Especie	n	Árboles/ ha	Área (ha)	*Peso fresco(kg)	Humedad (%)	*Peso seco(kg)	Biomasa área (t/ha)
<i>I. tectonica</i>	4	62	0.43	5.44	1.08	5.38	0.33
<i>T.superba</i>	4	62	0.43	15.04	1.74	14.78	0.92
<i>H.alchornoides</i>	4	62	0.43	5.10	1.23	5.04	0.31

*Peso seco y fresco por ramas

Modelo causal. El modelo de regresión demuestra que, entre las variables dasométricas tradicionales, solo el volumen total de ramas es un predictor significativo de su biomasa, indicando que la medición directa de la estructura de la copa explica mejor el peso seco que variables generales del fuste como DAP o altura. La solidez del modelo queda reflejada en sus estadísticos de ajuste: un R² de 0.92 muestra que el volumen de ramas explica el 92 % de la variabilidad en la biomasa. Esta relación es altamente significativa, con un valor-p extremadamente bajo (<0.0001). La ecuación central del modelo, Biomasa = -0.714 + 0.609 × Volumen, se sostiene en un coeficiente de regresión preciso (0.609 kg/m³), indicando que cada metro cúbico de ramas contiene, en promedio, 0.61 kg de biomasa seca. Con un error estándar de estimación de 0.85 kg, las predicciones individuales son confiables dentro del rango observado (1.7–9.7 kg). El intercepto no significativo (-0.714 kg) puede ignorarse, simplificando la predicción a una relación directa: Biomasa ≈ 0.609 × Volumen (Cuadro 46).

Factores de Expansión de Biomasa. *T. superba* destaca de manera absoluta en volumen comercial (7.11 m³), superando por más del triple a las otras dos especies. Sin embargo, esta superioridad en volumen viene acompañada del FEB más bajo (1.9 kg/m³), lo que significa que, por cada metro cúbico de su madera, se asocia la menor cantidad de biomasa total. En el extremo opuesto se encuentra *I. tectonica*, que presenta el menor volumen comercial (1.56 m³) pero el FEB más alto (3.43 kg/m³) (Cuadro 45).

Esta combinación es ecológicamente reveladora: aunque produce poca madera, genera la mayor cantidad de biomasa total por cada metro cúbico de su fuste. Esto la señala como una especie con una alta eficiencia en la asignación de recursos hacia componentes no maderables. *H. alchorneoides* ocupa una posición intermedia en ambas variables (1.82 m³ y 2.74 kg/m³), representando un balance moderado entre la producción de madera y la eficiencia en biomasa total (Cuadro 46).

Cuadro 45. Volumen comercial y FEB de especies seleccionadas.

Especie	D1 (m)	D2 (m)	A1 (M ²)	A2 (M ²)	L (m)	Peso seco(kg)	Vol. comercial (m ³)	FEB (kg/m ³)
<i>I.tectonica</i>	0.45	0.37	0.16	0.11	11.46	5.38	1.56	3.43
<i>T. superba</i>	0.76	0.47	0.47	0.19	22.02	14.78	7.11	1.9
<i>H. alchornoides</i>	0.57	0.5	0.26	0.2	8.06	4.96	1.82	2.74

D: diámetro; A: área; FEB: factor de expansión de biomasa.

Poder calorífico, humedad y contenido de cenizas. *T. superba* nuevamente se destaca no solo por su elevado poder calorífico (PC sup.: 4165.36 kcal/kg; PC inf: 3819.61 kcal/kg), sino también por poseer el menor contenido de humedad (13.86 %). Además, su contenido de cenizas es intermedio (1.23 %), lo que sugiere una combustión relativamente limpia. En conjunto, estos atributos confirman a *T. superba* como la especie de mayor calidad energética del grupo. (Figura 61).

Cuadro 46. Volumen comercial y FEB de especies seleccionadas.

Variable	Símbolo/ Valor	Interpretación	Importancia/Comentario
Variable Independiente (Predictora)	Volumen de Ramas (m ³)	Variable que usamos para predecir la biomasa. Medida física del espacio que ocupan las ramas.	Única variable significativa en el modelo. De todas las medidas tomadas (DAP, altura, etc.), solo esta mostró una relación causal fuerte con la biomasa.
Variable Dependiente (a predecir)	Biomasa de Ramas (kg)	Peso seco de todas las ramas del árbol.	Objetivo del modelo. Variable clave para estudios de carbono y productividad forestal.
Coefficiente de Determinación	R ² = 0.92	Proporción de la variación en biomasa explicada por el volumen de ramas.	Excelente ajuste. El 92 % de los cambios en biomasa se deben al volumen. Solo un 8 % se atribuye a otros factores no medidos.
Coefficiente de Regresión (Pendiente)	b = 0.609 kg/m ³	Factor de conversión. Indica cuánta biomasa gana el árbol por cada m ³ extra de volumen de ramas.	Núcleo del modelo. Significativo (p < 0.0001). En la práctica: Biomasa = 0.609 × Volumen.
Intercepto (Constante)	a = - 0.714 kg	Valor teórico de biomasa cuando el volumen es cero.	No significativo (p = 0.246). Carece de sentido biológico (no puede haber biomasa negativa). Se interpreta que la línea de regresión pasa cerca del origen (0,0).
Error Estándar de Estimación	SE = 0.85 kg	Precisión promedio del modelo. Desviación típica entre valores reales y predichos.	Alta precisión. Las predicciones se desvían en promedio ±0.85 kg del valor real. Bueno para el rango de biomasa observado (1.7-9.7 kg).
Estadístico F (ANOVA)	F = 114.43	Medida global de significancia del modelo. Compara varianza explicada vs. no explicada.	Altamente significativo (p ≈ 8.5 × 10 ⁻⁷). Confirma que la relación no es casual. El modelo tiene validez estadística sólida.

Por otro lado, *I. tectonica* e *H. alchorneoides* presentan una humedad notablemente más alta (17.88 %), lo que reduce su poder calorífico efectivo y su eficiencia energética, a pesar de tener valores de poder calorífico superior aceptables (3948.14 y 4022.69 kcal/kg). Esta mayor humedad explica en parte por qué su poder calorífico inferior es significativamente menor. Un dato relevante es que

H. alchorneoides, a pesar de tener el mayor poder calorífico superior de las dos, termina con el menor poder calorífico inferior (3662.97 kcal/kg. En cuanto a las cenizas, ambas especies muestran valores bajos (1.74 % y 1.08 %), indicando una combustión limpia y un bajo residuo inorgánico. (Figura 57.

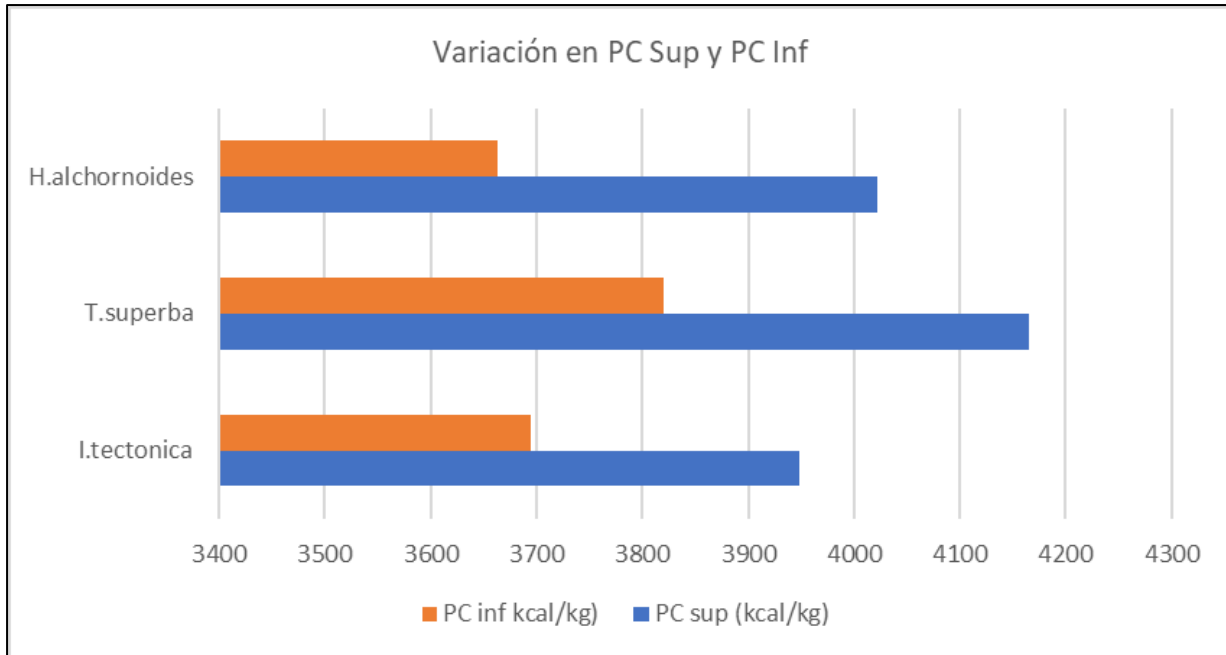


Figura 61. Variación en PC superior y PC inferior.

Discusión de resultados

El estudio confirma que el volumen de ramas es un predictor robusto y suficiente para estimar su biomasa en las especies evaluadas, con un modelo de regresión simple que muestra alta precisión y significancia estadística. Esto valida una herramienta práctica y parsimoniosa para la cuantificación no destructiva de biomasa residual en el manejo del sistema agroforestal.

En cuanto al potencial de aprovechamiento, se identificó un intercambio claro entre la producción maderable y la generación de biomasa residual. *T. superba* produce la mayor cantidad de volumen comercial, pero presenta el Factor de Expansión de Biomasa (FEB) más bajo (1.9 kg/m³), indicando menor biomasa de ramas por unidad de madera. En contraste, *Ilex tectonica* ofrece el FEB más alto (3.43 kg/m³), lo que la posiciona como la especie con mayor eficiencia en la producción de biomasa residual aprovechable.

Respecto a la calidad energética, *T. superba* también destaca con el mejor perfil combustible: mayor poder calorífico (4165 kcal/kg) y menor humedad (13.86 %), lo que garantiza una combustión más eficiente. Las tres especies presentan un bajo contenido de cenizas (<1.8 %), cumpliendo con los estándares para biocombustibles sólidos y minimizando problemas de mantenimiento en equipos de combustión.

Conclusiones

- El estudio evidencia que *Terminalia superba* destaca por su mayor acumulación de biomasa y

alta calidad energética, mientras que *Ilex tectonica* y *Hyeronima alchorneoides* presentan un mayor rendimiento de biomasa por unidad de volumen, reflejado en sus elevados factores de expansión.

- El modelo desarrollado para estimar biomasa aérea en ramas mostró alta precisión, con el volumen de ramas como variable clave, lo que lo hace útil para inventarios forestales y proyectos bioenergéticos.

Literatura citada

- Avendaño Hernández, D. M., Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., & Etchevers Barra, J. D. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *32*(3), 233–238. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v32n3/v32n3a9.pdf>
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A primer (FAO Forestry Paper 134). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/4/w4095e/w4095e00.htm>
- Gárate, M., & Blanco, J. A. (2014). Importancia de la caracterización de la masa de raíces en la simulación de ecosistemas forestales. *Ecosistemas*, *22*(3), 66–73. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.10>
- Hernández-Ramos, J., De los Santos-Posadas, H. M., Valdez-Lazalde, J. R., Tamarit-Urias, J. C., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., Peduzzi, A., & Carrero, O. (2017). Biomasa aérea y factores de expansión en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia*, *51*(8), 921–938. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-00921.pdf>
- Návar, J. (2010). Measurement and assessment methods of forest aboveground biomass: A literature review and the challenges ahead. En M. Momba & F. Bux (Eds.), *Biomass* (pp. 27–64). Sciyo. <https://doi.org/10.5772/10179>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). Información más detallada | Conjunto de herramientas GFS. Recuperado 26 de octubre de 2025, de <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-inventory/in-more-depth/es/>
- Ramírez, O. (2021). Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte de Honduras [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)]. Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10845>
- Riaño Melo, M., & Lizarazo, J. (2016). Estimación del volumen de madera en árboles medianos y pequeños de *Quercus humboldtii* Bonpl. mediante fórmulas dendrométricas. *Colombia Forestal*, *19*(1), 57–68. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a05>
- Rodríguez-Ortiz, G., García-Aguilar, J. Á., Leyva-López, J. C., Ruiz-Díaz, C., Enríquez-del Valle, J. R., & Santiago-García, W. (2019). Biomasa estructural y por compartimentos en regeneración de *Pinus patula* en áreas con matarrasa. *Madera y Bosques*, *25*(1), e2511713. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511713>
- Solano, D., Vega, C., Eras, V. H., & Cueva, K. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *Cedamaz*, *4*(1), 41–

48. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v4i1.71>

Soriano-Luna, M. de los Á., Ángeles-Pérez, G., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O., & Razo-Zárate, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia*, *49*(4), 423–438. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n4/v49n4a6.pdf>

5.7. Estimación de la diversidad de avifauna del CEDEC-JAS y CADETH-AMR, La Masica, Atlántida

Daydy Vargas, Arely Herrera, Blanca Moradel, Esly Cantarero

Universidad Nacional de Agricultura (UNAG)

M.Sc. Oscar Ramírez e Ing. Elvin Ávila

Programa de cacao y agroforestería, FHIA

Resumen

El presente estudio se realizó en La Masica, Atlántida, Honduras, con el objetivo de estimar la diversidad de la avifauna en dos centros experimentales de la FHIA: CEDEC-JAS y el CADETH-AMR, ambos establecidos bajo sistemas agroforestales con cacao. La investigación se desarrolló entre febrero y abril de 2025, aplicando el método de conteo por puntos, complementado con el análisis de índices de diversidad (Shannon, Simpson y Chao-1), la clasificación por gremios tróficos y la evaluación de variables ambientales. El índice de Shannon, que integra la riqueza y la equitatividad de las especies, presentó valores máximos de 3.576 en la semana tres del CADETH-AMR (S3AMR) y de 3.219 en el CEDEC-JAS (S6JAS), lo que indica una diversidad alta y comunidades bien estructuradas; por su parte, el índice de Simpson, que refleja la dominancia y la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes, registró valores elevados (0.9625 en CADETH-AMR y 0.9456 en CEDEC-JAS), evidenciando una baja dominancia y, por tanto, una diversidad alta en ambos centros. El estimador Chao-1, utilizado para inferir la riqueza potencial de especies considerando aquellas raras o poco detectadas, alcanzó valores de 53.13 en CADETH-AMR y 44.15 en CEDEC-JAS, lo que sugiere que la riqueza observada es representativa y confirma una diversidad moderada a alta, con mayor complejidad ecológica en el CADETH-AMR. En total, en el CADETH-AMR se registraron 80 especies distribuidas en 27 familias y siete gremios tróficos, con predominio del gremio omnívoro (58 %), mientras que, en el CEDEC-JAS se documentaron 59 especies pertenecientes a 24 familias, agrupadas en ocho gremios tróficos, destacando igualmente el gremio omnívoro (56 %). En ambos centros, la precipitación fue la variable ambiental con mayor influencia sobre la diversidad registrada. En conjunto, los valores obtenidos para los índices de diversidad indican que la avifauna asociada a los sistemas agroforestales con cacao presenta una diversidad de media a alta, confirmando que estos sistemas, al mantener cobertura arbórea y diversidad vegetal, funcionan como corredores biológicos que favorecen la presencia de aves residentes y migratorias, incluyendo especies bajo categorías de amenaza, y contribuyen significativamente a la conservación de la avifauna tropical.

Palabras claves: Shannon, Simpson y Chao-1, gremios tróficos, avifauna, riqueza, abundancia.

Introducción

La diversidad de aves es un indicador clave de la salud de los ecosistemas, debido a su sensibilidad a los cambios en el hábitat y a su papel en procesos ecológicos como la dispersión de semillas, el control de insectos y la polinización (Peña 2022). Estudios recientes demuestran que la diversidad avifaunística está estrechamente relacionada con la estructura del hábitat y el grado de intervención humana, siendo mayor en áreas con menor perturbación (Farías *et al.* 2022; Taylor 2003). Sin embargo, actividades como la agricultura, la expansión urbana y la fragmentación del paisaje han provocado una disminución en la riqueza y abundancia de especies, afectando principalmente a aves especializadas o en peligro (BirdLife 2018).

A nivel global, el cambio climático está modificando la distribución y abundancia de las aves, generando desplazamientos hacia zonas más frías y aumentando el riesgo de extinción (Chuquillanqui 2016). En Centroamérica, la deforestación asociada a la ganadería, monocultivos, agricultura de subsistencia, tala ilegal e incendios forestales representa una grave amenaza para la biodiversidad (Burca 2024), mientras que en Honduras las condiciones climáticas extremas afectan especialmente a las aves migratorias (Meza 2024).

Los SAF-Cacao desempeñan un papel fundamental en la conservación de la avifauna, ya que su estructura vertical, cobertura del dosel y composición florística generan hábitats adecuados para la alimentación, nidificación y reproducción de diversas especies (Lira 2020; García *et al.* 2020; Ugalde *et al.* 2022). El sotobosque, en particular, es un componente esencial en paisajes dominados por actividades antrópicas (Cadenas *et al.* 2023), y estos sistemas funcionan como refugios que contribuyen al equilibrio ecológico, especialmente mediante la regulación de insectos por aves insectívoras (Fuentes 2023; Ugalde *et al.* 2022).

En La Masica, Atlántida, Honduras, destacan el CEDEC-JAS y el CADETH-AMR, reconocidos por su importancia ecológica (FHIA-2023). No obstante, en estos centros no se han realizado estudios sobre la riqueza y abundancia de aves, por lo que esta investigación tuvo como objetivo determinar la diversidad de la avifauna en ambos sitios.

Objetivo

Determinar la diversidad de avifauna de CEDEC-JAS y de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Pico Bonito, específicamente en el CADETH-AMR, mediante la identificación de riqueza y abundancia de avifauna, gremios tróficos, variables ambientales y su relación con las especies, estado de ocurrencia y estado de conservación de las especies.

Materiales y método

El estudio se realizó en los SAF-Cacao pertenecientes FHIA, ubicados en el municipio de La Masica, departamento de Atlántida, Honduras: el CADETH-AMR (Figura 49a), con una extensión aproximada de 304 ha y una altitud de 200 msnm, y el CEDEC-JAS (Figura 49b), con un área de 43 ha y una altitud de 18 msnm.

Ambos sitios se caracterizan por presentar una elevada cobertura arbórea y condiciones de alta precipitación, propias del trópico húmedo. El muestreo de la avifauna se llevó a cabo durante los meses de febrero, marzo y abril de 2025, mediante la aplicación del método de conteo por puntos. En cada mes se realizaron dos visitas por sitio, con cinco días consecutivos de muestreo. Se

establecieron puntos fijos de muestreo con un radio de 30 m y una separación aproximada de 300 m entre puntos, los cuales fueron georreferenciados (Figura 62a y Figura 62b). Los registros de aves se efectuaron durante los horarios de mayor actividad (06:00–09:00 h y 16:00–18:00 h).

En cada punto se esperó un período de dos minutos previo al inicio del conteo, registrándose todas las aves observadas visualmente o detectadas por vocalización; adicionalmente, se realizaron observaciones complementarias durante los trayectos entre puntos. Para la identificación de las especies se utilizaron guías de campo especializadas, binoculares 10×42, una cámara semiprofesional y GPS.

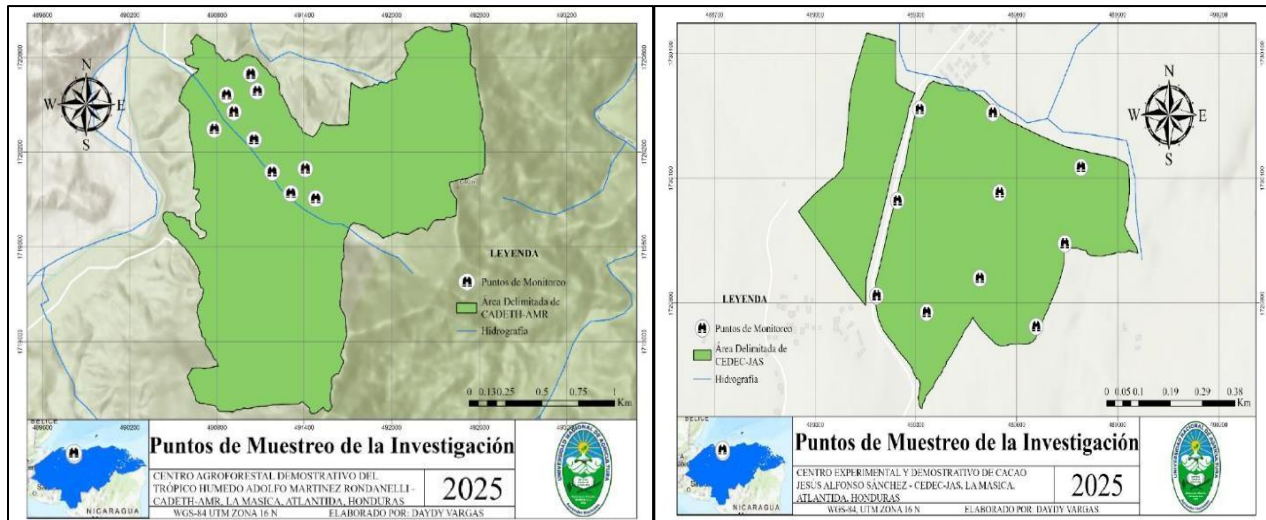


Figura 62. Croquis indicando puntos de muestreo: a) CADETH-AMR y b) CEDEC-JAS.

Las variables ambientales (precipitación, temperatura y humedad relativa) se obtuvieron a partir de las estaciones meteorológicas instaladas en cada centro. El análisis de la diversidad de la avifauna incluyó la elaboración de curvas de acumulación de especies y el cálculo de índices de diversidad ecológica ampliamente utilizados en estudios de comunidades biológicas. El índice de diversidad de Shannon (H') se empleó para evaluar simultáneamente la riqueza de especies y la equitatividad en la abundancia de los individuos, siendo valores elevados indicativos de comunidades bien estructuradas; este índice se calculó mediante la expresión:

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i) \text{ donde } p_i \text{ representa la proporción de individuos de la especie } i.$$

El índice de Simpson ($1 - D$) se utilizó para determinar el grado de dominancia de las especies dentro de la comunidad, expresando la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes; valores cercanos a 1 indican una mayor diversidad, y se calculó mediante $D = 1 - \sum_{i=1}^s$

Asimismo, el estimador de riqueza Chao-1 se aplicó para inferir la riqueza potencial de especies, considerando aquellas raras o poco detectadas durante el muestreo, mediante la fórmula:

$$Chao-1 = S_{obs} + \frac{F_1^2}{2F_2}$$

donde S_{obs} es el número de especies observadas, F_1 corresponde a las

especies registradas con un solo individuo y F_2 a las registradas con dos individuos.

Adicionalmente, se realizó un análisis de agrupamiento (clúster) utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis, así como un Análisis de Componentes Principales (ACP) para evaluar la relación entre la diversidad de aves y las variables ambientales, empleando el software PAST. Los centros de estudio se analizaron de manera independiente y las especies registradas fueron clasificadas en gremios tróficos, con el fin de interpretar la estructura funcional de la comunidad avifaunística asociada a los sistemas agroforestales con cacao.

Resultados y discusión

En los SAF-Cacao evaluados, se registró una alta diversidad avifaunística. En el CADETH-AMR se identificaron 80 especies en 27 familias y 1,083 individuos, con predominancia de Thraupidae, Tyrannidae, Trochilidae, Cardinalidae, Icteridae y Parulidae, asociadas a hábitats complejos y con disponibilidad de recursos. La mayor abundancia de Icteridae, Tyrannidae y Thraupidae refleja su capacidad de adaptación, dieta generalista y afinidad por ambientes modificados, mientras que familias con registros únicos muestran requerimientos ecológicos más específicos, confirmando que los cacaotales bajo sombra constituyen hábitats relevantes para aves tropicales (Bhagwat *et al.* 2008; Bennett *et al.* 2021; Ocampo-Ariza *et al.* 2024; Reyes-Ramírez *et al.* 2025).

En el CEDEC-JAS se registraron 59 especies en 24 familias y 2,062 individuos. Tyrannidae fue la familia más diversa, seguida de Parulidae y Thraupidae, evidenciando la relación entre heterogeneidad del hábitat, estratificación vegetal y conectividad del paisaje con la diversidad y abundancia avifaunística, incluso en matrices productivas (Yashmita-Ulman *et al.* 2016). En total se encontraron 37 especies de aves en común entre el CADETH-AMR y el CEDEC-JAS (Cuadro 50). Mientras que, 43 fueron propias del CADETH-AMR (Cuadro 51) y 22 propias del CEDEC-JAS (Cuadro 52).

La curva de acumulación de especies mostró un rápido incremento inicial seguido de estabilización, indicando un esfuerzo de muestreo suficiente y alta representatividad de la avifauna en CEDEC-JAS (Figura 63) y CADETH-AMR (Figuras 64). En CEDEC-JAS, la estabilización se observó tras superar los 1,000 individuos y el estrechamiento del intervalo de confianza al 95 % refuerza la confiabilidad de los estimados, aunque la curva no alcanzó una meseta completamente definida, sugiriendo baja representación de especies forestales especializadas (Cassano *et al.* 2009; Van Bael *et al.* 2007).

La trayectoria ascendente inicial y posterior aplanamiento reflejan que el esfuerzo de 150 horas fue adecuado para registrar la mayoría de las especies presentes, coincidiendo con la influencia positiva de la heterogeneidad del hábitat y la cobertura arbórea sobre la diversidad de la avifauna (Alfaro y Oviedo, 2024). En CADETH-AMR, donde predominan cacaotales bajo sombra y fragmentos de bosque secundario, la forma de la curva indica una comunidad bien representada, respaldando que los SAF contribuyen significativamente a la conservación de la avifauna tropical, aunque no sustituyen al bosque natural (Rocha *et al.* 2019).

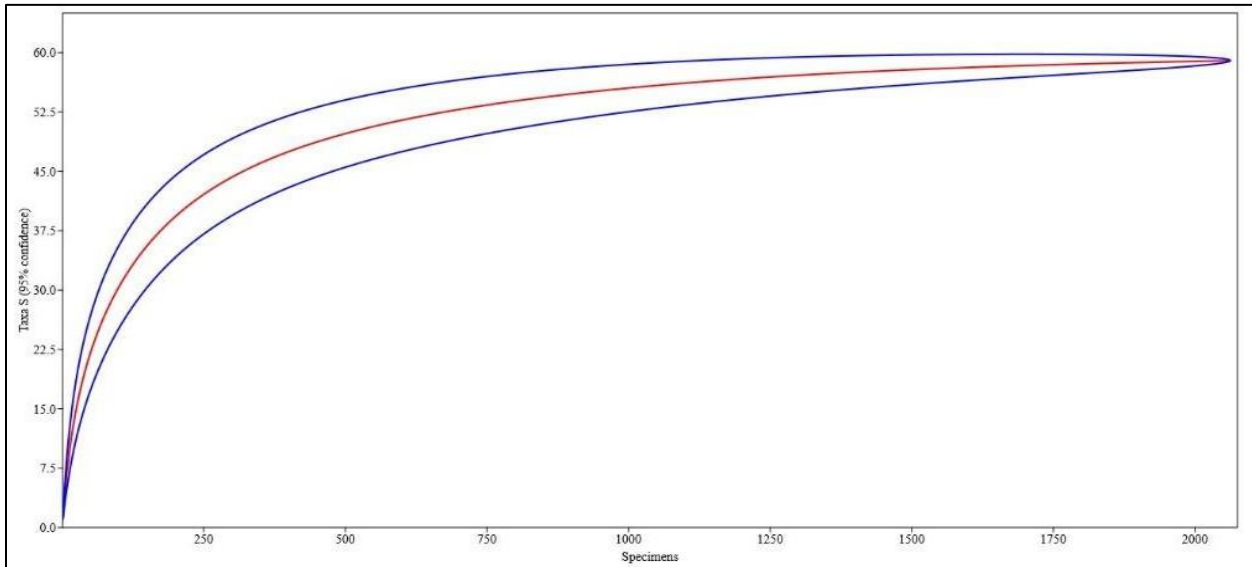


Figura 63. Curva de acumulación de especies de aves, CEDEC-JAS. Febrero a abril 2025.

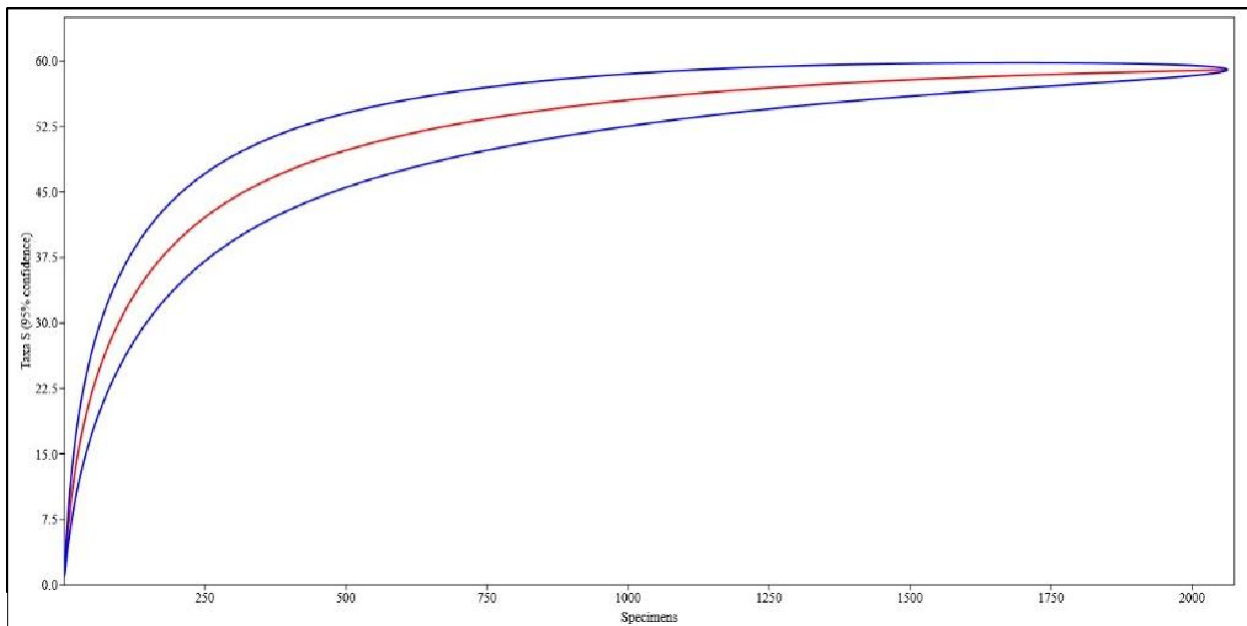


Figura 64. Curva de acumulación de especies de aves, CADETH-AMR. Febrero a abril 2025.

En CADETH-AMR, los índices de Simpson, Shannon y Chao-1 (Figuras 65, Cuadro 48) alcanzaron sus valores máximos en las semanas S3AMR y S2AMR, evidenciando una comunidad de avifauna diversa, equitativa y ecológicamente compleja. Este patrón se asocia a la presencia de cacaotales bajo sombra y cobertura de bosque húmedo, condiciones que favorecen la diversidad taxonómica y funcional, en concordancia con lo reportado para sistemas agroforestales de cacao con conectividad forestal, donde los valores de Chao-1 y equidad son comparables a los del bosque remanente (Ocampo-Ariza *et al.* 2024).

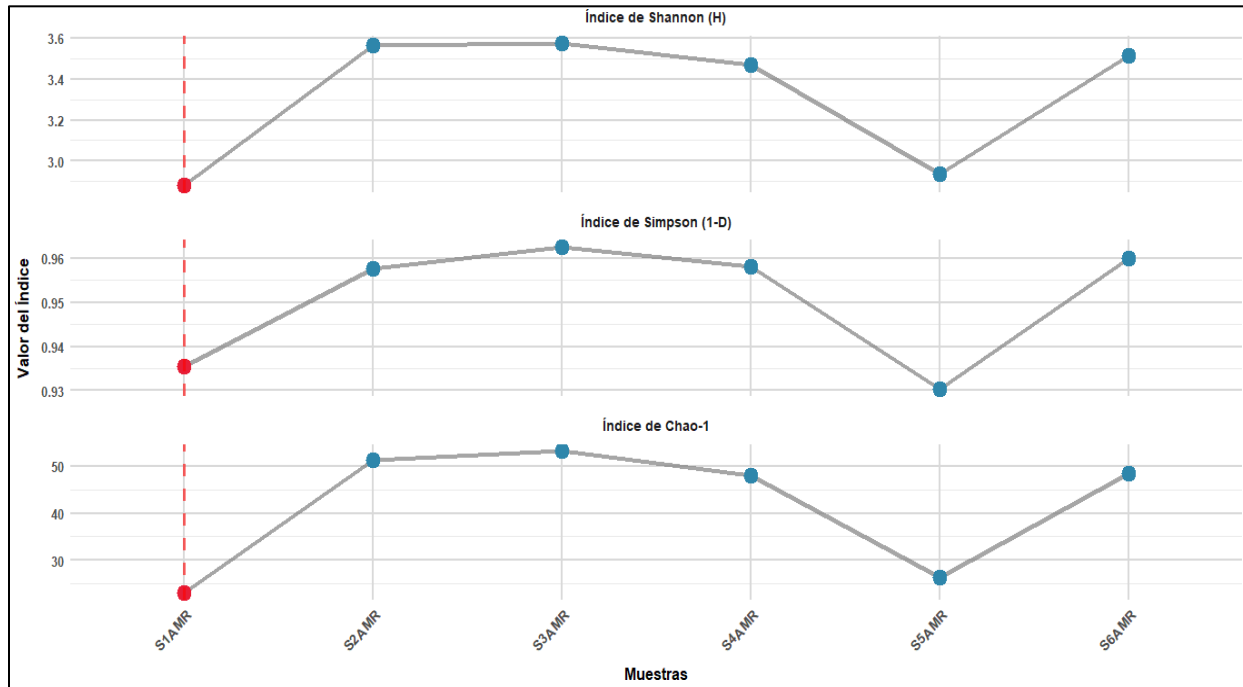


Figura 65. Comparación de índice de diversidad por semana en CADETH-AMR.

Cuadro 47. Diversidad de aves: tasas, individuos, índices de Shannon, Simpson y Chao-1. CADETH-AMR. Febrero-abril 2025.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Taxas	22	50	49	47	25	48
Individuos	87	205	173	237	94	287
Shannon_H	2.882	3.567	3.576	3.47	2.935	3.512
Simpson_1-D	0.9354	0.9577	0.9625	0.9581	0.9303	0.96
Chao-1	23	51.31	53.13	48	26.43	48.46

S: semana de evaluación

En CEDEC-JAS, los índices de Simpson, Shannon y Chao-1 (Figuras 66, Cuadro 49) reflejaron baja dominancia y diversidad moderada-alta. El índice Simpson (0.8914–0.9456) indicó comunidades bien equilibradas, con el valor máximo en S6JAS, mientras que, el menor en S1JAS se asoció a una mayor influencia de especies generalistas al inicio del monitoreo (Jarrett *et al.* 2021). Los valores de Shannon (2.684–3.219) confirman que los cacaotales bajo sombra mantienen mayor biodiversidad que sistemas sin sombra (Niether *et al.* 2020), y el estimador Chao-1 (26.2–44.15) evidenció la presencia de especies raras, particularmente en S3JAS, favorecidas por la sombra densa y árboles nativos (Leyequién *et al.* 2010).

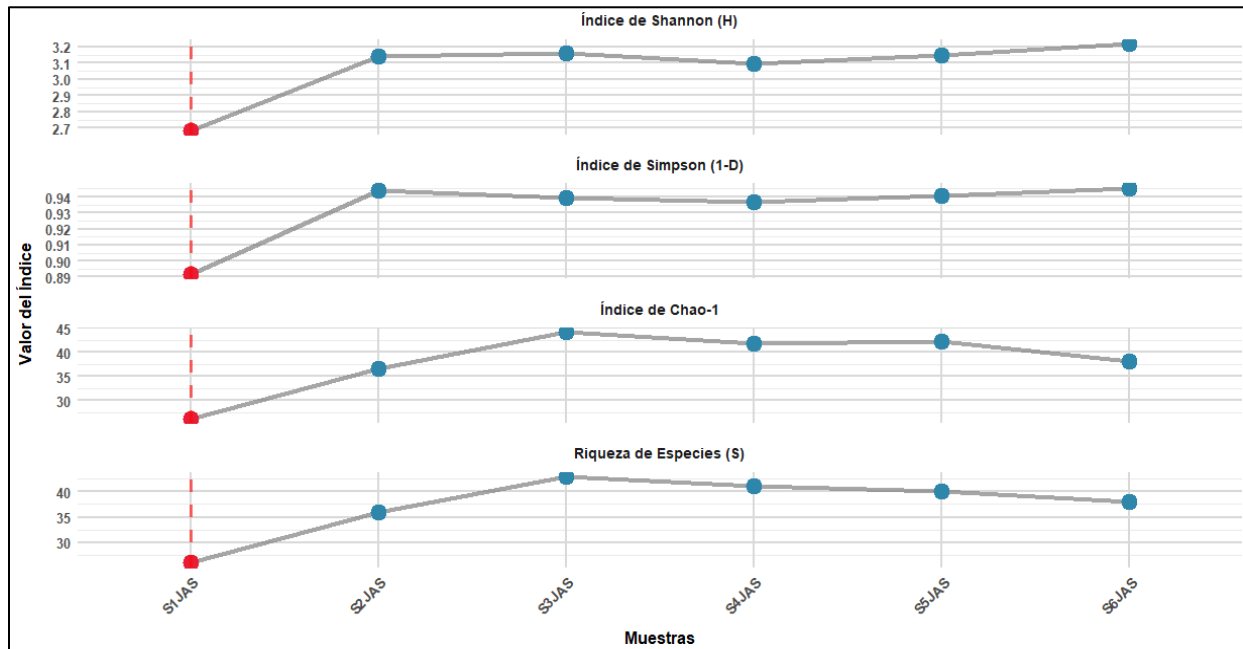


Figura 66. Comparación de índice de diversidad por semana en CEDEC-JAS.

Cuadro 48. Diversidad de aves: taxas, individuos, índices de Shannon, Simpson y Chao-1. CEDEC-JAS. Febrero-abril 2025.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Taxas	26	36	43	41	40	38
Individuos	220	317	373	407	350	395
Shannon_H	2.684	3.14	3.159	3.097	3.146	3.219
Simpson_1-D	0.8914	0.944	0.9395	0.937	0.9409	0.9456
Chao-1	26.2	36.67	44.15	41.77	42.14	38

S: semana de evaluación

Cuadro 49. Riqueza y abundancia de aves en común (37) entre CADETH-AMR y CEDEC-JAS. La Masica, Atlántida. Febrero a abril 2025.

No	Nombre científico	Familias	Nombre común	Gremio trófico	Estado de ocurrencia	Lista roja de Honduras	RED LIST UICN	Apéndice de CITES	# Indiv/ CADETH AMR	# Indiv/ CEDEC JAS
1	<i>Amazilia tzacatl</i>	Trochilidae	Colibrí cola rufa	Nectarívoras	R	NE	LC	II	22	44
2	<i>Chlorophanes spiza</i>	Thraupidae	Mielero verdoso	Nectarívoras, Omnívoras	R	NE	LC	NE	2	5
3	<i>Coragyps atratus</i>	Cathartidae	Zopilote cabeza negra	Carroñeras	R	NE	LC	NE	8	24
4	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Cuculidae	Tijul pico estriado	Insectívoras	R	NE	LC	NE	4	48
5	<i>Cyanocorax morio</i>	Corvidae	Púa	Omnívoras	R	NE	LC	NE	67	205
6	<i>Dives dives</i>	Icteridae	Tordo huachir	Omnívoras	R	NE	LC	NE	39	99
7	<i>Empidonax flaviventris</i>	Tyrannidae	Mosquero vientre amarillo	Omnívoras	M	NE	LC	NE	16	3
8	<i>Eumomota superciliosa</i>	Momotidae	Taragón ceja turquesa	Omnívoras	R	NE	LC	NE	33	121
9	<i>Euphonia gouldi</i>	Fringillidae	Eufonia olivácea	Frugívoras	R	NE	LC	NE	2	6
10	<i>Euphonia hirundinacea</i>	Fringillidae	Eufonia garganta amarilla	Frugívoras	R	NE	LC	NE	14	3
11	<i>Hylocichla mustelina</i>	Turdidae	Zorzal manchado	Omnívoras	M	NE	LC	NE	4	3
12	<i>Melanerpes aurifrons</i>	Picidae	Carpintero frente dorado	Omnívoras	R	VU	LC	NE	43	154
13	<i>Mniotilta varia</i>	Parulidae	Chipe blanco y negro	Insectívoras	M	NE	LC	NE	2	10
14	<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Tyrannidae	Copetón triste	Omnívoras	R	NE	LC	NE	4	13
15	<i>Myiodynastes luteiventris</i>	Tyrannidae	Mosquero sureño vientre amarillento	Omnívoras	MR	NE	LC	NE	2	12
16	<i>Pachyrhamphus aglaiae</i>	Tityridae	Cabezón garganta rosada	Omnívoras	R	NE	LC	NE	2	3
17	<i>Piaya cayana</i>	Cuculidae	Pájaro león	Omnívoras	R	NE	LC	NE	5	20
18	<i>Pionus senilis</i>	Psittacidae	Loro corona blanca	Frugívoras, Granívoras	R	NE	LC	II	28	79
19	<i>Piranga rubra</i>	Cardinalidae	Tanagra roja brillante	Omnívoras	M	NE	LC	NE	4	2
20	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Tyrannidae	Cristofué común	Omnívoras	R	NE	LC	NE	53	72
21	<i>Psarocolius montezuma</i>	Icteridae	Oropéndola maquillada	Omnívoras	R	NE	LC	NE	71	253
22	<i>Pteroglossus torquatus</i>	Ramphastidae	Tucancillo tilís	Omnívoras	R	NE	LC	NE	17	38
23	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Icteridae	Zanate	Omnívoras	R	NE	LC	NE	27	80
24	<i>Ramphastos sulfuratus</i>	Ramphastidae	Tucán pico arcoíris	Frugívoras	R	NE	NT	II	67	182

No	Nombre científico	Familias	Nombre común	Gremio trófico	Estado de ocurrencia	Lista roja de Honduras	RED LIST UICN	Apéndice de CITES	# Indiv/ CADETH AMR	# Indiv/ CEDEC JAS
25	<i>Saltator atriceps</i>	Thraupidae	Saltador cabeza negra	Omnívoras	R	NE	LC	NE	8	27
26	<i>Setophaga citrina</i>	Parulidae	Chipe encapuchado	Insectívoras	M	NE	LC	NE	10	16
27	<i>Setophaga magnolia</i>	Parulidae	Chipe cola fajeada	Omnívoras	M	NE	LC	NE	3	11
28	<i>Setophaga pensylvanica</i>	Parulidae	Chipe flaco castaño	Omnívoras	M	NE	LC	NE	10	15
29	<i>Sporophila morelleti</i>	Thraupidae	Semillero cuello blanco	Granívoras, Insectívoras	R	NE	LC	NE	4	5
30	<i>Thraupis abbas</i>	Thraupidae	Tanagra ala amarilla	Omnívoras	R	NE	LC	NE	12	13
31	<i>Thraupis episcopus</i>	Thraupidae	Tanagra azuleja	Omnívoras	R	NE	LC	NE	31	8
32	<i>Tityra inquisitor</i>	Tityridae	Torreja corona negra	Omnívoras	R	NE	LC	NE	2	3
33	<i>Tityra semifasciata</i>	Tityridae	Torreja común	Omnívoras	R	NE	LC	NE	25	15
34	<i>Tolmomyias sulphurescens</i>	Tyrannidae	Mosquero olivo amarillento	Insectívoras	R	NE	LC	NE	2	3
35	<i>Trogon melanocephalus</i>	Trogonidae	Coa cabeza negra	Omnívoras	R	NE	LC	NE	7	17
36	<i>Turdus grayi</i>	Turdidae	Zorzal común	Omnívoras	R	NE	LC	NE	78	136
37	<i>Zenaida asiatica</i>	Columbidae	Paloma ala blanca	Frugívoras, Granívoras	R	NE	LC	NE	24	32
									752	1780

Cuadro 50. Riqueza y abundancia de aves propias del CADETH-AMR (43). La Masica, Atlántida. Febrero a abril 2025.

No	Nombre científico	Familias	Nombre común	Gremio trófico	Estado de ocurrencia	Lista roja de Honduras	RED LIST UICN	Apéndice de CITES	# Indiv/ CADETH AMR
38	<i>Arremon aurantiirostris</i>	Passerellidae	Rascador pico anaranjado	Omnívoras	R	NE	LC	II	1
39	<i>Attila spadiceus</i>	Tyrannidae	Mosquero rabadilla amarilla	Omnívoras	R	NE	LC	NE	4
40	<i>Campephilus guatemalensis</i>	Picidae	Carpintero copetón cara roja	Omnívoras	R	NE	LC	NE	3

No	Nombre científico	Familias	Nombre común	Gremio trófico	Estado de ocurrencia	Lista roja de Honduras	RED LIST UICN	Apéndice de CITES	# Indiv/ CADETH AMR
41	<i>Caryothraustes poliogaster</i>	Cardinalidae	Piquigrueso cara negra	Omnívoras	R	NE	LC	NE	11
42	<i>Celeus castaneus</i>	Picidae	Carpintero castaño	Omnívoras	R	NE	LC	NE	9
43	<i>Chlorestes candida</i>	Trochilidae	Colibrí vientre blanco	Nectarívoras	R	NE	LC	NE	2
44	<i>Chloroceryle americana</i>	Alcedinidae	Martin pescador verde	Carnívoras	R	NE	LC	NE	11
45	<i>Crypturellus soui</i>	Tinamidae	Tinamú pequeño	Omnívoras	R	NE	LC	NE	18
46	<i>Cyanerpes cyaneus</i>	Thraupidae	Mielero patas rojas	Omnívoras	R	NE	LC	NE	7
47	<i>Cyanoloxia cyanooides</i>	Cardinalidae	Piquigrueso azul y negro	Omnívoras	R	NE	LC	NE	7
48	<i>Dendrocicla anabatina</i>	Furnariidae	Trepatroncos ala	Insectívoras	R	NE	LC	NE	3
49	<i>Driophlox fuscicauda</i>	Cardinalidae	Tanagra hormiguera Garganta roja	Omnívoras	R	NE	LC	NE	1
50	<i>Electron carinatum</i>	Momotidae	Guardabarrancos picudos	Omnívoras	R	VU	VU	NE	2
51	<i>Eupsittula nana</i>	Psittacidae	Perico pecho sucio	Frugívoras	R	NE	NT	II	39
52	<i>Falco rufifularis</i>	Falconidae	Halcón murciélago	Carnívoras	R	NE	LC	II	1
53	<i>Florisuga mellivora</i>	Trochilidae	Colibrí Cuello blanco	Nectarívoras	R	NE	LC	II	6
54	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	Furnariidae	Trepatroncos menudo	Insectívoras	R	NE	LC	NE	7
55	<i>Icterus prothemelas</i>	Icteridae	Chorcha capucha negra	Omnívoras	R	NE	LC	NE	6
56	<i>Leptotila verreauxi</i>	Columbidae	Paloma barranquera	Omnívoras	R	NE	LC	NE	3
57	<i>Melanerpes pucherani</i>	Picidae	Carpintero cachete negro	Omnívoras	R	NE	LC	NE	6
58	<i>Momotus lessonii</i>	Momotidae	Guardabarrancos corona azul	Omnívoras	R	NE	LC	NE	25
59	<i>Myiozetetes similis</i>	Tyrannidae	Cristofué menudo	Omnívoras	R	NE	LC	NE	33
60	<i>Nyctidromus albicollis</i>	Caprimulgidae	Pucuyo común	Insectívoras	R	NE	LC	NE	3
61	<i>Onychorhynchus coronatus</i>	Oxyruncidae	Mosquero real tropical	Insectívoras	R	NE	LC	NE	2
62	<i>Parkesia motacilla</i>	Parulidae	Chipe ribereño	Insectívoras	M	NE	LC	NE	4

No	Nombre científico	Familias	Nombre común	Gremio trófico	Estado de ocurrencia	Lista roja de Honduras	RED LIST UICN	Apéndice de CITES	# Indiv/ CADETH AMR
63	<i>Patagioenas flavirostris</i>	Columbidae	Paloma pico rojo	Frugívoras, Granívoras	R	NE	LC	NE	9
64	<i>Phaethornis longirostris</i>	Trochilidae	Ermitaño picudo	Nectarívoras	R	NE	LC	II	13
65	<i>Phaethornis striigularis</i>	Trochilidae	Ermitaño enano	Nectarívoras	R	NE	LC	II	8
66	<i>Pheucticus ludovicianus</i>	Cardinalidae	Piquigruoso pecho rosado	Omnívoras	M	NE	LC	NE	2
67	<i>Pheugopedius maculipectus</i>	Troglodytidae	Cucarachero pecho manchado	Insectívoras	R	NE	LC	NE	8
68	<i>Piranga olivacea</i>	Cardinalidae	Tanagra roja ala negra	Omnívoras	T	NE	LC	NE	1
69	<i>Psarocolius wagleri</i>	Icteridae	Oropéndola pico claro	Omnívoras	R	NE	LC	NE	3
70	<i>Pseudastur albicollis</i>	Accipitridae	Gavilán blanco	Carnívoras	R	VU	LC	II	1
71	<i>Ramphocelus sanguinolentus</i>	Thraupidae	Tanagra collar rojo	Omnívoras	R	NE	LC	NE	1
72	<i>Saltator maximus</i>	Thraupidae	Saltador garganta canela	Omnívoras	R	NE	LC	NE	17
73	<i>Sporophila funerea</i>	Thraupidae	Semillero pico grueso	Granívoras	R	NE	LC	NE	1
74	<i>Stelpnia larvata</i>	Thraupidae	Tanagra capucha dorada	Omnívoras	R	NE	NE	NE	2
75	<i>Thalurania colombica</i>	Trochilidae	Colibrí ninfa violeta	Nectarívoras	R	NE	LC	II	5
76	<i>Tiaris olivaceus</i>	Thraupidae	Semillero cara amarilla	Granívoras	R	NE	LC	NE	15
77	<i>Troglodytes musculus</i>	Troglodytidae	Cucarachero casero sureño	Insectívoras	NE	NE	NE	NE	16
78	<i>Trogon caligatus</i>	Trogonidae	Coa cabeza morada	Omnívoras	R	NE	LC	NE	5
79	<i>Trogon massena</i>	Trogonidae	Coa cola gris	Omnívoras	R	NE	LC	NE	5
80	<i>Xiphorhynchus susurrans</i>	Furnariidae	Trepatroncos cacao	Omnívoras	R	NE	LC	NE	5

331

Cuadro 51. Riqueza y abundancia de aves propias del CEDEC-JAS (22). La Masica, Atlántida. Febrero a abril 2025.

No	Nombre científico	Familias	Nombre común	Gremio trófico	Estado de ocurrencia	Lista roja de Honduras	RED LIST UICN	Apéndice de CITES	# Indiv/ CADETH AMR
38	<i>Amazona autumnalis</i>	Psittacidae	Loro cachete amarillo	Frugívoras	R	NE	LC	II	49
39	<i>Anthracothorax prevost</i>	Trochilidae	Colibrí pecho verde	Nectarívoras	R	NE	LC	II	1
40	<i>Aramus guarauna</i>	Aramidae	Carao	Moluscofagos	R	NT	LC	NE	3
41	<i>Buteo plagiatus</i>	Accipitridae	Gavilán gris	Carnívoras	R	NE	LC	II	6
42	<i>Butorides virescens</i>	Ardeidae	Garza verde	Carnívoras	R,M	NE	LC	NE	1
43	<i>Cathartes aura</i>	Cathartidae	Zopilote cabeza roja	Carroñeras	R,T	NE	LC	NE	24
44	<i>Columbina inca</i>	Columbidae	Tórtola cola larga	Granívoras	R	NE	LC	NE	34
45	<i>Contopus virens</i>	Tyrannidae	Pibí oriental	Insectívoras	T	NE	LC	NE	32
46	<i>Dumetella carolinensis</i>	Mimidae	Pájaro gato gris	Omnívoras	M	NE	LC	NE	3
47	<i>Euphonia affinis</i>	Fringillidae	Eufonia frente amarilla	Omnívoras	R	NE	LC	NE	3
48	<i>Glaucidium brasilianum</i>	Strigidae	Picapiedras común	Carnívoras	R	NE	LC	NE	12
49	<i>Icterus galbula</i>	Icteridae	Chorcha migratoria cabeza negra	Omnívoras	M	NE	LC	NE	14
50	<i>Icterus gularis</i>	Icteridae	Chorcha dorsp negro mayor	Omnívoras	R	NE	LC	NE	9
51	<i>Myiarchus crinitus</i>	Tyrannidae	Copetón grande	Omnívoras	M	NE	LC	NE	7
52	<i>Patagioenas cayennensis</i>	Columbidae	Paloma vientre pálido	Frugívoras	R	NE	LC	NE	21
53	<i>Rupornis magnirostris</i>	Accipitridae	Gavilán caminero	Carnívoras	R	NE	LC	II	5
54	<i>Setophaga ruticilla</i>	Parulidae	Chipe negro y anaranjado	Omnívoras	M	NE	LC	NE	14
55	<i>Setophaga virens</i>	Parulidae	Chipe verdoso garganta negra	Omnívoras	M	NE	LC	NE	20
56	<i>Sphyrapicus varius</i>	Picidae	Carpintero migratorio	Omnívoras	M	NE	LC	NE	11
57	<i>Tigrisoma mexicanum Swainson</i>	Ardeidae	Garza Tigre garganta amarilla	Carnívoras	R	NE	LC	NE	10
58	<i>Vireo griseus</i>	Vireonidae	Vireo ojos blancos	Omnívoras	M	NE	LC	NE	2
59	<i>Volatinia jacarina</i>	Thraupidae	Semillero azul- negruzco	Omnívoras	R	NE	LC	NE	1
									282

Aves en común (37) entre el CADETH-AMR y CEDEC-JAS



Colibrí cola rufa



Mielero verdoso



Zopilote cabeza negra



Tijul pico estriado



Pía



Mosquero vientre manchado
Amarillo



Taragón ceja turquesa



Eufonia olivácea



Eufonia garganta amarilla



Zorzal



Carpintero frente dorado
rosada



Chipe blanco y negro



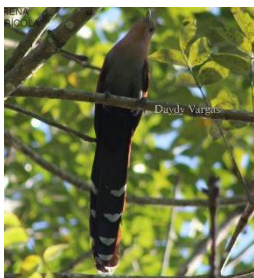
Copetón triste



Mosquero sur vientre amarillo



Cabezón garganta amarilla



Pájaro león maquillada



Loro corona blanca



Tanagra roja brillante



Cristofué común



Oropéndola



Tucancillo tilís encapuchado

Zanate

Tucán pico arcoíris

Saltador cabeza negra

Chipe



Chipe cola fajeada

Chipe flaco castaño

Semillero cuello blanco

Tanagra ala amarilla

Tanagra azulejo



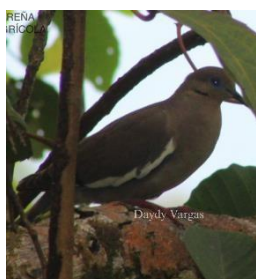
Torreja corona negra

Torreja común

Mosquero olivo

Coa cabeza negra

Zorzal común



Paloma ala blanca

Aves propias (43) del CADETH-AMR



Rascador pico anaranjado Mosquero rabadilla amarillo Carpintero rojo Piquigruaso cara negra Carpintero castaño



Colibrí vientre blanco Martin pescador verde Tinamú pequeño Mielero patas rojas Piquigruaso azul y negro



Trepatroncos ala Tanagra garganta roja Guardabarrancos picudo Perico pecho sucio Halcón murciélago



Colibrí cuello blanco Trepatroncos menudo Chorcha capucha negra Guardabar corona azul Cristofué menudo



Pucuyo común

Mosquero real trópico

Chipe ribereño

Paloma pico rojo

Ermitaño picudo



Ermitaño enano claro

Piquigrueso pecho rosa

Cucarachero pecho manchado

Tanagra roja ala negra

Oropéndola pico



Gavilán blanco dorada

Tanagra collar rojo

Saltador garganta canela

Semillero pico grueso

Tanagra capucha



Colibrí ninfa violeta

Semillero cara amarilla

Cucarachero casero sur

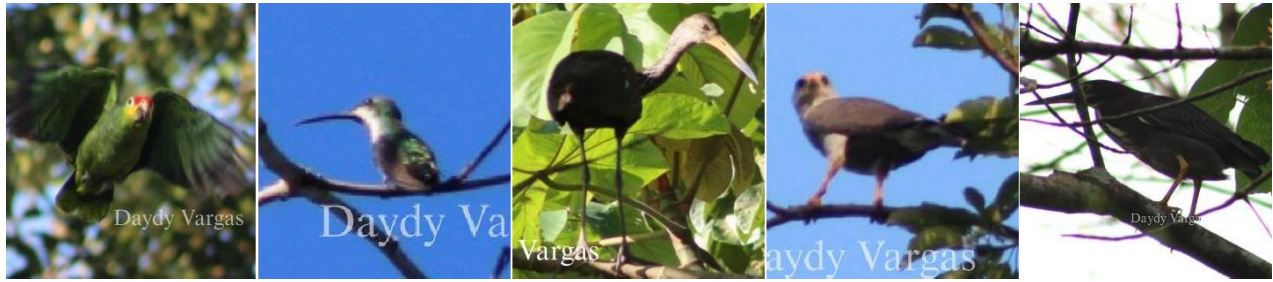
Coa cabeza morada

Coa cola gris



Trepatroncos cacao

Aves propias (22) del CEDEC-JAS



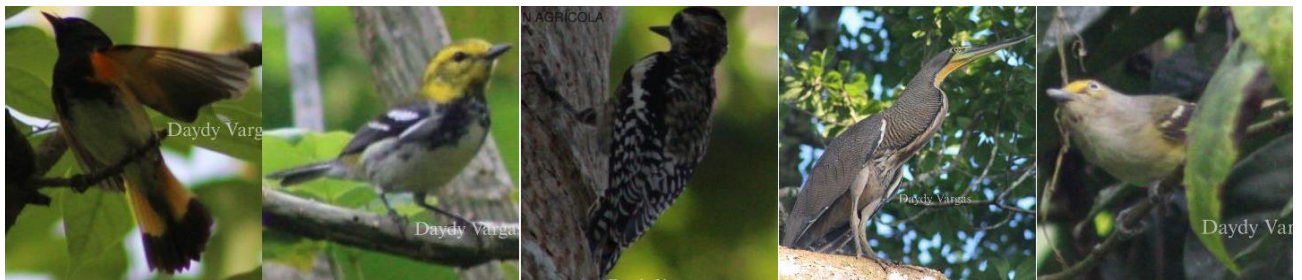
Loro cachete amarillo Colibrí pecho verde Carao Gavilán gris Garza verde



Zopilote cabeza roja amarillo Tórtola cola larga Pibí oriental Pájaro gato gris Eufonia frente



Picapiedras común Chorcha cabeza negra Chorcha dorso negro Copetón grande Gavilán caminero



Chipe negro y anaranjado Chipe verde garganta negra Carpintero migratorio Garza tigre garganta amarilla Vireo ojos blancos

El análisis de cluster (Figura 67) mostró que S4AMR y S6AMR formaron el clúster más cercano ($\approx 72\%$), con riqueza y abundancia similares (47, 48 especies; 237, 287 individuos). Ambas semanas presentaron baja o nula precipitación y temperaturas máximas elevadas, condiciones que pudieron favorecer la permanencia de especies comunes, sugiriendo que, además de la lluvia, la estructura vegetal influyó en la composición avifaunística. Las semanas S2AMR y S3AMR también mostraron alta similitud ($\approx 65\%$), con riqueza y abundancia comparables (50, 49 especies;

205, 173 individuos).

Los niveles de precipitación relativamente altos y temperaturas moderadas en estas semanas probablemente favorecieron la disponibilidad de recursos como frutos, néctar e insectos, generando condiciones propicias para una comunidad diversa y ecológicamente similar. Por el contrario, S5AMR presentó menor similitud ($\approx 43\%$), con menor riqueza con 25 especies y abundancia con 94 individuos, posiblemente influida por precipitaciones elevadas y temperaturas más bajas que afectaron la actividad de las aves y el esfuerzo de detección. S1AMR fue la más disímil ($< 40\%$), con la menor riqueza con 22 especies y abundancia con 87 individuos, lo que puede relacionarse con un efecto de inicio del monitoreo y ajustes en la detección.

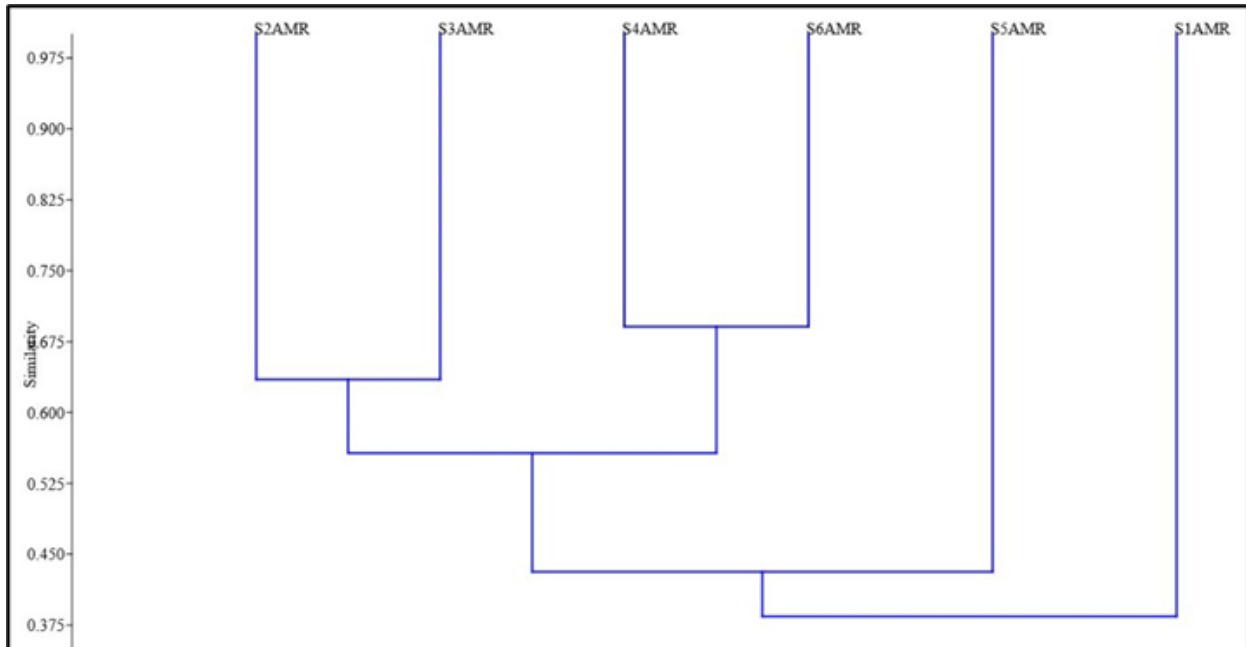


Figura 67. Análisis clúster o dendrograma, CADETH-AMR.

Por otro lado, el CEDEC-JAS mostró que la S5JAS y S6JAS formaron el grupo más cercano ($\approx 76\%$), con alta riqueza y abundancia, asociadas a ausencia de precipitación, temperaturas medias elevadas y menor humedad, condiciones que pudieron favorecer especies tolerantes al calor. S3JAS y S4JAS también presentaron alta similitud ($\approx 74\%$), con riqueza y abundancia elevadas bajo precipitaciones moderadas y temperaturas similares, lo que sugiere disponibilidad de recursos que mantuvo una comunidad comparable. Por último, S1JAS se ubicó de forma aislada, con los valores más bajos de riqueza y abundancia, posiblemente vinculados a condiciones menos favorables o a efectos iniciales del muestreo (Figura 68).

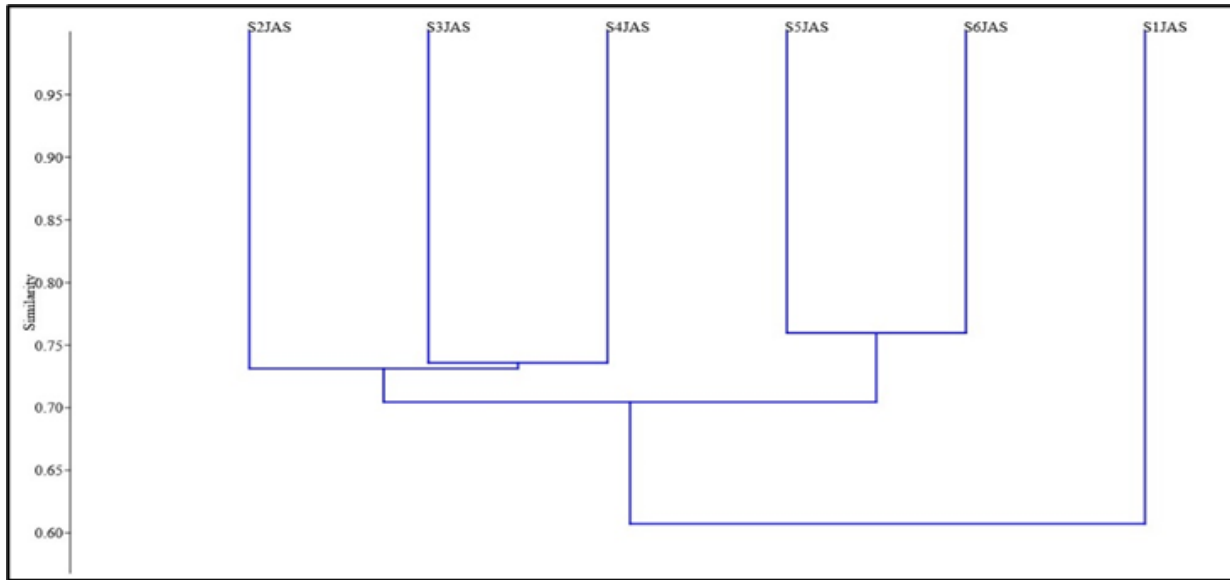


Figura 68. Análisis clúster o dendrograma, CEDEC-JAS.

En CADETH-AMR, el análisis de componentes principales (Figura 69) mostró que la precipitación fue la variable climática con mayor influencia sobre la diversidad de la avifauna (98.61 %), mientras que las temperaturas (TMAX, TMED y TMIN) presentaron cargas negativas y menor peso explicativo. Las semanas de mayor diversidad (S2AMR y S3AMR) coincidieron con valores intermedios de lluvia, confirmando el papel de la precipitación en la disponibilidad de recursos y microhábitats en sistemas tropicales húmedos (Uribe, 2015). La presencia de bosque húmedo y cacao bajo sombra aporta heterogeneidad estructural que favorece tanto aves generalistas como especialistas (Liang *et al.* 2020).

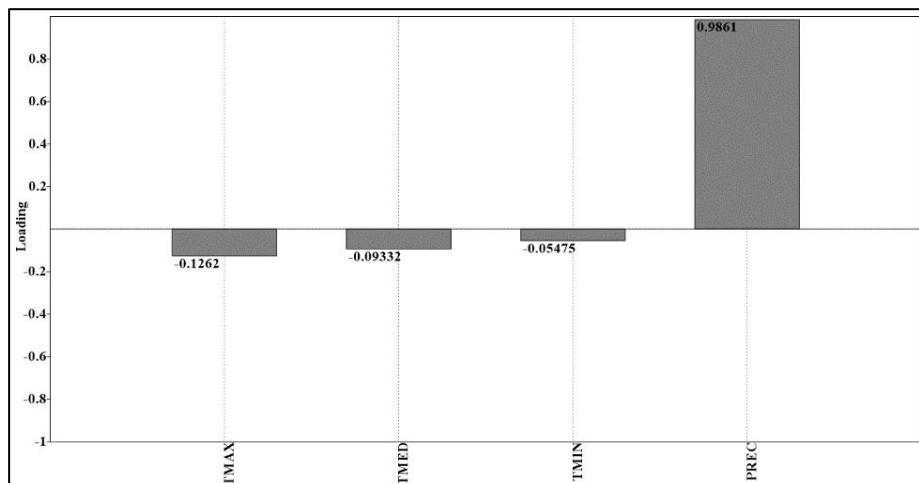


Figura 69. Análisis de componente principal (ACP) CADETH-AMR.

Finalmente, en CEDEC-JAS, el análisis de componentes principales (Figura 70) indicó que la precipitación explicó la mayor parte de la variabilidad ambiental (97.72 %), actuando como principal impulsor ecológico de la productividad y la disponibilidad de frutos e insectos, favoreciendo gremios frugívoros e insectívoros (Quinn, 2020). Aunque con menor peso, variables micro climáticas como temperatura y humedad también influyen en la biología de las aves, especialmente bajo condiciones de altas temperaturas y baja humedad (Goncalves *et al.* 2017). En conjunto, los resultados resaltan que la precipitación, junto con la cobertura vegetal, es clave para sostener comunidades aviares diversas en sistemas agroforestales.

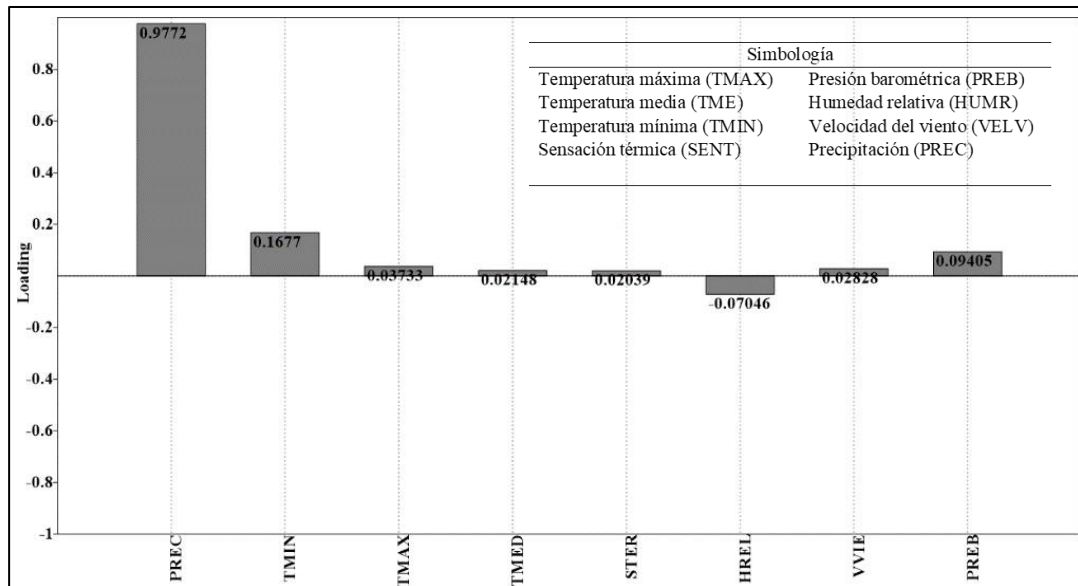


Figura 70. Análisis de componente principal (ACP) CEDEC-JAS.

En CADETH-AMR, el análisis de gremios tróficos mostró el predominio de especies omnívoras (58 %), seguido por insectívoros (14 %), frugívoros y nectarívoros (8 %), granívoros (7 %), carnívoros (4 %) y carroñeros (1 %), con cinco especies afiliadas a más de un gremio (Aves del Mundo, 2025). Esta estructura trófica refleja una comunidad funcionalmente diversa, asociada a la alta heterogeneidad estructural y disponibilidad de recursos en cacaotales bajo sombra, favoreciendo especialmente a omnívoros, insectívoros y frugívoros (Greenler y Ebersole, 2015; Díaz-CháuX *et al.* 2025). La presencia de granívoros y nectarívoros se vincula a árboles nativos productores de semillas y néctar (Reitsma *et al.* 2001).

Mientras que, en el CEDEC-JAS, la composición trófica de las 59 especies también estuvo dominada por omnívoros (56 %), patrón típico de sistemas agroforestales bajo sombra donde la diversidad de recursos favorece gremios de dieta amplia (Cuéllar *et al.* 2014). Esta dominancia refleja una estrategia adaptativa de especies generalistas en ambientes con estructura vegetal compleja y oferta alimenticia constante, lo que explica la alta representación de familias como Icteridae y Ramphastidae en cacaotales bajo sombra frente a paisajes fragmentados (Callaghan *et al.* 2019).

Conclusiones

- CADETH-AMR presentó una comunidad avifaunística diversa y representativa de sistemas agroforestales con cacao, con 80 especies distribuidas en 27 familias y 1,083 individuos,

destacando Thraupidae y Tyrannidae. La precipitación fue la variable ambiental más influyente evidenciando que la disponibilidad hídrica, junto con la cobertura arbórea, genera condiciones favorables para mantener alta diversidad mientras que, la temperatura actuó de forma complementaria mediante la creación de microclimas. El predominio del gremio omnívoro, junto con la presencia de insectívoros, frugívoros y nectarívoros, confirmó una comunidad funcionalmente diversa, favorecida por la heterogeneidad estructural del sistema. En términos de conservación, aunque la mayoría de las especies se clasificaron como de preocupación menor (LC), se registraron especies vulnerables y casi amenazadas a nivel nacional y global, así como 11 especies incluidas en el Apéndice II de CITES, resaltando la importancia del centro como espacio clave para la conservación.

- En CEDEC-JAS se registraron 59 especies pertenecientes a 24 familias y 2,062 individuos, con predominio de Tyrannidae y Parulidae, evidenciando que los sistemas agroforestales con cacao sostienen una alta riqueza y abundancia de aves, incluyendo especies residentes y migratorias. Al igual que el CADETH-AMR, La precipitación fue la variable ambiental más determinante, en interacción con la heterogeneidad estructural y la conectividad del paisaje, mientras que la temperatura también influyó de manera complementaria a través de microclimas favorables. El gremio omnívoro representó el 56 % de las especies, acompañado por insectívoros, frugívoros y nectarívoros, reflejando una comunidad con diversidad funcional. Desde el enfoque de conservación, la mayoría de las especies se clasificaron como LC, aunque se registraron especies casi amenazadas y vulnerables a nivel nacional, además de ocho especies incluidas en el Apéndice II de CITES, confirmando el valor del centro como refugio para la avifauna tropical.

Literatura citada

- Alfaro, VC; Oviedo, PE. 2024. Composition of birds associated with organic cacao farms, Huetar Norte Region, Costa Rica. *Uniciencia* 38(1):1-9. DOI: <https://doi.org/10.15359/RU.38-1.8>.
- Aves del Mundo. 2025. Birds of the World - Cornell Lab of Ornithology. SM Billerman; BK Keeney; GM Kirwan; F. Medrano; ND Sly; MG Smith (eds.). Ithaca, NY, EE. UU, DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.2173/bow>.
- Bennett, RE; Sillett, TS; Rice, RA; Marra, PP. 2021. Impact of cocoa agricultural intensification on bird diversity and community composition (en línea). *Conservation Biology* 36(1):e13779. DOI: <https://doi.org/10.1111/COBI.13779>; REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:15231739;WG ROUP:STRING:PUBLICATION.
- Bhagwat, SA; Willis, KJ; Birks, HJB; Whittaker, RJ. 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? (en línea). *Trends in Ecology & Evolution* 23(5):261-267. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2008.01.005>.
- BirdLife. (2018). El estado de conservación de las aves del mundo (en línea). Cambridge, Reino Unido, Consultado 12 nov. 2024. Disponible en https://datazone.birdlife.org/userfiles/docs/SOWB2018_es.pdf.
- Burca, J. 2024. Biodiversidad de Honduras: especies animales y vegetales y lo que está amenazado (en línea, sitio web). Consultado 1 dic. 2024. Disponible en <https://constructive-voices.com/es/biodiversidad-de-honduras/>.
- Cadenas, C; Mata, EE; Olivera-Gómez, LD; Wal, JC van der; Arriaga-Weiss, SL. 2023. Avifauna en monocultivos agroforestales comerciales en Huimanguillo, Tabasco, México (en línea). *Revista mexicana de biodiversidad* 94. DOI: <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2023.94.4913>.

- Callaghan, CT; Major, RE; Wilshire, JH; Martin, JM; Kingsford, RT; Cornwell, WK. 2019. Generalists are the most urban-tolerant of birds: a phylogenetically controlled analysis of ecological and life history traits using a novel continuous measure of bird responses to urbanization (en línea). *Oikos* 128(6):845-858. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.06158>.
- Cassano, CR; Schroth, G; Faria, D; Delabie, JHC; Bede, L. 2009. Landscape and farm scale management to enhance biodiversity conservation in the cocoa producing region of southern Bahia, Brazil (en línea). *Biodiversity and Conservation* 18(3):577-603. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10531-008-9526-X/METRICS>.
- Chuquillanqui, J. (2016). Distribución altitudinal y vulnerabilidad de las aves frente al cambio climático en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras (en línea). Consultado 1 dic. 2024. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/eb5cba18-65bd-40d7-971c-98ccd66cf8bc/content>.
- Cuéllar, AS; Díaz, CAR; Hernando, CRL. 2014. Estructura de la comunidad de aves en diferentes sistemas de producción de caucho (*hevea brasiliensis*) En Caquetá, Colombia (en línea, sitio web). Consultado 27 jul. 2025. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/301200833_ESTRUCTURA_DE_LA_COMUNIDAD_DE_AVES_EN_DIFERENTES_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_CAUCHO_Hevea_brasiliensis_EN_CAQUETA_COLOMBIA.
- Díaz-Cháux, JT; Velásquez-Valencia, A; Martínez-Salinas, A; Casanoves, F. 2025. Functional Diversity and Ecosystem Services of Birds in Productive Landscapes of the Colombian Amazon (en línea). *Diversity* 17(5):305. DOI: <https://doi.org/10.3390/D17050305/S1>.
- Farías, NA; Ramírez, PJ; Cedeño, JR; Sánchez-Sánchez, J; Asselin-Nguyen, A; Macario-Mendoza, PA; Tuz-Novelo, M. 2022. Cambios en la diversidad de aves ante la perturbación de hábitats del sur de Quintana Roo, México (en línea). *Acta zoológica mexicana* 38:1-25. DOI: <https://doi.org/10.21829/AZM.2022.3812462>
- FHIA. (2023). Informe Técnico 2023 Programa de Cacao y Agroforestería. Cortes, s.e.
- Fuentes, ZOA. 2023. Servicios Ecosistémicos que proveen las Aves Asociadas a Sistemas Agroforestales de *Theobroma cacao*. Caso de Estudio: Jardín Clonal, Campus Limonal, Universidad Santo Tomás (en línea, sitio web). Consultado 19 ene. 2025. Disponible en <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/51193>.
- García, RM; Romero, C; Ugalde, S; Tinoco, JÁ. 2020. Vegetación y estructura del hábitat que determina la dieta de aves insectívoras en sistemas agroforestales (en línea). *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 11(4):853-864. DOI: <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V11I4.2466>.
- Goncalves, GSR; Cerqueira, PV; Brasil, LS; Santos, MPD. 2017. The role of climate and environmental variables in structuring bird assemblages in the Seasonally Dry Tropical Forests (SDTFs) (en línea). *PLOS ONE* 12(4): e0176066. DOI: <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0176066>.
- Greenler, S; Ebersole, JJ. 2015. Bird communities in tropical agroforestry ecosystems: an underappreciated conservation resource. *Agroforestry Systems* 89(4):691-704. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10457-015-9805-Y>.
- Jarrett, C; Smith, TB; Claire, TTR; Ferreira, DF; Tchoumbou, M; Elikwo, MNF; Wolfe, J; Brzeski, K; Welch, AJ; Hanna, R; Powell, LL. 2021. Bird communities in African cocoa agroforestry are diverse but lack specialized insectivores (en línea). *Journal of Applied Ecology* 58(6):1237-1247. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13864>.
- Leyequién, E; de Boer, WF; Toledo, VM. 2010. Bird community composition in a shaded coffee agro-ecological matrix in Puebla, Mexico: The effects of landscape heterogeneity at multiple

- spatial scales. *Biotropica* 42(2):236-245. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1744-7429.2009.00553.X>.
- Liang, C; Liu, J; Pan, B; Wang, N; Yang, J; Yang, G; Feng, G. 2020. Precipitation is the dominant driver for bird species richness, phylogenetic and functional structure in university campuses in northern China (en línea). *Avian Research* 11(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.1186/S40657-020-00212-X/FIGURES/2>.
- Lira, CM. (2020). Conservación de avifauna por medio de sistemas agroforestales con certificaciones: una revisión sistemática (en línea). Bogotá, D.C. Consultado 13 nov. 2024. Disponible en <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/52585/Trabajo%20de%20Graduado.pdf?sequence=1>.
- Meza, D. 2024. ¿Qué sucede con las aves durante los huracanes y tormentas tropicales? (en línea, sitio web). Consultado 1 dic. 2024. Disponible en https://aveshonduras.org/que_sucede_aves_durante_huracanes_y_tormentas_tropicales/.
- Niether, W; Jacobi, J; Blaser, WJ; Andres, C; Armengot, L. 2020. Cocoa agroforestry systems versus monocultures: A multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters* 15(10). DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABB053>.
- Ocampo-Ariza, C; Hanf-Dressler, T; Maas, B; Novoa-Cova, J; Thomas, E; Vansynghel, J; Steffan-Dewenter, I; Tschardt, T. 2024. Regional differences of functional and taxonomic bird diversity in tropical agroforests of Peru (en línea). *Conservation Science and Practice* 6(6): e13123. DOI: <https://doi.org/10.1111/CSP2.13123;pagegroup:string:publicatio> n.
- Peña, JA. 2022. Diversidad, riqueza y patrón de comportamiento de aves en la Finca 55847. Ubicada en Santa Rosalía, Santa Catarina Pinula, Guatemala (en línea). Consultado 21 oct. 2024. Disponible en <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/5269>.
- Quinn, L. 2020. Destacan la importancia de las lluvias para los animales tropicales (en línea, sitio web). Consultado 31 jul. 2025. Disponible en <https://aces.illinois.edu/news/importance-rainfall-highlighted-tropical-animals>.
- Reitsma, R; Parrish, JD; McLaren, W. 2001. The role of cacao plantations in maintaining forest avian diversity in southeastern Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53:185-193. Consultado 25 jul. 2025.
- Reyes-Ramírez, ED; Díaz-Cháu, JT; Velasquez-Valencia, A. 2025. Morphometry and diversity of birds in cocoa agroforestry and silvopastoral systems in the Colombian Amazon (en línea). *bioRxiv* :2025.01.28.635237. DOI: <https://doi.org/10.1101/2025.01.28.635237>.
- Rocha, J; Laps, RR; Machado, CG; Campiolo, S. 2019. The conservation value of cacao agroforestry for bird functional diversity in tropical agricultural landscapes (en línea). *Ecology and Evolution* 9(14):7903-7913. DOI: <https://doi.org/10.1002/ECE3.5021;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION>.
- Taylor, R. 2003. ¿Cómo medir la diversidad de aves presentes en los sistemas agroforestales? (en línea). CATIE. Consultado 21 oct. 2024. Disponible en https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5912/Como_medir_la_diversidad_de_aves_presentes.pdf?sequence=1.
- Ugalde, S; Romero, C; Tarango, LA; García, RM. 2022. Influencia del hábitat en la diversidad de aves insectívoras en un sistema agroforestal enclavado en un Bosque Mesófilo de Montaña (en línea). *CienciaUAT* 16(2):6-25. DOI: <https://doi.org/10.29059/CIENCIAUAT.V16I2.1529>.
- Uribe, E. (2015). El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina (en línea). Santiago, Chile, s.e. Consultado 7 ene. 2025. Disponible

en <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/df277d47-47a1-4466-84a4-82ee62adad54/content>.

Yashmita-Ulman; Sharma, M; Kumar, A. 2016. Agroforestry Systems as Habitat for Avian Species: Assessing Its Role in Conservation. *Proceedings of the Zoological Society* 71(2):127-145. DOI: <https://doi.org/10.1007/S12595-016-0198-3>.

5.8. Estimación de la Diversidad de Mamíferos Terrestres del CEDEC-JAS y CADETH-AMR, La Masica, Atlántida

Andrea Pinto, Arely Herrera, Blanca Moradel, Esly Cantarero

Universidad Nacional de Agricultura (UNAG)

M.Sc. Oscar Ramírez e Ing. Elvin Ávila

Programa de cacao y agroforestería, FHIA

Resumen

La investigación se realizó en el Centro Experimental y Demostrativo de Cacao – Jesús Alfonso Sánchez (CEDEC-JAS) y en el Centro Agroforestal y Demostrativo del Trópico Húmedo–Adolfo Martínez Rondanelli (CADETH-AMR), ubicados en La Masica, Atlántida, con el objetivo de estimar la diversidad de mamíferos terrestres en sistemas agroforestales de cacao mediante cámaras trampa y observación directa durante los meses de febrero a abril, incorporando variables ambientales. En el CEDEC-JAS se registraron 5 especies y 42 individuos, con predominio de *Sciurus variegatoides* y *Dasypus novemcinctus*, mientras que *Tamandua mexicana* y *Conepatus semistriatus* presentaron menor abundancia. El gremio omnívoro fue el más representativo. La actividad estuvo influenciada principalmente por la precipitación (98.02 %), presión barométrica (84.63 %) y humedad relativa (36.19 %), mientras que, las temperaturas mostraron correlaciones negativas (–69 % a –75 %), indicando mayor actividad en condiciones frescas y húmedas. En el CADETH-AMR se identificaron 18 especies y 289 individuos, destacando *Dasypus novemcinctus*, *Sciurus variegatoides*, *Philander opossum* y *Rodentia ident.*, y con menor frecuencia *Agouti paca* y *Cebus capucinus*. También predominó el gremio omnívoro. La precipitación presentó una alta correlación positiva (99.97 %) y las temperaturas correlaciones negativas (–53 % a –36 %), reflejando mayor actividad en periodos húmedos. El análisis del ciclo circadiano evidenció un patrón mayoritariamente nocturno en ambos centros, con especies como *Didelphis marsupialis*, *Dasypus novemcinctus* y *Conepatus semistriatus*, mientras que *Sciurus variegatoides* fue estrictamente diurna. Las cámaras trampa resultaron el método más eficiente, registrando 4 especies en CEDEC-JAS y 15 en CADETH-AMR, mientras que la observación directa permitió registrar especies adicionales, incluyendo registros coincidentes de *Sciurus variegatoides* y *Nasua narica*. En cuanto al estado de conservación, en CEDEC-JAS se registraron especies de prioridad como *Didelphis marsupialis* (Vulnerable a nivel nacional) y *Tamandua mexicana* (CITES Apéndice III). En el CADETH-AMR destacaron *Alouatta palliata* y *Leopardus pardalis*, incluidas en el Apéndice I de CITES y categorizadas como Vulnerables, evidenciando el alto valor de conservación del sitio. La diversidad de mamíferos fue evaluada mediante los índices de Shannon y Simpson. El índice de Shannon (H'), que integra la riqueza y la equitatividad de las especies, suele interpretarse como bajo cuando $H' < 1.5$, moderado entre 1.5 y 3.0 y alto cuando $H' > 3.0$. Por su parte, el índice de Simpson, que evalúa la dominancia de las especies, presenta valores bajos (< 0.3) asociados a alta dominancia, valores intermedios (0.3–0.6) y valores altos (> 0.6) que

indican mayor diversidad y menor dominancia. Ambos índices evidenciaron una mayor diversidad y menor dominancia en el CADETH-AMR en comparación con el CEDEC-JAS.

Palabras claves: riqueza, abundancia, índice de diversidad, Shannon, Simpson

Introducción

Los mamíferos terrestres desempeñan un papel esencial en el funcionamiento de los ecosistemas tropicales, ya que intervienen activamente en procesos ecológicos clave como la dispersión de semillas, el control de poblaciones de otras especies y el mantenimiento del equilibrio trófico. Debido a estas funciones, su diversidad y abundancia suelen considerarse indicadores de la integridad ecológica y la estabilidad de los paisajes naturales y productivos (Sánchez-Cordero *et al.* 2013; Martín-Regalado y Briones-Salas, 2024). No obstante, la acelerada transformación del uso del suelo, la pérdida y fragmentación del hábitat, así como la expansión de la frontera agrícola, han generado una disminución significativa de las poblaciones de mamíferos, especialmente en regiones tropicales como Centroamérica y, en particular, Honduras, donde muchas especies medianas y grandes se encuentran cada vez más restringidas a áreas protegidas y sus zonas de amortiguamiento (Aceituno y Trochez, 2021).

En este contexto, los sistemas agroforestales han cobrado relevancia como alternativas productivas sostenibles que, además de generar ingresos, contribuyen a la conservación de la biodiversidad. Los sistemas agroforestales de cacao, caracterizados por mantener una alta cobertura arbórea y una estructura vertical compleja, ofrecen condiciones favorables para la permanencia de la fauna silvestre, al proveer refugio, alimento y corredores biológicos que facilitan la conectividad entre fragmentos de bosque en paisajes altamente intervenidos (Montagnini *et al.* 2015). Diversos estudios han demostrado que estos sistemas pueden albergar una diversidad considerable de mamíferos, incluso especies con algún grado de sensibilidad a la perturbación, lo que resalta su valor ecológico dentro de matrices productivas.

A pesar de la importancia de estos sistemas, en Honduras la información sobre la diversidad de mamíferos terrestres en agroecosistemas de cacao sigue siendo limitada, particularmente en centros experimentales y demostrativos que cumplen funciones clave en investigación, capacitación y transferencia tecnológica. En el CEDEC-JAS y CADETH-AMR no existían registros previos sistematizados sobre la mastofauna terrestre, lo que representaba un vacío de información para la gestión ambiental y la planificación de estrategias de conservación en estos sitios.

Ante esta situación, el presente estudio se planteó como una primera aproximación para estimar la diversidad de mamíferos terrestres en ambos centros, mediante el uso combinado de cámaras trampa y observación directa, incorporando además el análisis de variables ambientales y patrones de actividad diaria. La generación de esta línea base de información no solo permite caracterizar la composición y estructura de la mastofauna asociada a sistemas agroforestales de cacao, sino que también contribuye a evidenciar el papel de estos sistemas como matrices productivas compatibles con la conservación de especies de interés ecológico y de conservación, fortaleciendo así el enfoque de producción sostenible y manejo integral del paisaje en el trópico húmedo de Honduras.

Objetivo

Determinar la diversidad de los mamíferos terrestres del CEDEC-JAS y de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Pico Bonito, específicamente en el CADETH-AMR,

mediante la identificación de riqueza y abundancia de avifauna, gremios tróficos, variables ambientales y su relación con las especies y los ciclos circadianos.

Metodología para identificar la riqueza y abundancia en puntos de muestreo de dos áreas de investigación. La metodología empleada en este estudio se organizó en tres fases principales. En la primera fase, de preparación de la zona de estudio, se procedió a la identificación de las dos áreas de investigación, se consultó información relevante de estudios anteriores y se realizó un reconocimiento del terreno para planificar la distribución adecuada de las cámaras trampa.

En la segunda fase, correspondiente al trabajo de campo, se implementó la instalación de cámaras trampa en ambos centros de estudio. Durante este periodo, cada especie capturada por las cámaras fue debidamente identificada y registrada, y se contabilizó el número de individuos observados, lo que permitió obtener los datos básicos de presencia y abundancia de fauna.

Finalmente, en la tercera fase, se llevó a cabo el análisis de datos. Se utilizó el programa estadístico PAST para procesar la información, elaborando una curva de acumulación de especies mediante el método de rarefacción y calculando diversos índices de diversidad. Adicionalmente, se realizó un análisis clúster representado en un dendrograma, se determinó la riqueza por familia con apoyo de Excel y se procedió a la interpretación integral de los resultados obtenidos.

Análisis de variables ambientales en relación con la diversidad de mamíferos terrestres en los sitios de investigación. Para analizar la relación entre las variables ambientales y la diversidad de mamíferos terrestres en los sitios de estudio, se obtuvieron datos climáticos provenientes de las estaciones meteorológicas instaladas en los dos centros de investigación. En el centro CEDEC-JAS se registraron variables como temperatura (máxima, media y mínima), precipitación (máxima, media y mínima), sensación térmica, presión barométrica, humedad relativa, velocidad del viento y dirección del viento. Por su parte, en el centro CADETH-AMR se consideraron temperatura y precipitación en sus valores máximos, medios y mínimos.

Una vez recopilados, los datos fueron organizados y tabulados en hojas de cálculo de Excel. Posteriormente, se procedió a su análisis mediante el software estadístico PAST, donde se aplicó el análisis de componentes principales (ACP o PCA, por sus siglas en inglés) con el fin de identificar patrones y reducir la dimensionalidad de las variables ambientales, evaluando su posible influencia sobre la diversidad de mamíferos registrada en cada sitio.

Identificación de los gremios tróficos de la diversidad de mamíferos terrestres en los centros de investigación. Tras realizar la identificación de las especies registradas en los centros de estudio, se procedió a clasificar cada una según su gremio trófico, considerando categorías como carnívoros, insectívoros, omnívoros, entre otros. Cabe señalar que, siguiendo la guía de mamíferos de Honduras, algunas especies presentaron clasificaciones múltiples debido a su dieta diversa o a variaciones reportadas en la literatura.

Análisis de datos

El análisis se llevó a cabo utilizando el programa estadístico PAST. En primer lugar, se efectuó un análisis de correspondencia para explorar la agrupación de los tipos de gremio trófico con cada especie registrada. Paralelamente, se determinó el estado de conservación de todas las especies con base en las categorías de la UICN (2024), que incluyen NE (No Evaluado), DD (Datos

Insuficientes), LC (Preocupación Menor), NT (Casi Amenazado), VU (Vulnerable), EN (En Peligro), CR (En Peligro Crítico), EW (Extinto en Estado Silvestre) y EX (Extinto). Asimismo, se verificó la categoría de cada especie según los apéndices de CITES (I, II y III). Finalmente, se interpretaron los resultados obtenidos y se integraron en el informe final de la investigación.

Análisis del ciclo circadiano de la riqueza y abundancia de los mamíferos terrestres en los dos áreas de investigación. Para analizar los patrones circadianos de riqueza y abundancia de mamíferos terrestres en los dos centros de estudio, primero se procedió a la identificación de todas las especies capturadas mediante cámaras trampa. Una vez identificadas, cada especie fue clasificada según la hora de captura registrada, con el objetivo de determinar su patrón de actividad en tres categorías principales: diurna, nocturna o crepuscular.

Posteriormente, los datos obtenidos se organizaron y tabularon en función de la clasificación circadiana de cada especie, lo que permitió estructurar la información para su análisis posterior. Esta sistematización facilitó la comparación de los patrones temporales de actividad entre las dos áreas de investigación y la evaluación de la riqueza y abundancia de especies según el periodo del día.

Resultados

En la presente investigación permitió evaluar la diversidad de mamíferos terrestres en dos sistemas agroforestales de cacao ubicados en La Masica, Atlántida CEDEC-JAS y CADETH-AMR. Los resultados evidencian diferencias marcadas en riqueza, abundancia, estructura comunitaria y patrones ecológicos entre ambos sitios lo que, refleja la influencia del tamaño del área, el grado de conectividad con remanentes de bosque y la intensidad de uso del suelo.

En el centro CEDEC-JAS se documentaron cinco especies de mamíferos terrestres, con un total de 42 registros. La ardilla *Sciurus variegatoides* fue la más abundante, seguida por el armadillo *Dasyurus novemcinctus* y la zarigüeya *Didelphis marsupialis*. Las especies con menor frecuencia de observación fueron *Tamandua mexicana* y *Conepatus semistriatus*. Este perfil de comunidad, dominado por generalistas ecológicos, es característico de sistemas agroforestales bajo uso productivo, donde la estructura arbórea del cacaotal beneficia especialmente a especies arborícolas y omnívoras, como lo señala la literatura especializada. (Cuadro 52).

Cuadro 52. Abundancia de especies de mamíferos registradas en CEDEC-JAS.

No.	Nombre Científico	Nombre Común	Abundancia	Tipo de muestreo
1	<i>Sciurus variegatoides</i>	Ardilla	22	Observación directa
2	<i>Dasyurus novemcinctus</i>	Armadillo	12	Cámara trampa
3	<i>Didelphis marsupialis</i>	Guazalo	5	Cámara trampa
4	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguera	2	Cámara trampa
5	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo de nariz de cerdo rayado	1	Cámara trampa
Total			42	

Mamíferos en CEDEC-JAS



Guazalo.



Armadillo.



Ardilla.



Oso hormiguero.



Zorrillo de nariz de cerdo rayado.

En contraste, el CADETH-AMR presentó una riqueza significativamente mayor, con 18 especies y 289 individuos registrados, destacando *Dasypus novemcinctus*, *Sciurus variegatoides* y *Philander opossum* como las especies más frecuentes. Esta mayor diversidad puede asociarse a su mayor extensión territorial y su localización en zona de amortiguamiento del Parque Nacional Pico Bonito, lo cual favorece la conectividad ecológica y la presencia de especies más sensibles (Montagnini *et al.* 2015; Torres *et al.* 2020). Estos resultados respaldan la hipótesis de que, los sistemas agroforestales cercanos a áreas protegidas pueden funcionar como matrices de conservación complementarias. (Cuadro 54).

Cuadro 53. Abundancia de especies de mamíferos registradas en CADETH-AMR.

No.	Nombre científico	Nombre común	Abundancia	Tipo de muestreo
1	<i>Didelphis marsupialis</i>	Guazalo	24	Cámara trampa
2	<i>Didelphis virginiana</i>	Guazalo	21	Cámara trampa
3	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Armadillo	44	Cámara trampa
4	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo de nariz de cerdo rayado	15	Cámara trampa
5	<i>Procyon lotor</i>	Mapache	13	Cámara trampa
6	<i>Eira barbara</i>	Cadejo	11	Cámara trampa
7	<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatusa	8	Cámara trampa
8	<i>Leopardus pardalis</i>	Tigrillo	2	Cámara trampa
9	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero	2	Cámara trampa

No.	Nombre científico	Nombre común	Abundancia	Tipo de muestreo
10	<i>Agouti paca</i>	Tepescuintle	1	Cámara trampa
11	<i>Sciurus variegatoides</i>	Ardilla	43	Observación directa y Cámara trampa
12	<i>Marmosa mexicana</i>	Marmosa	3	Cámara trampa
13	<i>Nasua narica</i>	Pizote	4	Observación directa y cámara trampa
14	<i>Alouatta palliata</i>	Mono aullador	12	Observación directa
15	<i>Philander opossum.</i>	Guazalo de cuatro ojos	41	Cámara trampa
16	<i>Potos flavus</i>	Mico de noche	5	Observación directa
17	<i>Cebus capucinus</i>	Mono cara blanca	1	Observación directa
18	<i>Rodentia ident.</i>	Rata-Ratón	39	Cámara trampa
Total			289	

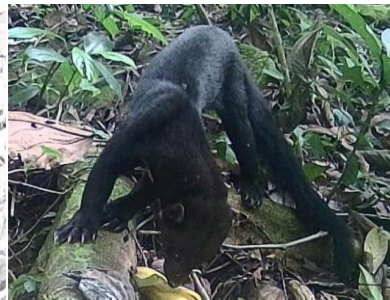
Mamíferos en el CADETH-AMR



Guazalo



Mapache



Cadejo



Guatusa



Tigrillo



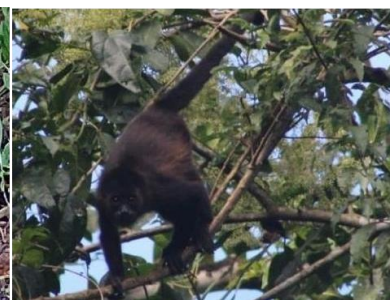
Tepezcuintle



Marmosa (comadreja)



Pizote



Mono aullador



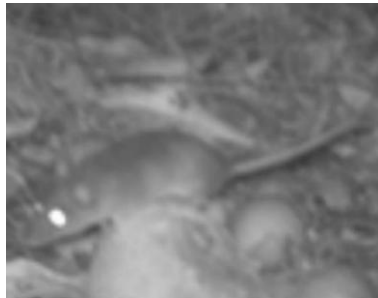
Guazalo de cuatro ojos



Mico de noche



Mono cara blanca



Rata-Ratón

Las cámaras trampa demostraron ser el método más eficiente en ambos centros, registrando la mayoría de las especies detectadas, lo cual concuerda con estudios que destacan su efectividad para mamíferos medianos y nocturnos (Ahumada *et al.* 2011; O'Connor *et al.* 2017). La observación directa aportó pocos registros, lo que sugiere limitaciones metodológicas asociadas al comportamiento evasivo de muchas especies.

Los índices de diversidad reflejaron una diversidad moderada en CEDEC-JAS (Figura 71) y mayor heterogeneidad en CADETH-AMR (Figura 68). Valores intermedios de Shannon indican presencia de varias especies, pero con dominancia de algunas, lo que es típico en paisajes productivos (Magurran, 2021). La curva de acumulación de especies mostró tendencia ascendente, lo que indica que un mayor esfuerzo de muestreo podría revelar más especies, especialmente aquellas de baja detectabilidad.

En CEDEC-JAS el índice de Shannon (H') evidenció diferencias marcadas entre los métodos de muestreo. Mediante cámara trampa (CTCEDEC) se obtuvo un valor de $H' = 1.108$, correspondiente a una diversidad baja a moderada, asociada a una baja riqueza específica ($S = 4$) y a una distribución desigual de los individuos, lo que indica la dominancia de una o pocas especies. En contraste, los registros por observación directa (ODMICEDEC y ODM2CDEC) presentaron valores de $H' = 0$, reflejando ausencia de diversidad debido a la presencia de una sola especie ($S = 1$) en cada caso, lo que evidencia comunidades ecológicamente simplificadas. De manera consistente, el índice de Simpson mostró en cámara trampa un valor de 0.5947, indicando diversidad intermedia con dominancia moderada, mientras que en observación directa el valor fue 0, confirmando una dominancia absoluta de una sola especie. En conjunto, estos resultados indican que la cámara trampa fue el método más eficiente para detectar la diversidad de mamíferos terrestres en el sistema evaluado (Cuadro 55).

Cuadro 54. Índices de Shannon H y Simpson en CEDEC-JAS.

	CTCEDEC	ODM1CEDEC	ODM2CEDEC
Taxa S	4	1	1
Individuos	20	10	12
Shannon H	1.108	0	0
Simpson	0.5947	0	0

CT: cámara trampa; M: Mes; OD: Observación directa.

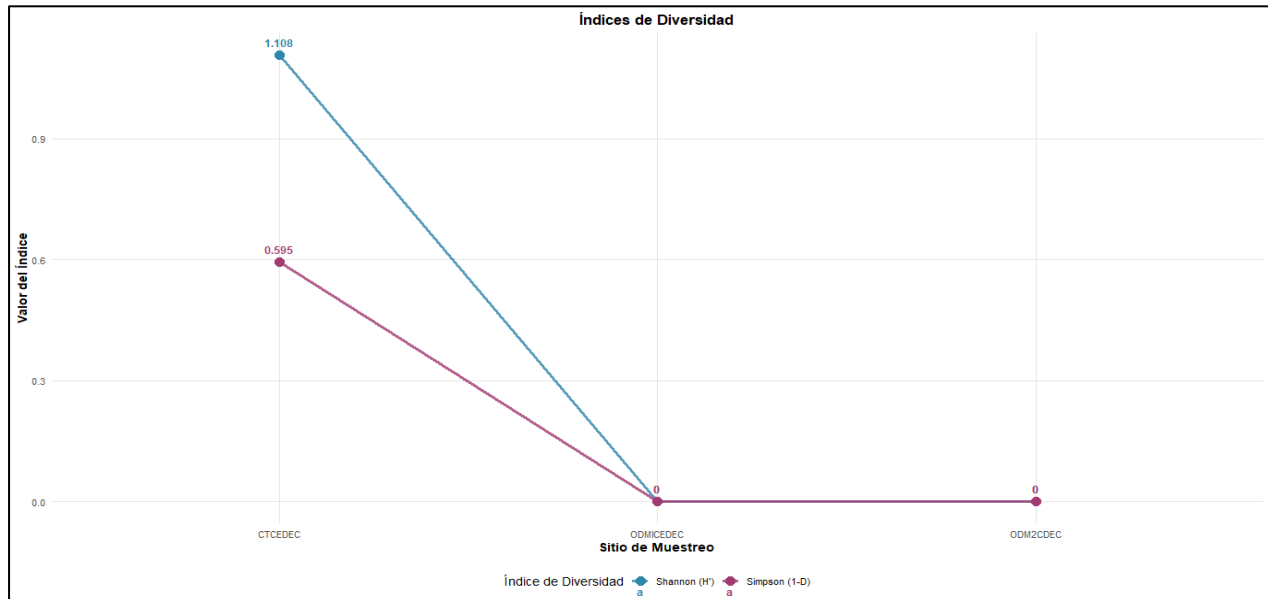


Figura 71. Comparación de los índices de diversidad Shannon y Simpson entre los sitios de estudio CEDEC-JAS.

En CADETH-AMR el índice de Shannon (H') mostró valores moderados a altos en los muestreos mediante cámara trampa (M1AMR, M2AMR y M3AMR; $H' = 1.797-2.299$), lo que indica mayor diversidad y equitatividad, asociada a una mayor riqueza específica ($S = 7-12$) y a una distribución más homogénea de los individuos. En contraste, los registros por observación directa (OD1AMR, OD2AMR y OD3AMR) presentaron valores de H' bajos ($0.6359-1.225$), reflejando baja diversidad, coherente con la menor riqueza de especies ($S = 2-4$) y una mayor dominancia.

De manera consistente, el índice de Simpson mostró valores altos en cámara trampa ($0.8138-0.8854$), indicando alta diversidad y baja dominancia, mientras que en observación directa los valores fueron bajos a intermedios ($0.4421-0.6537$), confirmando la dominancia de pocas especies. En conjunto, ambos índices evidencian que la cámara trampa fue más eficiente que la observación directa para caracterizar la diversidad de mamíferos terrestres. (Cuadro 56).

Cuadro 55. Comparación de los índices de diversidad Shannon y Simpson en CADETH-AMR.

	M1AMR	M2AMR	M3AMR	OD1AMR	OD2AMR	OD3AMR
Taxa S	12	7	12	3	2	4
Individuos	80	74	79	14	20	22
Shannon	2.299	1.797	2.099	0.8304	0.6359	1.225
Simpson	0.8854	0.8138	0.8277	0.4725	0.4421	0.6537

MAMR: cámara trampa; OD: Observación directa; Mes: 1,2,3.

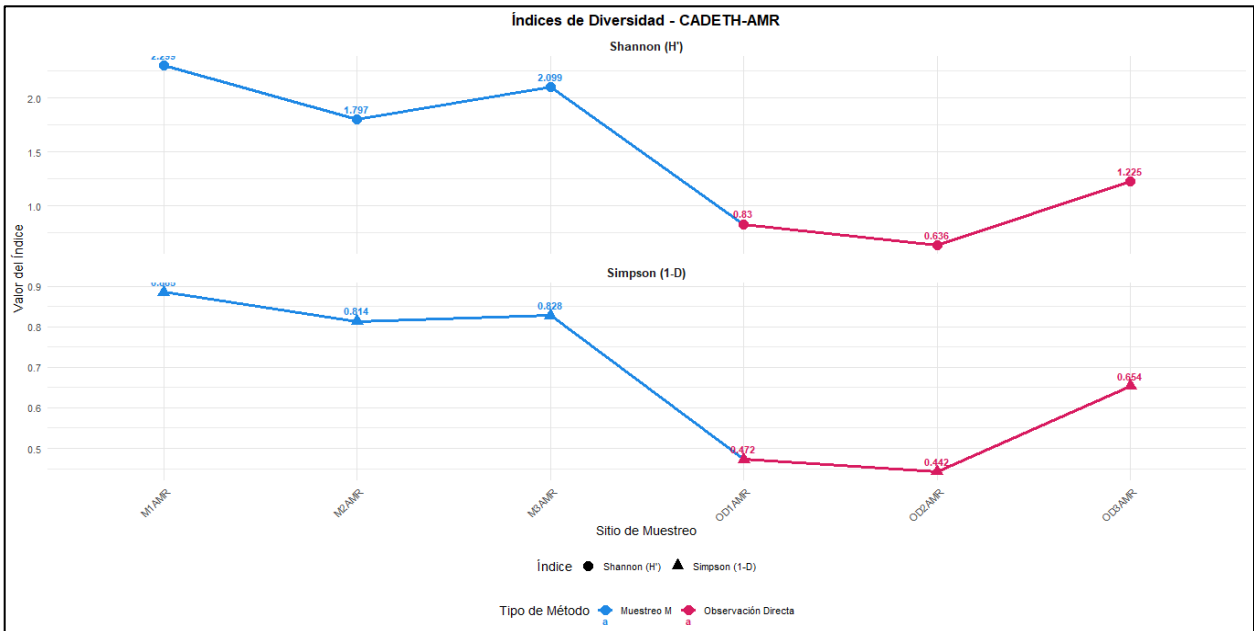


Figura 72. Índices de diversidad Shannon (H') y Simpson (1-D) por sitio y tipo de método de muestreo en CADETH-AMR.

El análisis de gremios tróficos mostró predominancia de omnívoros en ambos centros, evidenciando la importancia de especies generalistas en sistemas agroforestales (Figura 73). Estos gremios cumplen funciones ecológicas clave como dispersión de semillas y control de invertebrados (González-Salazar *et al.* 2015).

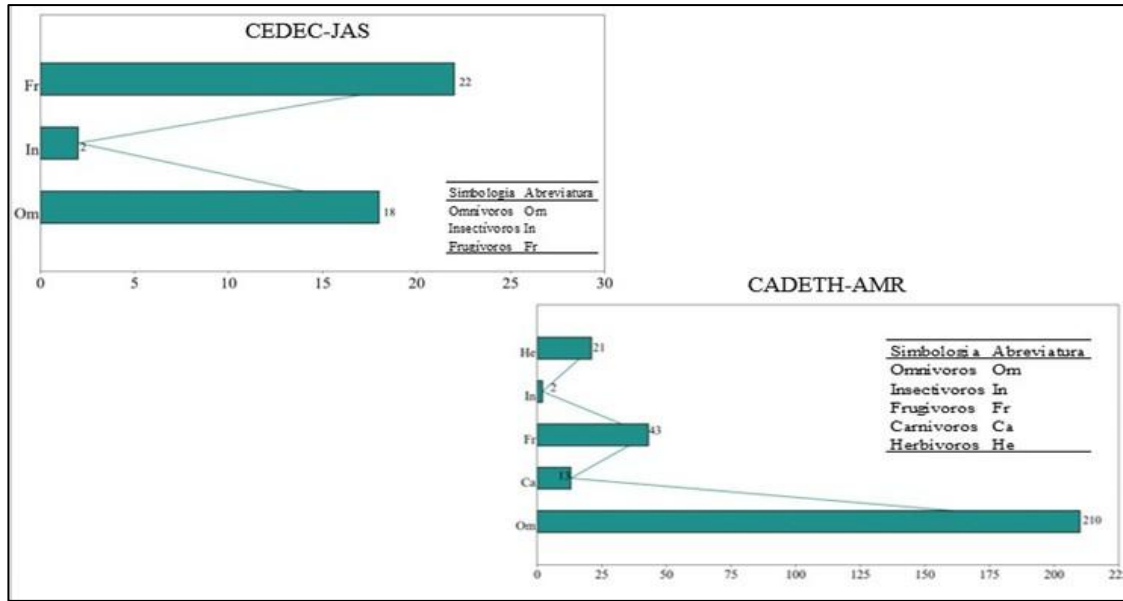


Figura 73. Gremios tróficos de especies generalistas en sistemas agroforestales.

Las variables climáticas mostraron correlaciones positivas entre precipitación y actividad de mamíferos, mientras que las temperaturas presentaron relaciones negativas, sugiriendo mayor actividad en condiciones húmedas y frescas (Figura 74). Este comportamiento ha sido documentado en ecosistemas tropicales donde la disponibilidad de agua influye en la actividad de fauna (Pérez *et al.* 2022).

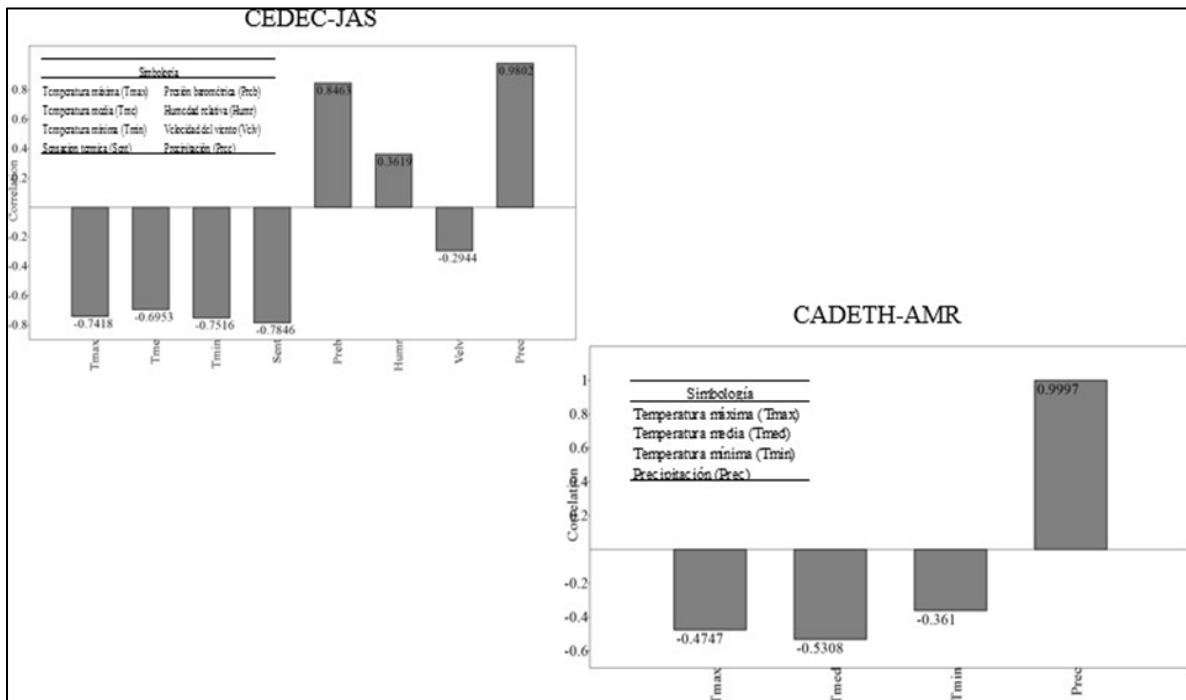


Figura 74. Variables climáticas CEDEC-JAS y CADETH-AMR.

En estado de conservación, se registraron especies incluidas en categorías de riesgo nacional e internacional, como *Alouatta palliata* y *Leopardus pardalis* en CADETH-AMR, lo cual resalta la importancia de estos sistemas agroforestales como refugios de biodiversidad. La presencia de especies listadas en CITES y UICN refuerza el valor ecológico de estos paisajes productivos. (Cuadro 57).

Cuadro 56. Estado de conservación de mamíferos terrestres registrados en CADETH-AMR según diferentes categorías internacionales y nacionales.

No.	Familias	Nombre científico	Nombre común	Lista roja UICN	Apéndices CITES	Lista Roja Honduras
1	Cebidae	<i>Alouatta palliata</i>	Mono aullador	VU	I	VU
2	Cebidae	<i>Cebus capucinus</i>	Mono cara blanca	VU	II	VU
3	Dasypodidae	<i>Dasyopus novemcinctus</i>	Armadillo	LC		NT
4	Didelphidae	<i>Marmosa mexicana</i>	Marmosa	LC		NE
5	Didelphidae	<i>Phillander opossum</i>	Guazalo de cuatro ojos	LC		NE
6	Didelphidae	<i>Didelphis virginiana</i>	Guazalo	LC		NE
7	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Guazalo	LC		VU
8	Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	Tigrillo	LC	I	VU
9	Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo de nariz de cerdo rayado	LC		NE
10	Agoutidae	<i>Agouti paca</i>	Tepescuintle	LC		VU
11	Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatusa	LC	III	NT
12	Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Cadejo	LC	III	NT
13	Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Pizote	LC	III	VU
14	Procyonidae	<i>Potos flavus</i>	Mico de noche	LC	III	NE
15	Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>	Mapache	LC		NE
16	Sciuridae	<i>Sciurus variegatoides</i>	Ardilla	LC		NE
17	Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero	LC	III	NE

Conclusión

En conjunto los resultados obtenidos confirman que, los sistemas agroforestales de cacao no solo cumplen funciones productivas, sino que, también contribuyen a la conservación de mamíferos terrestres especialmente cuando mantienen cobertura arbórea, conectividad y baja perturbación. La diferencia entre ambos centros evidencia que la extensión del área y la proximidad a ecosistemas naturales influyen significativamente en la diversidad registrada.

Literatura citada

- Ahumada, JA; Silva, CEF; Gajapersad, K; Hallam, C; Hurtado, J; Martin, E; McWilliam, A; Mugerwa, B; O'Brien, T; Rovero, F; Sheil, D; Spironello, WR; Winarni, N; Andelman, SJ. 2011. Community structure and diversity of tropical forest mammals: data from a global camera trap network (en línea). *Philosophical Transactions Of The Royal Society B Biological Sciences* 366(1578):2703-2711. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0115>.
- Magioli, M; De Barros Ferraz, KMPM; Chiarello, AG; Galetti, M; Setz, EZF; Paglia, AP; Abrego, N; Ribeiro, MC; Ovaskainen, O. 2021. Land-use changes lead to functional loss of terrestrial mammals in a Neotropical rainforest (en línea). *Perspectives In Ecology And Conservation* 19(2):161-170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.02.006>.
- Magurran, AE. 2021. Measuring biological diversity (en línea). *Current Biology* 31(19):R1174-R1177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.07.049>.
- Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. 2015. Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales (en línea). CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Consultado 20 ene. 2025. Disponible en <https://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-agroforestales-funciones-productivas-socioeconomicas-y-ambientales.pdf>.
- Nájera, DMÁ; Chávez, C; Lazcano-Barreto, MA; Mendoza, GD; Elizalde, SP. 2016. Overlap in activity patterns between big cats and their main prey in northern Quintana Roo, Mexico (en línea). *Therya* 7(3):439-448. DOI: <https://doi.org/10.12933/therya-16-379>.
- O'Connor, KM; Nathan, LR; Liberati, MR; Tingley, MW; Vokoun, JC; Rittenhouse, TAG. 2017. Camera trap arrays improve detection probability of wildlife: Investigating study design considerations using an empirical dataset (en línea). *PLoS ONE* 12(4):e0175684. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175684>.
- Pérez, RCA; Palacios, GYM; Herrera, EJC. 2022. Análisis de precipitaciones para modelo predictivo de lluvias en zipaquirá, Cundinamarca (en línea, sitio web). Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000200266.
- Rice, R; Greenberg, R. 2000. Cacao Cultivation and the Conservation of Biological Diversity (en línea). *Royal Swedish Academy Of Sciences* 29(3). Disponible en https://www.researchgate.net/publication/239576371_Cacao_Cultivation_and_the_Conser_vation_of_Biological_Diversity.
- Torres, SS; Restrepo-Quiroz, T; López-Ramírez, C. 2020. Diversidad y ecología de mamíferos no voladores asociados a un sistema agro-productivo de cacao, Granja Yariguíes, Santander, Colombia (en línea). *Actualidades Biológicas* 42(112):13. DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v42n112a01>.
- González-Salazar, C; Martínez-Meyer, E; López-Santiago, G. 2015. Clasificación jerárquica de gremios tróficos para aves y mamíferos de Norteamérica (en línea). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(3). DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.38023>

5.9. Distribución del mono aullador (*Alouatta palliata*) en el CADETH- AMR, La Masica, Atlántida

Vivian Vásquez, Arely Herrera, Blanca Moradel, Esly Cantarero
Universidad Nacional de Agricultura (UNAG)

M.Sc. Oscar Ramírez e Ing. Elvin Ávila
Programa de Cacao y Agroforestería, FHIA

Resumen

La investigación se desarrolló en el CADETH-AMR, con el objetivo de analizar la distribución potencial del mono aullador (*Alouatta palliata*) a partir de variables climáticas clave: temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación. El análisis consideró un periodo histórico (1970–2000) y proyecciones climáticas futuras (2021–2040) bajo el modelo climático MIROC6 y el escenario de emisiones SSP585. El enfoque metodológico integró recorridos sistemáticos de campo, registros poblacionales y modelación de nicho ecológico mediante el software MaxEnt, utilizando variables bioclimáticas obtenidas de la plataforma WorldClim. Durante el trabajo de campo se registraron 133 individuos, distribuidos en 40 tropas, las cuales se asociaron principalmente a especies arbóreas clave como *Cecropia peltata*, *Vochysia guatemalensis* y *Terminalia superba*, evidenciando la importancia de estos taxones como componentes estructurales y funcionales del hábitat. Los modelos de distribución potencial indicaron que, bajo condiciones climáticas actuales, *A. palliata* presenta mayores probabilidades de ocurrencia en rangos de temperatura mínima entre 16 y 24 °C y temperatura máxima entre 27 y 32 °C. En el escenario futuro, las condiciones climáticas óptimas se desplazan hacia intervalos de 18 a 25 °C para la temperatura mínima y 29 a 31 °C para la temperatura máxima, sugiriendo una modificación en la idoneidad climática del hábitat como respuesta al cambio climático proyectado. Se observó que temperaturas máximas superiores a 34 °C reducen significativamente la probabilidad de presencia de la especie, indicando un umbral térmico crítico para su distribución. En relación con la precipitación, los resultados señalaron que rangos moderados entre 30 y 100 mm favorecen la presencia del mono aullador, mientras que valores extremos limitan la idoneidad del hábitat. En conjunto, los resultados evidencian que la distribución potencial de *A. palliata* está estrechamente condicionada por variables climáticas, particularmente la temperatura, y resaltan la necesidad de considerar escenarios futuros de cambio climático en la planificación de estrategias de conservación y manejo de hábitats en ecosistemas tropicales.

Palabras claves: modelo de predicción, MIRAC6, distribución potencial, hábitat, *A. palliata*

Introducción

El mono aullador (Figura 75), es una especie emblemática de los bosques tropicales de América Central y del Sur, destacándose por su notable vocalización y su rol ecológico en los ecosistemas que habita (Bolt *et al.* 2020). Se les denomina aulladores debido a su manera de comunicarse, que se caracteriza por potentes vocalizaciones dirigidas tanto a los miembros de su grupo como a otras tropas cercanas (Mendoza 2023). Su importancia ecológica radica en su capacidad para transportar y depositar semillas que contribuyen significativamente a la regeneración de bosques tropicales fragmentados (Naranjo 2009).

Si bien hoy en día uno de los factores que está afectando la distribución de especies a nivel global es el cambio climático, el cual altera las temperaturas y precipitaciones, se estima que muchas especies podrían perder o verse reducido su área de distribución de lo que está previsto, teniendo en cuenta la variabilidad poblacional y las barreras geográficas (Valladares y Bastos Araujo 2014). Dicho fenómeno ocurre ya que las especies poseen límites térmicos y así mismos límites de humedad, que al momento de ser sobrepasados por los efectos del cambio climático presentan una disminución de su área de distribución (Gutiérrez y Trejo 2014), debido a que hoy en día existe este fenómeno pueden ocasionarse dificultades al momento de desplazamiento y dispersión de las especies limitando la capacidad de adaptación frente al cambio climático.



Figura 75. Imagen del mono aullador (macho).

En este contexto, el uso de modelos climáticos y herramientas de modelación ecológica se ha convertido en una estrategia fundamental para evaluar los posibles efectos del cambio climático sobre la distribución de las especies. La plataforma WorldClim cuenta con 23 modelos climáticos globales GSM, con diferentes periodos de tiempo que van desde el 2021 al 2100 cada modelo climático cuenta con cuatro escenarios climáticos (SSP126: más bajas emisiones de gases de efecto invernadero, SSP245, SSP370, SSP585: más altas emisiones de gases de efecto invernadero) (Figura 76), los cuales representan las concentraciones de gases de efecto invernadero y actividades antropogénica (Worldclim 2020).

De acuerdo con el último informe que emitió el IPCC, está previsto que las temperaturas pueden llegar a aumentar entre los 1.5°C y 2°C (IPCC 2021). Dichos modelos y escenarios climáticos permiten realizar la predicción a tiempo futuro y así poder simular los cambios de hábitats de la distribución de especies en los diferentes tipos de escenarios climáticos (Gil y Escobar 2014). El modelo empleado para esta investigación es el MODELO MIROC 6, Este modelo se utiliza para realizar predicciones climáticas que incluyen condiciones atmosféricas, oceánicas y de hielo marino (Shiogama y Manabu 2019).

El escenario climático SSP585 es una proyección de alto impacto que representa un futuro con un crecimiento económico elevado y una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, sin políticas significativas de mitigación del cambio climático. En este escenario, las concentraciones de gases de efecto invernadero aumentan drásticamente lo que implica un calentamiento global extremo y cambios severos en el clima, como incremento de temperaturas, patrones intensos de precipitación y fenómenos extremos (Böttinger y Kasang 2016).

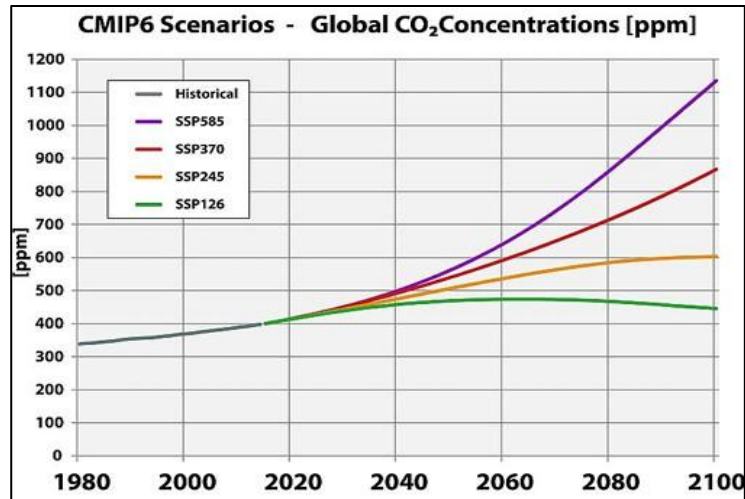


Figura 76. Escenarios climáticos/socioeconómicos.

En la actualidad existen diferentes modelos como GAM, GARP, MaxEnt, en este caso el modelo MaxEnt se basa en dar respuestas de predicciones en base a datos de ocurrencia. La presente investigación se orienta a analizar la distribución potencial del mono aullador en CADETH-AMR, considerando variables climáticas clave y escenarios climáticos, con el fin de aportar información científica que sirva de base para la conservación de la especie y la gestión sostenible de su hábitat.

Objetivo

Determinar los cambios en la distribución potencial del mono aullador (*Alouatta palliata*) asociada a la cobertura vegetal en el CADETH-AMR, mediante modelación de variables ambientales en el periodo de tiempo actual 1970-2000 y proyección futura 2021-2040, bajo el modelo MIROC6 y escenario ssp585.

Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y correlacional, integrando métodos cuantitativos y cualitativos, con el fin de analizar la influencia de las variables ambientales sobre la distribución potencial del mono aullador en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Pico Bonito, específicamente en el área CADETH-AMR, municipio de La Masica, departamento de Atlántida. El diseño metodológico se estructuró en etapas secuenciales, las cuales se describen a continuación:

Etapas de planificación. Durante esta fase se estableció un cronograma de monitoreo biológico que abarcó los meses de febrero, marzo, abril y mayo de 2025. Los muestreos se realizaron en dos franjas horarias: horario matutino (06:00–09:00 h) y horario vespertino (15:00–17:00 h), periodos en los cuales se registra mayor actividad del *A. palliata*. El esfuerzo de muestreo comprendió dos semanas por mes, con jornadas de campo de lunes a viernes, garantizando una cobertura temporal representativa. Asimismo, se diseñó un formato estandarizado de registro y tabulación de datos para la recolección sistemática de la información en campo.

Las variables registradas incluyeron:

Fecha, localidad, hora de observación, número de tropa, número total de individuos, así como la estructura poblacional, diferenciando machos, hembras, juveniles e infantes (Figura 77). De manera complementaria, se recolectó información sobre la vegetación asociada a la presencia de *Alouatta palliata*, registrando nombre común, nombre científico, origen de la especie, familia botánica y observaciones relacionadas con el uso del hábitat y la cobertura vegetal. La identificación taxonómica de las especies vegetales y la validación de los registros fueron realizadas con el apoyo de un técnico agroforestal, asegurando la precisión y confiabilidad de los datos.

Etapa de levantamiento de información en campo. Se realizó mediante recorridos por transectos ya establecidos (senderos) y transectos que no estaban establecidos (áreas que no tenían acceso) una vez localizados en el punto más cercano a la tropa se estuvo utilizando el par de binoculares que fue útil para saber su tipo de comportamiento, tipo de sexo y la interacción que estos tenían entre ellos mismos o con las tropas más cercanas, por otra parte, se utilizó un equipo de audición (parlante), para poder atraer las tropas que se encontraban en un área fuera de acceso. De igual forma, se obtuvieron coordenadas para obtener la ubicación de las tropas y su vegetación asociada para relacionar la distribución de la especie con su entorno.



Figura 77. a) macho, b) hembra, c) juvenil y d) infantes.

Etapa de análisis de datos. Una vez ya identificados los puntos de distribución y tipo de vegetación, se ordenó la información registrada en campo para determinar la composición de las tropas, comportamientos observados y el tipo de vegetación el cual está asociado en cuanto a su presencia. Seguidamente se realizó la descarga de variables ambientales (temperatura mínima, temperatura máxima, y precipitaciones) de la plataforma de WorldClim https://worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.html de los meses de febrero, marzo, abril y mayo, durante el periodo de tiempo actual (1970 al 2000) y un periodo futuro de (2021- 2040), se utilizó el modelo MIROC6 y bajo el escenario ssp585 con una resolución de 30 segundos, para la selección del modelo fue en función con la investigación de (Argeñal 2010), que simula la variabilidad climática de Honduras.

Resultados y discusión

Durante el estudio realizado en los meses de febrero, marzo, abril y mayo del 2025 se obtuvieron 42 puntos de distribución (Figura 78).

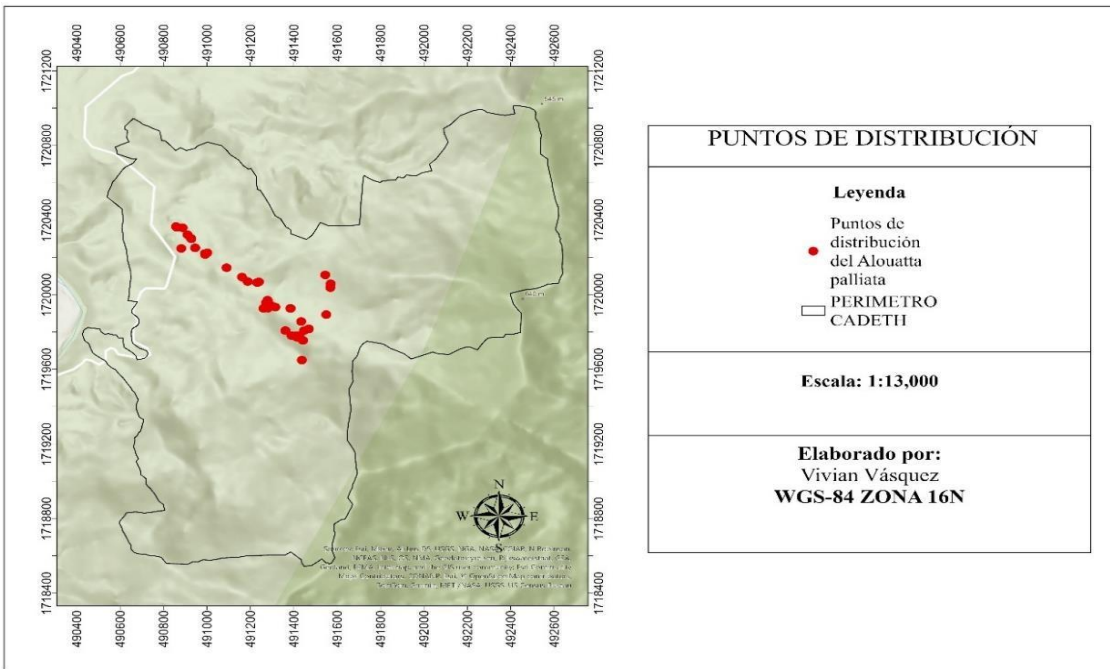


Figura 78. Mapa puntos de distribución *Alouatta palliata*.

Se realizó un monitoreo biológico, donde se registró un total de 133 individuos los cuales estaban distribuidos en 40 tropas. La semana 1 presentó la mayor abundancia con 11 tropas y 32 individuos, seguida de la semana 6 con 30 individuos en 9 tropas. Las semanas 2 y 4 mostraron valores similares (22 individuos en 7 tropas y 25 individuos en 6 tropas), mientras que las semanas 3 y 5 registraron cifras iguales, con 4 tropas, con una diferencia de 2 individuos (Cuadro 57). Estas bajas concentraciones poblacionales están asociadas a condiciones climáticas adversas, especialmente episodios de alta precipitación que afectaron tanto el desplazamiento como la detectabilidad de las tropas en el área de estudio, lo que evidencia la influencia de factores ambientales sobre la dinámica espacial y temporal de la especie.

Cuadro 57. Población encontrada por tropas.

Tropas semanales	Fecha de monitoreo	Total de tropas	♂	♀	J	I	Población
T-semana1	10/02/25-14/02/25	11 tropas	8	18	5	1	32
T-semana2	24/02/25-25/02/25	7 tropas	5	12	3	2	22
T-semana3	10/03/25-14/03/25	4 tropas	4	5	1	1	11
T-semana4	24/03/25-28/03/25	6 tropas	6	12	3	4	25
T-semana5	07/04/25-11/04/25	3 tropas	4	6	1	2	13
T-semana6	28/04/25-02/04/25	9 tropas	8	12	7	3	30
6		40	35	65	20	13	133

♂ macho ♀ hembra J: Juvenil I: Infantil

Durante el periodo de estudio se registraron 12 especies arbóreas (Cuadro 58) las cuales estaban asociadas a la presencia de *Alouatta palliata*, pertenecientes a diferentes familias botánicas, la selección de especies refleja la preferencia por árboles que ofrecen recursos alimenticios como hojas tiernas, frutos, flores o brotes, así como estructuras adecuadas para el descanso y desplazamiento. Entre las especies con mayor número de individuos observados destacan *Terminalia superba* con 30 individuos en 7 avistamientos, *Vochysia guatemalensis* con 17 individuos en 8 avistamientos, y *Cecropia peltata* con 16 individuos en 5 avistamientos.

Estas especies presentan características comunes como follaje accesible, abundante producción de hojas jóvenes y presencia en áreas con buena entrada de luz, lo que facilita su aprovechamiento por los *Alouatta palliata*. Así mismo, *Virola koschnyi* fue utilizada por 14 individuos en 4 ocasiones, lo que resalta su importancia dentro de la dieta o como recurso puntual en la zona. Otras especies, como *Paullinia cupana*, *Ceiba pentandra* y *Theobroma cacao*, aunque presentaron menor número de individuos por especie, también representan recursos complementarios que diversifican la dieta y ofrecen alternativas durante la escasez estacional de alimento y mejoran su desplazamiento.

Cuadro 58. Especies arbóreas asociadas a *Alouatta palliata*.

Nombre común	Nombre científico	Familia Vegetal	Número de veces avistados	Número de individuos por especie
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Combretaceae	1	3
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i>	Vochysiaceae	5	16
Limba	<i>Terminalia superba</i>	Cecropiaceae	7	30
Sangre rojo	<i>Virola koschnyi</i>	Myristicaceae	4	14
Cojón de burro	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	Malvaceae	1	4
Zapote	<i>Pouteria sapota</i>	Apocinaceae	1	5
Zorra	<i>Schizolobium parahybum</i>	Sapotaceae	2	6
San Juan	<i>Vochysia guatemalensis</i>	Fabaceae	8	17
Bejuco	<i>Cissus verticillata</i>	Vitaceae	4	7
Guayacán	<i>Guayacán sanctum</i>	Zygophyllaceae	1	4
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	Bombaceae	3	13
Guaraná	<i>Paullinia cupana</i>	Sapindaceae	5	11

Verde: alta, rojo: media, amarillo: baja

La Figura 79, muestra la cantidad de individuos de *A. palliata* observados en árboles agrupados por familia botánica. En el cual destaca la familia Combretaceae, con 30 individuos, esta cifra convierte a Combretaceae en la familia más relevante para *A. palliata* en el área de estudio, por características estructurales del árbol como su copa amplia y accesible, la segunda familia con mayor número de individuos es Vochysiaceae, con 17 registros, una especie nativa común en bosques tropicales húmedos. Le sigue Cecropiaceae, con 16 individuos, lo cual concuerda con numerosos estudios que destacan al guarumo como un árbol clave.

Otras familias de relevancia son Myristicaceae (14 individuos), Sapindaceae (11) y Vitaceae (7), todas utilizadas por el grupo, aunque en menor proporción.

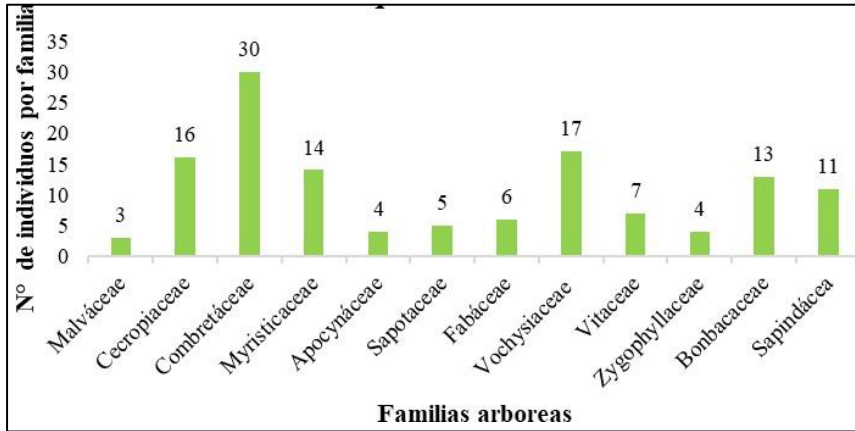


Figura 79. Cantidad de monos aulladores agrupados por familia de árboles donde se avistó.

El análisis Jackknife indica que variable ambiental afecta la distribución de la especie. Para esta investigación la precipitación de febrero afecta la distribución del *Alouatta palliata* con el valor más alto con un 0.87 de probabilidad de modelación al igual que la precipitación de marzo, así mismo, las temperaturas como ser mínima de mayo y la temperatura máxima de mayo están en un rango de probabilidad de 0.85, las temperaturas de febrero y abril presentan un rango de 0.84 y 0.85. Estas variables son las que presentan la probabilidad de afectar la especie en su distribución (Figura 80).

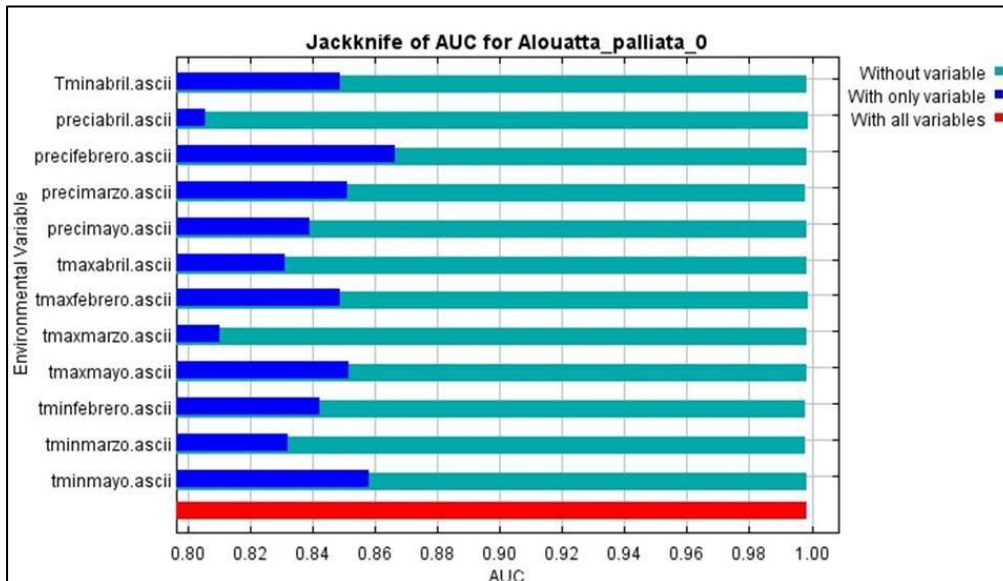


Figura 80. Probabilidad de presencia del mono aullador por mes, según temperaturas y precipitación, periodo de tiempo actual 1970-2000.

Las curvas de respuesta generadas para el periodo de 1970-2000 en cuanto a la temperatura mínima, en febrero y marzo las probabilidades de encontrar la especie son de un 75-85 % a partir de los 16° C hasta los 24 °C, en cambio en temperaturas mínimas del mes de abril y mayo son a partir de los 20 ° a los 24 °C las condiciones de probabilidad se mantienen bajas con probabilidades del 75 % en rangos de distribución. En la temperatura máxima, de febrero y marzo la especie se puede encontrar a partir de los 27° hasta los 32 °C lo cual representa rangos de distribución que van desde un 75 %

de probabilidades, en cambio en el mes de abril y mayo en rangos de 30 ° hasta los 34°C las probabilidades se mantienen bajas de un 74 % de distribución debido a condiciones climáticas no favorable para la especie en este mes.

Para la variable de precipitación en el mes de febrero a partir de los 55 mm a los 100 mm los rangos de probabilidades son altos de un 80 % de distribución, sin embargo, la precipitación de marzo y abril a partir de rangos de 25 mm a 45 mm con probabilidades del 75 %, en cambio para el mes de mayo los rangos de distribución van de un 65 % a partir de los 80 mm a los 90 mm lo cual indica rangos muy bajos de distribución.

La prueba de Jackknife en el periodo 2021-2040 indican que, la temperatura máxima de mayo y la precipitación de febrero son las variables que más afecta la distribución de la especie, con un rango de 0.86. Así mismo, las variables de temperaturas máximas y mínima de los meses de febrero y abril, precipitaciones de marzo y mayo tienen una probabilidad de afectar la distribución de la especie con un rango del 0.84-0.85 (Figura 81).

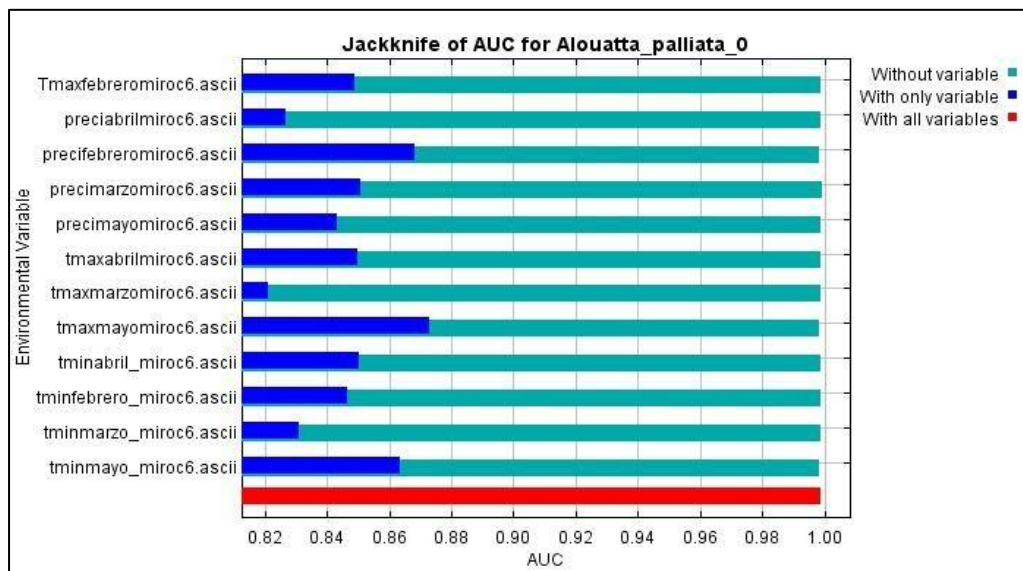


Figura 81. Probabilidad de presencia del mono aullador por mes, según temperaturas y precipitación, periodo de tiempo actual 2021-2040.

Las curvas de respuesta generadas a partir del periodo de 2021-2040 en relación con la temperatura mínima, las mayores probabilidades de distribución de la especie son a partir de los 18° a los 25°C alcanzando valores de distribución de un 73 % dichos resultados evidencian las condiciones óptimas, en relación con el periodo anterior. Para temperatura máxima, las probabilidades de presencia más altas se registran entre los 29° a los 31°C, con valores de 75-80 %, mientras que, a partir de los 33°C a 34°C las probabilidades son bajas, lo que sugiere que el aumento de temperaturas extremas reduce la distribución del *Alouatta palliata*. Finalmente, respecto a la precipitación, en rangos de 30mm a 100mm las probabilidades de presencia son de un 80-65 % representando que las altas precipitaciones, el exceso de lluvias representa condiciones menos favorables para la distribución de la especie.

El análisis de los cambios de distribución de la especie *Alouatta palliata* muestra las diferencias entre el periodo actual (1970-2000) y el futuro proyectado (2021-2040). Durante el periodo

histórico, la especie presentó rangos de distribución altos en la zona central y sur del área de estudio, con probabilidades altas de 0.91 rango de probabilidad de encontrar la especie. Sin embargo, las proyecciones climáticas para el futuro bajo el modelo MIROC6 y el escenario ssp585 muestra una reducción de áreas presentando probabilidad de presencia menores de un 0.89 que las del periodo presente 1970-2000 (Figura 82).

Los resultados obtenidos permiten evidenciar las tendencias de cambios. Las zonas en color rojo representan pérdidas de hábitats bajo escenarios futuros, las zonas de color verde reflejan condiciones favorables mientras que las de color amarillo indican áreas estables, ya que representa una fracción menor, dichas áreas, podrían funcionar como refugios climáticos (Figura 82). Sin embargo, es importante destacar que tanto las áreas de color verde como las de amarillo no están exentas a cambios, ya que factores actuales como la variabilidad climática, los asentamientos humanos, la deforestación y otras actividades antropogénicas pueden llegar a reducir la idoneidad del hábitat, limitando así la permanencia de la especie en estas áreas. Los resultados obtenidos permiten evidenciar las tendencias de cambios, donde las zonas en color rojo representan pérdidas de hábitats, las zonas de color verde y amarillo reflejan condiciones favorables para la especie. Sin embargo, es importante destacar que estas áreas están susceptibles a cambios climáticos y actividades antropogénicas pueden llegar a reducir la idoneidad del hábitat, limitando así la permanencia de la especie en estas áreas.

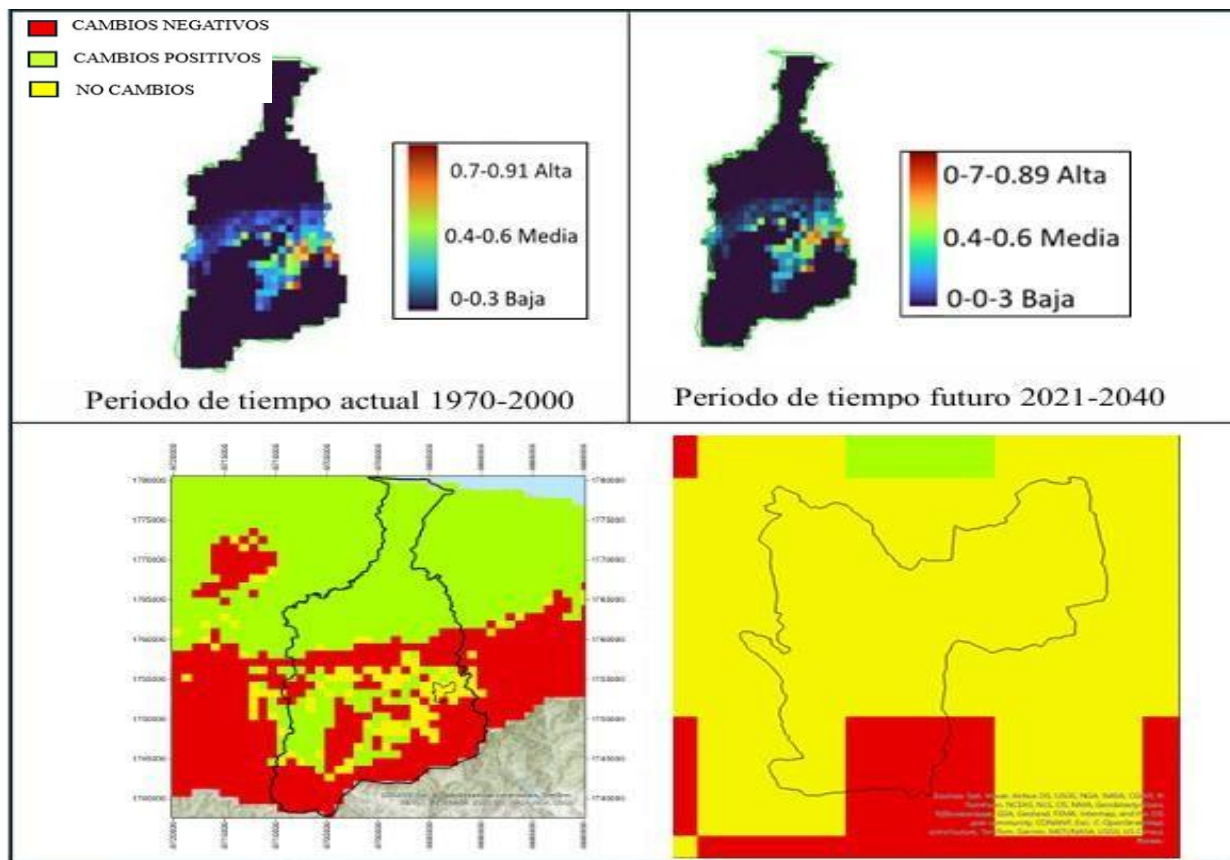


Figura 82. Comparación de cambios presentes y futuros en la distribución de la especie.

Conclusiones

- El estudio permitió identificar los puntos de distribución actual del mono aullador (*Alouatta palliata*) en el centro CADETH-AMR, los cuales estaban asociados principalmente a coberturas vegetales de bosque tropical húmedo y a especies arbóreas claves como *Cecroía peltata*, *Terminalia superba* y *Voshysia guatemalensis*, asociándose entre la presencia de la especie y la disponibilidad de recursos vegetales.
- La modelación para el periodo de 1970-2000 evidenció que los rangos de temperatura mínima entre 16°-24°C, máxima entre 27°-32°C, y precipitaciones moderadas de 55mm-100 mm las cuales, constituyen a condiciones climáticas más favorables para la especie, lo que coincide con la ecología del *Alouatta palliata*.
- En el escenario futuro 2021-2040 bajo el escenario ssp585 presentaron rangos de condiciones óptimas, desplazándose a temperaturas mínimas de 18°-25°C y máximas de 29°-31°C, a partir de los 34°C las probabilidades son bajas para encontrar la especie, mientras que los excesos de precipitaciones reducen la presencia del hábitat, este resultado refleja un incremento de vulnerabilidad de la especie frente al cambio climático.
- Los mapas comparativos de cambios en el área de estudio muestran que las zonas experimentarían pérdida (área roja), mientras que las demás zonas se mantienen relativamente estables, funcionando como posibles refugios climáticos para la especie.
- Las predicciones futuras confirman que, la distribución futura del *Alouatta palliata* dependerá no solo de factores climáticos, sino también de la deforestación, la fragmentación del bosque generando reducción del hábitat.

Literatura citada

- Argeñal, F. (2010). Variabilidad y cambio climáticos en Honduras (en línea). Honduras. 85 p. Disponible en: <https://acchonduras.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/10/variabilidad-y-cambio-climatico-honduras2010.pdf>
- Bolt, L. M., Russel, D. G., Coggeshall, E. M. C., Jacobson, Z. S., Johnson, C. M., & Schreier, A. L. (2020). Howling by the river: howler monkey (*Alouatta palliata*) communication in an anthropogenically-altered riparian forest in Costa Rica (en línea). ResearchGate. DOI: <https://doi.org/10.1163/1568539X-00003582>
- Böttlinger, M., & Kasang, D. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (en línea). Consultado 11 sep. 2025. Disponible en: <https://www.dkrz.de/en/communication/climate-simulations/cmip6-en/the-ssp-scenarios/>
- Gil-Fernández, M., & Escobar-Lasso, S. (2014). Desplazamiento y patrones de actividad de *Alouatta palliata* en dos tipos de bosque en Costa Rica (en línea). Consultado 5 sep. 2025. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/306394950>
- Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco

- especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 179–188. Disponible en: ScienceDirect
- IPCC. (2021). Cambio climático 2021: Bases físicas. Resumen para responsables de políticas (en línea). Suiza. Disponible en:
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf
- Mendoza, E. M. (2023). Monos aulladores y su forma de comunicarse. *Pregones de Ciencia*, 1, 74–83. DOI: <https://doi.org/10.25009/pc.v1i1.9>
- Merow, C., Silander, J., & Smith, M. J. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter (en línea). ResearchGate. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/264532217>
- Naranjo, M. C. G. (2009). Dispersión de semillas por parte de *Alouatta seniculus* en fragmentos de bosque (San Martín, Meta). Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en: <https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/eb6e3476-d393-4fb0-9309-e393d835ae21/content>
- Shiogama, H., & Manabu, H. (2019). CMIP6: Resultado del modelo MIROC6 preparado para el escenario CMIP6 (en línea). Consultado 11 sep. 2025. Disponible en: <https://www.wdc-climate.de/ui/cmip6?input=CMIP6.ScenarioMIP.MIROC.MIROC6>
- UICN; CITES. (2015). Mono aullador de manto (Saraguato de manto) (en línea). 2 p. Disponible en: <https://simec.conanp.gob.mx/Publicaciones2020/Publicaciones%20CONANP/Parte%202/Monitoreo/2016%20Ficha%20Mono%20aullador%20de%20manto.pdf>
- Valladares, F., & Bastos Araujo, M. (2014). La distribución de especies prevista ante el cambio climático empeora al tener en cuenta su variabilidad poblacional (en línea). Museo Nacional de Ciencias Naturales. Consultado 5 sep. 2025. Disponible en: https://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/comunicacion/2014/09_septiembre/distribucion_especies/10_septiembre_distribucion_especies.pdf
- WorldClim. (2020). Datos climáticos futuros. Documentación de WorldClim (en línea). Disponible en: <https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html>

VI. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

En esta sección se presentan las actividades orientadas a la transferencia de tecnología, mediante procesos de capacitación que incluyen giras técnicas, talleres y entrenamientos desarrollados en el CEDEC-JAS (Cuadro 1). Asimismo, se incorporan las participaciones en eventos técnicos, así como el desarrollo de capacitaciones y consultorías a nivel nacional e internacional.

6.1. Capacitaciones en CEDEC-JAS

Durante el año 2025, se registró un nivel bajo de participación en actividades de capacitación en el CEDEC-JAS, con un total de 288 personas, en comparación con el promedio de años anteriores, que oscila entre 550 y 950 participantes. Esta disminución en la afluencia está estrechamente relacionada con la limitada disponibilidad de proyectos y recursos financieros destinados a la asistencia técnica en el sector cacao, los cuales tradicionalmente impulsan la capacitación de productores. En cuanto a la composición de los participantes, se estima que el 69 % corresponde al sector académico, seguido por un 28% de técnicos e investigadores, mientras que únicamente un 2 % a productores. Desde la perspectiva de género, el 70% de los participantes fueron hombres y el 30 % mujeres. No obstante, se destaca una amplia diversidad geográfica, con la participación de visitantes provenientes de 18 países, superando los 14 países registrados en 2024 (Cuadro 59).

Cuadro 59. Capacitaciones y recibimientos de visitas en CEDEC-JAS. Año 2025.

Eventos	E/D	P	T/I	O	H	M	T (día)	Institución	Procedencia
19/2/2024	32				20	12	1	UNACIFOR	Siguatepeque, Comayagua
18/2/2025	3				2	1	1	UNAG	Catacamas, Olancho
4/3/2025	5	1	6		9	3	3	Nacionales (curso de cacao)	Varias
10/3/2025		2			2		5.0	Productores	Olancho
20/3/2025	23				14	9	1.0	Campus Olanchito UNAH	Olanchito
29/3/2025			3		3		0.5	CATIE/FHIA	Honduras/Costa Rica
3/4/2025	16				10	6	1.0	Campus El Paraíso UNAH	Danlí
12/4/2025	41				33	8	1.0	Universidad Da Vinci	Morales, Guatemala
7/5/2025	7				5	2	1.0	UNACIFOR	Siguatepeque, Comayagua
9/5/2025				1		1	1.0	Chocolatera	Francia
21/5/2025			65		51	14	1.0	Heifer Internacional	Varios Países
29/5/2025		1			1		3.0	Productor	Tela, Atlántida
22/8/2025	23				9	14	2.0	Inst. Álvaro Contreras	Limón, Iriona
1/9/2025	10				3	7	0.5	Inst. Gonzalo G. Rodríguez	La Masica
3/9/2025				4	2	2	2.0	IHT	Tegucigalpa, F.M.
26/9/2025	13				11	2	1.0	USAC	Guatemala
17/10/2025	21				19	2	1.0	Esc. Agrícola JFK	San Francisco, Atlántida
28/10/2025	4				2	2	0.5	Esc. Agrícola Virgen de Suyapa	S.P.S el Merendón
19/11/2025			7		5	2	1.0	Halba	Suiza/Honduras
Total (19)	198	4	81	5	201	87	27.5		
						288			

E/D: estudiantes/docentes; P: productores; T/I: técnicos/investigadores; O: otros; H: hombres; M: mujeres; T: tiempo



Heifer Internacional



Curso modernizando la producción de cacao



Estudiantes UNAH, Danlí



Estudiantes universidad Da Vinci, Guatemala

6.2. Ejecución de Actividades técnicas, consultoría y vinculación Institucional

Se observó una tendencia contrastante respecto a las capacitaciones realizadas en CEDEC-JAS, registrándose una alta presencia institucional en campo. En total, se desarrollaron 16 actividades técnicas, con la participación de 22 técnicos y una inversión acumulada de 45 días de trabajo, lo que evidencia una ejecución dinámica y diversificada. Predominaron las acciones de consultoría y desarrollo técnico, incluyendo procesos especializados como la trazabilidad genética, la asistencia técnica a sistemas productivos y diagnósticos silviculturales, reflejando un enfoque orientado a la generación y aplicación de conocimiento. De manera complementaria, se destacó una participación relevante en eventos técnicos y científicos, así como en la presentación de resultados a nivel nacional e internacional, fortaleciendo la transferencia de conocimientos y el posicionamiento institucional. Asimismo, las actividades de asistencia técnica puntual contribuyeron al fortalecimiento de capacidades en campo y a la mejora de la calidad productiva. En conjunto, estas acciones evidencian una adecuada articulación entre investigación, extensión y vinculación institucional, con impacto a nivel nacional y regional.

Cuadro 60. Actividades de transferencia de tecnología de desarrollo de consultoría nacional e internacional. Año 2025.

Fecha	Evento	Objetivo	Técnicos	T (día)	Lugar
25/2/2025	Ruta turística de cacao y chocolate y socialización de proyecto de FONTAGRO enfocado a la creación de denominaciones geográficas.	Socialización de proyecto	2	1	Laguna de Cacao, Jutiapa, Atlántida.
marzo/abril	Consultoría sobre trazabilidad genética en bancos de germoplasma, IPSA-MOCCA.	Desarrollo de consultoría	1	9	RACCN, Nicaragua.
Enero a mayo	Contrato de Asistencia técnica a finca Corinto Pearl Eco Development S. A. (4 visitas)	Desarrollo de consultoría	1	4	El Porvenir, Atlántida
abril/mayo	Presentación de resultados en el 67º Congreso del PCCMCA (Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales).	Presentación de resultados	1	7	San Salvador, El Salvador.
22/6/2025	Socialización del reglamento multas y sanciones del recurso forestal en ICF La Ceiba.	Participación	1	0.5	La Ceiba, Atlántida.
7/5/2025	Evento de cata de chocolates para la premiación de los tres mejores en la Feria de Agromercados Salón de Cacao y chocolate. S.P.S.	Asistencia técnica	2	0.5	San Pedro Sula, Cortes.
8/5/2025	Evaluación de bellotas de cacao para premiación de la bellote de oro, en la Feria de Agromercados Salón de Cacao y chocolate. S.P.S.	Asistencia técnica	3	0.5	San Pedro Sula, Cortes.
15/5/2025	Conferencia magistral Manejo de sombra y marcos de plantación en los componentes de sistemas agroforestales.	Presentación de resultados	1	0.5	Virtual.
29/5/2025	2ª Reunión Ordinaria de este Comité Nacional de cadena de cacao, Secretaría de Agricultura y Ganadería	Presentación de resultados	1	1	San Pedro Sula, Cortes.
30/5/2025	Visita silvicultora (8 mz de caoba del atlántico) ubicada en Villanueva, Cortés para hacer un diagnóstico de su cultivo.	Desarrollo de consultoría	1	1	Villanueva, Cortes.
7 al 9 /10/2025	Participación en el Congreso Internacional de Cacao 2025, organizado por el CATIE.	Participación	1	6	CATIE, Costa Rica.
9 al 11 /10/2025	Taller “Elaboración de biotecnologías orgánicas con enfoque en regeneración del suelo”, Finca Clave de Sol, El Rincón.	Participación	2	3	Marcala, La Paz
3 al /11/2025	Congreso de Investigación y Posgrado, Ciencia, Empresa y Ambiente: Innovación para un desarrollo sostenible, organizado por la UNAH Campus Yoro.	Presentación de resultados	1	1	Olanchito, Yoro.
10 al 12 /11/2025	Participación en reunión Anual de Evaluación del Año 1 del Proyecto Cacao KoLFACI-CATIE.	Presentación de resultados	1	4	Panamá, Panamá.
20/11/2025	4.ª Reunión del Comité Nacional de Cadena de Cacao de Honduras	Presentación de resultados	2	1	San Pedro Sula, Cortes.
9 al 11 /12/2025	Participación Días de Campo Prácticos diplomado CATIE,	Desarrollo de consultoría	1	5	San Francisco de Macoris, Republica Dominicana.
Total (16)			22	45	



MOCCA-IPSA, Nicaragua



67° Congreso del PCCMCA



Capacitación en República Dominicana



Finca Clave del Sol, Abonos orgánicos



Congreso científico UNAH Olanchito



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

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

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

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

FHIA

- 📍 Contiguo a Instituto Patria, La Lima, Cortés, Honduras
- ☎️ (504) 9305-8332
- ✉️ fhia@fhia-hn.org
- 📮 Apartado Postal 2067. San Pedro Sula, Cortés, Honduras

CEDEC-JAS

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

CADETH-AMR

- 📍 Centro Agroforestal Demostrativo del Trópico Húmedo - Adolfo Martínez Rondanelli
- 📍 El Recreo, La Masica, Atlántida, Honduras
- ☎️ (504) 9519-2988
- ✉️ cacao_prog@fhia-hn.org

CEDEH

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



www.fhia.org.hn



FHIA



FHIAHn



FHIA_HN

“Contribuyendo a reducir la pobreza”