

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



Evaluación de la diversidad biológica en fincas de café bajo sistemas agroforestales
en el norte de Lempira

PROYECTO DE TESIS

Presentado a la Universidad Nacional de Agricultura como requisito previo a la
realización del trabajo de investigación

Por

Eliezer Josué Martínez Lara

Catacamas, Olancho

Agosto 2026

**Evaluación de la diversidad biológica en fincas de café bajo sistemas agroforestales
en el norte de Lempira**

Por:

Eliezer Josué Martínez Lara

M. SC. JORGE DAVID ZUNIGA MEJIA

Director de Tesis

TESIS

**Presentado como requisito para obtener el título de
INGENIERO EN GESTION INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES**

Catacamas, Olancho

Agosto 2026

DEDICATORIA

A Dios, por ser el fundamento de mi vida, mi fortaleza y mi guía en cada paso de este camino. Por darme sabiduría para afrontar cada desafío, fuerzas para continuar en los momentos difíciles y la oportunidad de alcanzar una meta que durante años representó esfuerzo, sacrificio y perseverancia.

A mis padres, María de los Ángeles Lara y Arturo Martínez, pilares fundamentales de mi vida y de mi formación. Este logro lleva consigo cada uno de sus esfuerzos, sacrificios, consejos y palabras de aliento. Gracias por creer en mí, por enseñarme que las metas se alcanzan con trabajo, humildad y perseverancia y, sobre todo, por brindarme siempre su apoyo incondicional

A mis hermanos, Gracia Martínez Lara y Jayro Arturo Martínez Lara, por ser parte esencial de mi vida y una de mis mayores motivaciones para seguir adelante. En ustedes he encontrado razones para superarme y continuar luchando por mis metas. Deseo que este logro también sea una inspiración para que nunca dejen de creer en sus sueños y recuerden que, con esfuerzo y determinación, es posible alcanzar aquello que se proponen.

A la memoria de mis abuelos, Rafael Martínez y Feliciano Lara, quienes hoy descansan en el cielo, pero cuyo recuerdo, enseñanzas y cariño permanecen presentes en mi corazón. Aunque no puedan acompañarme físicamente en este momento tan importante, forman parte de mis raíces y de la persona que hoy soy. Con profundo cariño y respeto, este logro también está dedicado a ustedes.

A mi abuela Mélida Espinoza, con especial cariño y gratitud. Tener la dicha de compartir con usted este momento representa una bendición invaluable. Gracias por su amor, sus consejos y por ser parte de mi vida y de mi familia.

A mi familia, que estuvo presente a lo largo de este proceso y que, de distintas maneras, contribuyó a mi crecimiento personal y académico

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía y fortaleza durante todo este camino, por concederme sabiduría, perseverancia y la oportunidad de culminar satisfactoriamente esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, María de los Ángeles Lara y Arturo Martínez, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica

A mis hermanos, Gracia Martínez Lara y Jayro Martínez Lara, por su cariño, compañía y motivación constante, siendo parte importante de este proceso y de cada logro alcanzado.

A mis compañeros, Ángel Castillo, Guillermo Escobar, Said Colindres y Roberto Gonzales, por su amistad, compañerismo y apoyo durante nuestra formación universitaria, así como por las experiencias y aprendizajes compartidos a lo largo de este camino.

Al Instituto de Conservación Forestal (ICF), por el apoyo brindado y por contribuir al fortalecimiento de mi formación profesional y al desarrollo de este proceso de investigación.

A mis asesores, M. Sc. Jorge David Zúñiga, PhD. Juan Pablo Suazo y M. Sc. Yoni Antúnez, por su orientación, conocimientos y valiosos aportes técnicos durante el desarrollo de esta investigación, los cuales fueron fundamentales para su culminación.

CONTENIDO

I	INTRODUCCIÓN	10
II	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo General.....	12
2.2	Objetivos Específicos	12
III	HIPÓTESIS.....	13
IV	REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
4.1	Estado del conocimiento con forestería con café.....	14
4.2	Diversidad funcional y resiliencia ecológica en los SAF (Sistemas Agroforestales)-CAFÉ ..	15
4.2.1	Comprensión y establecimiento de un método común para todos los procesos.....	15
4.3	Beneficio ecológico de la sombra en cafetales.....	15
4.4	Los SAF (Sistemas Agroforestales) como alternativa frente a la crisis climática	16
4.5	Cafetales con sombra como corredores biológicos	16
4.6	Evidencia empírica de la estructura vegetal y la fauna asociada	17
4.7	Enfoque técnico y manejo sostenible de los SAF (Sistemas Agroforestales)-CAFÉ	17
4.8	Participación comunitaria y sostenible social en cafetales.....	18
4.9	Retos y perspectivas de la forestería con café en América Latina	18
4.10	Aves en sistemas cafetaleros: servicios ecosistémicos y diseño de sombra.....	18
4.10.1	Aves asociadas a sistemas agroforestales con café	19
4.10.2	Impacto de complejidad de sombra y la participación de las aves.....	19
4.10.3	Valor económico y ecológico del control biológico por aves.....	20
4.11	Servicios complementarios y dispersión de semillas.....	21
4.12	Mamíferos en cafetales de sombra: conectividad limitaciones y oportunidades.....	23
4.12.1	Mamíferos y roles ecológicos, su interacción con aves y estructura del SAF	24
4.12.2	Sinergias, competencias y compromiso entre aves, mamíferos y estructura del SAF (Sistemas Agroforestales).	25
4.13	Implicaciones de muestreo y variables estructuras a medir	26
4.13.1	Diseño de muestreo y variables estructurales a medir	26
4.13.2	Variables estructurales a medir	26
V	MATERIALES Y METODOS.....	29
5.1	Descripción de área de estudio.....	29
5.2	Materiales y equipo	30
5.3	Enfoque Metodológico	30
5.4	Variables Evaluadas	32
5.5	Sistemas Agroforestales (SAF)	33
5.5.1	Selección de fincas y unidades de muestreo.....	33
5.5.2	Criterio de selección de las finca	33
5.5.3	Diseño del muestreo	34
5.5.4	Registro de componentes arbóreos y análisis estructural	37
5.5.5	Integración de variables ecológicas, sociales y productivas.....	42

5.5.6	Análisis de datos, compensaciones y relaciones con biodiversidad.....	43
5.5.7	Limitaciones, viabilidad y manejo de datos	43
5.6	Monitoreo de Aves.....	44
5.6.1	Diseño del muestro de Aves	44
5.6.2	Plan de Monitoreo de Sitios de Investigación.....	45
5.6.3	Calibración de observadores, uso de tecnología y calidad de datos.....	46
5.6.4	Registro y categorización de datos de aves	46
5.6.5	Analisis de la comunidad de aves y su relacion con la estructura del sistema agroforestal (SAF)	47
5.7	Mamiferos	49
5.7.1	Diseño de Muestreo patra Mamiferos.....	49
5.8	Diagnóstico productivo en las fincas de café.....	50
5.8.1	Delimitación de la parcela de estudio	50
5.8.2	Diagnostico general de la finca	51
5.8.3	Incidencia de Roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) y broca (<i>Hypothenemus hampei</i>).....	52
5.8.4	Relacion del café con el componente café, aves y mamiferos.....	53
5.8.5	Evaluacion y analisis Integral del sistema cafetalero	53
VI	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
6.1	Riqueza de especies abóreas por municipio	54
6.1.1	Distribucion diamétrica general	56
6.1.2	Distribucion de clases diametricas Municipio de La Campa.....	58
6.1.3	Distribución diamétrica de Belén, Lempira	59
6.1.4	Distribución diamétrica de Lepaera, Lempira.....	61
6.1.5	Distribución diamétrica de Gracias, Lempira	62
6.1.6	Distribucion general de alturas de las fincas	64
6.1.7	Analisis descriptivo y comparativo de Biomasa aérea y Carbono acumulado	66
6.2	Composición taxonómica de la avifauna registrada	70
6.2.1	Riqueza, abundancia y diversidad de aves entre sitios.....	72
6.2.2	Similitud y dendrograma	74
6.2.3	Especies compartidas y exclusivas entre sitios	76
6.2.4	Comparacion de la riqueza mediante curvas de rarefacción	77
6.3	Composición, frecuencia de observación y distribución de mamíferos en sistemas agroforestales con café.....	78
6.4	Incidencia de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) y broca (<i>Hypothenemus hampei</i>).	81
VII	CONCLUSIONES	85
VIII	RECOMENDACIONES	86
IX	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXO		94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa general del estudio en el Norte de Lempira.....	29
Figura 2. Distribución espacial de parcelas en La Campa, Lempira.	34
Figura 3. Distribución espacial de parcelas en Belén, Lempira.	35
Figura 4. Distribución espacial de parcelas en Lepaera, Lempira.	35
Figura 5. Distribución espacial de parcelas en Gracias, Lempira.	36
Figura 6. Riqueza de especies arbóreas registradas en sistemas agroforestales con café de cuatro municipios del norte de Lempira.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición taxonómica de la avifauna registrada en los sitios de estudio	71
Tabla 2 . Riqueza, abundancia e índices de diversidad de aves en los cuatro sitios evaluados.....	73
Tabla 3. Índice de similitud de Jaccard y número de especies compartidas entre los sitios evaluados.	74
Tabla 4. Número de especies exclusivas registradas en los sitios de estudio.	76
Tabla 5. Frecuencia y mamíferos encontrados en los sitios.....	78
Tabla 6. Presencia y aporte de los mamíferos por sitio de estudio según percepción de propietarios.....	80

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 . Distribución porcentual de las clases diamétricas (DAP) del componente arbóreo en los sistemas agroforestales con café evaluados en el norte de Lempira. ...	56
Grafica 2. Distribución del DAP promedio por clases diamétricas del componente arbóreo del SAF en la finca del Sr. Sabino Sorto La Campa, Lempira.	58
Grafica 3. Distribución del DAP promedio por clases diamétricas del componente arbóreo del SAF en la finca del Sr. Isabel Perdomo Belén, Lempira.	59
Grafica 4. Distribución del DAP promedio por clases diamétricas del componente arbóreo del SAF en la finca del Sr. German Pérez Lepaera, Lempira.	61
Grafica 5. Distribución del DAP promedio por clases diamétricas del componente arbóreo del SAF en la finca del Sr. José Enemesio Sarmiento Herrera, Gracias, Lempira.	62
Grafica 6. Distribución de los árboles por clase de alturas en los sistemas agroforestales con café del norte de Lempira	64
Grafica 7. Especies con mayor biomasa aérea de las cuatro fincas evaluadas	66
Grafica 8. Especies con mayor captura de carbono de las cuatro fincas evaluadas....	68
Grafica 9. Riqueza de aves por orden.....	72
Grafica 10. Dendrograma de similitud de Jaccard de la composición de aves entre los sitios evaluados.	75
Grafica 11. Curvas de rarefacción individual de la riqueza de aves registradas en Belén, La Campa, Lepaera y Gracias.	77
Grafica 12. Incidencia de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) en sistemas agroforestales con café evaluados en los municipios del norte de Lempira.	81
Grafica 13. Incidencia de broca (<i>Hypothenemus hampei</i>) en sistemas agroforestales con café evaluados en los municipios del norte de Lempira.....	83

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección y registro de datos del componente arbóreo en un sistema agroforestal con café en el Departamento de Lempira	94
Anexo 2. Composición y abundancia de la comunidad de aves registradas en el Departamento de Lempira.....	95
Anexo 3. Composición taxonómica y abundancia relativa de las especies de aves registradas en los sitios de estudio.....	96
Anexo 4. Aplicación de entrevista semiestructurada para el registro de mamíferos asociados a los SAF-Café.	98
Anexo 5. Aplicación de entrevista para el diagnóstico productivo de las fincas cafetaleras evaluadas en el norte de Lempira.....	99
Anexo 6. Implementación de trampas con atrayente para el monitoreo de broca (<i>Hypothenemus hampei</i>) en las fincas cafetaleras evaluadas.	100
Anexo 7. Variedades de café en los 4 municipios del Norte de Lempira.....	101
Anexo 8. Distribución porcentual de los árboles según la categoría de cobertura de sombra en los sistemas agroforestales con café evaluados.	101

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo caracterizar la diversidad biológica y la estructura de los sistemas agroforestales con café (SAF-café) en cuatro fincas del norte de Lempira, Honduras, considerando los componentes de flora, aves, mamíferos y el diagnóstico productivo. Se utilizó un enfoque mixto con predominio cuantitativo, estableciendo tres parcelas de 20 × 20 m por finca para evaluar la composición y estructura arbórea mediante variables como diámetro a la altura del pecho (DAP), altura, cobertura, biomasa aérea y carbono almacenado. Asimismo, se realizaron monitoreos de aves, registros de mamíferos mediante entrevistas semiestructuradas y una evaluación de la incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) y broca (*Hypothenemus hampei*).

Los resultados mostraron diferencias en la composición y estructura de los sistemas evaluados. La Campa presentó la mayor riqueza arbórea, mientras que Belén registró la mayor riqueza y diversidad de aves. En total se identificaron 59 especies de aves, distribuidas en 19 familias y ocho órdenes, destacándose Passeriformes como el grupo de mayor riqueza. Los registros de mamíferos evidenciaron el uso de los cafetales como espacios de alimentación, refugio y desplazamiento, mientras que Gracias presentó la mayor incidencia de roya y broca. En conjunto, los resultados evidencian que los SAF-café constituyen sistemas productivos con importancia para la conservación de la biodiversidad, donde la diversidad arbórea, el manejo de la sombra y las prácticas fitosanitarias son determinantes para fortalecer su sostenibilidad ecológica y productiva.

Palabras clave: sistemas agroforestales, café, biodiversidad, estructura arbórea, aves, mamíferos, sombra, roya, broca, Lempira.

I INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales con café (SAF-café) constituyeron estrategia que integra producción agrícola y conservación ambiental, esenciales para mantener la biodiversidad en zonas cafetaleras. Estos sistemas combinaron el cultivo de café con árboles de sombra y vegetación del sotobosque, generando hábitats heterogéneos que favorecieron la presencia de fauna y flora. Asimismo, su estructura promovió la conectividad ecológica y fortaleció la resiliencia del ecosistema frente a perturbaciones climáticas y biológicas. De igual manera la complejidad vertical y la diversidad funcional del dosel construyeron a la regulación el microclima, la polinización y el control natural de plagas, incremento la sostenibilidad productiva, ecológica y social de las fincas (Valencia F 2014).

La diversidad de flora y fauna, regulación micro climática, reciclaje de nutrientes y soporte de servicios como polinización, control biológico y dispersión de semillas. Síntesis técnicas destacan que el diseño de la sombra, estructura vertical, diversidad funcional y conectividad con remanentes, es determinante para conciliar productividad y conservación. En Honduras, evidencia reciente sugiere que mosaicos agroforestales bien estructurados pueden albergar alta diversidad arbórea comparable a bosques secundarios, abriendo oportunidades para conservación in situ en el paisaje productivo.

Por otra parte, dinámica del paisaje cafetalero en América Latina ha experimentado importantes transformaciones debido a factores económicos, climáticos y biológicos. Estas modificaciones han influido directamente en la composición de la flora y la fauna, especialmente en la densidad y diversidad de sombra implementados por los productores. En este contexto, los resultados obtenidos permitieron comprender que la conservación de la biodiversidad depende, en gran medida, del mantenimiento de sistemas agroforestales con una adecuada estructura vegetal y de su conectividad con

áreas boscosas, aspectos esenciales para equilibrar la producción de café con la conservación de los ecosistemas (Sánchez 2004).

La investigación produjo datos técnicos acerca de la conexión entre los sistemas agroforestales con café y la preservación de la biodiversidad en el norte del departamento de Lempira. Los resultados posibilitaron reconocer la relevancia de estos sistemas para preservar comunidades de aves, mamíferos y flora, proporcionando pruebas científicas que refuerzan el entendimiento acerca del valor ecológico de los cafetales bajo sombra en esta zona.

Además, los hallazgos conseguidos son un recurso para diseñar estrategias de conservación en paisajes productivos y para robustecer las prácticas de gestión que han puesto en marcha productores, técnicos e instituciones asociadas con la industria del café. Por lo tanto, la información producida podrá ayudar a tomar decisiones orientadas a crear sistemas de producción más resilientes y que respeten la conservación de los recursos naturales.

Por último, el estudio posibilitó la evaluación de la biodiversidad existente en plantaciones de café bajo sistemas agroforestales del norte de Lempira e identificó elementos vinculados con la salvaguarda de aves, flora y mamíferos. Según estos resultados, el control apropiado de la sombra, la preservación de la cobertura arbórea y el mantenimiento de la conectividad del paisaje son componentes esenciales para fomentar sistemas agroforestales sustentables que incorporen tanto la producción de café como la salvaguarda de la biodiversidad y el progreso sostenible de las poblaciones rurales.

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Caracterizar la diversidad biológica y la estructura de los sistemas agroforestales con café en cuatro fincas del norte de Lempira, con enfoque en flora, aves, mamíferos y sus roles ecológicos.

2.2 Objetivos Específicos

Describir la composición florística y la estructura (estratos, DAP, altura, cobertura) de los SAF-café.

Estimar la riqueza y la abundancia relativa de aves y mamíferos, identificando sus gremios/roles funcionales.

Realizar un diagnóstico productivo en las fincas de café en el Norte de Lempira.

Analizar la relación entre la complejidad estructural del SAF y las métricas de biodiversidad para proponer recomendaciones de manejo.

III HIPÓTESIS

Hipótesis Nula

La complejidad estructural de los sistemas agroforestales de café no influye o no genera variaciones significativas en los valores de los índices de diversidad.

Hipótesis Alternativa

Las fincas de café con sistemas agroforestales que presentan mayor complejidad estructural es decir mayor diversidad y cobertura de árboles de sombra, sobresaltan y muestran valores más altos de diversidad biológica.

IV REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Estado del conocimiento con forestería con café

Importancia y complejidad de los sistemas agroforestales con café

Los sistemas agroforestales con café (SAF-café) constituyen un modelo productivo biodiverso que ha demostrado incrementar significativamente la diversidad biológica dentro de las fincas cafetaleras. No obstante, la eficiencia de estos sistemas varía de acuerdo con características regionales, lo cual exige una calibración local en las estrategias de manejo de sombra para optimizar los beneficios ecológicos y productivos. Por ello, la selección y gestión de la sombra debe entenderse como un proceso complejo y adaptativo que responde a particularidades ecológicas y socioeconómicas (Sanches y Meza 2024).

Sistemas agroforestales con café y biodiversidad

El café (*Coffea arábica*) es un cultivo tradicionalmente establecido bajo sombra, formando sistemas agroforestales complejos donde interactúan especies arbóreas, arbustivas y herbáceas con múltiples grupos de fauna silvestre. Estos sistemas reproducen, en cierta medida, la estructura del sotobosque tropical y funcionan como refugios para una alta diversidad biológica en paisajes agrícolas dominados por actividades productivas. Diversos estudios han demostrado que los cafetales bajo sombra mantienen una mayor riqueza y abundancia de especies en comparación con sistemas de café a pleno sol, especialmente en regiones tropicales de Mesoamérica (Guadarrama, Virgilio y Martínez, 2021).

4.2 Diversidad funcional y resiliencia ecológica en los SAF (Sistemas Agroforestales)-CAFÉ

La variabilidad regional en los efectos de la sombra sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos se refleja en la diversidad funcional de las especies integradas en los SAF. Especies polinizadoras, proveedoras de frutos y fijadoras de nitrógeno son centrales para la estabilidad micro climática y el suministro continuo de recursos dentro del agroecosistema. Por lo tanto, Honduras, se encuentra en arreglos diversos no solo sostienen alta riqueza arbórea, sino que facilitan ciclos anuales de recursos para fauna y flora local, contribuyendo a la resiliencia del paisaje frente a perturbaciones climáticas y agrícolas. Esta riqueza funcional es fundamental para la función de conservación, producción sostenible y adaptación climática de sistemas cafetaleros (Salas 2024).

4.2.1 Comprensión y establecimiento de un método común para todos los procesos

El conocimiento sistemático sobre la relación entre el manejo agroforestal y la biodiversidad en cafetales tiene aún vacíos importantes, señalando la necesidad de estandarizar indicadores y metodologías para evaluar de forma comparable la biodiversidad y el estado de conservación en diferentes fincas y periodos. Este desafío plantea la urgencia de construir bases de datos robustas, con protocolos armonizados, que permitan evaluar tendencias a largo plazo y guiar políticas y prácticas locales e internacionales de manejo sostenible de SAF (Sistemas Agroforestales) (Valencia F 2014).

4.3 Beneficio ecológico de la sombra en cafetales

Además, la integración de árboles autóctonos en fincas cafetaleras no solo mejora la biodiversidad y funcionalidad ecosistémica, sino que aporta beneficios económicos y sociales para los pequeños productores. Los sistemas con sombra contribuyen a amortiguar el microclima, reducir la volatilidad térmica, mejorar la calidad del suelo a través de aumento del contenido orgánico y retención de agua, y favorecer la presencia de polinizadores y control biológico natural. Estas ventajas técnicas, sumadas a la conservación del hábitat, se convierten en elementos clave para la sostenibilidad de la producción cafetalera en regiones amenazadas por el cambio climático y la degradación ambiental (Soto 2025).

4.4 Los SAF (Sistemas Agroforestales) como alternativa frente a la crisis climática

La crisis climática global afecta directamente la producción de café, en especial la variedad Arábica, reduciendo las áreas aptas para su cultivo y aumentando la vulnerabilidad de los agricultores. En este contexto, los SAF con diversidad arbórea emergen como una alternativa para mitigar la pérdida de especies y preservar los ecosistemas asociados, además de mejorar la capacidad adaptativa de las fincas al reducir la intensidad térmica y conservar humedad durante periodos de sequía.

Su implementación responde a la necesidad urgente de promover modelos productivos que sean socialmente justos y ecológicamente viables, contribuyendo a la resiliencia del sector cafetalero a escala global (NOTICIAS 2024).

4.5 Cafetales con sombra como corredores biológicos

El papel de los cafetales con sombra como corredores biológicos y refugios alternativos ha sido ampliamente identificado en la literatura científica. Estos agroecosistemas permiten la conectividad entre fragmentos de bosque, facilitando el movimiento y la dispersión de especies de mamíferos, aves, insectos y otros grupos faunísticos. La estructura vertical compleja, la cobertura arbórea y la diversidad de estratos vegetales son determinantes en la capacidad de los cafetales para sostener fauna silvestre en paisajes fragmentados, cumpliendo un rol clave en la conservación regional de la biodiversidad y fortaleciendo los servicios ecosistémicos vinculados a la producción agrícola (Sanches Brenes y Monge Meza 2024).

4.6 Evidencia empírica de la estructura vegetal y la fauna asociada

Obtenida en sitios de evidencia que los tres estratos de vegetación (árboles, arbustos y herbáceas), aunque simplificados respecto a un bosque natural, brindan un hábitat adecuado para diversidad de mamíferos y otras especies. La relación directa entre la estructura del dosel y la presencia de fauna silvestre subraya la importancia de mantener una complejidad vertical alta y diversidad botánica en los SAF (Sistemas Agroforestales), configurando escenarios de producción que conjugan productividad y conservación dentro de fincas productivas en paisajes rurales.

Diversidad de flora en cafetales agroforestales

La diversidad florística en los sistemas agroforestales con café está determinada principalmente por la composición y manejo de los árboles de sombra. La presencia de especies arbóreas nativas, leguminosas y frutales contribuye a una mayor heterogeneidad estructural, incrementando la complejidad vertical del sistema y la disponibilidad de recursos como hojarasca, flores y frutos. Esta diversidad vegetal cumple funciones clave como el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la regulación del microclima y la provisión de hábitat para organismos silvestres (Guadarrama , Virgilio y Martinez , 2021).

4.7 Enfoque técnico y manejo sostenible de los SAF (Sistemas Agroforestales)-CAFÉ

La agroforestería con café ha sido objeto de un enfoque técnico integrado, el cual incluye diagnóstico, diseño y manejo sustentable. De esta manera, esta aproximación integral no solo apunta a maximizar la conservación del suelo y del agua, sino también al mantenimiento y aumento de la producción cafetalera. Además, los modelos desarrollados proporcionan bases conceptuales y operativas para que productores y técnicos puedan establecer prácticas ecológicas coherentes con la realidad local, lo que resalta la importancia de mantener la interceptación de radiación, así como la influencia del estrato arbóreo en la funcionalidad del sistema agroforestal (Valencia F 2014).

4.8 Participación comunitaria y sostenible social en cafetales

La conservación y manejo adecuado de la sombra en cafetales también debe considerar la participación comunitaria y las dinámicas sociales vinculadas a la gestión del paisaje. La integración de saberes tradicionales, el fomento de prácticas agroecológicas y la construcción de marcos normativos que promuevan ambientes productivos y saludables son esenciales para consolidar procesos de gestión territorial orientados a la sostenibilidad. En Honduras, estas consideraciones adquieren relevancia para potenciar el efecto positivo de los SAF (Sistemas Agroforestales) sobre la biodiversidad y los medios de vida locales, reconociendo que la sostenibilidad se nutre tanto de aspectos técnicos como socioculturales (SOLIDARIDAD 2025).

4.9 Retos y perspectivas de la forestería con café en América Latina

El futuro de la forestería con café depende de impulsar una investigación multidisciplinaria que integre aspectos ecológicos, económicos y sociales, promoviendo la colaboración entre productores, científicos y gobiernos. Este enfoque busca crear políticas y acciones que protejan la biodiversidad, fortalezcan la producción cafetalera y mejoren la vida rural, consolidándose como un gran reto y oportunidad para América Latina.

4.10 Aves en sistemas cafetaleros: servicios ecosistémicos y diseño de sombra

En los sistemas agroforestales de café, las aves insectívoras desempeñan un papel fundamental en el control biológico, ya que consumen insectos plaga como la broca y los defoliadores, lo cual repercute favorablemente en el rendimiento y la calidad del grano. Además, este servicio se ve fuertemente influenciado por la complejidad estructural del dosel, es decir, por el mayor número de estratos, la diversidad y la cobertura de sombra, así como también por la conectividad de las fincas con parches de vegetación nativa. En conjunto, estos elementos favorecen la presencia, riqueza y ocupación de aves beneficiosas, y, por ende, maximizan sus servicios ecosistémicos (Romero Diaz *et al.* 2022).

4.10.1 Aves asociadas a sistemas agroforestales con café

Las aves representan uno de los grupos faunísticos más estudiados en cafetales agroforestales debido a su sensibilidad al manejo del hábitat y a su papel funcional dentro del ecosistema. Se ha documentado que una mayor cobertura arbórea y diversidad de árboles de sombra se relaciona positivamente con la riqueza y abundancia de aves residentes y migratorias. En particular, las aves insectívoras desempeñan un rol fundamental en el control biológico de plagas, como la broca del café (*Hypothenemus hampei*), reduciendo significativamente sus niveles de infestación en fincas con manejo agroforestal (Guadarrama , Virgilio y Martinez , 2021).

4.10.2 Impacto de complejidad de sombra y la participación de las aves

El impacto de la complejidad y diversidad de la sombra en los sistemas cafetaleros es un aspecto clave. Si bien la sombra resulta esencial para el equilibrio ecológico del cultivo, pues coberturas excesivamente densas o con baja diversidad pueden reducir la productividad o incluso facilitar la proliferación de ciertas plagas específicas. Por ello, es fundamental contar con un diseño bien planificado del sistema de sombreado que logre equilibrar la biodiversidad y la productividad. Además, dicho diseño debe considerar la distribución espacial, la composición y la diversidad funcional de las especies arbóreas, de modo que se maximicen los beneficios y, al mismo tiempo, se minimicen los riesgos (Martinez Salinas 2022).

Diversos estudios en sistemas agroforestales de café en México, Costa Rica y Panamá han demostrado que las aves insectívoras reducen de forma significativa las poblaciones de plagas como el barrenador del café (*Hypothenemus hampei*). En especial, especies que habitan los estratos bajos consumen larvas y adultos de broca, contribuyendo así al control biológico efectivo, como se ha evidenciado en fincas de bosques mesófilos de montaña en Veracruz, México (Romero Diaz *et al.* 2022).

4.10.3 Valor económico y ecológico del control biológico por aves

El valor económico y ecológico del control biológico ejercido por aves ha sido ampliamente reconocido. Se han demostrado que la contribución anual de las aves insectívoras puede alcanzar entre 120 y 310 \$ por hectárea, lo cual representa un beneficio económico significativo para los pequeños productores, particularmente en cultivos manejados bajo principios agroecológicos. Además, la presencia de estas aves en fincas con sistemas de sombra más complejos contribuye al equilibrio ecosistémico y, al mismo tiempo, a la reducción del uso de pesticidas. De esta manera, se generan beneficios tanto económicos como ecológicos, reforzando así la importancia de conservar la biodiversidad dentro de los sistemas cafetaleros (Velis 2017).

La conectividad con hábitats nativos o remanentes de bosque también es clave: la presencia de árboles maduros, de sotobosque y corredores vegetales aumenta la capacidad del paisaje para albergar fauna. Por ejemplo, un estudio en Indonesia encontró que la distancia al bosque y la cobertura de sombra influían en las tasas de detección de vertebrados terrestres en jardines de café (Campera *et al.* 2021)

Las aves insectívoras, frugívoras y nectarívoras, además de su valor ecológico, desempeñan funciones esenciales en los sistemas agroforestales, tales como el control de plagas, la dispersión de semillas y la polinización. De hecho, un informe señala que, en cafetales de sombra tradicionales, la riqueza de aves puede superar la de los sistemas de monocultivo, lo que evidencia la importancia de mantener una estructura vegetal compleja. Asimismo, un meta-análisis indicó que la sombra alta favorece significativamente la diversidad de aves, en comparación con los sistemas con sombra baja o sin sombra, lo cual refuerza la relación positiva entre la complejidad estructural y la riqueza de especies (Utah 2012).

Por otra parte, la densidad y presencia de árboles con frutos o flores, junto con estratos elevados, ramas maduras y sotobosque desarrollado, pueden determinar la presencia de especies de aves especializadas. En cambio, los sistemas poco diversos tienden a favorecer únicamente especies generalistas, reduciendo así la funcionalidad ecológica del ecosistema

4.11 Servicios complementarios y dispersión de semillas

En los sistemas cafetaleros, los servicios complementarios y la dispersión de semillas desempeñan un papel esencial. En efecto, además del control de plagas, diversas especies de aves granívoras y frugívoras contribuyen activamente a la dispersión de semillas y, por ende, al mantenimiento de la vegetación. De esta manera, favorecen la regeneración natural, así como la conectividad ecológica tanto dentro como alrededor de las fincas de café. Por todo ello, este proceso resulta fundamental para la conservación de la biodiversidad regional y también para la recuperación de parches de bosque que se encuentran aislados (Velis 2017).

El diseño y manejo para maximizar los servicios ecosistémicos requiere un enfoque estratégico. Para ello, el manejo debe orientarse a mantener la heterogeneidad estructural del dosel, así como promover especies floríferas y, al mismo tiempo, asegurar la conectividad con hábitats nativos. Asimismo, el equilibrio entre cobertura y diversidad arbórea es fundamental, ya que permite sostener poblaciones funcionales de insectívoros y polinizadores, evitando, por otro lado, excesos que puedan perjudicar el rendimiento. Finalmente, el diseño del sistema de sombra debe integrarse con prácticas agro sostenibles que garanticen un microclima estable y, al mismo tiempo, la conservación de recursos naturales (Martinez Salinas 2022).

En este sentido, es necesario profundizar en la cuantificación de los servicios aportados por aves y, además, su interacción con otros grupos, incorporando variables climáticas, paisajísticas y también socioeconómicas. Asimismo, el estudio detallado de cómo el diseño de sombra modula estos servicios en distintos contextos biogeográficos permitirá optimizar los sistemas agroforestales de café para alcanzar múltiples objetivos, incluyendo productividad, conservación y mitigación climática. Por lo tanto, el fortalecimiento de esta línea de investigación es prioritario para guiar políticas y prácticas sostenibles (Atencio Valdespiino *et al.* 2025).

En los sistemas cafetaleros, las aves insectívoras, junto con polinizadores como las abejas, constituyen un eje vital para los servicios ecosistémicos. Asimismo, su riqueza y funcionalidad dependen de la complejidad estructural del dosel y, al mismo tiempo, de la integridad del paisaje. Por ello, diseñar conscientemente sistemas de sombra que logren equilibrar biodiversidad y productividad resulta indispensable para la sostenibilidad socio ecológica del cultivo de café. En consecuencia, la evidencia científica resalta su importancia tanto económica como ambiental, lo que abre caminos para prácticas agroforestales que contribuyen al bienestar social y a la conservación del entorno.

La biodiversidad presente en los sistemas agroforestales con café sustenta múltiples servicios ecosistémicos esenciales para la producción y sostenibilidad del cultivo. Entre los más relevantes se encuentran el control biológico de plagas por aves, mamíferos y otros organismos, la polinización realizada por insectos, el reciclaje de nutrientes, la conservación del suelo y el secuestro de carbono (Guadarrama , Virgilio y Martinez , 2021)

4.12 Mamíferos en cafetales de sombra: conectividad limitaciones y oportunidades

Los mamíferos medianos y grandes suelen ser menos diversos y activos en café de sombra que en bosque adyacente: no obstante, los SAF-café pueden funcionar como hábitats complementarios y corredores entre fragmentos cuando se reduce la presión humana y se mantiene vegetación adyacente. De este modo, las comparaciones en bosques cafetales manejados de África oriental indican que gradientes de recursos, disturbio y altitud estructuran los ensambles de mamíferos, resaltando la importancia de prácticas de sombra y manejo del sotobosque.

La comunidad de mamíferos medianos incluye especies de diversos hábitos, entre ellas arborícolas, terrestres, escansoriales, fosoriales y acuáticas. Asimismo, los tipos de alimentación son sumamente variados, abarcando carnívoros, frugívoros, omnívoros, insectívoros, herbívoros y granívoros: por esta razón, sus exigencias de hábitat en cuanto alimento, refugio y protección resultan particularmente específicas. Sin embargo, a pesar de ser un componente clave en el mantenimiento de los ecosistemas, los mamíferos siguen siendo poco estudiados, por lo que se han centrado principalmente en mamíferos pequeños.

La riqueza de mamíferos medianos en cultivos de café, no solo dependen del nivel de manejo que reciben las fincas, si no también dependen de las características específicas del paisaje, ya que los animales, rara vez viven dentro de las fincas, si no de terrenos cercanos, como son barracas, pastizales, fragmentos de bosques, vegetación riparia, zonas rocosas, otros cultivos, otros cultivos, o incluso utilizan varios parches a la vez para complementar sus diversas actividades, en el caso de animales con amplio ámbito hogareño. Sin embargo, los cafetales funcionan como corredores biológicos entre fragmentos forestales y contribuye al equilibrio entre la conservación y la biodiversidad (Garcia Burgos *et al.* 2014).

Los estudios indican que los sistemas agroforestales con mayor complejidad estructural, con más capas de sombra y también diversidad de árboles, favorecen tanto la diversidad de aves como mamíferos. Además, se ha encontrado que los cafetales con sombra alta presentan la mayor diversidad de especies que aquellos con sombra baja y sin sombra, lo que demuestra la importancia de la estructura arbórea en la conservación (Manson *et al.* 2024).

4.12.1 Mamíferos y roles ecológicos, su interacción con aves y estructura del SAF

Los mamíferos medianos y pequeños en las fincas de café cumplen roles ecológicos fundamentales, como la dispersión de semillas, el control de invertebrados y el servicio como presas para depredadores, lo que contribuye directamente a la estructura y equilibrio del ecosistema. En este sentido, un estudio realizado en Chiapas, México, encontró que las fincas certificadas “Bird Friendly” presentaban una mayor densidad de mamíferos medianos y grandes en comparación con las fincas convencionales, asociado principalmente a la presencia de árboles de sombra más maduros (Caudill y A Rice)

Asimismo, otro estudio llevado a cabo en India en sistemas de café agroforestal evidenció que la riqueza de pequeños mamíferos aumentaba a medida que incrementaba la diversidad de especies de árboles de sombra, la presencia de árboles maduros y la cobertura de sotobosque, además de la proximidad al bosque natural (S.A P. y T.P. 2014)

La conexión entre aves y mamíferos se explica porque ambos grupos dependen de la estructura del dosel, los refugios, la disponibilidad de alimento y la conectividad del paisaje. Por ejemplo, los árboles de sombra que producen frutos o brindan refugio benefician a los mamíferos frugívoros u omnívoros, mientras que, por el contrario, la disminución de la cobertura arbórea puede afectar negativamente a ambos grupos.

Aunque menos estudiados que las aves, los mamíferos también utilizan los sistemas agroforestales con café como hábitat complementario o áreas de paso. Pequeños mamíferos, murciélagos insectívoros y frugívoros encuentran en estos sistemas recursos alimenticios y refugio, especialmente cuando existe conectividad con parches de bosque circundantes. Los murciélagos contribuyen al control de insectos plaga y a la dispersión de semillas, fortaleciendo los procesos ecológicos y la regeneración vegetal dentro del agroecosistema (Guadarrama , Virgilio y Martinez , 2021)

4.12.2 Sinergias, competencias y compromiso entre aves, mamíferos y estructura del SAF (Sistemas Agroforestales).

En los sistemas de sombra más complejos, se generan sinergias importantes, ya que las aves que controlan insectos plaga ayudan a reducir la presión de herbívoros que podrían afectar la vegetación; de esta manera, se benefician también los mamíferos que dependen del sotobosque o de los residuos vegetales para alimentarse o refugiarse (Philip Haggar *et al.* 2021).

Sin embargo, también surgen ciertos retos o compensaciones (compromisos). Cuando la sombra es excesiva, está mal distribuida o proviene de pocas especies arbóreas, puede disminuir la productividad, aumentar la humedad y favorecer la aparición de plagas o enfermedades. Como consecuencia, esto afecta tanto a las aves como a los mamíferos, al alterar la estructura y funcionalidad del hábitat. Por ello, se vuelve fundamental ajustar el diseño del dosel para mantener un equilibrio adecuado entre biodiversidad y producción (Mayorga *et al.* 2022)

Asimismo, la escala del paisaje desempeña un papel determinante. Mientras que los mamíferos más especializados o de mayor tamaño requieren remanentes forestales cercanos para sobrevivir, las aves generalistas, por el contrario, pueden adaptarse mejor a sistemas más abiertos. En consecuencia, para favorecer la conservación de ambos grupos, los sistemas agroforestales de café deben integrarse dentro de paisajes con conectividad ecológica y remanentes forestales funcionales (Lalani *et al.* 2024)

4.13 Implicaciones de muestreo y variables estructurales a medir

4.13.1 Diseño de muestreo y variables estructurales a medir

El diseño de muestreo es fundamental para evaluar la biodiversidad en sistemas agroforestales de café. Se recomienda el uso de transectos para capturar gradientes espaciales de variables agronómicas y ecológicas dentro de estos sistemas. Este enfoque permite una representación adecuada de la heterogeneidad espacial inherente a los cafetales bajo sombra (Thoss y Beule 2025).

4.13.2 Variables estructurales a medir

Las variables estructurales son esenciales para caracterizar la complejidad de los cafetales bajo sombra. Por lo tanto, se sugiere medir la densidad de árboles, la cobertura del dosel, la altura de los árboles y la diversidad de especies arbóreas. Estas métricas proporcionan información clave sobre la estructura del hábitat y su capacidad para soportar biodiversidad (Paz Sanches Libert y Biolaños 2022)

Es fundamental considerar la escala espacial y temporal al planificar el muestreo en sistemas agroforestales, ya que la estructura del dosel y la composición de especies pueden variar significativamente entre áreas y a lo largo del año. Por ello, limitar el muestreo a un solo periodo o a pocas parcelas puede no reflejar la diversidad real. En consecuencia, se recomienda realizar muestreos en distintas estaciones y en múltiples ubicaciones dentro de la finca, con el fin de capturar la variabilidad estacional y espacial. De esta manera, los datos serán más representativos y confiables, permitiendo análisis precisos de la relación entre la estructura del hábitat y la biodiversidad, y facilitando la toma de decisiones para un manejo sostenible (Arango 2019).

La medición de variables es fundamental para comprender el funcionamiento ecológico y productivo de los sistemas agroforestales. Se consideran aspectos como la densidad y distribución de árboles por hectárea, que determinan la estructura del sistema, y la cobertura arbórea, que influye en la sombra y el rendimiento de cultivos o ganado. Asimismo, la biomasa y el carbono almacenado indican el potencial de mitigación del cambio climático, mientras que la diversidad de especies arbóreas refleja la estabilidad ecológica y la provisión de servicios ambientales. Finalmente, la producción agrícola, junto con el rendimiento económico y la eficiencia en el uso del suelo, permiten evaluar de forma integral la sostenibilidad de estos sistemas (Quadros Gonçalves *et al.* 2021).

La evaluación de las aves en sistemas agroforestales o paisajes agrícolas implica la medición de características que reflejen su diversidad y su relación con el medio ambiente. Son la riqueza de especies y la abundancia individual, así como índices de diversidad como Shannon o Simpson. Además, la cobertura del dosel, la altura y el número de árboles por hectárea, y la densidad del sotobosque permiten describir la estructura vegetal.

La altura y el número de árboles por hectárea, y la densidad del sotobosque permiten describir la estructura vegetal. Teniendo en cuenta, la frecuencia de detección y duración de la actividad de las aves nos ayudan a comprender sus patrones de comportamiento a comprender sus patrones de comportamiento y utilización del espacio, y la utilización del espacio (Ulman *et al.* 2016).

En los paisajes agroforestales o agrícolas, la medición de variables relacionadas con los mamíferos es fundamental para evaluar su diversidad y respuesta ecológica ante las modificaciones del hábitat. En primer lugar, se analiza la riqueza de especies, que indica el número total de mamíferos presentes en el área de estudio, y la abundancia o frecuencia de detección, medida mediante trampas cámara o por unidad de esfuerzo, que refleja su actividad y distribución.

Además, la biomasa o el tamaño corporal promedio permite estimar la estructura trófica y la función ecológica del grupo. Por otro lado, la cobertura de bosque o porcentaje de paisaje forestado alrededor de las parcelas de muestreo determina la disponibilidad de refugios y corredores biológicos. Asimismo, variables como la heterogeneidad del uso del suelo, el número de fragmentos de hábitat y la distancia al bosque más cercano son determinantes para comprender la conectividad ecológica y la resiliencia de las poblaciones de mamíferos dentro de los sistemas agroforestales (Silva Ferreira *et al* 2020).

V MATERIALES Y METODOS

5.1 Descripción de área de estudio

El presente estudio se realizó en la zona norte del departamento de Lempira en cuatro fincas con sistemas agroforestales, abarcando los municipios de Belén, Gracias, Lepaera y La Campa. Municipios con facilidad de acceso. En las distintas zonas tenemos variaciones climáticas, variación de diversidad biológica.

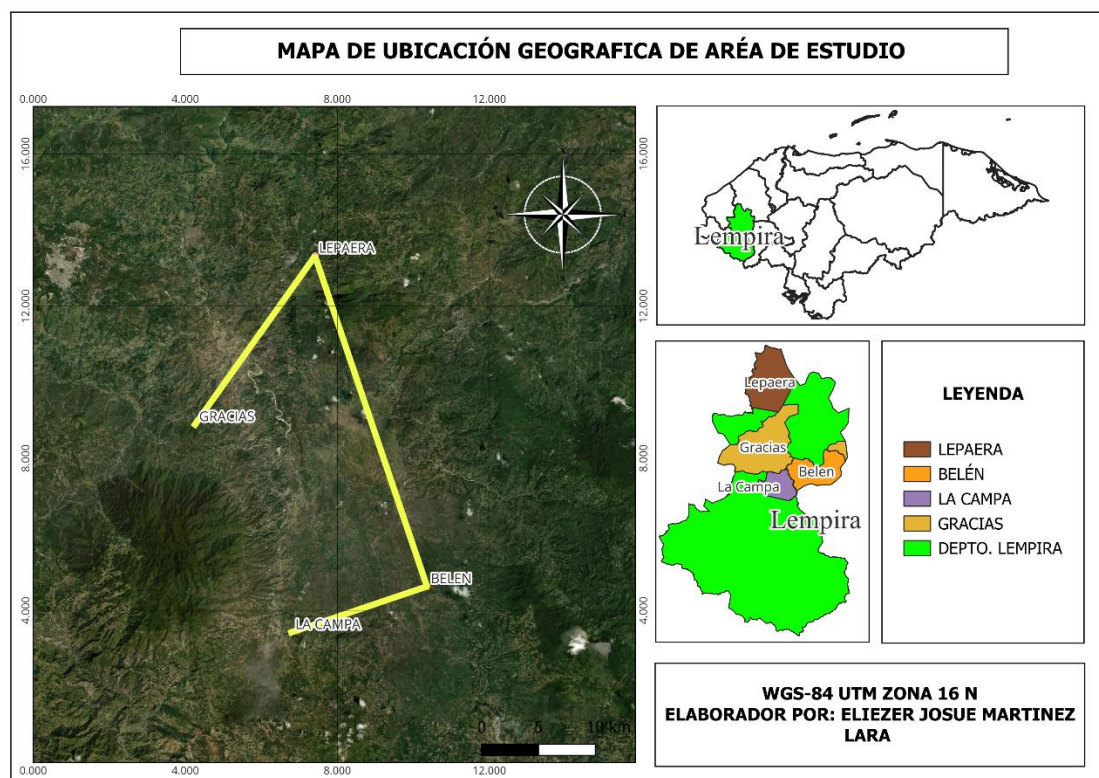


Figura 1. Mapa general del estudio en el Norte de Lempira

5.2 Materiales y equipo

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó las siguientes herramientas:

- Entrevista semiestructurada
- Protocolos de observación en campo
- Cinta diamétrica
- Cinta métrica
- Brújula
- Ipsometro
- GPS o dispositivo móvil con GPS
- Binoculares
- Cuaderno de campo y formularios de registro
- Cámara fotográfica

Programas:

- Aplicaciones móviles (Merlin Bird y eBird)
- QGIS
- Google earth
- Excel
- Word
- PlantNet

5.3 Enfoque Metodológico

La metodología de la investigación actual fue mixta, con un predominio del enfoque cuantitativo, porque incluyó la recolección y el análisis de datos numéricos sobre la biodiversidad, como son el número y la abundancia de especies, el dosel arbóreo y la estructura del dosel en sistemas agroforestales con café. Además, se adquirió información cualitativa a través de entrevistas a los productores y observaciones directas hechas durante el trabajo de campo. Esta perspectiva facilitó el análisis simultáneo de los elementos ecológicos y sociales que se encuentran en las fincas que se han evaluado.

El componente cuantitativo posibilitó la utilización de mediciones exactas de las variables ecológicas y la realización de análisis estadísticos para estudiar la correlación entre los índices de diversidad biológica y la complejidad estructural de los sistemas agroforestales. A su vez, el componente cualitativo proporcionó datos acerca de cómo los productores perciben las fincas y la experiencia empírica vinculada con la flora y fauna que se encuentran en los cafetales. La interpretación de los resultados se vio fortalecida gracias a la unión de las dos perspectivas, lo que facilitó entender cómo el manejo agroforestal afecta la preservación de la biodiversidad.

En términos generales, el uso de métodos mixtos posibilitó identificar conexiones entre los rasgos estructurales de los sistemas agroforestales y los elementos ecológicos y sociales vinculados a cada finca. Además, al ser la investigación de carácter transversal, se obtuvo una perspectiva completa del rol que los sistemas agroforestales con café tienen en la preservación de la biodiversidad en el norte de Lempira. Los resultados logrados sirven como fundamento científico para el diseño de estrategias dirigidas a conservar los recursos naturales y a gestionar el cafetal de manera sostenible. (Rojas Pardo 2021).

5.4 Variables Evaluadas

- ✓ Composición de especies (flora y fauna)

Registro del nombre común y científico de árboles, aves y mamíferos para evaluar biodiversidad y estructura ecológica.

- ✓ DAP y altura del arbolado (estructura vegetal)

Medidas esenciales para analizar la biomasa, la cobertura y la complejidad del sistema agroforestal.

- ✓ Cobertura y tipo de sombra del cafetal

Indica el nivel de protección, microclima y hábitats disponibles para la fauna.

- ✓ (Cesondición del arbolado

Estado (floración, fructificación, crecimiento) que influye en alimento y refugio para fauna.

- ✓ Abundancia y riqueza de aves y mamíferos

Número de especies y cantidad de individuos; base para estimar diversidad ecológica.

- ✓ Método de detección de fauna

Visual, auditiva o evidencias, lo que determina precisión de los registros.

- ✓ Actividad y uso del hábitat por la fauna

Zonas donde se observan (dosel, sotobosque, bordes, cafetal), clave para interpretar interacciones ecológicas.

- ✓ Estado de conservación de especies

Categoría UICN y listas nacionales para identificar especies sensibles o amenazadas.

- ✓ Sistema de manejo del cultivo

Prácticas agrícolas (podas, fertilización, control de maleza) que influyen directamente en la biodiversidad.

- ✓ Características generales de la finca

Altitud, edad del cultivo, disponibilidad de agua y uso previo del suelo, factores que condicionan el funcionamiento del sistema agroforestal.

5.5 Sistemas Agroforestales (SAF)

5.5.1 Selección de fincas y unidades de muestreo

Para llevar a cabo la investigación, se eligieron cuatro fincas como lugares de estudio, tomando en cuenta factores como la facilidad de acceso, la representatividad del manejo agroforestal del café y la voluntad de los dueños de ser parte del estudio. Estos criterios aseguraron que las unidades de muestreo fueran factibles en términos operativos y representativas de los sistemas agroforestales analizados. Después, se definieron tres unidades de muestreo (parcelas de 20×20 m) en cada finca, en las cuales se llevó a cabo el análisis estructural de la flora. La variabilidad espacial se redujo y la comparación de resultados entre los distintos lugares de estudio fue más sencilla gracias a este modelo experimental, que se replicó en las cuatro fincas. De igual manera, el procedimiento de selección y muestreo se basó en los fundamentos de evaluación de sistemas agroforestales expuestos en la bibliografía científica, lo que asegura la fiabilidad de los datos obtenidos y la coherencia metodológica. (Rojas *et al.* 2021).

Se emplearán instrumentos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar la localización y la referencia espacial de las parcelas muestreadas. Estos programas elaborarán mapas temáticos que posibilitarán la georreferenciación de cada parcela y finca analizada, lo que hará más fácil el estudio espacial de las variables productivas y de la biodiversidad. El empleo de SIG ayudará a que se visualice mejor cómo están distribuidas las parcelas, a la integración de datos ecológicos y productivos del sistema agroforestal y al análisis de patrones espaciales.

5.5.2 Criterio de selección de las finca

- Las fincas fueron elegidas por medio de un muestreo intencional, teniendo en cuenta criterios técnicos que aseguraron la representatividad ecológica y la factibilidad del estudio.
- Dimensiones del terreno: Se eligieron fincas con una extensión de una manzana o más para crear parcelas sin la influencia del efecto de borde.

- **Altitud:** Para examinar el impacto de la variación ambiental en la biodiversidad, se incorporaron fincas situadas a distintas altitudes.
- **Tipo de gestión:** Se tomaron en cuenta plantaciones de café con sistemas agroforestales que presentaban variaciones en la gestión del cultivo y la cobertura de sombra.
- **Accesibilidad y permiso:** Se seleccionaron fincas con un fácil acceso y cuyos dueños dieron permiso para llevar a cabo los muestreos.

5.5.3 Diseño del muestreo

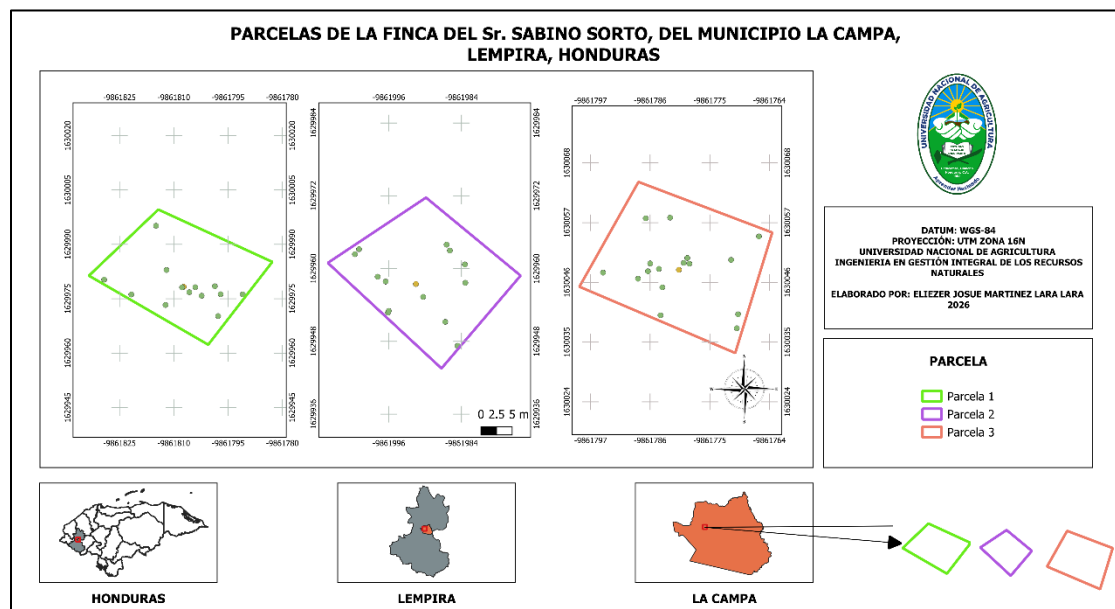


Figura 2. Distribución espacial de parcelas en La Campa, Lempira.

La ubicación de las tres parcelas que integraron el sitio de estudio en La Campa es diferente, como demuestra la distribución espacial observada. Esta disposición posibilitó la representación de diferentes áreas de la finca y tuvo en cuenta la diversidad espacial dentro del sistema agroforestal con café.

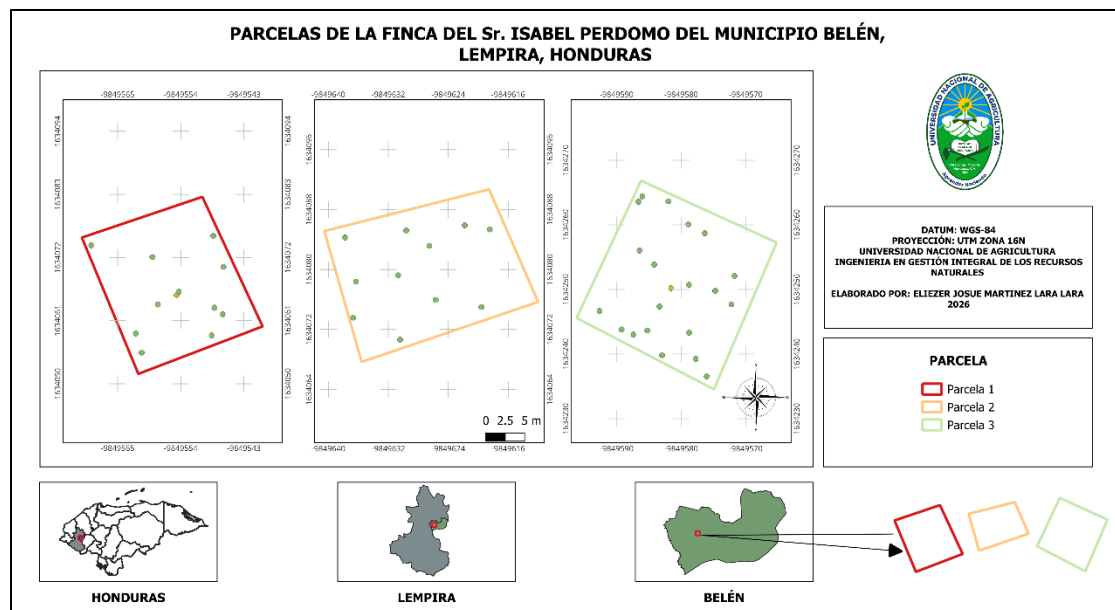


Figura 3. Distribución espacial de parcelas en Belén, Lempira.

La evaluación abarca diferentes áreas del sistema agroforestal, ya que en Belén las tres parcelas tienen una distribución espacial distinta dentro del lugar analizado

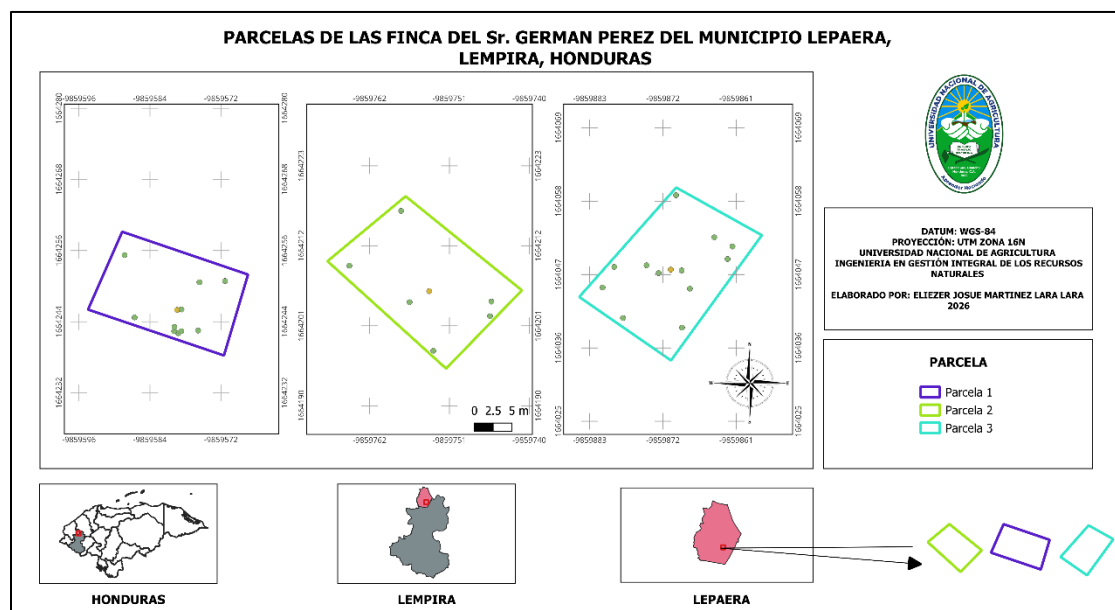


Figura 4. Distribución espacial de parcelas en Lepaera, Lempira.

La asignación de las tres parcelas en Lepaera posibilitó la representación de varios sectores del sistema agroforestal con café. Esta disposición ayudó a identificar la variabilidad espacial del lugar y permitió que se compararan los rasgos del componente arbóreo entre las parcelas examinadas.

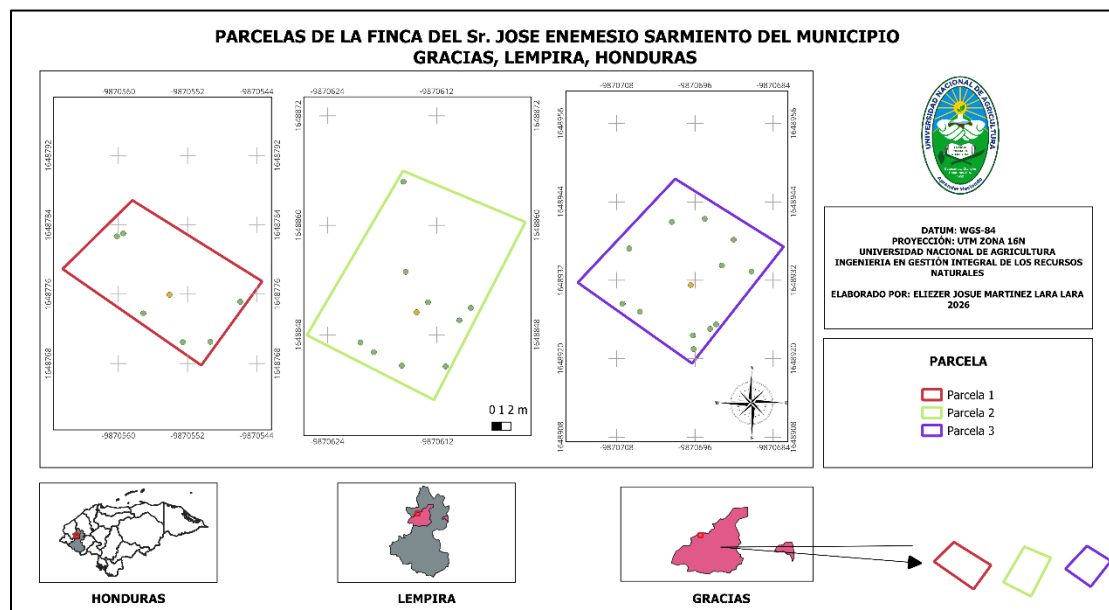


Figura 5. Distribución espacial de parcelas en Gracias, Lempira.

La ubicación de las tres parcelas permitió obtener una visión conjunta de la finca y reconocer la organización del componente arbóreo en diferentes puntos del área estudiada. Esta representación espacial aporta una base importante para interpretar la dinámica y complejidad del sistema agroforestal con café

Con el fin de diseñar el muestreo, se eligieron cuatro fincas situadas en la parte norte del departamento de Lempira, en virtud de que cada una contaba con un gradiente altitudinal que posibilitó la creación de parcelas demostrativas en los niveles bajo, medio y alto. En cada finca se delimitaron tres parcelas de muestreo, obteniéndose un total de 12 parcelas distribuidas estratégicamente para representar la variabilidad ambiental presente en cada sistema agroforestal. Esta estratificación altitudinal permitió evaluar la influencia de la elevación sobre la diversidad biológica y la estructura de los sistemas agroforestales con café, reduciendo la variabilidad asociada al relieve y fortaleciendo la representatividad ecológica de la investigación. Además, siguiendo las pautas metodológicas usadas en los inventarios de bosques y en las investigaciones sobre biodiversidad en sistemas agroforestales, se establecieron las parcelas con un área constante de 20×20 m.

El muestreo se diseñó con el fin de comparar la biodiversidad entre sistemas agroforestales que tienen diferentes grados de complejidad en su estructura. Se instauraron tres unidades de muestreo en cada finca, las cuales eran representativas de

la estructura y del manejo del cafetal, excluyendo zonas con alteraciones evidentes y áreas de borde. Esta configuración posibilitó analizar la relación entre las métricas de biodiversidad y la estructura de los sistemas agroforestales, lo que asegura una comparación representativa entre los lugares estudiados.

Con el fin de garantizar que las parcelas sean delimitadas y ubicadas correctamente, se empleó cinta plástica de alta visibilidad para marcar los bordes de cada unidad de muestreo a lo largo del periodo total de evaluación.

Esta señalización posibilitó el reconocimiento de las parcelas en cada jornada de campo y favoreció que se mantuviera un control apropiado del esfuerzo de muestreo, además de asegurar la repetición de las mediciones efectuadas. Además, ayudó a conservar la coherencia metodológica durante el desarrollo de la investigación y a disminuir los errores de registro.

5.5.4 Registro de componentes arbóreos y análisis estructural

Se anotaron todos los árboles y arbustos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 5 cm o más en cada unidad de muestreo. Se anotó la especie, el DAP, la altura aproximada, el estado fenológico y la utilización (sombra, leña, madera o frutal) para cada sujeto. Además, se calcularon la cantidad de estratos arbóreos, la densidad de árboles por unidad de superficie y la cobertura del dosel. Para evaluar el sotobosque, se calculó el porcentaje de cobertura y se registró la presencia y condición de la regeneración natural. Los índices de diversidad de Shannon y Simpson, el área basal y un índice de complejidad estructural se calcularon con la información adquirida, incluyendo en ellos la estratificación vertical, la cobertura del dosel y la diversidad arbórea para describir cómo están constituidos los sistemas agroforestales. (BOSHIER 2025).

Se anotó el nombre científico y el nombre común de cada árbol con la finalidad de definir la composición florística de los sistemas agroforestales (ANEXO 1). De igual manera, se utilizó una cinta diamétrica para medir el diámetro a la altura del pecho

(DAP) a 1.30 m de altura desde el nivel del suelo, mientras que se empleó una cinta métrica o un clinómetro para calcular la altura total del árbol, dependiendo de las condiciones del terreno. Asimismo, se tomó la distancia y el azimut de cada sujeto en relación con un punto de referencia fijo, utilizando para ello una brújula y una cinta métrica. Esta información permitió que se georreferenciara la localización de los árboles dentro de cada parcela, así como el análisis de su distribución en el espacio y de la estructura vegetal.

Además, se analizó el estado fitosanitario de cada árbol, teniendo en cuenta la existencia de plagas, enfermedades y deterioro físico. Los árboles fueron clasificados según su estado sanitario (sano o moderadamente afectado). Además, con el fin de mantener un control sobre las condiciones de muestreo y disminuir posibles variaciones temporales en el trabajo de campo, se anotaron la fecha y la hora de cada observación. Se realizó un análisis de la estructura, la composición y el estado de conservación del componente arbóreo en los sistemas agroforestales con café, utilizando los datos obtenidos hasta octubre de 2023. Esto proporcionó una base técnica para comprender cómo este influye sobre la biodiversidad y el funcionamiento ecológico de las fincas que se evaluaron. (Cerveza *et al.* 2001).

5.5.4.1 Estimación de biomasa y carbono almacenado

La biomasa aérea del componente arbóreo se estimó a partir de las variables dasométricas registradas en campo, considerando el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total del árbol y la densidad específica de la madera correspondiente a cada especie. Estas variables permitieron cuantificar las diferencias en el desarrollo estructural de los individuos y estimar la cantidad de materia vegetal acumulada en el componente arbóreo de los sistemas agroforestales.

1. Conversión del DAP

Inicialmente, el DAP registrado en centímetros fue convertido a metros mediante la siguiente expresión:

$$D = \frac{\text{DAP}}{100}$$

donde:

(D) = diámetro del árbol expresado en metros.

(DAP) = diámetro a la altura del pecho expresado en centímetros.

2. Calculo del radio

A partir del diámetro el radio del fuste

$$r = \frac{D}{2}$$

Donde:

r = radio del fuste (m)

D = diámetro (m)

3. Estimación del Volumen

El volumen inicial del fuste se determina mediante

$$V_c = \pi r^2 H$$

Donde:

V_c = volumen cilíndrico estimado (m^3)

r = radio del fuste (m)

H = altura total del árbol (m)

$\pi = 3.1416$

Esta ecuación incorpora tanto el desarrollo diamétrico como vertical de cada individuo.

4. Ajuste mediante el factor de forma

Debido a que el fuste de un árbol no presenta una forma cilíndrica perfecta, en los cálculos de tu base de datos se utilizó un factor de forma de 0.45:

$$V_a = V_c \times 0.45$$

Donde:

V_a = volumen ajustado (m^3)

V_c = volumen cilíndrico (m^3)

0.45 = factor de forma utilizado

5. Estimación de la Biomasa

El volumen ajustado se relacionó con la densidad específica de la madera (ρ) correspondiente a cada especie:

$$B = V_a \times \rho$$

Donde:

B = biomasa estimada

V_a = volumen ajustado

ρ = densidad específica de la madera

Este procedimiento es importante porque dos árboles con dimensiones similares pueden presentar diferentes cantidades de biomasa debido a las diferencias en la densidad de su madera. Sin embargo, se reconoce que la estimación debe considerar conjuntamente DAP, altura y densidad específica.

6. Estimación del carbono almacenado

Finalmente, el carbono se estimó a partir de la biomasa utilizando el factor empleado en tu base de cálculo:

$$C = B \times 0.5$$

Donde:

C = carbono almacenado

B = biomasa estimada

0.50 = fracción de carbono utilizada

El cálculo de la biomasa aérea es un indicador clave para analizar la habilidad de los sistemas agroforestales para almacenar materia orgánica en su parte leñosa. Su estimación facilita la expresión cuantitativa del desarrollo de la vegetación arbórea y la identificación de variaciones entre sistemas con diferentes composiciones y configuraciones estructurales. Además, la estimación del carbono almacenado hace posible calcular qué porcentaje de esa biomasa se queda atrapada en los tejidos vegetales, lo que ofrece una medida de la función que cumplen los árboles como reservorios de carbono en el sistema productivo.

En los SAF-café, estas valoraciones son particularmente importantes porque posibilitan el análisis del componente arbóreo más allá de su función como sombra, incluyendo sus aportes a servicios ecosistémicos relacionados con la regulación del ciclo de carbono y la reducción del cambio climático. Además, la comparación entre las fincas de carbono y biomasa hace posible detectar variaciones en la capacidad de almacenamiento vinculadas con los componentes florísticos y estructurales de cada sistema. Esto produce datos cuantitativos que son valiosos para guiar prácticas de manejo orientadas a preservar árboles funcionales sin poner en riesgo la producción cafetalera.

5.5.4.2 Desarrollo de la base de datos geoespacial del componente arbóreo

Con el objetivo de mejorar la organización, el almacenamiento y la evaluación espacial de la información obtenida durante el inventario forestal, se creó un SIG (Sistema de Información Geográfica) con el software QGIS. Este sistema tiene una base de datos geoespacial del componente arbóreo en los sistemas agroforestales con café.

Se incluyó cada árbol que se registró durante el trabajo de campo como una entidad geográfica puntual en la parcela de muestreo que le correspondía. Se empleó un punto de referencia que se encuentra al centro de cada parcela para determinar su ubicación en el espacio, desde donde se registraron la distancia y el azimut de cada árbol, lo que permitió reconstruir su posición en el sistema agroforestal. Se creó la base de datos con el propósito de combinar los datos espaciales, ecológicos y gasométricos de cada árbol.

Para ello, se incluyeron variables como el azimut, la altura total, el nivel de sombra, la distancia al punto de referencia, el diámetro a la altura del pecho (DAP), la fecha en que se registró y el nombre común o científico. Esta información se asoció con la tabla de atributos de cada punto geográfico, lo que posibilita, a través de la elección de su localización en el mapa digital, llegar directamente a las propiedades particulares de cada árbol.

Gracias a la utilización de esta herramienta geoespacial, se logró optimizar la organización y validación de los datos recopilados en el campo; disminuir eventuales errores en el procesamiento de la información; y simplificar el análisis sobre cómo se distribuye espacialmente el componente arbóreo en las parcelas analizadas. Esta base de datos también es un instrumento de ayuda para futuras tareas de monitoreo, actualización del inventario forestal y seguimiento de las transformaciones estructurales en los sistemas agroforestales con café. Esto contribuye a mejorar la gestión y conservación de la información producida a lo largo del estudio.

5.5.5 Integración de variables ecológicas, sociales y productivas

A pesar de que el componente vegetal fue el foco principal del estudio, se tuvo en cuenta también que los sistemas agroforestales están involucrados dentro de un entorno productivo y ecológico en el cual interactúan elementos socioeconómicos, bióticos y edáficos. Por lo tanto, se recopiló información adicional sobre el manejo, la historia de la finca y la cobertura vegetal, así como otras variables contextuales que podrían haber afectado la estructura de los sistemas agroforestales. Al incorporar estos datos, se pudo llevar a cabo una interpretación más integral de los resultados al tener en cuenta las dimensiones social, económica, ecológica y sistémica que distinguen a los sistemas agroforestales. (Rojas Pardo *et al.*2021).

5.5.6 Análisis de datos, compensaciones y relaciones con biodiversidad

Los análisis del componente arbóreo se llevaron a cabo tras la finalización de la recolección de datos. Estos análisis incluyeron determinar los índices de diversidad de Shannon y Simpson, el área basal, la densidad arbórea, la cobertura de copa, la altura individual y el grado de complejidad estructural de cada sistema agroforestal. Estos indicadores posibilitaron la caracterización de la estructura y composición de la vegetación que se encuentra en las fincas analizadas. Más tarde, los datos recopilados fueron combinados con las anotaciones de aves y mamíferos para analizar la correlación entre la biodiversidad asociada y la estructura de los sistemas agroforestales. Con este fin, se realizaron análisis estadísticos para determinar la complejidad estructural del cafetal y su efecto sobre la diversidad y riqueza de especies, así como para identificar patrones ecológicos. Esta perspectiva incorporó tanto los elementos faunísticos como los florísticos, lo que permitió una evaluación más integral del funcionamiento ecológico de los sistemas agroforestales con café en el norte de Lempira. (Rojas Pardo *et al.*2021).

La revisión y la validación diaria de los registros obtenidos durante el muestreo fueron las primeras etapas del análisis de datos. Después, se ordenó la información relativa a las aves, la flora y los mamíferos según finca y parcela, contabilizando el número de individuos por especie para asegurar la fiabilidad de la base de datos y simplificar análisis estadísticos posteriores.

5.5.7 Limitaciones, viabilidad y manejo de datos

Durante el mes de febrero se llevó a cabo la evaluación del componente florístico en cuatro fincas elegidas, estableciéndose tres unidades de muestreo en cada una. Para llevar a cabo las actividades, se dispuso del personal, el tiempo y los equipos requeridos, lo que facilitó la realización del muestreo de manera sistemática y en conformidad con el cronograma previsto.

Al llevar a cabo la investigación, se detectaron elementos que podrían haber tenido un impacto en el proceso de muestreo, tales como el acceso a las fincas, las condiciones climáticas y la diversidad estructural de los sistemas agroforestales. La fiabilidad, la solidez y la calidad de la base de datos empleada en el análisis de los sistemas agroforestales y de biodiversidad fueron aseguradas por estas medidas. (Rojas Pardo *et al.*2021).

5.6 Monitoreo de Aves

5.6.1 Diseño del muestro de Aves

Se definieron puntos de conteo distribuidos estratégicamente en cada sistema agroforestal para la vigilancia de aves, con el fin de reflejar la diversidad estructural y ambiental de las fincas estudiadas. Cada punto fue monitoreado durante 20 minutos, realizando los censos en los períodos de mayor actividad de las aves, entre las 6:30 a. m. y las 8:30 a. m., y entre las 4:30 p. m. y las 6:00 p. m. Se llevaron a cabo los muestreos solamente en condiciones climáticas propicias, eludiendo lluvias fuertes y vientos intensos para reducir sesgos potenciales en la identificación de las especies. Se anotaron el número de individuos, la hora de observación, el nombre común y científico de las especies detectadas o vistas auditivamente y el lugar de muestreo correspondiente durante cada jornada (Anexo 2). Además, se registraron observaciones ocasionales a lo largo de los viajes entre las ubicaciones de conteo, anotando la hora y las coordenadas geográficas de cada avistamiento. Esta información completó el inventario de aves y

facilitó una descripción más representativa de la comunidad aviar asociada a los sistemas agroforestales con café.

Se eligió el método de conteo por puntos porque resulta efectivo al estimar la riqueza, la diversidad y la abundancia de aves en sistemas agroforestales. Los índices de diversidad de Simpson y Shannon pudieron calcularse gracias a los datos recolectados, lo que hizo posible comparar la composición de especies entre las fincas analizadas y analizar el vínculo entre la diversidad aviar y la organización de los sistemas agroforestales.

5.6.2 Plan de Monitoreo de Sitios de Investigación

Siguiendo el programa definido para la recolección de datos en campo, se llevó a cabo la observación de aves durante los meses de febrero y abril. Se examinaban las cuatro fincas de estudio (F1, F2, F3 y F4) cada mes, con una finca asignada para cada semana de muestreo. La F1 fue monitoreada en febrero durante la primera semana, y las granjas F2, F3 y F4 fueron observadas en las semanas siguientes. En abril se repitió esta misma metodología de muestreo, lo que posibilitó la comparación de la riqueza, composición y abundancia de aves entre los dos periodos evaluados bajo un esfuerzo estandarizado.

Con el objetivo de mantener un esfuerzo de muestreo consistente en todas las ubicaciones estudiadas, la supervisión en cada finca se llevó a cabo tres días a la semana, denominados D1, D2 y D3. Para cada día, se examinó previamente tres parcelas (P1, P2 y P3), las cuales fueron designadas para reflejar la variabilidad ambiental y estructural de cada sistema agroforestal.

Igualmente, las observaciones se realizaron en dos períodos del día: el de la mañana (M), comprendido entre las 6:30 y las 8:30 a.m., y el de la tarde (T), que abarca desde las 4:30 hasta las 6:00 p.m. Estos horarios son aquellos donde los picos más altos de actividad de la fauna tienen lugar, sobre todo en el caso de las aves. Esta distribución a lo largo del tiempo hizo posible conseguir registros más representativos de las especies existentes y reducir los sesgos relacionados con la variación en la actividad diaria. En general, el diseño de muestreo permitió un análisis de la biodiversidad vinculada a los sistemas agroforestales con café y una comparación entre fincas, parcelas, semanas y

períodos de observación, debido a su cobertura espacial y temporal estandarizada. (Rau 2024).

5.6.3 Calibración de observadores, uso de tecnología y calidad de datos

Previo al comienzo del monitoreo de aves, los observadores fueron calibrados para unificar la identificación de las especies a través de registros auditivos y visuales. Para georreferenciar cada punto de conteo, se usó un receptor GPS; para la validación taxonómica de las especies documentadas, se emplearon las plataformas eBird y Merlin Bird ID como herramientas auxiliares. Asimismo, se uniformizaron los formatos de campo y se establecieron protocolos para verificar diariamente los registros, lo que incluye la comprobación de las condiciones climáticas y de los metadatos en cada día de muestreo. Estas acciones ayudaron a disminuir el sesgo de detección, optimizar la exactitud en la identificación de las especies y asegurar que la información recolectada fuera de calidad.

La calibración de los observadores y la estandarización del proceso de muestreo aumentaron la fiabilidad de los datos recopilados y simplificaron la comparación entre las propiedades estudiadas, de acuerdo con las sugerencias metodológicas para investigaciones sobre el monitoreo de aves en sistemas agroforestales. (Ralph, R *et al.* 1995).

5.6.4 Registro y categorización de datos de aves

Se registraron todas las aves que se observaron o detectaron por sonido en los lugares de muestreo durante cada sesión. Se registraron el nombre científico y común de la especie, la cantidad de individuos, el método de detección (auditivo o visual), la hora en que se realizó la observación y el lugar del muestreo para cada entrada. Además, se categorizaron las especies basándose en su gremio funcional (nectarívoras, granívoras, insectívoras, frugívoras y omnívoras), para así describir la estructura funcional de la comunidad aviar que habita en los sistemas agroforestales.

Posteriormente, se calcularon la riqueza de especies, la abundancia relativa, las curvas de acumulación de especies y la composición de los gremios funcionales para cada finca y unidad de muestreo. Se incorporó esta información a las variables estructurales de los sistemas agroforestales, lo que permitió el análisis del impacto de la diversidad florística, la cobertura arbórea y la complejidad estructural en la población de aves. La implementación de este método propició una interpretación más completa de las relaciones ecológicas entre la fauna avícola y la vegetación que acompaña a los cafetales bajo sistemas agroforestales. (Yasin y Tekalign, 2022).

5.6.5 Análisis de la comunidad de aves y su relación con la estructura del sistema agroforestal (SAF)

Después de completar la recopilación de datos sobre aves, se estimaron varias cosas: por un lado, la riqueza de especies tanto por finca como por punto de muestreo; por otro lado, la abundancia relativa de cada especie; también las curvas para acumular especies y la composición de los gremios funcionales (frugívoros, insectívoros y nectarívoros). Estos indicadores permitieron la caracterización de la diversidad y estructura de las comunidades avícolas que se encontraban en los sistemas agroforestales analizados. Después, se correlacionaron las métricas adquiridas con las variables estructurales de los sistemas agroforestales, como la densidad de árboles, la cobertura del dosel y el índice de complejidad estructural. Se utilizaron modelos lineales generalizados y análisis estadísticos comparativos para determinar cómo la estructura del cafetal afecta a la riqueza, la abundancia y la composición funcional de las comunidades avícolas. Este método permitió una interpretación holística de la conexión entre la estructura de los sistemas agroforestales y su biodiversidad correspondiente, lo que fortaleció el análisis ecológico del estudio.

El análisis de estas variables permitió evaluar la hipótesis de que los sistemas agroforestales con mayor complejidad estructural favorecen una mayor riqueza, abundancia y diversidad de aves. Esta relación se basó en que una cobertura arbórea más extensa, la presencia de diversos niveles de vegetación y la disponibilidad de recursos alimenticios brindan ambientes más idóneos para diversas especies. Este

análisis, en su totalidad, ayudó a entender cómo el manejo agroforestal afecta la preservación de la avifauna y la biodiversidad en las áreas cafetaleras del norte de Lempira. (C. Lopes *et al.* 2023).

5.7 Mamíferos

5.7.1 Diseño de Muestreo para Mamíferos

Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas a capataces, dueños y trabajadores de las fincas que se evaluaron para la evaluación de los mamíferos, tomando en cuenta al menos tres informantes por finca (Anexo 3). Los datos sobre las especies observadas, la frecuencia de los registros, la estacionalidad, las áreas más activas en la finca y las pruebas indirectas de su presencia (como excretas, huellas y daños a los cultivos) se recopilaron durante las entrevistas.

Además, se empleó una guía ilustrada de especies para ayudar a identificar y validar la información que los informantes suministraron. Como complemento, se llevaron a cabo recorridos de verificación en los lugares que indicaron los productores para confirmar la presencia de las especies mediante la observación de evidencias indirectas. Los datos adquiridos posibilitaron la identificación de las especies confirmadas y probables en cada finca, además de establecer las zonas más activas y su función dentro del sistema agroforestal (Tormenta 2017).

La incorporación de entrevistas y observaciones en campo reforzó la fiabilidad de los registros y constituyó un método apropiado para valorar mamíferos con baja detectabilidad en sistemas agroforestales que incluyen café, acatando las sugerencias para el seguimiento de fauna silvestre en paisajes agrícolas.

5.8 Diagnóstico productivo en las fincas de café

5.8.1 Delimitación de la parcela de estudio

Se estableció una unidad experimental para el diagnóstico de las condiciones productivas y ecológicas del cafetal, la cual consistió en una parcela de 20×20 m (400 m^2) dentro de cada sistema agroforestal con café. Se recogieron datos acerca de las propiedades físicas, biológicas y estructurales del cultivo en cada parcela, incluyendo la diversidad y composición de la vegetación, la cobertura arbórea y el estado del suelo. Además, se llevaron a cabo evaluaciones de elementos vinculados con la gestión agronómica, como el tipo de sombra, las prácticas de manejo y el empleo de insumos agrícolas.

La información adquirida facilitó el análisis de la correlación entre la producción de café y la preservación de la biodiversidad, así como la identificación de las principales ventajas y desventajas de los sistemas agroforestales. Además, posibilitó el establecimiento de criterios técnicos para crear tácticas sostenibles con el objetivo de reforzar tanto la estabilidad ecológica como la sustentabilidad de las fincas evaluadas. (Ali Imron *et al.* 2022).

Cada parcela de estudio fue delimitadas y georeferenciadas con coordenadas este y oeste en ubicaciones estratégicas previamente determinadas, que sirvieron como referencias espaciales para ubicar con exactitud las unidades de muestreo. Esta metodología hizo posible que las parcelas fueran identificadas en los distintos días de campo y garantizó que la recolección de datos fuera consistente.

Además, gracias a los pilones se pudo realizar un seguimiento del diagnóstico ecológico y productivo de cada terreno, lo que facilitó la comparación de los resultados obtenidos en distintos periodos evaluativos y la repetición de las mediciones. La implementación de esto aseguró que la información recopilada fuera rastreable, disminuyó los errores de ubicación en el trabajo de campo y robusteció la fiabilidad metodológica del estudio.

5.8.2 Diagnostico general de la finca

En primer lugar, se recolectaron datos generales de cada finca: la altitud, el tamaño total, la variedad de café que se cultiva, la edad de la plantación y el rendimiento medio por manzana. Con el objetivo de determinar los factores fundamentales que impactaron la productividad y la condición fitosanitaria del cultivo, también se registró la presencia de plagas y enfermedades. Asimismo, se registraron los métodos de gestión que aplican los productores, como el control de malezas, la fertilización, la poda y la clase de sombra que existe en cada sistema agroforestal.

Los datos recabados posibilitaron llevar a cabo un diagnóstico exhaustivo de las condiciones de producción y gestión de las fincas analizadas, lo que ayudó a detectar las potencialidades y limitaciones en los sistemas agroforestales (Anexo 4). Asimismo, estos datos fueron utilizados como fundamento para analizar la correlación entre las prácticas de manejo, la preservación de la biodiversidad y la sostenibilidad de la producción de café, lo que reforzó el análisis holístico realizado en el estudio. (D. Faminow y Ariza Rodriguez , 2001)

Se llevó a cabo el diagnóstico productivo en días previamente acordados y planificados con los productores, buscando que las muestras se tomaran durante fases significativas de la gestión y del estado fenológico de la cosecha de café. Se registró la fecha, la finca y la parcela en cada evaluación para asegurar que los datos recolectados se encuentren organizados y sean trazables.

La programación del muestreo en términos temporales posibilitó que las condiciones de producción entre las fincas analizadas se compararan y se estudiara cómo estas se relacionaban con los factores ecológicos tomados en cuenta en el estudio. De igual manera, este programa garantizó que el proceso de evaluación fuera estandarizado y reforzó el análisis completo de los sistemas agroforestales con café.

5.8.3 Incidencia de Roya (*Hemileia vastatrix*) y broca (*Hypothenemus hampei*)

Seguimiento de roya y broca

El seguimiento de la aparición de roya (*Hemileia vastatrix*) y broca del café (*Hypothenemus hampei*) se llevó a cabo mensualmente en las cuatro fincas escogidas, conforme al método definido por el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE). Este procedimiento posibilitó el análisis del estado fitosanitario del cultivo y la determinación de cuán común es cada plaga bajo las condiciones de gestión de los sistemas agroforestales.

Para llevar a cabo el muestreo, se utilizó la metodología que se describe a continuación:

a) Cada finca fue segmentada en lotes uniformes, teniendo en cuenta fundamentalmente la variedad de café y la antigüedad de las plantaciones. Después, se llevó a cabo un recorrido en zigzag dentro de cada lote para elegir al menos 30 plantas por unidad de muestreo de manera representativa. b) En cada planta escogida, se examinó dos bandola representativa que sirvió como unidad fundamental para el registro de la presencia de broca y roya.

c) Se registraron el total de hojas y aquellas que presentaban síntomas de roya en estado de propagación en cada bandola. Además, se registraron la cantidad total de frutos y la de los que fueron afectados por la broca, y luego se sumaron estos registros para determinar el impacto de ambas plagas en cada unidad muestreada. Con esta información se determina el porcentaje de infección de roya y broca, conforme a la fórmula siguiente:

$$\text{Incidencia de Roya y broca (\%)} = \frac{\text{numero de hojas con roya}}{\text{Numero de hojas muestreadas}} 100$$

También se colocaron trampas artesanales para la captura de broca para hacer monitoreos después de la cosecha (Anexo 5).

5.8.4 Relación del café con el componente café, aves y mamíferos

El estudio analizó la interacción entre el cultivo de café y los componentes agroforestales presentes en cada finca, considerando variables como la cobertura arbórea y su relación con la biodiversidad de aves y mamíferos. Para ello, se integró la información obtenida del componente florístico, la estructura del sistema agroforestal y los registros de fauna, permitiendo evaluar la influencia de la complejidad estructural del cafetal sobre la diversidad biológica. Este enfoque proporcionó una visión integral del funcionamiento ecológico de los sistemas agroforestales y permitió interpretar la relación entre las prácticas de manejo, la cobertura de sombra y la conservación de la biodiversidad en las fincas evaluadas. (Amanda Caudill y A. Rice, 2016).

5.8.5 Evaluación y análisis Integral del sistema cafetalero

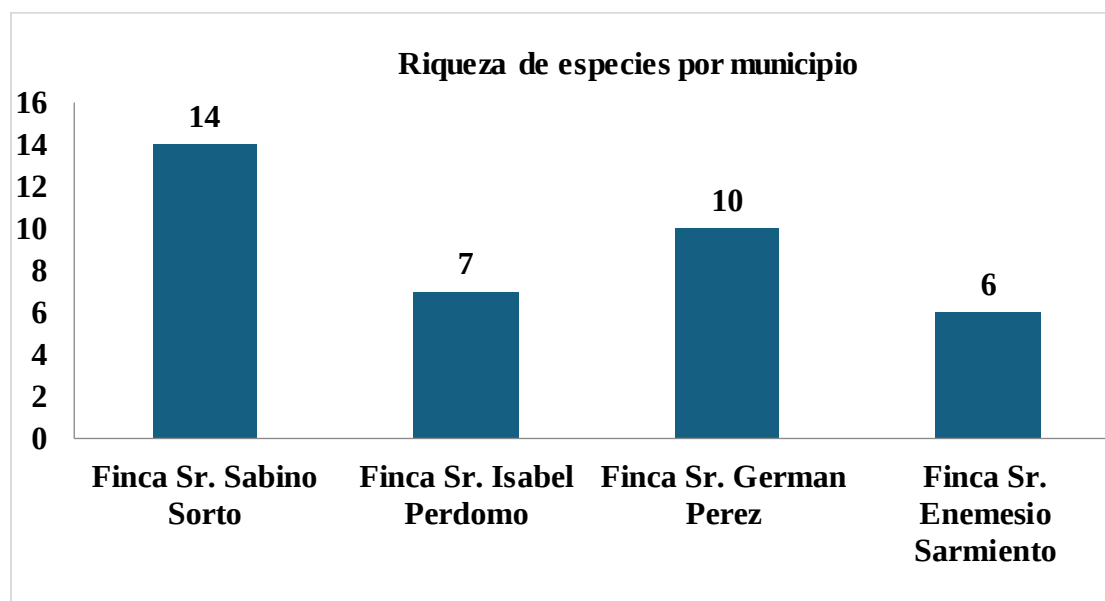
Para examinar las condiciones de gestión de cada finca, se incorporaron los datos adquiridos durante el diagnóstico fitosanitario y de producción. Los registros que tienen que ver con la incidencia de broca y roya, las prácticas agrícolas y las particularidades del sistema agroforestal hicieron posible estudiar el estado productivo de la plantación de café y su correlación con la biodiversidad evaluada. Esta combinación de variables permitió un análisis más exhaustivo del funcionamiento de los sistemas agroforestales y robusteció el estudio de los elementos que afectan la sustentabilidad de las fincas. (Haggar *et al.* 2021).

VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contrastación de Hipótesis

Con base en los resultados, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, ya que la complejidad estructural de los sistemas agroforestales se relacionó con variaciones en la diversidad biológica. Las fincas con mayor heterogeneidad arbórea, cobertura y diferentes niveles de vegetación presentaron condiciones favorables para la biodiversidad. Sin embargo, esta relación depende también de otros factores, como el manejo y la conectividad del hábitat.

6.1 Riqueza de especies abóreas por municipio



Grafica 1. Riqueza de especies arbóreas registradas en sistemas agroforestales con café de cuatro municipios del norte de Lempira

Las diferencias entre los cuatro municipios analizados mostraron la riqueza del componente arbóreo. En la finca de La Campa del Sr. Sabino Sorto, con 14 especies, fue la más rica, seguida por la finca en el Municipio de Lepaera del propietario el Sr. German Perez (10), por lo tanto en el Municipio de Belén finca del Sr. Isabel Perdomo (7), así mismo en el Municipio de Gracias finca del Sr. Enemesio Sarmiento (6). En las

parcelas, La Campa mostró cifras de seis, siete y ocho especies; Lepaera, de cinco, cuatro y seis; Belén, de dos, tres y cinco; por último, Gracias reportó cuatro, dos y tres especies. La Campa conservó la riqueza más alta a nivel municipal y de parcelas, en contraste con Belén y Gracias, que mostraron sistemas florales más simples.

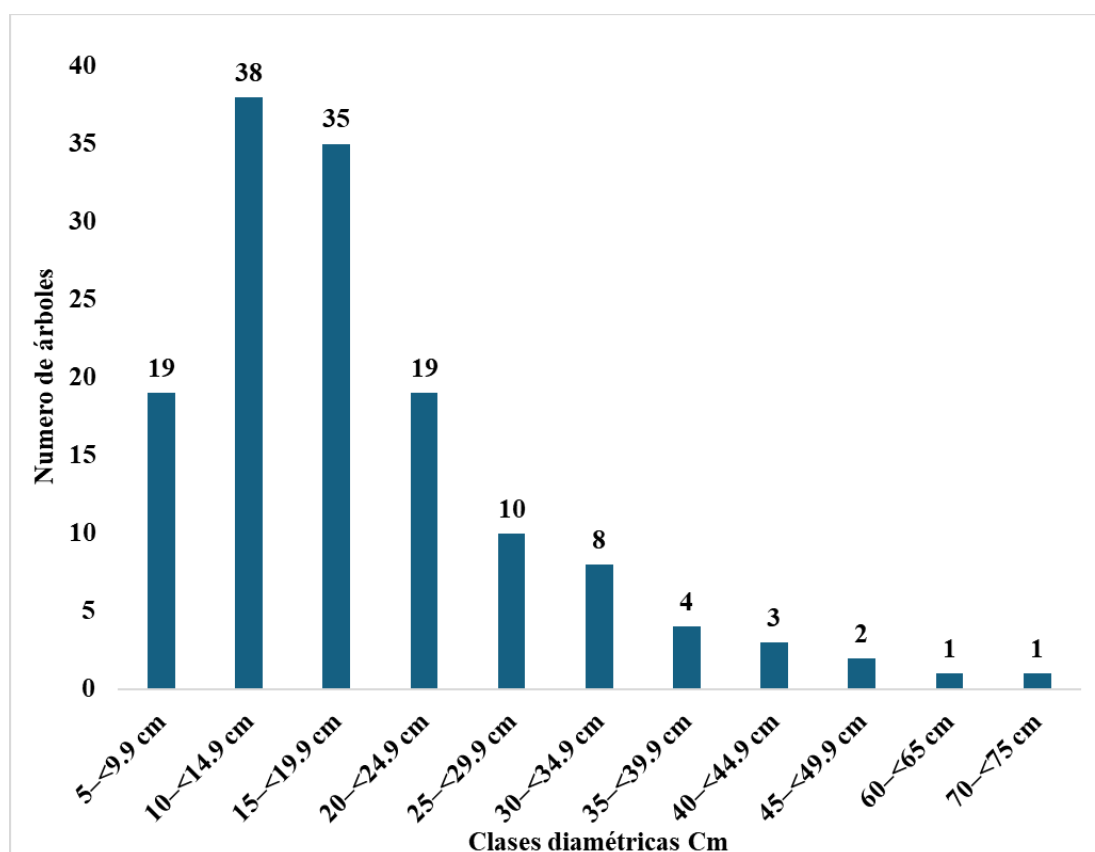
La mayor riqueza observada en La Campa sugiere que su cafetal conserva una combinación más diversa de especies de sombra, frutales, maderables o árboles remanentes del ecosistema original. La riqueza arbórea en los sistemas agroforestales no se define solo por las condiciones del entorno; las elecciones de los productores también tienen un papel determinante, ya que escogen o quitan árboles en función de su compatibilidad con el café, la producción de madera, leña y frutos, la regulación de sombra y otras ventajas. Por lo tanto, los contrastes entre municipios pueden mostrar al mismo tiempo cambios en el medio ambiente, la historia del uso de la tierra y el grado de manejo (Asanok *et al* 2024)

La escasa riqueza en Belén y Gracias no implica que estos sistemas sean menos valiosos desde el punto de vista ecológico, pero sí señala una diversidad reducida de recursos vegetales potenciales. Los cafetales que tienen una mayor diversidad de árboles generalmente brindan una variedad más extensa de sustratos, flores, insectos asociados, frutos y cavidades, lo que incrementa la heterogeneidad del hábitat.

Investigaciones recientes indican que la gestión selectiva de los cafetales puede facilitar la estructura y composición de las especies leñosas, sobre todo si los cultivadores solo mantienen unas cuantas especies predilectas. Además, se ha registrado que tanto la diversidad como la composición de los árboles pueden cambiar entre sistemas de manejo y áreas altitudinales. Por lo tanto, es necesario entender las diferencias halladas entre los municipios de Lempira como el resultado de una combinación de factores ecológicos y productivos (Kebebew y Ozanne, 2024)

6.1.1 Distribucion diamétrica general

La distribución de las clases diamétricas es uno de los indicadores más importantes para analizar la estructura horizontal de los sistemas agroforestales, porque facilita el entendimiento de la dinámica poblacional del componente arbóreo y el porcentaje de árboles en diversas fases de desarrollo. Esta variable, además, ofrece datos acerca de la permanencia, regeneración y crecimiento de los árboles que dan sombra. Estos son elementos esenciales para comprender el manejo silvicultural de los cafetales y la estabilidad ecológica.



Grafica 2 . Distribución porcentual de las clases diamétricas (DAP) del componente arbóreo en los sistemas agroforestales con café evaluados en el norte de Lempira.

La distribución diamétrica general de los 140 árboles registrados en las cuatro fincas evaluadas muestra una marcada concentración de individuos en las clases de menor diámetro. Las categorías de 10–14.9 cm y 15–19.9 cm presentaron las frecuencias más altas, con 38 y 35 árboles, respectivamente. En conjunto, los árboles con DAP inferior

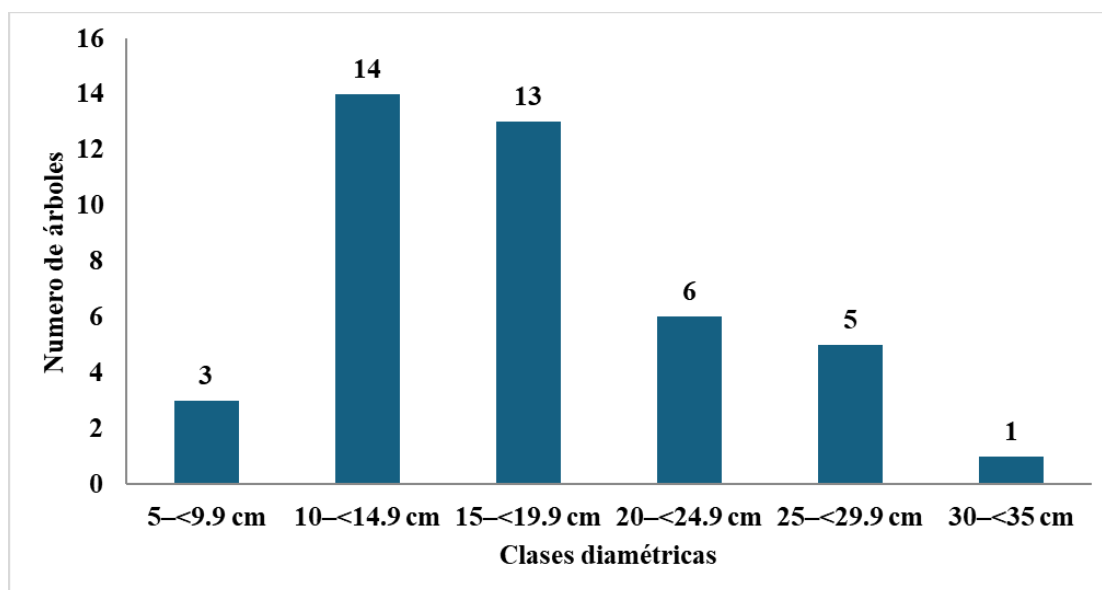
a 25 cm representaron aproximadamente el 79.3 % del total, mientras que solamente el 20.7 % se ubicó en clases iguales o superiores a 25 cm. A partir de esta categoría se observa una reducción progresiva en el número de individuos, hasta alcanzar únicamente un árbol en cada una de las clases de 60–65 cm y 70–75 cm.

La distribución diamétrica general de los 140 árboles evaluados en las cuatro fincas muestra una estructura compuesta principalmente por individuos de dimensiones pequeñas e intermedias. Las clases de 10–14.9 cm y 15–19.9 cm registraron las mayores frecuencias, con 38 y 35 árboles, respectivamente, y concentraron en conjunto el 52.1 % del total. Asimismo, 111 individuos, equivalentes al 79.3 %, presentaron diámetros inferiores a 25 cm. Estos resultados permiten establecer que el componente arbóreo de los SAF-café estudiados está dominado numéricamente por árboles ubicados en las primeras etapas de desarrollo diamétrico.

A medida que aumentó el DAP, la cantidad de árboles disminuyó progresivamente; sin embargo, la distribución se extendió desde 5 hasta 75 cm. Esta amplitud evidencia la coexistencia de árboles con diferentes dimensiones dentro del conjunto de fincas, condición que incrementa la heterogeneidad estructural del sistema agroforestal. La presencia simultánea de diámetros pequeños, intermedios y grandes indica que la estructura arbórea no es uniforme, sino que incorpora individuos capaces de desempeñar funciones complementarias dentro del SAF-café. (Haggar J *et al* 2021).

Los árboles de menor diámetro aportan principalmente a la densidad total y contribuyen a mantener la renovación del componente arbóreo. Por su parte, los individuos ubicados en las clases superiores, aunque presentaron una frecuencia reducida, adquieren importancia por su mayor desarrollo estructural, expansión de copa y volumen leñoso. La presencia de árboles entre 40 y 75 cm aumenta la complejidad del dosel y puede favorecer la disponibilidad de espacios para alimentación, refugio y desplazamiento de aves y mamíferos asociados con las fincas estudiadas.

6.1.2 Distribucion de clases diametricas Municipio de La Campa



Grafica 3. Distribución del DAP promedio por clases diamétricas del componente arbóreo del SAF en la finca del Sr. Sabino Sorto La Campa, Lempira.

La distribución diamétrica de la finca del Sr. Sabino Sorto, ubicada en el municipio de La Campa, estuvo conformada por 42 árboles distribuidos en seis clases, con diámetros comprendidos entre 5 y 35 cm. Las mayores frecuencias se registraron en las categorías de 10–14.9 cm y 15–19.9 cm, con 14 y 13 individuos, respectivamente. Estas dos clases concentraron el 64.3 % de los árboles evaluados, lo que demuestra un predominio de individuos con diámetros pequeños e intermedios dentro del componente arbóreo del sistema agroforestal.

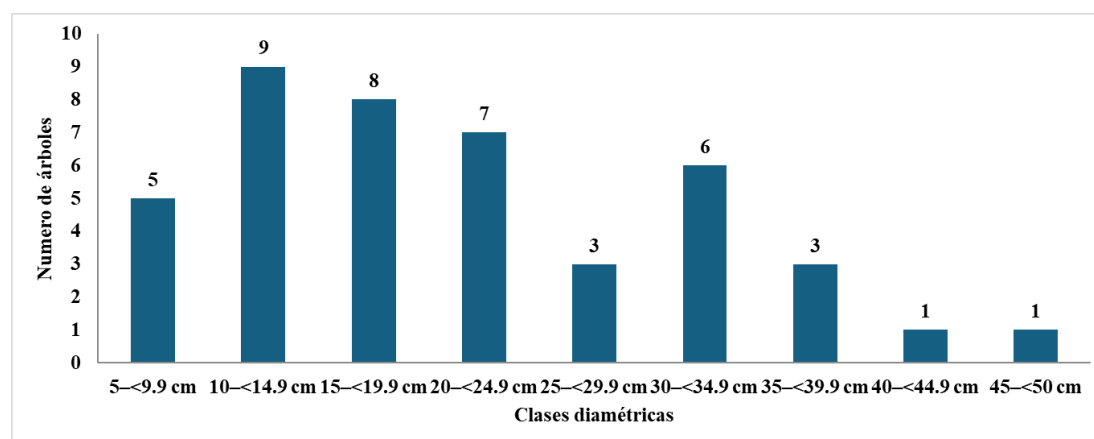
En términos acumulados, 36 árboles —equivalentes al 85.7 % del total— presentaron un DAP inferior a 25 cm. A partir de esta dimensión, la frecuencia disminuyó hasta cinco individuos en la clase de 25–29.9 cm y un árbol en la categoría de 30–35 cm. Por tanto, la estructura diamétrica de la finca se caracteriza por una concentración numérica en las clases centrales y una representación gradual de árboles con mayor desarrollo. (Méndez *et al* 2009).

Al comparar esta distribución con el patrón general de las cuatro fincas, se observa que La Campa contribuye principalmente a las clases inferiores e intermedias, mientras que

los árboles superiores a 35 cm registrados en el análisis general proceden de los demás sitios evaluados. Esta diferencia confirma que la amplitud diamétrica obtenida para todo el estudio es el resultado de la complementariedad estructural entre las fincas y no de una condición uniforme en cada municipio.

Respecto a la biomasa aérea y el carbono, la elevada cantidad de árboles en las clases de 10–19.9 cm indica que estas categorías realizan un aporte importante por su abundancia. Sin embargo, no puede afirmarse que concentren la mayor biomasa únicamente a partir del número de individuos. La contribución individual también está determinada por la altura total, la densidad específica de la madera y el DAP incorporados en la ecuación alométrica. En consecuencia, el único árbol de 30–35 cm podría efectuar un aporte proporcionalmente relevante, pero esto debe comprobarse mediante los resultados específicos de biomasa. (Tesfa *et al* 2025).

6.1.3 Distribución diamétrica de Belén, Lempira



Grafica 4. Distribución del DAP promedio por clases diamétricas del componente arbóreo del SAF en la finca del Sr. Isabel Perdomo Belén, Lempira.

En la finca del Sr. Isabel Perdomo, municipio de Belén, se contabilizaron 43 árboles distribuidos en nueve clases diamétricas, desde 5–9.9 cm hasta 45–50 cm. La mayor frecuencia se presentó en la categoría de 10–14.9 cm, con nueve individuos, seguida por las clases de 15–19.9 cm y 20–24.9 cm, con ocho y siete árboles, respectivamente.

En conjunto, los diámetros inferiores a 25 cm reunieron 29 individuos, equivalentes al 67.4 % del total evaluado.

A diferencia de una distribución estrictamente decreciente, la finca presentó un segundo incremento en la clase de 30–34.9 cm, donde se registraron seis árboles. Este comportamiento evidencia que la estructura no se encuentra concentrada exclusivamente en individuos pequeños, sino que también posee un grupo representativo de árboles con mayor desarrollo diamétrico. Por ello, el patrón observado puede interpretarse como una estructura heterogénea, integrada por árboles pertenecientes a distintos niveles de desarrollo. (Kebebew y Ozanne, 2024).

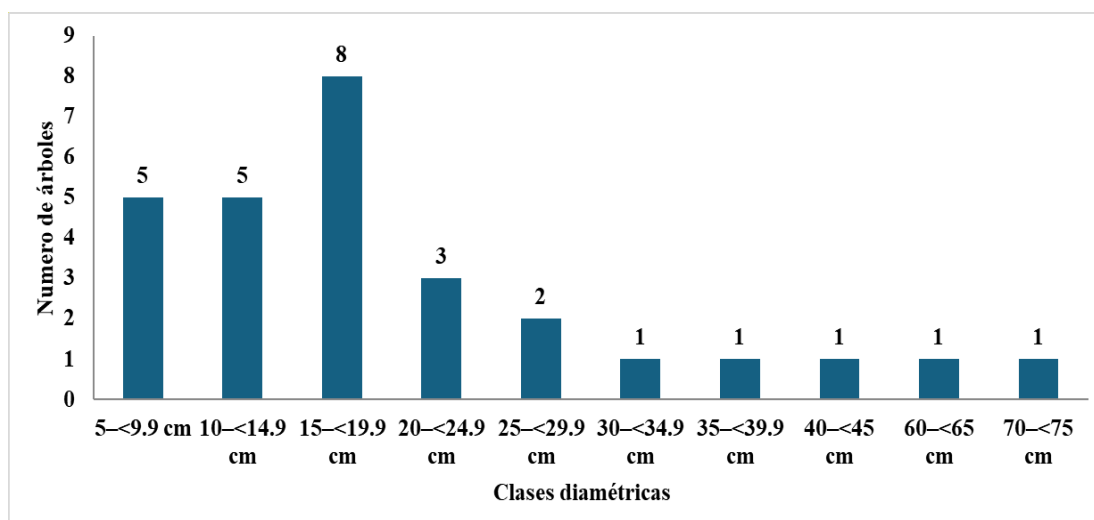
La presencia de árboles en las categorías de 30 a 34.9, 35 a 39.9, 40 a 44.9 y 45 a 49.9 cm también señala que el manejo del cafetal ha hecho posible que se mantengan individuos de tamaño significativo. Este patrón puede tener importantes consecuencias en la acumulación de biomasa aérea, ya que el aumento del diámetro origina incrementos irregulares en las estimaciones alométricas de biomasa. Por lo tanto, a pesar de que los árboles más grandes en diámetro pueden ser menos abundantes, su aporte a la estructura y su posible participación en las reservas de carbono puede ser relativamente alto. (Méndez *et al* 2009).

Un aspecto relevante es la amplitud de la distribución, que alcanzó la categoría de 45–50 cm. Los 14 árboles con DAP igual o superior a 25 cm representaron el 32.6 % del total, mientras que 11 individuos —el 25.6 %— se ubicaron entre 30 y 50 cm. Esta proporción demuestra una participación considerable de árboles medianos y grandes en comparación con una estructura dominada únicamente por las primeras categorías. La finca, por tanto, conserva individuos capaces de generar una mayor diferenciación en el dosel arbóreo.

La coexistencia de árboles pequeños, medianos y grandes puede producir una ocupación más diversa del espacio vertical y horizontal. Los individuos de menor DAP contribuyen principalmente a la densidad del componente arbóreo, mientras que aquellos situados en las categorías superiores pueden ejercer una mayor influencia sobre la cobertura de copa, la formación de sombra y la disponibilidad de estructuras utilizadas por la fauna. Esta diversidad de tamaños fortalece la capacidad del SAF-café

para combinar su función productiva con procesos ecológicos como la regulación microclimática y la provisión de hábitat.

6.1.4 Distribución diamétrica de Lepaera, Lempira



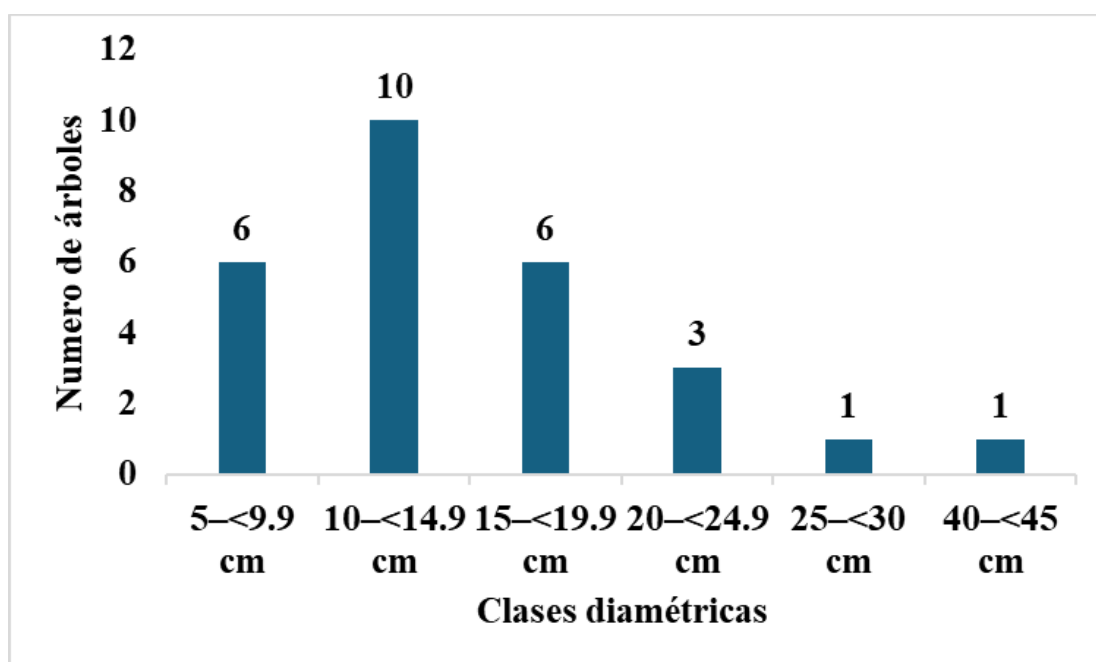
Grafica 5. Distribución del DAP promedio por clases diamétricas del componente arbóreo del SAF en la finca del Sr. German Pérez Lepaera, Lempira.

La estructura diamétrica registrada en la finca del Sr. Germán Pérez, municipio de Lepaera, estuvo integrada por 28 árboles distribuidos en un amplio intervalo de tamaños, desde 5–9.9 cm hasta 70–75 cm de DAP. La mayor frecuencia correspondió a la clase de 15–19.9 cm, con ocho individuos, mientras que las categorías de 5–9.9 cm y 10–14.9 cm presentaron cinco árboles cada una. En conjunto, las tres primeras clases concentraron 18 individuos, equivalentes al 64.3 % del total, lo que demuestra una mayor abundancia de árboles con diámetros inferiores a 20 cm.

Este comportamiento adquiere relevancia desde el punto de vista dasométrico, debido a que el diámetro del fuste constituye una de las variables de mayor influencia en la estimación de biomasa aérea. La presencia de árboles que superan los 60 cm de DAP incrementa considerablemente la dimensión estructural del componente leñoso y puede representar una contribución importante a las reservas de carbono del SAF. Debido al carácter alométrico de esta relación, los árboles de mayor tamaño pueden aportar proporcionalmente más biomasa que numerosos individuos de dimensiones reducidas, aunque la estimación definitiva debe integrar variables como altura y densidad específica de la madera. (Kebebew y Ozanne, 2024).

En consecuencia, Lepaera sobresale por la amplitud de su estructura diamétrica y, especialmente, por conservar los árboles de mayor DAP registrados entre las fincas evaluadas, alcanzando 70.90 cm de promedio en la categoría superior. Este resultado posiciona a los árboles de gran porte como un componente estratégico del SAF, particularmente por su potencial contribución a la biomasa aérea y almacenamiento de carbono. Por ello, la estructura arbórea de Lepaera constituye un resultado relevante para demostrar cómo la conservación de árboles maduros dentro de cafetales puede fortalecer simultáneamente la estructura del sistema y la provisión de servicios ecosistémicos. (Koutouleas *et al* 2022).

6.1.5 Distribución diamétrica de Gracias, Lempira



Grafica 6. Distribución del DAP promedio por clases diamétricas del componente arbóreo del SAF en la finca del Sr. José Enemesio Sarmiento Herrera, Gracias, Lempira.

La distribución diamétrica de los árboles registrados en la finca del Sr. Enemesio Sarmiento, ubicada en el municipio de Gracias, Lempira, muestra una estructura con predominio de individuos de diámetros pequeños e intermedios. La mayor frecuencia se concentró en la clase de 10-14.9 cm, con 10 árboles, seguida por las clases de 5-9.9 cm y 15-19.9 cm, con 6 individuos cada una. Este comportamiento demuestra

una importante presencia de árboles en diferentes etapas de desarrollo, lo que constituye una condición favorable para la continuidad y dinámica del componente arbóreo dentro del sistema agroforestal.

La concentración de individuos en las primeras clases diamétricas representa un resultado positivo desde el punto de vista de la sostenibilidad estructural, debido a que evidencia la presencia de árboles jóvenes y en crecimiento que pueden incorporarse progresivamente a clases diamétricas superiores. Esta característica favorece la renovación natural de la estructura arbórea y permite mantener una base de individuos con potencial de desarrollo futuro, fortaleciendo la permanencia del arbolado dentro de la finca.

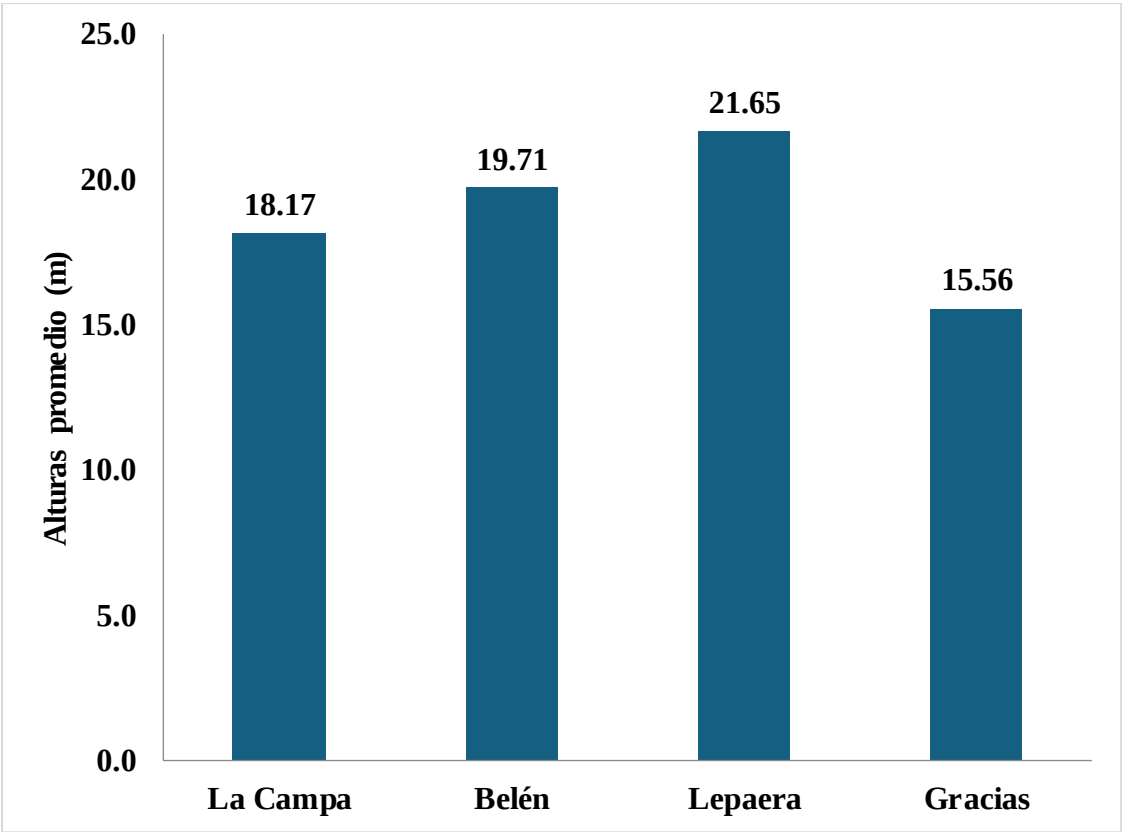
Desde el punto de vista funcional, los árboles de mayor diámetro representan un componente particularmente relevante debido a la influencia del DAP sobre las estimaciones de biomasa aérea. Por su dimensión, estos individuos pueden concentrar una proporción importante de la biomasa existente en la finca y, consecuentemente, contribuir de manera significativa al almacenamiento de carbono. No obstante, esta contribución debe interpretarse conjuntamente con la altura y la densidad específica de la madera, debido a que el diámetro constituye únicamente uno de los componentes utilizados para determinar la biomasa arbórea (Yasin y Tekalign, 2022).

En conjunto, la finca de Don Enemecio se caracteriza por un componente arbóreo donde predominan dimensiones pequeñas e intermedias acompañadas por individuos de mayor desarrollo diamétrico. Esta condición puede representar una ventaja para la dinámica futura del SAF, debido a que los árboles intermedios constituyen una fracción estructural con capacidad de continuar incrementando biomasa, mientras que los ejemplares de mayor porte mantienen actualmente una participación importante en la estructura leñosa.

Por tanto, en Gracias resulta especialmente relevante la coexistencia de árboles en diferentes etapas de desarrollo, condición que contribuye al mantenimiento de la cobertura arbórea y proporciona una base para la continuidad de funciones

ecosistémicas asociadas con sombra, producción de biomasa y almacenamiento de carbono (Asanok *et al* 2024)

6.1.6 Distribucion general de alturas de las fincas



Grafica 7. Distribución de los árboles por clase de alturas en los sistemas agroforestales con café del norte de Lempira

La altura promedio de los árboles registrados en las cuatro fincas evaluadas mostró diferencias importantes entre los sistemas agroforestales de los municipios de La Campa, Belén, Lepaera y Gracias. La finca ubicada en Lepaera presentó la mayor altura promedio, con 21.65 m, seguida por Belén con 19.71 m, La Campa con 18.17 m y Gracias con 15.56 m. En términos generales, los resultados evidencian que las cuatro fincas mantienen un componente arbóreo bien desarrollado, con alturas promedio superiores a los 15 m.

El valor más elevado registrado en la finca de Lepaera indica la presencia de una estructura arbórea con mayor desarrollo vertical, condición que favorece la formación

de una cobertura de sombra más amplia y estratificada. La presencia de árboles de mayor altura puede contribuir a la regulación de las condiciones microclimáticas dentro del sistema agroforestal, proporcionando protección frente a la radiación solar directa y favoreciendo condiciones ambientales más estables para el cultivo de café.

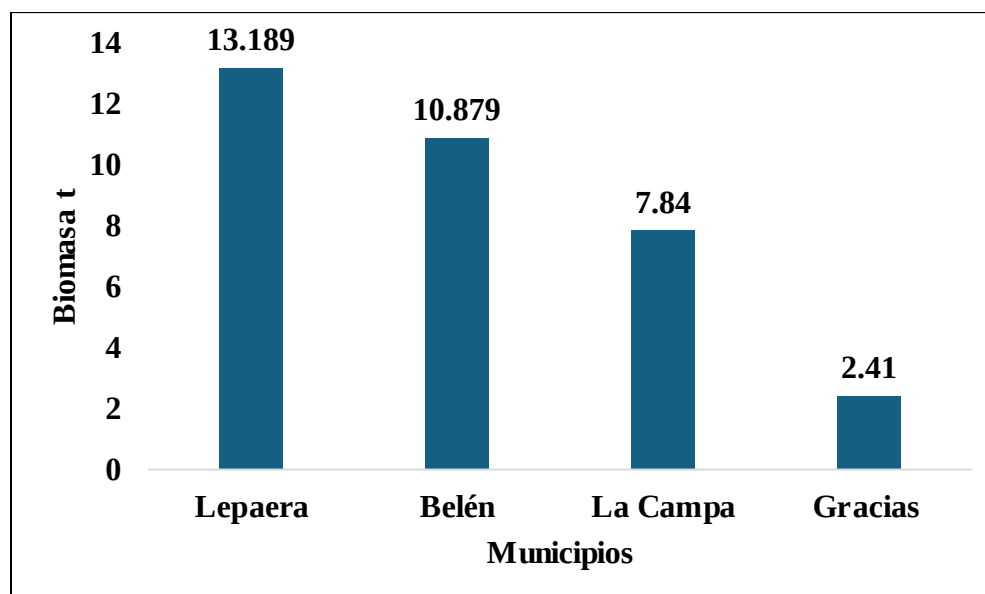
Por su parte, las fincas de Belén y La Campa presentaron alturas promedio de 19.71 m y 18.17 m, respectivamente, lo que demuestra una estructura vertical favorable y relativamente consolidada. Estos valores reflejan la capacidad de los sistemas agroforestales para mantener árboles de porte considerable, contribuyendo a la complejidad estructural del paisaje agrícola. La presencia de árboles con diferentes dimensiones verticales representa una característica positiva, ya que favorece una mayor heterogeneidad en la distribución de la vegetación y en las funciones ecológicas asociadas al componente arbóreo.

La finca evaluada en Gracias registró una altura promedio de 15.56 m. Aunque presentó el menor valor en comparación con las demás fincas, esta altura continúa representando un componente arbóreo funcional dentro del sistema agroforestal. Además, esta condición puede estar asociada a una estructura con árboles de diferentes etapas de desarrollo, lo que representa un potencial importante para el crecimiento y renovación futura del sistema. La presencia de individuos en desarrollo permite mantener una dinámica estructural activa y contribuye a la continuidad del componente arbóreo a través del tiempo.

En conjunto, los resultados demuestran que las cuatro fincas poseen una estructura vertical favorable para el establecimiento y funcionamiento de sistemas agroforestales con café. Las alturas promedio registradas permiten inferir la existencia de un componente arbóreo capaz de contribuir a la generación de sombra, regulación del microclima y provisión de condiciones favorables para la biodiversidad. La variación observada entre las fincas no debe interpretarse únicamente como una diferencia en el tamaño de los árboles, sino como una expresión de la diversidad estructural y de las distintas condiciones de desarrollo presentes en cada sistema.

(Perfecto *et al* 2014).

6.1.7 Análisis descriptivo y comparativo de Biomasa aérea y Carbono acumulado



Grafica 8. Especies con mayor biomasa aérea de las cuatro fincas evaluadas

La biomasa aérea acumulada en las cuatro fincas fue de 34.318 t, presentando diferencias entre municipios. Lepaera registró el mayor valor (13.189 t; 38.4 %), seguido de Belén (10.879 t; 31.7 %), La Campa (7.840 t; 22.8 %) y Gracias (2.410 t; 7.0 %). Esta variación evidencia diferencias en la estructura y desarrollo del componente arbóreo, donde las dimensiones de los individuos, principalmente diámetro y altura, influyen directamente en la acumulación de biomasa. En este sentido, Lepaera presentó la mayor capacidad de acumulación de biomasa y, por consiguiente, un mayor potencial de almacenamiento de carbono, mientras que Gracias mostró la menor contribución dentro del conjunto evaluado.

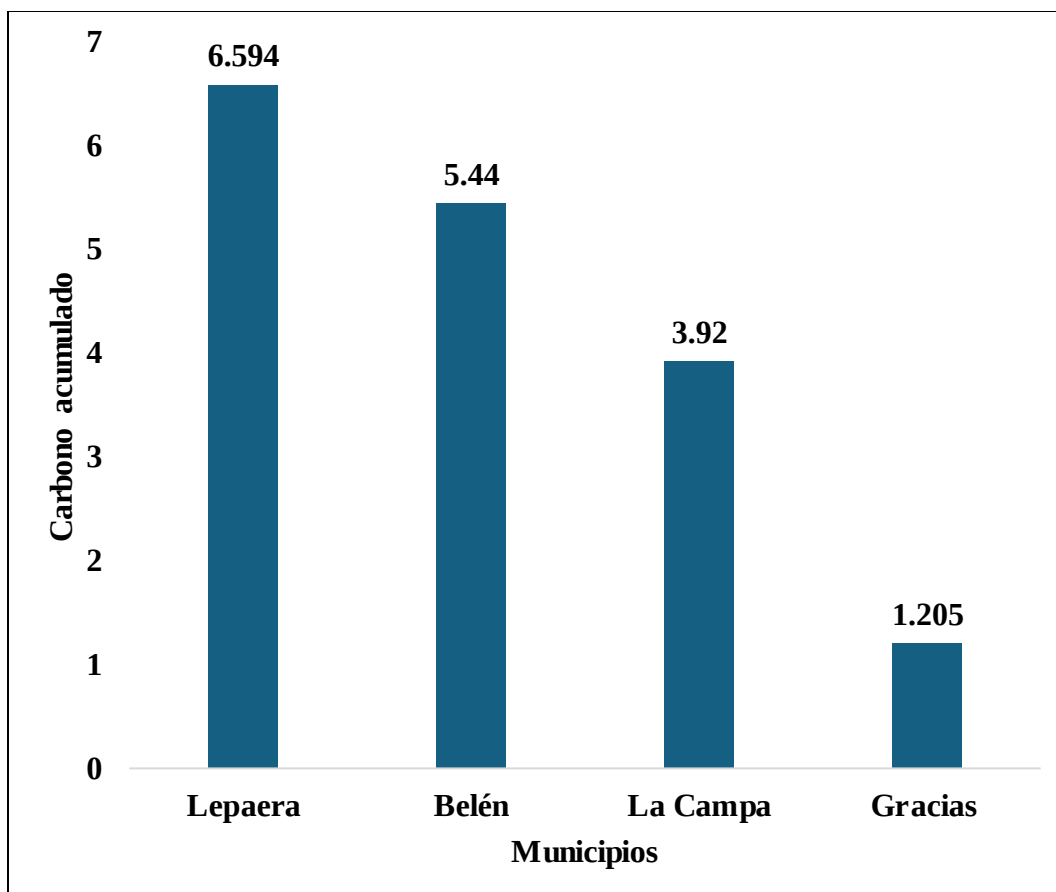
Las diferencias observadas en la biomasa aérea evidencian que la estructura del componente arbóreo constituye un factor determinante en la capacidad de los sistemas agroforestales para acumular biomasa. La biomasa no está condicionada exclusivamente por la riqueza o abundancia de especies, sino principalmente por las dimensiones de los árboles y la distribución de los individuos dentro del sistema. En este sentido, la mayor biomasa registrada en Lepaera sugiere la existencia de una

estructura arbórea con individuos capaces de acumular mayores cantidades de materia orgánica sobre el suelo.

Este resultado es particularmente importante desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos proporcionados por los sistemas agroforestales de café, debido a que la acumulación de biomasa aérea representa una forma de almacenamiento de carbono. Por lo tanto, las fincas con mayor biomasa arbórea pueden contribuir en mayor medida a la captura y almacenamiento de carbono atmosférico, además de proporcionar otros beneficios como regulación microclimática, generación de sombra para el cultivo, protección del suelo y mantenimiento de hábitats para diferentes organismos.

En términos generales, los resultados evidencian una marcada variación en la capacidad de acumulación de biomasa aérea entre las fincas evaluadas, destacándose Lepaera como el municipio con mayor aporte. Esta variabilidad refleja diferencias en la estructura y desarrollo del componente arbóreo de los sistemas agroforestales, donde la presencia de individuos de mayores dimensiones puede favorecer una mayor acumulación de biomasa y, consecuentemente, un mayor potencial de almacenamiento de carbono.

Estos resultados respaldan la importancia de conservar y fortalecer el componente arbóreo de los sistemas agroforestales de café como una estrategia complementaria para la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos.



Grafica 9. Especies con mayor captura de carbono de las cuatro fincas evaluadas.

La gráfica muestra una clara diferencia en la captura de carbono entre las cuatro fincas evaluadas, destacándose el municipio de Lepaera con el mayor valor de carbono acumulado (6.594), seguido de Belén con 5.44, La Campa con 3.92 y finalmente Gracias con 1.205. En términos generales, estos resultados indican que las fincas no presentan la misma capacidad de almacenamiento de carbono, lo cual puede estar relacionado con las características estructurales y de manejo de cada sistema agroforestal. Si se considera el carbono total acumulado por las cuatro fincas, aproximadamente 38.4 % corresponde a Lepaera, 31.7 % a Belén, 22.8 % a La Campa y 7.0 % a Gracias, evidenciando que Lepaera y Belén concentran la mayor proporción del carbono registrado.

En conjunto, los resultados muestran que Lepaera presentó la mayor captura de carbono (6.594), seguido de Belén (5.44), La Campa (3.92) y Gracias (1.205), evidenciando diferencias importantes en la capacidad de almacenamiento de carbono entre las fincas evaluadas. Estas variaciones pueden estar relacionadas principalmente con la densidad, diámetro y altura de los árboles, así como con la composición y manejo del componente

arbóreo dentro de los sistemas agroforestales de café. Lepaera y Belén concentran los mayores valores, lo que podría indicar una mayor presencia de árboles con mayor desarrollo y acumulación de biomasa, mientras que el menor valor registrado en Gracias podría asociarse con una menor cantidad o tamaño de los individuos arbóreos. En este sentido, los resultados resaltan la importancia de mantener y fortalecer el componente arbóreo de los sistemas agroforestales, ya que además de contribuir a la captura de carbono, favorece la conservación de la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos.

La diferencia entre municipios también puede interpretarse desde el punto de vista del manejo de las fincas y las condiciones del sitio. Las características del suelo, la altitud, la disponibilidad de agua, la edad de la plantación, las especies utilizadas como sombra y las prácticas de manejo pueden influir en el crecimiento de los árboles y, consecuentemente, en la acumulación de carbono. Por ello, no sería adecuado atribuir las diferencias únicamente al municipio donde se encuentra cada finca, ya que el valor obtenido corresponde al comportamiento particular de las fincas evaluadas. En este sentido, el municipio funciona como una referencia espacial, pero las verdaderas causas de las diferencias deben buscarse en las características ecológicas y productivas de cada sistema.

Asimismo, los resultados permiten plantear que una mayor complejidad estructural del sistema agroforestal podría favorecer una mayor acumulación de carbono. Un sistema que conserva diferentes estratos de vegetación y árboles de distintos tamaños puede acumular carbono tanto en individuos jóvenes como en árboles adultos. Esto resalta la importancia de evitar una simplificación excesiva de los sistemas agroforestales, especialmente cuando el objetivo no es únicamente producir café, sino también mantener servicios ecosistémicos. El manejo de la sombra, por ejemplo, debería buscar un equilibrio entre las necesidades productivas del café y la conservación de una cobertura arbórea suficiente para mantener las funciones ecológicas del sistema.

En conjunto, Lepaera y Belén destacan como las fincas con mayor capacidad de almacenamiento de carbono, mientras que La Campa presenta un comportamiento intermedio y Gracias registra el menor valor. Estos resultados sugieren que existen diferencias importantes en la estructura y composición de los sistemas agroforestales evaluados. Sin embargo, para fortalecer la discusión sería recomendable relacionar

estos valores con los datos de DAP, altura de los árboles, densidad, área basal, número de especies y composición florística, ya que estas variables permitirían explicar de manera más precisa por qué unas fincas acumulan mayor cantidad de carbono que otras. En términos generales, los resultados respaldan la importancia de conservar y fortalecer el componente arbóreo de los sistemas agroforestales de café, debido a que una adecuada cobertura y estructura de árboles puede incrementar el almacenamiento de carbono y, simultáneamente, favorecer otros procesos ecológicos asociados con la biodiversidad y la sostenibilidad de las fincas.

6.2 Composición taxonómica de la avifauna registrada

Durante el monitoreo de fauna silvestre realizado en los sitios de Belén, La Campa, Lepaera y Gracias se registraron 1,820 individuos pertenecientes a 59 especies de aves (Anexo 6). La composición registrada evidencia una avifauna diversa, integrada por especies con diferentes requerimientos ecológicos y asociadas a distintos tipos de cobertura y condiciones ambientales.

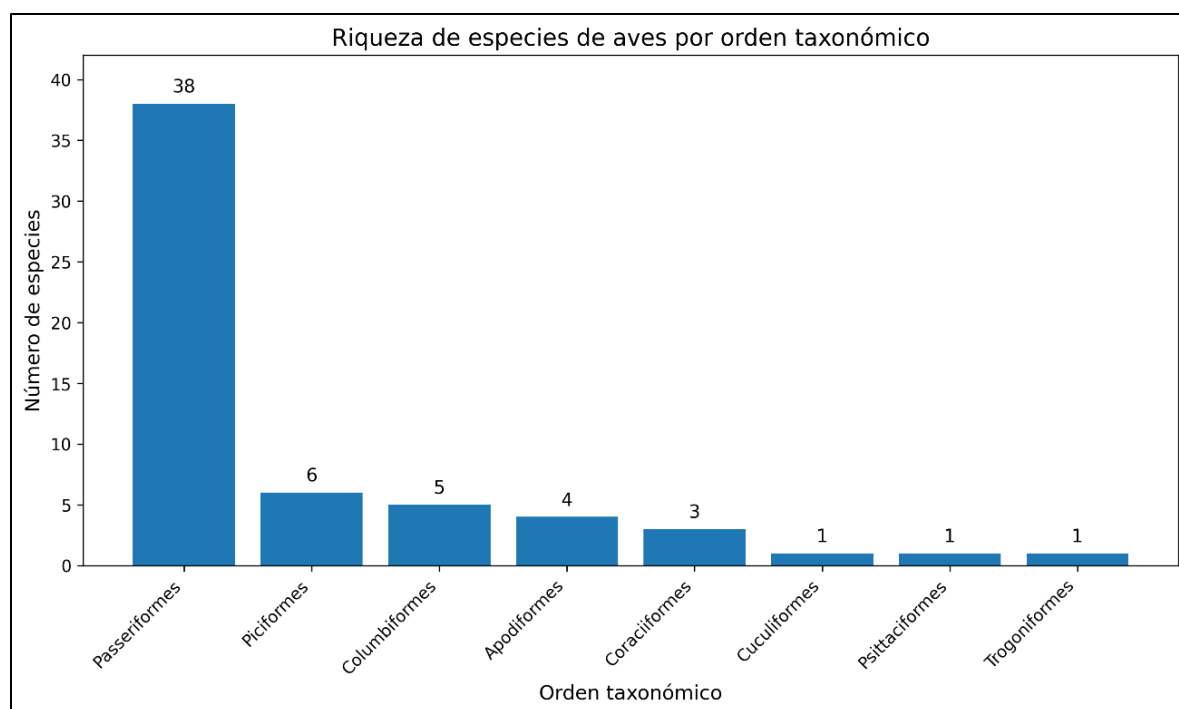
Entre las especies con mayor número de registros se encontraron *Sporophila moreletii* con 88 individuos, *Dryocopus lineatus* con 61, *Momotus lessonii* con 59, *Atlapetes albinucha* con 58 y *Troglodytes aedon* con 57 individuos. En contraste, otras especies presentaron pocos registros durante el monitoreo (Tabla 1). Estas diferencias reflejan una distribución desigual de las detecciones entre especies y no deben interpretarse directamente como diferencias en el tamaño de sus poblaciones, debido a que la frecuencia de observación también puede estar influenciada por la detectabilidad, comportamiento y características del hábitat.

Se registraron 59 especies de aves, agrupadas en 19 familias y ocho órdenes. Passeriformes presentó la mayor riqueza taxonómica, con 38 especies, equivalente al 64.41 % de la riqueza total, y reunió 11 de las 19 familias registradas. Le siguieron Piciformes con seis especies (10.17 %), Columbiformes con cinco (8.47 %) y Apodiformes con cuatro (6.78 %). Coraciiformes estuvo representado por tres especies (5.08 %), mientras Cuculiformes, Psittaciformes y Trogoniformes registraron una especie cada uno (1.69 %).

La marcada representación de Passeriformes muestra que la riqueza de la avifauna estuvo concentrada principalmente en este orden; sin embargo, la presencia de otros siete órdenes evidencia una composición taxonómica diversa.

Tabla 1. Composición taxonómica de la avifauna registrada en los sitios de estudio

Orden	Familias representadas	N.º de familias	N.º de especies	% de la riqueza
Passeriformes	Tyrannidae, Vireonidae, Corvidae, Troglodytidae, Turdidae, Passerellidae, Icteridae, Parulidae, Cardinalidae, Fringillidae, Thraupidae	11	38	64.41
Piciformes	Ramphastidae, Picidae	2	6	10.17
Columbiformes	Columbidae	1	5	8.47
Apodiformes	Trochilidae	1	4	6.78
Coraciiformes	Alcedinidae, Momotidae	2	3	5.08
Cuculiformes	Cuculidae	1	1	1.69
Psitaciformes	Psittacidae	1	1	1.69
Trogoniformes	Trogonidae	1	1	1.69
Total	—	19	59	100.00



Grafica 10. Riqueza de aves por orden

La presencia de especies pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos evidencia la heterogeneidad de la avifauna registrada en los sitios evaluados. La composición observada incluye especies asociadas a diferentes estratos de vegetación y estrategias de alimentación, por lo que la riqueza encontrada no solamente representa un número de especies, sino también diferentes componentes funcionales de la comunidad de aves. En este sentido, la composición taxonómica constituye una primera aproximación para posteriormente evaluar si la riqueza y diversidad se distribuyen de manera similar entre los cuatro sitios.

6.2.1 Riqueza, abundancia y diversidad de aves entre sitios

La abundancia total de aves fue relativamente similar entre los cuatro sitios evaluados. Belén presentó 477 registros, Lepaera 476, La Campa 435 y Gracias 432. Sin embargo, este patrón cambió considerablemente al analizar la riqueza de especies. Belén presentó la mayor riqueza, con 55 especies, seguido de Lepaera con 51 y Gracias con 47, mientras que La Campa registró solamente 26 especies (Tabla 2).

Tabla 2 . Riqueza, abundancia e índices de diversidad de aves en los cuatro sitios evaluados.

Sitio	Abundancia (N)	Riqueza (S)	Shannon (H')	Simpson (1-D)	Margalef
Belén	477	55	3.839	0.976	8.756
La Campa	435	26	3.186	0.956	4.115
Lepaera	476	51	3.745	0.972	8.110
Gracias	432	47	3.668	0.971	7.580

Los resultados muestran que una abundancia semejante de individuos entre sitios no necesariamente implica una riqueza o diversidad equivalente. Esta situación fue particularmente evidente en La Campa, donde se registraron 435 individuos, cantidad relativamente cercana a los demás sitios, pero distribuidos únicamente entre 26 especies. En contraste, Belén y Lepaera presentaron prácticamente la misma abundancia, con 477 y 476 registros respectivamente, pero alcanzaron riquezas de 55 y 51 especies. Esto indica que en La Campa los registros estuvieron concentrados en un conjunto menor de especies.

Los índices de diversidad mostraron el mismo patrón. Belén presentó el mayor valor de Shannon ($H'=3.839$), seguido por Lepaera ($H'=3.745$) y Gracias ($H'=3.668$), mientras que La Campa presentó el valor menor ($H'=3.186$). El índice de Simpson mostró diferencias menos marcadas, aunque nuevamente Belén presentó el valor más alto ($1-D=0.976$). Las mayores diferencias se observaron en Margalef, cuyo valor en Belén (8.756) fue más del doble del obtenido en La Campa (4.115). En conjunto, estos resultados evidencian que Belén presentó la mayor riqueza y diversidad de aves, mientras La Campa presentó la comunidad con menor riqueza y diversidad, pese a que el número total de registros no fue considerablemente menor.

6.2.2 Similitud y dendrograma

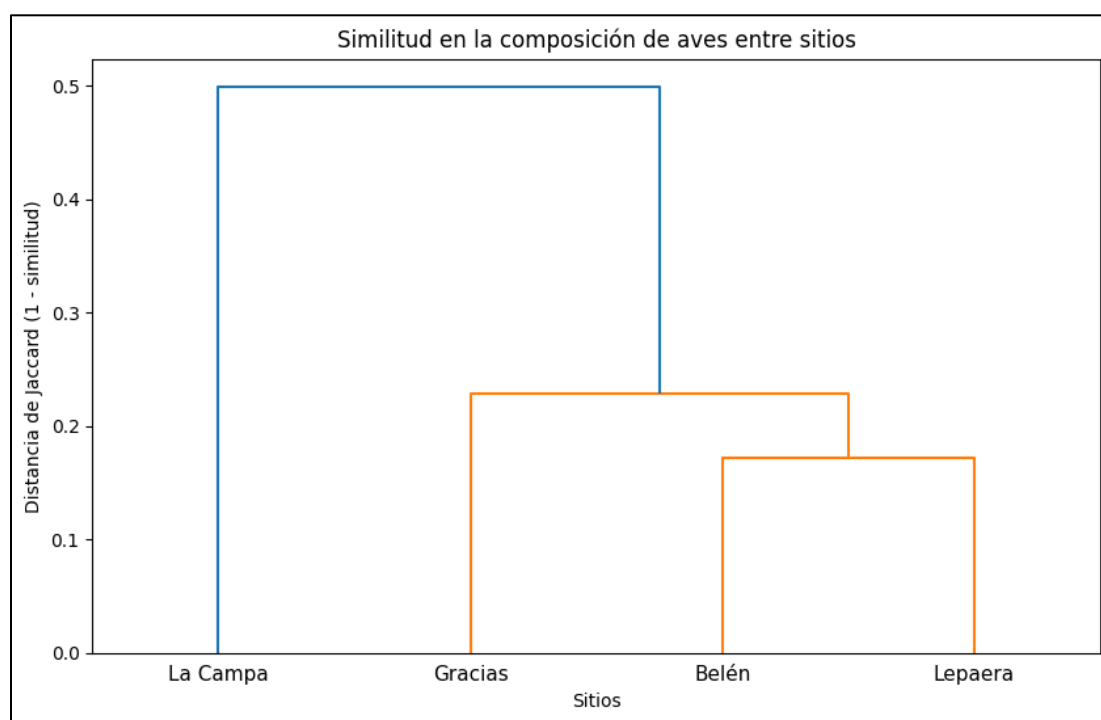
La similitud en la composición de especies entre los cuatro sitios fue evaluada mediante el índice de Jaccard, utilizando datos de presencia y ausencia. Los mayores valores se encontraron entre Belén y Lepaera ($J=0.828$) y entre Lepaera y Gracias ($J=0.815$), indicando una elevada proporción de especies compartidas entre estos sitios. Por el contrario, La Campa presentó los menores valores de similitud con los demás sitios (Tabla 3).

Tabla 3. Índice de similitud de Jaccard y número de especies compartidas entre los sitios evaluados.

Sitios comparados	Especies compartidas	Jaccard
Belén – Lepaera	48	0.828
Lepaera – Gracias	44	0.815
Belén – Gracias	43	0.729
La Campa – Gracias	25	0.521
La Campa – Lepaera	26	0.510
Belén – La Campa	26	0.473

La elevada similitud entre Belén, Lepaera y Gracias indica que estos sitios comparten una proporción importante de su composición de especies. Particularmente, Belén y Lepaera compartieron 48 especies, mientras Lepaera y Gracias compartieron 44. Estos resultados sugieren una mayor semejanza en la estructura de sus comunidades de aves, aunque la similitud taxonómica por sí sola no permite determinar cuáles factores ambientales explican este patrón.

La Campa presentó un comportamiento diferente, ya que registró la menor riqueza y los menores valores de similitud respecto a los demás sitios. La menor similitud ocurrió entre La Campa y Belén ($J=0.473$). Este resultado indica que La Campa constituye el sitio con una composición de avifauna más diferenciada dentro del conjunto evaluado. Sin embargo, antes de atribuir estas diferencias exclusivamente a características ambientales del sitio, deberán considerarse posibles diferencias en esfuerzo de muestreo, condiciones de observación y detectabilidad de las especies, si estas variables no fueron completamente equivalentes entre localidades.



Grafica 11. Dendrograma de similitud de Jaccard de la composición de aves entre los sitios evaluados.

El análisis de conglomerados mostró una mayor similitud en la composición de especies entre Belén y Lepaera, los cuales presentaron un índice de Jaccard de 0.828 y formaron el primer grupo del dendrograma. Posteriormente, Gracias se integró a este conglomerado, mostrando también una elevada similitud con Lepaera ($J = 0.815$) y

Belén ($J = 0.729$). Estos resultados indican que los tres sitios comparten una proporción importante de las especies registradas.

En contraste, La Campa presentó la mayor diferenciación en la composición de la avifauna, agrupándose a una mayor distancia respecto a los demás sitios. Sus valores de similitud fueron menores con Belén ($J = 0.473$), Lepaera ($J = 0.510$) y Gracias ($J = 0.521$). Este patrón coincide con la menor riqueza observada en La Campa y evidencia que, aunque el número total de individuos registrados fue relativamente similar entre localidades, la composición de especies presentó diferencias más marcadas en este sitio.

6.2.3 Especies compartidas y exclusivas entre sitios

Del total de 59 especies registradas, 25 estuvieron presentes en los cuatro sitios evaluados, lo que evidencia la existencia de un núcleo importante de especies ampliamente distribuidas entre Belén, La Campa, Lepaera y Gracias.

Belén presentó el mayor número de especies exclusivas, con cinco especies registradas únicamente en este sitio (Tabla 4): *Chloroceryle americana*, *Icterus gularis*, *Icterus pustulatus*, *Piaya cayana* y *Psittacara holochlorus*. Gracias presentó una especie exclusiva, *Vireo flavoviridis*, mientras que La Campa y Lepaera no presentaron especies exclusivas dentro del período de muestreo.

Tabla 4. Número de especies exclusivas registradas en los sitios de estudio.

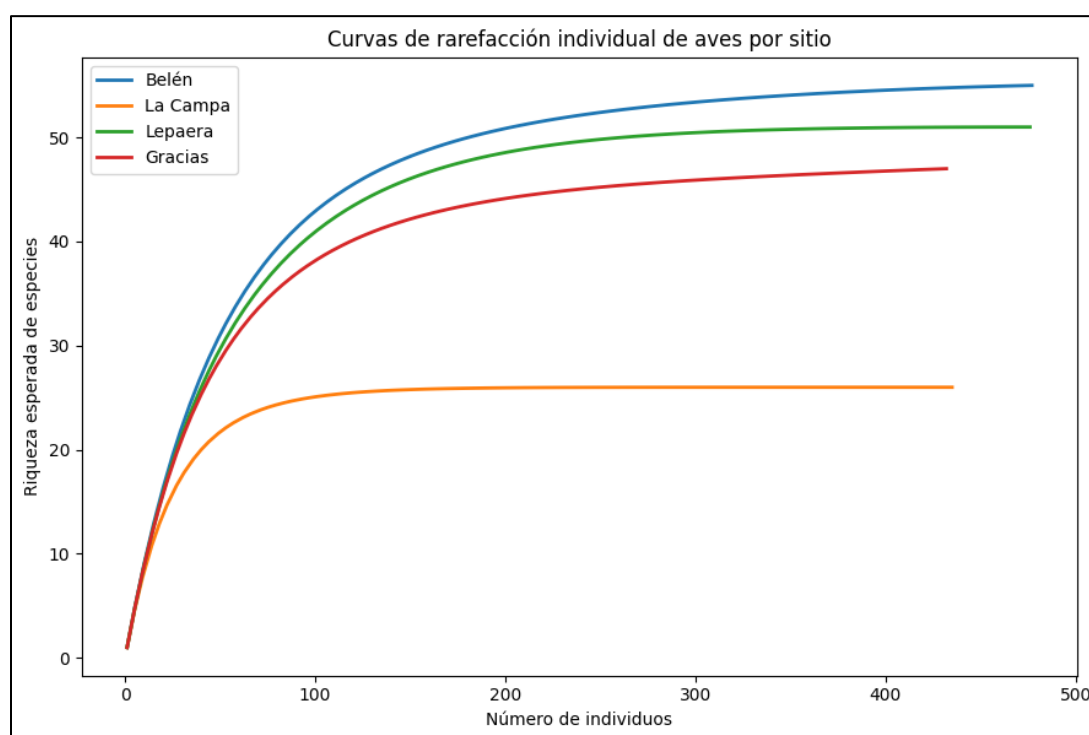
Sitio	Riqueza total	Especies exclusivas	N.º exclusivas
Belén	55	<i>Chloroceryle americana</i> , <i>Icterus gularis</i> , <i>Icterus pustulatus</i> , <i>Piaya cayana</i> , <i>Psittacara holochlorus</i>	5
La Campa	26	Ninguna	0
Lepaera	51	Ninguna	0
Gracias	47	<i>Vireo flavoviridis</i>	1

Este resultado refuerza la diferenciación observada entre los sitios. Belén no solamente presentó la mayor riqueza total, sino también el mayor número de especies exclusivas,

lo cual sugiere que este sitio aportó componentes particulares a la composición general de la avifauna. En contraste, la ausencia de especies exclusivas en La Campa y Lepaera indica que las especies registradas en estos sitios también estuvieron presentes en al menos una de las otras localidades. Sin embargo, la exclusividad debe interpretarse en función del esfuerzo y período de muestreo, ya que una especie no detectada en otro sitio no necesariamente está ausente de él.

6.2.4 Comparación de la riqueza mediante curvas de rarefacción

Para comparar la riqueza de aves entre sitios considerando las diferencias en el número de individuos registrados, se elaboraron curvas de rarefacción basadas en individuos. Las curvas mostraron una separación clara entre los sitios, particularmente entre La Campa y las otras tres localidades.



Grafica 12. Curvas de rarefacción individual de la riqueza de aves registradas en Belén, La Campa, Lepaera y Gracias.

Belén presentó la curva de mayor riqueza esperada, seguido de Lepaera y Gracias, mientras que La Campa mostró valores considerablemente menores. Al estandarizar la comparación al menor tamaño de muestra, correspondiente a 432 individuos, la riqueza esperada fue aproximadamente 54.77 especies en Belén, 50.98 en Lepaera, 47.00 en

Gracias y 26.00 en La Campa. Esto confirma que las diferencias observadas en riqueza no se explican únicamente por el número de individuos registrados, ya que los cuatro sitios presentaron abundancias totales relativamente similares.

Además, las curvas de Belén, Lepaera y Gracias todavía muestran un incremento moderado hacia el final del muestreo, especialmente Belén, lo cual sugiere que un esfuerzo adicional podría incorporar algunas especies poco frecuentes. En cambio, la curva de La Campa se aproxima más rápidamente a una asíntota alrededor de las 26 especies, indicando que el aumento del esfuerzo probablemente produciría un incremento menor de la riqueza registrada.

6.3 Composición, frecuencia de observación y distribución de mamíferos en sistemas agroforestales con café

Tabla 5. Frecuencia y mamíferos encontrados en los sitios

Municipio	La Campa Lempira	Belén Lempira	Lepaera Lempira	Gracias Lempira
Frecuencia y Especies	Mediano	mediano	mediano	mediano
Frecuencia de observación	Semanal	diario	rara vez	diario
Guatusa (<i>Dasyprocta punctata</i>)	X	x	x	
Ardilla (<i>Sciurus variegatoides</i>)	X			x
Conejo (<i>Silvilagus floridanus</i>)	X			
Tepezcuinte (<i>Cuniculues paca</i>)	X		x	x
Mapache (<i>Procyon lotor</i>)			x	
Venados (<i>Odocoileus virginianus</i>)	X	x		
Cusuco (<i>Dasypus novemcintus</i>)		x		
Gato de Monte (<i>Leopardus pardalis</i>)		x		x

Tacuasin cola blanca (<i>Didelphis virginiana</i>)			x	
Comadreja (<i>Mustela frenata</i>)			x	x

La fluctuación en la riqueza y en la frecuencia de observación de los mamíferos entre las diferentes localidades indica que el sistema agroforestal y la estructura del paisaje tienen un impacto directo sobre el uso de las fincas cafetaleras por parte de la fauna silvestre. Gracias tuvo la mayor diversidad de especies y Lepaera, la más baja; esto podría señalar que hay disparidades en términos de la complejidad estructural del cafetal, la conectividad con los remanentes de bosque y la disponibilidad de recursos para alimentarse. Según varios estudios, los sistemas agroforestales con una cobertura arbórea más amplia albergan comunidades de mamíferos más variadas porque ofrecen alimento, refugio y vías adecuadas para que las especies se desplacen.

La presencia recurrente de Guatusa (*Dasyprocta punctata*) y Tepezcuintle (*Cuniculus paca*) en tres de los cuatro municipios constituye un hallazgo ecológicamente relevante, debido a que ambas especies desempeñan un papel fundamental en la dispersión secundaria de semillas y en la dinámica de regeneración del bosque. Su permanencia dentro de los cafetales bajo sombra indica que estos agroecosistemas no solo funcionan como áreas productivas, sino también como componentes del paisaje que mantienen procesos ecológicos esenciales para la conservación de la biodiversidad.

De igual manera, el hecho de que se hayan registrado especies como gato de monte (*Leopardus pardalis*) y venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) demuestra la presencia de hábitats con un grado de alteración relativamente bajo. Específicamente, (*Leopardus pardalis*) es visto como un depredador mesocarnívoro cuyo hábitat normalmente se relaciona con ecosistemas que mantienen una buena cobertura vegetal y un número suficiente de presas. El hecho de que sucedan en Belén y Gracias podría entenderse como una señal de la funcionalidad ecológica de estos sistemas agroforestales y de su conexión con zonas boscosas adyacentes (Perfecto & Vandermeer, Conservación de la biodiversidad en agroecosistemas tropicales: un nuevo paradigma de conservación, 2008).

Tabla 6. Presencia y aporte de los mamíferos por sitio de estudio según percepción de propietarios.

Municipio	La Campa Lempira	Belén Lempira	Lepaera Lempira	Gracias Lempira
Presencia y aporte	Mediano	mediano	mediano	mediano
Zona con mayor presencia	cerca del café	cerca del bosque	cerca del café	cerca del bosque
Horario de Actividad	Ambos	ambos	día	ambos
Daño al cultivo	a veces	a veces	a veces	no
Método de Identificación	Avistamiento	huellas	avistamiento	huellas
Sombra suficiente	Si	si	si	si
Protección de Fauna	Si	si	si	si
Disminución de Fauna	Si	no	no	si
Aporte al bosque	Si	si	si	si
Conocimiento de Especies	Si	si	si	algunas
Beneficio de mamíferos	Si	si	depende	si

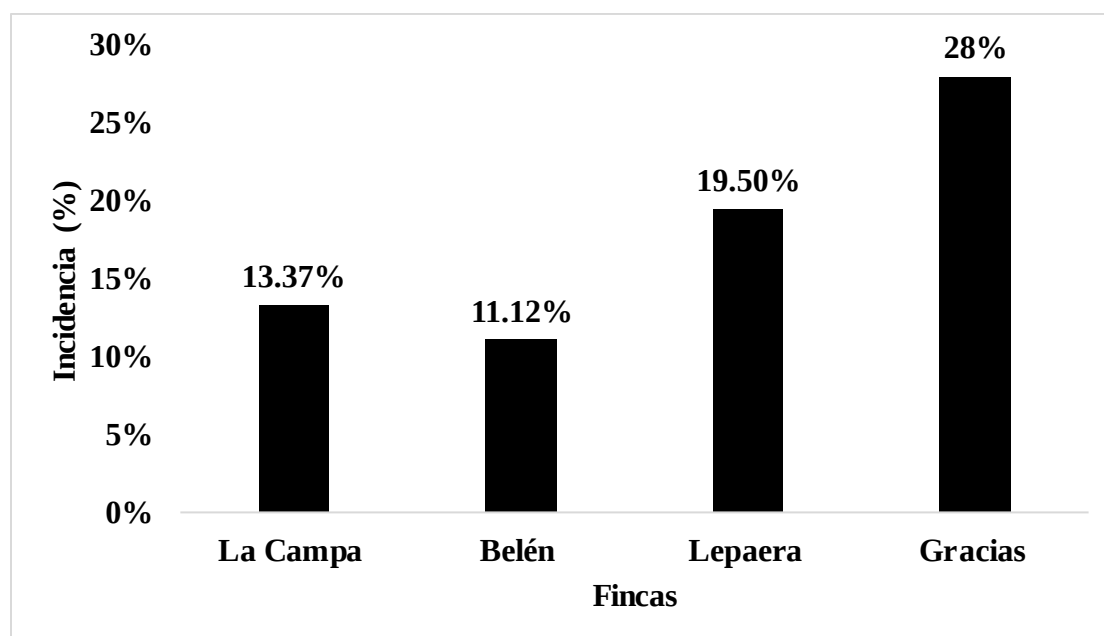
Los productores observaron que los mamíferos silvestres tienen una conexión cercana con los sistemas agroforestales del café, sobre todo en zonas próximas al bosque y al cultivo. La Campa y Lepaera reportaron más avistamientos en los cafetales, mientras que Belén y Gracias registraron la mayor cantidad de mamíferos cerca de las áreas boscosas. Este comportamiento concuerda con investigaciones que señalan que los sistemas agroforestales sombreados actúan como espacios de transición entre el bosque y las zonas productivas, permite a distintas especies de mamíferos moverse y buscar alimento. Uno de los factores más importantes que determina la permanencia de la fauna silvestre en los agroecosistemas cafeteros es la conectividad del paisaje.

En Lepaera, donde la actividad diurna fue mayor, se registró principalmente la actividad de los mamíferos durante las dos partes del día. A pesar de que estos comentarios se basan en el conocimiento local y no en observaciones directas, muestran que los productores tienen una comunicación constante con la fauna y cuentan con datos importantes acerca de sus conductas. Asimismo, la observación directa y el reconocimiento a través de huellas fueron los métodos más importantes de

identificación, lo que demuestra que las entrevistas son un instrumento eficaz para documentar la presencia de especies cuando se combinan con otros métodos de seguimiento.

Otro punto importante fue que todos los productores estimaron que las fincas tienen sombra suficiente y aceptaron la relevancia de cuidar la fauna silvestre y su contribución al bosque. Este hallazgo muestra una percepción favorable en relación con los servicios ecosistémicos que ofrecen los mamíferos, en particular en procesos como la preservación de la biodiversidad, el balance ecológico y la dispersión de semillas. No obstante, en Gracias y La Campa también se notó un descenso de la fauna, lo cual podría estar vinculado a la fragmentación del hábitat, la expansión de la agricultura y las alteraciones provocadas por los seres humanos. Estos elementos son considerados como las más serias amenazas para la preservación de los mamíferos en paisajes agroforestales (Perfecto *et al* 2008).

6.4 Incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) y broca (*Hypothenemus hampei*).



Grafica 13. Incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) en sistemas agroforestales con café evaluados en los municipios del norte de Lempira.

La incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) en fincas de los municipios evaluados presento una incidencia muy alta, la finca ubicada en el municipio de Gracias tuvo el porcentaje más alto (28 %), después Lepaera (19.50 %), La Campa (13.37 %) y,

finalmente, Belén (11.12 %), que fue el valor más bajo. A pesar de que la enfermedad tuvo un impacto moderado en los sistemas agroforestales analizados, fue más severo en el municipio de Gracias. Estos datos difieren a los reportados por el (ANACAFÉ, 2026) en el mes de marzo en el departamento de Lempira.

Es probable que la variación en la incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) esté vinculada con las diferencias estructurales detectadas entre los sistemas agroforestales analizados. Las condiciones microclimáticas en el municipio de Gracias, donde la riqueza de especies arbóreas y la estructura del dosel son más limitadas, pueden hacer que el cultivo sea más susceptible a la enfermedad. Por el contrario, La Campa y Belén mostraron menores tasas de incidencia. Esto se debe a que sus sistemas agroforestales poseen una complejidad estructural más alta y un mejor desarrollo del componente arbóreo, lo cual les permite amortiguar las fluctuaciones medioambientales que impactan al cultivo.

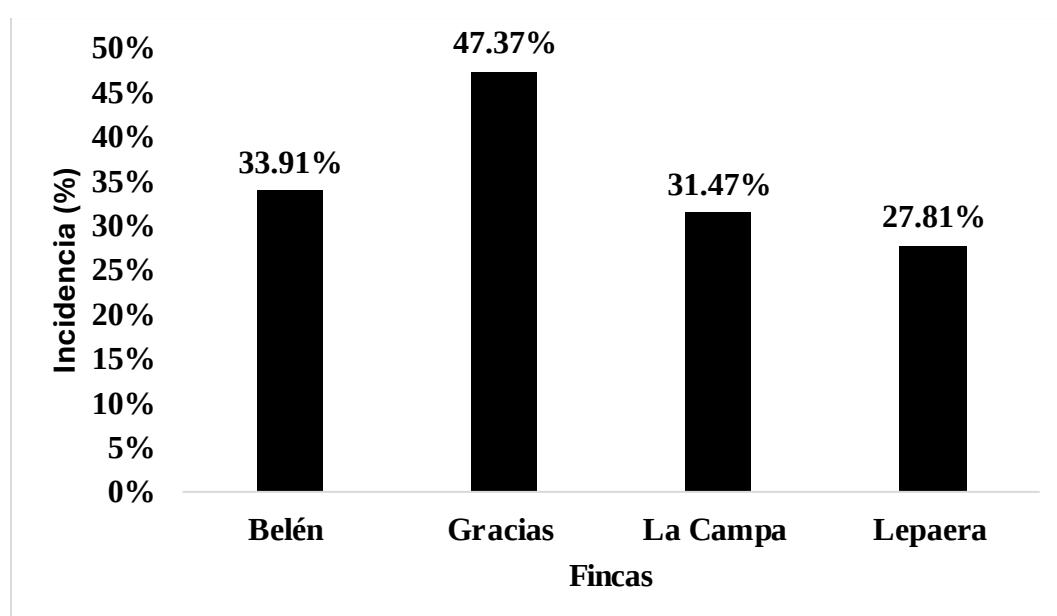
La mayor incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) observada en el municipio de Gracias puede ser explicada por la interacción de factores estructurales y agronómicos del sistema agroforestal. A pesar de que en este municipio se cultivaban las variedades Lempira, Parainema y Colombia, con diferentes grados de resistencia genética, las entrevistas a los productores mostraron que no había programas de control ni de manejo preventivo para la roya, lo cual pudo haber permitido que el patógeno se estableciera y propagara. Además, el inventario forestal reveló una riqueza de especies arbóreas más baja y una estructura de sombra menos intrincada que en los otros municipios. Estas circunstancias tienen el potencial de reducir la estabilidad ecológica del cafetal y elevar la vulnerabilidad del cultivo.

Las observaciones concuerdan con los informes técnicos de IHCAFE, que señalan que la aparición de *Hemileia vastatrix* no solo depende del material genético sembrado, sino también de la realización de prácticas adecuadas para supervisar, gestionar agronómicamente y controlar fitosanitariamente para disminuir el desarrollo de la enfermedad.

Algunos factores que incrementan el porcentaje de roya en estas fincas evaluadas también se debe al uso de variedades susceptibles (Anexo 7), además el bajo manejo de

sombra (Anexo 8) asociado al poco manejo de esta enfermedad y falta de asistencia técnica por parte de los productores favorece el desarrollo de la enfermedad.

La presencia árboles de sombra dentro del cafetal ayuda a controlar la temperatura, la humedad y la velocidad del viento, factores que impactan directamente en la epidemiología de (*H. vastatrix*). Sin embargo, la sombra tiene un efecto variable según su manejo. Una cobertura excesiva puede aumentar la humedad relativa y estimular el desarrollo de patógenos, mientras que una sombra correctamente regulada ayuda a disminuir el estrés fisiológico en las plantas de café y a potenciar su capacidad para reaccionar ante la enfermedad.



Grafica 14. Incidencia de broca (*Hypothenemus hampei*) en sistemas agroforestales con café evaluados en los municipios del norte de Lempira.

Se observaron diferencias en la incidencia de broca, causada por (*Hypothenemus hampei*), entre los municipios analizados. Con un 47.37 %, Gracias tuvo la cifra más alta, después Belén con un 33.91 %, La Campa con un 31.47 % y Lepaera con un 27.81 %. Este último municipio tuvo la tasa más baja. La broca tuvo porcentajes de daño más altos que la roya en todos los municipios.

La incidencia más alta de (*Hypothenemus hampei*) en el municipio de Gracias podría asociarse con una estructura menos compleja del sistema agroforestal, algo que también se observó en el estudio de la vegetación. Los sistemas que tienen una menor diversidad

de árboles y una cobertura de sombra reducida tienden a tener una estabilidad ecológica más baja, lo cual disminuye la habilidad del agroecosistema para sostener los procesos naturales que restringen la proliferación de las plagas. Por otro lado, Lepaera, La Campa y Belén mostraron incidencias menos significativas, lo que podría estar relacionado con sistemas agroforestales que tienen una estructura más diversa y un equilibrio ecológico superior.

También tienen relación con la caracterización de la biodiversidad que se llevó a cabo en el transcurso de la investigación los resultados obtenidos. Los municipios en los que el componente arbóreo se ha desarrollado más han promovido una mayor diversidad de mamíferos y aves, lo cual evidencia sistemas agroforestales con una integridad ecológica superior. La presencia de mamíferos, a pesar de que no controlan directamente al broca (*H. hampei*), es un signo de ecosistemas más conservados y funcionales, donde las interacciones ecológicas permiten una mayor capacidad del sistema para resistir plagas.

El manejo agronómico y las condiciones de cada sistema productivo tuvieron un impacto en la incidencia de broca (*Hypothenemus hampei*) que se detectó en las fincas evaluadas. A pesar de que se colocaron trampas con atrayentes para monitorear la plaga en el transcurso de la investigación, las entrevistas efectuadas revelaron un control fitosanitario limitado y una recolección pobre de frutos residuales después de la cosecha en algunas fincas, circunstancias que facilitan que los focos de infestación persistan.

De igual manera, la altura es un elemento que afecta el patrón poblacional de la broca. Por esta razón, el (IHCAFÉ 2025) sugiere poner en práctica estrategias de manejo integrado que sean acordes con la altitud. Estas estrategias incluyen la supervisión a través de trampas, la recolección sanitaria y la eliminación de frutos residuales para disminuir las poblaciones de *Hypothenemus hampei*.

VII CONCLUSIONES

La composición florística y estructural de los sistemas agroforestales con café presentó diferencias entre los sitios evaluados. La Campa registró la mayor riqueza arbórea, mientras que las variaciones en DAP, altura, cobertura, biomasa y carbono evidenciaron distintos niveles de desarrollo y complejidad estructural entre las fincas.

La comunidad faunística confirmó la importancia ecológica de los SAF-café. Se registraron 1,820 individuos pertenecientes a 59 especies de aves, destacándose Belén por presentar la mayor riqueza y diversidad avifaunística. Asimismo, los mamíferos registrados evidenciaron el uso de los cafetales y áreas boscosas asociadas como espacios de alimentación, refugio y desplazamiento.

El diagnóstico productivo evidenció diferencias en la condición fitosanitaria de las fincas. Gracias presentó la mayor incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*), con 28.00 %, y de broca (*Hypothenemus hampei*), con 47.37 %, indicando la necesidad de fortalecer el monitoreo y las prácticas de manejo integrado.

De manera integral, las diferencias en la estructura arbórea, biodiversidad y condición fitosanitaria demuestran que la funcionalidad de los SAF-café está condicionada por las características estructurales y el manejo de cada finca. La conservación del componente arbóreo, la regulación adecuada de la sombra y el manejo fitosanitario constituyen elementos fundamentales para fortalecer la sostenibilidad ecológica y productiva de los sistemas agroforestales con café del norte de Lempira.

VIII RECOMENDACIONES

Se recomienda fortalecer el manejo integral de los sistemas agroforestales con café mediante la conservación de especies arbóreas funcionales, regulación adecuada de la sombra y mantenimiento de árboles de diferentes dimensiones, con el propósito de favorecer la estabilidad estructural, la biodiversidad y el almacenamiento de carbono.

Asimismo, es necesario implementar un monitoreo periódico de roya (*Hemileia vastatrix*) y broca (*Hypothenemus hampei*), priorizando las fincas con mayor incidencia y aplicando prácticas preventivas de manejo integrado que reduzcan la vulnerabilidad del cultivo.

Se recomienda conservar la cobertura arbórea y la conectividad con áreas boscosas cercanas, debido a su importancia como espacios de alimentación, refugio y desplazamiento para aves y mamíferos asociados a los SAF-café.

Finalmente, se sugiere continuar evaluando de manera conjunta las variables productivas, estructurales y de biodiversidad, con el fin de orientar prácticas de manejo adaptadas a las condiciones específicas de cada finca y fortalecer su sostenibilidad ecológica y productiva.

IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROBOSQUES. (2024). *INSTITUTO NACIONAL DE CONSERVACIÓN Y DESARROLLO FORESTAL AREAS*. HONDURAS. Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dise%C3%B1o%20de%20sistemas%20agroforestales%20ser%20producto..pdf>
- Ali Imron, Campera, AI Bihad , Rachmawati, & Nugroho. (15 de Febrero de 2022). Comunidades de aves en sistemas agroforestales de café y otros hábitats modificados por el ser humano en Indonesia. *Biologia*. doi:<https://doi.org/10.3390/biology11020310>
- Amanda Caudill, & A. Rice. (23 de Noviembre de 2016). Do Bird Friendly® Coffee Criteria Benefit. *Cross Mark click for updates* . doi:[10.1371/journal.pone.0165662](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165662)
- ANACAFÉ, C. (ABRIL de 2026). ARTICULO TECNICO. *Reporte de roya y recomendaciones marzo 2026*. Obtenido de https://www.anacafe.org/uploads/file/8a163ae412424bdc9853495465177b5b/03_Marzo_Monitoreo_de_Roya_2026.pdf
- Arango, Z. (2019). Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciencias Forestales*, 29(2). doi:<https://doi.org/10.5902/1980509827037>
- Asanok, L., Krueama, K., Pakketanang, J., & Chiangrang, P. (2024). Sistemas Agroforestales. *Variación de la composición de árboles de sombra y del almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café de pequeños productores a lo largo de un gradiente de elevación en el área forestal de Khun Mae Kuang, norte de Tailandia.*, 98, 3045,3045. doi:<https://doi.org/10.1007/s10457-024-01073-9>
- Atencio Valdespiino, R., Urbina Milock, Y., Herrera, J. A., & Collantes G, R. D. (2025). USO POTENCIAL DE AVES ASOCIADAS A INSECTOS EN AGROECOSISTEMAS PRODUCTIVOS EN PANAMÁ. *Ciencias Agropecuarias*(40). Obtenido de USO POTENCIAL DE AVES ASOCIADAS A INSECTOS EN AGROECOSISTEMAS PRODUCTIVOS EN PANAMÁ:

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/673>

- BOSHIER, D. (15 de Mayo de 2025). FAO AGRIS - Sistema Internacional de Ciencia y Tecnología Agrícolas. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de <https://agris.fao.org/search/en/providers/122602/records/6473569b08fd68d54600e54b>
- C. Lopes, P., Palmeirim, J., & Leal, A. (12 de Julio de 2023). Los pequeños parches de arbustos aumentan la riqueza taxonómica y funcional de las aves en los pastos arbolados. *Sistemas Agroforestales*, 97, 1511-1523. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-023-00873-9>
- Campera, M., Hedger, K., Birot, H., Manson, S., & Nijman, V. (30 de julio de 2021). Does the Presence of Shade Trees and Distance to the Forest Affect Detection Rates of Terrestrial Vertebrates in Coffee Home Gardens. doi://doi.org/10.3390/su13158540
- Caudill, S., & A Rice, R. (s.f.). Do Bird Friendly® Coffee Criteria Benefit Mammals? Assessment of Mammal Diversity in Chiapas, Mexico. *National Library of Medicine*. doi: 10.1371/journal.pone.0165662
- Cerveza, Somarriba, & Muschler. (2001). Métodos de investigación para sistemas agroforestales multiestrato con café y cacao: Recomendaciones de dos décadas de investigación en CATIE. *Sistemas Agroforestales*, 195-203. doi:10.1023/A:1013380605176
- D. Faminow, & Ariza Rodriguez. (2001). BIODIVERSITY OF FLORA AND FAUNA. *International Centre for Research in Agroforestry*. Obtenido de <https://www.cec.org/files/documents/publications/1772-biodiversity-flora-and-fauna-in-shaded-coffee-systems-en.pdf>
- García Burgos, J., Gallina Romero, S., & Gonzales Romero, A. (agosto de 2014). Relación entre la riqueza de mamíferos medianos en cafetales y la heterogeneidad espacial en el centro de Veracruz. *Acta Zoológica Mexicana*, 30(2). Obtenido de Relación entre la riqueza de mamíferos medianos en cafetales y la heterogeneidad espacial en el centro de Veracruz: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372014000200006

- Guadarrama , A., Virgilio , E., & Martinez , A. (2021). Conservacion de aves, abejas y los servicios ecosistemicos que estas presentan a la produccion de cafe: Guia de buenas practicas. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Turrialba, Costa Rica 2021*.
- Haggar , J., Casanoves , F., Cerda, R., & Cerretelli, S. (25 de Abril de 2021). Sistemas Alimentarios Sostenibles. *Sombra e intensificación agronómica en sistemas agroforestales de café: ¿compensación o sinergia?*, 5. doi:<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.645958>
- Haggar, Casanoves , Cerda, & Cerretelli . (2021). Sombra e intensificación agronómica en sistemas agroforestales de café. *Sección de Agroecología y Servicios Ecosistémicos*, 5. doi:<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.645958>
- IHCAFÉ. (Septiembre de 2025). BOLETÍN TÉCNICO NO.3. *Monitoreo Nacional de la Broca del Café*. Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/03.%20Boleti%CC%81n%20SATIHCAF%20Broca,%20Septiembre%202025..pdf>
- Kebebew, Z., & Ozanne, C. (2024). Diversity, preference, and conservation priority of woody plant species in coffee agroforestry system in southwest Ethiopia. *diversity, ecological, ethnoecology, use value, local preference, coffee shade*, 7. doi:<https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1269141>
- Koutouleas , A., Bordeaux, M., & Sarzynski, T. (6 de Abril de 2022). Sistemas Alimentarios Sostenibles, Seccion de Biologia de Cultivos y Sostenibilidad. *Café de sombra: ¿Una estrategia basada en la naturaleza para la producción de café en el contexto del cambio climático? Una revisión.*, 6. doi:<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.877476>
- Lalani, B., Lanza , G., Leiva, B., & Mercado, L. (2024). Shade versus intensification: Trade-off or synergy for profitability in coffee agroforestry systems. *Agricultural Systems*. Obtenido de www.elsevier.com/locate/agsy
- Manson, S., Nekaris, K., Nijman, V., & Campera, M. (10 de Enero de 2024). Effect of shade on biodiversity within coffee farms: A meta-analysis. *Sci Total Environ*. doi:[10.1016/j.scitotenv.2024.169882](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169882)
- Maria L, E., Thoss, V., & Beule , L. (06 de Junio de 2025). Guidance on spatial sampling designs and data reusability in agroforestry research. *Agroforestry Systems*, 99. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-025-01225-5>

- Martinez Salinas , A. (13 de 04 de 2022). Aves y abejas, juntas, benefician la producción de café. *scide*. Obtenido de Aves y abejas, juntas, benefician la producción de café: <https://www.scidev.net/america-latina/news/aves-y-abejas-juntas-benefician-la-produccion-de-cafe/>
- Mayorga , I., Vargas de Moncada, J. L., Hajian Forooshain, Z., & Lugo Perez , J. (2022). Tradeoffs and synergies among ecosystem services, biodiversity conservation, and food production in coffee agroforestry. *Frotiers*, 5. doi://doi.org/10.3389/ffgc.2022.690164
- Méndez , E., N. Shapiro , E., & Gilbert, G. (2009). Sistemas Agroforestales. *Gestión cooperativa y sus efectos sobre la diversidad de árboles de sombra, las propiedades del suelo y los servicios ecosistémicos de las plantaciones de café en el oeste de El Salvador.*, 76, 111-126. doi:<https://doi.org/10.1007/s10457-009-9220-3>
- NOTICIAS, A. D. (31 de ENERO de 2024). *EL IMPACTO AMBIENTAL DEL CULTIVO Y TRANSPORTE DEL CAFE* . Obtenido de EL IMPACTO AMBIENTAL DEL CULTIVO Y TRANSPORTE DEL CAFE : https://www-carbonclick-com.translate.goog/news-views/the-environmental-impact-of-coffee-growing-and-transportation?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc&_x_tr_hist=true
- Paz, F., Sanches , C., Libert, A., & Biolaños, M. (2022). *DIVERSIDAD VEGETAL EN CAFETALES BAJO SOMBRA Y VEGETACIÓN NATURAL EN LA SIERRA MADRE DE CHIAPAS, MEXICO*. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/47-Texto%20del%20art%C3%ADculo-90-1-10-20221221%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/47-Texto%20del%20art%C3%ADculo-90-1-10-20221221%20(5).pdf)
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (Junio de 2008). Biodiversity Conservation in Tropical Agroecosystems. *The New York Academy of Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1196/annals.1439.011>
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2008). Conservación de la biodiversidad en agroecosistemas tropicales: un nuevo paradigma de conservación. *National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information*. doi:10.1196/annals.1439.011
- Perfecto, I., Vandermeer, J., & Philpott, S. (November de 2014). ANNUAL REVIEW OG ECOLOGY, EVOLUTION, AND SYSTEMATICS. *Complex Ecological*

- Interactions in the Coffee Agroecosystem*, 45.
doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091923>
- Philip Haggard, J., Casanoves, F., & H. Cerda, R. (2021). Shade and Agronomic Intensification in Coffee Agroforestry Systems: Trade-Off or Synergy. *ResearchGate*. doi:10.3389/fsufs.2021.645958
- Quadros Goncalves, C., Schlindwein, M., & Carcam Martinelli, G. (21 de Julio de 2021). Agroforestry Systems: A Systematic Review Focusing on Traditional Indigenous Practices, Food and Nutrition Security, Economic Viability, and the Role of Women. *Agribusiness Postgraduate Program, Federal University of Grande Dourados (UFGD)*. doi:<https://doi.org/10.3390/su132011397>
- Ralph, C., R. Sauer, J., & Droege, S. (1995). *Monitoreo de poblaciones de aves mediante conteos por puntos*. Informe Tecnico General, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Estacion de Investigacion del Pacifico Suroeste. doi:<https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-149>
- Rau, L. (7 de julio de 2024). *Powered By MediaWiki*. Obtenido de Powered By MediaWiki: https://sustainabilitymethods.org/index.php/Counting_Birds
- Rojas Pardo, M., Beltrán Vargas, J., & Zafra Mejía, C. (17 de Agosto de 2021). Tendencias metodológicas para la implementación de sistemas agroforestales en el marco del desarrollo sustentable. doi:<https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812279>
- Romero Diaz, C., Ugalde Lezama, S., Valdez Hernández, J., & Tarango Arámbula, L. (31 de OCTUBRE de 2022). Ecología trófica de aves insectívoras en sistemas agroforestales y Bosque Mesófilo de Montaña. *Scielo*, 12. Obtenido de Ecología trófica de aves insectívoras: <https://doi.org/10.21929/abavet2022.7>
- S,A, C., P., V., & T.P, H. (2014). *Assessment of small mammal diversity in coffee agroforestry in the Western Ghats, India*. doi:<https://doi.org/10.1007/s10457-013-9664-3>
- Salas, B. (2024). Estrategias en sistemas agroforestales aplicadas al café. *Bosques Latitud Cero Revista Científica Indexada*, 14(2). doi:<https://doi.org/10.54753/blc.v14i2.2219>
- Sanches Brenes, R. J., & Monge Meza, J. (25 de OCTUBRE de 2024). Diversidad de mamíferos silvestres en agroecosistemas con café, Rincón de Mora, San Ramón, Alajuela, Costa Rica. *Acta zoológica mexicana*, 40. doi:<https://doi.org/10.21829/azm.2024.4012592>

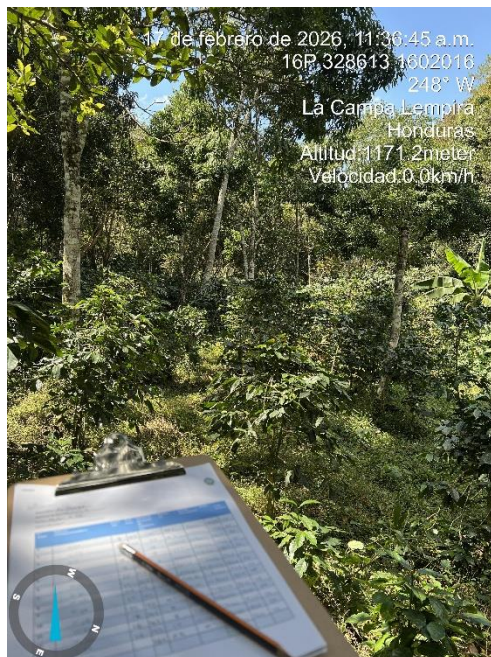
- Sánchez-Clavijo, B.-E. V. (2004). *ESTRUCTURA, DIVERSIDAD Y POTENCIAL PARA LA CONSERVACION DE LOS SOMBRIOS EN CAFETALES DE TRES LOCALIDADES DE COLOMBIA*. Obtenido de ESTRUCTURA, DIVERSIDAD Y POTENCIAL PARA LA CONSERVACION DE LOS SOMBRIOS EN CAFETALES DE TRES LOCALIDADES DE COLOMBIA: <https://paisajeculturalcafetero.org.co/wp-content/uploads/2022/10/1revistacenicafe.pdf>
- Silva Ferreira , A., Peres, C., & Righetto Cassano, C. (03 de Octubre de 2020). Multi-scale mammal responses to agroforestry landscapes in the Brazilian Atlantic Forest: the conservation value of forest and traditional shade plantations. *Agroforestry Systems*(94), 2331-2341. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-020-00553-y>
- SOLIDARIDAD. (MARZO de 2025). *NIVEL DE PREPARACIÓN DE LA REGULACION EUDR Y LOS POSIBLES IMPACTOS SOBRE EL SECTOR CAFE DE MEXICO, GUATEMALA, HONDURAS Y NICARAGUA*. Obtenido de NIVEL DE PREPARACIÓN DE LA REGULACION EUDR Y LOS POSIBLES IMPACTOS SOBRE EL SECTOR CAFE DE MEXICO, GUATEMALA, HONDURAS Y NICARAGUA: <https://solidaridadlatam.org/wp-content/uploads/2025/03/Sintesis-para-decisores-EUDR-MX-GT-HN-NI.pdf>
- Solis, R., Vallejos Torres , G., Arévalo, L., & Marín Días , J. (Octubre de 2020). Agricultura Sciencie. *Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon*. Obtenido de <https://doi.org/10.1017/S002185962000074X>
- Soto, A. (2 de AGOSTO de 2025). *PERFECT DAILY GRIND*. Obtenido de PERFECT DAILY GRIND: <https://perfectdailygrind.com/es/2025/08/02/impacto-produccion-cafe-en-biodiversidad/>
- Tesfa, E., Gudescho, G., Wubie, M., & Despertó, A. (28 de Noviembre de 2025). Ecología y Evolución de la Universidad de Boston. *Diversidad, estructura y dinámica de regeneración de árboles de sombra en el agroecosistema cafetalero semiforestal de Sheko, suroeste de Etiopía.*, 25, 132. doi:<https://doi.org/10.1186/s12862-025-02470-z>
- Tormenta, N. A. (2017). Evaluación de la eficacia de los métodos de muestreo para el seguimiento de grandes mamíferos en el Parque Nacional Cusuco, Honduras.

- FAO AGRIS - Sistema Internacional de Ciencia y Tecnología Agrícolas.
Obtenido de
<https://agris.fao.org/search/en/providers/122576/records/647480fd79cbb2c2c1b90e54>
- Ulman, Sharma, & Kumar . (November de 2016). Proceedings of the Zoological Society. *Agroforestry Systems as Habitat for Avian Species: Assessing Its Role in Conservation*. doi:10.1007/s12595-016-0198-3
- Utah, U. o. (7 de agosto de 2012). Birds do better in 'agroforests' than on farms. *Sciencedaily*. Obtenido de
<https://www.sciencedaily.com/releases/2012/08/120807101357.htm?>
- Valencia, F. (2014). Agroforesteria y sistemas Agroforestales con Cafe. *Cenicafé*. Obtenido de Agroforesteria y sistemas Agroforestales con Cafe:
https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.
- Valencia, F. F. (2014). *Agroforesteria y sistemas agroforestales con cafe*. Colombia: Sandra Milena Marín L. Obtenido de
file:///C:/Users/Usuario/Desktop/documentos%20para%20tesis/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf
- Velis, M. (2017). *Evaluación de la importancia de dos ecosistemas agrícolas para conservación de aves en Zamorano, Valle del Yeguaré, Honduras*. Zamorano, Valle de Yeguaré. Obtenido de
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a7961969-b572-41bb-a18a-6dcff9e48087/content>
- Yasin , H., & Tekalign, W. (12 de enero de 2022). Un estudio de la composición y la variación de la diversidad de la avifauna en diferentes tipos de sistemas agroforestales en la ciudad de Kibet, al sur de Etiopía. *Revista Chilena de Historia Natural*, 95(2). doi://doi.org/10.1186/s40693-021-00106-2

ANEXO

Anexo 1. Recolección y registro de datos del componente arbóreo en un sistema agroforestal con café en el Departamento de Lempira

Parcela 2. 15/04/26		Municipio: La Campa Lempira									
N. Arbol	Nombre Científico	Nombre Comun	Altura (m)	DAP (cm)	Distancia del Punto de Referencia (m)	Azmut	Estado Fitosanitario	Fecha	% De Sombra		
1	Cordia Alliodora	Laurel	8.3	15.7	10	99 E	Bueno		11.7		
2	Magifera Indica	Mango	15.2	19.6	20	171 S	Muy Bueno		27.2		
3	Magifera Indica	Mango	18.2	20.3	18	108 SW	Muy Bueno		42.3		
4	Magifera Indica	Mango	15.2	13.2	8	177 S	Muy Bueno		47.4		
5	Psidium Guajaba	Guayabo	18.3	16.1	5	228 SW	Muy Bueno		61.8		
6	Bursera Simaruba	Indio Desnudo	22.2	15.0	6	250 W	Muy Bueno		51.8		
7	Eugenia Capuli	Capulín	25.2	16.4	13	254 W	Muy Bueno		56.5		
8	Psidium Friedrichsthalianu	Guayaba Agria	24.2	13.2	20	266 W	Muy Bueno		61.6		
9	Psidium Friedrichsthalianu	Guayaba Agria	25.2	14.7	14	288 W	Muy Bueno		46.7		
10	Zyzygium Jambos	Manzana Rosa	23.2	12.3	14.1	264 W	Muy Bueno		66.8		
11	Eugenia Capuli	Capulín	18.2	15.4	9	263 W	Muy Bueno		51.6		
12	Psidium Guajaba	Guayabo	38.2	46.4	8	245 N	Muy Bueno		42.1		
13	Psidium Guajaba	Guayabo	28.2	15.5	1.5	30 NE	Muy Bueno		62.0		



La recolección de datos permitió caracterizar la estructura del SAF-café mediante el registro de variables del componente arbóreo y las condiciones del sitio. Esta información fue fundamental para comparar las fincas evaluadas y determinar las diferencias en la composición y estructura de los sistemas agroforestales.

Anexo 2. Composición y abundancia de la comunidad de aves registradas en el Departamento de Lempira

Otio de Minotoreo: La Campa Parcela 1		Fecha: 14/04/2026	Jornada: Matutina		
No.	Especie (nombre científico)	Nombre Común	No. Individuos (visual)	Registrada por Merlin (Si/No)	Observaciones
1	Cardellina pusilla	Reinita corona negra	5	Si	Canto cercano al punto de conteo.
2	Pteroglossus torquatus	Tucancillo collarejo	1	Si	Grupo pequeño en borde de parcela.
3	Dryocopus lineatus	Carpintero lineado	1	Si	Grupo pequeño en borde de parcela.
4	Arremon aurantirostris	Rascador pico naranja	5	Si	Observado forrajeando entre arbustos.
5	Ramphastos sulfuratus	Tucán pico iris	1	Si	Grupo pequeño en borde de parcela.
6	Setophaga townsendi	Reinita de Townsend	3	Si	Detectado por vocalización en sombra del cafetal.
7	Myiarchus tyrannulus	Copetón tirano	1	Si	Registro visual durante recorrido del punto.
8	Campephilus guatemalensis	Carpintero pico plata	2	No	Grupo pequeño en borde de parcela.
9	Campylopterus hemileucurus	Colibrí ala sable	3	Si	Alimentándose en vegetación secundaria.
10	Catharus mexicanus	Zorzal corona negra	3	Si	Posado en árbol de sombra.
11	Sporophila torqueola	Semillero variable	2	Si	Registro visual durante recorrido del punto.
12	Basilinna rufifrons	Colibrí frente rufa	5	No	Grupo pequeño en borde de parcela.
13	Elaenia frantzii	Elenia de montaña	3	Si	Observado forrajeando entre
14	Setophaga petechia	Reinita amarilla	2	Si	Alimentándose en vegetación secundaria.



El monitoreo mediante observación directa permitió registrar la presencia y abundancia de aves asociadas a los SAF-café. El uso de binoculares facilitó la identificación de las especies y contribuyó a obtener información para caracterizar la diversidad de la comunidad aviar presente en las fincas evaluadas.

Los registros evidencian el uso de distintos componentes del SAF-café por las aves. Las observaciones visuales y auditivas, complementadas con Merlin, fortalecieron la identificación de las especies durante el monitoreo.

Anexo 3. Composición taxonómica y abundancia relativa de las especies de aves registradas en los sitios de estudio.

Orden	Familia	Especie	N	%
Apodiformes	Trochilidae	<i>Amazilia rutila</i>	25	1.37
	Trochilidae	<i>Basilinna rufifrons</i>	43	2.36
	Trochilidae	<i>Saucerottia cyanocephala</i>	47	2.58
	Trochilidae	<i>Campylopterus hemileucurus</i>	36	1.98
Columbiformes	Columbidae	<i>Columbina talpacoti</i>	18	0.99
	Columbidae	<i>Leptotila plumbeiceps</i>	18	0.99
	Columbidae	<i>Leptotila verreauxi</i>	9	0.49
	Columbidae	<i>Patagioenas flavirostris</i>	18	0.99
	Columbidae	<i>Zenaida asiática</i>	3	0.16
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>	2	0.11
Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon collaris</i>	30	1.65
Coraciiformes	Alcedinidae	<i>Chloroceryle americana</i>	12	0.66
	Momotidae	<i>Eumomota superciliosa</i>	19	1.04
	Momotidae	<i>Momotus lessonii</i>	59	3.24
Piciformes	Ramphastidae	<i>Pteroglossus torquatus</i>	52	2.86
	Ramphastidae	<i>Ramphastos sulfuratus</i>	21	1.15
	Picidae	<i>Campephilus guatemalensis</i>	29	1.59
	Picidae	<i>Colaptes rubiginosus</i>	22	1.21
	Picidae	<i>Dryocopus lineatus</i>	61	3.35
	Picidae	<i>Melanerpes aurifrons</i>	16	0.88
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Psittacara holochlorus</i>	8	0.44
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia frantzii</i>	51	2.80
	Tyrannidae	<i>Empidonax flavescens</i>	32	1.76
	Tyrannidae	<i>Myiarchus tuberculifer</i>	15	0.82
	Tyrannidae	<i>Myiarchus tyrannulus</i>	51	2.80
	Tyrannidae	<i>Myiozetetes similis</i>	36	1.98
	Tyrannidae	<i>Pitangus sulphuratus</i>	27	1.48
	Tyrannidae	<i>Tyrannus melancholicus</i>	9	0.49
	Vireonidae	<i>Vireo flavoviridis</i>	1	0.05

Orden	Familia	Especie	N	%
	Vireonidae	<i>Vireo gilvus</i>	17	0.93
	Corvidae	<i>Cyanocorax morio</i>	49	2.69
	Troglodytidae	<i>Cantorchilus modestus</i>	18	0.99
	Troglodytidae	<i>Henicorhina leucophrys</i>	38	2.09
	Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	57	3.13
	Turdidae	<i>Catharus dryas</i>	42	2.31
	Turdidae	<i>Catharus mexicanus</i>	52	2.86
	Turdidae	<i>Turdus grayi</i>	30	1.65
	Passerellidae	<i>Arremon aurantirostris</i>	37	2.03
	Passerellidae	<i>Arremon brunneinucha</i>	51	2.80
	Passerellidae	<i>Atlapetes albinucha</i>	58	3.19
	Passerellidae	<i>Chlorospingus flavopectus</i>	54	2.97
	Passerellidae	<i>Melospiza biarcuata</i>	26	1.43
	Icteridae	<i>Dives dives</i>	39	2.14
	Icteridae	<i>Icterus gularis</i>	5	0.27
	Icteridae	<i>Icterus pustulatus</i>	10	0.55
	Parulidae	<i>Basileuterus rufifrons</i>	12	0.66
	Parulidae	<i>Cardellina pusilla</i>	54	2.97
	Parulidae	<i>Mniotilta varia</i>	44	2.42
	Parulidae	<i>Setophaga petechia</i>	51	2.80
	Parulidae	<i>Setophaga ruticilla</i>	33	1.81
	Parulidae	<i>Setophaga townsendi</i>	38	2.09
	Cardinalidae	<i>Piranga rubra</i>	20	1.10
	Fringillidae	<i>Euphonia affinis</i>	16	0.88
	Fringillidae	<i>Euphonia hirundinacea</i>	23	1.26
	Thraupidae	<i>Saltator grandis</i>	26	1.43
	Thraupidae	<i>Sporophila moreletii</i>	88	4.84
	Thraupidae	<i>Thraupis Abbas</i>	11	0.60
	Thraupidae	<i>Thraupis episcopus</i>	30	1.65
	Thraupidae	<i>Volatinia jacarina</i>	21	1.15
Total		59 especies	1,820	100.00

Anexo 4. Aplicación de entrevista semiestructurada para el registro de mamíferos asociados a los SAF-Café.

Municipio: La Cumbre
 Número de Parcela: 7
 LUGAR / COMUNIDAD: San Juan
 FECHA: 16/02/20
 NOMBRE DEL PRODUCTOR: Silvia Sordo

1. ¿Qué tipo de mamíferos observa con mayor frecuencia?
 a) Pequeños ☒ b) Medianos c) Grandes

2. ¿Con qué frecuencia observa mamíferos en su finca?
 a) Diario ☒ b) Semanal c) Rara vez

3. Enumere el nombre de los mamíferos
1. Guajaro 2. Armadillo 3. Conejo 4. Marmosa 5. Felpudo 6. Leopardo 7. Oso 8. Puma 9. Jaguar 10. Guepardo 11. Lince 12. Zorro 13. Mapache 14. Morsa 15. Nutria 16. Castor 17. Roca 18. Morsa 19. Nutria 20. Castor

4. ¿Los mamíferos son más comunes en qué parte de la finca?
☒ a) Cerca del café b) Cerca del bosque c) Zona agrícola

5. ¿En qué horario suele ver más actividad de mamíferos?
 a) Día b) Noche ☒ c) Ambas

6. ¿Permite algún dato causado por mamíferos en el cultivo?
 a) Si b) No ☒ c) A veces

7. ¿Cómo identifica su presencia?
☒ a) Avistamientos b) Huellas/señales c) Comentarios de trabajadores

8. ¿Considera que la finca tiene suficiente sombra para fauna?
☒ a) Si b) No c) No está seguro

9. ¿Se protege la fauna silvestre en la finca?

☒ a) Si b) No c) A veces

10. ¿Ha observado disminución de fauna en los últimos años?
☒ a) Si b) No c) No sabe

11. ¿Las áreas boscosas cercanas aportan fauna a la finca?
☒ a) Si b) No c) No sabe

12. ¿Conoce el nombre de las especies más comunes?
☒ a) Si b) No c) Algunas

13. ¿Considera beneficiosa la presencia de mamíferos en el sistema agroforestal?
☒ a) Si b) No c) Depende

Las entrevistas semiestructuradas permitieron complementar el registro de mamíferos mediante el conocimiento de los productores sobre su presencia, frecuencia y uso de diferentes áreas de las fincas. Además, aportaron información sobre horarios de actividad, formas de detección y posibles interacciones con el cultivo. Estos datos facilitaron la identificación de patrones de presencia y permitieron relacionar el uso del hábitat por los mamíferos con la cobertura y estructura de los SAF-café.



Anexo 5. Aplicación de entrevista para el diagnóstico productivo de las fincas cafetaleras evaluadas en el norte de Lempira.



Las entrevistas a los productores permitieron recopilar información sobre las características productivas, el manejo agronómico y las condiciones generales de las fincas cafetaleras. Se consideraron aspectos relacionados con las variedades cultivadas, producción, manejo de sombra, fertilización y prácticas de control de plagas y enfermedades. Esta información complementó las observaciones realizadas en campo y permitió identificar diferencias en las prácticas de manejo entre las fincas, fortaleciendo el diagnóstico integral de los sistemas de producción de café evaluados.

Además, la información proporcionada por los productores permitió contextualizar los resultados productivos según las condiciones particulares de cada finca. La integración de estos datos con las evaluaciones realizadas en campo contribuyó a comprender cómo las decisiones de manejo pueden influir en el estado fitosanitario, la productividad y el funcionamiento general del cafetal, fortaleciendo así la interpretación integral de los sistemas evaluados.

Anexo 6. Implementación de trampas con atrayente para el monitoreo de broca (*Hypothenemus hampei*) en las fincas cafetaleras evaluadas.



La implementación de trampas con atrayente permitió complementar el monitoreo de *Hypothenemus hampei* en las fincas evaluadas, facilitando la detección de la presencia de la plaga durante el periodo de estudio. Este método constituyó una herramienta adicional al muestreo directo de frutos, permitiendo obtener una visión más integral de la incidencia de broca en los sistemas cafetaleros.

Asimismo, el uso de atrayentes permitió relacionar los registros obtenidos con las condiciones particulares de cada finca, como el manejo del cultivo, la sombra y las prácticas de control implementadas por los productores. La integración de estas observaciones fortaleció la evaluación fitosanitaria y permitió identificar diferencias en la presencia de la plaga entre los sistemas de producción estudiados.

Anexo 7. Variedades de café en los 4 municipios del Norte de Lempira

Municipios	Variedades					
La Campa	Lempira	Parainema				
Belén	Lempira					
Lepaera	Lempira	Parainema	Colombia	IHCAFÉ 90	Anacafé	Geisha
Gracias	Lempira	Parainema	Colombia			

La distribución de variedades evidencia diferencias en la diversidad varietal del café entre los municipios evaluados. Lepaera presentó una mayor diversificación, mientras que Belén mostró una composición más homogénea. La variedad Lempira estuvo presente en todos los municipios, mientras que Parainema y Colombia tuvieron una distribución más limitada. Estas diferencias reflejan distintos niveles de diversificación del cultivo y constituyen un elemento importante para interpretar las características productivas y fitosanitarias de las fincas estudiadas.

Anexo 8. Distribución porcentual de los árboles según la categoría de cobertura de sombra en los sistemas agroforestales con café evaluados.

Categoría de sombra	Rango (%)	Frecuencia (árboles)	Porcentaje (%)
Baja	< 25	101	72.14
Moderada	25 – 49	23	16.43
Alta	50 – 74	15	10.71
Muy alta	≥ 75	1	0.71

Los resultados muestran un predominio de árboles con baja cobertura de sombra (72.14 %), mientras que las categorías moderada y alta representaron 16.43 % y 10.71 %, respectivamente; la sombra muy alta fue poco frecuente (0.71 %). Esta distribución evidencia que la estructura de sombra de los SAF-café evaluados se concentra principalmente en niveles bajos, aspecto relevante para interpretar las diferencias estructurales entre las fincas y su posible relación con las condiciones climáticas y la disponibilidad de hábitat para la fauna asociada.