

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

**ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LAS COMUNIDADES DE ENTOMOFAUNA
VOLADORA EN TRES SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ CON DISTINTO
MANEJO EN LA PARROQUIA DE SANTA ISABEL, PROVINCIA DEL AZUAY,
ECUADOR.**

GABRIELA ESTEFANÍA RIVADENEIRA BARBA

Heredia, junio 2025

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado en Agricultura Ecológica de la Escuela de Ciencias Agrarias, para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica

**ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LAS COMUNIDADES DE
ENTOMOFAUNA VOLADORA EN TRES SISTEMAS
AGROFORESTALES DE CAFÉ CON DISTINTO MANEJO
EN LA PARROQUIA DE SANTA ISABEL, PROVINCIA DEL
AZUAY, ECUADOR.**

GABRIELA ESTEFANÍA RIVADENEIRA BARBA

Tesis presentada para optar al grado de *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

[M.Sc. Randall Gutiérrez Vargas /Dra. Damaris Castro García /Dr. Jorge Herrera Murillo/ Dr.
José Vega Baudrit /Dr. Greivin Rodríguez Calderón/ Dra. Rocío Castillo Cedeño]
Representante del Consejo Central de Posgrado

Ph. D. Martha Orozco Aceves
Coordinadora Maestría en agricultura Ecológica

Ph.D. Juan Gerardo Loyola Illescas
Tutor de tesis

M.Sc. Mario Gallardo Flores
Miembro del Comité Asesor

M.Sc. Sebastián Arrieta Bolaños
Miembro del Comité Asesor

Gabriela Estefanía Rivadeneira Barba
Sustentante

Descriptores

Sistemas agroforestales, *Coffea arabica*, servicios ecosistémicos, entomofauna, diversidad funcional.

Resumen

Se analizaron las comunidades de entomofauna voladora en tres sistemas agroforestales de café (SAF; agroecológico, mixto y convencional) en el sur del Ecuador. Se registraron 56 especies en total, pertenecientes a cuatro órdenes, entre los cuales Hymenoptera y Coleoptera fueron los más representativos, con 22 y 21 individuos respectivamente, seguidos por Diptera (12) y Neuroptera (1). La mayor riqueza específica se observó en el sistema mixto (51 especies), seguido del agroecológico (48) y el convencional (42). Los índices de diversidad alfa (Shannon, Simpson y Pielou) fueron más altos en el sistema agroecológico, lo que sugiere una comunidad más diversa y equitativa. En cuanto a diversidad beta, se evidenció mayor similitud en la composición de especies entre los sistemas agroecológico y mixto, mientras que el sistema convencional presentó una comunidad más diferenciada.

Para evaluar la diversidad funcional de las especies registradas se seleccionaron ocho rasgos funcionales: tamaño corporal, tipo de anidación, sociabilidad, dieta floral, tipo de visita, movilidad, gremio trófico y periodo de actividad, lo que evidenció una marcada diferenciación funcional de las comunidades de insectos entre los sistemas de manejo. El análisis de coordenadas principales (PCoA) indicó un espacio funcional más amplio en el sistema agroecológico. Las especies nectarívoras con visitas florales legítimas se segregaron de las especies fitófagas sin interacción floral. Taxones clave como *Augochloropsis metallica*, *Carpophilus* sp. y *Trichodes* sp. reflejaron roles ecológicos distintos entre sistemas, evidenciando variación en la función trófica y estrategias de interacción floral.

En cuanto a los recursos florales en los SAF, se identificaron 33 especies vegetales pertenecientes a 23 familias. Sin embargo, no se encontró una correlación significativa entre la riqueza o abundancia de plantas con flores y la diversidad de insectos. Estos resultados sugieren que la estructura de las comunidades de insectos está influenciada por una combinación de factores ecológicos más allá de la disponibilidad de recursos florales, lo que refuerza la importancia de los

SAF diversificados en el mantenimiento de la biodiversidad funcional y los servicios ecosistémicos en paisajes agrícolas andinos.

Abstract

The communities of flying entomofauna were analyzed across three coffee agroforestry systems (AFS; agroecological, mixed, and conventional) in southern Ecuador. A total of 56 species were recorded, belonging to four taxonomic orders. Hymenoptera and Coleoptera were the most representative, with 22 and 21 individuals respectively, followed by Diptera (12) and Neuroptera (1). Species richness was highest in the mixed system (51 species), followed by the agroecological (48) and the conventional system (42). Alpha diversity indices (Shannon, Simpson, and Pielou) were highest in the agroecological system, indicating a more diverse and even community. Regarding beta diversity, species composition was more similar between the agroecological and mixed systems, while the conventional system showed greater dissimilarity.

To assess functional diversity, eight ecological traits were evaluated: body size, nesting type, sociality, floral diet, type of floral visit, mobility, trophic guild, and activity period. These traits revealed clear functional differentiation among management systems. Principal coordinates analysis (PCoA) indicated a broader functional space in the agroecological system, where nectarivores species with legitimate floral visits were segregated from phytophagous species with no floral interaction. Key taxa such as *Augochloropsis metallica*, *Carpophilus* sp., and *Trichodes* sp. displayed contrasting ecological roles across systems, highlighting variation in trophic functions and floral interaction strategies.

Regarding floral resources, 33 plant species from 23 families were identified across the agroforestry systems. However, no significant correlation was found between the richness or abundance of flowering plants and insect diversity. These results suggest that insect community structure is shaped by a combination of ecological factors beyond floral availability, reinforcing the importance of diversified agroforestry systems in maintaining functional biodiversity and ecosystem services in Andean agricultural landscapes.

Agradecimiento

Quiero agradecer a mis padres por su apoyo e infinito amor. A mi abuela por creer en mí. A mis hermanas Andrea y María José por ser mi ejemplo e inspiración, por estar conmigo en los buenos momentos y sobre todo en los malos. Al Sebas por todo su amor, por ser mi soporte, por acompañarte en este camino y por su ayuda incondicional. A mis gatos por su compañía y las largas conversaciones sin respuesta.

Agradezco a mi tutor PhD. Juan Loyola por darme la oportunidad de trabajar esta investigación bajo su dirección, por ser un guía durante todas las fases de este estudio y por brindarme su conocimiento y sus consejos. A Mario Gallardo y Sebastián Arrieta por sus sugerencias y comentarios durante la última fase del estudio y a Martha Orozco por su apoyo incondicional durante todo el proceso de la maestría.

A Luis Lazo y al equipo técnico de la Prefectura del Azuay por su apoyo durante la fase de campo, a Jonathan Aguirre, Gisella de la Cadena y Samantha Ríos del Laboratorio de Entomología de la Universidad del Azuay, Ecuador. A los caficultores de ASOPROCSI, sobre todo a Luis Lima, Miguel Pando y Germán Vega por abrirme las puertas de sus fincas para llevar a cabo este estudio.

Finalmente, agradezco a la Universidad Nacional de Costa Rica por el financiamiento parcial de esta investigación y por todas las enseñanzas.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a los caficultores de Santa Isabel, a mi familia, sobretodo a mis sobrinos Amaru y Elías, al amor de mi vida y a todxs quienes hacen ciencia desde el sur global.

Índice

Capítulo I: Introducción.....	1
Objetivos de la Investigación	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Capítulo II: Marco Teórico.....	6
Agroecosistemas y Sistemas Agroforestales de Café (SAF)	6
Botánica y Fisiología del Café	6
Inflorescencias y Flores.....	6
Fruto y Semilla	7
Factores que Determinan el Proceso de Floración del Café	7
Fisiología Vegetal del Café Cultivado Bajo Sombra	8
Fotosíntesis	8
Crecimiento.....	9
Maduración de Frutos	9
Servicios Ecosistémicos de Sistemas Agroforestales de Café	9
Regulación del clima.....	10
Regulación de la erosión del suelo	10
Regulación del ciclo del agua	10
Sostenibilidad de la agricultura	10
Cultural y Recreación.....	11
Servicio de polinización	11
Sistemas Agroforestales de Café en Ecuador	11
Flora Asociada a los Cafetales como Fuente de Recursos para la Comunidad de Insectos	12
Diversidad de Entomofauna en Agroecosistemas	13
Rasgos Funcionales de los Insectos	15
Conectividad Ecológica y Configuración del Paisaje	16
Capítulo III: Metodología	17
Área de Estudio.....	17
Finca con Manejo Agroecológico	18
Finca de Manejo Convencional	19
Finca de Manejo Mixto.....	20
Fase de Campo.....	21
Variables Ambientales	21
Muestreo de Entomofauna Voladora	22
Factores Bióticos.....	23
Recursos Vegetales.....	23
Fase de Laboratorio	23
Identificación Taxonómica de Entomofauna Voladora Muestreada	23
Identificación Taxonómica de Especies Vegetales	24
Análisis de Resultados.....	24
Estimación de la Riqueza.....	25
Análisis de Diversidad Alfa de las Comunidades de Entomofauna Voladora	25

<i>Análisis de Diversidad Beta de las Comunidades de Entomofauna Voladora</i>	26
<i>Determinación de Rasgos Funcionales las Comunidades de Entomofauna Voladora</i>	26
<i>Análisis de Diversidad Funcional</i>	27
<i>Flora Asociada a los Sistemas de Cultivo de Café con Tres Tipos de Manejo</i>	29
<i>Análisis de la Influencia de Factores Bióticos sobre las Comunidades de Entomofauna Voladora en Tres SAF de Café</i>	29
Capítulo IV: Resultados	31
Abundancia de individuos por órdenes de insectos registrados en las tres fincas de estudio	37
Abundancia de individuos por familias de insectos registrados en las tres fincas de estudio.....	37
Abundancia de individuos por especies de insectos registrados en las tres fincas de estudio	39
Estimación de la Riqueza	41
Análisis de Diversidad Alfa de las Comunidades de Entomofauna Voladora	42
Índice de Simpson (1-D)	42
Índice de Shannon-Wiener (H')	42
Índice de Pielou (J')	43
Análisis de Diversidad Beta de las Comunidades de Entomofauna Voladora	43
Determinación de Rasgos Funcionales las Comunidades de Entomofauna Voladora.....	44
Tamaño Corporal	44
Anidación	46
Sociabilidad	47
Dieta Floral	49
Tipo de Visita	50
Gremio Trófico	51
Movilidad	53
Periodo de Actividad	54
Nota: Elaboración propia (2025).	55
Análisis de Diversidad Funcional.....	55
Análisis de Coordenadas Principales (PcoA)	56
Análisis del Espacio Funcional de las Especies en Tres Sistemas de Manejo (Agroecológico, Convencional y Mixto).	57
Análisis del Espacio Funcional de las Especies en la Finca Agroecológica	59
Análisis del Espacio Funcional de las Especies en la Finca Convencional	60
Análisis del Espacio Funcional de las Especies en la Finca Mixta	62
Flora Asociada a los Sistemas Agroforestales de Café con Tres manejos Diferentes.....	63
Recursos Florales Asociados a Tres Sistemas Agroforestales de Café con Diferente Manejo.....	65
Análisis de la influencia de Factores Bióticos Sobre las Comunidades de Insectos en Tres Sistemas Agroforestales de Café con Manejo Diferente	67
V: Discusión	71
Limitaciones para la investigación	80
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones	82
Conclusiones.....	82
Recomendaciones.....	83
Referencias	85
Anexos	101

Anexo 1: Información Suplementaria.....	101
<i>Diversidad Beta</i>	101
Anexo 2: Fotografías de las especies de insectos representativos en el estudio.....	131
Anexo 3: Fotografías de flora registrada en sistemas agroforestales de café.	135

Lista de tablas

Tabla 1: Factores ambientales y factores internos que determinan el proceso de floración del café.	8
Tabla 2: Lista de especies de Entomofauna voladora registrada en tres fincas con diferente tipo de manejo (Agroecológico, Mixto y Convencional)	33
Tabla 3: Índices de diversidad alfa de las comunidades de Entomofauna voladora.	42
Tabla 4: Índices de diversidad funcional para las tres fincas de estudio.	566
Tabla 5: Correlación de rasgos funcionales con los dos primeros ejes del Análisis de Coordenadas Principales (PCoA).	5757

Lista de figuras

Figura 1: Ubicación geográfica de las fincas de estudio en la parroquia Santa Isabel, provincia del Azuay, sur del Ecuador.....	18
Figura 2: Sistema agroforestal agroecológico en la finca de Luis Lima, con café variedad Sidra y especies vegetales asociadas.....	19
Figura 3: Sistema agroforestal convencional en la finca de Germán Vega, con café variedad Sidra y especies vegetales asociadas.....	20
Figura 4: Sistema agroforestal mixto en la finca de Miguel Pando, con café variedad Sidra y especies vegetales asociadas.....	21
Figura 5: Instalación de trampas de color para el muestreo de invertebrados.....	22
Figura 6: Montaje de insectos muestreados con sus correspondientes etiquetas para su identificación taxonómica.....	24
Figura 7: Riqueza y abundancia total de insectos y número de taxones presentes en cada finca de estudio.	31
Figura 8: Abundancia de insectos por orden taxonómico en las tres fincas de estudio.	32
Figura 9: Mapa de calor de la abundancia de especies registradas en las tres fincas de estudio.....	36
Figura 10: Distribución de la abundancia de individuos por órdenes de insectos en las fincas de estudio: a) agroecológica, b) convencional y c) mixta.	37
Figura 11: Distribución de la abundancia de individuos por familias de insectos en las fincas de estudio: a) agroecológica, b) convencional y c) mixta.	38
Figura 12: Distribución de la abundancia de individuos por especies de insectos en las fincas de estudio: a) agroecológica, b) convencional y c) mixta.	40
Figura 13: Curvas de rarefacción y estimador Chao1 por finca de estudio.	41
Figura 14: Dendograma de similitud en la composición de especies entre las fincas de manejo agroecológico (AG), de manejo mixto (MX) y de manejo convencional (CV).	44
Figura 15: Tamaño corporal de los insectos registrados en tres fincas de estudio, a. finca agroecológica, b. finca convencional y c. finca mixta.	45
Figura 16: Hábitos de anidación de los insectos registrados en tres fincas de estudio, a. finca agroecológica, b. finca convencional y c. finca mixta.	47
Figura 17: Sociabilidad de los insectos registrados en tres fincas de estudio, a. finca agroecológica, b. finca convencional y c. finca mixta.	48
Figura 18: Dieta floral de los insectos registrados en tres fincas de estudio, a. finca agroecológica, b. finca convencional y c. finca mixta.	50
Figura 19: Tipo de visita de los insectos registrados en tres fincas de estudio, a. finca agroecológica, b. finca convencional y c. finca mixta.	51
Figura 20: Gremio trófico de los insectos registrados en tres fincas de estudio, a. finca agroecológica, b. finca convencional y c. finca mixta.	52
Figura 21: Movilidad de los insectos registrados en tres fincas de estudio, a. finca agroecológica, b. finca convencional y c. finca mixta.	53
Figura 22: Periodo de actividad de los insectos registrados en tres fincas de estudio, a. finca agroecológica, b. finca convencional y c. finca mixta.	55
Figura 23: Distribución de especies en el espacio funcional según el sistema de manejo (agroecológico, convencional y mixto), proyectada en los dos primeros ejes del PCoA.....	58
Figura 24: Distribución de especies en el espacio funcional según el sistema de manejo agroecológico proyectada en los dos primeros ejes del PCoA.....	60
Figura 25: Distribución de especies en el espacio funcional según el sistema de manejo convencional proyectada en los dos primeros ejes del PCoA.....	61

Figura 26: Distribución de especies en el espacio funcional según el sistema de manejo mixto proyectada en los dos primeros ejes del PCoA.....	63
Figura 27: Mapa de calor de abundancia de recursos florales por especie y familia en tres fincas de estudio.	64
Figura 28: Mapa de calor de abundancia de recursos florales por especie y familia en las tres fincas (agroecológica, convencional y mixta).....	66
Figura 29: Relación entre la riqueza de plantas y la riqueza de insectos estimada mediante modelos lineales y no paramétricos (LOESS).....	67
Figura 30: Relación entre la riqueza de plantas y la abundancia de insectos estimada mediante modelos lineales, binomial negativo y no Paramétricos (LOESS).	68
Figura 31: Relación entre la abundancia de recursos y la abundancia de insectos estimada mediante modelos lineales, binomial negativo y no paramétricos (LOESS).	69
Figura 32: Relación entre la abundancia de recursos y la riqueza de insectos estimada mediante modelos lineales y no paramétricos (LOESS).	70

Lista de anexos

Anexo 1: Información Suplementaria.....	¡Error! Marcador no definido.
<i>Diversidad Beta</i>	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2: Fotografías de las especies de insectos representativos en el estudio.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3: Fotografías de flora registrada en sistemas agroforestales de café. ...	¡Error! Marcador no definido.

Lista de abreviaturas

SAF Sistema Agroforestal

AG Agroecológica

MX Mixta

CV Convencional

PCoA Análisis de Componentes Principales

Capítulo I: Introducción

Ecuador, con una superficie de 283.560 km², es uno de los países más pequeños de América del Sur y, al mismo tiempo, uno de los más megadiversos del mundo (Dangles et ál., 2009). Esta notable biodiversidad se debe a su ubicación en el neotrópico y a su compleja topografía, dominada por la cordillera de los Andes, cuyos picos nevados, pendientes y valles han impulsado una intensa especiación y una rápida diversificación biológica en cortos periodos geológicos (Chaves et ál., 2007; Garziona et ál., 2008; Hughes & Eastwood, 2006). Además, el levantamiento de los Andes generó nuevos nichos climáticos y ambientales que favorecieron la adaptación de múltiples organismos a condiciones únicas (Dangles et ál., 2009).

Como resultado, la biodiversidad en el Ecuador se distribuye en una gran variedad de ecosistemas, que incluyen bosques húmedos tropicales, bosques secos, manglares, páramos andinos, zonas costeras y agroecosistemas (Dangles et ál., 2009). El país alberga aproximadamente 18.198 especies de plantas vasculares, de las cuales más de 4.500 son endémicas, 1.699 especies de aves, más de 698 especies de anfibios, 512 especies de reptiles y 465 especies de mamíferos. En cuanto a los insectos, se estima que existen al menos 300.000 especies en el Ecuador, aunque solo una fracción de ellas ha sido descrita formalmente (Bioweb Ecuador, 2024; Salazar y Donoso, 2014).

Entre los grupos más diversos y ecológicamente relevantes destacan los insectos, con más de un millón de especies descritas a nivel global (Footitt & Adler, 2009). En ecosistemas tropicales y, particularmente, en agroecosistemas como los sistemas agroforestales de café (SAF), los insectos cumplen funciones esenciales como la polinización, el control biológico, la descomposición de materia orgánica, la herbivoría y la dispersión de semillas (Klein et ál., 2007; Tscharrntke et ál., 2005). Estas funciones no solo sustentan la biodiversidad local, sino que también mantienen el equilibrio y la productividad en los sistemas agrícolas.

En Ecuador, el cultivo de *Coffea arabica* se realiza mayormente bajo sistemas agroforestales, especialmente en regiones andinas y subtropicales. Los SAF de café representan una alternativa de producción sostenible que promueve la conservación de la biodiversidad al combinar árboles nativos

o frutales con cultivos agrícolas, generando microhábitats complejos (Ahrné, 2008; Echeverría et ál., 2022). Estos sistemas pueden albergar una alta diversidad de insectos benéficos contribuyendo a la conectividad funcional del paisaje (Ricketts et ál., 2004; Tschardt et ál., 2008).

A pesar del potencial ecológico que ofrecen los sistemas agroforestales de café en Ecuador, la investigación entomológica dentro de los agroecosistemas ha sido históricamente orientada por demandas productivas específicas. Desde la creación del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en 1959, la ecología agrícola en el país ha estado fuertemente influenciada por estudios enfocados en el control de plagas que afectan la producción local, como la mosca de la fruta (*Anastrepha* spp.), la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), el gorgojo de la papa (*Pemnomotrypes* spp.) y las polillas del tubérculo (*Phthorimaea operculella*) (Gallegos et ál., 1997; Molineros et ál., 1992; Peralta, 1993; Pollet et ál., 2003).

Además, parte de esta investigación ha estado ligada al desarrollo de cultivos agroindustriales como la berenjena africana morada (*Solanum marginatum*) y la palma africana (*Elaeis guineensis*) (Martínez, 1991; Moya, 1985). En este contexto, el estudio de la fauna entomológica en agroecosistemas tiene mucha relevancia en Ecuador, donde las áreas protegidas, como parques nacionales y reservas privadas, cubren apenas el 20 % del territorio, mientras que las zonas de cultivo abarcan cerca de la mitad del país (Dangles et ál., 2009; Instituto de Ecología Aplicada-USFQ [ECOLAP], 2007).

Una de las principales zonas de cultivo en el sur del Ecuador es la parroquia de Santa Isabel, ubicada en la provincia del Azuay. Esta localidad se encuentra en la cuenca alta y media del río Jubones y constituye un valle subtropical caracterizado por un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo (Gobierno Autónomo Descentralizado Santa Isabel [GAD Santa Isabel], 2020). La agricultura y la ganadería son las principales actividades económicas, destacándose el cultivo de café, maíz, fréjol, tomate riñón, caña de azúcar y, en menor proporción, frutas tropicales como guayaba, maracuyá y papaya. La población local combina prácticas agrícolas tradicionales con enfoques contemporáneos de diversificación productiva, lo que convierte a Santa Isabel en un

entorno propicio para evaluar el efecto del manejo agrícola sobre la biodiversidad, particularmente en agroecosistemas como los cafetales.

No obstante, factores como la pérdida de hábitat, la simplificación del paisaje, el uso excesivo de agroquímicos y la pérdida de flora nativa amenazan directamente la diversidad de insectos y su capacidad funcional (Tylianakis et ál., 2007; Woodcock et ál., 2019). En este contexto, resulta necesario analizar cómo distintos tipos de manejo agrícola, junto con la disponibilidad de recursos florales y la estructura del paisaje, influyen en la diversidad taxonómica y funcional de los insectos.

El enfoque de ecología funcional, basado en el análisis de rasgos funcionales, permite estudiar no solo qué especies están presentes, sino qué funciones desempeñan dentro del ecosistema (Díaz et ál., 2007; Petchey & Gaston, 2006). Este enfoque es clave para detectar posibles pérdidas funcionales, redundancia ecológica o complementariedad entre especies, lo cual tiene implicaciones directas para la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Frente a esta problemática, el presente estudio tiene como objetivo determinar aspectos ecológicos de las comunidades de insectos y su interacción con sistemas agroforestales (SAF) de café con diferente manejo en la parroquia de Santa Isabel, provincia del Azuay, Ecuador. Específicamente, se busca: (a) analizar la diversidad en términos de riqueza y abundancia para caracterizar las comunidades de insectos en tres SAF con distinto manejo agronómico; (b) evaluar los rasgos funcionales de las especies de insectos para determinar su rol ecológico; y (c) identificar los factores bióticos, en particular la abundancia y diversidad de recursos florales, que influyen en la diversidad de insectos en estos sistemas.

Este estudio forma parte del proyecto “Manejo sostenible de la producción y postcosecha de café (*Coffea arabica*) de la Asociación de Pequeños Productores de Café de Santa Isabel (ASOPROCSI), provincia del Azuay”, desarrollado en colaboración con el Gobierno de la provincia del Azuay, la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) y la ONG Ayuda en Acción. La información generada tiene el potencial de contribuir a la adopción de prácticas sostenibles por parte de

productores locales, fortaleciendo la resiliencia ecológica y productiva de los sistemas cafetaleros de la región.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Determinar aspectos ecológicos de las comunidades de entomofauna voladora y su interacción con sistemas agroforestales (SAF) de café con diferente manejo en la parroquia de Santa Isabel, provincia del Azuay, Ecuador.

Objetivos Específicos

- Analizar la diversidad en términos de riqueza y abundancia para caracterizar las comunidades de entomofauna voladora en tres SAF de café con diferente manejo agronómico.
- Evaluar rasgos funcionales de las especies de entomofauna voladora para determinar el rol ecológico que cumplen en tres SAF de café con diferente manejo agronómico.
- Determinar los factores bióticos y abióticos que influyen en la diversidad de entomofauna voladora en tres SAF de café con diferente manejo agronómico.

Capítulo II: Marco Teórico

Agroecosistemas y Sistemas Agroforestales de Café (SAF)

Los agroecosistemas son sistemas ecológicos modificados por el ser humano para la producción de alimentos, fibras y otros bienes, en los que persisten procesos ecológicos como la competencia, la depredación y la polinización (Altieri, 1995). Dentro de este contexto, los Sistemas Agroforestales de café (SAF) se han consolidado como una estrategia clave en la agricultura sostenible al integrar el cultivo de *Coffea arabica* con especies herbáceas, arbustivas y arbóreas que proveen sombra, regulación microclimática y hábitats para una amplia gama de organismos (Alemu, 2015; Chain et ál., 2019; Jaramillo, 2012).

Botánica y Fisiología del Café

El café se encuentra dentro de la familia Rubiaceae, una de las más diversas entre las angiospermas, que incluye cerca de 500 géneros y más de 6.000 especies. La mayoría de las especies se originaron en África tropical y Madagascar (Herrera y Cortina, 2013) y se encuentran distribuidas principalmente en regiones tropicales y subtropicales.

Las dos especies más importantes de café desde el punto de vista económico son: *Coffea arabica* (café Arábica) que supone más del 60 % de la producción mundial y *Coffea canephora* (café Robusta). Esta planta ha desempeñado un papel fundamental en la historia de la humanidad, al convertirse en una de las bebidas más consumidas y comercializadas en todo el mundo (González y Villegas, 2010).

Inflorescencias y Flores

Las flores del café son pequeñas, blancas y muy fragantes. Se encuentran en las axilas de las hojas en grupos formando inflorescencias denominadas cima. Se producen varias floraciones en una temporada, dependiendo de las condiciones de calor y humedad que prevalezcan en la estación en particular. Las diferentes floraciones se clasifican como floración principal y floraciones más pequeñas. Las flores son tubulares, el tubo de la corola se divide en cinco segmentos blancos, el número de pétalos no es constante en absoluto, ni siquiera para las flores del mismo árbol. Los

segmentos de la corola tienen aproximadamente 1,27 mm de longitud, mientras que el tubo mide alrededor de 9,5 mm de largo. Las anteras de los estambres sobresalen desde la parte superior del tubo de la corola, junto con la parte superior del pistilo dividido en dos. El cáliz, de pequeño tamaño es anular. Aunque el color habitual de la flor de café es blanco, los estambres y pistilos frescos pueden tener un matiz verdoso, y en algunas especies cultivadas, la corola es de un rosa pálido (Arcila, 2007).

Fruto y Semilla

El fruto del café se clasifica como una baya drupácea compuesta por tres partes: la pulpa, el exocarpio o epidermis y el mesocarpio o mucílago, que es una sustancia dulce que rodea los dos granos planos y enfrentados. La almendra, de la cual se obtiene la bebida de café, está envuelta por dos capas: el endocarpio, que es rígido y frágil, y una película plateada. En el fruto maduro, el endocarpio se convierte en la capa de pergamino que rodea la semilla (Puerta, 2005).

La semilla es el órgano a partir del cual se origina una nueva planta, y su desarrollo comienza con la fecundación en la flor. En el caso del café, el fruto contiene comúnmente un par de semillas, una en cada cavidad (Flórez et ál., 2013). La polinización es realizada tanto por el viento como por insectos, principalmente abejas (Apidae y Halictidae). Las Apidae, como *Apis* y abejas nativas, poseen pelos ramificados que retienen el polen y realizan vuelos entre múltiples flores, promoviendo la polinización cruzada. Aunque muchas abejas de la familia Halictidae carecen de pelos plumosos, transportan polen en sus patas posteriores y visitan repetidamente las flores para recolectar néctar y polen. Las moscas sirfidas también participan como polinizadores ocasionales, al trasladar polen adherido a su cuerpo mientras se alimentan de néctar (Classen et ál., 2014; Klein et ál., 2003; Ricketts et ál., 2004).

Factores que Determinan el Proceso de Floración del Café

La floración de la planta de café es el resultado de una combinación compleja de influencias tanto genéticas como ambientales, que interactúan de manera coordinada para iniciar este proceso (Tabla 1).

Tabla 1

Factores ambientales y factores internos que determinan el proceso de floración del café.

Factores ambientales	Rango o condición óptima
Altitud (msnm)	500 – 2.000
Temperatura (°C)	18 – 24
Precipitación (mm)	1.600 – 1.800
Luminosidad	Fotoperiodo corto
Humedad relativa (%)	70 – 85
pH del suelo (óptimo)	5.5 – 6.5
Factores internos	Descripción
Carga del árbol	El número de frutos influye indirectamente en la cantidad de flores producidas.
Nivel de carbohidratos	Existe una relación significativa entre el almidón almacenado en las ramas y la proporción de nudos con botones florales.

Nota: Elaboración propia (2024) con base en Barros et ál., (1978); Wrigley (1988); Orozco, (1995); Romero y Camilo (2019).

Fisiología Vegetal del Café Cultivado Bajo Sombra

Para comprender mejor la fisiología del café cultivado es necesario remontarse a su origen en los bosques tropicales etíopes a 1.600-2.800 msnm. En esta región, la temperatura anual fluctúa estacionalmente alcanzando un promedio de 20 °C. La lluvia varía de 1.600 a más de 2.000 mm, con una estación seca de 3 a 4 meses. En este entorno, *Coffea arabica* se estableció como un arbusto en el sotobosque. El rango óptimo de temperatura media anual es de 18 a 21.8 °C, precipitación anual óptima es de 1.200 a 1.800 mm. Un breve período seco de 2 a 4 meses, que corresponde a la fase de crecimiento latente, que es importante para desencadenar la floración (Sylvain, 1955 citado por DaMatta, 2004).

Fotosíntesis

Las plantas de café cultivadas bajo sombra presentan una menor tasa fotosintética en comparación con aquellas expuestas a pleno sol, debido a la reducción en la intensidad lumínica.

Esta adaptación permite evitar el estrés térmico y la deshidratación durante los períodos más secos (DaMatta, 2004). Esta condición es particularmente relevante en regiones con estacionalidad marcada, donde las fases secas y lluviosas regulan tanto el desarrollo vegetativo y reproductivo del cafeto como la disponibilidad de recursos florales. En consecuencia, la actividad y presencia de insectos polinizadores y otros visitantes florales se ve directamente influenciada por estos ciclos, ya que responden a la oferta de néctar y polen asociada a la fenología del cultivo (DaMatta, 2004).

Crecimiento

El café cultivado bajo sombra presenta un crecimiento predominantemente vertical, y la presencia de sombra estimula la formación de brotes laterales, lo que da lugar a una estructura de planta más alta y delgada en comparación con aquellas que crecen a pleno sol (DaMatta, 2004). Este tipo de crecimiento, influenciado por la cobertura arbórea, no solo reduce el estrés lumínico e hídrico en las plantas, sino que también mejora la retención de humedad en el suelo y modera la temperatura del microclima. Estos factores contribuyen a una mayor longevidad de las plantas, una maduración más uniforme de los frutos y una reducción en la incidencia de plagas, favoreciendo así la productividad a largo plazo y la estabilidad del agroecosistema (Perfecto et ál., 1996; Soto-Pinto et ál., 2000).

Maduración de Frutos

En condiciones de sombra, los frutos de café tienden a madurar de manera más lenta y uniforme permitiendo que los sabores se desarrollen de manera más completa y compleja, resultando en granos de café con perfiles de sabor más ricos y equilibrados (DaMatta, 2004).

Servicios Ecosistémicos de Sistemas Agroforestales de Café

Los servicios ecosistémicos proporcionados por los SAF de producción de café son beneficios que estos agroecosistemas proporcionan a la sociedad y la naturaleza. Estos servicios son esenciales para la sostenibilidad de la producción de café y tienen un impacto significativo en el entorno. Algunos de los servicios ecosistémicos más destacados asociados con los cafetales incluyen:

Regulación del clima

Los cafetales actúan como sumideros de carbono, lo que ayuda a mitigar el cambio climático al absorber dióxido de carbono de la atmósfera. Además, proporcionan sombra que reduce la temperatura ambiental y la evaporación del suelo, lo cual beneficia al café y a otros cultivos asociados (Echeverría et ál., 2022). Estos servicios ecológicos contribuyen a una mayor estabilidad del agroecosistema al mejorar las condiciones microclimáticas, conservar la humedad, y reducir el estrés térmico e hídrico en las plantas, favoreciendo así una producción más sostenible y resiliente.

Regulación de la erosión del suelo

Los SAF de café ayudan a regular la erosión al mantener la cobertura del suelo con árboles de sombra (Moreno-Black y Somarriba, 2022).

Regulación del ciclo del agua

Los sistemas agroforestales (SAF) de café desempeñan un papel clave en la regulación del ciclo del agua al promover una mayor infiltración del agua en el suelo, reducir la escorrentía superficial y minimizar la erosión hídrica. La presencia de árboles y cobertura vegetal mejora la estructura del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y favoreciendo la recarga de acuíferos. Además, estos sistemas actúan como barreras naturales que filtran contaminantes y protegen los cuerpos de agua cercanos, contribuyendo a mantener su calidad (Ahrné, 2008; Ricketts et ál., 2008).

Sostenibilidad de la agricultura

La sombra proporcionada por los árboles en los cafetales mejora la calidad del suelo al incrementar el aporte de materia orgánica mediante la caída de hojas y otros residuos vegetales. Esto favorece la actividad de la biota del suelo, como lombrices y microorganismos, que contribuyen al reciclaje de nutrientes y mejoran la estructura edáfica. A su vez, se reduce la erosión y se mantiene un microclima adecuado para el crecimiento del café, lo que favorece prácticas agrícolas sostenibles y de largo plazo (Arcilla y Farfán, 2004).

Cultural y Recreación

Los cafetales también tienen valor cultural y recreativo, ya que a menudo son destinos turísticos que ofrecen experiencias relacionadas con la historia y la producción del mismo (Echeverría et ál., 2022).

Conservación de la biodiversidad

Los cafetales a menudo se cultivan en SAF que incluyen árboles de sombra. Estos sistemas proporcionan hábitats diversificados para una amplia gama de especies de flora y fauna, incluidas aves, insectos y otros animales, lo que contribuye a la conservación de la biodiversidad (Harvey et ál., 2008).

Servicio de polinización

La conservación de polinizadores en agroecosistemas es fundamental para garantizar la producción de cultivos dependientes de este servicio ecológico. En el caso de los cafetales, la formación de frutos depende en gran medida de la polinización. Los insectos polinizadores desempeñan un papel crucial en este proceso, mejorando la calidad y cantidad de la cosecha (Klein et ál., 2003b; Nates, 2005). Además, la estructura vegetal de los cafetales bajo sombra contribuye a mantener hábitats diversos que también benefician a otros grupos funcionales, como descomponedores y parasitoides, favoreciendo la sostenibilidad del agroecosistema (Klein et ál., 2003b; Nates, 2005).

Sistemas Agroforestales de Café en Ecuador

En Ecuador se cultivan principalmente dos especies de café; robusta (*Coffea canephora*) y arábigo (*Coffea arabica*). Robusta se produce en su mayoría en la región amazónica y en la costa, mientras que el café arábigo se siembra en zonas de mayor altitud, entre 1.000 y 1.800 msnm, especialmente en las estribaciones subtropicales de la Sierra y además en la Provincia de Manabí, donde las condiciones ambientales permiten su cultivo a una menor altitud. En el país, el café se encuentra entre los diez cultivos agrícolas más importantes, ocupando alrededor de 30.000 hectáreas sembradas, distribuidas en 23 de las 24 provincias, principalmente en áreas rurales,

involucrando a unas 50 mil familias (Ministerio de Agricultura-Ecuador [MAG], 2019). En la Sierra Sur del Ecuador, en las provincias de Loja, Zamora-Chinchipec y Azuay, se cultiva principalmente la especie *Coffea arabica* de las variedades: Typica, Bourbon (variedad Bourbon rojo y amarilla), Caturra, Catuai, Pacamara y Geisha (Echeverría, 2022).

En Ecuador, el cultivo de café se desarrolla principalmente bajo sistemas agroforestales (SAF), en los cuales se combina con especies forestales y frutales. La composición de estos sistemas varía según la región y las condiciones climáticas, incluyendo árboles frutales que proporcionan sombra temporal y especies maderables que generan una cobertura sobre los cafetales (Alemu, 2015).

Flora Asociada a los Cafetales como Fuente de Recursos para la Comunidad de Insectos

La diversidad y fenología de la flora presente en los SAF de café son un factor clave que influye en la composición y funcionalidad de las comunidades de insectos. Las plantas con flor no solo proporcionan recursos alimenticios como néctar y polen, sino que también ofrecen refugio, sitios de anidación y microclimas favorables para múltiples grupos funcionales, incluidos polinizadores, fitófagos, parasitoides y depredadores (Eltz et ál., 2001; Herrera et ál., 2016; Ramalho et ál., 1990).

Aunque muchos estudios se han centrado en las abejas nativas, los recursos florales también son utilizados intensamente por una amplia gama de insectos, como escarabajos, dípteros y hemípteros, que desempeñan roles importantes en la red trófica (Barrios et ál., 2016; Woodcock et ál., 2019). Estos insectos pueden usar las flores como sitios de alimentación, reproducción, caza o refugio, dependiendo de su gremio ecológico.

Entre las especies vegetales comúnmente reconocidas por su importancia ecológica en agroecosistemas tropicales están *Bidens pilosa*, *Ageratum conyzoides*, *Chromolaena odorata*, *Psidium guajava*, *Vachellia macracantha*, *Pilea pumila*. Estas especies poseen fenologías extendidas o asincrónicas, lo que significa que pueden ofrecer recursos florales durante épocas en que el cultivo

de café no está en floración, actuando así como puentes fenológicos que sostienen a las comunidades de insectos a lo largo del año (Bueno et ál., 2023; Khalifa et ál., 2021).

Las familias botánicas más frecuentemente asociadas a insectos en zonas tropicales incluyen Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Verbenaceae, Solanaceae, Rubiaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae y Piperaceae (Barrantes-Vásquez et ál., 2019; Ramalho et ál., 1990). Muchas de estas familias están representadas en los sistemas agroforestales de café y han demostrado atraer no solo a abejas, sino también a dípteros como sírfidos, coleópteros como crisomélidos y estafilínidos, y diversos hemípteros y himenópteros parasitoides.

Diversidad de Entomofauna en Agroecosistemas

Los insectos representan uno de los grupos más diversos del planeta, con más de un millón de especies descritas, desempeñando funciones ecológicas esenciales en prácticamente todos los ecosistemas (Footitt & Adler, 2009; Moisset & Buchanan, 2010). En el contexto agrícola, su rol es especialmente relevante, ya que participan en procesos como la polinización, el control biológico, y la descomposición de materia orgánica (Klein et ál., 2007; Tscharncke et ál., 2008).

Los agroecosistemas, por un lado, pueden ofrecer condiciones favorables para las comunidades de insectos, al estar conformados por extensas áreas cubiertas de biomasa vegetal que permiten el desarrollo de insectos herbívoros (incluyendo plagas), depredadores, parasitoides, polinizadores y detritívoros (Cutler et ál., 2022; Eubanks & Finke, 2014). Sin embargo, estos entornos también imponen múltiples factores de estrés que generan fluctuaciones drásticas en las poblaciones de insectos, como el cambio de estaciones o entre ciclos agrícolas, lo que puede contribuir a su declive local o regional (Cutler et ál., 2022).

Entre los principales factores de presión ambiental se encuentran la exposición a plaguicidas, las altas temperaturas, las variaciones extremas de humedad, la contaminación, las enfermedades y la pérdida de cobertura vegetal. Estos factores no actúan de manera aislada, sino que interactúan en complejas redes de efectos directos e indirectos, influyendo en la estructura, abundancia y funcionalidad de las comunidades entomológicas (Eubanks & Finke, 2014; Tscharncke

et ál., 2005). Comprender estas interacciones ha sido una línea de investigación clave en la entomología agroecológica, no solo para conocer el funcionamiento básico de los ecosistemas agrícolas, sino también para diseñar estrategias de manejo que mejoren la sostenibilidad del sistema (Cutler et ál., 2022).

Estudios realizados en paisajes tropicales han demostrado que la intensidad del uso del suelo afecta profundamente la diversidad y abundancia de insectos funcionalmente importantes como las hormigas, abejas, escarabajos estercoleros, avispas depredadoras, parasitoides y fitófagos (Schulze et ál., 2004; Tscharnkte et ál., 2008; Tylianakis et ál., 2005). Estas respuestas, sin embargo, varían entre gremios tróficos: mientras que la diversidad de polinizadores se relaciona directamente con la cobertura forestal y la complejidad del paisaje, otros grupos como parasitoides o depredadores pueden responder más intensamente a la composición y configuración del paisaje agrícola (Tscharnkte et ál., 2008; Wilby et ál., 2006).

La pérdida de diversidad funcional de insectos en agroecosistemas intensivos no solo afecta la riqueza de especies, sino también la provisión de servicios ecosistémicos clave como la polinización, el control biológico o la descomposición. Se ha demostrado que la diversidad dentro de cada uno de estos grupos tróficos influye directamente en la eficiencia de dichos procesos (Kremen et ál., 2002; Snyder et ál., 2006). Por ejemplo, una alta diversidad de polinizadores puede estabilizar la producción de cultivos dependientes de polinización, mientras que una baja diversidad de enemigos naturales puede debilitar el control de plagas (Perfecto et ál., 2007).

Además, el grado de conectividad con áreas naturales o seminaturales circundantes es determinante para mantener poblaciones viables de insectos en cultivos. En sistemas agroforestales, especialmente aquellos adyacentes a fragmentos de bosque o áreas de vegetación secundaria, se ha observado una transferencia ecológica, en el que especies funcionalmente importantes como abejas silvestres y avispas parasitoides cruzan entre hábitats naturales y manejados, manteniendo funciones ecológicas clave (Ricketts et ál., 2004; Tscharnkte et ál., 2008).

En resumen, la diversidad de insectos en agroecosistemas tropicales es altamente sensible a los cambios en el manejo del paisaje y a los disturbios inducidos por la intensificación agrícola.

Diseñar paisajes agrícolas que mantengan o restauren la complejidad estructural y funcional del hábitat, así como promover manejos menos intensivos, resulta esencial para conservar estos grupos y los servicios ecosistémicos que proveen.

Rasgos Funcionales de los Insectos

Los rasgos funcionales se definen como atributos morfológicos, fisiológicos, fenológicos o de comportamiento de los organismos que afectan su desempeño ecológico y su contribución a los procesos del ecosistema (Díaz et ál., 2007; Violle et ál., 2007). En otras palabras, son características que determinan cómo una especie interactúa con su entorno, responde a factores ambientales y participa en el funcionamiento del ecosistema.

El enfoque de diversidad funcional busca comprender cómo las diferencias entre especies, en términos de sus rasgos funcionales, influyen en los procesos ecológicos de los ecosistemas (Petchey & Gaston, 2006). A diferencia de la diversidad taxonómica, que se basa únicamente en el número y abundancia de especies, la diversidad funcional se enfoca en lo que hacen esas especies: cómo usan los recursos, cómo interactúan con otras especies y qué funciones ecológicas cumplen, como la polinización, el reciclaje de nutrientes o el control biológico de plagas (Díaz et ál., 2007; McGill et ál., 2006).

La caracterización de estas funciones en comunidades de insectos resulta crucial para evaluar la resiliencia ecológica de los agroecosistemas. Por ejemplo, un sistema agrícola con alta diversidad funcional puede mantener sus procesos ecológicos aun si algunas especies desaparecen, gracias a la presencia de especies funcionalmente redundantes o complementarias (Elmqvist et ál., 2003; Loreau et ál., 2001). Esta redundancia funcional permite que el ecosistema conserve su funcionamiento básico incluso ante escenarios de pérdida de biodiversidad.

Además, la composición funcional de las comunidades de insectos es altamente sensible a factores como el uso del suelo, la intensidad del manejo agrícola y la conectividad del paisaje. En

paisajes tropicales, diversos estudios han demostrado que la pérdida de cobertura vegetal, la fragmentación y la simplificación estructural del hábitat reducen la diversidad de gremios funcionales, lo que afecta negativamente procesos clave como la polinización y el control biológico (Tscharntke et ál., 2008; Tylianakis et ál., 2007).

En el presente estudio se evaluaron ocho rasgos funcionales para caracterizar la estructura ecológica de las comunidades de insectos presentes en sistemas agroforestales de café. Estos rasgos fueron: tamaño corporal, tipo de anidación, sociabilidad, dieta floral, movilidad, tipo de visita floral, gremio trófico y periodo de actividad. La selección de estos atributos se basó en su relevancia ecológica y en su capacidad para representar funciones clave como la polinización, la depredación, el parasitismo y el reciclaje de materia orgánica. Esta caracterización funcional permitió identificar patrones en la composición de los gremios ecológicos bajo diferentes manejos agrícolas.

Conectividad Ecológica y Configuración del Paisaje

La conectividad ecológica se refiere al grado en que el paisaje facilita el movimiento de organismos y el flujo de procesos ecológicos entre hábitats. En agroecosistemas tropicales como los cafetales, esta conectividad es clave para mantener la diversidad funcional, ya que permite el movimiento de insectos entre fragmentos de vegetación natural y áreas de cultivo (Taylor et ál., 1993; Tscharntke et ál., 2005).

La configuración del paisaje, es decir, la forma, tamaño y disposición de los fragmentos de hábitat, influye directamente en la estructura de las comunidades de insectos. Paisajes más heterogéneos, con elementos como sistemas agroforestales, bordes vegetados o parches de bosque, favorecen la riqueza de polinizadores, depredadores y parasitoides, mientras que los paisajes simplificados tienden a homogeneizar las comunidades (Tscharntke et ál., 2008; Tylianakis et ál., 2007).

Además, estudios han demostrado que la diversidad funcional de insectos responde positivamente a la cercanía y proporción de cobertura vegetal natural, destacando el papel de los SAF como hábitats intermedios que favorecen la conectividad ecológica (Loreau et ál., 2003; Ricketts et ál., 2004). Esta conectividad no solo mejora la persistencia de especies funcionales clave, sino que también contribuye a la resiliencia del agroecosistema frente a perturbaciones.

Capítulo III: Metodología

Este estudio forma parte del proyecto “Manejo sostenible de la producción y postcosecha de café (*Coffea arabica*) de la Asociación de Pequeños Productores de Café de Santa Isabel (ASOPROCSI), provincia del Azuay”, desarrollado conjuntamente por el Gobierno de la provincia del Azuay, la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) y la ONG Ayuda en Acción y financiado por el Fondo de Investigación para la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA).

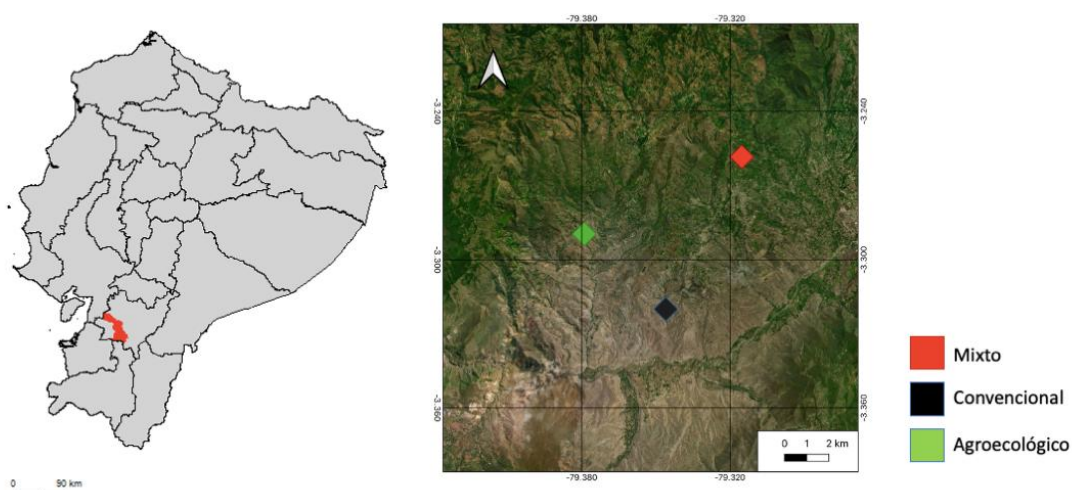
Área de Estudio

La investigación se realizó en el cantón Santa Isabel ubicado en el occidente de la provincia del Azuay, dentro de la cuenca alta y media del río Jubones, en el Valle de Yunguilla (Figura 1). Su territorio abarca una superficie de 77.141 Km² (GAD Santa Isabel, 2020). Es un valle subtropical, con una diversidad edáfica dominada por Inceptisoles (38,11 %), seguido de Entisoles (19,30 %) asociados a pendientes o zonas de acumulación de sedimentos, y la combinación Inceptisol-Entisol (17,94 %). En un 13 % se encuentran los Vertisoles que se caracterizan por suelos arcillosos y agrietados y Alfisoles (7,30 %), conocidos por ser suelos fértiles con horizonte argílico, adecuados para la agricultura.

El área de estudio se sitúa en el piso bioclimático, ecuatorial mesotérmico semihúmedo. La temperatura varía desde los 5 °C hasta los 27 °C, con un predominio de 23 °C a 24 °C en gran parte del territorio. La precipitación anual máxima registrada en el cantón alcanza los 1750 mm anuales, con un rango predominante que varía entre 500 mm a 700 mm (GAD Santa Isabel, 2020).

Figura 1

Ubicación geográfica de las fincas de estudio en la parroquia Santa Isabel, provincia del Azuay, sur del Ecuador.



Nota: Elaboración propia (2024).

En cuanto al uso del suelo, predominan los cultivos de ciclo corto (39,51 %), pastos naturales (38,69 %), pastos cultivados (11,87 %) y cultivos permanentes (8,38 %). En contraste, la conservación de los páramos, la agroforestería y los bosques protegidos representan un porcentaje mínimo en el territorio (GAD Santa Isabel, 2020).

Los tipos de suelo, los pisos bioclimáticos y las condiciones climáticas presentes en el cantón Santa Isabel inciden directamente en la organización de los sistemas productivos locales. En este contexto, se seleccionaron tres fincas representativas para para llevar a cabo la investigación, considerando tanto la diversidad en los sistemas de manejo como la disposición de sus propietarios a participar en el estudio. Las cuales se describen a continuación:

Finca con Manejo Agroecológico

La primera finca de estudio pertenece a Luis Lima (Figura 2), y está ubicada en las coordenadas UTM 17 M 680718 9638474 a una altitud de 1926 msnm. Tiene una extensión de dos

hectáreas, donde principalmente se cultiva café de la variedad Sidra en una densidad de 1650 plantas por hectárea. También se encuentran especies como Acacias (*Vachellia macracantha*), frutales como naranjilla (*Solanum quitoense*), y varias arvenses. El sistema de manejo es agroecológico; se emplean prácticas de fertilización natural, el deshierbe se realiza de forma manual y tiene un manejo integrado de plagas. La producción promedio en cada cosecha es de 1,5 quintales destinados a la venta por medio de la asociación local de caficultores.

Figura 2

Sistema agroforestal agroecológico en la finca de Luis Lima, con café variedad Sidra y especies vegetales asociadas.



Nota: Fotografía propia (2024).

Finca de Manejo Convencional

La segunda finca de estudio pertenece a Germán Vega (Figura 3), y se localiza en las coordenadas UTM 17M 683592 9635099 a una altitud 1601 msnm. Tiene una extensión de 5,5 hectáreas destinadas al cultivo de café de la variedad Sidra. El cultivo de café tiene una densidad de 3300 plantas de café por hectárea y algunas plantas como Acacias (*Vachellia macracantha*), frutales

como guabas (*Inga edulis*), naranjillas (*Solanum quitoense*) y una amplia variedad de plantas arvenses. El sistema de manejo es convencional; se utilizan químicos para la fertilización y el control de plagas, el deshierbe lo realiza de manera manual. La producción promedio es de 40 quintales por cosecha, los cuales son destinados a la venta directa mediante la asociación de caficultores.

Figura 3

Sistema agroforestal convencional en la finca de Germán Vega, con café variedad Sidra y especies vegetales asociadas.



Nota: Fotografía propia (2024).

Finca de Manejo Mixto

La tercera finca de estudio pertenece a Miguel Pando (Figura 4), está ubicada en las coordenadas UTM 17M 686830 9641865. Tiene una extensión de una hectárea y se sitúa a una altitud de 1848 msnm. El principal cultivo de esta finca es el café de la variedad Sidra con una densidad de 2600 individuos por hectárea. Además del café, se cultivan especies frutales como plátano (*Musa spp.*), naranjilla (*Solanum quitoense*) y guaba (*Inga edulis*). También una diversidad de

plantas arvenses. El sistema de manejo es mixto; se emplean prácticas de fertilización natural y el control de malezas se realiza de forma manual. No obstante, el manejo de plagas no sigue un manejo integrado y se recurre al uso de insumos convencionales. La producción promedio es de tres quintales por cosecha, de los cuales la mayor parte se comercializa mediante la asociación local de caficultores, mientras que el resto de la producción se destina para el consumo familiar.

Figura 4

Sistema agroforestal mixto en la finca de Miguel Pando, con café variedad Sidra y especies vegetales asociadas.



Nota: Fotografía propia (2024).

Fase de Campo

Variables Ambientales

El estudio se realizó entre los meses de mayo de 2024 y enero de 2025, periodo que corresponde principalmente a la estación seca en la región de Santa Isabel, con el inicio de la temporada lluviosa hacia finales de diciembre y enero. Durante estos meses, la temperatura promedio osciló entre 25.6 °C y 27.8 °C, con los valores más altos registrados entre mayo y enero. La precipitación fue escasa entre junio y noviembre, con un aumento significativo a partir de diciembre, alcanzando hasta 153 mm en enero. La información climática del área fue obtenida a partir de fuentes satelitales disponibles en plataformas especializadas como WorldClim (www.worldclim.org)

y el portal Time and Date, que proporcionan datos históricos y actuales sobre temperatura y precipitación a escala local. Las coordenadas geográficas y la altitud en cada finca fueron registradas in situ utilizando herramientas de georreferenciación disponibles para dispositivos móviles. El tipo de manejo implementado en cada finca fue definido a partir de encuestas realizadas por el equipo técnico de la Prefectura del Azuay.

Muestreo de Entomofauna Voladora

En cada finca se delimitó un cuadrante de 50 × 50 metros que abarcaba zonas representativas con presencia de recursos florales, así como sitios potenciales para anidación y alimentación de insectos polinizadores. Dentro de cada cuadrante se instalaron 10 estaciones de muestreo, distribuidas con una separación de 10 metros entre sí (Droege, 2005; Grundel et ál., 2011; Ramírez et ál., 2014; Roulston et ál., 2007). Cada estación estuvo compuesta por tres platos trampa (pan traps) de 150 ml, de colores amarillo, blanco y azul, dispuestos de forma alternada y colocados a 60 cm del suelo (Figura 5) (LeBuhn et ál., 2013). Los platos contenían una solución jabonosa al 1–2 % como medio de captura. Las trampas permanecieron activas durante 48 horas, luego de lo cual los insectos colectados fueron transferidos a frascos con alcohol al 75 % con su respectiva etiqueta con la información correspondiente al lugar, fecha, número de estación y tipo de trampa.

Figura 5

Instalación de trampas de color para el muestreo de invertebrados.



Nota: Figura propia (2024).

Factores Bióticos

Recursos Vegetales

En cada uno de los SAF experimentales se realizó un inventario de plantas con flor presentes en los cuadrantes de muestreo, incluyendo árboles, arbustos, hierbas y epífitas, con el objetivo de caracterizar la oferta floral disponible para los insectos (Cornejo et ál., 2011). De este modo, en cada estación de muestreo se contabilizaron las especies vegetales productoras de recursos florales en un radio de 5,5 m alrededor de cada estación de muestreo (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Este enfoque permite relacionar la diversidad y abundancia de visitantes florales con la disponibilidad local de recursos tróficos (Potts et ál., 2003; Vázquez et ál., 2009).

Fase de Laboratorio

Identificación Taxonómica de Entomofauna Voladora Muestreada

Las muestras de insectos recolectadas durante la fase de campo fueron clasificadas inicialmente por morfotipos, lo que facilitó su posterior identificación taxonómica, procurando alcanzar el nivel de género o especie. Posteriormente, fueron montados en alfileres entomológicos y etiquetados con la información de campo (Figura 6). La identificación se realizó con la ayuda de un estereoscopio VE-S1 y utilizando diversas claves taxonómicas, como *The Bees of the World* (Michener, 2007), *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical* (Fernández y Sharkey, 2006), *Guía de las familias de insectos* (Miorelli, 2017), claves ilustradas para los géneros de abejas de Colombia (Camargo y Pedro, 2023) y el *Manual de entomología: órdenes de insectos de importancia agrícola en Colombia* (Cárdenas et ál., 2014). También se utilizaron recursos en línea como claves, descripciones y galerías fotográficas.

No todos los insectos pudieron ser identificados hasta nivel de género o especie. En varios casos, la identificación solo fue posible hasta el nivel de familias como: Ichneumonidae,

de especies entre comunidades con distinto número de individuos o intensidad de muestreo, al igualar el tamaño muestral. La rarefacción es útil para evitar sesgos derivados de un muestreo desigual, asegurando una base comparable para los análisis posteriores de diversidad (Gotelli & Colwell, 2001). El análisis se realizó en el software RStudio v. 2024.12.1, paquete vegan.

Estimación de la Riqueza

Una vez estandarizado el esfuerzo de muestreo, se estimó la riqueza potencial de especies no detectadas durante el muestreo a través del estimador no paramétrico Chao 1. Este estimador permite corregir el sesgo por submuestreo en comunidades con presencia de especies raras, utilizando la frecuencia de especies registradas una (singletons) y dos veces (doubletons). Así, Chao1 proporciona una proyección más realista del número total de especies presentes en cada sistema. (Chao, 1984; Moreno, 2001). Para realizar la estimación de la riqueza se utilizó el software RStudio v. 2024.12.1, paquete vegan.

Análisis de Diversidad Alfa de las Comunidades de Entomofauna Voladora

Con el objetivo de caracterizar las comunidades de insectos presentes en los SAF estudiados, se calcularon índices de diversidad alfa basados en la riqueza de morfoespecies y la abundancia relativa de individuos por finca. Estas métricas permiten describir la composición y estructura de las comunidades de insectos, así como analizar variaciones asociadas con los distintos tipos de manejo agrícola. Los cálculos se realizaron con el software PAST v.4.13, a partir de matrices de abundancia por finca. Los índices aplicados fueron:

Índice de Simpson (1-D). Evalúa la dominancia dentro de la comunidad, midiendo la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. Valores más altos indican unas comunidades más diversas y con menor dominancia de unas pocas especies (Salazar et ál., 2019).

Índice de Shannon-Wiener (H'). Este índice integra la riqueza como la equidad en la abundancia de especies. Es sensible a la presencia de especies raras y permite una visión más detallada de la diversidad ecológica (Moreno, 2001).

Índice de Pielou (J'). Mide la uniformidad en la distribución de los individuos entre las especies presentes. Este índice se calcula como la relación entre el índice de Shannon-Wiener y el logaritmo natural de la riqueza, indicando cuán equitativamente están representadas las especies en la comunidad (Moreno, 2001).

Para visualizar la composición y abundancia relativa de insectos por finca, se generaron mapas de calor a partir de una matriz de abundancia de morfoespecies. El análisis se realizó en RStudio v.2024.12.1, utilizando las funciones del paquete pheatmap, que permiten representar patrones de similitud y dominancia entre especies y fincas.

Análisis de Diversidad Beta de las Comunidades de Entomofauna Voladora

Para evaluar los cambios en la composición de especies entre los diferentes SAF, se analizó la diversidad beta mediante el índice de Jaccard, el cual cuantifica la similitud entre comunidades con base en la presencia o ausencia de especies. Este análisis permite identificar qué tan diferenciadas son las comunidades de polinizadores entre fincas con distintos tipos de manejo. Además, se construyó un dendograma de similitud mediante análisis de clúster jerárquico para visualizar las relaciones entre las comunidades muestreadas (Hammer et ál., 2001). Los cálculos se realizaron en el software PAST v.4.13.

Determinación de Rasgos Funcionales las Comunidades de Entomofauna Voladora

Para la caracterización funcional de las especies de entomofauna voladora registrada en las fincas de estudio, se realizó la asignación de rasgos funcionales a nivel de especie en los casos que fue posible, y en aquellos que no, a nivel de género o familia.

La elección de los rasgos se basó en su relevancia ecológica para inferir funciones clave dentro del ecosistema agrícola, especialmente polinización, movilidad y anidación, aspectos directamente relacionados con la provisión de servicios ecosistémicos en agroecosistemas (Fontaine et ál., 2006; Moretti et ál., 2017). Los rasgos seleccionados fueron categóricos, ya que el bajo número de individuos colectados por especie no permitió realizar mediciones de rasgos continuos a

nivel individual (e.g., tamaño corporal, longitud del ala). Esta limitación metodológica es común en estudios funcionales con muestreos rápidos o taxones hiperdiversos (Laliberté & Legendre, 2010).

Los rasgos funcionales considerados fueron:

- **Tamaño corporal** (pequeño, mediano, grande)
 - Muy pequeño (< 1 mm)
 - Pequeño (1–6 mm)
 - Mediano (6–15 mm)
 - Grande (> 15 mm)
- **Tipo de anidación** (suelo, cavidades, vegetación, entre otros)
- **Nivel de sociabilidad** (solitaria, eusocial)
- **Dieta floral** (especialista, generalista, nectarívoro, polinívoro)
- **Movilidad** (baja, media, alta)
- **Tipo de visita floral** (legítima, no legítima)
- **Gremio trófico** (polinizador, fitófago, saprófito, depredador, entre otros)
- **Actividad diaria** (diurna, crepuscular, nocturno)

La asignación de rasgos funcionales a cada especie principalmente se basó en la revisión de bases de datos como TraitBase, una plataforma especializada en rasgos funcionales y la cual ofrece información detallada. Asimismo, se usó Global Biodiversity Information Facility (GBIF) para verificar y complementar los rasgos funcionales faltantes, especialmente de especies con información limitada. Además, se revisaron artículos científicos. Todas las fuentes utilizadas permitieron construir la matriz de rasgos funcionales para los análisis de diversidad funcional (Anexo 1, Tabla 3).

Análisis de Diversidad Funcional

Para evaluar la estructura funcional de las comunidades de entomofauna voladora registrada en las tres fincas de estudio, se realizaron análisis de diversidad funcional multiespecífica, empleando rasgos categóricos relevantes para el rol ecológico de las especies.

Primero, se construyó una matriz de rasgos funcionales categóricos por especie, basada en variables previamente descritas (e.g., tamaño corporal, tipo de anidación, dieta floral, nivel de sociabilidad, movilidad y actividad diaria). Dado que estos rasgos no eran continuos ni medidos directamente a nivel individual, se aplicó una codificación disyuntiva múltiple (*fuzzy coding*) mediante la función `acm.disjonctif()` del paquete `ade4`, transformando cada categoría en variables binarias. Esta codificación permite representar adecuadamente la pertenencia parcial de las especies a diferentes estados funcionales, especialmente útil en el caso de rasgos cualitativos (Laliberté & Legendre, 2010; Moretti et al., 2017).

A partir de la matriz de abundancia de especies por finca y la matriz de rasgos funcionales transformados, se calculó la diversidad funcional utilizando el paquete `FD` en `RStudio` v.2024.12.1. Se estimaron tres métricas fundamentales propuestas por Villéger et al. (2008):

Riqueza funcional (FRic). Mide el volumen del espacio funcional ocupado por las especies, reflejando la amplitud de funciones ecológicas presentes en la comunidad (Mason et al., 2005; Villéger, Mason & Mouillot, 2008). En este índice, los valores obtenidos de FRic fueron muy pequeños, por lo que se aplicó una transformación logarítmica para mejorar la escala de representación y facilitar su interpretación en los análisis comparativos.

Equidad funcional (FEve). Evalúa la uniformidad en la distribución de las especies dentro del espacio funcional, lo cual está relacionado con la regularidad en el uso del nicho (Mason et al., 2005; Villéger, Mason & Mouillot, 2008).

Dispersión funcional (FDis). Indica el grado de dispersión de las especies en el espacio funcional, ponderado por su abundancia, y refleja la divergencia funcional dentro de la comunidad (Mason et al., 2005; Villéger, Mason & Mouillot, 2008).

Posteriormente, se generó una matriz de distancias euclidianas entre especies en base a los rasgos codificados, con el objetivo de representar cuantitativamente las diferencias funcionales entre ellas. Esta matriz fue utilizada para realizar un análisis de coordenadas principales

(PCoA) mediante la función `cmdscale()`, conservando los primeros cinco ejes con mayor varianza explicada (Laliberté & Legendre, 2010).

Las coordenadas obtenidas del PCoA fueron empleadas para construir el espacio funcional y visualizar la posición relativa de las especies. Además, se identificó para cada especie la finca donde alcanzó su mayor abundancia relativa. Esta información fue utilizada para diferenciar las especies por finca en los gráficos, generados con `ggplot2`. Finalmente, se trazaron polígonos convexos por finca para delimitar el espacio funcional ocupado por cada comunidad, facilitando la visualización del grado de solapamiento o diferenciación funcional entre los distintos sistemas agroforestales (Mason et ál., 2005).

Flora Asociada a los Sistemas de Cultivo de Café con Tres Tipos de Manejo

Para visualizar la composición florística en cada uno de los SAF estudiados, se elaboró un mapa de calor en base a la abundancia registrada de especies de plantas por finca y otro mapa de calor para la abundancia de recursos florales de cada especie de planta registrada. Estos mapas permiten identificar diferencias en la riqueza y dominancia de especies entre sistemas con distintos manejos agrícolas. La visualización se realizó en RStudio v.2024.12.1, utilizando la función `pheatmap()` del paquete `pheatmap`, la cual genera representaciones gráficas que destacan gradientes de abundancia mediante escalas de color.

Análisis de la Influencia de Factores Bióticos sobre las Comunidades de Entomofauna Voladora en Tres SAF de Café

Para explorar las relaciones entre variables ecológicas clave como la riqueza y abundancia de insectos en relación con la riqueza de plantas y la abundancia de recursos florales se aplicaron algunos análisis con el fin de detectar patrones lineales o no lineales entre las variables evaluadas. Inicialmente se consideró el uso de modelos lineales generalizados (GLM) con distribución Poisson por tratarse de datos de conteo; sin embargo, los datos no presentaron una distribución normal ni Poissoniana, y mostraron evidencia de sobredispersión (la varianza fue mayor

que la media), lo cual invalidaba los supuestos del modelo Poisson (Venables & Ripley 2002). Por esta razón, se optó por utilizar los siguientes modelos:

Modelos lineales (LM). Se ajustaron regresiones lineales simples para evaluar la relación directa entre las variables, reportando el coeficiente de determinación (R^2) y el valor de significancia (p) como indicadores de ajuste (Zuur et ál., 2009).

Modelos con distribución binomial negativa (NB). Utilizados como alternativa al modelo de Poisson para manejar la sobredispersión, común en estudios ecológicos con datos de conteo y alta variabilidad entre muestras (Zuur et ál., 2009).

Ajustes no paramétricos LOESS. Se aplicaron funciones de suavizado local (Locally Estimated Scatterplot Smoothing) para visualizar posibles tendencias no lineales, sin necesidad de asumir una forma funcional específica, permitiendo identificar relaciones curvas o complejas entre las variables (Zuur et ál., 2009).

Asimismo, se evaluó la posibilidad de incluir en los modelos de correlación la densidad de plantas de café y sus recursos florales. Sin embargo, al observar valores similares entre fincas y poca variación, esta variable fue descartada por no aportar un gradiente significativo para el análisis.

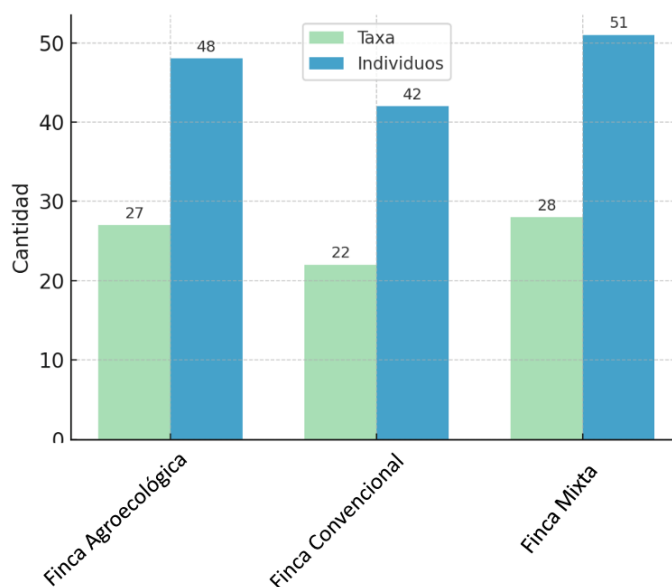
Todos los análisis fueron realizados en el programa RStudio v.2024.12.1, utilizando funciones base como `lm()` para regresión lineal, y funciones del paquete MASS para los modelos con distribución binomial negativa (`glm.nb()`) (Cleveland, 1979). Las visualizaciones de los modelos y sus ajustes se generaron mediante el paquete ggplot2 en RStudio v.2024.12.1.

Capítulo IV: Resultados

Los resultados muestran diferencias en la riqueza y abundancia de insectos entre los distintos sistemas de manejo. En total, se registraron 141 individuos pertenecientes a 56 taxones. La finca con manejo mixto presentó los valores más altos, con 28 taxones y 51 individuos (Figura 7), seguida de cerca por la finca agroecológica, con 27 taxones y 48 individuos, mostrando una diversidad similar. En contraste, la finca convencional presentó la menor riqueza y abundancia, con 22 taxones y 42 individuos.

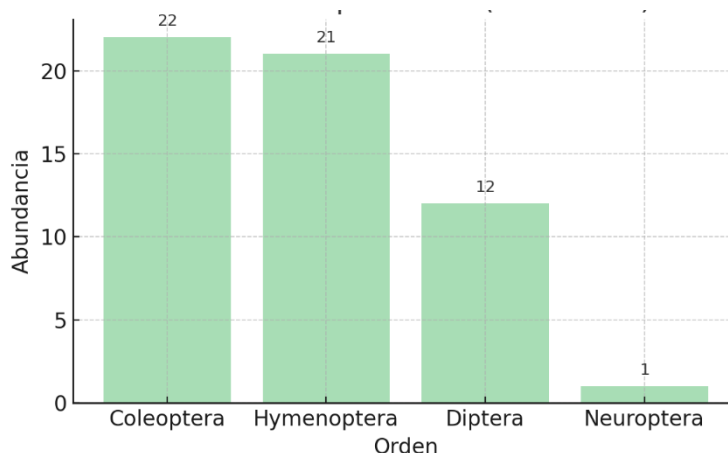
Figura 7

Riqueza y abundancia total de insectos y número de taxones presentes en cada finca de estudio.



Nota: Elaboración propia (2025).

En cuanto a la distribución por orden taxonómico, Coleoptera fue el grupo más abundante, con 22 individuos, seguido por Hymenoptera con 21 (Figura 8). Diptera registró una menor abundancia con 12 individuos, y Neuroptera fue el menos representado, con apenas 1 individuo. Estos resultados indican que los coleópteros e himenópteros dominaron la comunidad de insectos, representando juntos más del 75 % del total de insectos registrado.

Figura 8**Abundancia de insectos por orden taxonómico en las tres fincas de estudio.**

Nota: Elaboración propia (2025).

El taxón más abundante fue Curculionidae, con 19 individuos distribuidos en los tres sistemas (7 en agroecológico, 5 en convencional y 7 en mixto), seguido por Formicidae (n=11), que también estuvo presente en las tres fincas, aunque con un mayor número en el sistema mixto (n=9). Otros taxones ampliamente representados fueron *Apis* (n=6 en convencional) y *Podagrica* sp. (n=7 también en convencional), ambos característicos de sistemas con menor heterogeneidad estructural (Figura 9, Tabla 2).

El análisis del mapa de calor muestra que varios taxones estuvieron presentes exclusivamente en uno de los sistemas (Figura 9). Por ejemplo, la finca agroecológica presentó especies únicas como *Zeta argillaceum*, Dolichopodidae, Platygasteridae y Chironomidae. La finca convencional se caracterizó por la presencia exclusiva de especies como *Melissodes* sp., Conopidae, *Alphitobius laevigatus* y Cucujoidea. En contraste, la finca mixta concentró el mayor número de especies exclusivas, incluyendo *Trichodes* sp. (n= 6), *Centris* sp., *Eulaema* sp., *Xylocopa* sp y . y *Chrysoperla carnea*, lo que sugiere una comunidad más diversa y estructuralmente compleja.

Finalmente, algunos taxones como Ichneumonidae, *Melanotus* sp. y *Augochloropsis metallica* también estuvieron presentes en los tres sistemas, lo que indica una posible capacidad de tolerancia a diferentes tipos de manejo (Figura 9).

Tabla 2

Lista de especies de Entomofauna voladora registrada en tres fincas con diferente tipo de manejo (Agroecológico, Convencional y Mixto).

Orden	Familia	Especie	Agroecológico	Convencional	Mixto
Coleoptera	Scarabaeidae	<i>Melolontha melolontha</i>	1	0	1
Coleoptera	Cerambycidae	<i>Oncideres</i> sp.	1	0	0
Coleoptera	Curculionidae	<i>Curculionidae</i>	7	5	7
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Podagrica</i> cf. <i>fuscicornis</i>	1	1	0
Coleoptera	Tenebrionidae	<i>Blaps</i> sp.	0	1	0
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Podagrica</i> sp.	0	7	0
Coleoptera	Cucujoidea	<i>Cucujoidea</i>	0	1	0
Coleoptera	Cleridae	<i>Trichodes</i> sp.	0	0	6
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Monolepta</i> sp.	0	0	2
Coleoptera	Dermestidae	<i>Dermestes</i> sp.	0	0	1
Coleoptera	Cerambycidae	<i>Placosternus erythropus</i>	0	0	1
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Alticinae</i>	1	0	1
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Chilocorus</i> sp.	0	0	1
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Diabrotica speciosa</i>	0	0	1
Coleoptera	Buprestidae	<i>Agrilus</i> sp.	1	0	0
Coleoptera	Elateridae	<i>Melanotus</i> sp.	2	2	1
Coleoptera	Staphylinidae	<i>Ocypus</i> sp.	1	0	0
Coleoptera	Nitidulidae	<i>Carpophilus</i> sp.	1	0	0
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Colaspis</i> sp.	0	1	1
Coleoptera	Tenebrionidae	<i>Corticeus</i> sp.	0	1	0
Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Cercyon</i> sp.	0	1	0

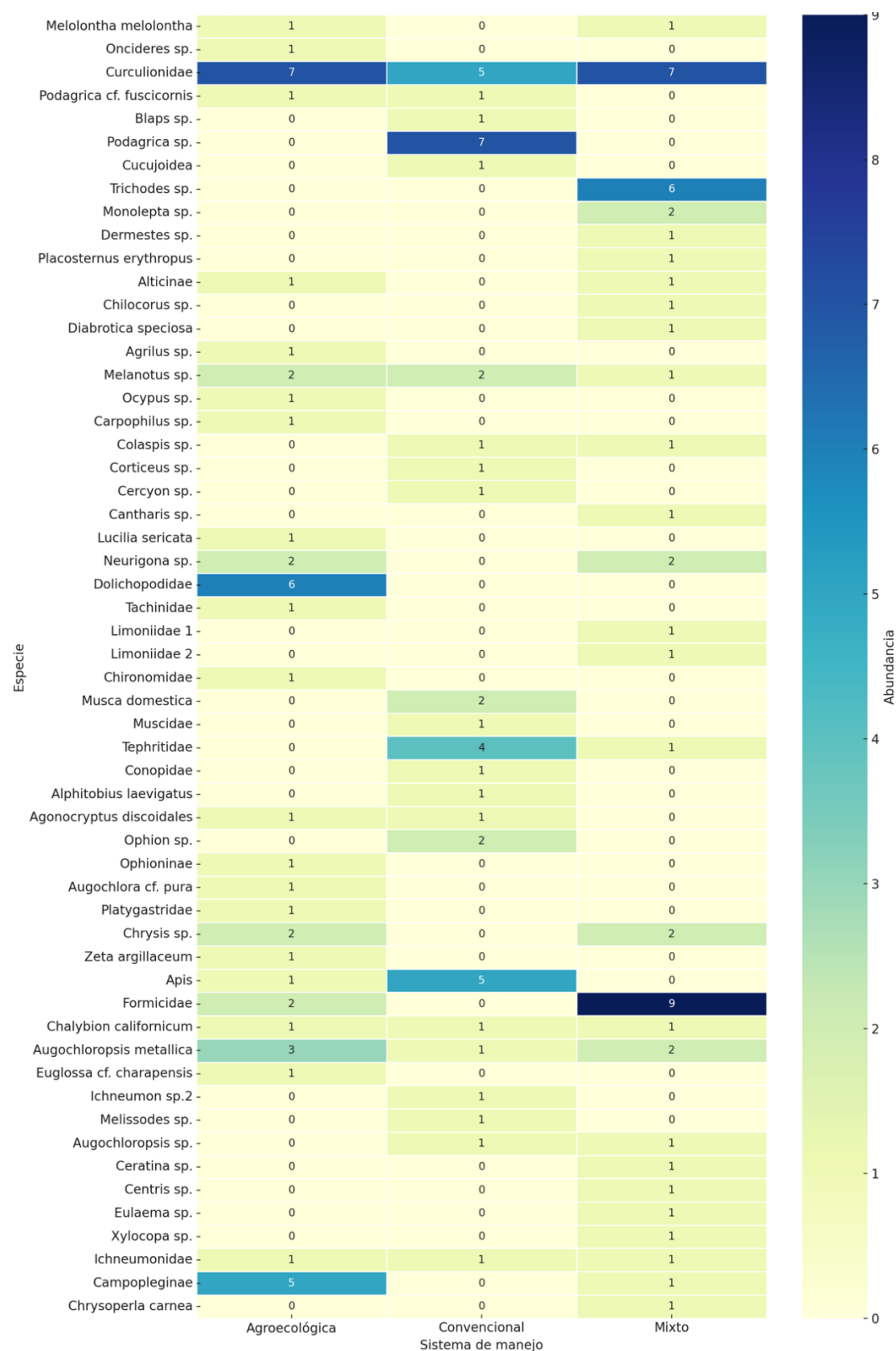
Coleoptera	Cantharidae	<i>Cantharis</i> sp.	0	0	1
Diptera	Calliphoridae	<i>Lucilia sericata</i>	1	0	0
Diptera	Dolichopodidae	<i>Neurigona</i> sp.	2	0	2
Diptera	Dolichopodidae	<i>Dolichopodidae</i>	6	0	0
Diptera	Tachinidae	<i>Tachinidae</i>	1	0	0
Diptera	Limoniidae	<i>Limoniidae 1</i>	0	0	1
Diptera	Limoniidae	<i>Limoniidae 2</i>	0	0	1
Diptera	Chironomidae	<i>Chironomidae</i>	1	0	0
Diptera	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	0	2	0
Diptera	Muscidae	<i>Muscidae</i>	0	1	0
Diptera	Tephritidae	<i>Tephritidae</i>	0	4	1
Diptera	Conopidae	<i>Conopidae</i>	0	1	0
Diptera	Tenebrionidae	<i>Alphitobius laevigatus</i>	0	1	0
Hymenoptera	Ichneumonidae	<i>Agonocryptus discoidales</i>	1	1	0
Hymenoptera	Ichneumonidae	<i>Ophion</i> sp.	0	2	0
Hymenoptera	Ichneumonidae	<i>Ophioninae</i>	1	0	0
Hymenoptera	Halictidae	<i>Augochlora</i> cf. <i>pura</i>	1	0	0
Hymenoptera	Platygastridae	<i>Platygastridae</i>	1	0	0
Hymenoptera	Chrysididae	<i>Chrysis</i> sp.	2	0	2
Hymenoptera	Vespidae	<i>Zeta argillaceum</i>	1	0	0
Hymenoptera	Apidae	<i>Apis</i>	1	5	0
Hymenoptera	Formicidae	<i>Formicidae</i>	2	0	9
Hymenoptera	Sphecidae	<i>Chalybion californicum</i>	1	0	1
Hymenoptera	Halictidae	<i>Augochloropsis metallica</i>	3	1	2
Hymenoptera	Apidae	<i>Euglossa</i> cf. <i>charapensis</i>	1	0	0

Hymenoptera	Ichneumonidae	<i>Ichneumon</i> sp.2	0	1	0
Hymenoptera	Apidae	<i>Melissodes</i> sp.	0	1	0
Hymenoptera	Halictidae	<i>Augochloropsis</i> sp.	0	1	1
Hymenoptera	Apidae	<i>Ceratina</i> sp.	0	0	1
Hymenoptera	Apidae	<i>Centris</i> sp.	0	0	1
Hymenoptera	Apidae	<i>Eulaema</i> sp.	0	0	1
Hymenoptera	Apidae	<i>Xylocopa</i> sp.	0	0	1
Hymenoptera	Ichneumonidae	<i>Ichneumonidae</i>	1	1	1
Hymenopteta	Ichneumonidae	<i>Campopleginae</i>	5	0	1
Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysoperla</i> <i>carnea</i>	0	0	1
Total			48	42	51

Nota: Elaboración propia (2025).

Figura 9

Mapa de calor de la abundancia de especies registradas en las tres fincas de estudio.



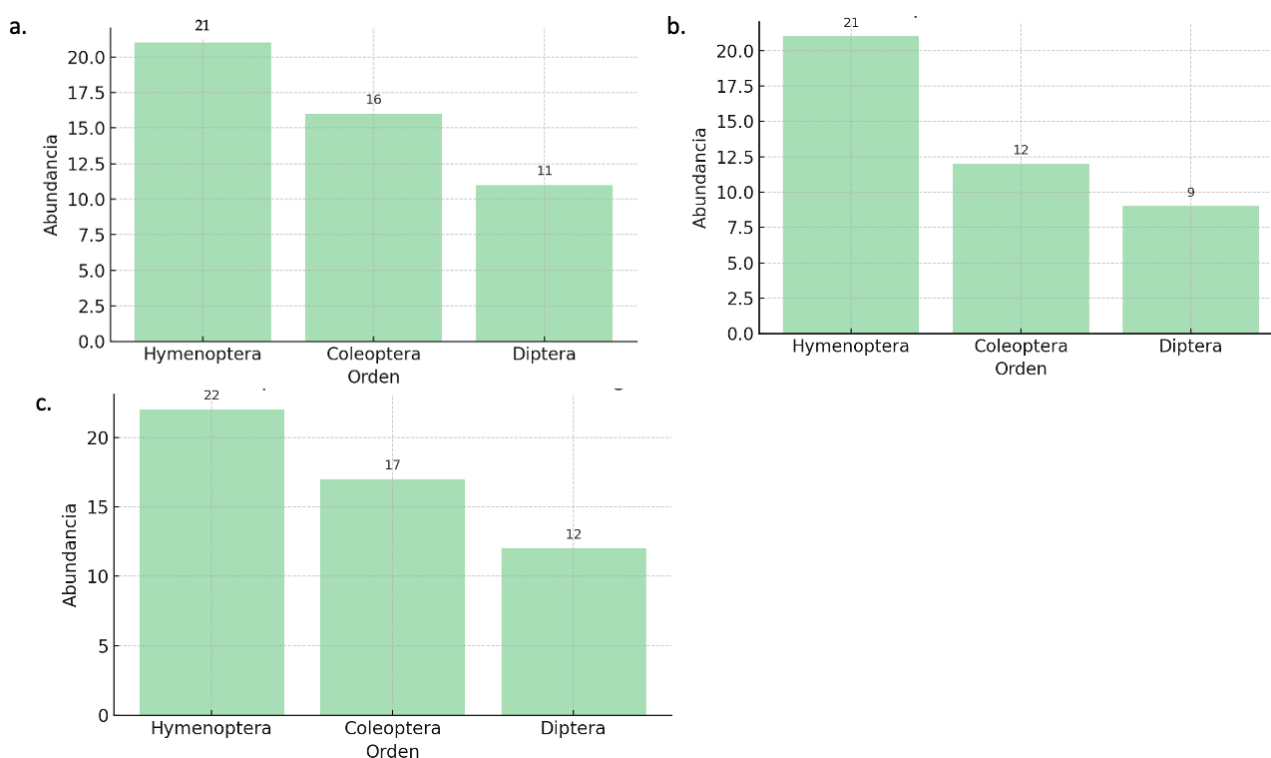
Nota: Elaboración propia (2025).

Abundancia de individuos por órdenes de insectos registrados en las tres fincas de estudio

En los tres sistemas de manejo, el orden Hymenoptera fue el más representativo. En el sistema agroecológico se registraron 21 individuos seguido por 16 de Coleoptera y 11 de Diptera (Figura 10a). En el sistema convencional se observó la misma abundancia de Hymenoptera ($n=21$), pero menores registros de Coleoptera ($n=12$) y 9 de Diptera (Figura 10b). Finalmente, en el sistema mixto, se registraron las mayores abundancias generales, con 22 individuos de Hymenoptera, 17 individuos de Coleoptera y 12 de Diptera (Figura 10c).

Figura 10

Distribución de la abundancia de individuos por órdenes de insectos en las fincas de estudio (a) agroecológica, (b) convencional y (c) mixta.



Nota: Elaboración propia (2025).

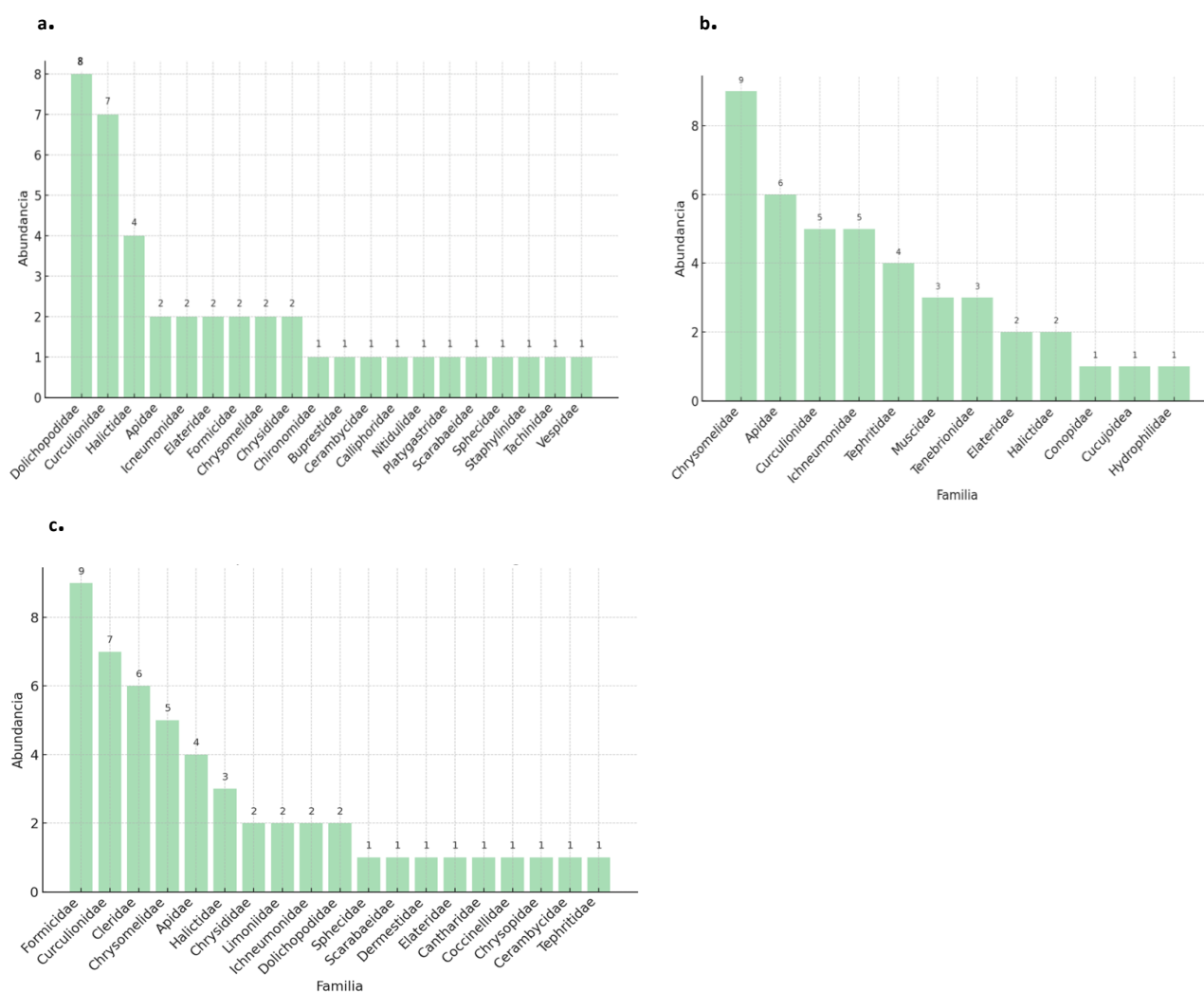
Abundancia de individuos por familias de insectos registrados en las tres fincas de estudio

En la finca agroecológica se registraron un total de 20 familias. La más abundante fue Dolichopodidae con $n=8$, seguida por Curculionidae con $n=7$ y Halictidae con $n=4$. Otras familias como Chrysomelidae, Chrysididae, Elateridae, Apidae e Ichneumonidae presentaron 2 individuos

cada una. El resto de familias, entre ellas Buprestidae, Scarabeidae, Calliphoridae, Platygastriidae, Staphylinidae y Vespidae, estuvo representado por un solo individuo, lo que refleja una comunidad con alta diversidad taxonómica pero dominada por pocas familias (Figura 11a).

Figura 11

Distribución de la abundancia de individuos por familias de insectos en las fincas de estudio (a) agroecológica, (b) convencional y (c) mixta.



Nota: Elaboración propia (2025).

En la finca convencional se observó un patrón diferente, con una mayor concentración de individuos en menos familias. La familia Chrysomelidae fue la más representativa con 9 individuos, seguida por Apidae (6), Curculionidae e Ichneumonidae (5 cada una) y Tephritidae (4). Las demás

familias presentaron entre 1 y 3 individuos, lo cual evidencia una comunidad con una alta dominancia de unas pocas familias y una representación marginal del resto (Figura 11b).

En la finca mixta, la familia Formicidae fue la más abundante con 9 individuos, seguida por Curculionidae (n=7) y Cleridae (n=6). También destacaron Chrysomelidae (n=5) y Apidae (n=4). Familias como Halictidae (n=3), y otras como Chrysididae, Dolichopodidae, Ichneumonidae y Limoniidae (2 cada una), mostraron una presencia moderada. Las restantes familias fueron registradas con un solo individuo, indicando una estructura intermedia entre la dominancia y la equitatividad (Figura 11c).

Abundancia de individuos por especies de insectos registrados en las tres fincas de estudio

La distribución de abundancia por taxón varió entre las tres fincas, reflejando diferencias en la composición específica asociadas a los distintos tipos de manejo. En la finca agroecológica, el taxón más representativo fue la familia Curculionidae, con 7 individuos, seguido por Dolichopodidae (6) y Campopleginae (5). También se registraron abundancias moderadas de especies como *Augochloropsis metallica* (3 individuos) y otras como *Melanotus* sp., *Neurigona* sp., *Chrysis* sp. y la familia Formicidae, cada una con 2 individuos. El resto de los taxones estuvo representado por un solo individuo, lo que sugiere una alta riqueza específica con baja dominancia (Figura 12a).

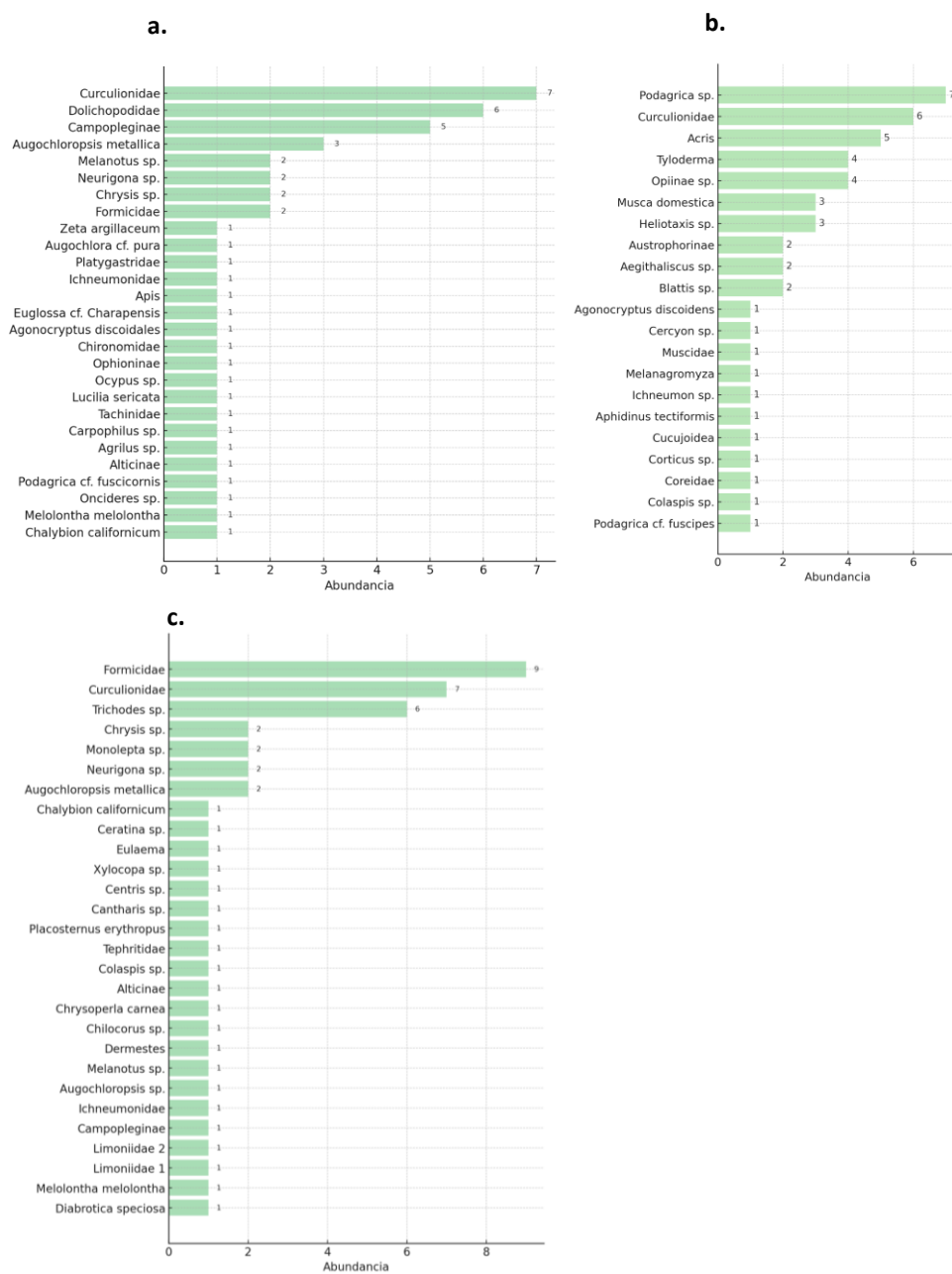
En la finca convencional, la especie más abundante fue *Podagrica* sp., con 7 individuos, seguida por Curculionidae y *Apis* sp. (5 individuos cada una), y Tephritidae (4). Más de 20 taxones se encontraron con un solo individuo, lo que indica una comunidad caracterizada por una alta riqueza pero baja equidad, donde unas pocas especies dominan la composición, mientras que la mayoría presentan una representación muy limitada (Figura 12b).

En la finca mixta, la familia Formicidae presentó la mayor abundancia con 9 individuos, seguida por Curculionidae (7) y *Trichodes* sp. (6). También se destacaron *Chrysis* sp., *Monolepta* sp., *Neurigona* sp. y *Augochloropsis metallica*, con 2 individuos cada una. Las otras 21 especies estuvieron representadas por un solo individuo, evidenciando nuevamente una estructura

comunitaria con alta riqueza específica, pero dominada por unos pocos taxones clave en términos de abundancia (Figura 12c).

Figura 12

Distribución de la abundancia de individuos por especies de insectos en las fincas de estudio (a) agroecológica, (b) convencional y (c) mixta.



Nota: Elaboración propia (2025).

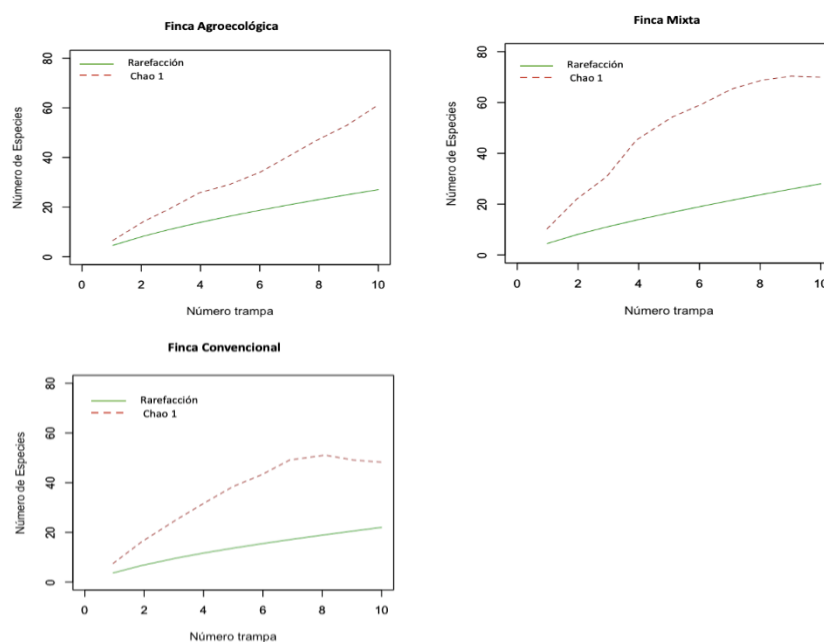
Estimación de la Riqueza

En cuanto a la riqueza observada de especies o taxones, la finca mixta presentó el mayor número, seguida por la agroecológica y, en menor medida, la convencional. Esto se puede observar y comparar mediante las curvas de acumulación de especies o rarefacción (Figura 13), las cuales permiten estimar la riqueza esperada de especies en función del esfuerzo de muestreo. En todos los sistemas, las curvas de estimación Chao1 (líneas punteadas rojas) superaron las curvas de riqueza observada (líneas verdes), lo que indica la existencia de especies no detectadas durante el muestreo. Esta diferencia fue más marcada en la finca agroecológica, lo que sugiere una mayor proporción de especies raras o poco abundantes. En contraste, la finca convencional mostró la menor riqueza tanto observada como estimada, y su curva tendió a estabilizarse más rápidamente.

Cabe señalar que algunas especies solo pudieron ser identificadas hasta nivel de familia o subfamilia, como Ichneumonidae, Campopleginae, Formicidae, Ophioninae, Conopidae, Tephritidae, Muscidae, Chironomidae, Limoniidae, Dolichopodidae, Tachinidae, Cucujoidea y Curculionidae, lo cual pudo haber influido en la estimación final de la riqueza total.

Figura 13

Curvas de rarefacción y estimador Chao1 por finca de estudio.



Nota: Elaboración propia (2025).

Análisis de Diversidad Alfa de las Comunidades de Entomofauna Voladora

Los resultados de diversidad alfa muestran diferencias entre las fincas estudiadas (Tabla 3). La finca de manejo mixto presenta la mayor riqueza de especies, con 28 taxones, seguida por la finca de manejo agroecológico, con 27 taxones y finalmente, la finca de manejo convencional, con 22 taxones. En cuanto a la abundancia de individuos, la finca de manejo mixto también registró el mayor número de individuos (51 individuos), seguido de la finca agroecológica (48) y la finca convencional (42).

Tabla 3

Índices de diversidad alfa de las comunidades de Entomofauna voladora.

	Finca Agroecológica	Finca Convencional	Finca Mixta
Taxa	27	22	28
Individuos	48	42	51
Simpson_1-D	0.953	0.941	0.94
Shannon_H	3.282	3.049	3.222
Pielou J'	0.995	0.986	0.967

Nota: Elaboración propia (2025).

Índice de Simpson (1-D)

El índice de diversidad de Simpson (1-D), fue elevado en todas las fincas, sugiriendo una comunidad diversa; la finca agroecológica (0,953), convencional (0,941) y mixta (0,940).

Índice de Shannon-Wiener (H')

En cuanto al índice de Shannon_H, el valor más alto fue el de la finca agroecológica (3,282), indicando una distribución relativamente más balanceada entre las especies presentes en la finca. Seguido de la finca de la finca de manejo mixto (3,222) y por último la finca convencional (3,049).

Índice de Pielou (J')

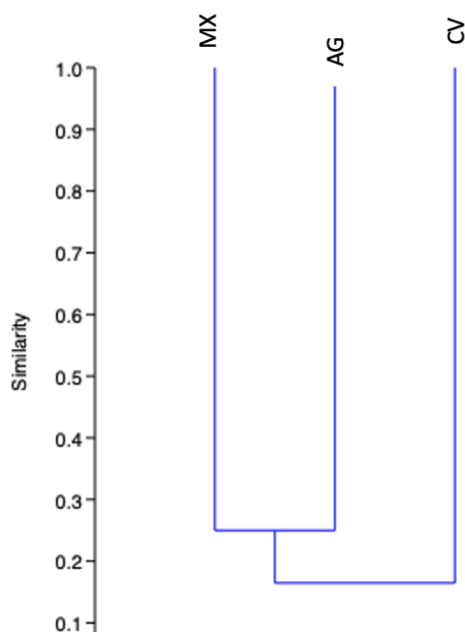
Finalmente, el índice de equitatividad de Pielou (J') indica una distribución muy equitativa en todas las fincas de estudio. La finca agroecológica mostró la equitatividad más alta ($J=0,995$), cercana al valor máximo de 1, lo cual indica que las especies están representadas de forma casi uniforme, seguido, la finca convencional (0,986) y la finca mixta (0,967) también mostraron altos niveles de equitatividad.

Análisis de Diversidad Beta de las Comunidades de Entomofauna Voladora

Se realizó un análisis de similitud en la composición de especies de insectos entre las tres fincas mediante el índice de Jaccard. Los resultados se representaron gráficamente mediante un dendrograma (Figura 14), el cual muestra las relaciones de similitud entre los sistemas de manejo evaluados. En el dendrograma se observa una mayor similitud entre la finca agroecológica (AG) y la finca mixta (MX), con un valor de 0.25, lo que indica una mayor proporción de especies compartidas entre ambas. En contraste, la similitud entre la finca agroecológica y la convencional (CV) fue de 0.167, y entre la convencional y la mixta, de 0.163, reflejando una menor coincidencia en la composición de especies. Estos resultados sugieren que los sistemas agroecológico y mixto comparten un mayor número de especies. Los valores exactos del índice de similitud se presentan en la tabla 1 de Anexos 1.

Figura 14

Dendograma de similitud en la composición de especies entre las fincas de manejo



Nota: Elaboración propia (2025).

Determinación de Rasgos Funcionales las Comunidades de Entomofauna Voladora

De los rasgos funcionales evaluados para la comunidad de insectos en cada finca se observaron los siguientes resultados (Tabla 2; Anexo 1):

Tamaño Corporal

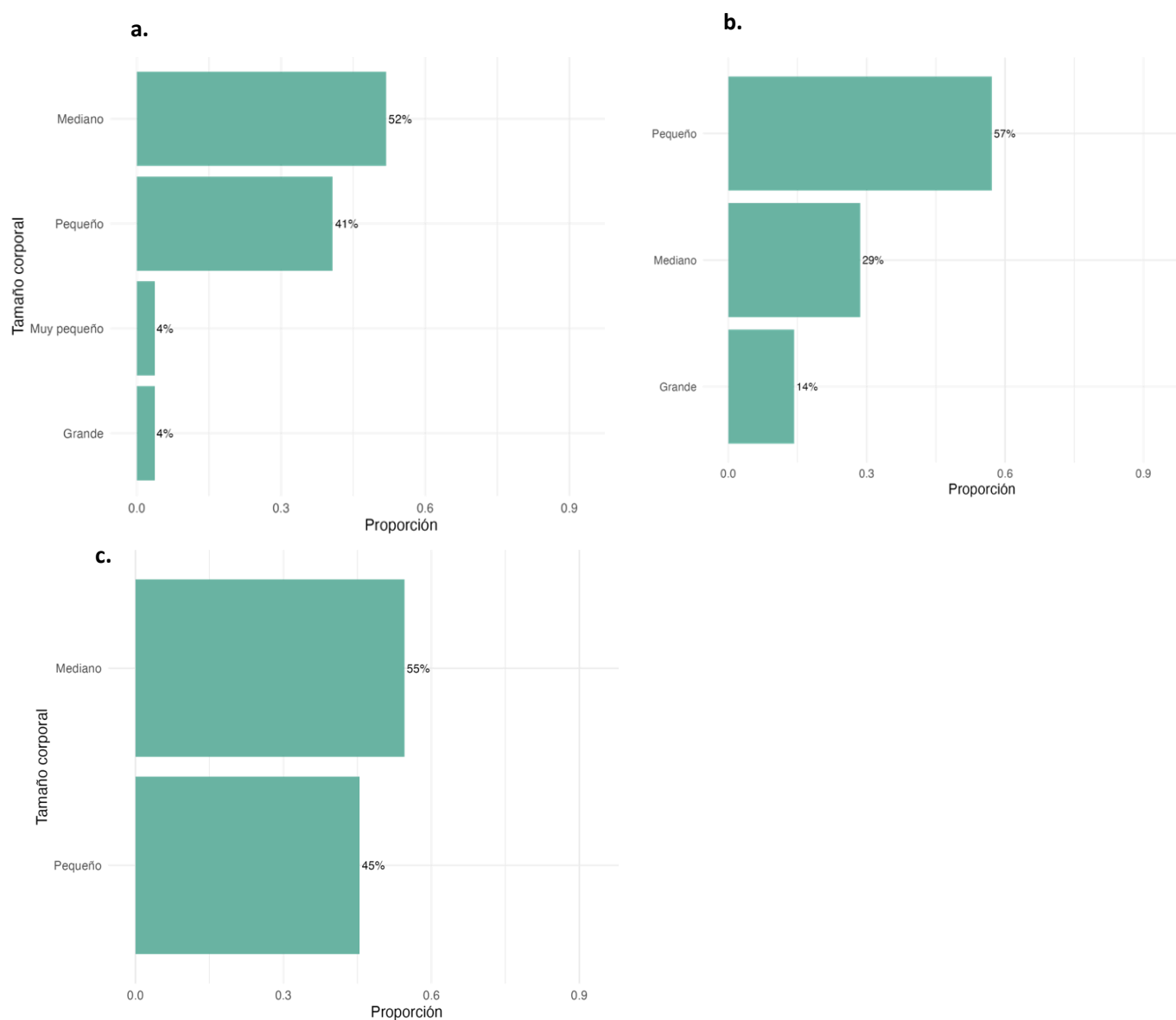
La composición funcional de las comunidades de insectos, según el tamaño corporal, mostró diferencias notables entre los tipos de manejo. En la finca agroecológica, predominaron las especies de tamaño mediano (52 %), seguidas por aquellas de tamaño pequeño (41 %). Las categorías de tamaño muy pequeño y grande estuvieron escasamente representadas, con apenas un 4 % cada una (Figura 15a).

En la finca mixta, la comunidad estuvo dominada por especies de tamaño pequeño (57 %), mientras que las de tamaño mediano representaron el 29 %, y las de tamaño grande el 14 %. Esta

distribución sugiere una mayor representación de formas corporales pequeñas bajo un manejo intermedio (Figura 15b). Por su parte, en la finca convencional, la comunidad de insectos se restringió únicamente a dos categorías de tamaño: un 55 % correspondió a especies de tamaño mediano, y el 45 % restante a especies de tamaño pequeño, sin presencia registrada de insectos muy pequeños ni grandes (Figura 15c).

Figura 15

Tamaño corporal de los insectos registrados en tres fincas de estudio (a) finca agroecológica, (b) finca convencional y (c) finca mixta.



Nota: Elaboración propia (2025).

Anidación

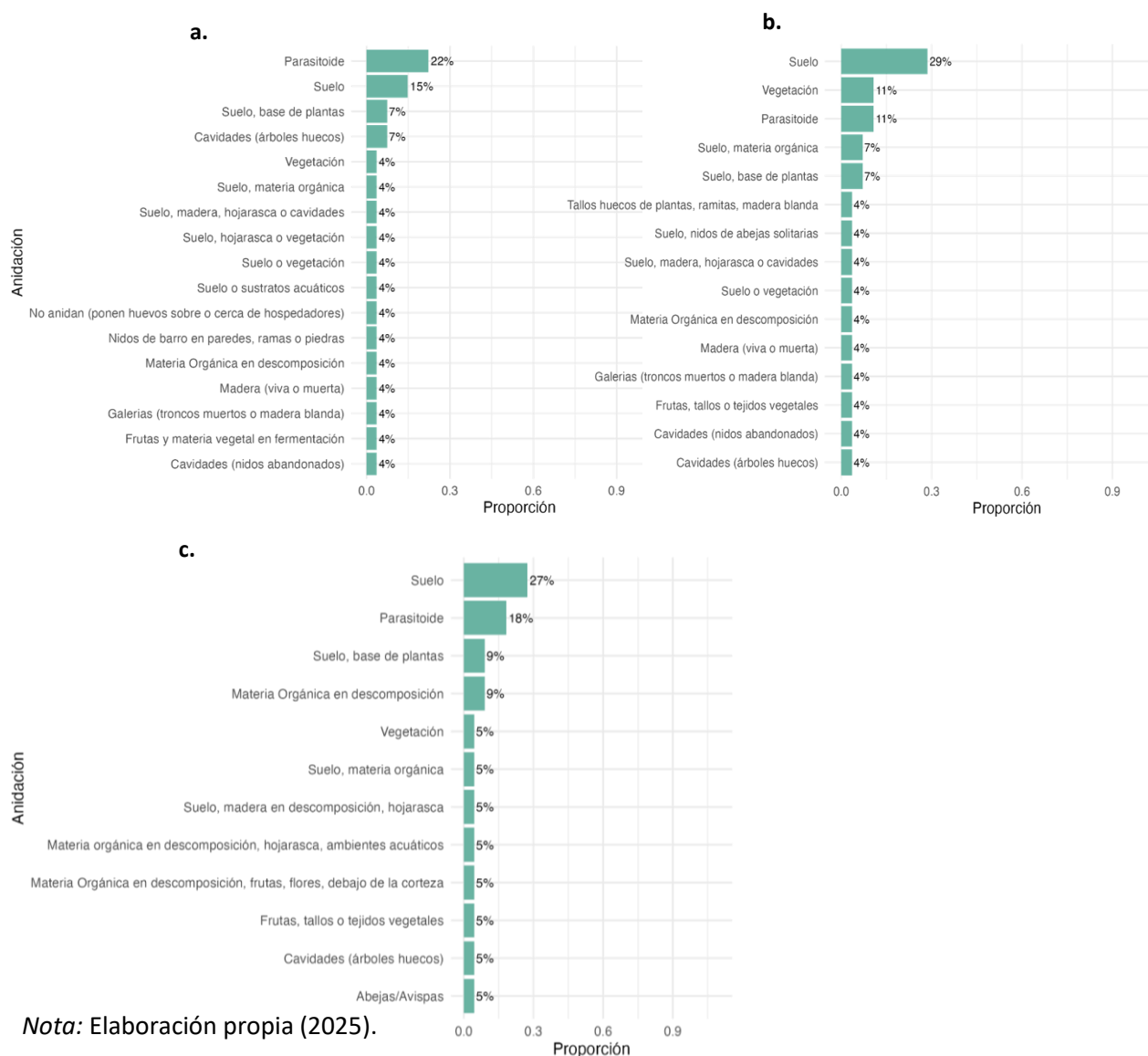
Los hábitos de anidación mostraron una alta variabilidad entre las comunidades de insectos en las distintas fincas. En la finca agroecológica, se identificaron 17 tipos de anidación. La estrategia más común fue el parasitoidismo (22 %), seguida del anidamiento en el suelo (15 %). Otras formas menos representadas incluyeron el anidamiento en el suelo y base de plantas (7 %), en cavidades de árboles u otros huecos (7 %), y en sustratos diversos (4 %) (Figura 16a).

En la finca mixta, se registraron 15 formas de anidación, siendo también predominante el anidamiento en el suelo (29 %), seguido por el anidamiento en vegetación (11 %) y el parasitoidismo (11 %). Se observaron además estrategias combinadas como el anidamiento en suelo y materia orgánica (7 %) y en suelo y base de plantas (7 %). El resto de categorías estuvo representado por un 4 % cada una, incluyendo anidación en madera, hojarasca y otros microhábitats (Figura 16b).

En la finca convencional, se identificaron 12 formas de anidación. La más frecuente fue también el anidamiento en el suelo (27 %), seguido por el parasitoidismo (18 %). Otras formas incluyeron el anidamiento en suelo y base de plantas (9 %) y en materia orgánica en descomposición (9 %). Las demás estrategias estuvieron escasamente representadas, con un 5 % cada una, lo que refleja una menor diversidad de estrategias reproductivas en comparación con las otras fincas (Figura 16c).

Figura 16

Hábitos de anidación de los insectos registrados en tres fincas de estudio (a) finca agroecológica, (b) finca convencional y (c) finca mixta.



Nota: Elaboración propia (2025).

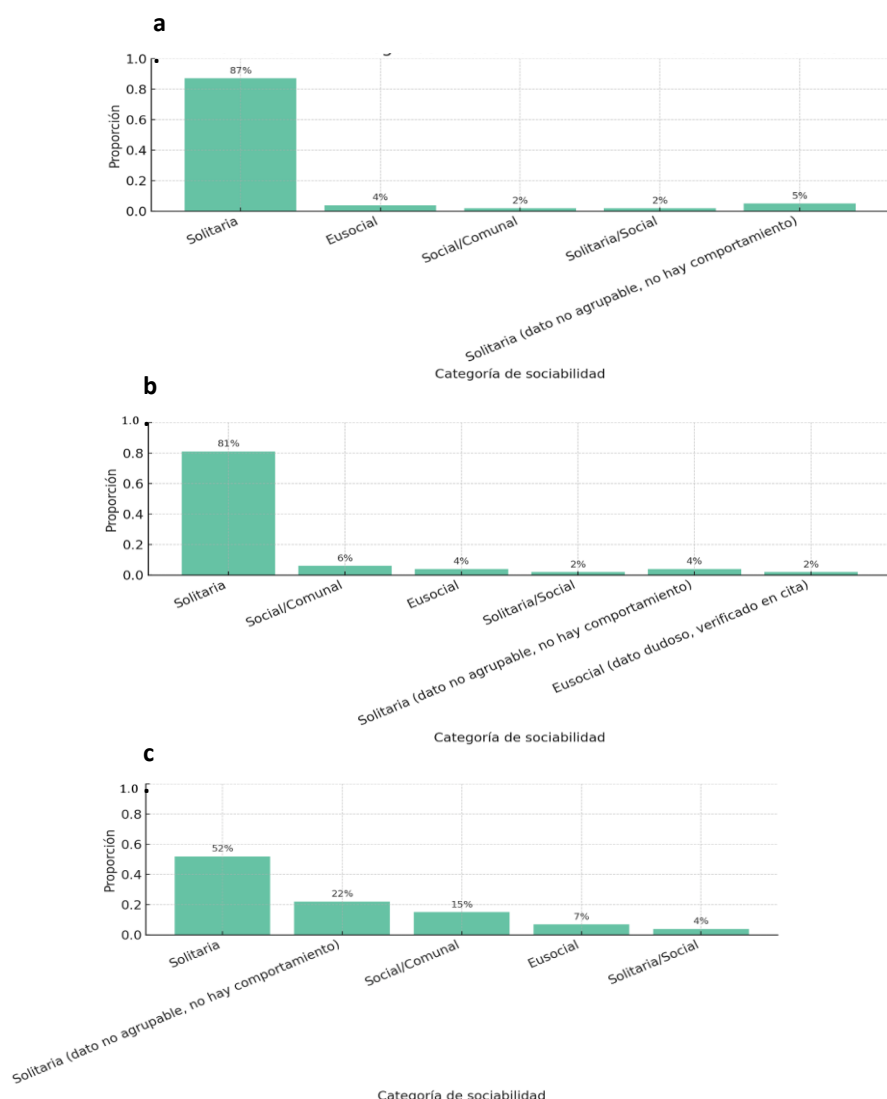
Sociabilidad

La sociabilidad de las comunidades de insectos mostró algunas diferencias entre las fincas, aunque en todos los casos predominaron las especies solitarias. En la finca agroecológica, se identificaron cinco categorías de sociabilidad (Figura 17a). La mayoría de las especies (81 %) presentó un comportamiento solitario, mientras que un 7 % correspondió a especies eusociales. Las categorías restantes se distribuyeron equitativamente con un 4 % cada una: especies

solitarias/semisociales, especies solitarias en agregaciones sin cooperación, y especies semisociales/comunales. En la finca de manejo mixto, también se registraron cinco tipos de sociabilidad (Figura 17b). La proporción más alta correspondió también a especies solitarias (82 %), seguidas por especies semisociales/comunales (7 %), solitarias con cuidado de crías (4 %), solitarias en agregaciones sin cooperación (4 %) y, en menor proporción, eusociales (4 %). Por su parte, la finca convencional presentó cuatro tipos de sociabilidad (Figura 17c), con una mayor proporción de especies solitarias (73 %). Le siguieron especies solitarias en agregaciones sin cooperación (14 %), semisociales/comunales (9 %) y, finalmente, un 5 % de especies eusociales.

Figura 17

Sociabilidad de los insectos registrados en tres fincas de estudio, (a) finca agroecológica, (b) finca convencional y (c) finca mixta.



Dieta Floral

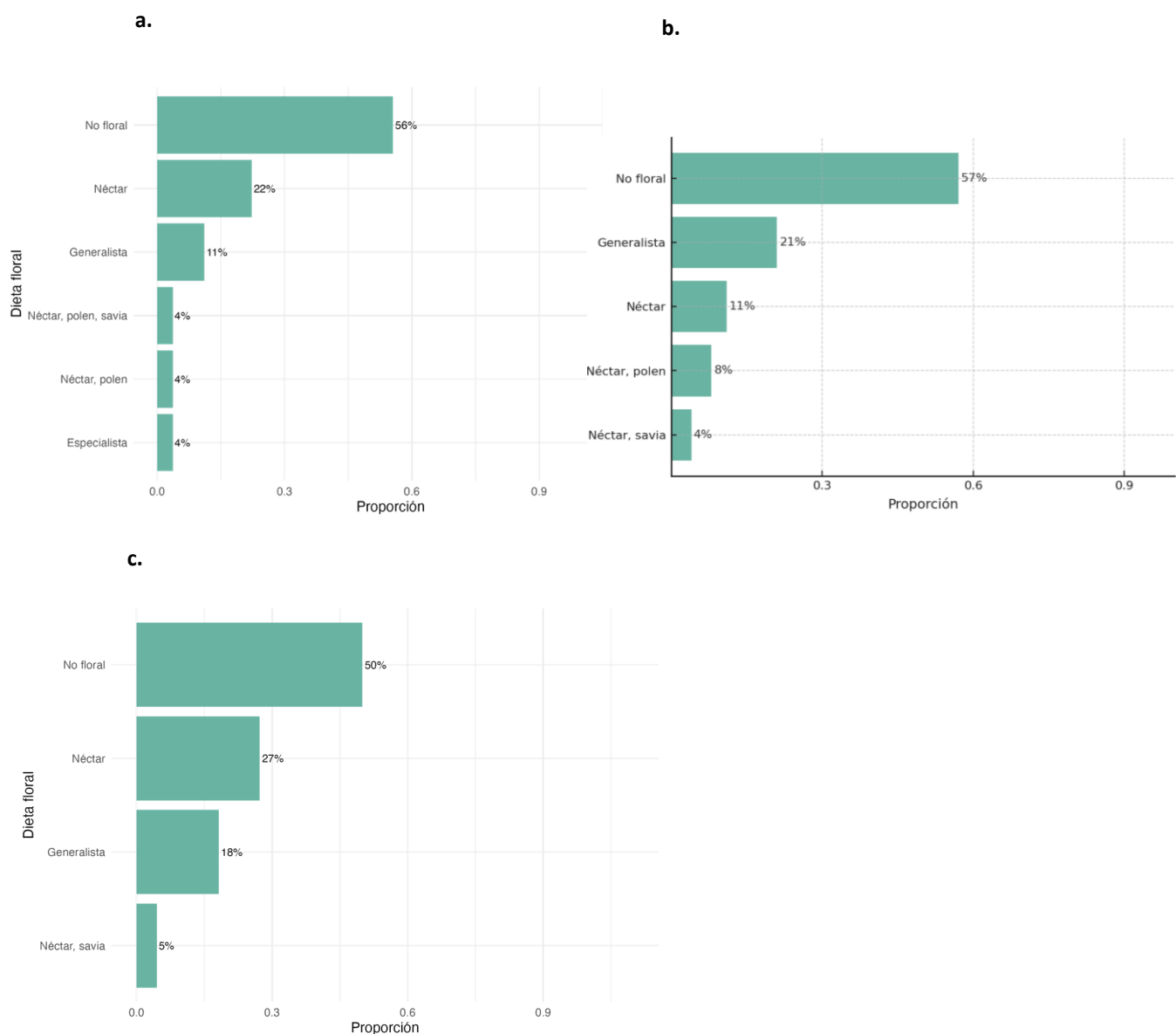
La dieta floral de las comunidades de insectos varió ligeramente entre las tres fincas; en todos los casos se observó una proporción considerable de especies que no dependen directamente de recursos florales. En la finca agroecológica, la dieta estuvo dominada por especies nectarívoras (22 %), seguidas por especies generalistas (11 %), que consumen una combinación de néctar, polen y otros recursos florales. Además, se registró un 4 % de especies que consumen néctar, polen y savia; un 4 % que consume néctar y polen; y un 4 % de especialistas, definidos como aquellos que dependen de un solo recurso floral (Díaz et ál., 2013; Roslin et ál., 2014). El 56 % de las especies registradas no presentó una dieta floral identificable (Figura 18a).

En la finca de manejo mixto, se identificaron cinco categorías de dieta floral (Figura 18b). Las especies generalistas representaron el 21 %, seguidas por nectarívoras (11 %) y especies que consumen néctar y polen (8 %). También se registró un 4 % de especies que se alimentan de néctar y savia. El 57 % restante correspondió a especies sin dieta floral aparente.

En la finca convencional, se registraron cuatro tipos de preferencias alimenticias. Las nectarívoras representaron el 27 %, seguidas por generalistas (18 %) y especies consumidoras de néctar y savia (5 %). El 50 % de las especies no mostró evidencia de dieta floral (Figura 18c).

Figura 18

Dieta floral de los insectos registrados en tres fincas de estudio (a) finca agroecológica, (b) finca convencional y (c) finca mixta.



Nota: Elaboración propia (2025).

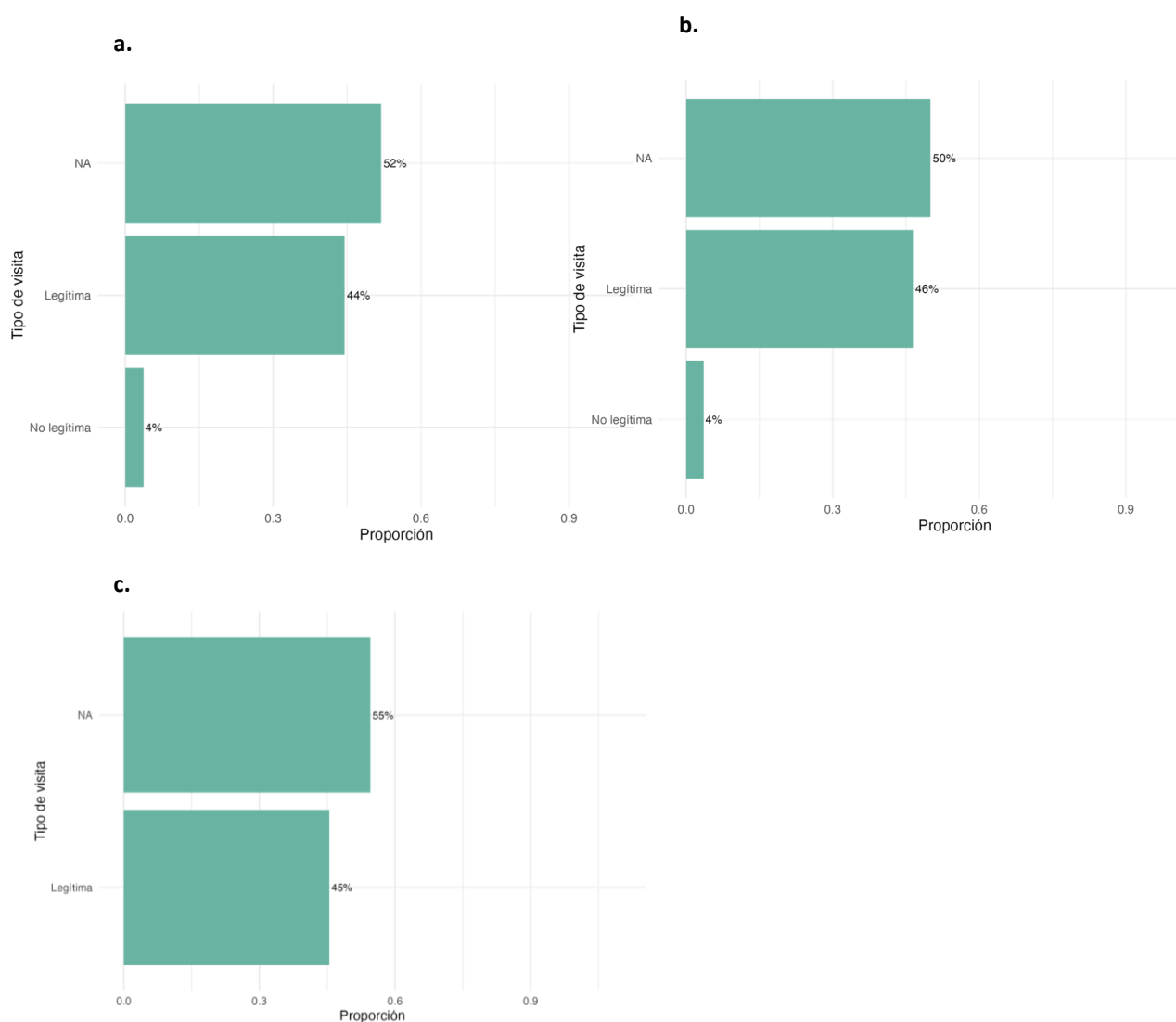
Tipo de Visita

El tipo de visita floral realizada por los insectos muestreados varió ligeramente entre los sistemas de manejo. En la finca agroecológica, el 44 % de las especies registradas realizaron visitas florales legítimas, mientras que un 4 % realizó visitas no legítimas. El 52 % restante no mostró interacción directa con flores (Figura 19a). En la finca de manejo mixto, se observó un patrón similar: el 46 % de las especies realizaron visitas legítimas, el 4 % visitas no legítimas, y el 50 % no interactuó

con flores (Figura 19b). Por su parte, en la finca convencional, el 45 % de las especies fueron visitantes legítimos, mientras que el 55 % restante no registró actividad floral (Figura 19c).

Figura 19

Tipo de visita de los insectos registrados en tres fincas de estudio (a) finca agroecológica, (b) finca convencional y (c) finca mixta.



Nota: Elaboración propia (2025).

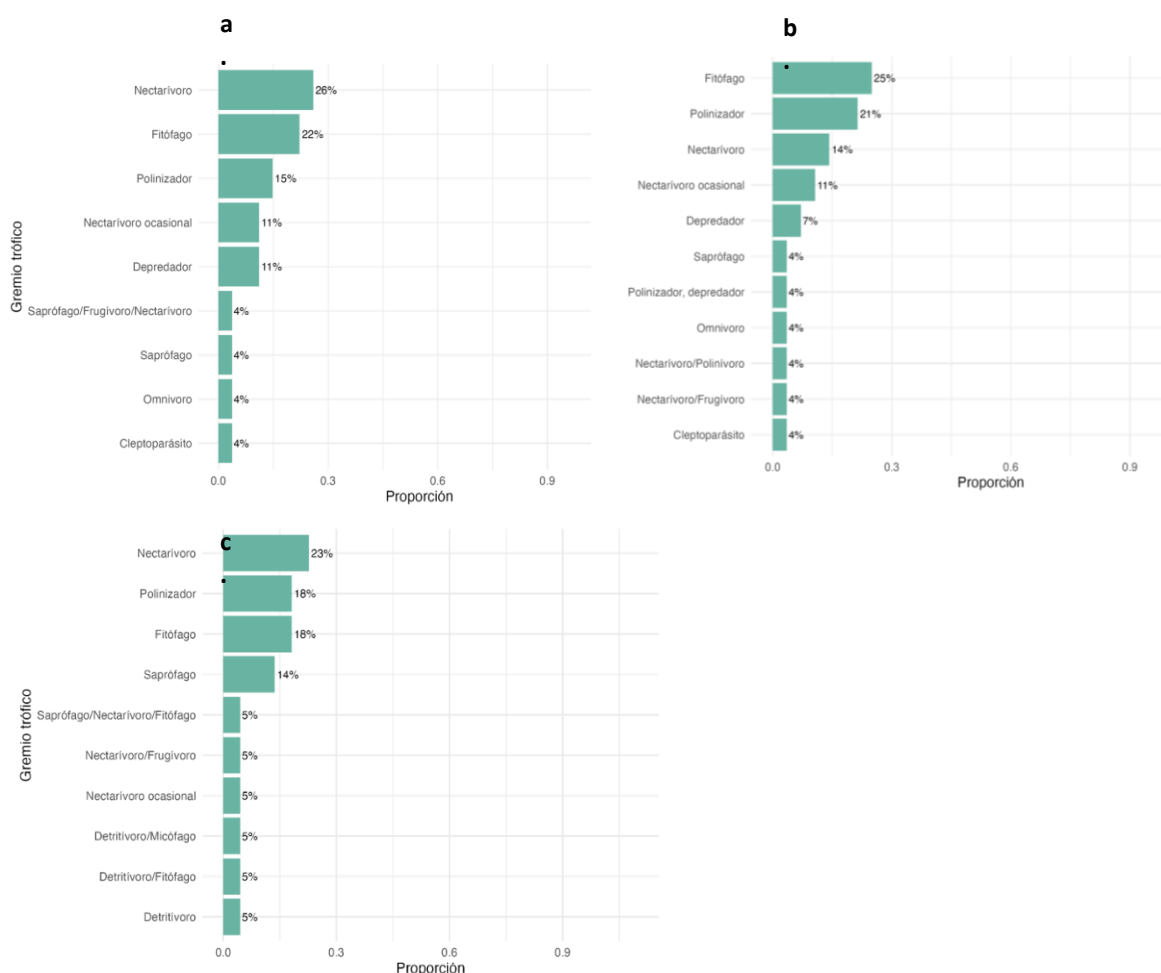
Gremio Trófico

La estructura de los gremios tróficos de las comunidades de insectos mostró variaciones entre las fincas, reflejando diferencias en las funciones ecológicas dominantes según el tipo de manejo. En la finca agroecológica, se identificaron nueve gremios tróficos (Figura 20a). El 26 % de las

especies correspondió al gremio nectarívoro, seguido por fitófagos (22 %) y polinizadores (15%). Además, un 11 % fueron nectarívoros ocasionales y otro 11 % depredadores. El resto de las especies (4 %) se distribuyó en otras categorías funcionales menos representadas. En la finca de manejo mixto, se registraron once gremios tróficos (Figura 20b). El grupo más numeroso fue el de los fitófagos (25 %), seguido por polinizadores (21%), nectarívoros (14%), nectarívoros ocasionales (11 %) y depredadores (7 %). Las demás categorías representaron proporciones menores y abarcan otros roles funcionales en el ecosistema. Por su parte, en la finca convencional se identificaron diez gremios tróficos (Figura 20c). El gremio nectarívoro fue el más representado (23 %), seguido por polinizadores y fitófagos (ambos con 18 %) y saprófagos (14 %). El resto de los gremios registró una frecuencia del 5 % cada uno, reflejando una comunidad funcionalmente diversa, aunque con menor equidad entre categorías.

Figura 20

Gremio trófico de los insectos registrados en tres fincas de estudio (a) finca agroecológica, (b) finca convencional y (c) finca mixta.

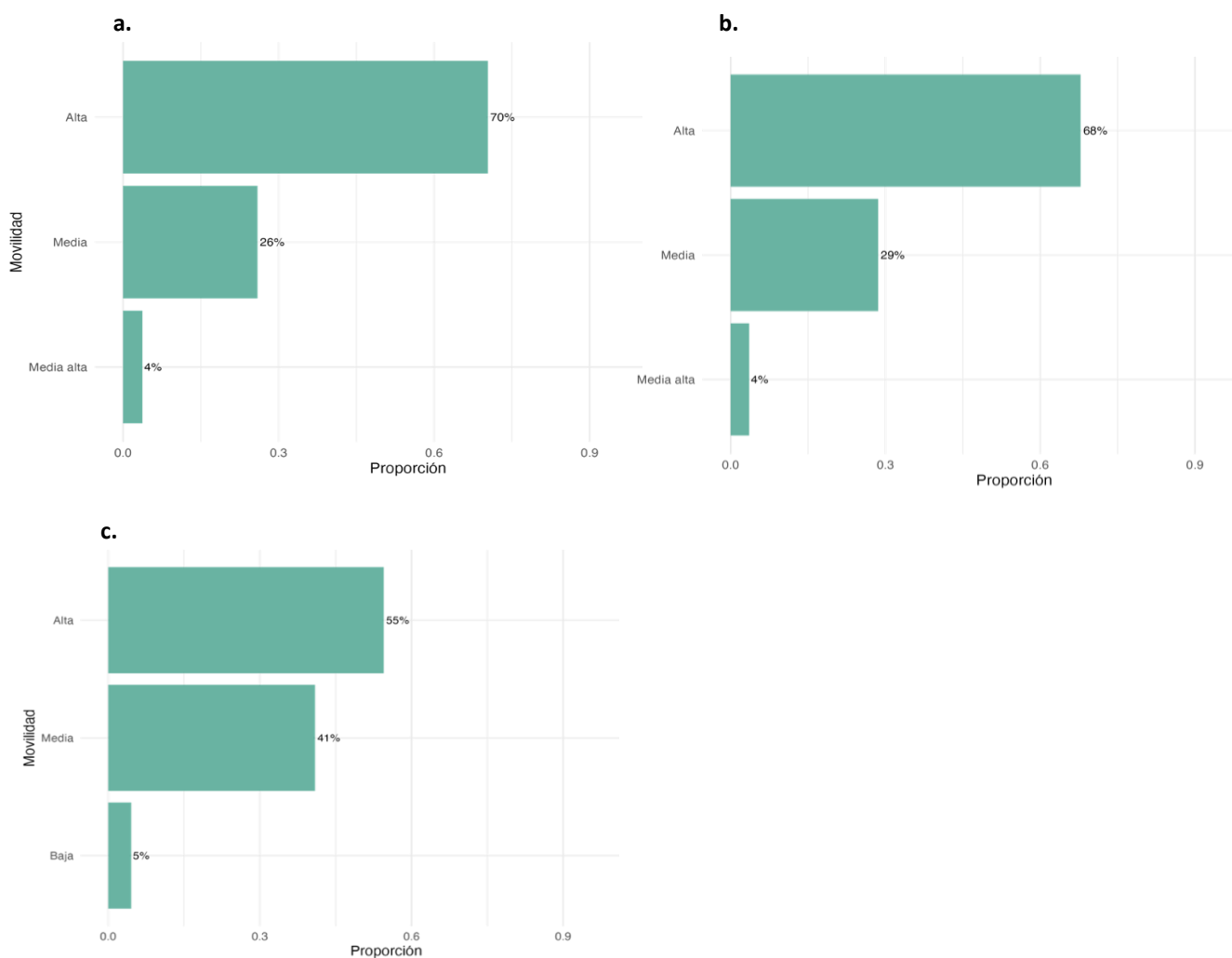


Movilidad

La movilidad de los insectos refleja algunas diferencias en su capacidad de desplazamiento asociadas al entorno y al tipo de manejo. En la finca agroecológica, se identificaron tres categorías de movilidad (Figura 21a). La mayoría de las especies presentó una movilidad alta (70 %), mientras que el 26 % mostró movilidad media, y un 4 % fue clasificado con movilidad media-alta. En la finca de manejo mixto, los resultados fueron similares (Figura 21b), 68 % de especies con movilidad alta, un 29% con movilidad media, y un 4% con movilidad media-alta. Por su parte, en la finca convencional también se identificaron tres niveles de movilidad (Figura 21c). El 55 % de las especies presentó movilidad alta, el 41% movilidad media, y un 5 % fue clasificado con movilidad baja.

Figura 21

Movilidad de los insectos registrados en tres fincas de estudio (a) finca agroecológica, (b) finca convencional y (c) finca mixta.

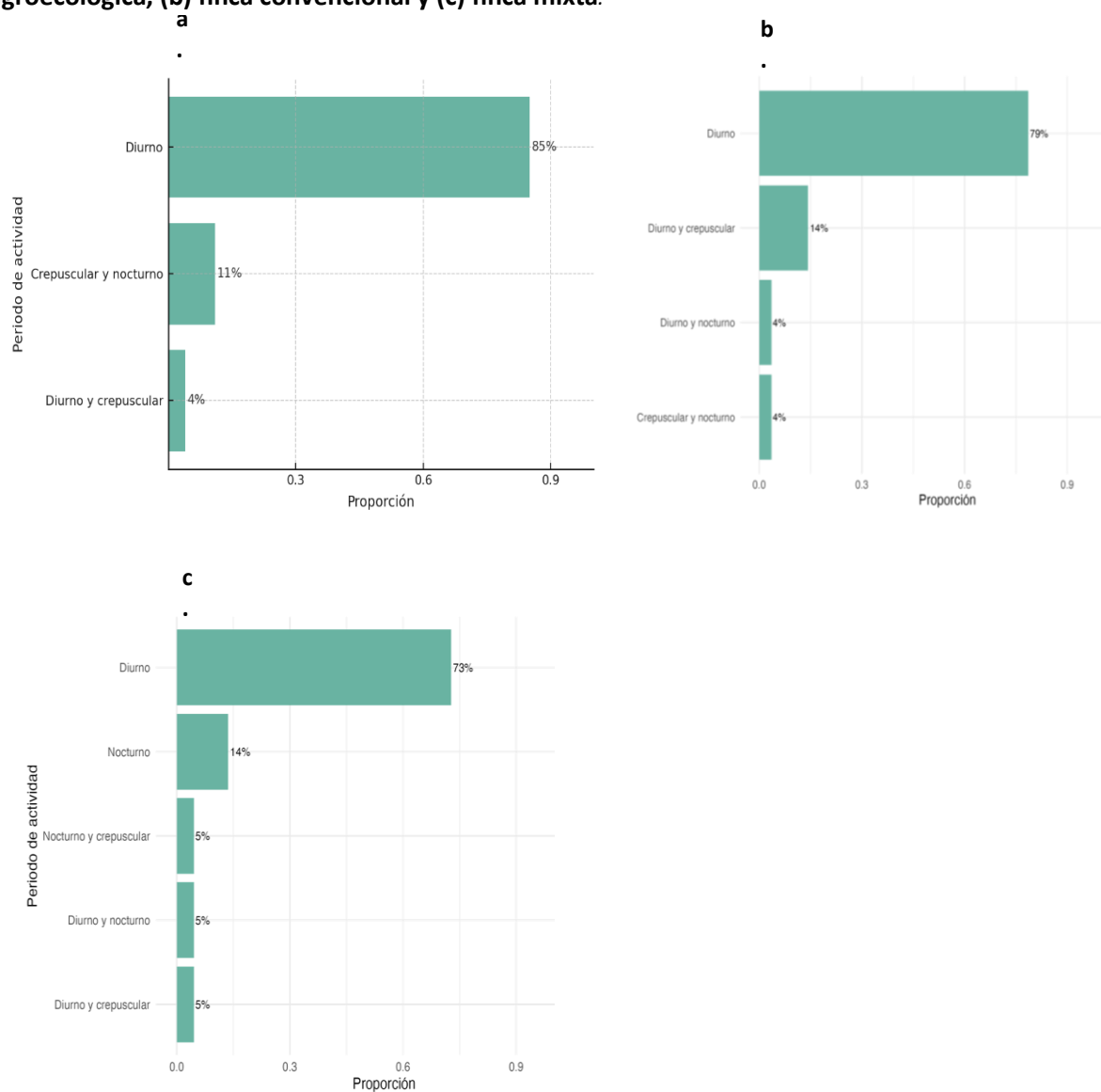


Periodo de Actividad

El periodo de actividad de los insectos varió levemente entre las fincas, las especies con hábitos diurnos fueron las más predominantes. En la finca agroecológica, se identificaron tres categorías de actividad (Figura 22a). Las especies diurnas fueron las más representativas, con un 85 %, seguidas por especies crepusculares y nocturnas (11 %) y un pequeño grupo (4 %) de especies con actividad diurna y crepuscular. En la finca de manejo mixto, se registraron cuatro tipos de actividad (Figura 22b). Las especies diurnas constituyeron el 79 %, seguidas por especies con actividad diurna y crepuscular (14 %), y con menor frecuencia, especies diurnas y nocturnas (4 %) y crepusculares y nocturnas (4 %). Por su parte, en la finca convencional se observaron cinco categorías de actividad (Figura 22c). Las especies diurnas representaron el 73 %, mientras que las nocturnas constituyeron el 14 %. Las categorías restantes, nocturnas y crepusculares, diurnas y nocturnas, y diurnas y crepusculares estuvieron todas representadas por un 5 % cada una.

Figura 22

Periodo de actividad de los insectos registrados en tres fincas de estudio (a) finca agroecológica, (b) finca convencional y (c) finca mixta.



Nota: Elaboración propia (2025).

Análisis de Diversidad Funcional

Los valores de diversidad funcional muestran diferencias notables entre los tres sistemas de manejo estudiados (Tabla 4). La finca mixta presentó la mayor dispersión funcional (8,65), seguida por la finca convencional (7,40) y la agroecológica (7,35), lo que sugiere que en la finca mixta las especies están más alejadas entre sí en el espacio funcional, es decir, presentan una mayor diferenciación en sus rasgos ecológicos. En términos de equidad funcional, la finca agroecológica

obtuvo el valor más alto (0,76), indicando una distribución más uniforme de las especies en el espacio funcional. Le siguen la mixta (0,72) y la convencional (0,65), donde se observa una menor uniformidad en la representación de los rasgos.

Aunque la riqueza funcional fue baja en los tres sistemas, su valor log-transformado fue mayor en la finca mixta (0,023), mientras que la agroecológica presentó un valor intermedio (0,00031) y la convencional uno extremadamente bajo (0,0000033). Este patrón indica que, pese a la baja riqueza funcional absoluta, la finca mixta alberga especies funcionalmente más diversas, mientras que en la convencional predominan especies con rasgos similares o redundantes.

Tabla 4

Índices de diversidad funcional para las tres fincas de estudio.

	Finca Agroecológica (Luis Lima)	Finca Convencional (Germán Vega)	Finca Mixta (Miguel Pando)
Riqueza funcional (log)	0,00031	0,0000033	0,0230865
Equidad funcional	0,76	0,6505734	0,7218233
Dispersión funcional	7,35	7,40129	8,650907

Nota: Elaboración propia (2025).

Análisis de Coordenadas Principales (PcoA)

La tabla 5 muestra los valores de la varianza explicada para cada componente principal (PC). El análisis de coordenadas principales muestra dos ejes funcionales que explican la estructura de la comunidad de insectos. El eje PC1 mostró una fuerte asociación con rasgos relacionados a la función polinizadora. Específicamente, las especies con visitas legítimas a las flores se ubicaron hacia valores negativos de PC1 ($r = -0.9294$), al igual que las especies nectarívoras ($r = -0.6357$) y del gremio de los polinizadores ($r = -0.4415$). En contraste, las especies no polinizadoras ($r = 0.9207$) y aquellas con dieta no floral ($r = 0.8854$) se alinearon hacia los valores positivos. Por lo tanto, el PC1 se puede interpretar como un gradiente funcional desde polinizadores legítimos hacia visitantes oportunistas o no florales.

El eje PC2, por su parte, muestra un gradiente asociado al gremio trófico, tamaño corporal y sociabilidad. En el extremo negativo del eje se ubican especies generalistas en dieta floral ($r = -0.7294$) y del gremio polinizador (-0.7104), mientras que los valores positivos se asociaron con especies de tamaño corporal mediano ($r = 0.6655$), nectarívoras ($r = 0.5878$) y de hábitos solitarios ($r = 0.5673$). Esto muestra que PC2 distingue entre polinizadores generalistas y sociales frente especies más especializadas, medianas y solitarias.

Tabla 5

Correlación de rasgos funcionales con los dos primeros ejes del Análisis de Coordenadas Principales (PCoA).

Rasgo funcional	Correlacion_PC1	Correlacion_PC2
Tipo.de.visita.Legítima	-0.9294	-0.1888
Tipo.de.visita.No polinizador	0.9207	0.2173
Dieta.floral.No floral	0.8854	0.2370
Dieta.floral.Generalista	-0.4052	-0.7294
Gremio.trófico.Polinizador	-0.4415	-0.7104
Tamaño.corporal.Mediano	-0.4938	0.6655
Gremio.trófico.Nectarívoro	-0.6357	0.5878
Sociabilidad.Solitario	0.2059	0.5673

Nota: Elaboración propia (2025).

Análisis del Espacio Funcional de las Especies en Tres Sistemas de Manejo (Agroecológico, Convencional y Mixto).

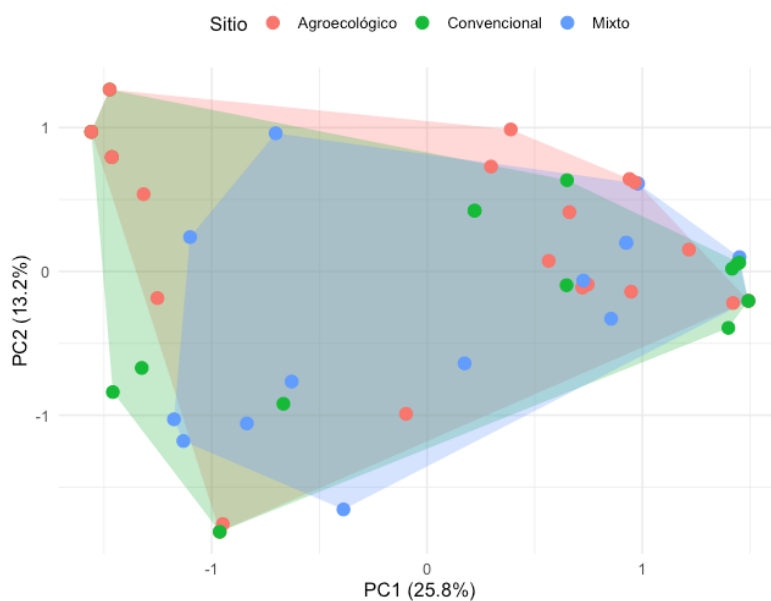
El análisis del espacio funcional mediante PCoA muestra una evidente diferenciación en la distribución funcional de las especies entre los tres sistemas de manejo (Figura 23). El componente PC1 explica el 25.8 % de la variación y reflejó un eje funcional asociado al modo de visita floral y dieta. Las especies con visitas legítimas y dieta nectarívora se ubicaron en el extremo negativo de

PC1, mientras que aquellas con comportamiento no polinizador y dieta no floral se agruparon en el extremo positivo. El componente PC2 explicó el 13.2 % de la variación, distinguiendo a las especies según sus estrategias tróficas, nivel de generalismo y tamaño corporal. En el extremo negativo se agruparon especies polinizadoras generalistas, mientras que el extremo positivo correspondió a especies medianas, nectarívoras y solitarias.

En términos de agrupamiento funcional, el sistema agroecológico (rojo) ocupó un espacio más amplio, abarcando especies polinizadoras como no polinizadoras, lo cual sugiere una mayor diversidad funcional. Por otro lado, el sistema convencional (verde) mostró una distribución más acotada hacia especies del extremo derecho de PC1, asociadas a comportamientos oportunistas o no florales. Finalmente, el sistema mixto (azul) se ubicó en una zona intermedia, incluyendo especies con diversas estrategias de visita y alimentación floral. La superposición parcial entre los polígonos indica una cierta similitud en las funciones ecológicas compartidas entre los sitios, pero también se evidencian ensambles únicos en cada sistema.

Figura 23

Distribución de especies en el espacio funcional según el sistema de manejo (agroecológico, convencional y mixto), proyectada en los dos primeros ejes del PCoA.



Nota: Elaboración propia (2025).

Análisis del Espacio Funcional de las Especies en la Finca Agroecológica

El análisis de componentes principales para la finca agroecológica muestra que el primer eje (PC1) explica el 25.8 % de la varianza funcional, mientras que el segundo eje (PC2) explica el 13.2 % (Figura 24). El polígono delineado en la figura abarca las especies funcionalmente más diferentes dentro del espacio de rasgos. En el extremo izquierdo del polígono se encuentran *Augochlora* cf. *pura* y *Augochloropsis metallica*, ambas especies de tamaño corporal pequeño, anidación en el suelo, movilidad alta, sociabilidad solitaria y semisocial respectivamente y visitas florales legítimas, pertenecientes al gremio de los polinizadores generalistas y de hábitos diurnos.

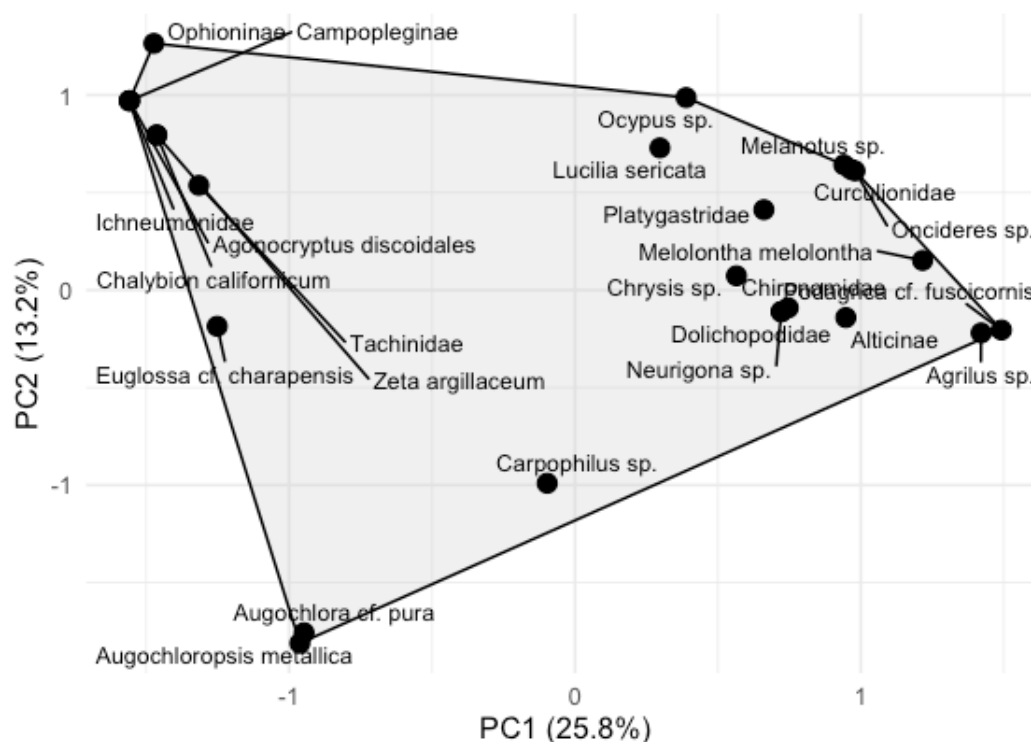
En el vértice inferior derecho del polígono se ubica también *Carpophilus* sp., un escarabajo de tamaño pequeño que anida en materia vegetal en fermentación, con movilidad media, visitas florales legítimas y una dieta mixta (néctar, polen y savia), ubicándolo como un potencial polinizador oportunista o generalista, saprófago. Esta especie combina rasgos de polinizador con comportamientos más típicos de descomponedores o consumidores de recursos azucarados.

Por otro lado, en los vértices superiores derecho y central-derecho se sitúa la familia Curculionidae, las especies *Melolontha* sp. y *Agrilus* sp., de tamaño mediano a pequeño, movilidad media y sin dieta floral registrada, todos identificadas como fitófagos estrictos, con hábitos asociados a la vegetación y anidación en madera o en partes vegetales. Estas especies no presentan visitas florales legítimas y representan un grupo funcional alejado de los polinizadores, más cercano a consumidores de tejidos vegetales.

En conjunto, el polígono revela una estructura funcional que separa claramente a los polinizadores legítimos (extremo izquierdo), los fitófagos no florales (extremo derecho) y especies con rasgos intermedios u oportunistas como *Carpophilus* sp. (parte inferior). La configuración sugiere que los ejes PC1 y PC2 están influenciados principalmente por el tipo de visita floral, el gremio trófico y la movilidad, reflejando una gradiente desde especialización polinizadora hacia hábitos no florales.

Figura 24

Distribución de especies en el espacio funcional según el sistema de manejo agroecológico proyectada en los dos primeros ejes del PCoA.



Nota: Elaboración propia (2025).

Análisis del Espacio Funcional de las Especies en la Finca Convencional

El análisis de componentes principales para la finca convencional revela que el eje PC1 explica el 25.8 % de la varianza, mientras que PC2 aporta un 13.2 % (Figura 25). El polígono representa el espacio funcional ocupado por las especies más divergentes en términos de sus rasgos ecológicos.

En el extremo izquierdo del gráfico se encuentran los géneros *Ophion sp.* e *Ichneumon sp.2*, ambos himenópteros parasitoides de tamaño mediano, sociabilidad solitaria y dieta basada en néctar. Ambos presentan alta movilidad y visitas florales legítimas, aunque *Ophion sp.* se distingue por su actividad principalmente nocturna o crepuscular, a diferencia de la actividad diurna de *Ichneumon sp.2*. Estas especies ocupan una posición funcional especializada como nectarívoros parasitoides.

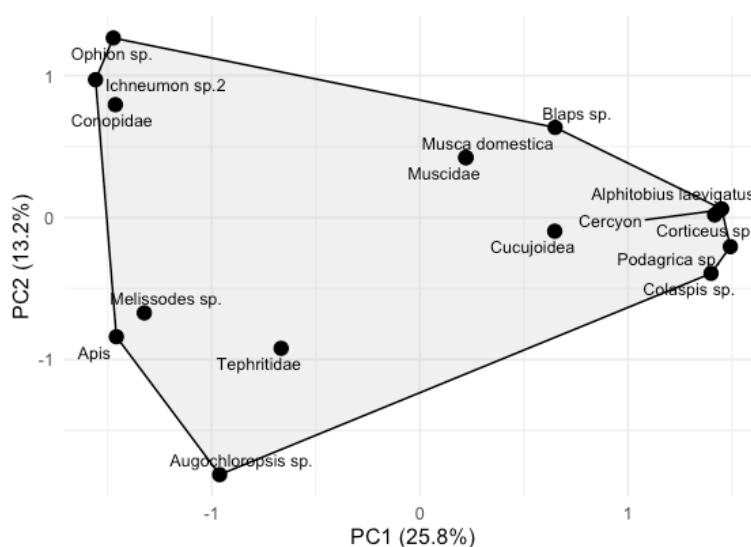
En el vértice inferior izquierdo del polígono se agrupan *Apis* y *Augochloropsis* sp., dos especies de abejas polinizadoras con movilidad alta, visitas florales legítimas y dieta generalista basada en néctar y polen. *Apis* es eusocial y anida en cavidades, mientras que *Augochloropsis* sp. presenta una sociabilidad semisocial o comunal y anidación en el suelo. Ambas representan un perfil funcional polinizador generalista altamente móvil.

En el vértice derecho del polígono se sitúan *Blaps* sp., escarabajo detritívoro/fitófago de movilidad baja, sociabilidad solitaria, anidación en el suelo y sin interacción floral registrada. Su posición funcional indica un papel distante de la polinización, más relacionado con la descomposición y el consumo de materia vegetal.

En resumen, la figura muestra una estructuración del espacio funcional dominada por diferencias en gremio trófico (polinizador, nectarívoro, detritívoro), tipo de visita floral y movilidad. El eje PC1 parece separar especies polinizadoras y nectarívoras de aquellas sin dieta floral, mientras que PC2 distingue entre polinizadores diurnos y nocturnos, así como entre estrategias de anidación y sociabilidad.

Figura 25

Distribución de especies en el espacio funcional según el sistema de manejo convencional proyectada en los dos primeros ejes del PCoA.



Nota: Elaboración propia (2025).

Análisis del Espacio Funcional de las Especies en la Finca Mixta

En el extremo izquierdo del polígono (Figura 26) se encuentran las especies *Eulaema* sp., *Centris* sp. y *Ceratina* sp., todas especies de abejas polinizadoras con dieta floral generalista, movilidad alta y media en *Ceratina* sp., y visitas florales legítimas. *Ceratina* sp. anida en tallos huecos y es solitaria con cuidado de crías, mientras que *Centris* sp. y *Eulaema* sp. anidan en el suelo o cavidades, respectivamente. Estas especies representan un grupo funcional de polinizadores eficaces, con estrategias reproductivas variadas, pero convergencia en su rol ecológico.

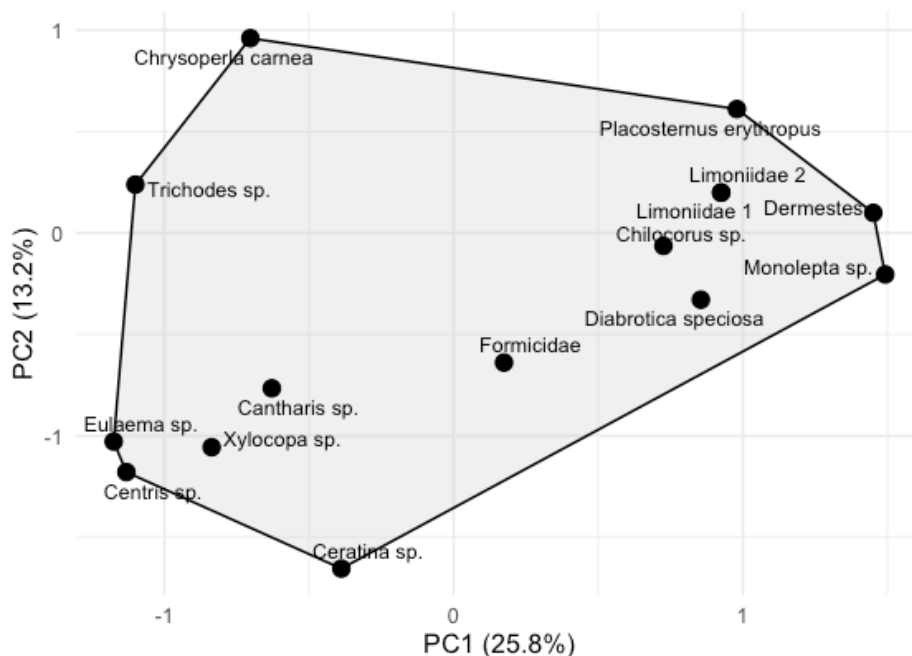
En el vértice superior izquierdo del polígono se encuentran *Chrysoperla carnea* y *Trichodes* sp., ambas de tamaño mediano, movilidad alta y visitas florales legítimas. *Chrysoperla carnea* es nectarívora, solitaria y activa durante el día y el crepúsculo, mientras que *Trichodes* sp. es nectarívoro/polinívoro con anidación en el suelo o en nidos de abejas. Aunque no son polinizadores clásicos, cumplen un rol relevante como visitantes florales. Su ubicación funcional es intermedia entre polinizadores especializados y otros gremios tróficos.

En el extremo derecho se sitúan *Monolepta* sp., *Placosternus erythropus* y *Diabrotica speciosa*, especies principalmente fitófagas. *Monolepta* sp. es un coleóptero pequeño, solitario, con anidación en el suelo y sin dieta floral registrada. *Placosternus erythropus* anida en madera, no presenta interacción floral y es fitófago. Estas especies representan un grupo funcional claramente separado de los polinizadores, asociado a hábitos herbívoros estrictos y sin contribución conocida a la polinización.

La configuración del polígono sugiere que el eje PC1 diferencia claramente a los polinizadores legítimos con movilidad alta (lado izquierdo) de los fitófagos no florales de movilidad media (lado derecho), mientras que el eje PC2 está relacionado con el tipo de anidación o actividad temporal.

Figura 26

Distribución de especies en el espacio funcional según el sistema de manejo mixto proyectada en los dos primeros ejes del PCoA.



Nota: Elaboración propia (2025).

Flora Asociada a los Sistemas Agroforestales de Café con Tres manejos Diferentes

Se determinaron diferencias notables en la composición y aporte de recursos florales entre las tres fincas (Figura 27). En la finca convencional, se observa una concentración elevada en pocas especies, destacando *Ageratum* (Asteraceae) con 210 unidades florales, *Oxalis* (Oxalidaceae, 70) y *Pilea pumila* (Urticaceae, 100). En contraste, la finca agroecológica muestra una distribución más heterogénea y balanceada de flora, con aportes relevantes de *Ageratum* (123), *Bidens pilosa* (90), *Oxalis* (25), *Apostasia* (22), y Bromeliaceae spp. (59), entre otras. La finca mixta presentó un patrón intermedio, en el que destacan especies como *Chromolaena odorata* (Asteraceae, 52), *Apostasia* (41), *Canna indica* (44), *Bidens pilosa* (46), Lamiaceae spp. (67), y *Alternanthera porrigens* (25).

Figura 27

Mapa de calor de abundancia de recursos florales por especie y familia en tres fincas de estudio.



Nota: Elaboración propia (2025).

Recursos Florales Asociados a Tres Sistemas Agroforestales de Café con Diferente Manejo

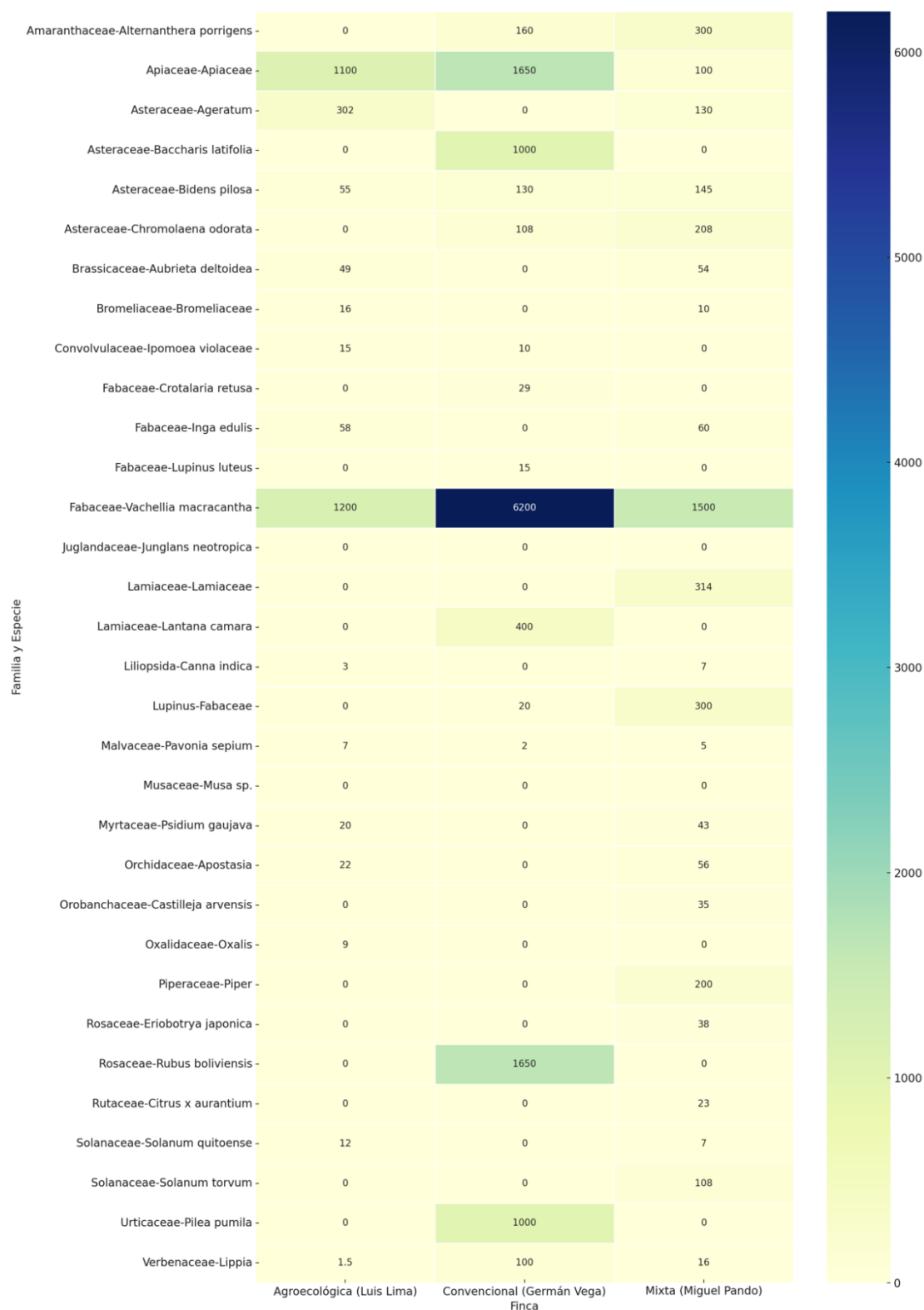
El mapa de calor muestra una marcada variación en la oferta de recursos florísticos entre los tres sistemas de manejo (Figura 28). En la finca convencional destaca una elevada concentración de recursos en pocas especies dominantes como *Vachellia macracantha* (Fabaceae, 6200), *Rubus boliviensis* (Rosaceae, 1650) y Apiaceae spp. (1650), reflejando una estructura vegetal altamente polarizada, donde pocas especies concentran gran parte del recurso floral disponible.

En contraste, la finca agroecológica presenta una oferta florística más diversificada pero moderada, destacando taxones como Apiaceae (1100), *Vachellia macracantha* (1200) y

Ageratum (Asteraceae, 302). La finca mixta en cambio, muestra un ensamblaje intermedio, con especies de alta abundancia como *Vachellia macracantha* (1500), Lamiaceae spp. (314), *Chromolaena odorata* (208) y *Piper* sp. (200).

Figura 28

Mapa de calor de abundancia de recursos florales por especie y familia en las tres fincas (agroecológica, convencional y mixta).



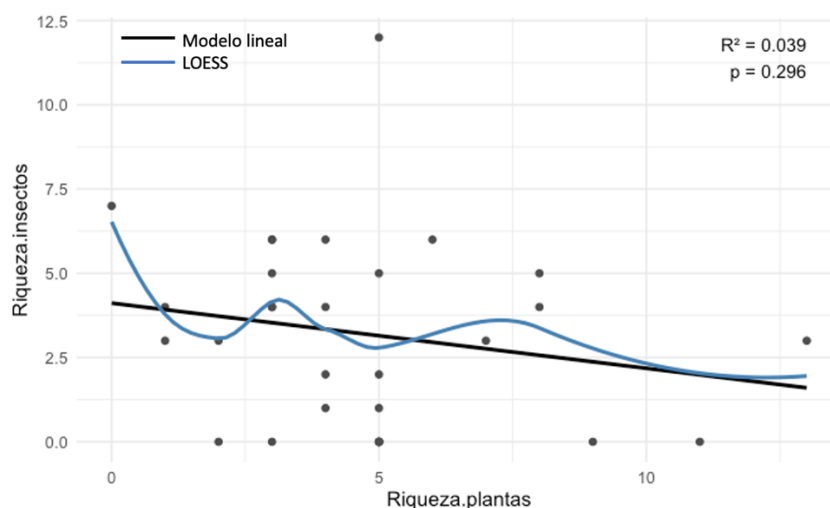
Nota: Elaboración propia (2025).

Análisis de la influencia de Factores Bióticos Sobre las Comunidades de Insectos en Tres Sistemas Agroforestales de Café con Manejo Diferente

El análisis de relación entre la riqueza de plantas y la riqueza de insectos mostró que no existe una asociación estadísticamente significativa entre ambas variables (Figura 29). El modelo lineal (línea negra) muestra un coeficiente de determinación bajo ($R^2 = 0.039$), lo que indica que solo el 3.9 % de la variabilidad en la riqueza de insectos es explicada por la riqueza de plantas. Además, el valor p asociado a este modelo fue de 0.296, lo que refuerza la ausencia de significancia estadística ($p > 0.005$). En cuanto a modelo de ajuste no paramétrico LOESS (línea azul) tampoco evidenció un patrón claro ni consistente, sugiriendo que la relación entre las dos variables no es lineal ni sistemática.

Figura 29

Relación entre la riqueza de plantas y la riqueza de insectos estimada mediante modelos lineales y no paramétricos (LOESS).



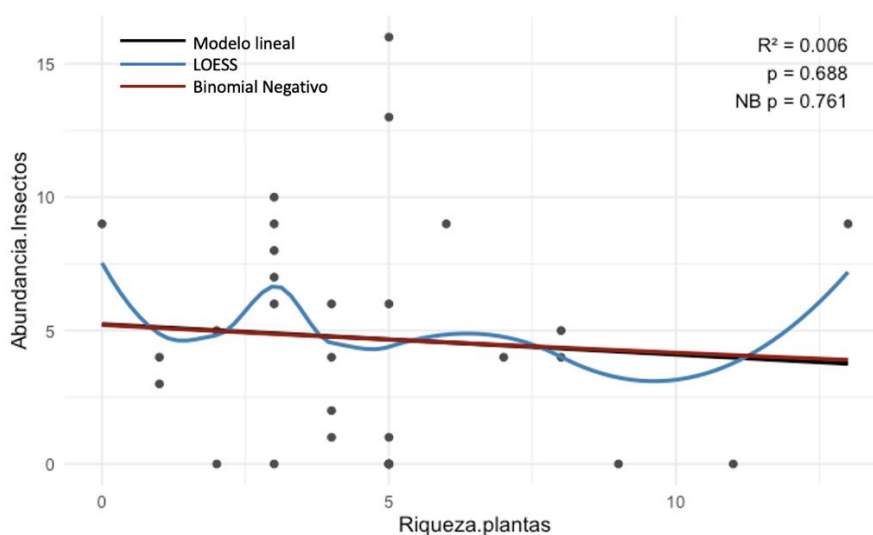
Nota: Elaboración propia (2025).

La relación entre la riqueza de plantas y la abundancia de insectos fue analizada mediante modelos de regresión lineal (línea negra), binomial negativo (línea roja) y ajuste no paramétrico (LOESS) (línea azul) (Figura 30). El modelo lineal mostró un valor de $R^2 = 0.006$ y un valor de $p = 0.688$, lo que indica que la riqueza de plantas explica menos del 1 % de la variación en la abundancia de

insectos y que la relación no es significativa. Asimismo, el modelo binomial negativo tampoco mostró significancia estadística ($p=0.761$). El ajuste LOESS sugiere una posible relación no lineal.

Figura 30

Relación entre la riqueza de plantas y la abundancia de insectos estimada mediante modelos lineales, binomial negativo y no Paramétricos (LOESS).

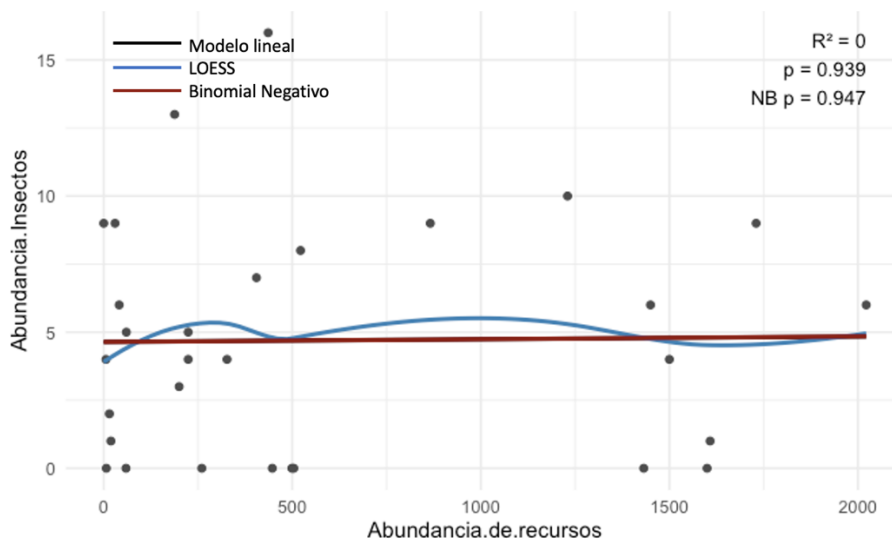


Nota: Elaboración propia (2025).

Al usar modelos de regresión lineal, binomial, negativo y un ajuste no paramétrico (LOESS), los resultados indican que no existe una relación significativa entre la flora y recursos florales (Figura 31). El modelo lineal arrojó un $R^2=0$ y un valor $p=0.939$, mostrando que la abundancia de recursos no explica ninguna proporción de la variación en la abundancia de insectos. Por otro lado, el modelo binomial negativo tampoco presentó un valor p significativo (0.947). El modelo LOESS mostró una curva prácticamente plana, lo cual indica la ausencia de una tendencia.

Figura 31

Relación entre la abundancia de recursos y la abundancia de insectos estimada mediante modelos lineales, binomial negativo y no paramétricos (LOESS).

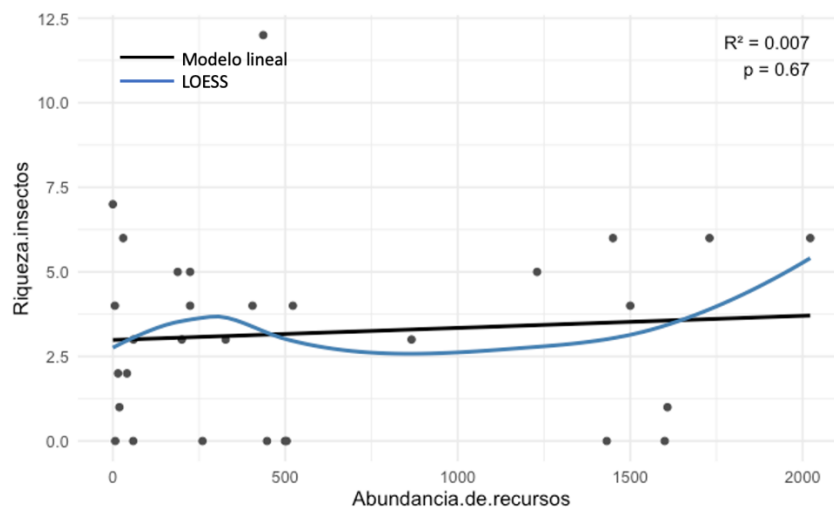


Nota: Elaboración propia (2025).

Finalmente, el análisis de la relación entre la abundancia de recursos florales y la riqueza de insectos no evidenció una asociación significativa (Figura 32). El modelo de regresión lineal mostró un coeficiente de determinación muy bajo ($R^2=0.007$) y un valor de $p=0.67$, indicando que la abundancia de recursos está explicada apenas por el 0.7 % de la variación en la riqueza de insectos. El ajuste no paramétrico mediante LOESS sugirió una leve tendencia ascendente hacia altos valores de abundancia.

Figura 32

Relación entre la abundancia de recursos y la riqueza de insectos estimada mediante modelos lineales y no paramétricos (LOESS).



Nota: Elaboración propia (2025).

V: Discusión

Los resultados obtenidos revelan que el tipo de manejo agrícola influye directamente en la riqueza, abundancia y composición de las comunidades de insectos en los sistemas agroforestales (SAF) de café en Santa Isabel. La finca con manejo mixto presentó la mayor riqueza (28 especies) y abundancia (51 individuos), seguida por la finca agroecológica (Luis Lima) con 27 especies y 48 individuos, y finalmente la finca convencional (Germán Vega) con 22 especies y 42 individuos. Esta tendencia se evidenció en los índices de diversidad: la finca agroecológica mostró la mayor diversidad de Shannon ($H' = 3.28$) y equitatividad de Pielou ($J = 0.995$), lo que sugiere una comunidad más balanceada y menos dominada.

Estos resultados coinciden con estudios en agroecosistemas tropicales donde la cobertura vegetal y la heterogeneidad estructural favorecen la riqueza y abundancia de insectos. Por ejemplo, en cafetales bajo sombra en Costa Rica, se ha documentado que sistemas con mayor complejidad vegetal albergan comunidades más diversas, especialmente de órdenes como Coleoptera e Hymenoptera (Sánchez y Rodríguez, 2020). De manera similar, en la Reserva Agroforestal Santa Librada en Tolima, Colombia, se encontró que la cobertura vegetal influye significativamente en la diversidad de insectos (Venegas, 2022).

La finca de manejo convencional, por su parte, mostró la menor riqueza y equitatividad, patrón también observado en sistemas intensivos de café en Latinoamérica, donde el uso de agroquímicos reduce la diversidad de insectos y favorece especies generalistas u oportunistas (Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé], 2023; Philpott et ál., 2006). Esto es consistente con lo reportado por Moguel y Toledo (1999), quienes argumentan que los sistemas tradicionales con sombra son fundamentales para la conservación de la biodiversidad en paisajes productivos tropicales.

El análisis de diversidad beta, mediante el índice de Jaccard, mostró una baja similitud en la composición de especies entre fincas, lo que indica que cada sistema de manejo alberga un conjunto único de especies. La mayor similitud se observó entre la finca agroecológica (Luis Lima) y la mixta

(Miguel Pando) con un valor de 0.25, mientras que la menor similitud fue entre la mixta y la convencional (0.16). Estos valores sugieren una marcada diferenciación en la composición de especies, como también lo reportaron Martínez-Tlapa et ál. (2018) en cafetales de Veracruz, donde la composición del paisaje y el manejo agrícola afectan la diversidad y singularidad de las comunidades de insectos.

La diferenciación beta observada resalta la importancia de conservar una variedad de sistemas de manejo agrícola, ya que cada uno contribuye con un componente único a la diversidad regional. Esta idea es central en el enfoque de matriz agroecológica propuesto por Perfecto & Vandermeer (2008), el cual plantea que la heterogeneidad del paisaje agrícola puede sostener altos niveles de biodiversidad funcional. Asimismo, estudios como los de Armbrrecht & Gallego (2007) han demostrado que la diversidad de hormigas, como indicadores ecológicos, responde positivamente a la cobertura y calidad del hábitat, y se relaciona con servicios ecosistémicos como el control de plagas.

En conjunto, estos hallazgos reafirman que los sistemas agroecológicos y mixtos no solo promueven una mayor diversidad alfa, sino también comunidades únicas en términos funcionales y taxonómicos, lo cual es crucial para la resiliencia ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos clave, como la polinización, el control biológico y la descomposición.

Los valores de diversidad funcional observados para las tres fincas estudiadas muestran diferencias claras en la estructura funcional de las comunidades de insectos. En primer lugar, la dispersión funcional fue mayor en la finca de manejo mixto (8,65), seguida por la finca convencional (7,40) y la agroecológica (7,35). Este índice representa la distancia promedio entre las especies y el centro del espacio funcional (Laliberté & Legendre, 2010), y sugiere que en la finca mixta las especies poseen rasgos más diferenciados, ocupando regiones más diversas dentro del espacio ecológico disponible. Este patrón puede interpretarse como un potencial mayor de complementariedad funcional, lo que incrementa la eficiencia de uso de recursos y la resiliencia del sistema ante perturbaciones (Mason et ál., 2005; Mouchet et ál., 2010).

Asimismo, estos resultados concuerdan con estudios previos como los de Maldonado-Cepeda et ál. (2022) en cafetales colombianos, donde observaron que los gremios funcionales más amplios como abejas corbiculadas, avispa social y sírfidos ocupaban regiones extensas del espacio funcional en fincas con mayor complejidad estructural. En este sentido, la finca mixta, al combinar elementos de manejo convencional y agroecológico, parece generar un entorno con un nivel intermedio de disturbio, el cual favorecería la coexistencia de gremios tróficos con estrategias variadas, desde polinizadores especializados hasta depredadores y saprófagos (Connell, 1978).

En contraste, la equidad funcional (FEve), que mide qué tan uniformemente están distribuidas las especies en el espacio funcional, fue más alta en la finca agroecológica (0,76). Este valor sugiere que, aunque las especies pueden estar más cercanas entre sí, la comunidad está más equilibradamente representada en términos funcionales, sin que unos pocos gremios dominen el ecosistema (Mason et ál., 2005). Este patrón ha sido reportado también por Buchholz & Egerer (2020), quienes destacaron que comunidades con alta equidad funcional tienden a ser más estables a largo plazo ya que evitan la dependencia excesiva en pocos rasgos dominantes.

La finca convencional, con un valor de equidad funcional más bajo (0,65), presentó una comunidad caracterizada por la dominancia de especies con rasgos ecológicos similares, especialmente en términos de movilidad alta, dieta generalista y visitas florales legítimas. Entre las especies más frecuentes en esta finca se encontraron especies del género *Apis*, *Musca domestica* y varias especies de Muscidae y Tephritidae, todas ellas con estrategias generalistas y comportamiento oportunista, lo cual indica una redundancia funcional elevada.

Este tipo de estructura puede implicar una mayor fragilidad funcional, ya que una pérdida localizada de una especie dominante como *Apis*, podría afectar desproporcionadamente los servicios ecosistémicos como la polinización (Garibaldi et ál., 2015; Woodcock et ál., 2019). Esta configuración funcional homogénea también ha sido documentada en cafetales de manejo intensivo en México y Colombia (Maldonado-Cepeda et ál., 2022; Martins et ál., 2015), donde se observa una simplificación del ensamblaje funcional a medida que aumenta la perturbación antropogénica.

En contraste, comunidades funcionalmente más equitativas, como las observadas en la finca agroecológica, tienden a distribuir las funciones ecológicas entre especies con distintos rasgos, lo que puede aumentar la resiliencia del sistema frente a perturbaciones.

Por último, la riqueza funcional log-transformada, aunque baja en los tres casos, fue mayor en la finca mixta (0,023), intermedia en la agroecológica (0,00031) y extremadamente baja en la convencional (0,0000033). Este índice refleja el número total de funciones distintas que cumplen las especies en cada comunidad (Villéger et ál., 2008). A pesar de que los valores absolutos son bajos, el patrón es consistente: la finca mixta alberga especies con mayor diversidad de rasgos, lo cual ha sido relacionado con una mayor capacidad de respuesta ante cambios ambientales (Violle et ál., 2007) y una mayor eficiencia ecológica en el uso de recursos (Hooper et ál., 2005).

El análisis de coordenadas principales (PCoA) permite visualizar cómo se distribuyen funcionalmente las especies de insectos en función de sus rasgos ecológicos. Los dos primeros componentes explicaron conjuntamente el 39% de la variación, siendo suficientes para revelar patrones funcionales claros entre las tres fincas.

El polígono funcional del sistema agroecológico cubre un espacio amplio, reflejando una alta diversidad. En el extremo izquierdo se ubican especies como *Augochlora cf. pura* y *Augochloropsis metallica*, abejas de tamaño pequeño, alta movilidad, visitas legítimas y dieta floral generalista, lo cual concuerda con los gremios polinizadores eficientes descritos en estudios como Kratschmer et ál. (2019) y Medeiros et ál. (2022).

En el extremo derecho se posicionan taxones como Curculionidae, *Melolontha* sp. y *Agrilus* sp., todos fitófagos no florales, con anidación en madera o partes vegetales, y sin interacción conocida con flores. En el vértice inferior se encuentra *Carpophilus* sp., un saprófago con rasgos mixtos (nectarívoro/polinívoro), lo cual refleja una transición funcional entre gremios polinizadores y descomponedores, como también sugieren Rader et ál. (2016) sobre visitantes florales no clásicos.

Este gradiente desde polinizadores legítimos a fitófagos sugiere que el sistema agroecológico sostiene múltiples funciones ecológicas simultáneamente, como polinización,

herbivoría y descomposición, promoviendo la resiliencia y multifuncionalidad del agroecosistema (Perfecto y Vandermeer, 2008).

El espacio funcional ocupado por la finca convencional es más restringido y dominado por especies con rasgos redundantes o similares. En el lado izquierdo se agrupan *Apis*, *Augochloropsis* sp., y parasitoides como *Ophion* sp. e *Ichneumon* sp.², lo cual indica cierta presencia de polinizadores legítimos y nectarívoros. Sin embargo, el lado derecho del polígono está fuertemente representado por especies como *Musca domestica*, Muscidae, *Blaps* sp., *Cercyon* sp. y *Colaspis* sp., todas caracterizadas por dietas no florales, movilidad media y gremios saprófagos o fitófagos, como también se ha observado en ambientes perturbados (Cenicafé, 2023) y Martins et ál. (2015).

Esta baja amplitud funcional indica una comunidad funcionalmente empobrecida, con funciones limitadas mayormente a degradación de materia orgánica y herbivoría oportunista, lo que reduce la estabilidad del ecosistema ante perturbaciones (Hooper et ál., 2005).

Por último, el sistema mixto se ubica intermedio en el espacio funcional, combinando elementos de ambos extremos. En el lado izquierdo destacan polinizadores como *Eulaema* sp., *Centris* sp. y *Ceratina* sp., con alta movilidad, visitas legítimas y dieta floral generalista. Estos rasgos son consistentes con otros registros sobre polinizadores claves en agroecosistemas tropicales, descritos por Garibaldi et ál. (2013) y Klein et ál. (2003). En la parte superior del polígono se encuentran *Chrysoperla carnea* y *Trichodes* sp., visitantes florales solitarios y nectarívoros con posible rol como polinizadores oportunistas. En el lado derecho del polígono aparecen fitófagos como *Monolepta* sp. y *Diabrotica speciosa*, con hábitos herbívoros y sin interacción floral registrada.

Esta combinación funcional puede interpretarse a través de la hipótesis del disturbio intermedio propuesta por Connell (1978): el sistema mixto, al integrar prácticas convencionales y agroecológicas, genera un ambiente donde coexisten especies de diferentes gremios y estrategias, maximizando la diversidad funcional sin excluir especies dominantes ni restringir funciones especializadas.

Dado que los muestreos se realizaron en meses con baja floración del café, fuera de su período fenológico principal (entre septiembre y octubre en Santa Isabel), la presencia de otras plantas con flor como *Ageratum*, *Bidens pilosa*, *Chromolaena odorata*, *Psidium guajava*, *Vachellia macracantha*, *Rubus boliviensis*, *Pilea pumila* y representantes de la familia Apiacea tienen especial relevancia como fuentes alternativas de néctar y polen.

Muchas de estas especies presentan fenologías extendidas o asincrónicas, permitiéndoles florecer en distintos momentos del año, lo cual sugiere su potencial como soporte trófico funcional para insectos, especialmente en épocas donde el cultivo de café no ofrece recursos florales (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], s.f.).

Por ejemplo, *Ageratum* y *Bidens pilosa* muestran floración prolongada en zonas tropicales y cálidas, proporcionando una fuente casi continua de néctar (Adams Fairacre Farms, s.f.) *Chromolaena odorata* también es conocida por su floración a lo largo del año, incluso en condiciones perturbadas (Universidad Nacional de Colombia, 2013). *Psidium guajava*, en zonas tropicales como Ecuador, puede florecer desde marzo hasta septiembre, dependiendo de las precipitaciones y del manejo agrícola (CONABIO, s.f.).

En cuanto a *Vachellia macracantha*, una leguminosa nativa muy común en zonas áridas y subhúmedas de los Andes, con una floración que puede ocurrir varias veces al año, especialmente tras eventos de lluvia, lo cual la convierte en una fuente intermitente pero abundante de recursos para abejas y otros visitantes florales (Vásquez, 2019). Individuos de la familia Apiaceae son relevantes, ya que esta familia es reconocida por producir umbelas florales accesibles y muy atractivas para insectos polinizadores generalistas, como sírfidos, abejas pequeñas y coleópteros florícolas. Por su parte, *Rubus boliviensis*, una Rosaceae con floración prolongada, y *Pilea pumila*, de la familia Urticaceae, herbácea de zonas húmedas, han sido reportadas como importantes refugios y fuentes de polen en sistemas mixtos, aunque su contribución en términos de valor nutricional para polinizadores requiere mayor estudio en la región andina.

La presencia simultánea de estas especies en los SAF de café puede estar actuando como un mecanismo compensatorio ante la estacionalidad de la floración del cafeto, funcionando como puentes fenológicos que aseguran la continuidad de recursos florales para insectos a lo largo del año. Esto no solo favorece la permanencia de comunidades polinizadoras en el sistema, sino que puede tener efectos positivos sobre la resiliencia ecológica y funcional del agroecosistema (Vásquez, 2019).

Uno de los principales supuestos en ecología de agroecosistemas es que la diversidad y disponibilidad de recursos florales inciden directamente en la riqueza y abundancia de insectos, en particular polinizadores (Klein et ál., 2003; Potts et ál., 2003). Sin embargo, los resultados del presente estudio muestran una ausencia de correlaciones significativa entre estas variables. Por ejemplo, el análisis de relación entre la riqueza de plantas y la riqueza de insectos presentó un coeficiente de determinación muy bajo ($R^2 = 0.039$) y un valor de $p = 0.296$, lo que indica que solo el 3.9 % de la variación en la riqueza de insectos es explicada por la riqueza de especies vegetales.

De igual forma, el modelo lineal de la relación entre la riqueza de plantas y la abundancia de insectos arrojó un R^2 de apenas 0.006 con un valor de $p = 0.688$, y el modelo binomial negativo tampoco fue significativo ($p = 0.761$), sugiriendo que en este caso, la riqueza vegetal no se traduce en una mayor cantidad de insectos presentes. En cuanto a la abundancia de recursos florales, su relación con la abundancia de insectos mostró una ausencia total de efecto explicativo ($R^2 = 0.000$, $p = 0.939$), y nuevamente, el modelo binomial negativo no fue significativo ($p = 0.947$).

Finalmente, el análisis entre la abundancia de recursos florales y la riqueza de insectos indicó un R^2 de 0.007 y un valor de $p = 0.67$, lo que refuerza la falta de asociación estadísticamente significativa entre el volumen de flores disponibles y la diversidad taxonómica de insectos recolectados. Este hallazgo contrasta con lo reportado en estudios previos, como el de Steffan-Dewenter y Tscharntke (1999) en donde se muestra que la riqueza de abejas silvestres en agroecosistemas de Alemania aumentaba con la diversidad de flores silvestres, incluso en parcelas agrícolas intensivas.

Por otro lado, Ghazoul (2006), en su revisión sobre interacciones planta-polinizador, destaca que la heterogeneidad en la oferta floral en términos de fenología, morfología y calidad del recurso influye directamente sobre la riqueza de visitantes florales. De manera complementaria, Fründ et ál. (2010) demostraron en sistemas de praderas que una mayor diversidad floral promueve comunidades de abejas más ricas y funcionalmente diferenciadas, ya que facilita la partición de nicho y reduce la competencia interespecífica.

Varios estudios en Ecología sostienen que la diversidad taxonómica y funcional de las plantas genera una mayor variedad de recursos y microhábitats, lo que favorece la coexistencia de insectos con diferentes requerimientos ecológicos (Vásquez, 2019; Collantes et ál., 2023). Este razonamiento está profundamente ligado a la teoría de la especialización planta-polinizador (Johnson & Steiner, 2000), que sugiere que muchos insectos desarrollan adaptaciones específicas a ciertas características florales, así como al marco conceptual de la diversidad funcional como determinante clave en la organización y estabilidad de comunidades (Díaz & Cabido, 2001; Villéger et ál., 2010).

No obstante, los resultados obtenidos en el presente estudio sugieren que la diversidad de insectos en agroecosistemas no está determinada exclusivamente por factores bióticos locales, como la riqueza floral, sino también por variables paisajísticas y territoriales más amplias. En este sentido, diversos trabajos han demostrado que el contexto del paisaje circundante y la conectividad con hábitats seminaturales pueden ejercer una influencia determinante sobre la diversidad de insectos. Bartomeus et ál. (2014) reportaron que, en paisajes agrícolas fragmentados, la riqueza de polinizadores se relaciona más con la cobertura y proximidad de hábitats naturales que con la floración puntual dentro de parcelas cultivadas.

De forma similar, Rodríguez et ál. (2021) identificaron que la presencia de cercas vivas, bordes de vegetación secundaria y corredores ecológicos aumentan significativamente la riqueza y funcionalidad de visitantes florales, incluso en cultivos intensivos. Este enfoque de paisaje funcional también ha sido respaldado por varios estudios en América Latina. En los cafetales de Colombia,

Armbrrecht y Perfecto (2003) observaron que la diversidad de hormigas y abejas era más alta en fincas ubicadas cerca de fragmentos de bosque natural, y que esta relación no dependía estrictamente de la riqueza floral dentro del cultivo.

En un estudio similar realizado por Jha y Vandermeer (2009) en México demostraron que la conectividad del cafetal con áreas boscosas aumentaba la riqueza de abejas sin aguijón y la redundancia funcional de la comunidad, fortaleciendo los servicios ecosistémicos como la polinización y el control biológico. Estos estudios muestran que, incluso sistemas con una oferta floral moderada pueden albergar comunidades de insectos diversas si están integrados en una matriz paisajística heterogénea y permeable.

En este sentido, es relevante considerar el contexto territorial de Santa Isabel. De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Santa Isabel (GAD Santa Isabel, 2020), la mayor parte del territorio está destinada a usos agropecuarios de cultivos de ciclo corto como el maíz y pastos cultivados. Esta configuración genera una homogenización del paisaje, con una baja proporción de hábitats seminaturales o elementos que pudieran funcionar como corredores ecológicos, limitando así el flujo de especies, especialmente en grupos de abejas y avispas que dependen de recursos florales dispersos y de zonas de nidificación específicas.

Este patrón coincide con lo observado por Bartomeus et ál. (2014), Kennedy et ál. (2013) y Rodríguez et ál. (2021), quienes concluyeron que la estructura y complejidad del paisaje es un mejor predictor de la diversidad de polinizadores que las variables florales internas a una finca específica. De esta manera, la falta de correlaciones en el presente estudio no contradice los supuestos teóricos, sino que resalta la necesidad de adoptar un enfoque multiescalar para entender la biodiversidad en de estos agroecosistemas.

Sumado a esto, la presencia de concesiones mineras (minería metálica y no metálica) cercanas a las áreas de producción agropecuaria reportadas en el Plan de Ordenamiento (2020), introduce un factor adicional de perturbación ambiental. Estas actividades provocan fragmentación directa del hábitat y pérdida de cobertura vegetal, además de impactos indirectos como

contaminación del suelo, agua y aire, afectando a grupos sensibles como abejas, avispas y escarabajos (Vandegrift et ál., 2017).

La expansión de la minería legal e ilegal en la zona junto con la fragmentación del paisaje agrícola podría estar limitando el flujo y establecimiento de comunidades de insectos, incluso en fincas con recursos florales abundantes. Investigaciones recientes han demostrado que la minería reduce drásticamente la diversidad de artrópodos en zonas de amortiguamiento agrícola, afectando procesos clave como la polinización, la descomposición y el control biológico (e.g., Acosta y Ríos, 2020; Álvarez et ál., 2021).

En conjunto, estos hallazgos sugieren que la ausencia de relaciones estadísticamente significativas entre los recursos florales locales y la diversidad de insectos no implica que no exista influencia alguna, sino que esta puede estar mediada y condicionada por un conjunto de factores territoriales, ecológicos y socioambientales. Así, la biodiversidad funcional en los SAF del cantón Santa Isabel debe ser entendida en un marco que incluya la estructura del paisaje, los usos del suelo, el manejo agrícola, la conectividad ecológica y las presiones antrópicas como la minería.

Limitaciones para la investigación

A pesar de que el presente estudio forma parte del proyecto “Manejo sostenible de la producción y postcosecha de café de la Asociación de Pequeños Productores de Café de Santa Isabel (ASOPROCSI)”, financiado por el FIASA, esta tesis no contó con financiamiento específico, lo que generó algunas limitaciones logísticas y metodológicas.

Una de las principales restricciones fue la falta de presupuesto para movilización, lo que redujo la frecuencia de visitas a las fincas de estudio y, en consecuencia, limitó el tiempo efectivo de muestreo, reflejándose en una menor cantidad de insectos recolectados. Además, la ausencia de equipos especializados para la medición de variables climáticas impidió la recolección directa de datos ambientales en campo, lo cual limitó la posibilidad de realizar análisis más robustos de correlación ecológica.

Estas limitaciones no invalidan los resultados obtenidos, pero sí condicionan su alcance e interpretación, por lo que se recomienda considerar estos factores en futuras investigaciones que busquen profundizar en la dinámica ecológica de los insectos en sistemas agroforestales.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Los resultados mostraron diferencias claras en la composición y dominancia de insectos entre los tres sistemas de manejo. En la finca agroecológica se destacó la presencia de Dolichopodidae (Diptera), Campopleginae (Hymenoptera) y Curculionidae (Coleoptera), así como una alta proporción de especies exclusivas, lo que sugiere un entorno estructuralmente diverso y funcionalmente complejo. La finca convencional mostró alta abundancia de *Podagrica* sp. (Coleoptera, Chrysomelidae), Curculionidae y *Apis* (Hymenoptera, Apidae). Por su parte, la finca mixta fue la de mayor abundancia total, dominada por *Formicidae* (Hymenoptera) y *Trichodes* sp., (Coleoptera, Cleridae) y también presentó especies polinizadoras exclusivas como *Xylocopa*, *Centris* y *Eulaema* (Hymenoptera, Apidae).

El análisis de diversidad beta, representado en el dendrograma de similitud, mostró que la finca agroecológica y la mixta comparten una mayor proporción de especies (similaridad = 0.25), mientras que la finca convencional se diferenció más del resto (similaridades < 0.17). Esto indica que los sistemas agroecológico y mixto mantienen comunidades de insectos más parecidas entre sí, posiblemente debido a prácticas de manejo menos intensivas. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la importancia de los sistemas agroecológicos y mixtos para conservar la diversidad funcional y taxonómica de insectos en agroecosistemas.

La interpretación conjunta de los índices de diversidad funcional muestra que la finca mixta presenta alta diversidad funcional por diferenciación, es decir, muchas funciones distintas, pero en proporciones irregulares. La finca agroecológica muestra alta equidad, con funciones ecológicas más balanceadas y posiblemente mayor estabilidad funcional. La finca convencional, en cambio, presenta baja riqueza y equidad funcional, lo cual indica una comunidad homogénea, funcionalmente redundante y potencialmente más frágil ecológicamente.

La distribución funcional de las especies según el PCoA revela patrones estructurales claros entre los tipos de manejo. El sistema agroecológico destaca por su multifuncionalidad y balance, el

mixto por su complementariedad funcional bajo disturbio moderado, y el convencional por su homogeneidad funcional y dominancia de gremios oportunistas. Estos hallazgos reafirman la importancia de promover sistemas con diversidad estructural y vegetal para conservar la integridad funcional de los agroecosistemas.

Aunque no se encontraron correlaciones significativas entre la flora y la diversidad de insectos, los resultados sugieren que factores territoriales como la fragmentación del paisaje y la expansión minera podrían estar limitando la presencia y funcionalidad de las comunidades entomológicas. Esto refuerza la necesidad de considerar el contexto paisajístico para comprender la biodiversidad en agroecosistemas.

Recomendaciones

Promover la conservación y siembra de especies florales nativas que han demostrado ser clave durante los periodos de escasez de flores de café, como *Ageratum*, *Bidens pilosa*, *Chromolaena odorata*, *Psidium guajava* y *Vachellia macracantha*. Estas plantas cumplen un rol como puentes fenológicos, manteniendo recursos tróficos disponibles para insectos benéficos durante todo el año.

Fortalecer el diseño de los SAF con mayor cobertura vegetal y diversidad estructural, favoreciendo la presencia de múltiples estratos y microhábitats que sustentan tanto la flora como la fauna auxiliar, en especial insectos polinizadores y controladores biológicos.

Conservar y restaurar zonas adyacentes a los cultivos como corredores ecológicos, especialmente bordes de bosque, matorrales, quebradas, franjas de vegetación secundaria. Estas áreas funcionan como sumideros de biodiversidad, permitiendo la conectividad del paisaje, el refugio y la dispersión de especies de insectos entre parches agrícolas y naturales.

Evitar el uso intensivo de agroquímicos, ya que la evidencia indica que los sistemas convencionales, con mayor uso de insumos, presentan una menor diversidad y mayor dominancia de especies herbívoras, en contraste con los agroecológicos, que albergan comunidades más diversas y funcionales.

Fomentar prácticas de manejo diversificadas, como la rotación de cultivos, siembra de especies acompañantes florales y el manejo ecológico del suelo, para asegurar la continuidad de recursos y hábitats para insectos a lo largo del ciclo agrícola.

Referencias

- Acosta, S., y Ríos, M. (2020). Impacto de la minería en la biodiversidad de artrópodos en sistemas agrícolas andinos. *Revista Colombiana de Entomología*, 46(2), 150–162.
- Adams Fairacre Farms. (s. f.). *Bidens Pilosa and Ageratum houstonianum: Year-round floral resources for pollinators*. <https://adamsfarms.com>
- Ahrné, K. (2008). *Landscape context and local habitat characteristics influence biodiversity in urban gardens* [Tesis doctoral, Universidad de Estocolmo]. Stockholm University Press.
- Alemu, B. (2015). Shade trees improve soil fertility and biodiversity in coffee agroforestry systems: A review. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 7(11), 548–554. <https://doi.org/10.5897/IJBC2015.0869>
- Altieri, M. A. (1995). *Agroecology: The science of sustainable agriculture* (2nd ed.). Westview Press.
- Álvarez, L., Jiménez, P., y Ortega, M. (2021). Biodiversidad funcional de artrópodos en zonas afectadas por minería: un enfoque agroecológico. *Ecología Aplicada*, 20(1), 45–55. <https://doi.org/10.21704/rea.v20i1.1700>
- Arcila, J. (2007). Fisiología del cultivo del café. En J. Arcila, F. Farfán, A. M. Moreno, L. F. Salazar y E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 21–60). FNC–Cenicafé.
- Arcilla, M. J., y Farfán, M. J. (2004). *Manual para el manejo sostenible del café en sistemas agroforestales*. Programa de Agricultura Ecológica y Recursos Naturales, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Armbrrecht, I., & Gallego, M. C. (2007). Testing ant predation in a coffee landscape in Colombia: Using different techniques to account for variability. *Ecological Entomology*, 32(3), 258–266. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2007.00873.x>
- Armbrrecht, I., & Perfecto, I. (2003). Litter-twig dwelling ants in different habitats along a disturbed–forest gradient in the Colombian Andes. En T. Tscharntke & D. G. R. B. Hawkins (Eds.), *Multitrophic level interactions* (Vol. 159, pp. 51–70). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55663-1_5

- Barrantes-Vásquez, R., Morales, C. L., y Ramírez, R. A. (2019). Diversidad de insectos asociados a familias de plantas tropicales en agroecosistemas. *Boletín de Entomología Tropical*, 59(2), 165–177. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2645911>
- Barrios, B., Peña, R., y Salazar, J. (2016). Uso de recursos florales por insectos en agroecosistemas de café. *Revista Ecosistemas*, 25(1), 45–53. <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1266>
- Barros, R. S., Maestri, M., & Rena, A. B. (1978). Physiological aspects of coffee flowering. *Journal of Coffee Research*, 8(2–3), 29–73.
- Bartomeus, I., Ascher, J. S., Wagner, D., Danforth, B. N., Colla, S., Kornbluth, S., & Winfree, R. (2014). Functional traits predict bee community responses to land use intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8414–8419. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317757111>
- Bioweb Ecuador. (2024). *Fauna del Ecuador: Inventario de especies*. <https://bioweb.bio/fauna-ecuador>
- Buchholz, S., y Egerer, M. H. (2020). Functional ecology of wild bees in urban gardens: Toward a better understanding of trait–environment relationships. *Ecology and Evolution*, 10(12), 5742–5751. <https://doi.org/10.1002/ece3.6315>
- Bueno, C., Quintero, C., y Correa, D. F. (2023). Fenología vegetal y su influencia en la diversidad de polinizadores en paisajes agrícolas. *Revista Latinoamericana de Ecología*, 28(2), 145–158. <https://doi.org/10.22201/ecol.latam.2023.28.2.145>
- Camargo, J. M. F., y Pedro, S. R. M. (2023). *Claves ilustradas para los géneros de abejas de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Cárdenas, A. M., Salazar, J. A., y Martínez, A. F. (2014). *Manual de entomología: Órdenes de insectos de importancia agrícola en Colombia*. Corpoica.
- Cenicafé. (2023). *Manejo integrado del café y biodiversidad: Resultados recientes*. Centro Nacional de Investigaciones de Café. <https://www.cenicafe.org>

- Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé]. (2023). *Impacto del uso de agroquímicos sobre la biodiversidad en cafetales colombianos*. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org>
- Chain, G. Y., Arias, A., y Vásquez, L. (2019). Evaluación de servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales de café en Colombia. *Revista Agroforestería Neotropical*, 5(1), 45–56. <https://doi.org/10.18684/rafn.2019.v5.n1.45-56>
- Chao, A. (1984). Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11(4), 265-270. <http://www.jstor.org/stable/4615964>
- Chaves, J. A., Smith, T. B., & Cadena, C. D. (2007). Geographic differentiation in the vocalizations of an Andean songbird (*Atlapetes albinucha*): The role of selection and drift. *Journal of Evolutionary Biology*, 20(4), 2000–2007. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2007.01383.x>
- Classen, A., Peters, M. K., Ferger, S. W., Helbig Bonitz, M., Schmack, J. M., Maassen, G., Schleuning, M., Kalko, E. K. V., Böhning-Gaese, K., & Steffan-Dewenter, I. (2014). Complementary ecosystem services provided by pest predators and pollinators increase quantity and quality of coffee yields. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1779), 20133148. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3148>
- Cleveland, W. S. (1979). Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 74(368), 829-836. <https://doi.org/10.2307/2286407>
- Collantes, L., Yáñez, N., y Morocho, C. (2023). Estructura funcional de comunidades florales y su efecto sobre polinizadores en agroecosistemas tropicales. *Revista de Ecología y Biodiversidad*, 28(1), 35–48.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (s.f.). *Ficha técnica de Psidium guajava y Vachellia macracantha*. <https://www.biodiversidad.gob.mx>
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302–1310. <https://doi.org/10.1126/science.199.4335.1302>
- Cornejo, X., Peña, J., Gutiérrez, D., y Freire, S. (2011). *Guía de campo de árboles y arbustos de los bosques estacionales del sur del Ecuador*. Ediciones Universidad Técnica Particular de Loja.

- Cutler, G. C., Scott-Dupree, C. D., & Sultan, M. (2022). Agricultural intensification and insect biodiversity: Trade-offs and thresholds. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 326, 107794. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107794>
- DaMatta, F. M. (2004). Exploring drought tolerance in coffee: A physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16(1), 1–6. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202004000100001>
- Dangles, O., Barragán, Á., Cárdenas, R. E., Onore, G., & Keil, C. (2009). Entomology in Ecuador: Recent developments and future challenges. *Annales de la Société entomologique de France*, 45(4), 424–336 <https://doi.org/10.1080/00379271.2009.10697638>
- Díaz, S., & Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(11), 646–655. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2)
- Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K., & Robson, M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20684–20689. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704716104>
- Díaz, S., Purvis, A., Cornelissen, J. H. C., Mace, G. M., Donoghue, M. J., Ewers, R. M., Krohs, U., Kremen, C., Lavorel, S., Milligan, H., Muchoney, D., Peng, C., Pereira, H. M., Reyers, B., Soberón, J., van der Plas, F., Wardle, D. A., Winfree, R., Zanne, A. E., & Pearse, W. D. (2013). Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. *Ecology and Evolution*, 3(9), 2958–22975. <https://doi.org/10.1002/ece3.601>
- Droege, S. (2005). *USGS Bee Inventory and Monitoring Lab protocol*. U.S. Geological Survey. <https://www.pwrc.usgs.gov/nativebees/protocols.html>
- Echeverría, C. M., Vázquez, D. P., Morales, J. M., & De Marco, P. (2022). Biodiversity and ecosystem services in agroforestry systems: An overview of ecological interactions. *Ecological Indicators*, 143, 109356. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109356>

- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488–494. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0488:RDECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0488:RDECAR]2.0.CO;2)
- Eltz, T., Brühl, C. A., & Linsenmair, K. E. (2001). Leaf litter as a source of nutrients for anthophilous insects in tropical forests. *Biotropica*, 33(4), 705–710. [https://doi.org/10.1646/0006-3606\(2001\)033\[0705:LLAASO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1646/0006-3606(2001)033[0705:LLAASO]2.0.CO;2)
- Eubanks, M. D., & Finke, D. L. (2014). Interactions between arthropod predators and the impact of prey abundance on agricultural systems. *Current Opinion in Insect Science*, 2, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2014.06.004>
- Fernández, F., y Sharkey, M. J. (Eds.). (2006). *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*. Sociedad Colombiana de Entomología & Universidad Nacional de Colombia.
- Flórez, A., Vélez, J. F., y Zapata, C. (2013). Anatomía y desarrollo del fruto y semilla de *Coffea arabica* L. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 66(2), 6985–6995. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/38611>
- Fontaine, C., Dajoz, I., Meriguet, J., & Loreau, M. (2006). Functional diversity of plant–pollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities. *PLoS Biology*, 4(1), e1. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040001>
- Footitt, R. G., & Adler, P. H. (2009). *Insect biodiversity: Science and society*. Wiley-Blackwell.
- Fründ, J., Dormann, C. F., Holzschuh, A., & Tschardt, T. (2010). Pollinator diversity and specialization in relation to flower diversity. *Oikos*, 119(10), 1581–1590. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18450.x>
- GAD Santa Isabel. (2020). *Plan de ordenamiento territorial del cantón Santa Isabel 2020–2030*. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Isabel.
- Gallegos, C. A., Torres, J. L., y Andrade, C. M. (1997). *Control integrado de la mosca de la fruta en el Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., et ál. (2015). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339(6127), 1608–1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- Garzione, C. N., Hoke, G. D., Libarkin, J. C., Withers, S., MacFadden, B., Eiler, J., Ghosh, P., & Mulch, A. (2008). Rise of the Andes. *Science*, 320(5881), 1304–1307. <https://doi.org/10.1126/science.1148615>
- Ghazoul, J. (2006). Floral diversity and the facilitation of pollination. *Journal of Ecology*, 94(2), 295–304. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01098.x>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Santa Isabel [GAD Santa Isabel]. (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Santa Isabel 2020–2024*. <https://santaisabel.gob.ec>
- González, A., y Villegas, A. M. (2010). Historia del café: Una mirada desde Colombia. *Revista Agronomía Colombiana*, 28(3), 489–497.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4), 379–391. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>
- Grundel, R., Jean, R. P., Frohnapple, K. J., Glowacki, G. A., Scott, P. E., & Pavlovic, N. B. (2011). Floral and nesting resources, habitat structure, and fire influence bee distribution across a heterogeneous landscape. *Oecologia*, 166, 965–978. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-1916-0>
- Harvey, C. A., Komar, O., Chazdon, R., Ferguson, B. G., Finegan, B., Griffith, D. M., Marín, A., & Wishnie, M. (2008). *Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot*. *Conservation Biology*, 22(1), 8–15. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00863.x>
- Herbario QCA. (s.f.). *Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Herbario QCA*. <https://www.puce.edu.ec/herbario-qca/>

- Herrera, D. C., Riaño, C. A., y Gutiérrez, A. (2016). Recursos florales y polinizadores en sistemas agroforestales de café en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 42(1), 56–63. <https://revistacolombianaentomologia.unal.edu.co/index.php/SOCOLEN/article/view/46249>
- Herrera, J., y Cortina, H. (2013). Caracterización morfológica y molecular de la colección de café (*Coffea spp.*) del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe. *Revista Cenicafe*, 64(1), 7–24. <https://www.cenicafe.org>
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., Wardle, D. A., & Tilman, D. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Hughes, C., & Eastwood, R. (2006). Island radiation on a continental scale: Exceptional rates of plant diversification after uplift of the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(27), 10334–10339. <https://doi.org/10.1073/pnas.0601928103>
- Instituto de Ecología Aplicada-USFQ [ECOLAP]. (2007). *Áreas protegidas del Ecuador: Situación actual y perspectivas*. Universidad San Francisco de Quito. <https://www.usfq.edu.ec/ecolap/publicaciones>
- Jaramillo, J. (2012). *Café: Biología, cultivo y producción*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Jha, S., & Vandermeer, J. H. (2009). Impacts of coffee agroforestry management on tropical bee communities. *Biological Conservation*, 142(7), 1508–1511. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.013>
- Johnson, S. D., & Steiner, K. E. (2000). Generalization versus specialization in plant pollination systems. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(4), 140–143. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01811-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01811-X)
- Jørgensen, P. M., y León-Yáñez, S. (Eds.). (1999). *Catálogo de las plantas vasculares del Ecuador*. Missouri Botanical Garden Press.

- Kennedy, C. M., Lonsdorf, E., Neel, M. C., Williams, N. M., Ricketts, T. H., Winfree, R., Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A. L., Cariveau, D., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Cunningham, S. A., Danforth, B. N., & Dudenhöffer, J.-H. (2013). A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters*, 16(5), 584–599. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>
- Khalifa, M., Gadallah, N. S., & Fadl, H. H. (2021). Floral resource continuity and insect pollinator assemblages in agroecosystems. *Journal of Pollination Ecology*, 29, 19–29. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2021\)629](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2021)629)
- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I., & Tscharntke, T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1518), 955–961. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2306>
- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I. & Tscharntke, T. (2003b). Pollination of coffee by bees: Complementary contributions of native and introduced bee species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1–3), 153–164. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00072-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00072-5)
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Kratschmer, S., Pachinger, B., Schwantzer, M., Pachinger, B. & Winter, S. (2019). Floral traits and functional diversity of pollinators in Austrian agricultural landscapes. *Scientific Reports*, 9, 16591. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53036-0>
- Kremen, C., Williams, N. M. & Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26), 16812–16816. <https://doi.org/10.1073/pnas.262413599>
- LeBuhn, G., Droege, S., Connor, E., Gemmill-Herren, B., Potts, S. G., Minckley, R., Griswold, T., Jepsen, S., Kula, E., Roubik, D. W., Cane, J., Wright, K. W., & Frankie, G. (2013). Detecting

- insect pollinator declines on regional and global scales. *Conservation Biology*, 27(1), 113–120. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01962.x>
- Loreau, M., Mouquet, N. & Gonzalez, A. (2003). Biodiversity as spatial insurance in heterogeneous landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(22), 12765–12770. <https://doi.org/10.1073/pnas.2235465100>
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., Hooper, D. U., Huston, M. A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., & Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science*, 294(5543), 804–808. <https://doi.org/10.1126/science.1064088>
- Martínez-Tlapa, D. L., González-González, H. y Hernández-Ortiz, V. (2018). Cambios en la diversidad de insectos en cafetales bajo diferentes manejos agrícolas en Veracruz. *Acta Zoológica Mexicana*, 34(1), 1–18. <https://doi.org/10.21829/azm.2018.3412193>
- Martínez, J. P. (1991). *Evaluación agronómica de cultivares de berenjena africana morada en el litoral ecuatoriano* [Tesis de ingeniería agronómica, Universidad Técnica de Manabí].
- Martins, K. T., Gonzalez, A. & Lechowicz, M. J. (2015). Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.018>
- Matteson, K. C., Ascher, J. S. & Langellotto, G. A. (2008). Bee richness and abundance in New York City urban gardens. *Annals of the Entomological Society of America*, 101(1), 140–150. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2008\)101\[140:braain\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2008)101[140:braain]2.0.co;2)
- McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E. & Westoby, M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(4), 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.02.002>
- Medeiros, H. R., Torezani, K. R. & Loyola, R. D. (2022). Bee communities and the landscape structure: Functional trait composition matters. *Insect Conservation and Diversity*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.1111/icad.12527>

- Michener, C. D. (2007). *The Bees of the World* (2nd ed.). The Johns Hopkins University Press.
- Minga, M. F. (2021). *Plantas nativas de los ecosistemas del Azuay: Un acercamiento conceptual al Jardín Botánico de Cuenca – Ecuador*. Universidad de Cuenca.
- Ministerio de Agricultura-Ecuador [MAG]. (2019). *Diagnóstico del sector cafetalero en el Ecuador*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec>
- Miorelli, T. (2017). *Guía de las familias de insectos*. Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia.
- Missouri Botanical Garden. (s.f.). *Tropicos.org*. <https://www.tropicos.org>
- Moguel, P., & Toledo, V. M. (1999). *Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico*. *Conservation Biology*, 13(1), 11–21. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>
- Moisset, B., & Buchanan, S. (2010). *Bee basics: An introduction to our native bees*. USDA Forest Service and Pollinator Partnership. https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5306468.pdf
- Molineros, J. E., Suquilanda, S. J., y Córdova, M. R. (1992). *Manejo integrado de plagas en la papa: El gorgojo y la polilla*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Moreno-Black, G., & Somarriba, E. (2022). *Agroforestry systems as erosion control: A review from Latin America*. *Agroforestry Systems*, 96(5), 877–889. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00676-9>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T–Manuales y Tesis SEA.
- Mostacedo, B., y Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. BOLFOR.
- Mouchet, M. A., Villéger, S., Mason, N. W. H., & Moullot, D. (2010). *Functional diversity measures: An overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules*. *Functional Ecology*, 24(4), 867–876. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01695.x>

- Moya, G. A. (1985). *Problemática fitosanitaria de la palma africana en el Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Nates, J. (2005). *Importancia de los polinizadores en cultivos de café y estrategias para su conservación*. Fundación Natura. <https://www.natura.org.co/publicaciones>
- Neill, D. A., y Ulloa Ulloa, C. (2011). *Árboles y arbustos de los Andes del Ecuador*. Jardín Botánico de Missouri & Herbario Nacional del Ecuador.
- Orozco, M. A. (1995). *Ecofisiología del cafeto*. CATIE.
- Peralta, M. J. (1993). *Dinámica poblacional de la mosca blanca (Bemisia tabaci) en el cultivo de tomate riñón* [Tesis de ingeniería, Universidad Central del Ecuador].
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2008). *Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: A new conservation paradigm*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1), 173–200. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.011>
- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & Van der Voort, M. E. (1996). *Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity*. *BioScience*, 46(8), 598–608. <https://doi.org/10.2307/1312989>
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Bautista, G. L., Nunez, G. I., Greenberg, R., Bichier, P., & Langridge, S. (2007). *Greater predation in shaded coffee farms: The role of resident neotropical birds*. *Ecology*, 88(8), 2057–2065. <https://doi.org/10.1890/06-0895.1>
- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2006). *Functional diversity: Back to basics and looking forward*. *Ecology Letters*, 9(6), 741–758. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>
- Philpott, S. M., Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2006). *Effects of management intensity and landscape context on ground-foraging ant diversity in Mexican coffee agroecosystems*. *Ecological Applications*, 16(3), 1339–1349. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1339:EOMIAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1339:EOMIAL]2.0.CO;2)
- Pollet, C., Carrión, J. A., y Vallejo, C. (2003). *Estrategias de control biológico de la polilla de la papa*. Fundación PROINPA.

- Potts, S. G., Vulliamy, B., Dafni, A., Ne'eman, G., & Willmer, P. (2003). *Linking bees and flowers: How do floral communities structure pollinator communities?* *Ecology*, 84(10), 2628–2642. <https://doi.org/10.1890/02-0136>
- Puerta, G. I. (2005). *Manual del cultivo del café para técnicos y productores*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. <https://biblioteca.federaciondecafeteros.org.co>
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P., Howlett, B. G., Winfree, R., ... & Klein, A. M. (2016). *Non-bee insects are important contributors to global crop pollination*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), 146–151. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112>
- Ramalho, M., Kleinert-Giovannini, A., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (1990). *Important bee plants for stingless bees (Melipona and Trigona) and Africanized honeybees (Apis mellifera) in neotropical habitats: A review*. *Apidologie*, 21(5), 469–488. <https://doi.org/10.1051/apido:19900504>
- Ramírez, F., Herrera, J. A., y Riaño, C. A. (2014). *Efectividad de métodos de captura de abejas silvestres en agroecosistemas tropicales*. *Revista Colombiana de Entomología*, 40(2), 199–207.
- Ricketts, T. H., Daily, G. C., Ehrlich, P. R., & Michener, C. D. (2004). *Economic value of tropical forest to coffee production*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(34), 12579–12582. <https://doi.org/10.1073/pnas.0405147101>
- Ricketts, T. H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Bogdanski, A., ... & Viana, B. F. (2008). *Landscape effects on crop pollination services: Are there general patterns?* *Ecology Letters*, 11(5), 499–515. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01157.x>
- Rodríguez, N., Morales, C., y Rengifo, M. (2021). *Efectos de la estructura del paisaje sobre la diversidad funcional de polinizadores en sistemas agrícolas tropicales*. *Acta Biológica Colombiana*, 26(1), 123–133. <https://doi.org/10.15446/abc.v26n1.90655>

- Romero, J. D., y Camilo, A. (2019). *Factores climáticos que influyen en la floración de Coffea arabica en Colombia*. *Agronomía Colombiana*, 37(2), 215–
222. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n2.82345>
- Roslin, T., Hardwick, B., Novotny, V., Petry, W. K., Andrew, N. R., Asmus, A., ... & Slade, A. (2014). *Higher predation risk for insect prey at low latitudes and elevations*. *Science*, 346(6207), 742–744. <https://doi.org/10.1126/science.1255053>
- Roulston, T. H., Smith, S. A., & Brewster, A. L. (2007). *A comparison of pan trap and intensive net sampling techniques for documenting a bee (Hymenoptera: Apiformes) fauna*. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 80(2), 179–181. [https://doi.org/10.2317/0022-8567\(2007\)80\[179:ACOPTA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2317/0022-8567(2007)80[179:ACOPTA]2.0.CO;2)
- Salazar, J. A., Martínez, A., y Riaño, C. A. (2019). *Comparación de índices de diversidad alfa en comunidades de insectos de cultivos agroecológicos*. *Revista Colombiana de Entomología*, 45(2), 167–176.
- Salazar, J. A., y Donoso, D. A. (2014). *Biodiversidad de insectos en Ecuador: Una aproximación a su estado del arte*. *Revista Politécnica*, 34(3), 23–31.
- Sánchez, A., y Rodríguez, M. (2020). *Diversidad de insectos en cafetales con diferentes niveles de sombra en Costa Rica*. *Revista de Agroecología Tropical*, 14(2), 45–
56. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1247890>
- Schulze, C. H., Waltert, M., Kessler, P. J. A., Pitopang, R., Veddeler, D., Mühlenberg, M., Gradstein, S. R., Leuschner, C., Steffan-Dewenter, I., Fermon, H., y Tschardt, T. (2004). Biodiversity indicator groups of tropical land-use systems: Comparing plants, birds, and insects. *Ecological Applications*, 14(5), 1321–1333. <https://doi.org/10.1890/02-5409>
- Snyder, W. E., Snyder, G. B., Finke, D. L., & Straub, C. S. (2006). *Predator biodiversity strengthens herbivore suppression*. *Ecology Letters*, 9(7), 789–796. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00922.x>

- Soto-Pinto, L., Perfecto, I., Castillo-Hernández, J., & Caballero-Nieto, J. (2000). *Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. Agriculture, Ecosystems & Environment*, 80(1–2), 61–69. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00134-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00134-1)
- Steffan-Dewenter, I., & Tschardtke, T. (1999). *Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. Oecologia*, 121(3), 432–440. <https://doi.org/10.1007/s004420050949>
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). *Connectivity is a vital element of landscape structure. Oikos*, 68(3), 571–573. <https://doi.org/10.2307/3544927>
- Time and Date. (s.f.). *Time and Date – Weather and climate*. <https://www.timeanddate.com>
- Tschardtke, T., Clough, Y., Bhagwat, S. A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Hölscher, D., Jührbandt, J., Kessler, M., Perfecto, I., Scherber, C., Schroth, G., Veldkamp, E., & Wanger, T. C. (2008). *Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – A review. Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1086–1094. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01483.x>
- Tschardtke, T., Gathmann, A., & Steffan-Dewenter, I. (2005). *Insect conservation in agricultural landscapes: Diversity, functions and landscape perspectives. Ecological Engineering*, 24(1–2), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.12.027>
- Tschardtke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). *Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – Ecosystem service management. Ecology Letters*, 8(8), 857–874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>
- Tylianakis, J. M., Didham, R. K., Bascompte, J., & Wardle, D. A. (2007). *Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. Ecology Letters*, 11(12), 1351–1363. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01250.x>
- Universidad Nacional de Colombia. (2013). *Guía ilustrada de malezas de importancia económica: Chromolaena odorata*. Editorial UNAL.

- Vandegrift, R., Thomas, D. C., Roy, B. A., & Newbold, J. W. (2017). *Mining and the disruption of plant–microbe interactions in tropical soils. Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(9), 522–530. <https://doi.org/10.1002/fee.1531>
- Vásquez, L. (2019). *Fenología reproductiva y oferta de recursos florales de especies nativas en cafetales tradicionales del sur del Ecuador* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Loja].
- Vázquez, D. P., Morris, W. F., & Jordano, P. (2009). *Interaction frequency as a surrogate for the total effect of animal mutualists on plants. Ecology Letters*, 12(9), 807–817. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01389.x>
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern applied statistics with S* (4th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>
- Venegas, L. A. (2022). *Influencia de la cobertura vegetal en la diversidad de insectos en sistemas agroforestales del Tolima, Colombia. Revista Colombiana de Entomología*, 48(1), 17–26. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.entomol.v48n1.123456>
- Villéger, S., Mason, N. W. H., & Mouillot, D. (2010). *New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. Ecology*, 91(1), 299–305. <https://doi.org/10.1890/08-1304.1>
- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). *Let the concept of trait be functional!. Oikos*, 116(5), 882–892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>
- Wilby, A., Shakir, A., Lan, L. P., Huyen, N. P. D., Vang, L. V., Diep, N. V., & Thomas, M. B. (2006). *Physical and trophic effects of habitat complexity on the diversity and function of insect natural enemies. Ecology*, 87(5), 1244–1251. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1244:PATEOH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1244:PATEOH]2.0.CO;2)
- Woodcock, B. A., Bullock, J. M., McCracken, M., Chapman, R. E., Ball, S. L., Edwards, M. E., Nowakowski, M., & Pywell, R. F. (2019). *Habitat type and quality modulate the response of*

insect pollinator abundance and diversity to local and landscape variables. Ecological Entomology, 44(1), 36–45. <https://doi.org/10.1111/een.12670>

Woodcock, B. A., Garratt, M. P. D., Powney, G. D., Shaw, R. F., et ál. (2019). *Meta-analysis reveals that pollinator functional diversity and abundance enhance crop pollination and yield. Nature Communications*, 10, 1481. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09393-6>

WorldClim. (s.f.). *WorldClim: Global climate data*. <https://www.worldclim.org>

Wrigley, G. (1988). *Coffee: Tropical agriculture series* (2nd ed.). Longman Scientific & Technical.

Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer Science & Business Media.

<https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>

Anexos

Anexo 1: Información Suplementaria.

Diversidad Beta

Tabla 1

Índices de similitud de Jaccard entre las comunidades de insectos en las tres fincas de estudio

	DL	DG	DM
DL	1	0,16666667	0,25
DG	0,16666667	1	0,1627907
DM	0,25	0,1627907	1

Nota: Elaboración propia (2025).

Tabla 2
Rasgos funcionales de las especies de insectos registradas en el estudio

Nº	Orden	Familia	Especies	Tamaño corporal	Anidación	Sociabilidad	Dieta floral	Movilidad	Tipo de visita	Gremio trófico	Periodo de actividad	Fuente
1	Hymenoptera	Apidae	Apis	Mediano	Cavidades (árboles huecos)	Eusocial	Generalista	Alta	Legítima	Polinizador	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). <i>Apis mellifera</i> data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/1035419/data Winston, M. L. (1987). The biology of the honey bee. Harvard University Press. GBIF. (2024). <i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1334509 Roubik, D. W., & Hanson, P. E. (2004). Orchid bees of tropical America: Biology and field guide. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio).
2	Hymenoptera	Apidae	Euglossa cf. charapeensis	Mediano	Cavidades (árboles huecos)	Solitario	Especialista	Alta	Legítima	Polinizador	Diurno	Dressler, R. L. (1982). Biology of the orchid bees (Euglossini). Annual Review of Ecology and Systematics, 13(1), 373–394. https://doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.002105 Encyclopedia of Life. (2024).

3	Hymenoptera	Apidae	Melissodes sp.	Mediano	Suelo	Solitario	Generalista	Alta	Legítima	Polinizador	Diurno
---	-------------	--------	----------------	---------	-------	-----------	-------------	------	----------	-------------	--------

Euglossa genus data - TraitBank.
 Encyclopedia of Life.
<https://eol.org/pages/2745800>
 GBIF. (2024). Euglossa Latreille, 1802. Global Biodiversity Information Facility.
<https://www.gbif.org/species/1341518>
 Cane, J. H. (2008). *Pollination services to agriculture: Sustaining native bee diversity in an agricultural landscape*. In R. R. James & T. L. Pitts-Singer (Eds.), *Bee pollination in agricultural ecosystems* (pp. 145–162). Oxford University Press.
 Michener, C. D. (2007). *The Bees of the World* (2nd ed.). Johns Hopkins University Press.
 Encyclopedia of Life. (2024).
 Melissodes genus data - TraitBank.
 Encyclopedia of Life.
<https://eol.org/pages/2745827>
 GBIF. (2024). Melissodes Latreille, 1829. Global Biodiversity Information Facility.
<https://www.gbif.org/species/1341576>

4	Hymenoptera	Apidae	Ceratina sp.	Pequeño	Tallos huecos de plantas, ramitas, madera blanda	Solitario, cuidado de crías	Generalista	Mediana	Legítima	Polinizador	Diurno	Rehan, S. M., & Richards, M. H. (2010). Nesting biology and subsociality in Ceratina (Hymenoptera: Apidae). <i>Canadian Entomologist</i>, 142(1), 65–74. https://doi.org/10.4039/n09-055 Michener, C. D. (2007). <i>The Bees of the World</i> (2nd ed.). Johns Hopkins University Press. Encyclopedia of Life. (2024). Ceratina genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2745780 GBIF. (2024). Ceratina Latreille, 1802. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1341447 Neff, J. L., & Simpson, B. B. (1992). Nesting and foraging behavior of Centris bees (Hymenoptera: Apidae) in the Sonoran Desert. <i>Journal of the Kansas Entomological Society</i>, 65(1), 14–29. Michener, C. D. (2007). <i>The Bees of the World</i> (2nd ed.). Johns Hopkins University Press. Encyclopedia of Life. (2024). Centris genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2745778
5	Hymenoptera	Apidae	Centris sp.	Grande	Suelo	Solitario	Generalista	Alta	Legítima	Polinizador	Diurno	Rehan, S. M., & Richards, M. H. (2010). Nesting biology and subsociality in Ceratina (Hymenoptera: Apidae). <i>Canadian Entomologist</i>, 142(1), 65–74. https://doi.org/10.4039/n09-055 Michener, C. D. (2007). <i>The Bees of the World</i> (2nd ed.). Johns Hopkins University Press. Encyclopedia of Life. (2024). Centris genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2745778

6	Hymenoptera	Apidae	Eulaema sp.	Grande	Cavidades (árboles huecos)	Solitario	Generalista	Alta	Legítima	Polinizador	Diurno	GBIF. (2024). Centris Fabricius, 1804. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1341444 Ramírez, S. R., Dressler, R. L., & Ospina, J. (2002). Eulaema bees (Hymenoptera: Apidae) in the neotropics: Diversity and flower preferences. <i>Journal of the Kansas Entomological Society</i>, 75(2), 210–225. Michener, C. D. (2007). <i>The Bees of the World</i> (2nd ed.). Johns Hopkins University Press. Encyclopedia of Life. (2024). Eulaema genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2745782 GBIF. (2024). Eulaema Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1341447 Gerling, D., Velthuis, H. H. W., & Hefetz, A. (1989). <i>Bionomics of the large carpenter bees of the genus Xylocopa</i>. <i>Annual Review of Entomology</i>, 34(1), 163–190. https://doi.org/10.1146/annurev.en.34.010189.001115 Michener, C. D. (2007). <i>The Bees of</i>
7	Hymenoptera	Apidae	Xylocopa sp.	Grande	Galerías (truncos muertos o madera blanda)	Solitario	Generalista	Mediana	Legítima	Polinizador	Diurno	Gerling, D., Velthuis, H. H. W., & Hefetz, A. (1989). <i>Bionomics of the large carpenter bees of the genus Xylocopa</i>. <i>Annual Review of Entomology</i>, 34(1), 163–190. https://doi.org/10.1146/annurev.en.34.010189.001115 Michener, C. D. (2007). <i>The Bees of</i>

8	Coleoptera	Buprestidae	Agrilus sp.	Pequeño	Galerias (troncos muertos o madera blanda)	Solitario	No floral	Mediana	NA	Fitófago	Diurno
---	------------	-------------	-------------	---------	--	-----------	-----------	---------	----	----------	--------

the World (2nd ed.). Johns Hopkins University Press.

Encyclopedia of Life. (2024). Xylocopa genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. <https://eol.org/pages/2745857>

GBIF. (2024). Xylocopa Latreille, 1802. Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org/species/1341692>

Chamorro, M. L., & Konstantinov, A. S. (2011). *Agrilus (Coleoptera: Buprestidae): Biology and Taxonomy of a Worldwide Pest*. Smithsonian Institution Scholarly Press.

Nelson, G. H., Bellamy, C. L., & Walters, G. C. (2008). A catalog and bibliography of the Buprestoidea of America north of Mexico. The Coleopterists Society, Special Publication.

Encyclopedia of Life. (2024). Agrilus genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. <https://eol.org/pages/2735270>.

GBIF. (2024). Agrilus Curtis, 1825. Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org/species/4756431>

9	Diptera	Calliphoridae	Lucilia sericata	Mediano	Materia Orgánica en descomposición	Solitario	No floral	Alta	NA	Saprófago	Diurno	Sherman, R. A., Hall, M. J. R., & Thomas, S. (2000). Medicinal maggots: an ancient remedy for some contemporary afflictions. <i>Annual Review of Entomology</i>, 45(1), 55–81. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.55 Encyclopedia of Life. (2024). <i>Lucilia sericata</i> data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/732503 GBIF. (2024). <i>Lucilia sericata</i> (Meigen, 1826). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1527263 McCravy, K. W., & Willand, J. E. (2007). Diversity and abundance of Cantharidae (Coleoptera) in a tallgrass prairie ecosystem. <i>Prairie Naturalist</i>, 39(1), 1–13. Encyclopedia of Life. (2024). <i>Cantharis</i> genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/117421 GBIF. (2024). <i>Cantharis</i> Linnaeus, 1758. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4408053
10	Coleoptera	Cantharidae	Cantharis sp.	Pequeño	Suelo	Solitario	Néctar, polen	Alta	Legítima	Polinizador, depredador	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). <i>Cantharis</i> genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/117421 GBIF. (2024). <i>Cantharis</i> Linnaeus, 1758. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4408053

1	Coleoptera	Cerambycidae	Oncideres sp.	Mediano	Madera (viva o muerta)	Solitario	No floral	Mediana	NA	Fitófago	Diurno	Rice, M. E. (1989). Host plant selection and oviposition behavior in twig girdling beetles (Coleoptera: Cerambycidae: Onciderini). <i>Annals of the Entomological Society of America</i> , 82(4), 502–508. https://doi.org/10.1093/aesa/82.4.502
1												Encyclopedia of Life. (2024). <i>Oncideres</i> genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/339798
												GBIF. (2024). <i>Oncideres</i> Lacordaire, 1830. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1152855
												Swift, I. P., & Ray, A. M. (2010). Biology and larval host plants of <i>Placosternus erythropus</i> (Cerambycidae: Cerambycinae). <i>The Coleopterists Bulletin</i> , 64(1), 43–47. https://doi.org/10.1649/0010-065X-64.1.43
1	Coleoptera	Cerambycidae	Placosternus erythropus	Mediano	Madera (viva o muerta)	Solitario	No floral	Mediana	NA	Fitófago	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). <i>Placosternus erythropus</i> data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/339811
2												GBIF. (2024). <i>Placosternus erythropus</i> (Chevrolat, 1862). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1149666

1												Armitage, P. D., Cranston, P. S., & Pinder, L. C. V. (Eds.). (1995). <i>The Chironomidae: Biology and ecology of non-biting midges</i> . Chapman & Hall.
3	Diptera	Chironomidae	Chironomidae	Pequeño	Suelo o sustratos acuáticos	Solitario	No floral	Alta	NA	Nectarívoro ocasional	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). Chironomidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/392 GBIF. (2024). Chironomidae Newman, 1834. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/5026 Kimsey, L. S., & Bohart, R. M. (1991). <i>The Chrysidid Wasps of the World</i> . Oxford University Press. Encyclopedia of Life. (2024). Chrysis genus data - TraitBank.
1	Hymenoptera	Chrysididae	Chrysis sp.	Pequeño	Parasitoide	Solitario	No floral	Alta	NA	Cleptoparásito	Diurno	Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2745764 GBIF. (2024). Chrysis Linnaeus, 1761. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1341425 Jolivet, P., & Verma, K. K. (2002). <i>Biology of Leaf Beetles</i> . Intercept Ltd.
1	Coleoptera	Chrysomelidae	Podagricinae cf. fuscicornis	Pequeño	Suelo, base de plantas	Solitario	No floral	Mediana	NA	Fitófago	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). Podagricinae genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/117363 GBIF. (2024). Podagricinae Chevrolat,

16	Coleoptera	Chrysomelidae	Podagrica sp.	Pequeño	Suelo, base de plantas	Solitario	No floral	Mediana	NA	Fitófago	Diurno	1837. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407764 Jolivet, P., & Verma, K. K. (2002). <i>Biology of Leaf Beetles</i>. Intercept Ltd. Encyclopedia of Life. (2024). Podagrica genus data - TraitBank. https://eol.org/pages/117363 GBIF. (2024). Podagrica Chevrolat, 1837. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407764 Jolivet, P., Santiago-Blay, J. A., & Schmitt, M. (2009). <i>Research on Chrysomelidae</i>. Brill Academic Publishers. Encyclopedia of Life. (2024). Monolepta genus data - TraitBank. https://eol.org/pages/117224 GBIF. (2024). Monolepta Chevrolat, 1836. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407740
17	Coleoptera	Chrysomelidae	Monolepta sp.	Pequeño	Suelo, base de plantas	Solitario	No floral	Mediana	NA	Fitófago	Diurno	1837. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407764 Jolivet, P., & Verma, K. K. (2002). <i>Biology of Leaf Beetles</i>. Intercept Ltd. Encyclopedia of Life. (2024). Podagrica genus data - TraitBank. https://eol.org/pages/117363 GBIF. (2024). Podagrica Chevrolat, 1837. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407764 Jolivet, P., Santiago-Blay, J. A., & Schmitt, M. (2009). <i>Research on Chrysomelidae</i>. Brill Academic Publishers. Encyclopedia of Life. (2024). Monolepta genus data - TraitBank. https://eol.org/pages/117224 GBIF. (2024). Monolepta Chevrolat, 1836. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407740

18	Coleoptera	Chrysomelidae	Alticinae	Pequeño	Suelo, base de plantas	Solitario	No floral	Alta	NA	Fitófago	Diurno	Jolivet, P., Santiago-Blay, J. A., & Schmitt, M. (2009). Research on Chrysomelidae. Brill Academic Publishers. Furth, D. G. (1988). A Review of the Neotropical Flea Beetle Subtribes. The Coleopterists Bulletin, 42(4), 353–363. Encyclopedia of Life. (2024). Alticinae subfamily data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/4666 GBIF. (2024). Alticinae Newman, 1835. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/5800 Cabrera Walsh, G., & Cabrera, N. (2004). Biology and management of Diabrotica speciosa (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae) in South America. <i>Integrated Pest Management Reviews</i>, 9(1), 41–57. Encyclopedia of Life. (2024). Diabrotica speciosa data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/311638 GBIF. (2024). Diabrotica speciosa (Germar, 1824). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/6840185
19	Coleoptera	Chrysomelidae	Diabrotica speciosa	Pequeño	Suelo	Solitario	No floral	Alta	NA	Fitófago	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). Diabrotica speciosa data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/311638 GBIF. (2024). Diabrotica speciosa (Germar, 1824). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/6840185

20	Coleoptera	Chrysomelidae	Colaspis sp.	Pequeño	Suelo	Solitario	No floral	Mediana	NA	Fitófago	Diurno	Clark, W. E. (1995). Biology and distribution of Colaspis species (Coleoptera: Chrysomelidae) affecting corn in the United States. <i>Journal of the Kansas Entomological Society</i> , 68(3), 281–297. Encyclopedia of Life. (2024). Colaspis genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2735265 GBIF. (2024). Colaspis Fabricius, 1801. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407767 McEwen, P. K., New, T. R., & Whittington, A. E. (Eds.). (2001). <i>Lacewings in the Crop Environment</i> . Cambridge University Press.
21	Neuroptera	Chrysopidae	Chrysoperla carnea	Mediano	Vegetación	Solitario	No floral	Alta	Legítima	Nectarívoro	Diurno y crepuscular	Encyclopedia of Life. (2024). Chrysoperla carnea data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/3065439 GBIF. (2024). Chrysoperla carnea (Stephens, 1836). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/2100024

2	Coleoptera	Cleridae	Trichodes sp.	Mediano	Suelo, nidos de abejas solitarias	Solitario	Néctar, polen	Alta	Legítima	Nectarívoro/Polinívoro	Diurno	Opitz, W. (2010). Taxonomic revision of the checkered beetle genus <i>Trichodes</i> (Coleoptera: Cleridae: Clerinae). <i>Memoirs of the American Entomological Institute</i> , 84, 1–370.
2												Encyclopedia of Life. (2024). <i>Trichodes</i> genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/339915
												GBIF. (2024). <i>Trichodes</i> Herbst, 1792. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4406503
												Hodek, I., van Emden, H. F., & Honek, A. (2012). <i>Ecology and Behaviour of the Ladybird Beetles (Coccinellidae)</i> . Wiley-Blackwell.
												Encyclopedia of Life. (2024). <i>Chilocorus</i> genus data - TraitBank.
2	Coleoptera	Coccinellidae	Chilocorus sp.	Pequeño	Vegetación	Solitario	No floral	Alta	NA	Depredador	Diurno	Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/117320
3												GBIF. (2024). <i>Chilocorus</i> Leach, 1815. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4406832

2 4	Diptera	Conopidae	Conopidae	Mediano	Abejas/Avispas	Solitario	Néctar	Alta	Legítima	Nectarívoro	Diurno	Schmid-Hempel, P., & Schmid-Hempel, R. (1990). Endoparasitic Conopid Flies (Diptera: Conopidae) Affect Foraging Behavior and Survival in Bumblebees. <i>Behavioral Ecology and Sociobiology</i>, 27(6), 395–404. Encyclopedia of Life. (2024). Conopidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/393 GBIF. (2024). Conopidae Latreille, 1802. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3932 Anderson, R. S. (2002). Curculionidae Latreille, 1802. In R. G. Beutel & R. A. B. Leschen (Eds.), <i>Handbook of Zoology. Coleoptera, Beetles</i> (Vol. 2). Walter de Gruyter.
2 5	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae	Mediano	Vegetación	Solitario	No floral	Mediana	NA	Fitófago	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). Curculionidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/387 GBIF. (2024). Curculionidae Latreille, 1802. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3877
2 6	Coleoptera	Dermestidae	Dermestes	Pequeño	Materia Orgánica en	Solitario	No floral	Mediana	NA	Saprófago	Diurno y nocturno	Hinton, H. E. (1945). A Monograph of the Beetles Associated with Stored Products. Volume I. <i>British Museum (Natural History)</i>.

					descomposición							
27	Diptera	Dolichopodidae	Neurigona sp.	Pequeño	Suelo o vegetación	Solitario	No floral	Alta	NA	Depredador	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). Dermestes genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2769612 GBIF. (2024). Dermestes Linnaeus, 1758. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4406251 Bickel, D. J. (1991). Sciapodinae, Dolichopodinae. In McAlpine, J. F. (Ed.), <i>Manual of Nearctic Diptera</i> (Vol. 2, pp. 993–1042). Research Branch, Agriculture Canada. Encyclopedia of Life. (2024). Neurigona genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/54955 GBIF. (2024). Neurigona Rondani, 1856. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1555485 Bickel, D. J. (1991). Sciapodinae, Dolichopodinae. In McAlpine, J. F. (Ed.), <i>Manual of Nearctic Diptera</i> (Vol. 2, pp. 993–1042). Research Branch, Agriculture Canada.
28	Diptera	Dolichopodidae	Dolichopodidae	Pequeño	Suelo, hojarasca o vegetación	Solitario	No floral	Alta	NA	Depredador	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). Dolichopodidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life.

29	Coleoptera	Elateridae	Melanotus sp.	Mediano	Suelo	Solitario	No floral	Mediana	NA	Nectarívoro ocasional	Diurno y crepuscular	https://eol.org/pages/372 GBIF. (2024). Dolichopodidae Latreille, 1809. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3724 Johnson, P. J. (2002). Elateridae Leach 1815. In R. G. Beutel & R. A. B. Leschen (Eds.), <i>Handbook of Zoology: Coleoptera, Beetles</i> (Vol. 2). Walter de Gruyter. Encyclopedia of Life. (2024). Melanotus genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2769950 GBIF. (2024). Melanotus Eschscholtz, 1829. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407471 Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). <i>The Ants</i> . Harvard University Press.
30	Hymenoptera	Formicidae	Formicidae	Pequeño	Suelo, madera, hojarasca o cavidades	Eusocial	No floral	Alta	No legítima	Omnivoro	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). Formicidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/332 GBIF. (2024). Formicidae Latreille, 1809. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3324 Michener, C. D. (2007). <i>The Bees of the World</i> (2nd ed.). Johns Hopkins University Press.
31	Hymenoptera	Halictidae	Augochlora cf. pura	Pequeño	Suelo	Solitario/Semisocial	Generalista	Alta	Legítima	Polinizador	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024).

3 2	Hymen optera	Halictida e	Augochl oropsis metallica	Pequ eño	Suelo	Semisocial/ Comunal	Gener alista	Alta	Legít ima	Polinizador	Diurno	Augochlora genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2745742 GBIF. (2024). Augochlora Smith, 1853. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1341406 Michener, C. D. (2007). <i>The Bees of the World</i> (2nd ed.). Johns Hopkins University Press. Encyclopedia of Life. (2024). Augochloropsis genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2745745 GBIF. (2024). Augochloropsis metallica (Fabricius, 1793). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1341408 Michener, C. D. (2007). <i>The Bees of the World</i> (2nd ed.). Johns Hopkins University Press. Encyclopedia of Life. (2024). Augochloropsis genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2745745 GBIF. (2024). Augochloropsis Cockerell, 1897. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1341407
3 3	Hymen optera	Halictida e	Augochl oropsis sp.	Pequ eño	Suelo	Semisocial/ Comunal	Gener alista	Alta	Legít ima	Polinizador	Diurno	

34	Coleoptera	Hydrophilidae	Cercyon sp.	Pequeño	Materia orgánica en descomposición, hojarasca, ambientes acuáticos	Solitario	No floral	Mediana	NA	Saprófago	Diurno y nocturno	Hansen, M. (1991). <i>The Hydrophiloid Beetles: Phylogeny, Classification and a Revision of the Genera</i> (Coleoptera, Hydrophiloidea). Biologiske Skrifter, 40, 1–367. Encyclopedia of Life. (2024). Cercyon genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2747380 GBIF. (2024). Cercyon Leach, 1817. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407387 Gauld, I. D. (1984). <i>An Introduction to the Ichneumonidae of Australia</i>. British Museum (Natural History). Encyclopedia of Life. (2024). Campopleginae subfamily data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2802823 GBIF. (2024). Campopleginae Förster, 1869. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/5602 Gauld, I. D., & Wahl, D. B. (2002). <i>The Ichneumonidae of Costa Rica. Memoirs of the American Entomological Institute</i>, 66, 1–768. Encyclopedia of Life. (2024). Agonocryptus genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life.
35	Hymenoptera	Ichneumonidae	Campopleginae	Mediano	Parasitoide	Solitario	Néctar	Alta	Legítima	Nectarívoro	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). Campopleginae subfamily data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2802823 GBIF. (2024). Campopleginae Förster, 1869. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/5602 Gauld, I. D., & Wahl, D. B. (2002). <i>The Ichneumonidae of Costa Rica. Memoirs of the American Entomological Institute</i>, 66, 1–768. Encyclopedia of Life. (2024). Agonocryptus genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life.
36	Hymenoptera	Ichneumonidae	Agonocryptus discoidales	Mediano	Parasitoide	Solitario	Néctar	Alta	Legítima	Nectarívoro	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). Agonocryptus genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life.

3 7	Hymen optera	Ichneum onidae	Ichneum on sp.2	Medi ano	Parasitoid	Solitario	Néctar	Alta	Legít ima	Nectarívoro	Diurno	https://eol.org/pages/2901847 GBIF. (2024). <i>Agonocryptus discoidalis</i> (Cresson, 1872). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1281547 Gauld, I. D. (1991). <i>The Ichneumonidae of Costa Rica</i> . Memoirs of the American Entomological Institute, 47(1), 1–589. Encyclopedia of Life. (2024). <i>Ichneumon</i> genus data - TraitBank. https://eol.org/pages/2899925 GBIF. (2024). <i>Ichneumon</i> Linnaeus, 1758. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1277713 Gauld, I. D. (1991). <i>The Ichneumonidae of Costa Rica</i> . Memoirs of the American Entomological Institute, 47(1), 1–589.
												Quicke, D. L. J. (2015). <i>The Braconid and Ichneumonid Parasitoid Wasps: Biology, Systematics, Evolution and Ecology</i> . Wiley-Blackwell. Encyclopedia of Life. (2024). <i>Ichneumonidae</i> family data - TraitBank. https://eol.org/pages/331
3 8	Hymen optera	Ichneum onidae	Ichneum onidae	Medi ano	Parasitoid	Solitario	Néctar	Alta	Legít ima	Nectarívoro	Diurno	Quicke, D. L. J. (2015). <i>The Braconid and Ichneumonid Parasitoid Wasps: Biology, Systematics, Evolution and Ecology</i> . Wiley-Blackwell. Encyclopedia of Life. (2024). <i>Ichneumonidae</i> family data - TraitBank. https://eol.org/pages/331

												GBIF. (2024). Ichneumonidae Latreille, 1802. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3314
												Gauld, I. D. (1991). <i>The Ichneumonidae of Costa Rica</i> . Memoirs of the American Entomological Institute, 47(1), 1–589.
												Quicke, D. L. J. (2015). The Braconid and Ichneumonid Parasitoid Wasps: Biology, Systematics, Evolution and Ecology. Wiley-Blackwell.
3	Hymen	Ichneum	Ophion	Medi	Parasitoid	Solitario	Néctar	Alta	Legítima	Nectarívoro	Crepuscular y nocturno	Encyclopedia of Life. (2024). Ophion genus data - TraitBank. https://eol.org/pages/2902805
9	optera	onidae	sp.	ano	de							GBIF. (2024). Ophion Fabricius, 1798. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1280084
												Gauld, I. D. (1991). <i>The Ichneumonidae of Costa Rica</i> . Memoirs of the American Entomological Institute, 47(1), 1–589.
4	Hymen	Ichneumo	Ophioni	Medi	Parasitoid	Solitario	Néctar	Alta	Legítima	Nectarívoro	Crepuscular y nocturno	Encyclopedia of Life. (2024). Ophioninae subfamily data - TraitBank. https://eol.org/pages/544437
0	optera	nidae	nae	ano	de							GBIF. (2024). Ophioninae Shuckard,

4											1840. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/5606
1	Diptera	Limoniidae	Limoniidae 1	Pequeño	Suelo, materia orgánica	Solitario	No floral	Alta	NA	Nectarívoro ocasional	Gelhaus, J. (1986). Crane fly biogeography and habitat specialization: Limoniidae. <i>Annual Review of Entomology</i> , 31, 263–283. https://doi.org/10.1146/annurev.en.31.010186.001403 . Encyclopedia of Life. (2024). Limoniidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/375 . GBIF. (2024). Limoniidae Speiser, 1909. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3757 Gelhaus, J. (1986). Crane fly biogeography and habitat specialization: Limoniidae. <i>Annual Review of Entomology</i> , 31, 263–283. https://doi.org/10.1146/annurev.en.31.010186.001403 . Encyclopedia of Life. (2024). Limoniidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/375 . GBIF. (2024). Limoniidae Speiser, 1909. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3758
4											
2	Diptera	Limoniidae	Limoniidae 2	Pequeño	Suelo, materia orgánica	Solitario	No floral	Alta	NA	Nectarívoro ocasional	Diurno y crepuscular Encyclopedia of Life. (2024). Limoniidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/375 . GBIF. (2024). Limoniidae Speiser, 1909. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3758

4 3	Diptera	Muscidae	Musca domestica	Mediano	Materia Orgánica en descomposición	Solitario (vive en agregaciones, no hay cooperación)	No floral	Alta	NA	Saprófago	Diurno	Scott, H. G., & Lettig, K. S. (1962). <i>The house fly: Biology and control</i>. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Encyclopedia of Life. (2024). <i>Musca domestica</i> data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/732505 GBIF. (2024). <i>Musca domestica</i> Linnaeus, 1758. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1527270 Couri, M. S. (2007). A key to the Muscidae genera (Diptera) associated with decomposing substrates. <i>Revista Brasileira de Entomologia</i>, 51(3), 361–365. Encyclopedia of Life. (2024). Muscidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/388 GBIF. (2024). Muscidae Latreille, 1802. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3880 Leschen, R. A. B., & Carlton, C. E. (1990). A revision of the genus <i>Carpophilus</i> (Coleoptera: Nitidulidae) from America North of Mexico. <i>Annals of the Entomological Society of America</i>, 83(6), 1030–1057.
4 4	Diptera	Muscidae	Muscidae	Mediano	Materia Orgánica en descomposición	Solitario (vive en agregaciones, no hay cooperación)	No floral	Alta	NA	Saprófago	Diurno	
4 5	Coleoptera	Nitidulidae	Carpophilus sp.	Pequeño	Frutas y materia vegetal en fermentación	Solitario (vive en agregaciones, no hay cooperación)	Néctar, polen, savia	Mediana	Legítima	Saprófago/Frugívoro/Nectarívoro	Diurno	

												1833. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3342
												Keller, S. (2000). Ecology and control of the European cockchafer (<i>Melolontha melolontha</i>). <i>Integrated Pest Management Reviews</i> , 5(2), 81–86. https://doi.org/10.1023/A:1009621103369 .
48	Coleoptera	Scarabaeidae	Melolontha melolontha	Grande	Suelo	Solitario	No floral	Mediana	NA	Fitófago	Crepuscular y nocturno	Encyclopedia of Life. (2024). <i>Melolontha melolontha</i> data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/117238 GBIF. (2024). <i>Melolontha melolontha</i> (Linnaeus, 1758). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1093413 Coville, R. E. (1987). Spider-hunting sphecid wasps. In H. R. Hermann (Ed.), <i>Social insects</i> (Vol. 2, pp. 309–350). Academic Press.
49	Hymenoptera	Sphecidae	Chalybion californicum	Mediano	Cavidades (nidos abandonados)	Solitario	Néctar	Alta	Legítima	Nectarívoro	Diurno	Encyclopedia of Life. (2024). <i>Chalybion californicum</i> data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/2745672 GBIF. (2024). <i>Chalybion californicum</i> (de Saussure, 1867). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/1341347

50	Coleoptera	Staphylinidae	Ocypus sp.	Mediano	Suelo, materia orgánica	Solitario	No floral	Alta	NA	Depredador	Crepuscular y nocturno	Thayer, M. K. (2016). Family 22. Staphylinidae Latreille, 1802. In Beutel, R. G., & Leschen, R. A. B. (Eds.), <i>Handbook of Zoology: Coleoptera, Volume 1</i>. Walter de Gruyter. Encyclopedia of Life. (2024). Ocypus genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/1015447 GBIF. (2024). Ocypus Leach, 1819. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4406558 Stireman, J. O., O'Hara, J. E., & Wood, D. M. (2006). Tachinidae: Evolution, Behavior, and Ecology. <i>Annual Review of Entomology</i>, 51(1), 525–555. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151133 Encyclopedia of Life. (2024). Tachinidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/372 GBIF. (2024). Tachinidae Robineau-Desvoidy, 1830. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3722
51	Diptera	Tachinidae	Tachinidae	Mediano	No anidan (ponen huevos sobre o cerca de hospedadores)	Solitario	Néctar, polen	Alta	Legítima	Nectarívoro	Diurno	Thayer, M. K. (2016). Family 22. Staphylinidae Latreille, 1802. In Beutel, R. G., & Leschen, R. A. B. (Eds.), <i>Handbook of Zoology: Coleoptera, Volume 1</i>. Walter de Gruyter. Encyclopedia of Life. (2024). Ocypus genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/1015447 GBIF. (2024). Ocypus Leach, 1819. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4406558 Stireman, J. O., O'Hara, J. E., & Wood, D. M. (2006). Tachinidae: Evolution, Behavior, and Ecology. <i>Annual Review of Entomology</i>, 51(1), 525–555. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151133 Encyclopedia of Life. (2024). Tachinidae family data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/372 GBIF. (2024). Tachinidae Robineau-Desvoidy, 1830. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/3722

5 2	Coleopt era	Tenebrio nidae	Blaps sp.	Medi ano	Suelo	Solitario	No floral	Baja	NA	Detritívoro/Fitófag o	Noctur no	Matthews, E. G., & Bouchard, P. (2008). <i>Tenebrionid Beetles of Australia: Descriptions of Tribes</i> . Australian Biological Resources Study. Encyclopedia of Life. (2024). Blaps genus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/340279 GBIF. (2024). Blaps Fabricius, 1775. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407291 Booth, D. T., & Kiddell, K. (2007). A review of Alphetobius species as pests of stored products. <i>Journal of Stored Products Research</i> , 43(3), 343–348. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.07.004 Encyclopedia of Life. (2024). Alphetobius laevigatus data - TraitBank. Encyclopedia of Life. https://eol.org/pages/340300 GBIF. (2024). Alphetobius laevigatus (Fabricius, 1781). Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/species/4407292 Matthews, E. G., & Bouchard, P. (2008). <i>Tenebrionid Beetles of Australia: Descriptions of Tribes</i> . Australian Biological Resources
5 3	Coleopt era	Tenebrio nidae	Alphetobi us laevigatu s	Pequ eño	Suelo, materia orgánica	Solitario	No floral	Medi a	NA	Detritívoro	Noctur no	Matthews, E. G., & Bouchard, P. (2008). <i>Tenebrionid Beetles of Australia: Descriptions of Tribes</i> . Australian Biological Resources
5 4	Coleopt era	Tenebrio nidae	Corticeu s sp.	Pequ eño	Suelo, madera en descomp	Solitario	No floral	Medi a	NA	Detritívoro/Micófa go	Noctur no	Matthews, E. G., & Bouchard, P. (2008). <i>Tenebrionid Beetles of Australia: Descriptions of Tribes</i> . Australian Biological Resources

(Linnaeus, 1758). Global Biodiversity
Information Facility.
[https://www.gbif.org/species/1341
201](https://www.gbif.org/species/1341201)

Nota: Elaboración propia (2025).

Tabla 3

Lista de especies de flora registradas en las tres fincas de estudio.

Familia	Especie	Nombre común	Finca Agroecológica (Luis Lima)	Finca Convencional (Germán Vega)	Finca Mixta (Miguel Pando)
Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i>	Algarrobo	6	19	11
Fabaceae	<i>Inga edulis</i>	Guaba	3	0	4
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	4	0	9
Liliopsida	<i>Canna indica</i>	Achira	5	0	44
Orchidaceae	<i>Apostasia</i>	Orquídea	22	0	41
Asteraceae	<i>Ageratum</i>	Flor azul	123	210	47
Asteraceae	<i>Chromolaena odorata</i>	Pata de gallina/Escobilla	13	31	52
Fabaceae	<i>Lupinus luteus</i>	Chocho	0	2	30
Brassicaceae	<i>Aubrieta deltoidea</i>	Berro de roca	24	0	24
Orobanchaceae	<i>Castilleja arvensis</i>	Castilleja	0	0	7
Malvaceae	<i>Pavonia sepium</i>	Malva de monte	7	2	5
Solanaceae	<i>Solanum quitoense</i>	Naranjilla	5	0	3
Juglandaceae	<i>Juglans neotropica</i>	Nogal	2	0	4
Bromeliaceae	<i>Bromeliaceae</i>	Bromelia/Piñuela	59	3	30
Piperaceae	<i>Piper</i>	Cordoncillo	0	0	20
Solanaceae	<i>Solanum torvum</i>	Berenjena silvestre	0	0	4
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i>	Amor seco	90	19	46
Lamiaceae	<i>Lamiaceae</i>		0	0	67
Amaranthaceae	<i>Alternanthera porrigens</i>	Moradilla	0	8	25
Apiaceae	<i>Apiaceae</i>		24	50	16
Rutaceae	<i>Citrus x aurantium</i>	Naranja agria	0	0	2
Musaceae	<i>Musa sp.</i>	Plátano/Banano	16	3	2
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	Níspero	0	0	9
Rosaceae	<i>Rubus boliviensis</i>	Mora	0	10	0
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i>	Trébol de monte	25	70	0
Urticaceae	<i>Pilea pumila</i>	Hortiga	0	100	0
Verbenaceae	<i>Lippia</i>	Salvia silvestre	0	10	25
Asteraceae	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	0	7	0
Lamiaceae	<i>Lantana camara</i>	Supirrosa	0	10	0
Fabaceae	<i>Lupinus luteus</i>	Chiocho amarillo	0	2	0
Fabaceae	<i>Crotalaria retusa</i>	Ala de pico	0	18	0

Convolvulacea e	<i>Ipomoea violaceae</i>	Gloria de la mañana	15	13	0
Total			443	587	527

Nota: Elaboración propia (2025).

Anexo 2: Fotografías de las especies de insectos representativos en el estudio.



Figura A1. Cantharidae
Cantharis sp.



Figura A2. Chrysomelidae
Colaspis sp.



Figura A3. Buprestidae
Agrilus sp.



Figura A4. Chrysomelidae
Monolepta



Figura A5. Cerambycidae
Placosternus erythropus



Figura A6. Dermestidae
Dermestes



Figura A7. Apidae
Ceratina sp.



Figura A8. Ichneumonidae
Campopleginae



Figura A9. Halictidae
Augochloropsis sp.



Figura A10. Cleridae
Thricodes sp.



Figura A11. Halictidae
Augochloropsis sp.2



Figura A12. Apidae
Euglossa cf. *charapensis*



Figura A13. Chrysomelidae
Podagrica sp.



Figura A14. Elateridae
Melanothus sp.



Figura A15. Chrysomelidae
Alticinae



Figura A16. Chrysididae
Chrysis sp.



Figura A17. Ichneumonidae
Cryptinae



Figura A18. Chrysomelidae
Podagrica cf. *fuscicornis*



Figura A20. Tenebrionidae
Blaps sp.



Figura A21. Tenebrionidae
Corticeus sp.



Figura A22. Hydroptilidae
Cercyon sp.



Figura A22. Scarabeidae
Melolontha melolontha



Figura A23. Ichneumonidae
Ophion sp.



Figura A24. Halictidae
Augochloropsis metallica

Anexo 3: Fotografías de flora registrada en sistemas agroforestales de café.



Figura B1. *Bidens Pilosa*



Figura B2. *Vachellia macracantha*



Figura B3. Bromeliaceae



Figura B4. *Baccharis latifolia*



Figura B5. *Alternanthera porrigens*



Figura B6. *Ageratum* sp.



Figura B7. *Pavonia sepium*



Figura B8. *Solanum torvum*



Figura B9. Apiaceae



Figura B10. *Apostasia*



Figura B11. *Crotalaria retusa*



Figura B12. *Aubrieta*



Figura B13. *Musa* sp.



Figura B14. *Coffea arabica*



Figura 15. *Castilleja* sp.

