

ARTÍCULO ORIGINAL

Influencia de pisos altitudinales en la riqueza y abundancia de polinizadores en sistemas agroforestales y convencionales de cacao, Boquerón-Ucayali, 2025

Javier Carlos Vela^{1,a}  

Filiación Institucional

¹. Sede Operativa Forestal y Fauna Silvestre de Padre Abad-Gobierno Regional de Ucayali.

Grado Académico

^a. Ingeniero en recursos naturales renovables forestales.

Palabras clave:

Diversidad biológica;
Gestión agrícola;
Microhábitat larval;
Polinización; Servicios
de los ecosistemas.

RESUMEN

La polinización del cacao (*Theobroma cacao*) depende críticamente de dípteros del género *Forcipomyia* spp. (Ceratopogonidae), cuya persistencia está supeditada a microhábitats larvales específicos y condiciones microclimáticas estables. Este estudio evaluó el efecto combinado del piso altitudinal y el sistema de cultivo agroforestal frente a convencional, sobre la riqueza y abundancia de estos polinizadores en el clon CCN-51 del distrito de Boquerón, Ucayali. Mediante un diseño factorial cuasiexperimental (2×3) con tres réplicas por tratamiento, se muestrearon 18 parcelas entre marzo y agosto de 2025 empleando cajas de emergencia con hojarasca y cáscaras de cacao. Los análisis estadísticos no paramétricos (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney, Spearman) y la prueba exacta de Fisher confirmaron la ausencia total de Ceratopogonidae en todas las parcelas, independientemente del piso altitudinal o del tipo de sistema. Se identificaron 23 morfoespecies de artrópodos no polinizadores, predominantemente Sciaridae (Díptera), con mayor abundancia en sistemas agroforestales. La ausencia de polinizadores efectivos se atribuye a la eliminación sistemática de sustratos larvales mediante prácticas agrícolas intensivas, limpieza del suelo, uso generalizado de agroquímicos y escasa acumulación de materia orgánica, situación que evidencia un colapso funcional del servicio ecosistémico de polinización, independiente de la altitud o el tipo de sistema.

The Influence of Altitudinal Zonation on the Richness and Abundance of Pollinators for Agroforestry and Conventional Cacao Systems in Boquerón, Ucayali During 2025

Key words:

agricultural
management; biological
diversity; ecosystem
services; larval
microhabitat; pollination.

ABSTRACT

The pollination of cacao (*Theobroma cacao*) depends critically on midges of the genus *Forcipomyia* spp. (Ceratopogonidae), whose persistence is conditioned by specific larval microhabitats and stable microclimatic conditions. This study evaluated the combined effect of altitudinal zonation and cultivation system agroforestry versus conventional, on the richness and abundance of these pollinators in the CCN-51 clone in the Boquerón district, Ucayali. Using a quasi-experimental factorial design (2×3) with three replicates per treatment, 18 plots were sampled between March and August 2025 using emergence boxes with leaf litter and cacao husks. Non-parametric statistical analyses (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney, Spearman) and Fisher's exact test confirmed the total absence of Ceratopogonidae across all plots, regardless of altitudinal zone or system type. Twenty-three morphospecies of non-pollinating arthropods were identified, predominantly Sciaridae (Diptera), with higher abundance in agroforestry systems. The absence of effective pollinators is attributed to the systematic elimination of larval substrates through intensive agricultural practices, soil cleaning, widespread agrochemical use, and scarce organic matter accumulation, evidencing a functional collapse of the pollination ecosystem service, independent of altitude or system type.

Citar como: Carlos Vela, J., Influencia de pisos altitudinales en la riqueza y abundancia de polinizadores en sistemas agroforestales y convencionales de cacao, Boquerón-Ucayali, 2025. Revista de Investigación y Amazonía. 2026, 16(1):44-60. DOI: <https://doi.org/10.69507/revia.5.16.1.461>

INTRODUCCIÓN

Las sociedades transforman conscientemente los bosques tropicales para obtener ciertos servicios ecosistémicos, sobre todo los de suministro, con el objetivo de mejorar su calidad de vida (Balvanera, P. 2012) y la actividad cacaotera en la región Ucayali ha cobrado relevancia como fuente de ingresos para miles de familias rurales, siendo una alternativa económica en el distrito de Boquerón, provincia de Padre Abad y el avance de este cultivo ha generado modificación del paisaje agrícola, generado cambios profundos en la estructura ecológica del entorno, afectando directamente a los procesos naturales que sustentan la producción sostenible, como es el caso del servicio ecosistémico de regulación mediante la polinización, un proceso esencial para la fructificación del cacao.

El árbol del cacao, *Theobroma cacao*, posee una morfología floral altamente especializada que permite la polinización principalmente por mosquitos *Ceratopogonidae* (Arnold et al. 2019), ya que menos del 5 % de sus flores llegan a convertirse en fruto sin la intervención de agentes biológicos eficientes y este servicio depende casi exclusivamente de pequeños dípteros del género *Forcipomyia*, insectos altamente especializados, cuya presencia está ligada a condiciones muy específicas de humedad, sombra y materia orgánica en descomposición. El rendimiento de este cultivo depende de la transferencia exitosa de polen entre las flores; se ha observado que la exclusión de polinizadores en algunos cultivares reduce la fructificación a cero (Bos et al., 2007)

En Boquerón existe un gradiente altitudinal que genera variaciones de temperatura y humedad relativa, además de plantaciones de *Theobroma cacao* L. (cacao) en sistema convencional (monocultivo) y agroforestal, que nos conlleva a preguntarnos, ¿Como influye los pisos altitudinales en la riqueza y abundancia de polinizadores en sistemas agroforestales y convencionales de cacao en el distrito de Boquerón-Ucayali, periodo 2025?

En la actualidad no existen estudios locales que evalúen cómo interactúan estos insectos con el tipo de sistema de cultivo en diferentes piso o gradientes altitudinales y como estos podrían afectar o beneficiar a la microfauna de insectos benéficos.

La investigación se basó en cuantificar la riqueza y abundancia de polinizadores del cacao por piso altitudinal, contrastar ambos sistemas de cultivo y correlacionar las variables de manejo y microclima

con la presencia de estos insectos. Inicialmente, se planteó que los agroforestales de mayor elevación, gracias a su dosel y hojarasca, sostendrían mayores poblaciones que los monocultivos de zonas bajas. No obstante, los hallazgos evidencian una realidad opuesta, aportando nuevos argumentos para otras investigaciones sobre la biodiversidad funcional en cacaotales tropicales.

El objetivo general consistió en evaluar la influencia del piso altitudinal sobre la riqueza y abundancia de polinizadores del T. cacao, en sistemas agroforestales y convencionales en Boquerón-Ucayali, durante el periodo 2025 y los objetivos específicos fueron determinar la riqueza y abundancia de polinizadores del T. cacao en diferentes pisos altitudinales, comparar la riqueza y abundancia de polinizadores entre sistemas agroforestales y convencionales del T. cacao en cada piso altitudinal y por último el análisis de la relación entre variables de contexto paisajístico, clima local, microhábitat, manejo agrícola, intensidad de floración, productivo y la riqueza y abundancia de polinizadores en los diferentes pisos altitudinales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se ejecutó en el distrito de Boquerón, provincia de Padre Abad, Ucayali, Perú. Este espacio se caracteriza por poseer una zona de vida clasificada como Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T), presentando una variación topográfica, ya que su gradiente altitudinal abarca desde 280 m.s.n.m (parte mas baja) hasta 1 850 m.s.n.m (parte mas alta del distrito). La población de estudio estuvo constituida por la comunidad de dípteros polinizadores del género *Forcipomyia* spp. y otros *Ceratopogonidae* asociados a plantaciones de T. cacao (clon CCN-51).

Dada la ausencia de un promedio estandarizado de densidad poblacional por hectárea en la literatura, la muestra se seleccionó de manera no probabilística y dirigida, conformada por 18 parcelas de 1 000 m². Estas unidades se distribuyeron equitativamente en tres pisos altitudinales (Bajo: 280-329 m.s.n.m.; Medio: 330-539 m.s.n.m.; Alto: 540-640 m.s.n.m.) y dos sistemas de cultivo (agroforestal y convencional).

La unidad de análisis se definió como la riqueza y abundancia de artrópodos edáficos emergentes colectados en 90 subparcelas de 0,25 m² (0,5 m × 0,5 m), garantizando la representatividad del microhábitat larval.

Figura 01. Distribución de las parcelas de muestreo

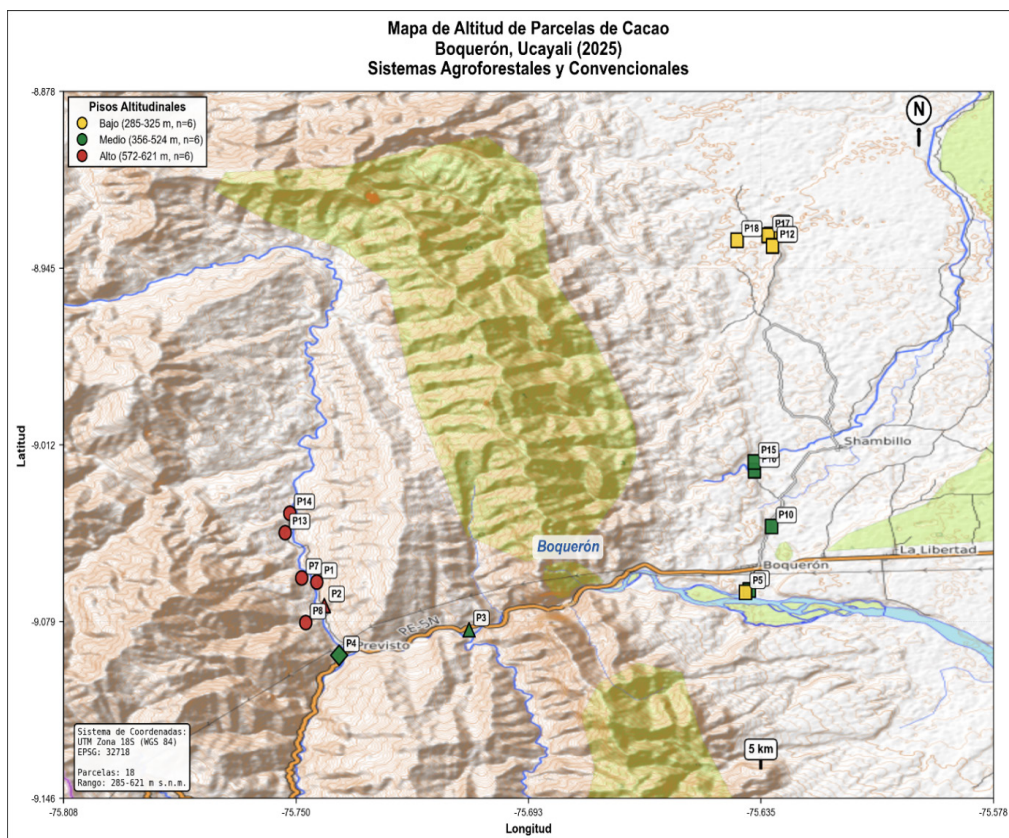


Tabla 01. Ubicación en Coordenadas UTM, Datum WG84, Zona 18S.

Parcela	CC.PP				
	Código	ESTE	NORTE	Altitud (m)	
P1	T3R1/AG	418125	8998036	615	Inca Garcilazo
P2	T3R2/CV	418329	8997052	572	Inca Garcilazo
P3	T2R3/AG	422272	8996049	478	Hidayacu
P4	T2R4/CV	418737	8994958	524	CC.PP Previsto
P5	T1R5/AG	429787	8997632	325	Sector Rio Yurac
P6	T1R6/CV	430451	9012637	297	Shambo
P7	T3R7/AG	417708	8998205	621	Nueva Palestina
P8	T3R8/CV	417825	8996326	613	Nueva Palestina
P9	T2R9/AG	429891	8997729	381	Sector Rio Yurac
P10	T2R10/CV	430496	9000383	364	Shambillo primer rio
P11	T1R11/AG	430502	9012156	285	Shambo
P12	T1R12/CV	430119	9013184	286	Shambo
P13	T1R13/AG	417254	9000095	592	Nueva Palestina
P14	T1R14/CV	417382	9000922	582	Nueva Palestina
P15	T2R15/AG	430013	9003097	356	Alto Shambillo
P16	T2R16/CV	430027	9002720	358	Alto Shambillo
P17	T3R17/AG	430379	9012596	291	Shambo
P18	T3R18/CV	429537	9012495	295	Shambo

Enfoque y diseño de la investigación

El presente estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo de tipo observacional-comparativo y alcance descriptivo-correlacional, con un diseño no experimental transversal ex post facto (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Kerlinger & Lee, 2002). Este enfoque es particularmente adecuado en investigaciones de campo donde los procesos biológicos, como la polinización dependen de complejas interacciones entre factores abióticos (clima, suelo, microhábitat) y antrópicos (manejo agrícola, sistema de cultivo), los cuales no pueden ni deben ser alterados experimentalmente por razones éticas, logísticas o ecológicas.

Con respecto al diseño es no experimental transversal (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018), caracterizado por la observación de fenómenos ecológicos en su contexto natural sin manipulación deliberada de variables, donde se implementó un muestreo estratificado en seis estratos definidos por la combinación de piso altitudinal y sistema de manejo, siguiendo los criterios de Toledo-Hernández et al., (2021) para estudios en gradientes ambientales neotropicales.

Protocolo de muestreo

El muestreo de hojarasca se realizó en cada parcela de 1000 m² (50 m x 20 m) subdividida en 10

subparcelas de 10 x 10 m, de los cuales, se seleccionaron 5 cuadrantes de 0.5m x 0.5m cada uno, de donde se recolectó material vegetativo como hojarasca y otros residuos en descomposición de la parte central del cuadrante, como lo recomienda Córdoba et al. (2013). Antes de la recolección de las muestras se utilizó un formato de campo, donde se registró las coordenadas geográficas mediante un gps, se tomó medidas de la temperatura ambiente y humedad relativa, usando un higrómetro digital calibrado. También se registró información relacionado al desarrollo de las variables e indicadores de la investigación.

El material vegetal en descomposición fue trasladado a cajas de emergencia diseñadas para simular condiciones óptimas de humedad y sombra, permitiendo el desarrollo larval y la emergencia de adultos de Ceratopogonidae y otros artrópodos durante un periodo de 28 días. Esta metodología se seleccionó porque permite capturar estadios inmaduros que emergen de sustratos de reproducción, ofreciendo mayor especificidad taxonómica que métodos alternativos como barrido de flores o trampas adhesivas (Winder et al., 2019).

Los insectos capturados se depositaron en frascos de 200 ml de capacidad con alcohol al 70% y enviados al laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde fueron identificados por un especialista.

Figura 02. Demarcación de parcela de muestreo



Figura 03. Recolección de muestras de hojarasca, zona Rio Yura



Figura 04. Extracción de insectos y otros artrópodos de la trampa con sacarosa al 20%.



Figura 05. Insectos aún no identificados



Procesamiento y análisis estadístico de los datos

El procesamiento y la inferencia estadística se realizaron en los entornos de programación R (versión 4.4.0, R Core Team, 2023) y Python (v. 3.11), garantizando la transparencia y reproducibilidad del análisis ecológico (Zuur et al., 2009). Dado que el muestreo evidenció una ausencia total (cero capturas) de la familia Ceratopogonidae en las 18 parcelas, se descartó el uso de modelos inferenciales convencionales por falta de varianza en la variable respuesta. En su lugar, se aplicó la prueba exacta de Fisher (McDonald, 2014) para evaluar la asociación entre esta ausencia universal y los factores de estratificación, dado su robustez ante frecuencias esperadas nulas o extremadamente bajas.

No obstante, para evaluar la calidad del microhábitat a través de la comunidad de otros artrópodos edáficos (como Sciaridae y Formicidae), se realizaron pruebas de normalidad mediante el estadístico de Shapiro-Wilk, confirmando una distribución no normal y con sobredispersión (varianza > media; $p < 0,001$).

Dado que los datos de abundancia de otros artrópodos no presentaron distribución normal (Shapiro-Wilk, $p < 0,001$) y mostraron sobre dispersión (varianza > media), se optó por un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución binomial negativa, el cual es especialmente adecuado para datos de conteo con exceso de ceros y alta variabilidad, como es común en estudios de ecología de comunidades (Arnold et al., 2018). El modelo incluyó como variables predictoras el sistema productivo (agroforestal vs. convencional) y el piso altitudinal (bajo, medio, alto), así como su interacción, permitiendo evaluar no solo los efectos

principales, sino también cómo estos factores se combinan para influir en la respuesta biológica. Adicionalmente, se complementó el análisis con pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis y Dunn) y correlaciones de Spearman para variables continuas (temperatura, humedad, espesor de hojarasca), tal como lo recomiendan Ríos-Moyano et al. (2025) en estudios de polinización en sistemas cacaoteros tropicales.

RESULTADOS

Determinación de la riqueza y abundancia de polinizadores por pisos altitudinales

Los resultados muestran una ausencia total y homogénea en todos los niveles altitudinales evaluados (Bajo: <300 m, Medio: 300-500 m, Alto: >500 m), en ambos casos, todos los valores reales de abundancia y riqueza son 0 en las 18 parcelas muestreadas (Tabla 2).

La prueba exacta de Fisher confirmó la ausencia de diferencias entre pisos altitudinales ($p = 1,000$), resultado coherente con la nula varianza observada en la variable respuesta. Los resultados muestran una ausencia total y homogénea en todos los niveles altitudinales evaluados (Bajo: <300 m, Medio: 300-500 m, Alto: >500 m), en ambos casos, todos los valores reales de abundancia y riqueza son 0 en las 18 parcelas muestreadas.

Tabla 2. Riqueza y abundancia de polinizadores por piso altitudinal y sistema de cultivo (Boquerón-Ucayali, 2025)

Piso altitudinal	N° parcelas	Riqueza Forcipomyia	Abundancia (ind.)
Bajo (285-329 m)	3	0	0
Bajo (285-329 m)	3	0	0
Medio (330-539 m)	3	0	0
Medio (330-539 m)	3	0	0
Alto (540-640 m)	3	0	0
Alto (540-640 m)	3	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir del muestreo de campo (marzo-agosto de 2025).

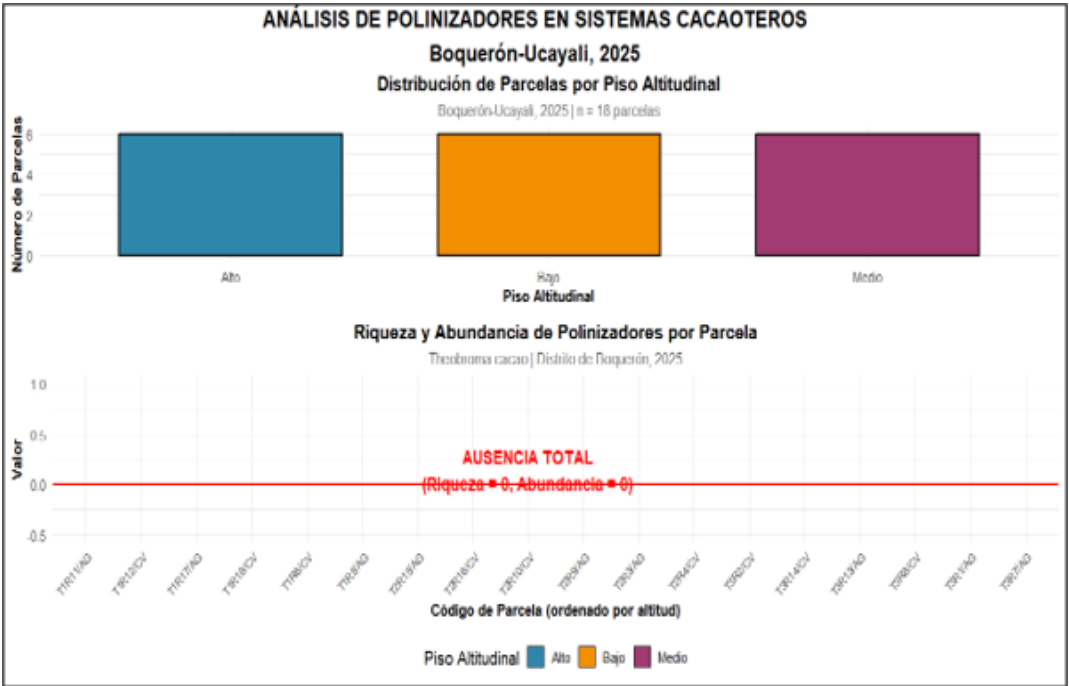


Figura 06. Riqueza y abundancia de polinizadores de cacao en función del piso altitudinal

La distribución de las 18 parcelas evaluadas en el distrito de Boquerón se estratificó equitativamente en tres pisos altitudinales (Bajo: 285-329 m.s.n.m., Medio: 330-539 m.s.n.m. y Alto: 540-640 m.s.n.m.), con seis unidades muestrales por nivel, garantizando así la representatividad del gradiente ambiental evaluado (Figura 6, panel superior). No obstante, al analizar la riqueza y abundancia de polinizadores del género *Forcipomyia* spp. y otros *Ceratopogonidae* asociados al cultivo de *Theobroma cacao*, los resultados revelan un patrón de ausencia total y homogénea en la totalidad de las parcelas muestreadas, independientemente del piso altitudinal (Figura 6, panel inferior).

En este orden de ideas, tanto la riqueza como la abundancia arrojaron índices nulos (0) en las dieciocho parcelas evaluadas, constatando la inexistencia de poblaciones observables de estos dípteros en la zona durante la ventana de muestreo (marzo-agosto de 2025). Frente a este panorama, y en contraste con la variabilidad biogeográfica que se anticipaba por el gradiente altitudinal, los datos apuntan a que presiones antrópicas y ambientales más determinantes, tales como la remoción continua de sustratos de cría, un microclima desfavorable y un manejo agronómico intensivo, anularon por completo la influencia de la elevación sobre la entomofauna, dando lugar a un colapso funcional del servicio de polinización en los cacaotales de Boquerón.

Comparación de la riqueza y abundancia de polinizadores del cacao entre sistemas agroforestales y convencionales

Tanto la riqueza como la abundancia de *Forcipomyia*

spp. y de otros *Ceratopogonidae* registraron valores nulos en la totalidad de las unidades muestrales y a lo largo de todos los meses de evaluación, comprendidos entre marzo y agosto del año 2025.

Tabla 3. Riqueza y abundancia de polinizadores por tipo de sistema de cultivo (Boquerón-Ucayali, 2025).

Sistema	N° parcelas	Riqueza <i>Forcipomyia</i>	Abundancia (ind.)
Agroforestal	3	0	0
Convencional	3	0	0
Agroforestal	3	0	0
Convencional	3	0	0
Agroforestal	3	0	0
Convencional	3	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir del muestreo de campo (marzo-agosto de 2025).

La distribución de las 18 parcelas evaluadas en el distrito de Boquerón se estratificó equitativamente entre los dos sistemas de cultivo analizados, con nueve unidades muestrales correspondientes al sistema agroforestal y nueve al sistema convencional, garantizando así la comparabilidad entre tratamientos (Figura 7, panel superior).

No obstante, al analizar la riqueza y abundancia de polinizadores del género *Forcipomyia* spp. y otros *Ceratopogonidae* asociados al cultivo de *T. cacao*, los resultados revelan un patrón de ausencia total y homogénea en la totalidad de las parcelas muestreadas, independientemente del sistema de cultivo evaluado (Figura 7, panel inferior). En efecto,

tanto la riqueza como la abundancia registraron valores de cero (0) en las 18 unidades de análisis, lo que evidencia la inexistencia de poblaciones detectables de estos dípteros polinizadores en el área de estudio durante el periodo de muestreo (marzo-agosto de 2025).

A diferencia de lo anticipado en función del sistema de cultivo, el resultado pone de manifiesto que presiones de mayor magnitud, tales como la remoción continua de sustratos de cría, un microclima desfavorable y un manejo agronómico intensivo, anularon cualquier beneficio potencial derivado de la complejidad del dosel sobre la entomofauna polinizadora.

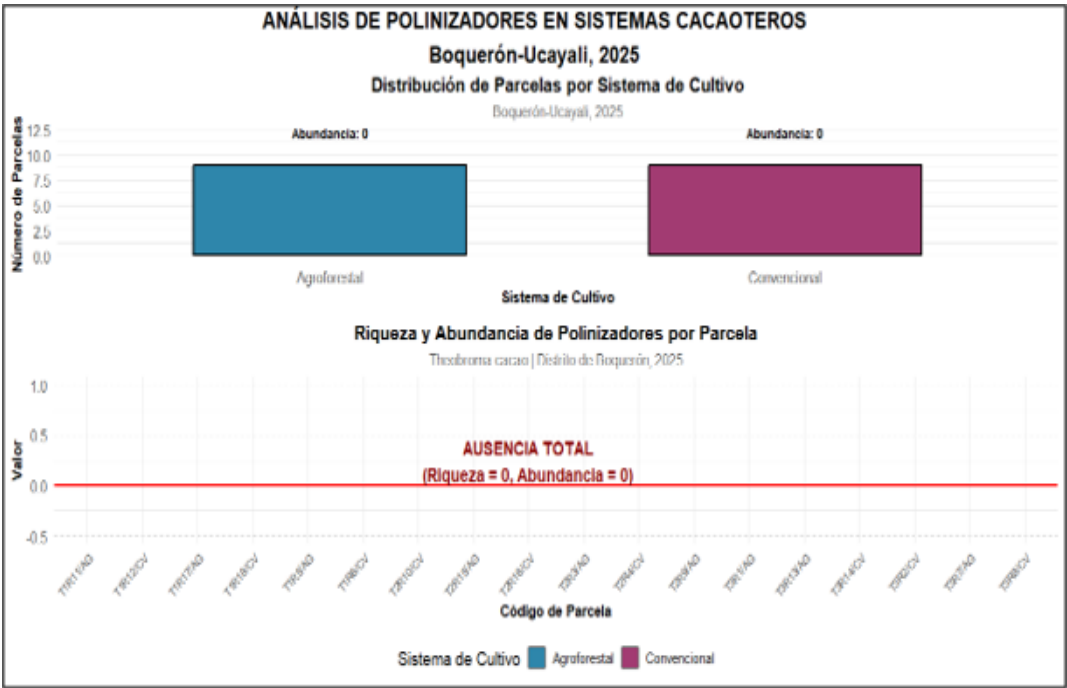


Figura 7. Riqueza y abundancia de polinizadores de cacao por tipo de sistema de cultivo.

Si bien la ausencia de polinizadores efectivos fue absoluta en ambas modalidades de manejo, las trampas de emergencia registraron 14 taxones distintos pertenecientes a 6 órdenes y 12 familias, distribuidos en 14 de las 18 parcelas muestreadas. La riqueza promedio por parcela fue de $1,6 \pm 0,7$

taxones, con un rango que va desde 1 hasta 3 taxones por parcela. Con respecto a la abundancia se recolectó 202 individuos, correspondientes a 23 morfoespecies de artrópodos sin rol polinizador, los cuales se hallaron presentes en catorce de las dieciocho unidades muestrales.

Tabla 4. Riqueza y abundancia de artrópodos no polinizadores por sistema de cultivo

Sistema	Parcelas con artrópodos (n)	Abundancia total (ind.)	Riqueza total (morfoesp.)
Agroforestal	9/9 (100%)	184 (91,1%)	18
Convencional	5/9 (55,6%)	18 (8,9%)	5
TOTAL	14/18	202	23

Fuente: Elaboración propia. Prueba de Mann-Whitney: $W = 71$, $p = 0,008$.

Los grupos taxonómicos más representativos en términos de riqueza fueron: Diptera-Sciaridae (presente en 6 parcelas), Hymenoptera-Formicidae (presente en 2 parcelas) y Coleoptera (presente en 4 familias distintas: Ptilodactylidae, Tenebrionidae, Driopidae, Staphylinidae, Scarabaeidae). El grupo

taxonómico dominante fue Diptera-Sciaridae (moscas de la tierra), con 141 individuos (69,8% del total), seguido de los coleópteros con 30 registros (14,9 %) y, en menor proporción, los himenópteros (Formicidae) con 9 individuos (4,5 %).

Tabla 5. Riqueza de grupos taxonómicos por parcela

Parcela	Grupos taxonómicos registrados	Riqueza
T3R1/AG	Diptera – Sciaridae, Hymenoptera – Formicidae	2
T3R2/CV	Collembola, Diptera – Cecidomyiidae, Diptera – Sciaridae	3
T2R3/AG	Coleoptera-Ptilodactylidae, Blattodea – Blattellidae	2
T1R5/AG	Coleoptera – Tenebrionidae, Blattodea – Blattellidae	2
T1R6/CV	Geophilomorpha	1
T3R7/AG	Diptera – Sciaridae, Lepidoptera-Gelechiidae	2
T3R8/CV	Geophilomorpha, Lepidoptera – Pyralidae	2
T2R9/AG	Diptera – Sciaridae, Coleoptera – Driopidae, Lepidoptera – Pyralidae	3
T1R11/AG	Diptera – Sciaridae	1
T3R13/AG	Psocoptera – Psocidae	1
T3R14/CV	Coleoptera – Staphylinidae	1
T2R15/AG	Hymenoptera – Formicidae	1
T2R16/CV	Coleoptera – Scarabaeidae	1
T1R17/AG	Diptera – Sciaridae	1
TOTAL		23

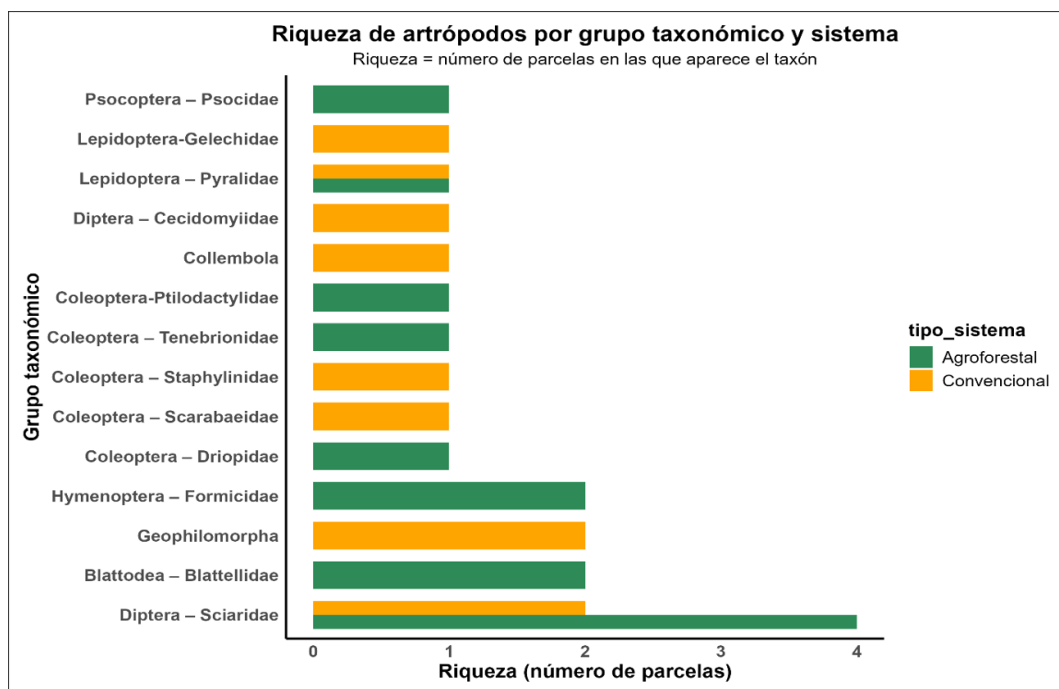


Figura 8. Riqueza de otros artrópodos por grupo taxonómico y sistema.



Figura 09. Muestras transportadas al laboratorio de entomología de la UNAS.



Figura 10. Extrayendo los insectos y otros artrópodos para su identificación.

La abundancia total por sistema agroforestal es de 184 individuos (91,1% del total), distribuidos en 9 parcelas y en el sistema convencional es de 18 individuos (8,9% del total), distribuidos en 5 parcelas. En los sistemas agroforestales, la abundancia varía desde 1 hasta 64 individuos por parcela, con una mediana de 19 individuos y en los sistemas convencionales, la abundancia varía desde 1 hasta 8 individuos por parcela, con una mediana de 3 individuos y en las parcelas convencionales con artrópodos registraron abundancias bajas en el T3R2/CV con 8 individuos, T1R6/CV con 2 individuos, T3R8/CV con 6 individuos, T3R14/CV con 1 individuo

y T2R16/CV con 1 individuo. Las parcelas con mayor abundancia son el T1R11/AG con 64 individuos (100% Diptera-Sciaridae), T1R17/AG con 54 individuos (100% Diptera-Sciaridae), T2R9/AG con 23 individuos (Diptera-Sciaridae, Coleoptera-Driopidae, Lepidoptera-Pyralidae). El grupo taxonómico dominante fue Diptera-Sciaridae (moscas de la tierra), con 141 individuos (69,8% del total), seguido por Coleoptera (30 individuos; 14,9%) y Hymenoptera - Formicidae (hormigas; 9 individuos; 4,5%).

La abundancia de otros artrópodos emergidos fue notablemente mayor en sistemas agroforestales, con

picos en las parcelas T1R11/AG (64 individuos) y T1R17/AG (54 individuos). En contraste, la mayoría de los sistemas convencionales mostraron abundancias bajas o nulas, lo que refleja una menor complejidad del microhábitat. La ausencia total de Ceratopogonidae en todas las parcelas sugiere que, incluso en los sistemas con mayor actividad biológica, las condiciones no son adecuadas para el desarrollo larval de *Forcipomyia* spp. Pero con respecto a otros artrópodos en los sistemas agroforestales, la

abundancia varía desde 1 hasta 64 individuos por parcela, con una mediana de 19 individuos y en los sistemas convencionales, la abundancia varía desde 1 hasta 8 individuos por parcela, con una mediana de 3 individuos y en las parcelas convencionales con artrópodos registraron abundancias bajas en el T3R2/CV con 8 individuos, T1R6/CV con 2 individuos, T3R8/CV con 6 individuos, T3R14/CV con 1 individuo y T2R16/CV con 1 individuo.

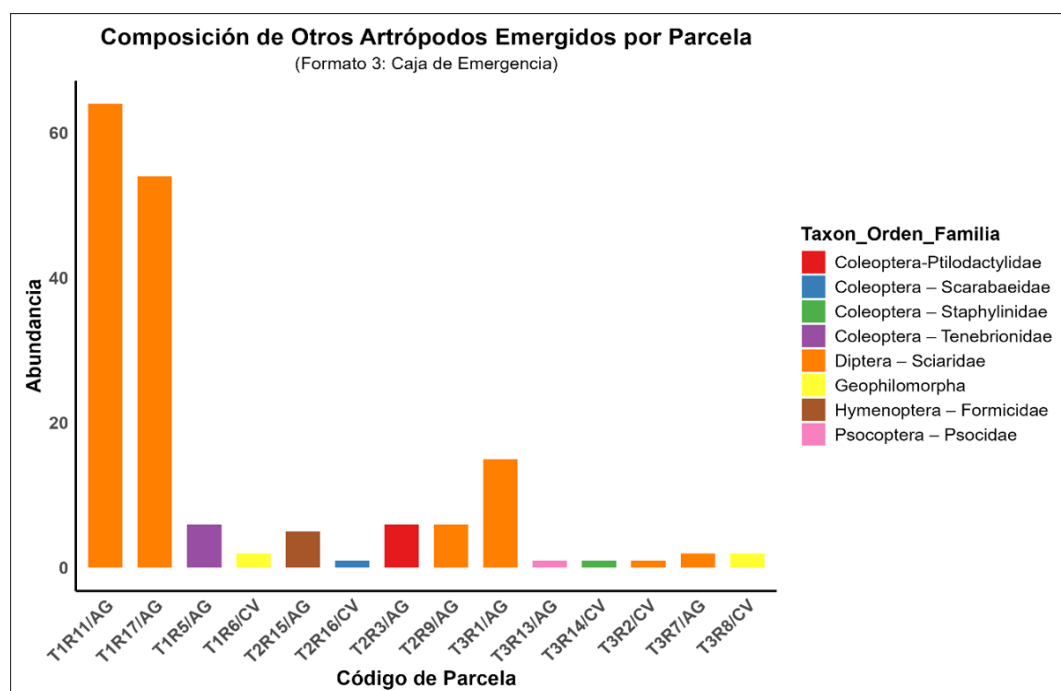


Figura 11. Composición de artrópodos emergidos por parcela

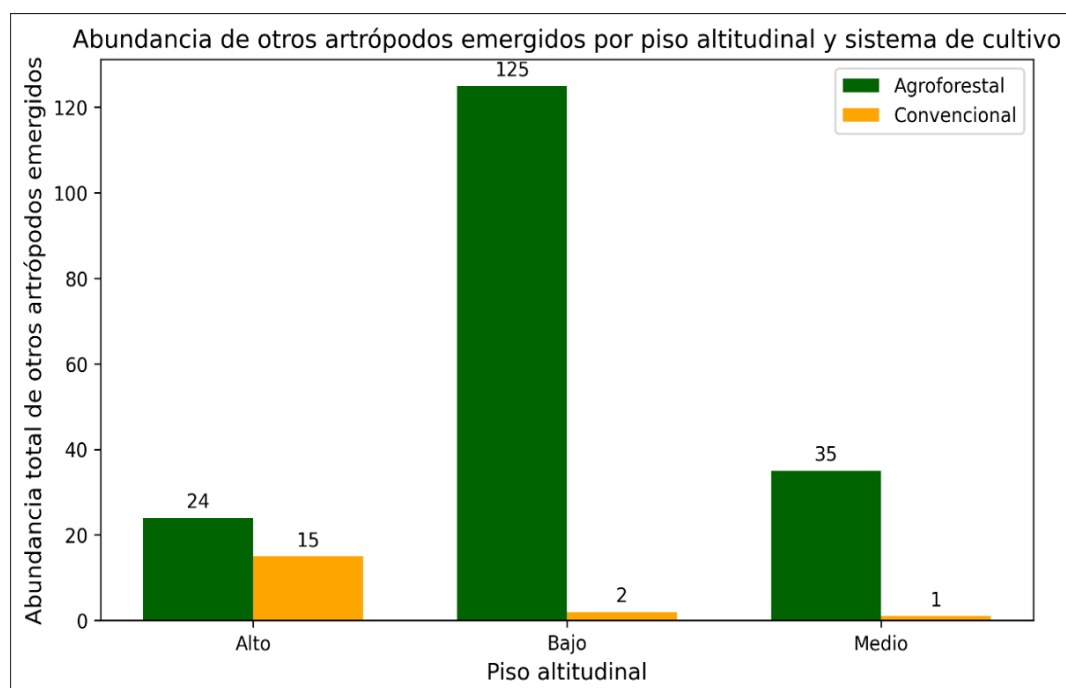


Figura 12. Abundancia de artrópodos por piso altitudinal y sistema de cultivo.

Relación entre las variables de manejo, los microhábitats y las condiciones microclimáticas con la presencia de polinizadores.

Variables de manejo

El cien por ciento de las parcelas reportó uso de agroquímicos durante los tres meses previos al muestreo, el cien por ciento presentó disponibilidad de cáscaras de cacao en categorías “muy baja” (66,7

%) o “baja” (33,3 %), y el 61,1 % mantuvo prácticas limpieza moderada del suelo. La correlación de Spearman entre cobertura de sombra y espesor de hojarasca fue positiva y significativa ($p = 0,764$; $p = 0,0002$), lo que indica que los sistemas agroforestales retienen mayor materia orgánica, aunque en ningún caso suficiente para sostener poblaciones de Ceratopogonidae.

Tabla 6. Prácticas de manejo del suelo y disponibilidad de sustratos larvales por sistema de cultivo.

Variable de manejo	Agroforestal (n=9)	Convencional (n=9)	Total (%)
Limpieza moderada del suelo	4	7	61,1%
Conservación parcial de hojarasca	2	0	11,1%
Uso de agroquímicos (últimos 3 meses)	9 (100%)	9 (100%)	100%
Cáscaras cacao: muy baja o baja	9 (100%)	9 (100%)	100%
Cobertura de sombra >15%	5 (55,6%)	1 (11,1%)	33,3%

Fuente: Observación directa y entrevistas a productores. Correlación de Spearman (sombra-hojarasca): $p = 0,764$, $p = 0,0002$.

El análisis de la disponibilidad de cáscaras de cacao en descomposición reveló una marcada escasez en las 18 parcelas evaluadas. El 66,67% (n=12) de las parcelas presentaron presencia “Muy baja” de este sustrato, mientras que el 33,33% restante (n=6) mostró niveles clasificados como “Baja”. En efecto, las parcelas con hojarasca mixta exhiben una mayor heterogeneidad estructural, tanto en espesor como en composición, lo que, desde una perspectiva

ecológica, podría facilitar la formación de una mayor diversidad de microhábitats para invertebrados. Esta condición es consistente con lo señalado por (Mavisoy & Cabezas 2012) y (Córdoba et al. 2013), quienes destacan que la diversidad y complejidad de la materia orgánica en el suelo actúan como factores clave para la conservación de comunidades edáficas en sistemas agroforestales.

Tabla 7. Microhábitats de polinizadores

Tipo de hojarasca	Sistema	n	Media de la cobertura	Media del espesor	Riqueza total	Abundancia total
Hojarasca de cacao	Convencional	9	6.11	0,83	0	0
Mixta	Agroforestal	9	17,78	1,39	0	0

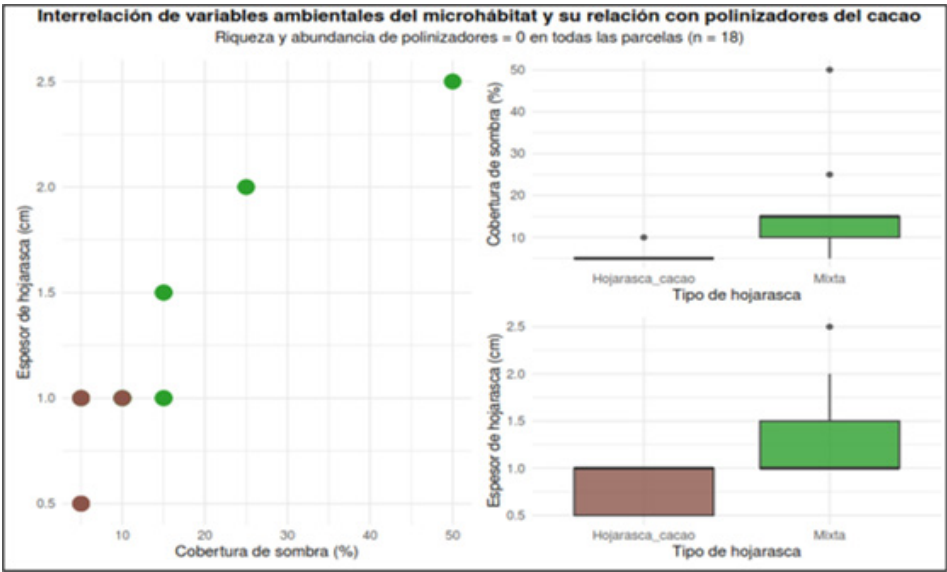


Figura 13. Interrelación de variables ambientales del microhábitat y su relación con polinizadores de cacao

Así mismo, la interrelación entre tres variables ambientales clave del microhábitat, la cobertura de sombra, el espesor de la hojarasca y el tipo de hojarasca y su relación con la ausencia total de polinizadores en las 18 parcelas evaluadas en Boquerón-Ucayali. La constatación empírica de que la riqueza y abundancia de polinizadores es cero en todas las parcelas ($n = 18$) constituye el eje central de esta interpretación, ya que desafía la noción simplista de que la polinización puede ser restaurada únicamente mediante la conservación de árboles de sombra o la optimización de la producción floral. En lugar de ello, sugiere que la limitación principal radica en una degradación profunda del hábitat larval,

larval, específicamente en la falta de materia orgánica adecuada en el suelo para el desarrollo de los estadios inmaduros de los ceratopogónidos, principales polinizadores del cacao (Winder, 1972). Los paneles superiores derecho e inferior derecho, que presentan boxplots de la cobertura de sombra y el espesor de hojarasca por tipo de hojarasca, confirman esta conclusión. Las parcelas con hojarasca mixta (agroforestales) exhiben una cobertura de sombra promedio de 17,8 % y un espesor de hojarasca de 1,39 cm, mientras que las parcelas con hojarasca de cacao (convencionales) muestran una cobertura de sombra promedio de solo 5,6 % y un espesor de hojarasca de 0,81 cm.

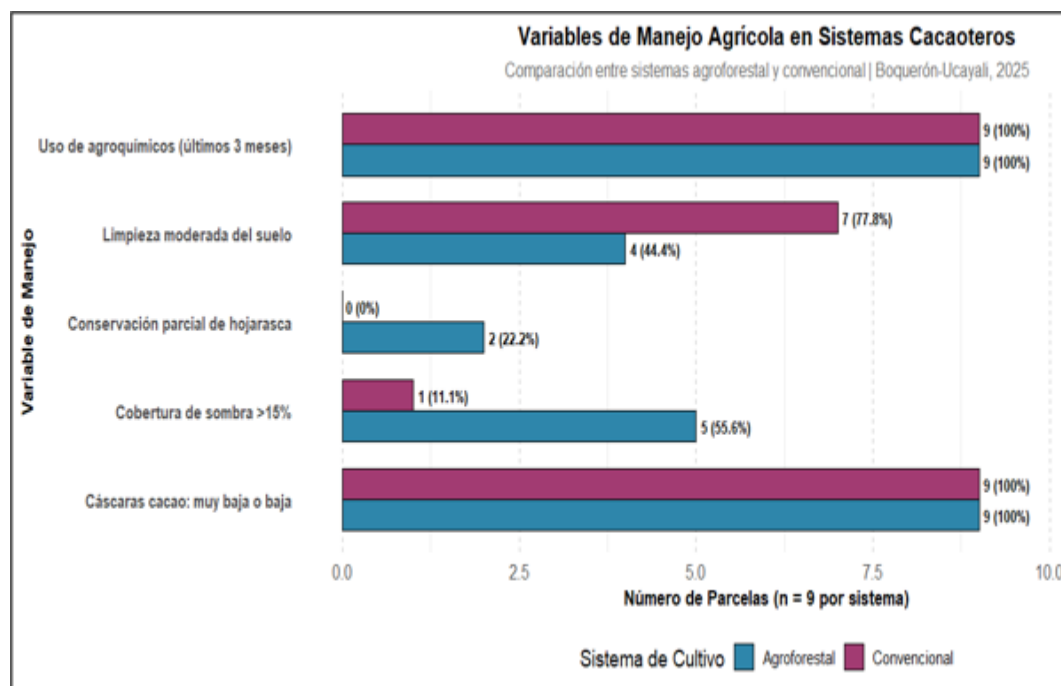


Figura 14. Comparación del manejo por sistema de cultivo.

Además, la falta de cáscaras de cacao en descomposición en el suelo (variable registrada como “muy baja” o “baja” en todas las parcelas) elimina un sustrato clave para el desarrollo larval, tal como lo documentan (Kaufmann 1975). Finalmente, la presencia de otros artrópodos (hormigas, arañas) en 14 de las 18 parcelas, sugiere una presión adicional por depredación intragremial (Philpott y Armbrecht, 2006). Es decir, las pocas larvas que podrían haber sobrevivido a la falta de sustrato enfrentaron un alto riesgo de depredación en un ambiente con recursos limitados, llevando la detectabilidad a cero.

Condiciones microclimáticas

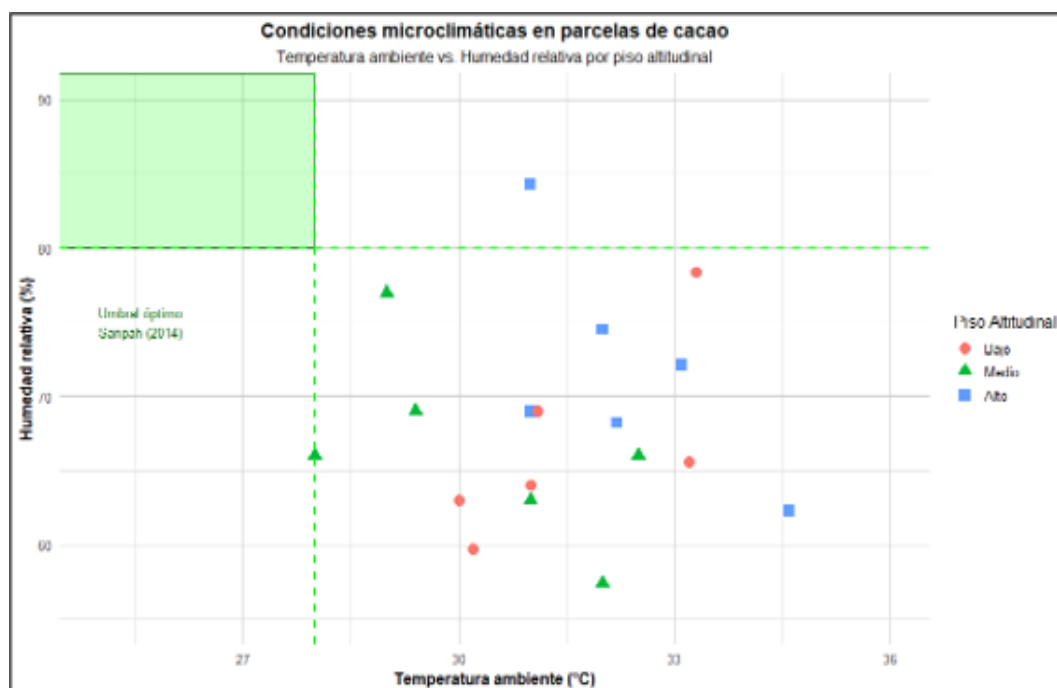
El análisis de la temperatura ambiente en las 18 parcelas evaluadas revela una variabilidad significativa que no se correlaciona linealmente con el piso altitudinal, lo cual contradice la hipótesis inicial de un descenso térmico progresivo con la elevación.

Aunque teóricamente se espera una disminución de la temperatura a mayor altitud, los datos muestran que el piso alto (572-621 m.s.n.m.) registra valores promedio de 31.0°C, mientras que el piso bajo (285-329 m.s.n.m.) presenta un promedio ligeramente superior de 31.3°C. Aunque el piso alto registra un valor promedio de 71.5%, este es solo ligeramente superior al piso medio (66.7%) y al bajo (67.8%), lo que sugiere que factores locales, como la cobertura vegetal, la proximidad a cuerpos de agua o prácticas agrícolas, ejercen un peso mayor que la elevación. Por ejemplo, la parcela T3R14/CV (piso alto) registró un valor excepcional de 84.3%, pero este dato puntual no representa la condición general del sistema. El único valor puntual que se aproximó al umbral óptimo fue del 84,3 %, registrado en la parcela T3R14/CV (piso alto, mes de julio); sin embargo, se trató de una excepción aislada.

Tabla 8. Condiciones microclimáticas por piso altitudinal y umbrales óptimos para Ceratopogonidae

Piso altitudinal	Temp. promedio (°C)	Humedad relativa promedio (%)	Precipitación (mm/mes)
Bajo (285-329 m)	31,3 ± 1,4	67,8 ± 6,2	131-236
Medio (330-539 m)	30,8 ± 1,5	66,7 ± 5,8	131-236
Alto (540-640 m)	31,0 ± 1,6	71,5 ± 7,4	131-236
Umbral óptimo requerido*	24–28	>80	—

* Valores óptimos para viabilidad larval de *Forcipomyia* spp., según Saripah (2014) y Kaufmann (1975).

**Figura 15.** Correlación de temperatura y humedad relativa en la riqueza y abundancia de polinizadores

Visualmente, se observa que todos los puntos (observaciones) están ubicados fuera de la zona verde, donde la mayoría de los puntos se concentran en la parte inferior derecha del gráfico, con temperaturas altas (>30°C) y humedad baja (<75%), siendo el punto más cercano a la zona óptima, la parcela T3R14/CV (Parcela convencional número 14

del piso alto), con una temperatura de 31°C y una humedad de 84,3%, pero aún está fuera del rango óptimo. Por lo tanto, no hay ningún punto que caiga dentro del rectángulo definido por 24–28°C y >80% HR y en consecuencia es muy probable que influenciara en la nula presencia del polinizador.

DISCUSIÓN

Determinación de la riqueza y abundancia de polinizadores del cacao en distintos pisos altitudinales

Contrario a lo esperado en los pisos altitudinales evaluados, ninguna de las parcelas muestreadas presentó temperaturas medias por debajo de los 28 °C, límite superior establecido como crítico para la viabilidad de estos insectos (Saripah, 2014). Esta constatación empírica coincide con hallazgos previos

que subrayan la preeminencia de variables microambientales, como la densidad del dosel o la exposición directa al sol, sobre la elevación absoluta en la regulación del clima local (Toledo-Hernández et al., 2021). Cabe manifestar que, la ausencia de polinizadores en este estudio no debe interpretarse como un fallo metodológico o una rareza local, sino como un síntoma de un sistema agrícola en desequilibrio ecológico, donde las condiciones abióticas han superado los límites de tolerancia de los organismos clave para el servicio de polinización. En particular, durante los periodos de sequía, el número de mosquitas fue muy bajo, lo que concuerda con su ecología larvaria.

Según Toledo-Hernández et al. (2021), en gradientes altitudinales estrechos (<1000 m), los factores locales, como la humedad, la cobertura vegetal y la presencia de microhábitats, pueden tener un peso mayor que la elevación absoluta. Sin embargo, ni siquiera estos factores locales pudieron compensar el estrés térmico generalizado. La combinación de temperaturas elevadas y humedades relativas consistentemente inferiores al 80% (según datos adjuntos) crea un entorno donde la desecación larval y el colapso fisiológico en adultos son inevitables (Saripah, 2014). Cabe hacer mención que, Soria (1977), manifiesta que el calor y el agua del estado líquido en el suelo, o en forma de humedad en el ambiente (vapor de agua) influyen armónicamente en el fenómeno de la polinización del cacaotero. Esos dos elementos están estrechamente ligados y no pueden ser considerados aisladamente para fines de interpretación de efectos integrados insecto/polinización/clima. Del mismo modo Narváez, et al., (1996), realizaron una investigación con respecto a la abundancia de Ceratopogónidos (Diptera) en una plantación de cacao, en Chuao, Edo. Aragua, Venezuela, donde determinaron que, el número de ceratopogónidos se mantuvo relativamente bajo, con tendencia a aumentar hacia el inicio de la época lluviosa en mayo, además de sus resultados obtenidos indican una influencia de la temperatura a nivel de microhábitat, mientras que lo reportado por Soria (1977) se da a nivel estacional.

Así mismo, el estudio abarcó un periodo crítico de transición estacional en la zona, comenzando en marzo (término de la época lluviosa) y extendiéndose hasta agosto (periodo seco). El análisis de los datos de precipitación muestra una caída sostenida de 232.5 mm en marzo a 126 mm en agosto, abarcando un periodo crítico de transición estacional en la zona, comenzando en marzo (término de la época lluviosa) y extendiéndose hasta agosto (periodo seco), mostrando una caída sostenida de 232.5 mm en marzo a 126 mm en agosto. Cabe hacer mención que, el cacao depende de la actividad de insectos polinizadores para asegurar una producción, en muchas regiones productoras de cacao, los árboles muestran una incompatibilidad superior al 50 %, existe más floración que producción de frutos; es así como la estabilidad de las flores de cacao está determinada en gran medida por la polinización y el ambiente (lluvias, sombra y manejo del cultivo), como se ha mencionado, estas permanecen más tiempo durante el período húmedo, que puede coincidir con una alta abundancia de polinizadores (Frimpong-Anin et al., 2014; Montero-Cedeño et al., 2019). Por lo tanto, la floración de árboles de cacao se ve afectada por factores externos climáticos, es decir, existen relaciones significativas entre la temperatura, la intensidad de la luz y la lluvia con la producción de flores (Adjaloo et al., 2012).

Así mismo, el estado fenológico del cultivo durante los meses de muestreo (marzo a agosto) representa una variable temporal crítica que influyó en la riqueza

y abundancia de polinizadores. Por ejemplo, en las parcelas T3R2/CV, T3R8/CV y T2R16/CV, se observaron actividades de “Poda drástica” o “Plantación recién podada”.

Comparación de la riqueza y abundancia entre sistemas agroforestales y convencionales en cada piso altitudinal

Los sistemas agroforestales, favorece al cacao por ser una especie umbrófila que se cultiva bajo la sombra de árboles más grandes (Bravo et al., 2011) y diversos grupos de insectos visitan las flores de diversas especies de Theobroma, sin embargo, las poblaciones naturales son visitadas principalmente por himenópteros y dípteros (Chumacero de Schawe et al., 2018). Pero los resultados de la investigación revelan que ni el sistema agroforestal ni el convencional lograron sostener poblaciones de polinizadores en ninguna de las parcelas.

Esta ausencia uniforme indica que la estructura del dosel por sí sola no es suficiente para garantizar la presencia de polinizadores si no se garantiza el microhábitat de cría (cáscaras de cacao en descomposición). Como señala Córdoba et al. (2013), los ceratopogónidos requieren materia orgánica húmeda para completar su ciclo larvario; sin este recurso, el ciclo de vida se interrumpe, independientemente de la cobertura vegetal. En concordancia con esto, Armijos et al. (2020) registraron un patrón similar en la costa ecuatoriana con la ausencia total de Forcipomyia y apenas rastros de Cecidomyiidae, donde estos últimos fueron ligeramente más frecuentes en monocultivos (3 %) que, en sistemas agroforestales, donde casi desaparecieron. Esto demuestra que un SAF sin hojarasca húmeda ni sustratos de cría equivale, en la práctica, a un monocultivo para las larvas, puesto que, la sombra arbórea no mitiga el estrés hídrico si el suelo se mantiene limpio; por ende, la polinización colapsa sin importar el modelo productivo.

Así mismo, en el presente estudio, el análisis muestra que las prácticas de manejo agronómico fueron similares en ambos sistemas, con la mayoría de las parcelas reportando “Limpieza moderada” o “Conservación parcial”, lo que implica que la remoción de cáscaras y hojarasca fue una práctica común que eliminó el sustrato esencial para los polinizadores, anulando cualquier ventaja potencial del sistema agroforestal.

El análisis de la data revela una variable crítica de gestión que cruzó ambos sistemas, siendo la limpieza del sotobosque, en los sistemas convencionales, parcelas como T3R2/CV y T1R6/CV reportan “Limpieza moderada” y “Poda drástica”, prácticas que simplifican el ecosistema. En los sistemas agroforestales, a pesar de tener árboles de sombra, también se registraron prácticas de “Conservación parcial” o limpieza que eliminaron los sustratos del suelo. Así mismo, Adjaloo et al. (2012) advierten que la intensificación del manejo, incluso bajo sombra,

puede crear “trampas ecológicas” si se remueven sistemáticamente los recursos basales. Así, el “Tipo de Sistema” perdió su relevancia ecológica funcional debido a la uniformidad en las labores culturales de limpieza pre-cosecha, lo cual explica por qué el SAF no “protegió” a las poblaciones de polinizadores.

Tanto en sistemas agroforestales como convencionales, la floración se reduce a niveles ausentes (barras rojas), lo que indica que este tipo de intervención elimina no solo las flores abiertas, sino también los botones florales futuros, interrumpiendo el ciclo fenológico del cacao (Young, 1986). Este efecto es especialmente pronunciado en los sistemas convencionales, donde la combinación de poda drástica y limpieza del suelo crea un entorno estéril desde el punto de vista ecológico, eliminando cualquier posibilidad de atracción para los polinizadores.

Análisis de la relación entre las variables de manejo, los microhábitats y las condiciones microclimáticas con la presencia de polinizadores.

El “Tipo de Sistema” perdió su relevancia ecológica funcional debido a la uniformidad en las labores culturales de limpieza pre-cosecha, lo cual explica por qué el SAF no “protegió” a las poblaciones de polinizadores.

Por otro lado, Arnold et al. (2019) destacan que las prácticas de manejo agrícola, como la poda drástica, la eliminación de árboles de sombra y el uso de agroquímicos, pueden alterar radicalmente el microclima local, aumentando la radiación solar y reduciendo la humedad del aire y del suelo, puesto que; el 100% de las parcelas reportaron el uso de agroquímicos en los últimos 3 meses y solo el 33% tenían cobertura de sombra superior al 15%, lo que explica parcialmente las temperaturas elevadas registradas. La cáscara de la mazorca de cacao debe considerarse como un sustrato apropiado para la actividad polinizadora en estas plantaciones (Arnold et al., 2018; Saripah & Alias, 2018). La acumulación de sustratos conduce a una mayor densidad de población de *Forcipomyia* spp., que es esencial para la reproducción de polinizadores (Adjaloo et al., 2013). La evidencia muestra que el cacao enfrenta un déficit de polinización, debido a una combinación de visitas insuficientes de polinizadores, deposición de polen y calidad del polen (Lander et al., 2025; Merle et al., 2025; Vansynghel, Ocampo-Ariza, et al., 2022).

Por último, la uniformidad en las prácticas de mal manejo, neutraliza cualquier ventaja potencial del sistema agroforestal, confirmando que la estructura per se es insuficiente sin la conservación del microhábitat de cría, tal como lo advierte Adjaloo et al. (2012).

CONCLUSIONES

Se concluye que los pisos altitudinales evaluados bajo (285-325 m), medio (356-524 m) y alto (572-621 m) no ejercieron una influencia significativa sobre la riqueza ni la abundancia de polinizadores del género *Forcipomyia* spp. y otros *Ceratopogonidos* durante el periodo de estudio (marzo-agosto de 2025). Tampoco hubo diferencias significativas en el tipo de sistema de cultivo. En efecto, se registró una ausencia total de individuos en las 18 parcelas muestreadas, independientemente del gradiente altitudinal. Esta homogeneidad en la ausencia responde, en gran medida, a la práctica generalizada de limpieza de cáscaras de cacao, la cual eliminó de forma sistemática el sustrato crítico para la reproducción de los *ceratopogonidos* en todos los niveles del gradiente.

REFERENCIAS

- Adjaloo, M. K., Oduro, W., & Banful, B. K. (2012). Floral phenology of upper Amazon cocoa trees and its relationship with pollination and fruit set in Ghana. *Journal of Botany*, 2012, Article 625174. <https://doi.org/10.5402/2012/461674>
- Arnold, S. E. J., Bridgemohan, P., Perry, G. B., Spinelli, G. R., Murray, F., Haughton, C., & Stevenson, P. C. (2018). The significance of climate in the pollinator dynamics of a tropical agroforestry system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.013>
- Arnold, S. E. J., Forbes, S. J., Hall, D. R., Farman, D. I., Bridgemohan, P., Spinelli, G. R., Bray, D. P., Perry, G. B., Grey, L., Belmain, S. R., & Stevenson, P. C. (2019). Floral odors and the interaction between pollinating ceratopogonid midges and cacao. *Journal of Chemical Ecology*, 45, 869–878. <https://doi.org/10.1007/s10886-019-01118-9>
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2), 136–147. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=709>
- Bos, M.M., Veddeler, D., Bogdanski, A.K., Klein, A., Tschamtkke, T., Steffan-Dewenter, I. and Tylianakis, J.M. (2007), CAVEATS TO QUANTIFYING ECOSYSTEM SERVICES: FRUIT ABORTION BLURS BENEFITS FROM CROP POLLINATION. *Ecological Applications*, 17: 1841-1849. <https://doi.org/10.1890/06-1763.1>
- Bravo, J. C., Somarriba, E., & Arteaga, G. (2011). Factores que afectan la abundancia de insectos polinizadores del cacao en sistemas agroforestales. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 119–131.

- Chumacero de Schawe, C.; Kessler, M.; Hensen, I.; Tschardtke, T. Abundance and diversity of flower visitors on wild and cultivated cacao (*Theobroma cacao* L.) in Bolivia. *Agrofor. Syst.* 2016, 92, 117–125. [Google Scholar] [CrossRef]
- CONABIO. 2008. *Theobroma cacao* L. Sterculiaceae (en línea). México, DF. Publicado en: *Species Plantarum* 2: 782. 1753. Consultado 29 mar. 2009. Disponible en internet http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/árboles/doc-tos/68-sterc03m.pdf.
- Córdoba, C., Cerda, R., Deheuvels, O., Hidalgo, E., & Declerck, F. (2013). Polinizadores, polinización y producción potencial de cacao en sistemas agroforestales de Bocas del Toro, Panamá [Informe técnico / Tesis de posgrado]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6677>
- Frimpong-Anin, K., Adjaloo, M. K., Kwapong, P. K., & Oduro, W. (2014). Structure and stability of cocoa flowers and their response to pollination. *Journal of Botany*, 2014, Article 513623. <https://doi.org/10.1155/2014/513623>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Kaufmann, T. (1975). Studies on the ecology and biology of a cocoa pollinator, *Forcipomyia squamipennis* I. & M. (Diptera: Ceratopogonidae), in Ghana. *Bulletin of Entomological Research*, 65(2), 263–268. <https://doi.org/10.1017/S0007485300005940>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Investigación del comportamiento: Técnicas y metodología* (4.ª ed.). McGraw-Hill.
- Lander, T. A., Atta-Boateng, A., Toledo-Hernández, M., Wood, A., Malhi, Y., Solé, M., Tschardtke, T., & Wanger, T. C. (2025). Global chocolate supply is limited by low pollination and high temperatures. *Communications Earth & Environment*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02072-z>
- Lavelle, P. (1996). Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology international* 33 (3.16). https://www.researchgate.net/profile/Patrick-Lavelle/publication/32971315_Diversity_of_Soil_Fauna_and_Ecosystem_Function/links/0f31753485dab75412000000/Diversity-of-Soil-Fauna-and-Ecosystem-Function.pdf
- Mavisoy, K. H., Cabezas, S. R., Somarriba, E., Cerda, R., Pérez, G., & Ballesteros, W. (2012). Evaluación de la abundancia de ceratopogónidos (Diptera) polinizadores de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la hojarasca de árboles de sombra. *Agroforestería en las Américas*, 45, 45–52.
- McDonald, J. H. (2014). *Handbook of biological statistics* (3rd ed.). Sparky House Publishing.
- Merle, I., Pico Rosado, J. T., Paredes Andrade, N. J., Argout, X., & Requier, F. (2025). Not all flowers' visitors are pollinators: Combining indicators to identify their role in the cocoa pollination service. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 390, 109716. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109716>
- Montero-Cedeño, S. L., Sánchez, P., Solórzano-Faubla, R., Pinargote-Borrero A., & Cañarte-Bermúdez, E. G. (2019). Floración y diversidad de insectos polinizadores en un sistema monocultivo de cacao. *Revista Espamciencia*, 10(1), 1–7. <https://bit.ly/3qlJdu2>
- Narváez, Z., & Marín, C. (1996). Abundancia de ceratopogónidos (Diptera) en una plantación de cacao, *Theobroma cacao* (Sterculiaceae), en Chuao, Edo. Aragua, Venezuela. *Agrotrópica*, 8(1), 15–22.
- Ríos-Moyano, D. K., Rodríguez-Cruz, F. A., Salazar-Peña, J. A., & Ramírez-Godoy, A. (2023). Factores asociados a la polinización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 34, Artículo 52280. <https://doi.org/10.15517/am.2023.52280>
- Saripah, B., & Alias, A. (2018). The use of transferable breeding container for population enrichment of pollinator, *Forcipomyia* spp. in the Cocoa Ecosystem. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 5(3), 245–251. <https://doi.org/10.18178/joa-at.5.3.245-251>
- Saripah, B., Nor Aizam, A., & Ummu Syaira Ain, R. (2014). Temporal geospatial assessment of cocoa pollinator, *Forcipomyia* in cocoa plantation area. *Serangga*, 24(1), 159–172. ISSN 1394-5130
- Soria, S. de J. (1977). Dinâmica populacional de *Forcipomyia* spp. (Diptera, Ceratopogonidae) na Bahia, Brasil 3 - Variáveis climáticas relacionadas com a polinização do cacaueiro. *Revista Theobroma*, 7, 69–84.
- Toledo-Hernández, M., Tschardtke, T., Tjoa, A., Anshary, A., Cyio, B., & Wanger, T. C. (2021). Landscape and farm-level management for conservation of potential pollinators in Indonesian cocoa agroforests. *Biological Conservation*, 257, Article 109106. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109106>
- Vansynghe, J., Ocampo-Ariza, C., Maas, B., Martin, E. A., Thomas, E., Hanf-Dressler, T., Schumacher, N., Ulloque-Samatelo, C., Tschardtke, T., & Steffan-Dewenter, I. (2022). Cacao flower visitation: Low pollen deposition, low fruit set and dominance of herbivores. *Ecological Solutions and Evidence*, 3(2). <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12140>
- Winder, J. A., & Silva, P. (1972). Cacao pollination: Microdiptera of cacao plantations and some of their breeding places. *Bulletin of Entomological Research*, 61(4), 651–655. <https://doi.org/10.1017/S0007485300047465>
- Young, A. M. (1986). Cocoa pollination. *Cocoa Growers' Bulletin*, 37, 5–18.

Zuur, A., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>

Correspondencia:

Javier Carlos Vela

correo: javico1945@gmail.com ✉

Conflicto de intereses:

El autor declara no tener conflictos de interés de naturaleza financiera, institucional, profesional o personal que pudieran influir, o ser percibidos como influyentes, en los resultados o en la interpretación del presente estudio.

Contribución del autor:

Conforme a la taxonomía CRediT (Contributor Roles Taxonomy), Javier Carlos Vela asumió las siguientes contribuciones: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación (trabajo de campo y laboratorio), Metodología, Validación, Visualización, Redacción del borrador original, Redacción de la revisión y edición y Recursos. El autor declara que la totalidad de las labores de campo, el procesamiento estadístico y la interpretación científica son de su autoría exclusiva.

Fuente de Financiamiento:

La presente investigación fue autofinanciada por el autor. No se recibieron fondos específicos de organismos públicos, comerciales o sin ánimo de lucro para la realización de este estudio.