

**POLINIZACIÓN MEDIADA POR COLIBRÍES EN SISTEMAS CAFETEROS,
MUNICIPIO DE TIMBÍO, CAUCA**

STEPHANÍA AGUIRRE CASTAÑO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2019**

**POLINIZACIÓN MEDIADA POR COLIBRÍES EN SISTEMAS CAFETEROS,
MUNICIPIO DE TIMBÍO, CAUCA**

STEPHANÍA AGUIRRE CASTAÑO

Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de bióloga

DIRECTOR

CRISTIAN CAMILO VIDAL MALDONADO, Biol.

CODIRECTOR

MARIA CRISTINA GALLEGO ROPERO, PhD.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2019**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	vi
1. INTRODUCCIÓN	8
2. JUSTIFICACIÓN	9
3. MARCO TEÓRICO	9
3.1 Colibríes.....	9
3.2 Estrategias de búsqueda de alimento en colibríes.....	10
3.3 Síndrome de ornitofilia	11
3.4 Rasgos funcionales.....	12
3.4.1 Rasgos funcionales del complejo pico	13
3.5 Sistemas productivos cafeteros	13
3.5.1 Tipos de manejo	14
3.6 Redes de interacción	15
3.6.1 Métricas:	15
4. ANTECEDENTES	16
4.1.1 Avifauna en cafetales.....	17
4.1.2 Cargas Polínicas:	18
4.1.3 Medidas Morfométricas.....	19
5. OBJETIVOS.....	20
5.1. Objetivo general.....	20
5.2. Objetivos específicos	20
6. METODOLOGÍA	20
6.1. Área de estudio.....	20
6.2. Caracterización de la comunidad de colibríes.....	21
6.2.1. Redes de niebla	21
6.2.2 Medidas morfométricas de diversidad funcional:	21
6.2.3 Cargas polínicas:	22

6.2.4. Puntos de conteo	22
6.3. Análisis de datos	23
6.3.1 Redes de interacción:	24
6.3.2. Evaluación de rasgos de diversidad funcional y cargas polínicas transportadas (palonimorfos):	24
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
7.1 Riqueza, abundancia y composición de colibríes	25
7.2 Perfiles de diversidad.....	26
7.2.1 Perfil de diversidad alfa (α) determinado a través de censos.	26
7.2.2 Perfil de diversidad alfa (α) determinado por medio de capturas.	29
7.3 Análisis de similitud de Bray-Curtis (ANOSIM) y Modelos Lineales Generalizados (MLG).....	32
7.4 Redes de interacción	35
7.4.1 Red de interacción planta-colibrí en policultivo	35
7.4.2 Red de interacción planta-colibrí en monocultivo.....	38
7.5 Rasgos de diversidad funcional del complejo pico.....	40
7.6 Cargas polínicas	42
8. CONCLUSIONES	43
9. RECOMENDACIONES.....	47
10. BIBLIOGRAFIA	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización área de estudio, municipio de Timbío, Cauca.	21
Figura 2. Perfil de diversidad alfa (α) basado en números equivalentes de q de orden 0, 1 y 2, para puntos de conteo en sistemas de monocultivo y policultivo. ...	28
Figura 3. Perfil de diversidad alfa (α) basado en números equivalentes de q de orden 0, 1 y 2, para capturas con redes de niebla en sistemas de monocultivo y policultivo.	32
Figura 4. Red de interacción planta-colibrí en policultivo	36
Figura 5. Red de interacción planta- colibrí en monocultivo.....	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rasgos morfométricos del complejo pico.	13
Tabla 2. Especies de colibríes y número de registros por método de muestreo y sistema productivo.	25
Tabla 3. Resultados de ANOSIM para la comunidad de colibríes determinada entre sistemas cafeteros de policultivo y monocultivo a través de puntos de conteo y redes de niebla.....	32
Tabla 4. Modelos Lineales Generalizados con distribución binomial para especies de aves determinadas a través de puntos de conteo entre sistemas de policultivo y monocultivo. Valores de significancia: 0 ‘***’, 0.001 ‘**’, 0.01 ‘*’.	33
Tabla 5. Modelos Lineales Generalizados con distribución de Poisson para especies de aves determinadas a través de capturas entre sistemas de policultivo y monocultivo. Valores de significancia: 0 ‘***’, 0.001 ‘**’, 0.01 ‘*’	34
Tabla 6. Comparación de rasgos morfométricos del complejo pico para colibríes capturados entre sistemas.	40
Tabla 7. Resultados ANOVA del mejor modelo explicativo para la correlación entre variables (Los valores con asterisco * indican significancia $\alpha = 0.01$ ‘*’; $\alpha = 0.001$ ‘**’ y $\alpha = 0$ ‘***’.	43
Tabla 8. Valores obtenidos para el criterio de Akaike y Bayesiano aplicado a los modelos lineales generalizados mixtos.....	43

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de referencia de cada tipo de polen en cada especie de colibrí	59
Anexo 2. Polen transportado por colibríes capturados a través de redes de niebla en los sistemas cafeteros (monocultivo y policultivo).....	61
Anexo 3. Resultado del modelo lineal generalizado mixtos (MLGM) para evaluar la asociación entre variables (Tipo, especie, palinomorfo, parte).	65
Anexo 4. Especies de colibríes capturadas y observadas en los sistemas cafeteros (Monocultivo y policultivo) a través de redes de niebla y censos.	68
Anexo 5. Listado de las especies de colibríes capturadas y observadas en los sistemas cafeteros (Monocultivo y policultivo).	72
Anexo 6. Listado de las plantas visitadas por los colibríes en los cultivos de café (Monocultivo y policultivo) mediante observaciones. ¡Error! Marcador no definido.	

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme alcanzar tantos sueños en la vida. A mis padres, principalmente a Luz Marina Castaño por su apoyo, compañía y amor infinito, tan invaluable para todo el desarrollo de este trabajo, así mismo a mis hermanos Nancy, Mauricio y Cristian y mis sobrinas, quienes con amor y admiración me han apoyado y se han convertido en motivo de inspiración para seguir adelante cada día.

También agradezco a la profesora María Cristina Gallego Roperó por permitirme ingresar al semillero, por todo su apoyo incondicional brindado durante todos estos años y especialmente durante la ejecución del estudio. A mi director Cristian Camilo Vidal Maldonado, por compartir sus conocimientos, motivarme cada día a seguir aprendiendo acerca de la ornitología, ser un gran maestro de campo y dirigir este trabajo.

A la profesora María Isaura Valdivieso por el apoyo brindado durante toda la carrera, por sus consejos y su amistad.

A Monica Ramirez por tomarse el tiempo de escucharme, responder a mis preguntas y sobre todo por sus valiosos aportes.

A la médica Clara Córdoba y la Psicóloga Patricia Ortiz quienes me dieron toda la fuerza espiritual y física para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis amigas de infancia, Lina, Daniela y Linda por ser hermanas de la vida, que siempre han estado al tanto de mi avance en el proyecto con su apoyo y afecto.

A mis amigos de la universidad: Leidy, Margarita, Tatiana, Angie, Valentina, Heidi, Whitney, Laura, Camilo, Jesus, Gustavo, Zuleny y Karen, por la compañía y apoyo durante los muestreos, pero sobre todo por su valiosa amistad; también y especialmente a Rocío Betancourt y Jorge Becoche, por sus enseñanzas, aportes, por animarme y ser un gran apoyo durante la escritura del documento final.

A la unidad de microscopía electrónica por recibirme en su laboratorio y permitirme el uso de los equipos. Al grupo GEBIUC de la universidad del Tolima por acogerme con tanta amabilidad en su laboratorio, especialmente a la

Profesora Hilda Rocio Mosquera y el profesor Daniel Ramírez, quienes me enseñaron y ayudaron con la identificación del material polínico. A los propietarios de las fincas por permitirme realizar la investigación en sus predios, recibirme con amabilidad y disposición en cada uno de los días muestreados. Don Carlos Gardel y Doña Ensa (Finca El Danuvio), Don Carlos Cifuentes y su esposa Elsa (Finca las Veraneras 1 y 2), Don Edgar Moreno y Fabián García (Finca Los Tres Edgaritos) y a los administradores de la hacienda El Troje, Doña Mildred Escobar y Don Eduardo.

RESUMEN

La continua pérdida de coberturas vegetales como consecuencia del establecimiento de sistemas productivos agrícolas, suele resultar en alteraciones de las dinámicas ecológicas de la biodiversidad y la prestación de bienes y servicios; sin embargo, algunos sistemas productivos estructuralmente complejos suelen representar hábitats temporales o permanentes para diferentes grupos de especies, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad en paisajes antropogénicos. Se evaluó el aporte ecológico de los colibríes en la mediación de la polinización de sistemas de policultivo de café con sombra asociada y a libre exposición en el municipio de Timbío (Cauca). Por medio de puntos de conteo se caracterizó la diversidad de colibríes asociada a los dos sistemas cafeteros y se realizaron observaciones de las interacciones planta-ave, a partir de las cuales se construyeron redes de interacción mutualistas planta-colibrí. También, se utilizaron redes de niebla y se capturaron colibríes a los cuales se les midieron rasgos funcionales del complejo pico y se les recogieron muestras de polen para evaluar las cargas polínicas transportadas por los diferentes individuos. En los puntos de conteo se registraron ocho especies de colibríes: siete asociadas a policultivo y cuatro a monocultivo, y se construyeron redes de interacción planta-colibrí por tipo de sistema, considerando las métricas de Conectancia (C), Especialización (H_2) y Anidamiento (NODF). En policultivo se obtuvieron valores de C: 0,33, H_2 : 0,30 y NODF: 50,34 y en monocultivo de C: 0,68; H_2 : 0,32 y NODF: 83,33. A través de las redes se capturaron cinco especies, cuatro en policultivo y cuatro en monocultivo. Los rasgos de diversidad funcional del complejo pico de los individuos capturados no presentaron diferencias significativas entre sistemas ($p > 0.05$), y se identificaron 70 palinormorfos (cargas polínicas), de los cuales 24 fueron seleccionados para los análisis posteriores (Anexo 1 y 2). Los resultados obtenidos indicaron que los sistemas de policultivo diversificado favorecieron una mayor diversidad de colibríes y una mayor cantidad de interacciones planta-colibrí, debido a que este sistema cafetero usualmente proporciona recursos para

albergar una mayor cantidad de colibríes, lo que suele contribuir a la polinización de las plantas asociadas.

1. INTRODUCCIÓN

En décadas recientes, la intensificación de los sistemas de producción agrícola alrededor del planeta ha incrementado notablemente, trayendo consigo la continua conversión de áreas naturales a sistemas antropogénicos (Laurance, 1999; Balvanera *et al.*, 2009); consecuentemente, esta transformación ha generado un impacto sobre la dinámica y la estabilidad de los ecosistemas terrestres (Fahrig, 2003).

El café (*Coffea* sp.) es considerado uno de los sistemas productivos de mayor importancia económica en países tropicales (Pimentel *et al.*, 1992); sin embargo, la contribución de este sistema a la conservación de la biodiversidad depende en gran medida del tipo de manejo (Greenberg *et al.*, 1997; Komar, 2006). En este contexto, los sistemas cafeteros con sombra diversificada (policultivo) suelen favorecer o albergar una mayor diversidad de organismos como aves, hormigas y mariposas, que sistemas cafeteros a libre exposición (monocultivo) (Perfecto, 2003; Philpott *et al.*, 2008).

Las especies de aves nectarívoras usualmente realizan una contribución a la dinámica y estabilidad del paisaje cafetero, a través de la polinización de diferentes especies de plantas: *Heliconia* sp., *Musa paradisiaca*, *Inga densiflora*, entre otras (Del Hoyo *et al.*, 2011). No obstante, aspectos como la complejidad estructural del hábitat, diversidad de microclimas y disponibilidad de recursos, suelen ser determinantes en la diversidad de aves en sistemas productivos cafeteros (Mariano y Bilenca, 2011). Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio consistió en evaluar el aporte ecológico de los colibríes en la polinización en sistemas cafeteros en el municipio de Timbío, Cauca.

2. JUSTIFICACIÓN

Los colibríes cumplen una función importante dentro de los ecosistemas, polinizando un gran número de plantas, principalmente nativas (Stiles *et al.*, 2005); algunos estudios han mostrado que la relación entre sus rasgos morfológicos y las plantas podría proporcionar información para determinar la contribución de las diferentes especies de colibríes en la polinización de la flora (Van Bael *et al.*, 2008; Sekercioglu, 2012).

Los colibríes, al hacer uso de los recursos ofertados por los sistemas productivos cafeteros con sombra asociada, suelen participar en la reproducción de una gran variedad de plantas (Gallai *et al.*, 2009), debido a que estas aves nectarívoras dependen de la vegetación y de los insectos asociados a los cultivos de café (Wethington y Finley, 2009); en este sentido, los policultivos con sombra asociada han sido reconocidos como refugios de alto valor para la conservación de la biodiversidad (Perfecto *et al.*, 1996; Calvo y Blake, 1998; Johnson, 2000). Hasta el momento, la información disponible sobre el aporte ecológico de los colibríes en la polinización en sistemas cafeteros en el departamento del Cauca es escasa, por lo que, evaluar esta relación, contribuirá a describir aspectos claves para el entendimiento de esta dinámica ecosistémica en sistemas agrícolas (Stiles, 1978; Waser y Ollerton, 2006).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Colibríes

Los colibríes son especies de aves de la familia Trochilidae (Apodiformes) restringidas al continente americano (Remsen *et al.*, 2019). En total, se han identificado 363 especies, de las cuales 119 se encuentran distribuidas en Norteamérica y Centroamérica y 257 en Suramérica (Ayerbe-Quiñones, 2015). En general, los colibríes son aves especializadas que se alimentan de néctar, complementan sus dietas con insectos y presentan características morfológicas, ecológicas, conductuales y fisiológicas exclusivamente relacionadas con este tipo de dieta (Rodríguez-Flores y Stiles, 2005).

3.2 Estrategias de búsqueda de alimento en colibríes

Los colibríes utilizan una variedad de estrategias de búsqueda de alimento estrechamente relacionadas con su morfología y con la distribución del recurso (Stiles, 2000); de acuerdo a estas estrategias, los colibríes se pueden dividir en cinco grupos básicos: territoriales, ruteros de alta recompensa, ruteros de baja recompensa, ladrones de territorio y generalistas (Murcia, 2000). Con base Murcia (2000), se presenta una breve descripción de cada uno de los grupos:

a) Territoriales: son especies agresivas, de pico corto, relativamente pesados para el tamaño de sus alas. En general, establecen y defienden territorios en parches de vegetación que tienen una alta densidad de flores, por lo que el gasto de energía es alto; esto consecuentemente resulta en una poca inversión de tiempo en la búsqueda de alimento (Ramírez-Burbano, 2004; Ramírez-Burbano *et al.*, 2007).

En Colombia, los colibríes territoriales pertenecen a los géneros *Anthracothorax* y *Amazilia* (tierras bajas), *Haplophaedia* y *Boissonneaua* (bosques montanos) y *Erionectmis* y *Metallura* (paramos y subpáramos). Los machos de *Lafresnaya* y *Heliangelus* (bosque de montaña y subpáramos) también se consideran territoriales (Murcia, 2000).

b) Ruteros de alta recompensa: estas especies obtienen su alimento visitando flores en distintas plantas, siguiendo una secuencia más o menos regular. Se caracterizan por tener picos largos, curvos o rectos, los cuales han evolucionado con especies de plantas que ofrecen altas recompensas de néctar por flor y que en general, presentan corola larga (Stiles, 2000). Los individuos que utilizan esta estrategia invierten una porción sustancial de tiempo (Ramírez-Burbano *et al.*, 2007). En bosques montanos de Colombia, esta estrategia la siguen colibríes de pico recto de los géneros *Coeligena* y *Doryfera*, así como hembras de *Lafresnaya* y *Phaetornis guy* (Ramírez-Burbano, 2004).

c) Ruteros de baja recompensa: son especies pequeñas de pico corto y recto que visitan flores dispersas en el bosque; esta estrategia la adoptan colibríes de los géneros *Adelomyia*, *Chlorostilbon*, *Agelaiocercus* y *Ocreatus* (Stiles, 2000).

d) Ladrones de territorio o parásitos: son especies de tamaño moderado como *Anthracothorax* y *Florisuga* en tierras bajas y *Boissonneaua* y *Lafresnaya* en los Andes, con picos medianos y rectos que forrajean en territorios defendidos por especies de colibríes de menor tamaño (Ramírez-Burbano, 2004). También se comportan como ladrones algunos colibríes típicamente territoriales, es decir, que no encuentran una planta disponible para establecer su territorio; si son suficientemente agresivos, pueden desplazar al dueño original y establecerse (Murcia, 2000).

e) Generalistas: esta estrategia la adoptan especies de pico corto con flexibilidad conductual como *Erionectmis mirabilis* (Ramírez-Burbano, 2013); se alimentan de flores que aparecen en bajas densidades y cuando les es posible, roban de otros territorios o actúan como ruteros de baja recompensa (Stiles, 2000).

3.3 Síndrome de ornitofilia

Muchas plantas poseen flores que presentan características morfológicas que las diferencian de otras especies; así mismo, presentan distintos sistemas de polinización (Stiles, 1981). Este fenómeno se ha denominado “síndrome de ornitofilia”, por lo que estas flores producen néctar y son polinizadas por diferentes animales (Faegri y Pijl, 1997).

A continuación se nombran los principales rasgos del síndrome de ornitofilia con base en Faegri y Pijl (1997).

a) Apertura floral diurna, flores tubulares con nectarios en la base y las anteras y estigmas en la base del tubo floral; flores sin olor.

b) Colores llamativos, generalmente contrastantes como rojo y naranja.

c) Flores péndulas u horizontales que facilitan la toma de alimento en vuelo suspendido.

d) Néctar abundante.

e) Paredes florales duras con órganos protegidos que evitan el daño por el pico del ave.

3.4 Polinización

La polinización se puede definir como un proceso en cual se produce la transferencia de granos de polen desde las anteras de una flor al estigma de otra y en el cual intervienen componentes morfológicos, fisiológicos, fenológicos y poblacionales (Proctor *et al.*, 1997).

Las plantas angiospermas presentan diversas estrategias de dispersión polínica y sistemas reproductivos, los cuales incluyen mecanismos de autofecundación, sistemas de transporte biótico y abiótico (Proctor *et al.*, 1997). El proceso de polinización vectorial es aquel realizado por animales (polinización zoófila) y representa el de mayor frecuencia de ocurrencia en los ecosistemas; este suceso se considera vital en el mantenimiento de la biodiversidad, el sostenimiento de la economía global y la seguridad alimentaria (Ollerton *et al.*, 2011; Coehlo *et al.*, 2013), debido a que el 73% de las especies vegetales cultivadas por el ser humano y el 75% de la vegetación mundial son polinizadas por un vector animal (Arizmendi, 2009).

3.5 Rasgos funcionales

Los rasgos funcionales hacen referencia a las características morfológicas, fisiológicas y de historia de vida relacionadas al desempeño biológico de los individuos, y pueden estar involucrados en procesos ecosistémicos como la dispersión de semillas, control de plagas y polinización (López *et al.*, 2015); así mismo, son escalables a otros niveles de organización biológica como poblaciones y comunidades. Estos rasgos determinan en gran medida cómo los organismos responden ante cambios en el ambiente y por lo tanto, cómo están relacionados

con la resiliencia de individuos, poblaciones y comunidades (Langlands *et al.*, 2011; Luck *et al.*, 2012).

Para las aves se han identificado 24 rasgos funcionales agrupados en 16 rasgos morfométricos y ocho rasgos de historia de vida, los cuales determinan cómo los organismos responden al ambiente y potencialmente, esto cómo afecta los procesos a nivel ecosistémico (López *et al.*, 2015).

3.5.1 Rasgos funcionales del complejo pico: A continuación se describen los rasgos funcionales del complejo pico con base en López *et al.* (2015) (Tabla 1).

Tabla 1. Rasgos morfométricos del complejo pico.

Rasgo	Medida (extensión)
Alto del pico (Ap)	Desde la parte más distal de la maxila (narinas) hasta la parte inferior de la mandíbula (mentón).
Ancho del pico a la altura de las narinas (AnP; mm):	Ancho del pico cerrado en la parte más distal de las narinas.
Ancho del pico entre comisuras (APc; mm):	Ancho de las comisuras entre la base de la maxila y la mandíbula
Curvatura del pico (CP: mm-1 o grados)	Ángulo de declinación del pico; indica el grado de inclinación entre la curvatura de la base del pico (ángulo cero) y la punta del mismo.
Longitud del culmen total (LCT; mm)	Desde la visagra nasofrontal hasta la punta de la maxila.
Longitud del culmen expuesto (LCE; mm):	Desde donde inician las plumas de la frente hasta la punta del pico – maxila.

3.6 Sistemas productivos cafeteros

El café es una especie vegetal perteneciente a la familia de las Rubiáceas, la cual tiene alrededor de 500 géneros y más de 6000 especies; la mayoría de ellas representadas por árboles y arbustos, las cuales tienen sus orígenes en latitudes tropicales (Clifford, 2012). Actualmente se reconocen 25 especies de café comúnmente utilizadas; sin embargo, en países con tradición cafetera se cultivan especialmente *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (Arcila *et al.*, 2007; Jaramillo, 2012)

Para el sistema productivo cafetero, es importante considerar que el tipo de manejo que se realice resultará en cambios positivos o negativos para la biodiversidad (Arcila *et al.*, 2007), debido a que la eliminación de la sombra asociada no garantiza un aumento de la producción del café y por el contrario, resulta en una disminución generalizada de la biodiversidad (Sarandón, 2010); el café con sombra diversificada por el contrario, al alcanzar la madurez vegetal conforma un hábitat similar al de un bosque artificial, con humedad y sombra que favorece la presencia de diferentes grupos de organismos y actúa como refugio para la biodiversidad (Borrero, 1986; Perfecto *et al.*, 1996).

3.6.1 Tipos de manejo: Los estratos vegetales en los sistemas productivos de café, varían dependiendo del tipo de prácticas agrícolas que se realicen (Moguel y Toledo, 1999). Entre estos, se han descrito algunos tipos:

a) Sistema de producción con semisombra: en este tipo de sistema por lo general, se emplean especies arbóreas como guamo (*Inga densiflora*), nogal (*Cordia resinosa*), chachafruto (*Erythrina edulis*) o guayabo (*Psidium guajava*) entre otros, con una densidad de 20 y 50 árboles por hectárea; así mismo, se utiliza cualquier especie arbustiva semipermanente (plátano o banano) con un número de plantas entre 300 y 750 por hectárea (Greenberg *et al.*, 1997; Arcila *et al.*, 2007).

b) Sistema de producción de café con sombra: este sistema se caracteriza por una gran cantidad de especies arbóreas con una densidad superior a 50 árboles por hectárea; en este tipo de manejo comúnmente se emplean plantas de valor económico, por lo que se denomina sombrío productivo. Esta forma de manejo se realiza a fin de reducir los costos de producción y se considera una opción para diversificar el ingreso económico (Perfecto *et al.*, 1996; Arcila *et al.*, 2007).

c) Sistema de producción a libre exposición: este sistema se caracteriza por la ausencia de sombra, aunque en algunos casos se pueden encontrar cultivos

con algún tipo de sombrero controlado. Por lo general, tiene una densidad de 2500 plantas por hectárea (Arcila *et al.*, 2007).

3.7 Redes de interacción

Una red se puede definir como el conjunto de elementos relacionados entre sí, los cuales se representan a partir de nodos o vértices y los enlaces entre ellos. Existen dos tipos diferentes de redes: las unipartita o también llamadas uni-modales y las redes bipartitas o bi-modales, las cuales pueden representarse con distintos tipos de grafos (Medel *et al.*, 2009). Las redes bipartitas ilustran las conexiones entre nodos de dos grupos distintos, de tal modo que no existen conexiones entre nodos del mismo grupo (Newman, 2004); en este sentido, un ejemplo de redes bipartitas son las redes de interacción planta-animal, dado que ilustran el patrón de reciprocidad de interacciones inherente a procesos coevolutivos (Bascompte y Jordano, 2007).

3.7.1 Métricas: Las redes de interacción pueden analizarse gracias a las métricas, las cuales proporcionan información para describir la estructura de las redes mutualistas de interacción.

A) Conectancia (C): Es la proporción de interacciones que se establecen en la red en relación con el número de interacciones posibles. Esta métrica también representa la densidad global de interacciones, debido a que conforme se incrementa la riqueza de especies de una comunidad, aumenta el número de interacciones registradas; en este caso la conectancia disminuye exponencialmente (Bascompte y Jordano, 2006; Ramírez-Burbano *et al.*, 2017).

B) Especialización (H_2): Este índice se refiere a la especialidad de las interacciones o al grado de generalización. Los valores van desde cero (0) hasta uno (1); cero es para no especialización, y ocurre cuando todas las especies interactúan con todos los recursos disponibles (plantas), y uno (1) para especialización completa, cuando cada especie interactúa con un subgrupo

particular de recursos o plantas. Cuanto más selectiva es una especie, mayor es H_2 para la red (Blüthgen *et al.*, 2006).

C) Anidamiento (NODF): Llamado nodo de anidamiento o encajamiento, indica un patrón prevalente cuando las especies generalistas interactúan con un amplio conjunto de especies de plantas, pero las más especialistas, interactúan únicamente con un grupo reducido (subgrupo), el cual va desde cero (0) cuando no hay anidamiento, a cien (100) cuando hay anidamiento perfecto. El anidamiento en redes mutualistas es importante, puesto que permite entender los patrones coevolutivos en comunidades ricas en especies, siendo útil en ecología de comunidades y ecología de la conservación (Bascompte *et al.*, 2003; Ramírez-Burbano *et al.*, 2017)

3.8 Perfiles de diversidad

La diversidad de orden cero ($q = 0$) equivale únicamente al número de especies reportadas y es independiente de las abundancias. El número equivalente de orden uno ($q = 1$), representa el índice exponencial de Shannon y asigna a las especies reportadas dentro de una comunidad, un peso proporcional a su frecuencia de ocurrencia considerando el total de individuos observados (Jost, 2007; Moreno *et al.*, 2011). Para el valor de q de orden dos ($q = 2$), equivalente al inverso de Simpson, es posible visualizar las especies dominantes o con mayor frecuencia de ocurrencia con su respectiva proporción (Moreno, Barragán, Pineda, y Pavón, 2011).

4. ANTECEDENTES

En décadas recientes se han venido desarrollando estudios acerca de las interacciones planta-ave, avifauna asociada a sistemas productivos cafeteros, relación de rasgos morfométricos con procesos de polinización y transporte de polen (Perfecto *et al.*, 1996; Rodríguez-Flores y Stiles, 2005; León-Camargo y Rangel-Ch., 2015).

4.1.1 Avifauna en cafetales: Wunderle y Latta (1996) estudiaron la avifauna asociada a un relicto de bosque y dos sistemas productivos de café en la cordillera Central de la República Dominicana a través de puntos de conteo y redes de niebla y evaluaron cómo el tipo de manejo de los cultivos influía en la presencia o ausencia de algunas especies de aves. Los autores encontraron que el sistema cafetero con sombra diversificada contribuyó a conservar la biodiversidad en las regiones agrícolas, proveyendo hábitat para las especies nectarívoras de bosques latifoliados; por el contrario, los cafetales a libre exposición sólo proporcionaron hábitat para especies de matorral.

Wunderle (1999) determinó la relación entre el área del cultivo, aislamiento de la misma y estructura del hábitat a partir de la distribución y abundancia de aves. El autor encontró que el incremento del área estaba relacionado con una mayor abundancia de algunas especies residentes, pero no con las especies migratorias. Concluyó que se debían promover cultivos de café con altos niveles de diversidad estructural y florística para la conservación de las aves.

Botero y Verhelst (2001) realizaron un estudio de la avifauna en cafetales de Antioquia, Quindío, Caldas y Santander, donde a través de puntos de conteo censaron las aves y estudiaron la estructura y composición de los sombríos. Del total de resultados obtenidos, encontraron que *Dacnis hartlaubi*, especie endémica y vulnerable de Colombia, se observó solamente en cafetales aledaños a fragmentos de bosque y también, encontraron que para los cafetales con sombrío predominaron los árboles de *Cordia alliodora* e *Inga*. Concluyeron que era necesario continuar los estudios sobre la ecología y comportamiento de *Dacnis hartlaubi* y resaltaron la importancia de los fragmentos de bosque y los cafetales con sombrío en la conservación de especies.

En esa misma región, Verhelst *et al.* (2002) por medio de puntos de conteo encontraron en cafetales con sombrío al carpinterito punteado: *Picumnus granadensis*, especie de ave endémica de Colombia, siendo este un hallazgo importante puesto que anteriormente la especie no había sido reportada en estas

zonas. Los resultados obtenidos corroboraron la importancia de los cafetales con sombrero para la conservación de las especies.

4.1.2 Cargas Polínicas: Amaya-Marquez *et al.* (2001) identificaron las plantas cuyo polen estaba siendo transportado por colibríes y evaluaron las características del grano de polen en relación con el síndrome de ornitofilia; así mismo, exploraron los alcances del método palinológico en el reconocimiento de patrones de organización de la interacción colibrí-planta en el Parque Nacional Natural Amacayacu, Mata-Matá, Amazonas. Entre los resultados obtenidos lograron cuantificar 232 cargas de polen obtenidas a partir de 11 especies de colibríes, donde las especies generalistas transportaron cargas de polen con mayor cantidad de granos. Las características palinológicas predominantes en los granos de polen sugirieron una relación entre la estructura reticulada y polinización mediada por colibríes.

Gutiérrez (2005) estudió por medio de observaciones la ecología de la interacción colibrí-flor en relación con las épocas de reproducción, muda, movimientos poblacionales y patrones de oferta energética en los bosques alto andino y subpáramo del Santuario de Fauna y Flora del Volcán Galeras. En total, registró 18 especies de colibríes relacionadas con 58 especies de plantas, e identificó 26 especies vegetales a través de análisis palinológicos, encontrando que una alta proporción de enredaderas o epifitas pertenecían al estrato del dosel del bosque.

León y Rangel (2015) caracterizaron la interacción colibrí-planta en tres remanentes de bosque seco tropical en el municipio de Chimichagua (Cesar). Con base en la observación de las visitas a los recursos florales y los análisis de las cargas de polen en el pico y en otras partes del cuerpo de las aves, encontraron que las flores visitadas fueron en su mayoría tubulares con colores brillantes rojo y violeta y presentaron una buena relación entre el tamaño, longitud y forma del pico de los colibríes. Por otra parte, plantas con flores de color blanco y amarillo como *Cochlospermum vitifolium*, *Sterculia apetala* y *Ceiba pentandra*, conocidas como

especies adaptadas a la polinización por insectos, fueron igualmente visitadas por colibríes, especialmente de pico corto. La especie *Lepidopyga goudoti* presentó polen de todas las plantas que fueron recursos importantes según la intensidad de uso, mientras que *Phaethornis anthophilus* solamente utilizó seis especies de plantas.

4.1.3 Medidas Morfométricas: Rodríguez-Flores y Stiles (2005) realizaron una caracterización morfológica de una comunidad de colibríes ermitaños por medio de observaciones directas y capturas con redes de niebla y recursos florales en bosques de tierra firme de la Amazonía colombiana. A través de un análisis de correspondencia canónica (ACC) reconocieron dos grupos ecomorfológicos según las medidas morfológicas de los colibríes y variables ecológicas. Entre los resultados encontraron una fuerte correlación entre el largo del pico y el número de especies de plantas visitadas.

Rico (2008) examinó las tácticas de caza, selección de presas, estructura morfológica y algunos parámetros aerodinámicos en colibríes, a fin de evaluar la depredación de artrópodos en ambientes de alta montaña cercanos a Bogotá. Encontró que la forma del ala, pico y patas de algunos colibríes se asociaron al tipo de estrategia empleada en la alimentación y registró marcadas diferencias respecto al consumo de artrópodos entre las especies e incluso entre los sexos de cada especie.

Luther y Greenberg (2014) evaluaron varias hipótesis para explicar la evolución de la morfología del pico y tuvieron en cuenta cómo el papel del hábitat, la temperatura ambiente, tamaño corporal y la competencia intraespecífica, estaban relacionadas con la morfología del pico. Concluyeron que múltiples factores ambientales, como la temperatura y la estructura del hábitat, contribuyen a los cambios en su morfología.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el aporte ecológico de los colibríes en la polinización en sistemas cafeteros en el municipio de Timbío, Cauca.

5.2. Objetivos específicos

- Determinar la composición de colibríes asociados a los sistemas cafeteros.
- Caracterizar los rasgos funcionales del complejo pico de los colibríes asociados a los sistemas cafeteros.
- Evaluar las cargas polínicas transportadas por los colibríes asociados a los sistemas cafeteros.

6. METODOLOGÍA

6.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Timbío, departamento del Cauca, en dos sistemas productivos cafeteros: cultivo a libre exposición, que estuvo representado por tres unidades de muestreo (fincas): Troje 1, Troje 2 y Los Tres Edgaritos y policultivo con sombra asociada, que estuvo representado por tres unidades de muestreo: Las Veraneras 1, Las Veraneras 2 y El Danuvio (Fig. 1). El área de estudio se localizó entre 1600 y 1760 msnm, con una temperatura anual promedio entre 16 - 20 °C y precipitaciones entre 2.000 y 2.300 mm (Castillo *et al.*, 1998).

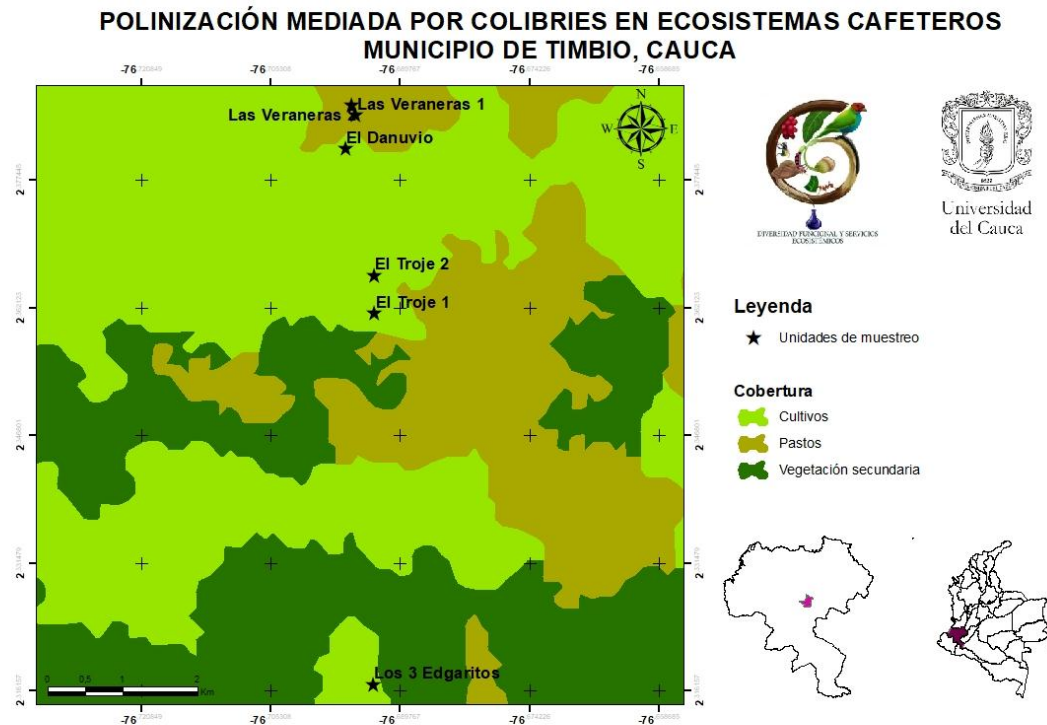


Figura 1. Localización área de estudio, municipio de Timbío, Cauca.

6.2. Caracterización de la comunidad de colibríes

Para cuantificar la riqueza y abundancia relativa de los colibríes asociados a las unidades de estudio seleccionadas, se utilizaron dos métodos de muestreo: redes de niebla y puntos de conteo.

6.2.1. Redes de niebla: se utilizaron 15 redes de niebla de medidas: 12 m de largo x 2.5 m de alto y ojo de malla de 16 mm, las cuales se localizaron al interior de las seis unidades de muestreo (Fig. 1). Las redes se abrieron entre 06:00 y 11:00 h por seis días consecutivos, abarcando un día de muestreo por unidad seleccionada.

6.2.2 Medidas morfométricas de diversidad funcional: los individuos capturados a través del uso de las redes de niebla se determinaron a nivel de

especie utilizando las guías de campo de las Aves de Colombia (Hilty y Brown, 2001; McMullan y Donegan, 2011; Ayerbe-Quiñones, 2015). Posteriormente, se realizaron mediciones de diversidad funcional del complejo pico: AP, AnP, APc, CP, LCT, LCE (ver sección 3.5.1 del Marco Teórico), siguiendo la propuesta metodológica de López *et al.* (2015). Las especies capturadas y las mediciones realizadas por individuo se registraron en una base de datos a fin de sistematizar la información. Para diferenciar los individuos por especie, se realizaron pequeños cortes en las plumas rectrices (Ralph *et al.*, 1996); después de la colecta de polen, los colibríes fueron fotografiados y liberados.

6.2.3 Cargas polínicas: para evaluar las cargas polínicas transportadas por los colibríes capturados, se recogieron muestras de polen utilizando trozos de gelatina glicerizada (Fonnegra, 2005) y se depositaron en tubos eppendorf. Para cada individuo capturado se cuantificó la carga de polen. Los granos de polen fueron depositados en y se fotografiaron a objetivos de 40x y 100x con un microscopio de campo claro modelo Primostar + ERL 5 Carl Zeiss La identificación taxonómica de los tipos polínicos se realizó a través del uso de claves taxonómicas propuestas por Colinvaux *et al.*, (2005); Magalhães e Silva (2007); Trigo *et al.*, (2008), Hesse *et al.*, (2009), Magalhães y Silva *et al.*, (2016).

6.2.4. Puntos de conteo: a fin de complementar la información obtenida a través de las capturas, se realizaron puntos de conteo para determinar asociaciones planta-colibrí (Dalsgaard *et al.*, 2009). Los conteos se llevaron a cabo entre 06:00 y 11:00 h por seis días consecutivos, dedicando un día de muestreo a cada unidad de estudio. Los conteos se efectuaron una semana después de las capturas.

Cada punto de conteo tuvo una duración de 15 minutos y un radio de observación de 25 m (Ralph *et al.*, 1996). Las especies de colibríes observadas libando, en percha y/o búsqueda de insectos fueron registradas. Posteriormente, la identificación de las plantas se realizó a partir de entrevistas a los propietarios

de las fincas y fueron corroboradas con inventarios de vegetación para zonas cercanas (Velandia *et al.*, 2012).

6.3. Análisis de datos

Considerando la naturaleza de los resultados obtenidos a partir de los métodos empleados, la información de los puntos de conteo y las capturas con redes de niebla fue analizada por separado. Los conteos (censos) representan variables continuas, resultantes de proporciones de valores de presencia/ausencia, mientras que las capturas representan una variable de naturaleza discreta, resultante del conteo de números enteros (individuos)

El esfuerzo de muestreo realizado para las capturas con redes de niebla, se calculó a partir de la fórmula: Esfuerzo de muestreo (horas–red) = (Total de metros redes/12 metros) x Total horas (Villarreal *et al.*, 2004).

Para cada especie observada a través de los censos se calculó la abundancia relativa a partir de la proporción entre número de puntos en los que la especie de colibrí fue observada y el total de puntos realizados por unidad de muestreo (Renjifo, 1999).

Se construyeron curvas de acumulación para evaluar la efectividad de los muestreos por método de muestreo y tipo de sistema cafetero, utilizando el software de acceso libre EstimateS Versión 9.1.0. (Colwell, 2009).

Con la información obtenida a partir de las capturas utilizando las redes de niebla y la frecuencia de ocurrencia de los colibríes observados en los puntos de conteo, se construyeron perfiles de diversidad Alfa basados en números efectivos o equivalentes de q de orden 0, 1 y 2.

Por medio de un análisis de similitud de Bray-Curtis (ANOSIM) (Clarke, 1993) y Modelos Lineales Generalizados (MLG), se evaluó la diferencia de riqueza y abundancia relativa de los colibríes reportados entre sistemas cafeteros. Para la comunidad de colibríes determinada a través del método de capturas (redes de niebla), se construyó un MLG con distribución de Poisson (número de individuos),

y para la comunidad de colibríes determinada a través de los puntos de conteo, se construyó un MLG con distribución Binomial (presencia/ausencia). Todos los análisis se llevaron a cabo empleando los paquetes “Vegan”, “Car” y “Ismeans” del software R (R, CoreTeam, 2018).

6.3.1 Redes de interacción: Con la información obtenida a través de los puntos de conteo, se construyeron dos redes de interacción (Red cuantitativa), una por tipo de sistema. En las matrices, las filas representaron las especies de plantas y las columnas las especies de colibríes (Ramírez-Burbano, 2013; Ramírez-Burbano *et al.*, 2017). Por otra parte, con las matrices construidas por medio del paquete Bipartite del software R estudio, se realizaron análisis de las métricas: conectancia, especialización y anidamiento, a fin de describir la estructura de las redes mutualistas de interacción (Dormann *et al.*, 2008; Dormann *et al.*, 2009).

6.3.2. Evaluación de rasgos de diversidad funcional y cargas polínicas transportadas (palinomorfos): Para evaluar posibles diferencias entre las mediciones de los rasgos de diversidad funcional del complejo pico de los colibríes capturados entre sistemas cafeteros, se realizaron pruebas de homogeneidad de varianzas (Prueba de Levene) y posteriormente se utilizó una prueba *t*.

Para analizar las cargas polínicas transportadas por los colibríes, se formularon Modelos Lineales Generalizados Mixtos (MLGM) a fin de evaluar la correlación entre las variables especie, morfotipo de polen, parte corporal y unidad de muestreo. Los modelos formulados fueron evaluados a partir de los criterios de Akaike y Bayesiano, a fin de elegir el modelo más apropiado y con mayor capacidad explicativa. Estos análisis se llevaron a cabo empleando los paquetes “Vegan”, “Car” y “Ismeans” del software R (R, CoreTeam, 2018).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Riqueza y abundancia de colibríes

A través de los puntos de conteo se realizaron 155 registros de ocho especies de colibríes y por medio de las capturas con redes de niebla, se registraron 25 individuos de cinco especies (Tabla 2). El esfuerzo de muestreo realizado fue de 2.250 h/red.

Tabla 2. Especies de colibríes y número de registros por método de muestreo y sistema productivo.

Especies	Capturas (Individuos)		Observación (Registros)	
	Policultivo	Monocultivo	Policultivo	Monocultivo
<i>Amazilia saucerrottei</i>	7	3	45	22
<i>Amazilia tzacatl</i>	0	1	8	0
<i>Chlorostilbon melanorhynchus</i>	5	4	27	16
<i>Heliomaster longitostris</i>	1	0	0	0
<i>Hylocharis grayi</i>	2	2	12	8
<i>Aglaiocercus kingi</i>	0	0	2	0
<i>Anthracothorax nigricollis</i>	0	0	0	3
<i>Chaetocercus mulsant</i>	0	0	7	0
<i>Phaethornis guy</i>	0	0	5	0
Total	15	10	106	49

A través de los puntos de conteo se registraron siete especies de colibríes en el sistema de policultivo; de este total *Chaetocercus mulsant*, *Aglaiocercus kingi* y *Phaethornis guy* fueron exclusivas. (Tabla 2). En el monocultivo se realizaron 49 registros de cuatro especies de

colibríes, siendo *Anthracothorax nigricollis* la única especie exclusiva y a su vez, la de menor frecuencia de ocurrencia.

En cuanto a los resultados obtenidos utilizando las redes de niebla, en policultivo se capturaron 15 individuos de cuatro especies, siendo *Amazilia saucerrottei* y *Chlorostilbon melanorhynchus* las que presentaron mayor número de individuos. En monocultivo, se capturaron diez individuos de cuatro especies de las cuales, *Amazilia tzacatl* fue exclusiva para este sistema. En general, *Hylocharis grayi*, *A. saucerrottei* y *C. melanorhynchus* fueron especies compartidas entre sistemas.

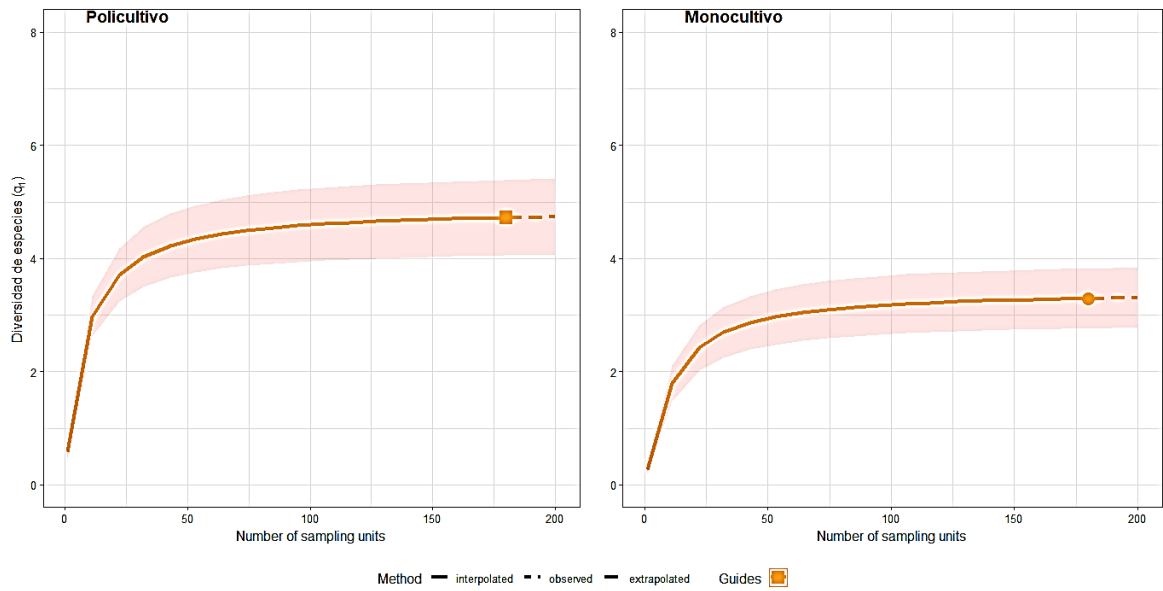
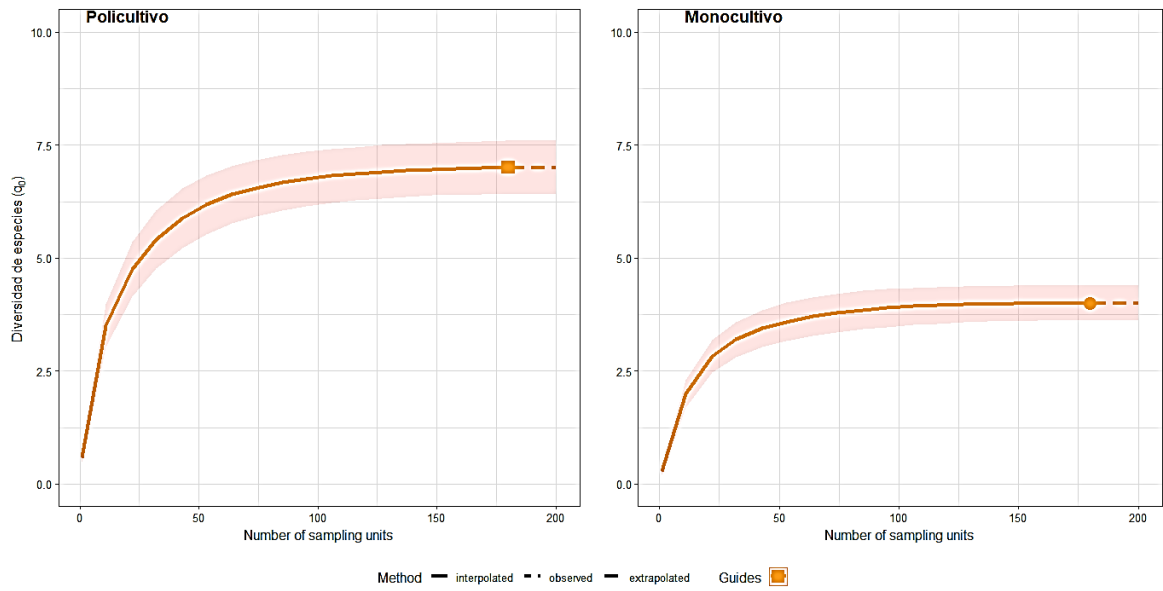
En relación con las curvas de acumulación, el estimador de riqueza Chao 1 reveló que para las especies registradas en los censos, el esfuerzo de muestreo realizado en el sistema de policultivo fue del 98%, mientras que en el de monocultivo fue del 96%. Para el método de captura con redes de niebla, el esfuerzo de muestreo en monocultivo fue del 80% y en policultivo del 89%. Los resultados obtenidos podrían asociarse a la diversidad de estratos vegetales conformados por la flora de los policultivos, los cuales suelen ofertar un mayor número de recursos alimenticios para la avifauna (Perfecto *et al.*, 1996; Izquierdo, 2009). Este resultado concuerda con lo encontrado por Calvo y Blake (1998) y Pico y Sanchez (2013), donde la mayor diversidad de aves en policultivo estuvo asociada con la presencia de sombra.

7.2 Perfiles de diversidad

7.2.1 Perfil de diversidad alfa (α) para puntos de conteo.

El valor de $q=0$ (Fig. 6) indica que la riqueza de colibríes reportada a través de los puntos de conteo en policultivo fue de siete especies: *Amazilia saucerrottei*, *Amazilia tzacatl*, *Chlorostilbon melanorhynchus*, *Hylocharis grayi*, *Agelaiocercus kingi*, *Chaetocercus mulsant* y *Phaethornis guy*, mientras que en monocultivo fue de cuatro: *A. saucerrottei*, *C. melanorhynchus*, *H. grayi* y *A. nigricollis*. Los resultados obtenidos sugieren que la oferta floral del policultivo y la diversidad de artrópodos que generalmente se asocia a este sistema, representan elementos

esenciales para favorecer una mayor riqueza de colibríes respecto a los monocultivos (Rico-G, 2008).



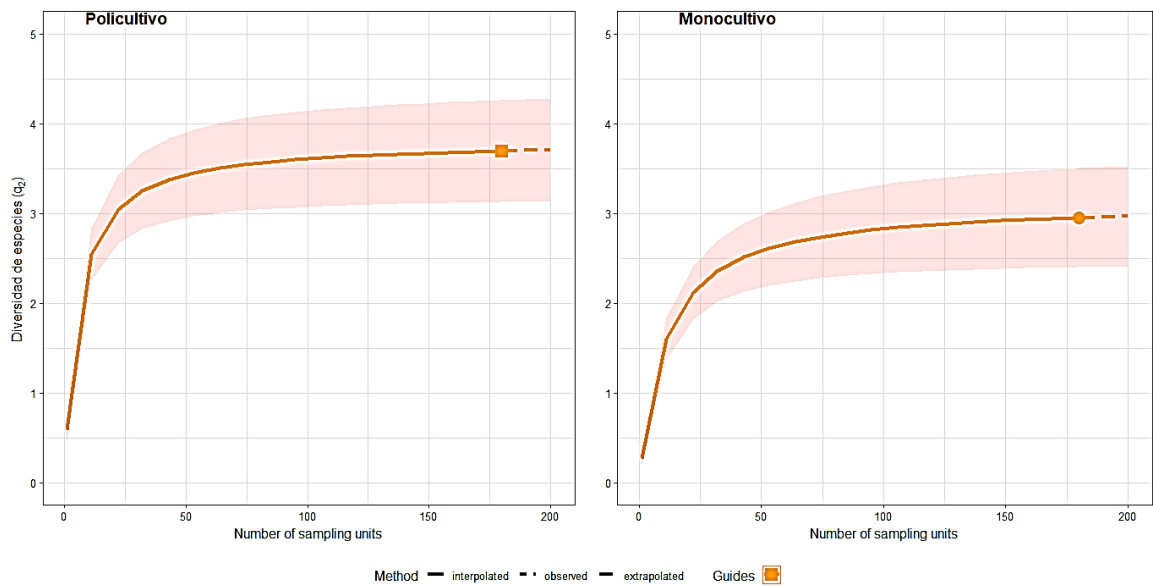


Figura 2. Perfil de diversidad alfa (α) basado en números equivalentes de q de orden 0, 1 y 2, para puntos de conteo en sistemas de monocultivo y policultivo.

Al considerar todas las especies y sus abundancias relativas en la diversidad de orden 1 ($q = 1$), se encontró que la diversidad de colibríes en monocultivo fue menor respecto al policultivo. Así, los sistemas de café a libre exposición tuvieron una diversidad igual a la que tendría una comunidad virtual de 3.3 especies, si todas las especies tuvieran exactamente la misma abundancia. Por otro lado, los policultivos presentaron una mayor diversidad respecto a los monocultivos, alcanzando una comunidad de 4.7 especies efectivas. De acuerdo a lo obtenido, el sistema de monocultivo alcanzó un 69.70% de la diversidad de aves registrada en policultivo.

En cuanto al número equivalente de $q= 2$, las especies dominantes en los sistemas de policultivo y monocultivo fueron: *Amazilia saucerrottei*, *Hylocharis grayi* y *Chlorostilbon melanorhynchus*, colibríes usualmente asociados a zonas abiertas, jardines y cultivos de banano, plátano y café (Hilty y Brown, 2001; Del Hoyo *et al.*, 2011). La diversidad de orden 2 indicó que en monocultivo se obtuvo un valor de 2.95 especies efectivas, alcanzado un número de especies semejante al del número equivalente de $q = 1$ (3.2 especies efectivas).

Al igual que para $q=0$ y $q=1$, el valor de diversidad obtenido para especies dominantes $q=2$ fue mayor en policultivo con 3.69 especies efectivas, lo que indica que el sistema estructuralmente más complejo, fue aún más diverso y a su vez, alcanzó una mayor dominancia en las abundancias de las especies más comunes.

7.2.2 Perfil de diversidad alfa (α) para capturas con redes de niebla.

Los resultados obtenidos para el orden de $q=0$ fueron similares en los dos tipos de sistemas, debido a que se registró la misma cantidad de especies: cuatro; sin embargo, las especies no fueron las mismas, debido a que en monocultivo se encontraron: *Amazilia saucerrottei*, *Amazilia tzacatl*, *Chlorostilbon melanorhynchus* e *Hylocharis grayi* y en policultivo: *A. saucerrottei*, *H. grayi*, *Heliomaster longitrostris* y *C. melanorhynchus* (Tabla 2).

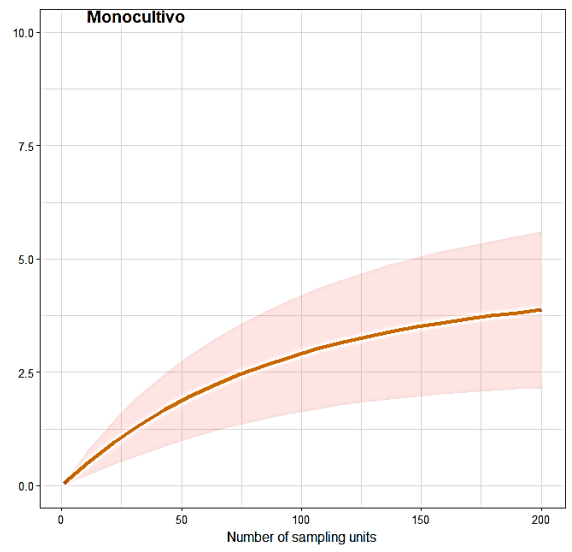
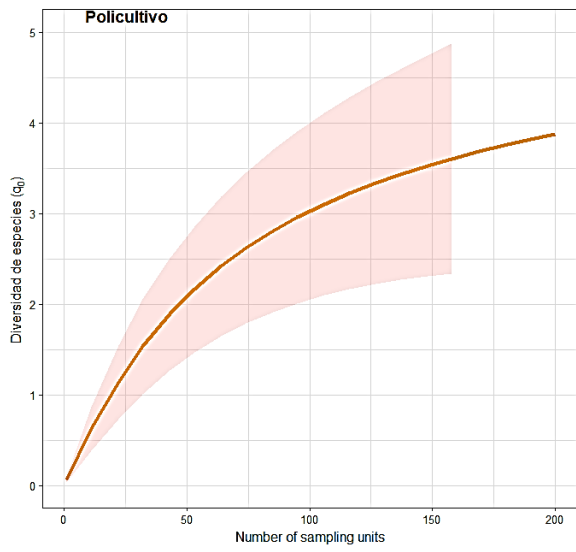
El número equivalente de $q=1$ también reveló que en monocultivo se obtuvo un valor de $q_1 = 3.6$ especies efectivas y en policultivo de $q_1 = 3.2$ especies efectivas. En general, no se encontraron diferencias entre sistemas, debido a que tanto el policultivo como el monocultivo presentaron valores de abundancia relativa similares para las especies encontradas; en el caso del policultivo se reportó un 89.69% de las especies presentes en monocultivo.


Respecto a la diversidad de orden $q=2$, el policultivo presentó una menor dominancia de especies: $q_2=2.8$, comparado con el sistema a libre exposición: $q_2=3.33$; en este sentido, el monocultivo presentó la misma cantidad de especies efectivas y dominantes, lo que quiere decir que estas especies tuvieron abundancias relativas semejantes. En general, tres de las cuatro especies presentes en dicho sistema: *Hylocharis grayi*, *Chlorostilbon melanorhynchus*, *Amazilia saucerrottei* fueron dominantes.

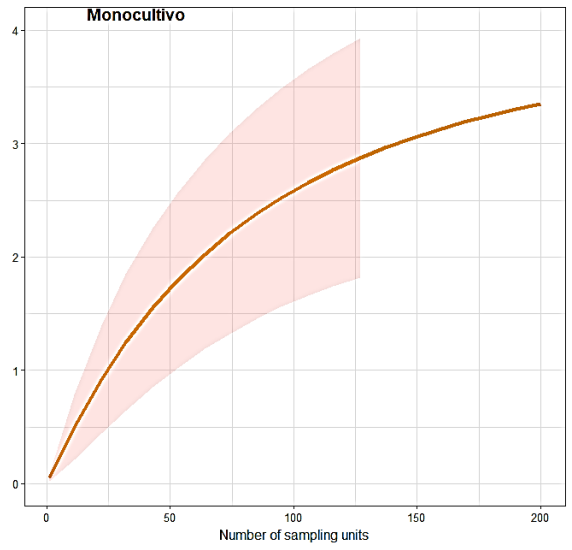
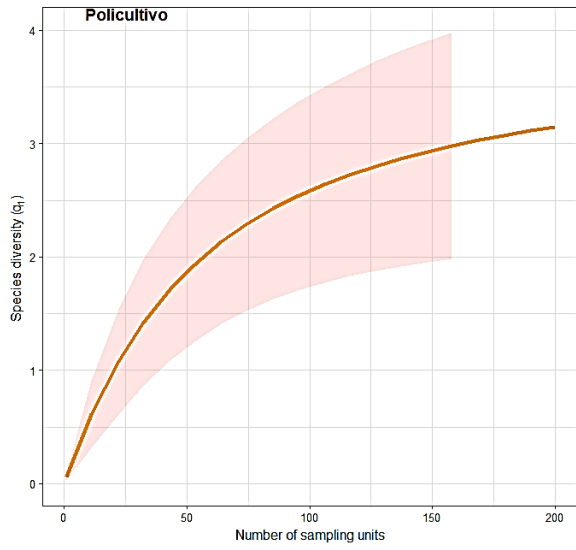
De este modo, el monocultivo fue más diverso en relación con el policultivo, pues obtuvo una mayor cantidad de especies efectivas, así como una mayor riqueza y dominancia (Tabla 2). Los resultados obtenidos posiblemente se deban a dos razones principales: que los colibríes capturados en este sistema se


encontraban atravesando la matriz, compuesta por fragmentos de bosque que rodeaban a los cultivos, y a la plasticidad que tienen la mayoría de las especies, especialmente las reportadas en monocultivo (Mazariegos, 2001); este grupo de especies: *Amazila saucerrottei*, *A. tzacatl*, *Chlorostilbon melanorhynchus* e *Hylocharis grayi* son especies que pueden encontrarse en jardines, bosques secundarios y cultivos de café, entre otros, las cuales no solo se alimentan de néctar, sino también de pequeños artrópodos asociados a los cultivos (Hilty y Brown, 2001; Del Hoyo *et al.*, 2011).

Un resultado similar al encontrado fue reportado por Stouffer y Bierregaard (1995), donde la falta de respuesta de los colibríes a los diferentes grados de fragmentación, sugieren que las especies reportadas en ese estudio podrían tener una preferencia de hábitat relativamente plástica, puesto que se encontraron en los cultivos de café, bordes, y bosques.



Method — interpolated Guides 



Method — interpolated Guides 

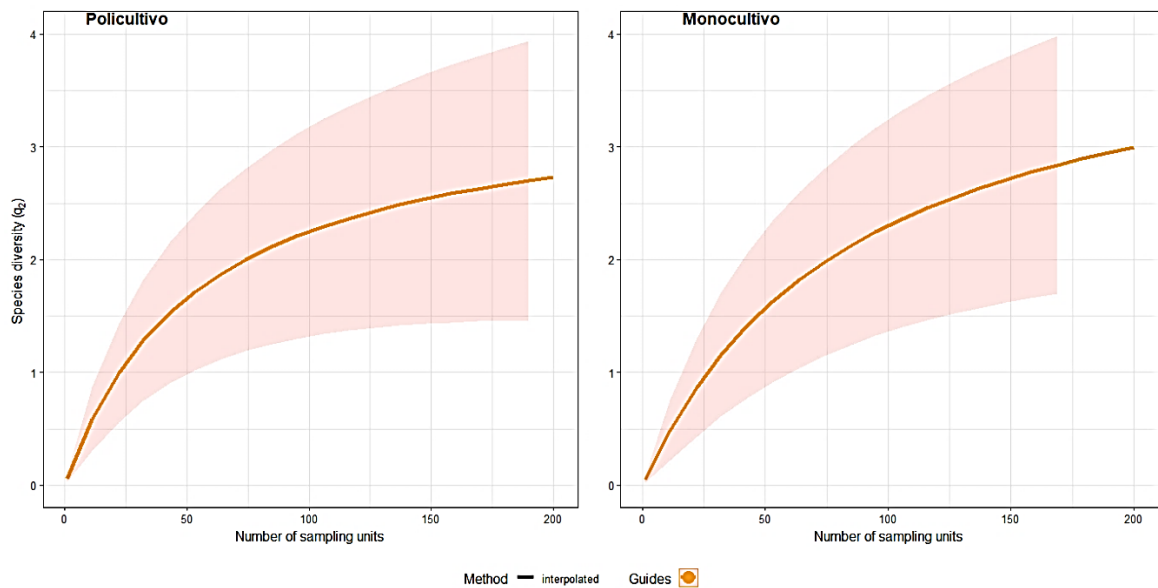


Figura 3. Perfil de diversidad alfa (α) basado en números equivalentes de q de orden 0, 1 y 2, para capturas con redes de niebla en sistemas de monocultivo y policultivo.

7.3 Análisis de similitud de Bray-Curtis (ANOSIM) y Modelos Lineales Generalizados (MLG).

Los resultados obtenidos a través del análisis de similitud de Bray-Curtis, indicaron diferencias significativas entre las comunidades de colibríes determinadas en los puntos de conteo; sin embargo, para los individuos capturados utilizando redes de niebla no hubo diferencias entre sistemas cafeteros (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de ANOSIM para la comunidad de colibríes determinada entre sistemas cafeteros de policultivo y monocultivo a través de puntos de conteo y redes de niebla.

Método	Estadístico R	Valor-p
Puntos de conteo (Censos)	0.489	0.0001
Redes de niebla	0.278	1

Los resultados obtenidos a partir del análisis de similitud (ANOSIM)

representado por el estadístico R, alcanzan valores entre 0 y 1. Los valores cercanos a 0 indican una similitud en cuanto a la composición de las comunidades de colibríes entre tipos de sistema, mientras que valores cercanos a 1 evidencian una mayor diferenciación en cuanto a riqueza y abundancia relativa (Greenacre y Primicerio, 2013).

De acuerdo a los valores obtenidos en el estadístico R, para la comunidad de colibríes determinada a través de los puntos de conteo se evidenció una disimilitud del 50% entre sistemas de policultivo y monocultivo ($p= 0.0001$); sin embargo, para evidenciar cuáles especies presentaron diferencias significativas entre sistemas cafeteros se construyeron Modelos Lineales Generalizados (MLG) con distribución binomial.

Tabla 4. Modelos Lineales Generalizados con distribución binomial para especies de aves determinadas a través de puntos de conteo entre sistemas de policultivo y monocultivo. Valores de significancia: 0 ‘***’, 0.001 ‘**’, 0.01 ‘*’.

Especie	Sistema		Sistema (Media + Desviación estándar)	
	Estadístico X^2	Significancia (p)	Policultivo	Monocultivo
<i>Agelaiocercus kingi</i>	2.77	0.1	0.13 ± 0.35	0
<i>Amazilia saucerrottei</i>	8.11	0.004**	3.00 ± 1.60	1.47 ± 0.52
<i>Amazilia tzacatl</i>	11.10	8x10-4 ***	0.53 ± 0.64	0
<i>Chaetocercus mulsant</i>	9.71	0.002**	0.47 ± 0.52	0
<i>Chlorostilbon melanorhynchus</i>	2.86	0.1	1.80 ± 0.86	1.07 ± 0.46
<i>Hylocharis grayi</i>	0.81	0.4	0.80 ± 0.67	0.53 ± 0.52
<i>Phaethornis guy</i>	6.93	0.008**	0.33 ± 0.49	0
<i>Anthracothorax nigricollis</i>	4.16	0.04*	0	0.20 ± 0.41

Los resultados obtenidos indicaron que *Amazilia saucerrottei* presentó diferencias significativas entre sistemas cafeteros, siendo una de las especies que tuvo mayor abundancia y estuvo presente en ambos sistemas. Otras especies que también presentaron diferencias significativas y se determinaron exclusivamente en policultivo fueron *Amazilia tzacatl*, *Chaetocercus mulsant* y *Phaethornis guy*,

quienes se reportaron visitando plantas de *Heliconia* sp., *Musa paradisiaca*, *Cordia resinosa*, *Myrcia popayanensis*, *Mangifera indica* entre otras. Por el contrario, *Anthracothorax nigricollis* fue la única especie que estuvo ausente en el policultivo, pero presentó una abundancia relativamente baja en monocultivo (Tabla 2) y se observó visitando únicamente *Psidium guajava*.

Los resultados obtenidos revelaron que los sistemas cafeteros con sombra asociada albergaron una mayor diversidad de colibríes, puesto que la abundancia y riqueza de estas aves se ve favorecida por una importante oferta de recursos proporcionada por las especies arbóreas utilizadas como sombrío, especialmente árboles del genero *Inga*, *Persea*, *Citrus*, *Cordia* los cuales se han descrito como importantes fuentes de nectarios florales y extra florales, que favorecen la presencia de diferentes especies de artrópodos (Wunderle y Latta, 1998; Johnson, 2000).

Los valores obtenidos en el estadístico R para la comunidad de colibríes determinada a través de la captura de individuos, indicó una disimilitud del 27.8% entre sistemas de policultivo y monocultivo y un valor de $p= 1$. Aunque no se evidenciaron diferencias significativas, se construyeron MLG con distribución de Poisson, para explorar posibles diferencias entre especies e individuos entre sistemas.

Tabla 5. Modelos Lineales Generalizados con distribución de Poisson para especies de aves determinadas a través de capturas entre sistemas de policultivo y monocultivo. Valores de significancia: 0 ‘***’, 0.001 ‘**’, 0.01 ‘*’.

Especie	Sistema		Sistema (Media + Desviación estándar)	
	Estadístico X ²	Sig.(p)	Policultivo	Monocultivo
<i>Chlorostilbon melanorhynchus</i>	0.11	0.70	0.27 ± 0.59	0.33 ± 0.62
<i>Amazilia saucerrottei</i>	1.64	0.20	0.46 ± 0.83	0.20 ± 0.41
<i>Hylocharis grayi</i>	0	1	0.13 ± 0.35	0.13 ± 0.35
<i>Amazilia tzacatl</i>	1.39	0.23	0	0.07 ± 0.26

<i>Heliomaster longirostris</i>	1.39	0.24	0.07 ± 0.26	0
---------------------------------	------	------	-------------	---

Tenido en cuenta los resultados obtenidos a través de los Modelos Lineales Generalizados (MLG) con distribución de Poisson, las especies de aves determinadas a través de puntos de conteo entre sistemas cafeteros no presentaron diferencias significativas.

7.4 Redes de interacción

7.4.1 Red de interacción planta-colibrí en policultivo

La red de interacción planta-colibrí en policultivo estuvo compuesta por 14 especies de plantas que fueron visitadas por siete especies de colibríes; en general, se observaron 32 interacciones de 98 posibles, representadas en una red de interacción bipartita (14 especies de plantas x siete especies de aves) (Fig. 10). La frecuencia de visitas de los colibríes a las plantas fue variable dependiendo de las especies de planta, y se identificaron relaciones más frecuentes como *Cordia resinosa* (Nogal) y *Amazilia saucerrottei*; *Persea americana* (Aguacate) y *Chlorostilbon melanorhynchus*, *C. resinosa* e *Hylocharis grayi*. Para la red de interacción planta-colibrí en el sistema de policultivo, se obtuvo una representatividad del 62.23% en la curva de interacciones acumuladas.

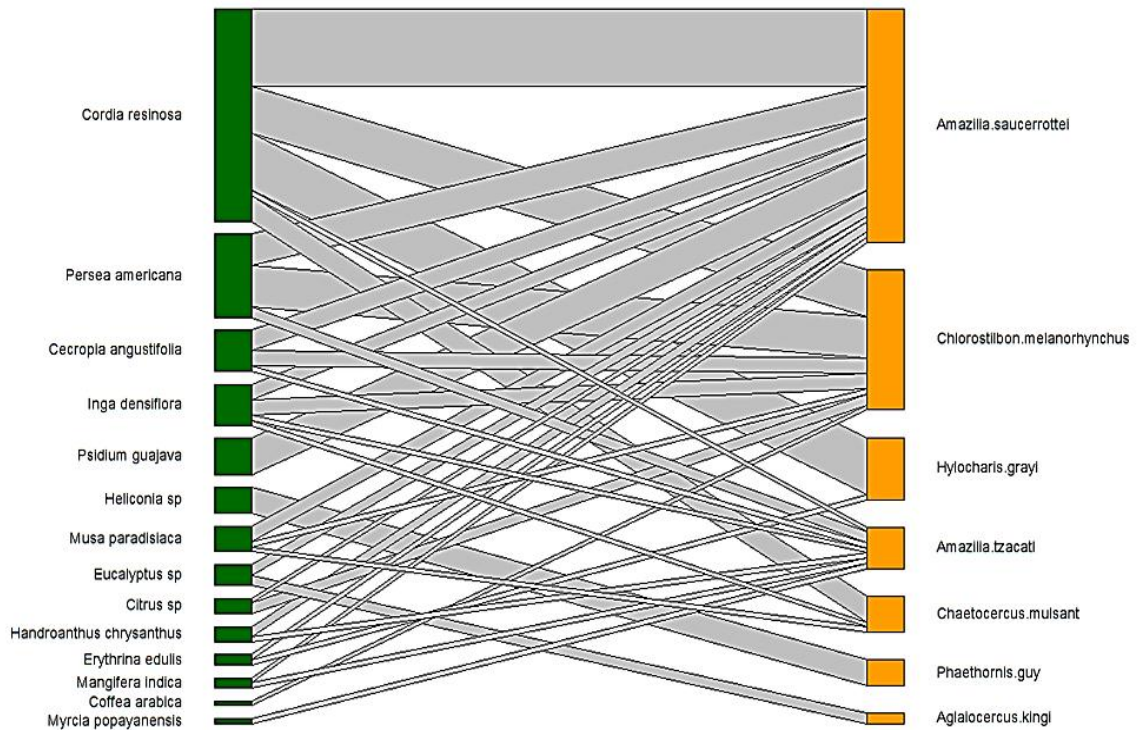


Figura 4. Red de interacción planta-colibrí en policultivo

Respecto a las métricas elegidas, la Conectancia (C) obtenida para la red de interacción fue de 0.33; este valor indica que las flores de las plantas asociadas al policultivo como *Inga densiflora*, *Musa paradisiaca*, *Cecropia angustifolia* y *Cordia resinosa*, no resultaron atractivas para la comunidad de colibríes reportada, debido posiblemente a las preferencias particulares de los colibríes por el néctar de otras plantas, a la presencia reducida de artrópodos, a limitaciones como el tamaño de la corola en relación con el tamaño del pico y/o a la territorialidad exhibida por otras especies de aves (Ramírez-Burbano *et al.*, 2017).

El valor obtenido para la métrica de Especialización (H_2) fue de 0.30, lo que indica que la mayoría de especies de colibríes presentes en policultivo son generalistas; esto podría deberse a que la estrategia utilizada por algunas especies, brinda mayor margen de supervivencia y promueve nuevas interacciones que amplían el nicho ecológico de los organismos (Medel *et al.*,

2009). Hasta el momento se ha observado que los colibríes pueden establecer en poco tiempo fuertes interacciones con plantas nativas y exóticas (Burbano-álvarez, 2013). Por ejemplo, *Amazilia saucerrottei* interactuó con plantas como *Cordia resinosa*, *Persea americana*, *Inga densiflora*, *Handroanthus chrysanthus*, *Psidium guajava*, entre otras; *Amazilia tzacatl* visitó las plantas de *C. resinosa*, *P. americana*, *I. densiflora*, *H. chrysanthus*, *Mangifera indica* y *Myrcia popayanensis*. En general, al haber una determinada oferta floral, que en este caso podría considerarse reducida respecto a bosques primarios o secundarios conservados, las especies tienden a utilizar todos los recursos disponibles (Amaya-Marquez *et al.*, 2001; Gutiérrez-Zamora *et al.*, 2004; León-Camargo y Rangel-Ch., 2015).

Al igual que para las métricas de Conectancia y Especialización, el valor de Anidamiento (NODF) fue bajo: $NODF = 50.34$. Por ejemplo, *Chaetocercus mulsant*, una especie considerada en esta red como especialista, se reportó visitando flores de *Cordia resinosa* (planta que presentó el mayor número de visitas por parte de todas las especies de colibríes) o *Hylocharis grayi*, también considerada especialista para esta red, visitó *C. resinosa*.

Por el contrario, *Amazilia saucerrottei* visitó *Mangifera indica*, *Handroanthus chrysanthus* y *Citrus* sp., las cuales tuvieron pocas interacciones; este resultado, posiblemente se obtuvo del reducido número de colibríes especialistas que interactuaron con especies de plantas generalistas.

7.4.2 Red de interacción planta-colibrí en monocultivo

La red de interacción planta-colibrí en monocultivo estuvo compuesta por cuatro especies de plantas y cuatro especies de colibrís, lo que representó un total de 16 interacciones posibles (4x4); de este total, se observaron 11 (Fig. 11). Las interacciones entre las especies de colibrís y de plantas de la red tuvieron una frecuencia variable, por lo que no todas las plantas fueron visitadas en una misma proporción.

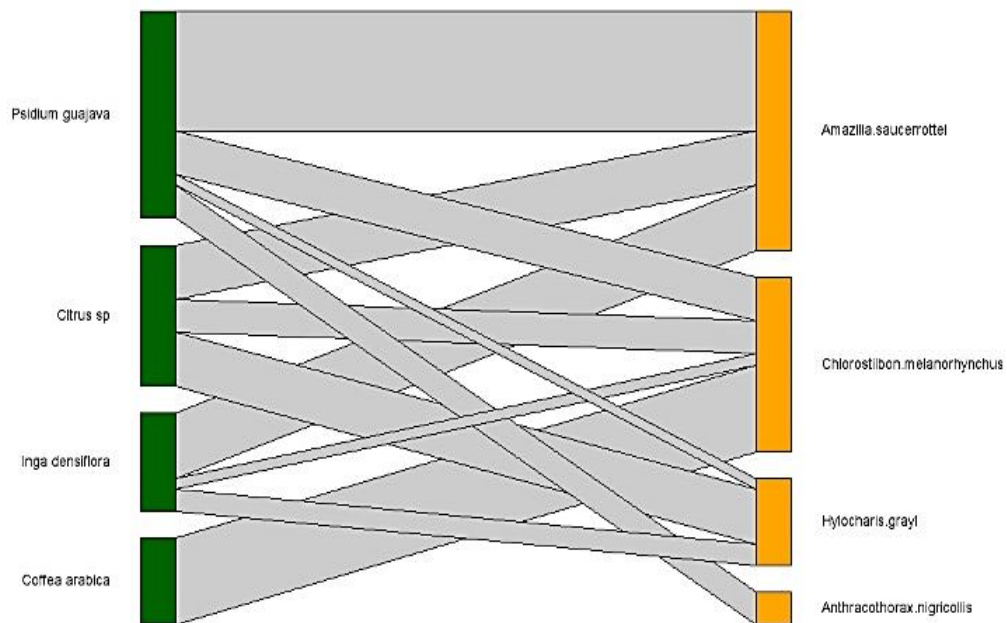


Figura 5. Red de interacción planta- colibrí en monocultivo.

El valor de representatividad para la curva de las interacciones fue de 84.87%, una asociación aparentemente mucho mayor que en policultivo, debido a que se registró un menor número de especies de aves como de plantas, lo que generó un menor número de interacciones planta-colibrí en los monocultivos.

El anidamiento (NODF) por el contrario presentó un valor bastante alto NODF= 83.33, resultante del número de asociaciones entre *Anthracothorax nigricollis* y *Psidium guajava*; *Hylocharis grayi* y *P. guajava*; *Chlorostilbon melanorhynchus* e *Inga densiflora*; *Amazilia saucerrottei* y *Citrus sp.*, este

resultado se debió al efecto de la baja oferta florística que tuvo el monocultivo, debido a que con la intensificación del manejo de café, hay una pérdida en la cobertura vegetal, cambios en la estructura del paisaje y un declive en la riqueza de aves (Perfecto *et al.*, 2003).

Para esta red, la Conectancia (C) tuvo un valor de 0.68; este resultado estuvo asociado a la baja riqueza de plantas y colibríes reportados. Algunas de las interacciones de esta red estuvieron conformadas por *Psidium guajava* y *Amazilia saucerrottei*; *Coffea arabica* y *Chlorostilbon melanorhynchus*; *Hylocharis grayi* e *Inga densiflora*; *Amazilia saucerrottei* y *Citrus* sp., entre otros. En general, los sistemas de café a libre exposición se caracterizan por la pérdida de cobertura vegetal, eliminación de árboles nativos, incremento en la densidad de siembra del café y uso de agroquímicos; consecuentemente, esto conlleva a la pérdida de la biodiversidad (Moguel y Toledo, 1999; Philpott *et al.*, 2008).

Para la métrica de Especialización (H_2), el valor obtenido fue de 0.32, evidenciando que las especies de colibríes presentes en este sistema: *Amazilia saucerrottei*, *Chlorostilbon melanorhynchus*, *Hylocharis grayi* y *Anthracothorax nigricollis*, se comportaron como especialistas, estableciendo estrechas relaciones de uso de los recursos florales disponibles: *Citrus* sp, *Inga densiflora*, *Psidium guajava* y *Coffea arabica*.

A pesar de que se cree que los colibríes visitan principalmente flores de colores llamativos, se logró registrar que no siempre es así, puesto que, para esta red, las flores de las plantas fueron de color blanco. Esto se encontró en un estudio realizado por León-Camargo y Rangel-Ch. (2015), donde también se presentaron visitas a flores de color blanco y amarillo como *Cochlospermum vitifolium*, *Sterculia apetala* y *Ceiba pentandra*, especies de plantas reportadas con adaptaciones para la polinización por insectos, pero que igualmente atraen a especies de colibríes, especialmente de pico corto.

7.5 Rasgos de diversidad funcional del complejo pico

En total, se capturaron 25 individuos de cinco especies de colibríes entre los dos sistemas productivos: *Chlorostilbon melanorhynchus*, *Amazilia saucerrottei*, *Hylocharis grayi*, *Heliomaster longirostris* y *Amazilia tzacatl*. Para todas las medidas del complejo pico, los resultados obtenidos mostraron que no hubo diferencias significativas (Tabla 3), sugiriendo que los individuos capturados son independientes del tipo de sistema, y por tanto, su contribución a la polinización no estaría relacionada con una morfometría específica en alguno de los dos cultivos; en este sentido, la mayoría de especies reportadas son generalistas y podrían cambiar su estrategia según los recursos ofertados por el sistema (Stiles, 1995).

Tabla 6. Comparación de rasgos morfométricos del complejo pico para colibríes capturados entre sistemas.

Pico	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba <i>t</i> para la igualdad de medias		
	<i>F</i>	Sig.	gl	Sig. (bilateral)	<i>t</i>
Ap	1.167	0.291	23	0.155	1.47
AnP	0.799	0.381	23	0.284	1.097
APc	0.671	0.421	23	0.94	0.076
LCT	0.409	0.529	23	0.493	0.696
LCE	0.099	0.756	23	0.562	0.588

El pico de las aves cumple diversas funciones como obtención del alimento, acicalamiento de plumas, construcción de nidos, defensa contra depredadores y despliegue de cortejos (Gutiérrez-Zamora, 2008; Salgado-Negret, 2015). También, muestra adaptaciones y modificaciones, puesto que gracias a la morfología, tamaño y demás estructuras, se han podido establecer relaciones con el uso de recursos, búsqueda de alimento y selección sexual, entre otros (Burbano-Álvarez,

2013). La forma y el tamaño del pico permiten categorizar a las especies de aves en gremios tróficos y a su vez, entender el aporte de cada individuo a la diversidad funcional respecto a la disponibilidad de recursos presentes en el ambiente (Luck *et al.*, 2012; Salgado-Negret, 2015).

Por otra parte, se pudo observar que las medidas del complejo pico, especialmente la medida de culmen total, fueron mayores en hembras que en machos. Una posible explicación podría deberse a que este rasgo en particular, les proporciona a los individuos una mayor capacidad para explotar una variedad más amplia de recursos de néctar, y en parte, podría explicar una mayor proporción de caza de artrópodos sobre el sustrato (Rico-G, 2008; Luther y Greenberg, 2014). Una tendencia similar fue reportada en bosque tropical por Stiles (1995) y Rico-G, (2008), y respaldada por Lara y Ornelas (1998), donde las hembras de *Lampornis amethystinus* presentaron picos más largos en relación a los machos.

Así mismo, Rico-G (2008) encontró una correlación entre ancho del pico entre comisuras (APc) y la proporción de arañas y hemípteros encontrados en la dieta. Tanto el alto del pico a la altura de las narinas (APn) como la longitud de culmen total (LCT), se relacionaron directamente con la captura de insectos. De igual manera, las especies reportadas en los sistemas cafeteros complementaban sus dietas con insectos asociados a la superficie del agua o a las ramas de los árboles, gracias a la forma y tamaño de su pico (Feinsinger, 1976; Del Hoyo *et al.*, 2011).

En cuanto a la longitud de culmen total y culmen expuesto, *Chlorostilbon melanorhynchus*, *Amazilia saucerrottei* e *Hylocharis grayi*, presentaron los valores de medición más bajos, como consecuencia de sus picos relativamente cortos y rectos. Cabe resaltar que estas medidas están relacionadas con el alimento consumido y tamaño de la flor polinizada (Wolf *et al.*, 1976); por esta razón, estas tres especies fueron las más abundantes en los dos tipos de sistemas (monocultivo y policultivo), donde la mayoría de plantas presentes en los cultivos, tienen flores pequeñas de corolas cortas con disposición de los pétalos de forma

rotácea o tubulares y de colores claros como ocurre en *Myrcia popayanensis*, *Psidium guajava*, *Coffea arabica*, *Musa paradisiaca*, *Handroanthus chrysanthus*, *Citrus* sp. y en inflorescencias como *Inga densiflora*, *Cecropia angustifolia*, *Persea americana* (Becerra y Chaparro, 1999; Velandia *et al.*, 2012).

Estos resultados presentaron una relación entre los colibríes previamente mencionados (de pico corto) y las flores de las plantas asociadas a los cultivos de café (flores de corolas cortas y tubulares en su mayoría), facilitando de alguna manera la polinización y complementando la dieta de los colibríes, puesto que estas plantas también son polinizadas en su mayoría por insectos (Perez, 2013; Velandia *et al.*, 2012). Estos resultados se relacionan con lo sugerido por Stiles (1980), quien afirma que el ajuste del pico a la corola es más importante al explotar flores tubulares, ya que debe tener la longitud adecuada para alcanzar el néctar y permitir que el polen se ubique en una parte específica del ave. Un resultado similar fue reportado por Ramírez-Burbano *et al.* (2007), quien encontró dos tipos de morfología entre las flores visitadas por *Eriocnemis mirabilis*: tubulares como *Besleria quadrangulata* y en forma de brocha como *Clusia* sp.

7.6 Evaluación de las cargas polínicas transportadas por colibríes asociados a sistemas cafeteros

Para evaluar la relación de asociación entre las variables de interés: especie de colibrí, palinomorfo, parte corporal de carga de polen y unidades de muestreo (sistema productivo cafetero), se construyeron dos modelos lineales generalizados mixtos (MLGM). Inicialmente, se ajustó un primer modelo en el cual las unidades de muestreo (fincas cafeteras) representaron el efecto aleatorio (Tabla 7) y posteriormente, se construyó un segundo modelo donde las especies hicieron el efecto aleatorio. Considerando los resultados obtenidos para los dos modelos, se utilizaron los criterios de Akaike y Bayesiano para evaluar cuál de los dos modelos presentaba el mejor ajuste; los criterios indicaron que el primer modelo fue el mejor (Tabla 8).

Tabla 7. Resultados ANOVA del mejor modelo explicativo para la correlación entre variables (Los valores con asterisco * indican significancia $\alpha = 0.01$ '**'; $\alpha = 0.001$ '*** y $\alpha = 0$ '***).

Variable	Chi ²	GI	Probabilidad	Significancia
Tipo	25.865	1	0.1078	
Especie	3.274.790	19	< 2.2e-16	***
Parte	561.629	2	0	***
Morfo	4.711.341	43	< 2.2e-16	***

Tabla 8. Valores obtenidos para el criterio de Akaike y Bayesiano aplicado a los modelos lineales generalizados mixtos

Modelo 1		Modelo 2	
> AIC(mod1)	> BIC(mod1)	> AIC(mod2)	> BIC(mod2)
1110.9	1357.013	1570.992	2661.97

Se lograron identificar 47 palinomorfos (Morfortipos) obtenidos a través de tres partes corporales diferentes de los colibríes (frente, garganta y pico) capturados en las redes de niebla (Anexo 3); de este total, 15 palinomorfos presentaron diferencias significativas entre todos los morfortipos encontrados y entre el número de granos de polen. Por otra parte, la especie *Chlorostilbon melanorhynchus* presentó diferencias significativas entre las especies presentes en los cultivos de café y la cantidad de morfortipos transportados ($p= 3.21e-05$), puesto que fue una de las especies que más palinomorfos transportó (33 de los 47 tipos) y de los cuales 10 fueron significativos. Por ejemplo, el morfortipo 9-Bromeliaceae: *Tillandsia* sp., obtuvo una significancia de $p= 0.002$ y se encontró presente en ambos tipos de sistema, con un total de 32 granos de polen en policultivo y uno en monocultivo. Posiblemente, una de las razones por las que se

encontró una mayor cantidad de granos de polen de esta especie en colibríes en policultivo, es porque la mayoría de bromelias del género *Tillandsia* son epifitas (Cach-Pérez *et al.*, 2014). Teniendo en cuenta que los policultivos se caracterizan por la presencia de diferentes estratos vegetales, hay una mayor posibilidad de encontrar epifitas en estos sistemas; en general, los colibríes representan el principal grupo de polinizadores de este tipo de plantas (Carranza-Quiceno y Estévez-Varón, 2008).

Otro palinomorfo que también se encontró en el colibrí *C. melanorhynchus*, que presentó diferencias significativas, fue el morfotipo 14-Uticaceae: *Cecropia peltata* ($p = < 2e-16$). En total se registraron para esta especie, 266 granos de polen, de los cuales 118 se encontraron en el pico, 108 en la frente y 40 en la garganta, con la particularidad que todos los granos se obtuvieron de individuos capturados en monocultivo; esto consecuentemente indicó que los colibríes presentes en este sistema no sólo visitan las plantas que el cultivo les ofrece, sino que también visitan especies vegetales que se encuentran en bosque o cultivos con sombra diversificada, ya sea para el consumo de néctar o insectos asociados, como lo afirma (Ríos, 2005), quien encontró especies como *Adelomyia melanogenys* y *Ocreatus underwoodii* capturando insectos en un árbol de Yarumo.

Cabe resaltar que *C. melanorhynchus* es una especie que se caracteriza por tener pico corto y recto, ser poco agresivo y visitar flores a alturas bajas y moderadas de corolas cortas, las cuales producen bajas concentraciones de néctar (Ayerbe-Quiñones, 2015); de acuerdo a su estrategia de forrajeo y características morfológicas, esta especie se clasifica en el grupo de ruteros de baja recompensa (Murcia, 2000; Hilty y Brown, 2001). Posiblemente, esta característica ecológica esté relacionada con la cantidad de palinormofos y granos transportados.

Otro palinomorfo que fue acarreado tanto por *C. melanorhynchus* y *A saucerrottei* fue el morfotipo 6-Polygonaceae: *Persicaria punctata* con un total de cuatro granos de polen para *A. saucerrottei* y dos para *C. melanorhynchus*. También se encontró el morfotipo 2-Pinaceae: *Pinus* sp. en las dos especies

anteriormente mencionadas, y esto es debido a que el tipo de grano de polen que tiene este género presenta dos vesículas aeríferas laterales que favorecen la dispersión, además de la elevada producción polínica del género; por tal razón es conocido como un tipo polínico aerovagante (Trigo *et al.*, 2008).

En un estudio realizado por Kershaw (2006), se pudo constatar que los colibríes de pico corto no sólo visitaban flores de corolas abiertas y pequeñas, sino que también podían visitar legítimamente a plantas de corolas largas, curvas y estrechas. La segunda especie de colibrí que más palinomorfos transportó fue *Amazilia saucerrottei* ($p = 0.046$) con un total de 57 granos de polen, distribuidos en 21 palinomorfos, de los cuales los morfotipos 9, 13, 15 y 26, presentaron diferencias entre la cantidad de granos de polen respecto a los demás morfotipos y pertenecieron a las familia Bromeliaceae, Leguminosae, Moraceae y Myrtaceae respectivamente, familias que en su mayoría presentan flores de tamaños pequeños.

A diferencia de *Chlorostilbon melanorhynchus*, la especie *Amazilia saucerrottei* es principalmente territorial, pero este comportamiento puede cambiar debido a que tiene una gran plasticidad para asumir un territorio o dejarlo según el balance del costo en la defensa y el beneficio de la oferta de alimento (Mazariegos, 2001). En general, suelen presentar un pico corto, visitar flores de corolas cortas o medianas y en algunas ocasiones largas (sólo si la oferta de néctar lo amerita), en jardines o zonas de cultivo, especialmente en cultivos de guamo (*Inga densiflora*), plátano y banano (*Musa paradisiaca*) y café (*Coffea arabica*); además, suelen visitar flores de *Inga* spp. y algunas epifitas que se encuentran dentro de estos sistemas, como es el caso de *Tillandsia* sp. (Feinsinger, 1976).

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que aquellos colibríes de pico corto y mediano, usualmente asociados a una condición generalista o de plasticidad, transportaron una mayor cantidad de palinormorfos, puesto que estas especies poseen un nicho trófico más amplio en términos de recursos alimenticios (Gutiérrez-Zamora y Rojas-Nossa, 2001); por el contrario, especies que poseen un

comportamiento netamente territorial como *Amazilia tzacatl*, defiende territorios de flores muy rentables en cuanto a producción de néctar, pero no poseen un amplio espectro de recursos florales para visitar (Gutiérrez-Zamora *et al.*, 2004).

De igual manera, *A. tzacatl* también presentó diferencias significativas entre los tipos de sistemas y su abundancia, puesto que solo se encontró un individuo en monocultivo ($p= 0.000$) debido a que solo acarreó un tipo de palinomorfo: tipo 14-Uticaceae: *Cecropia angustifolia*, con poca cantidad de granos de polen (cuatro granos de polen en pico), en un solo individuo presente en monocultivo; en general, esta especie puede encontrarse en cultivos, jardines y zonas abiertas (Hilty y Brown, 2001; Ayerbe-Quiñones, 2015).

Además, el morfotipo 3-Poaceae: *Zea mays* se encontró presente en cuatro de las cinco especies de colibríes capturados: *Chlorostilbon melanorhynchus*, *Amazilia saucerrottei*, *Heliomaster longirostris* e *Hylocharis grayi*. En general, este suceso pudo deberse a que esta familia presenta una distribución cosmopolita y sus granos de polen son aerovagantes, lo que facilita su dispersión (Trigo *et al.*, 2008); estos granos por tanto se adhieren con mayor facilidad a las diferentes especies de colibríes, las cuales se desplazan por los sistemas cafeteros en los cuales se reportó maíz.

Por otro lado, las partes corporales que presentaron diferencias significativas fueron garganta y pico, debido a que la mayoría de los diferentes palinomorfos se encontraron en esas zonas, lo que podría revelar algún patrón de ingreso de los colibríes a la flor o a la forma en que se disponen los pétalos.

Es importante resaltar que, aunque *Heliomaster longirostris* e *Hylocharis grayi* no fueron especies que mostraron diferencias significativas entre las especies presentes en los cafetales, también transportaron diferentes palinomorfos; algunos morfotipos comunes para estas dos especies fueron los morfos 3 y 11, pertenecientes a la familia Poaceae (*Zea mays*) y Lauraceae (*Persea americana*) respectivamente, plantas que estuvieron asociadas a los sistemas cafeteros con sombra diversificada.

8. CONCLUSIONES

Se determinaron cinco especies de colibríes a través del método de captura, de las cuales tres estuvieron presentes en los dos sistemas cafeteros estudiados. Por medio del método de observación (conteos), se determinaron ocho especies de colibríes, de los cuales siete se encontraron en policultivo, evidenciando que los cafetales con sombra asociada sirven como lugares de refugio para la biodiversidad en paisajes antropogénicos.

Chlorostilbon melanorhynchus y *Amazilia saucerrottei* determinaron como las dos especies con mayor número de registros para los dos tipos de sistemas productivos estudiados.

Los resultados obtenidos sugieren que los cultivos de café con sombra asociada albergaron una mayor cantidad de especies de colibríes que los sistemas a libre exposición; esto se reflejó en las redes de interacción planta-colibrí para los policultivos, donde hubo un mayor número de plantas y especies de colibríes presentes, y consecuentemente un mayor número de asociaciones.

Las medidas de diversidad funcional del complejo pico para las especies registradas no presentaron diferencias significativas, indicando que los individuos capturados son independientes del tipo de sistema, y por tanto, su contribución a la polinización no estaría relacionada con una morfometría significativamente mayor. En cuanto a los rasgos de longitud de culmen total y culmen expuesto, *Chlorostilbon melanorhynchus*, *Amazilia saucerrottei* e *Hylocharis grayi*, presentaron los valores morfométricos más bajos, como consecuencia de sus picos relativamente cortos y rectos; estas especies visitaron en su mayoría flores pequeñas de corolas cortas con disposición de los pétalos en forma rotácea o tubulares, principalmente en los policultivos.

Las dos especies que transportaron más palinomorfos y cantidad de granos de polen fueron *Chlorostilbon melanorhynchus* y *Amazilia saucerrottei*, posiblemente porque estas especies poseen un amplio nicho trófico en términos de recursos alimenticios, debido a su condición de especies generalistas.

Amazilia tzacatl, *Heliomastar longirostris* e *Hylocharis grayi* fueron las especies que transportaron mayor cantidad de granos de polen de plantas asociadas a los sistemas cafeteros, principalmente de *Persea americana* y *Cecropia angustifolia*.

Se detectaron granos de polen pertenecientes a las familias Pinaceae (*Pinus* sp) y Poaceae (*Zea mays*), las cuales emplean métodos de dispersión polínica aérea. Se pudo concluir que la mayoría de palinomorfos encontrados en los colibríes corresponden a plantas que se encuentran en zonas aledañas a los cultivos de café.

9. RECOMENDACIONES

Es necesario fomentar las buenas prácticas agrícolas en sistemas productivos de café, que incluyan el uso de sombríos diversificados, dado que estos pueden aumentar la complejidad estructural del agroecosistema, contribuir a la conservación de la biodiversidad, prestar servicios ecosistémicos y a su vez, actuar como sitios de paso o refugio para la fauna.

Se debe estudiar el papel de cada uno de los componentes de la red de polinización, a fin de identificar con precisión posibles procesos coevolutivos que podrían presentarse al interior del agroecosistema cafeteros

Es preciso evaluar la fenología de las plantas asociadas a los sistemas productivos de café durante mínimo un año, con el fin de correlacionar la fenología de la flora con la presencia de colibríes, especialmente para mejorar la comprensión de la topología de las redes de interacción.

Se deben realizar pruebas de viabilidad y germinación del polen para cuantificar el aporte de los colibríes en la polinización de las plantas asociadas.

10. BIBLIOGRAFIA

- Amaya-Marquez, M., Stiles, F. G., & Rangel-CH, J. O. (2001). Interacción Planta-Colibrí En Amacayacu (Amazonas, Colombia): una perspectiva palinológica. *Caldasia*, 23(1), 301–322.
- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, F., & Hincapié, E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia.
- Ayerbe-Quiñones, F. (2015). Colibríes de Colombia. Serie: Avifauna Colombiana. Colombia: Wildlife Conservation Society.
- Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Mutualistic Networks : The Architecture of Biodiversity. *Annual Review*, 38, 567–593.
- Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C., & Olesen, J. (2003). The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. *Natl Acad. Sc.*
- Becerra, N., & Chaparro, M. (1999). Morfología y anatomía vegetal. Universidad Nacional de Colombia.
- Blüthgen, N., Menzel, F., & Blüthgen, N. (2006). Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecology*, 12.
- Botero, J. E., & Verhelst, J. C. (2001). Turquoise *Dacnis hartlaubi*, further evidence of use of shade coffee plantations. *Cotinga*, 15, 34–36.
- Burbano-álvarez, J. E. (2013). Morphological co-evolution between hummingbirds' peaks and plants' corollas? ¿Co-evolución morfológica entre los picos de los colibríes y las corolas de las plantas? *Biocyt*, 6(20), 398–409.
- Cach-Pérez, M. J., Andrade, J. L., & Reyes-García, C. (2014). Susceptibilidad de las bromelias epífitas al cambio climático. *Botanical Sciences*, 92(2), 157–168.
- Calvo, L., & Blake, J. (1998). Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International*, 8(3), 297–308.
- Carranza-Quiceno, J. A., & Estévez-Varón, J. V. (2008). Ecología de la polinización de Bromeliaceae en el dosel de los bosques neotropicales de

montaña.

- Castillo, R., Chitiva, H., & González, G. (1998). *Guía para Plantaciones Forestales Comerciales Cauca*, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Colombia). Colombia: Ministerio de Medio Ambiente.
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, (18), 117–143.
- Clifford, M. (2012). *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Springer Science & Business Media.
- Colinvaux, P., Oliveira, P. E., & Moreno, P. J. E. (2005). *Amazon pollen manual and atlas. Manual e Atlas Palinológico da Amazônia*. (Harwood ac).
- Colwell, R. (2009). *No Title Statistitcal Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples (Software)*.
- Dalsgaard, B., Martín-González, A. M., Olesen, J. M., Ollerton, J., Timmermann, A., Andersen, L. H., & Tossas, A. G. (2009). Plant – hummingbird interactions in the West Indies : floral specialisation gradients associated with environment and hummingbird size. *Oecologia*, 159, 757–766.
- Del Hoyo, J., Elliott, A., & Christie, D. (2011). *Handbook of the birds of the world (Weavers to)*.
- Dormann, C. F., Fründ, J., Bluthgen, N., & Gruber, B. (2009). Indices, Graphs and Null Models: Analyzing Bipartite Ecological Networks. *The Open Ecology Journal*, 2(1), 7–24.
- Dormann, C. F., Gruber, B., & Fründ, J. (2008). Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. *R News*, 8, 8–11.
- Faegri, K., & Pijl, L. (1997). *The Principles of Pollination Ecology*. Pergamon Press.
- Fahrig, L. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487–515.
- Feinsinger, P. (1976). Organization of a Tropical Guild of Nectarivorous Birds. *Ecological Monographs*, 46(3), 257–291.
- Fonnegra, R. (2005). *Introducción a la palinología: métodos de estudio palinológico*. (F. de C. E. y N. Departamento de Biología, Ed.). Medellín,

Colombia: Universidad de Antioquia.

- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810–821.
- Greenacre, M., & Primicerio, R. (2013). Chapter 5 Measures of distance between samples : non-Euclidean. In *Multivariate Analysis of Ecological Data* (pp. 1–10).
- Greenberg, R., Bichier, P., Angon, A. C., & Reitsma, R. (1997). Bird populations of sun and shade coffee plantations in Central Guatemala. *Conservation Biology*, 11(2), 448–459.
- Gutiérrez-zamora, A. (2005). Ecología de la interacción entre colibríes (aves: Trochilidae) y plantas que polinizan en el bosque Altoandino de Torca.
- Gutiérrez-Zamora, A. (2008). Las interacciones ecológicas y estructura de una comunidad altoandina de colibríes y flores en la cordillera oriental de Colombia. *Ornitología Colombiana*, 7(7), 17–42.
- Gutiérrez-zamora, A., & Rojas-Nossa, S. V. (2001). Dinámica anual de la interacción colibrí-flor en ecosistemas altoandinos del volcán galeras, sur de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Gutiérrez-zamora, A., Rojas-Nossa, S. V., & Stiles, F. G. (2004). Dinamica anual de la interaccion colibri-flor en ecosistemas altoandinos. *Ornitologia Neotropical*, 15, 205–213.
- Hesse, M., Halbritter, H., Zetter, R., Weber, M., Buchner, R., Frosch, A., & Ulrich, S. (2009). *Pollen Terminology, an illustrated andhbook*. New York.: Springer-Verlag/Wien.
- Hilty, S., & Brown, W. (2001). *Guía de las aves de Colombia*. American Bird Conservancy.
- Izquierdo, J. del Pi. (2009). Comparación De La Estructura Y Composición De Los Ensamblajes De Aves Asociados a Un Cafetal Con Sombrío Y Un Bosque Natural En La Sierra Nevada De Santa Marta (Cesar). Pontificia Universidad Javeriana.

- Jaramillo, A. (2012). Efecto de las abejas silvestres en la polinización del café (*coffea arabica*: rubiaceae) en tres sistemas de producción en el departamento de Antioquia/effect of wild bees on the pollination of coffee (*coffea arabica*: rubiaceae) in three production systems. Universidad Nacional de Colombia.
- Johnson, M. D. (2000). Effects of shade-tree species and crop structure on the winter arthropod and bird communities in a Jamaican shade coffee plantation. *Biotropica*, 32(1), 133–145.
- Kershaw, F. (2006). The co-evolution of hummingbird bill morphology and floral structures with regard to both native and non-native flower species. Leeds University.
- Komar, O. (2006). Ecology and Conservation of Birds in Coffee Plantations of El Salvador, Central America. *Bird Conservation International*, 16(1), 1–23.
- Langlands, P., Brennan, K., Framenau, V., & Main, B. (2011). Predicting the post-fire responses of animal assemblages: Testing a trait-based approach using spiders. *Journal of Animal Ecology*, 80(3), 558–568.
- León-Camargo, D., & Rangel-Ch, J. O. (2015). Interacción colibrí-flor en tres remanentes de bosque tropical seco (BsT) del municipio de Chimichagua (Cesar, Colombia). *Caldasia*, 37(1), 107.
- López, J., Stiles, F. G., & Parra, J. (2015). Protocolo para la medición de rasgos funcionales en aves. In *La Ecología Funcional Como Aproximación Al Estudio, Manejo y Conservación de La Biodiversidad: Protocolos y Aplicaciones* (pp. 80–125). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Luck, G., Lavorel, S., McIntyre, S., & Lumb, K. (2012). Improving the application of vertebrate trait-based frameworks to the study of ecosystem services. *Journal of Animal Ecology*, 81, 1065–1076.
- Luther, D., & Greenberg, R. (2014). Habitat type and ambient temperature contribute to bill morphology. *Ecology and Evolution*, 4(6), 699–705.
- Magalhães e Silva, F. H. (2007). Contribuição á Palinologia das Caatingas.

- Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana.
- Magalhães e Silva, F. H., Ribeiro dos Santos, F., & Lima e Lima, L. C. (2016). Flora polínica das Caatingas: Estação biológica de Canudos (Canudos, Bahia, Brasil). (F. de S. M. Bahia., Ed.).
- Mariano, C., & Bilenca, D. (2011). Los Pastizales y El Servicio de Soporte de La Biodiversidad: Respuesta de La Riqueza de Aves Terrestres a Los Usos de La Tierra En La Provincia de Buenos Aires. In Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial (pp. 511–525). NTA.
- Mazariegos, L. (2001). Joyas Aladas de Colombia. (Imprelibros, Ed.). Cali, Colombia.
- McMullan, M., & Donegan, T. (2011). Guía de Campo de las Aves de Colombia.
- Medel, R., Aizen, M., & Zamora, R. (2009). Ecología y evolución de interacciones Planta-Animal.
- Moguel, P., & Toledo, V. (1999a). Biodiversity conservation in traditional Coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11–21.
- Moguel, P., & Toledo, V. (1999b). Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11–21.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249–1261.
- Murcia, C. (2000). Coevolución de los colibríes y las flores. In Joyas aladas de Colombia (pp. 120–130). Imprelibros.
- Newman, M. E. J. (2004). Detecting community structure in network., 38, 321–330.
- Perez, V. (2013). Biología reproductiva del mango (*Mangifera indica* L.). Universidad de Malaga.
- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & Van der voort, M. E. (1996). Perfecto, shade coffee a disappearing refuge for biodiversity.pdf. *BioScience*, 46(8), 598–608.

- Perfecto, I., Rice, R., Greenberg, R., & Voort, M. (1996). Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. *Bioscience*, 46(8), 598–608.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Mas, A., & Dietsch, T. (2003). Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 12(6), 1239–1252.
- Philpott, S. M., Arendt, W. J., Armbrecht, I., Bichier, P., Diestch, T. V, Gordon, C., ... Zolotoff, J. M. (2008). Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes: review of the evidence on ants, birds, and Trees. *Conservation Biology*, 22(5), 1093–1105.
- Pico, P., & Sanchez, J. (2013). La importancia del uso del sombrero en un agroecosistema cafetero como estrategia de conservación y aprovechamiento sostenible caso Hacienda el Rble Mesa de Los Santos Santander. Unidades Tecnológicas de Santander.
- Pimentel, D., Stachow, U., Takacs, D. A., Brubaker, H. W., Dumas, A. R., Meaney, J. J., ... Corzilius, D. B. (1992). Conserving Biological Diversity in Agricultural/Forestry Systems. *BioScience*, 42(5), 354–362.
- Proctor, M., Peter, Y., & Lack, A. (1997). *The natural History of Pollination* (The New Na). HarperCollins.
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., Desante, D. F., & Milá, B. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Agradecimientos.
- Ramírez-Burbano, M. (2004). Patrones de uso de recursos florales por la comunidad de Colibríes (Aves: Trochilidae) del sector Charguayaco, Parque Nacional Natural Munchique. Universidad del Cauca.
- Ramírez-Burbano, M. (2013). Redes de interacción mutualista colibrí-flor en el Parque Nacional Natural Munchique: ¿La pérdida de un colibrí endémico y en peligro crítico de extinción, acarrea el colapso del sistema? Universidad Nacional de Colombia.
- Ramírez-Burbano, M., Sandoval-Sierra, J., & Gómez-Bernal, L. (2007). Uso de recursos florales por el Zamarrillo Multicolor *Eriocnemis mirabilis* (Trochilidae)

- en el Parque Nacional Natural Munchique, Colombia. *Ornitología Colombiana*, 5, 64–77.
- Ramírez-Burbano, M., Stiles, F. G., González, C., Amorim, F. W., Dalsgaard, B., & Maruyama, P. K. (2017). The role of the endemic and critically endangered Colorful Puffleg *Eriocnemis mirabilis* in plant-hummingbird networks of the Colombian Andes. *Biotropica*, 0(0), 1–10.
- Remsen, J., Areta, J., Cadena, C., Jaramillo, A., Nores, M., Pacheco, J., ... Zimmer, K. (2019). classification of the bird species of South America, American Ornithologists' Union.
- Renjifo, L. (1999). Composition changes in a subandean avifauna after long-term forest fragmentation. *Conservation Biology*, 13.
- Rico-G, A. (2008). Morfología y forrajeo para buscar artrópodos por colibríes altoandinos. *Ornitología Colombiana*, 7(7), 43–58.
- Ríos, M. M. (2005). ¿Quién come yarumo?... O mejor, ¿Quién no come yarumo en los bosques de montaña? *Boletín SAO*.
- Rodríguez-Flores, C., & Stiles, F. G. (2005). Análisis ecomorfológico de una comunidad de colibríes ermitaños (Trochilidae , Phaetorninae) y sus flores en la Amazonia colombiana. *Ornitología Colombiana*, 3(2015), 7–27.
- Salgado-Negret, B. (2015). La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad protocolos y aplicaciones. (B. E. Salgado, Ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. Colombia.
- Sarandón, S. J. (2010). Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: Análisis del Convenio sobre Diversidad Biológica. *Aplicaciones, Vertientes Del Pensamiento Agroecológico: Fundamentos Y aplicaciones.*, 95–116.
- Sekercioglu, C. H. (2012). Bird functional diversity and ecosystem services in tropical forests, agroforests and agricultural areas. *Journal of Ornithology*, 153, 153–161.
- Stiles, F. G. (1978). El ciclo anual en una comunidad coadaptada de colibríes y

- flores en el bosque tropical muy húmedo de Costa Rica. *Biología Tropical*, 27, 75–101.
- Stiles, F. G. (1981). Geographical aspects of bird-flower coevolution, with particular reference to Central America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 68(2), 323–351.
- Stiles, F. G. (1995). Behavioral, Ecological and Morphological Correlates of Foraging for Arthropods by the Hummingbirds of a Tropical Wet Forest. *The Condor*, 97(4), 853–878.
- Stiles, F. G. (2000). Evaluando la disponibilidad y el uso de los recursos florales para los colibríes. Bogotá, D. C. Colombia.
- Stiles, F. G., Altshuler, D. L., & Dudley, R. (2005). Wing morphology and flight behavior of some north American hummingbird species. *The Auk*, 122(3), 922–937.
- Stiles, F. G. (1980). Ecological and evolutionary aspects of bird-flower coadaptations. Berlin.
- Stouffer, P. C., & Bierregaard, R. O. (1995). Effects of Forest Fragmentation on Understory Hummingbirds in Amazonia Brasil. *Conservation Biology*, 9, 1084–1094.
- Trigo, M. del M., Jato, V., Fernández, D., & C, G. (2008). Atlas aeropalinológico de España. Universidad de León.
- Van Bael, S. A., Philpott, S. M., Greenberg, R., Bichier, P., Barber, N. A., Mooney, K. A., & Gruner, D. S. (2008). Birds as predators in tropical agroforestry systems. *Ecology*, 89(4), 928–934.
- Velandia, M., Restrepo, S., Cubillos, P., Aponte, A., & Silva, L. (2012). Catálogo fotográfico de especies de flora apícola en los departamentos de Cauca, Huila y Bolívar. No Title. Instituto Humboldt.
- Verhelst, J. C., Botero, J. E., Orrego, O., & Fajardo, D. (2002). El carpinterito punteado *Picumnus granadensis* en las regiones cafeteras de Colombia. *Caldasia*, 24(1), 201–208.
- Villarreal, H., Córdoba, S., Álvarez, M., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ...

- Umaña, A. M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Waser, N., & Ollerton, J. (2006). Plant-Pollinator Interactions from specialization to generalization.
- Wethington, S., & Finley, N. (2009). Addressing Hummingbird conservation needs: An initial assessment. Proceedings of the fourth international partners in flight conference: Tundra to tropics: Connecting birds, habitats, and people. Texas: Partners in Flight.
- Wolf, L., Stiles, G. F., & Hainsworth, F. (1976). Ecological organization of a tropical highland hummingbird community. *Journal of Animal Ecology*, 45, 349–379.
- Wunderle Jr., J. M., & Latta, S. C. (1996). Avian abundance in sun and shade coffee plantations and remnant pine forests in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Ornitología Neotropical*, 7, 19–34.

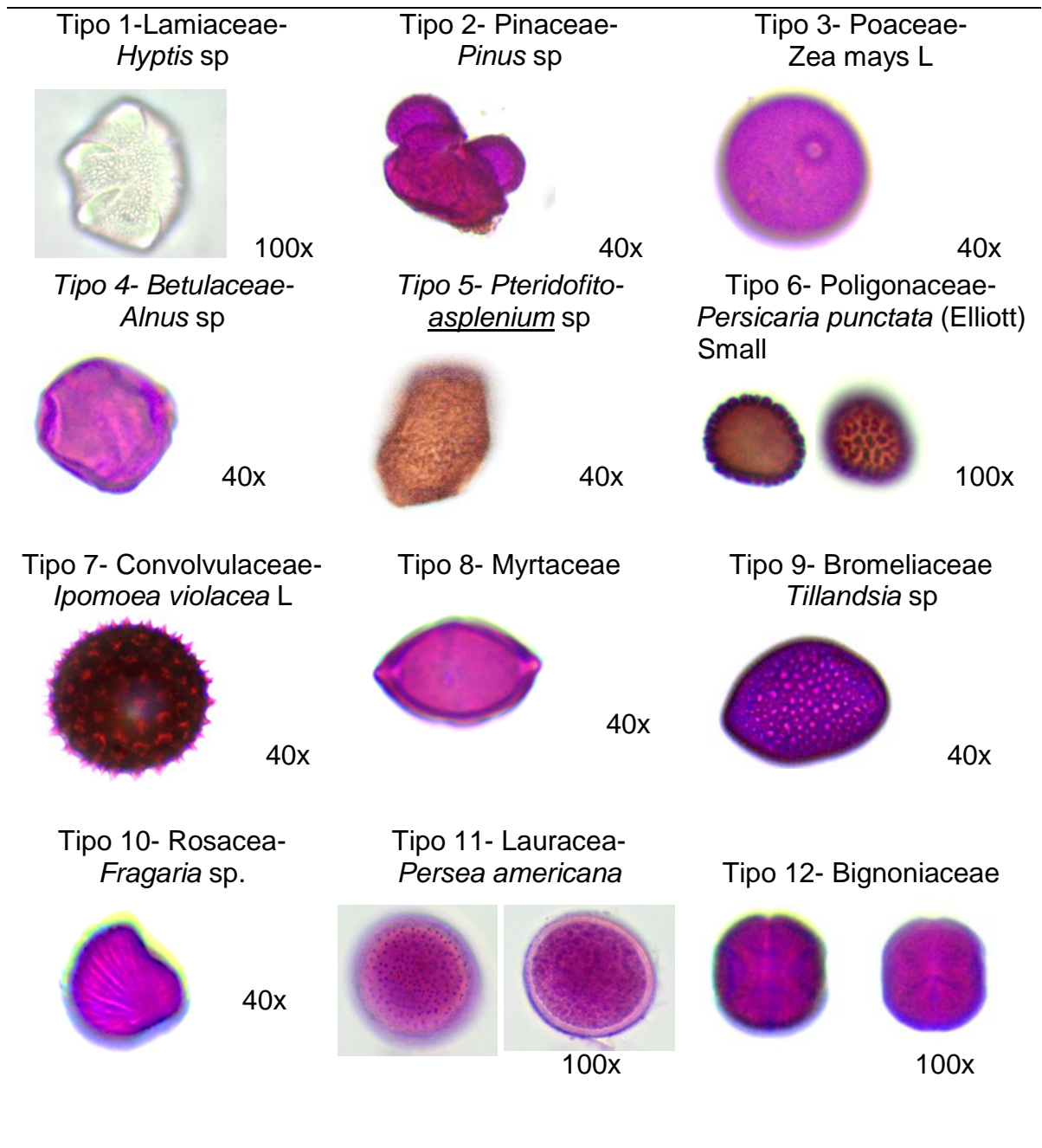
LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de referencia de cada tipo de polen en cada especie de colibrí

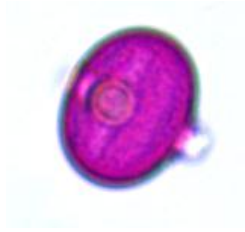
	<i>Chlorostilbon melanorhynchus</i>	<i>Heliomaster longitostris</i>	<i>Hylocharis grayi</i>	<i>Amazila tzacatl</i>	<i>Amazilia sauceerrottei</i>
Tipo 1	X		X		X
Tipo 2	X		X		X
Tipo 3	X	X	X		X
Tipo 4	X		X		
Tipo 5	X	X			
Tipo 6	X				X
Tipo 7	X				X
Tipo 8	X		X		
Tipo 9	X		X		X
Tipo 10	X		X		
Tipo 11		X	X		
Tipo 12	X		X		
Tipo 13	X	X			X
Tipo 14	X		X	X	
Tipo 15			X		X
Tipo 16					X
Tipo 17					X
Tipo 18		X	X		X
Tipo 19					X
Tipo 20	X				
Tipo 21	X				

Tipo 22	X		
Tipo 23	X		
Tipo 24	X		X
Tipo 25	X		
Tipo 26	X		X
Tipo 27	X		
Tipo 28	X		
Tipo 29	X		
Tipo 30	X		
Tipo 31	X		
Tipo 32	X		
Tipo 33	X		
Tipo 34	X		
Tipo 35		X	
Tipo 36		X	
Tipo 37			X
Tipo 38			X
Tipo 39	X		X
Tipo 40	X		
Tipo 41			X
Tipo 42	X		
Tipo 43			X
Tipo 44		X	X
Tipo 45	X		
Tipo 46	X		X
Tipo 47		X	

Anexo 2. Polen transportado por colibríes capturados a través de redes de niebla en los sistemas cafeteros (monocultivo y policultivo).

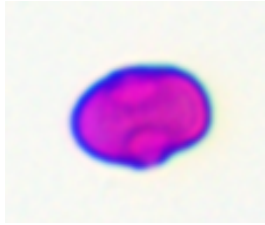


Tipo 13- Leguminosae-
Chamaecrista sp



40x

Tipo 14- Urticacea-
Cecropia angustifolia L



40x

Tipo 15- Moraceae



40x

Tipo 16- Pteridofito



100x

Tipo 17- Lythraceae-
Cuphea sp



40x

Tipo 18- Flacourtiaceae



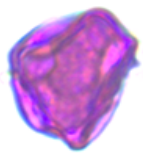
40x

Tipo 19



40x

Tipo 20



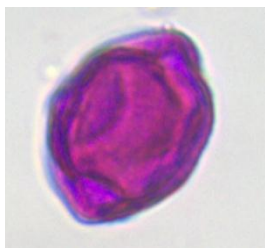
40x

Tipo 21- Cyperaceae-
Scleria sp



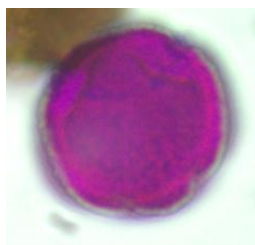
40x

Tipo 22- Cyperaceae



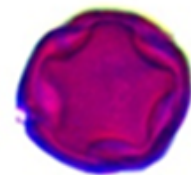
40x

Tipo 23



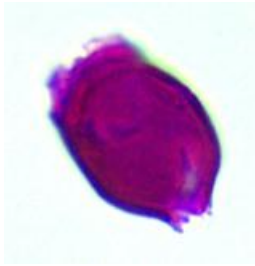
40x

Tipo 24- Melastomataceae



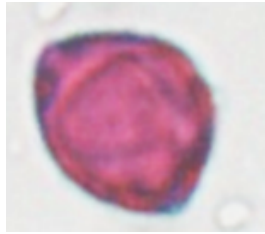
40x

Tipo 25



40x

Tipo 26- Myrtaceae



40X

Tipo27



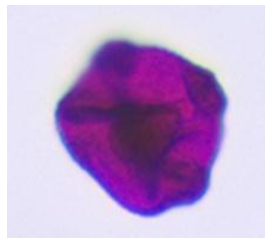
40x

Tipo 28- Acanthaceae-
Justicia sp



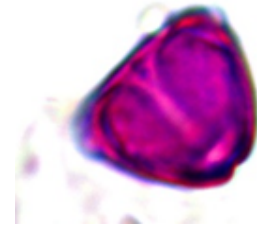
40x

Tipo 29



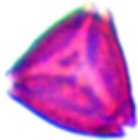
40x

Tipo 30- Myrtaceae



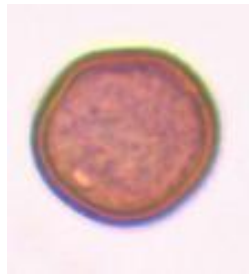
40x

Tipo 31- Myrtaceae



40x

Tipo 32



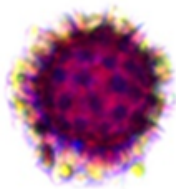
40x

Tipo 33



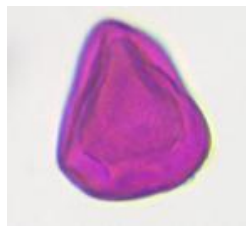
40x

Tipo 34- Asteraceae-
Bidens sp



40x

Tipo 35

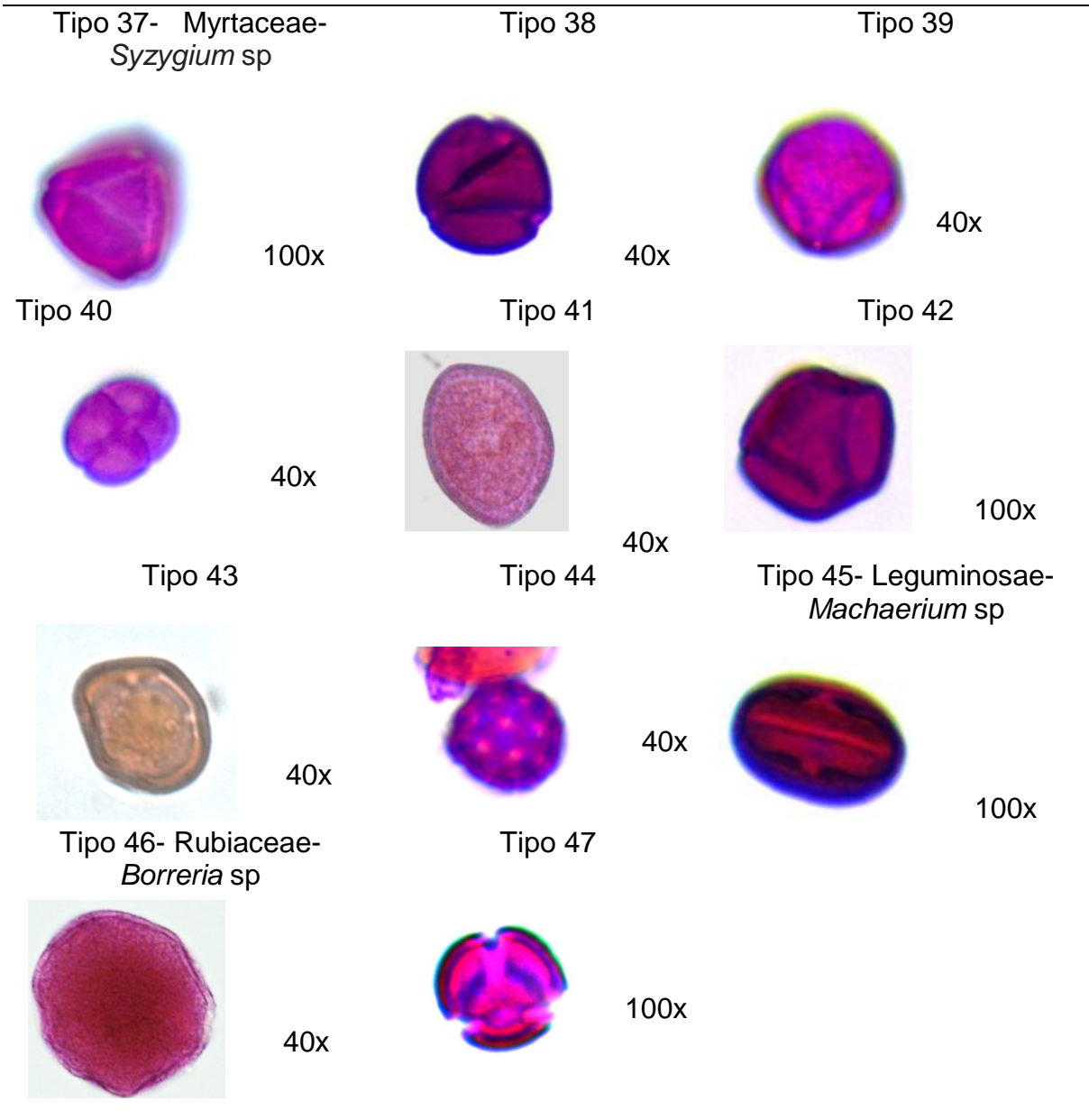


100x

Tipo 36



40x



Anexo 3. Resultado del modelo lineal generalizado mixtos (MLGM) para evaluar la asociación entre variables (Tipo, especie, palinomorfo, parte).

(Los valores con asterisco * indican significancia $\alpha = 0.01$ “*”; $\alpha = 0.001$ “** y $\alpha = 0$ “*** y las palabras *Ama_sau*, *Chl_mel*, *Hel_lon*, *Hyl_gra* corresponden a las especies de colibríes *Amazilia saucerrottei*, *Chlorostilbon melanorhynchus*, *Heliomaster longirostris* e *Hylocharys grayi* respectivamente.

	Desviación		Valor z	Probabilidad	significancia
	Estimado	estándar			
Intercepto	-7,05E+03	1,00E+03	-7.037	1.96e-12	***
Policultivo*monocultivo	2,02E+03	1,25E+03	1.608	0.107777	
<i>Ama_sau2</i>	-1,56E+02	1,31E+03	-0.119	0.904895	
<i>Ama_sau3</i>	1,60E+03	1,69E+03	0.945	0.344650	
<i>Ama_sau4</i>	5,94E+02	1,14E+03	0.521	0.602573	
<i>Ama_sau5</i>	1,26E+03	1,12E+03	1.123	0.261304	
<i>Ama_sau6</i>	-2,15E-10	1,42E+03	0.000	1.000.000	
<i>Ama_sau7</i>	-1,13E+03	1,61E+03	-0.702	0.482402	
<i>Ama_sau8</i>	-1,23E+03	7,98E+02	-1.546	0.122185	
<i>Ama_sau9</i>	-1,77E+03	8,88E+02	-1.995	0.046076	*
<i>Ama_tza1</i>	-3,27E+03	9,07E+02	-3.604	0.000313	***
<i>Chl_mel1</i>	4,49E+03	1,08E+03	4.158	3.21e-05	***
<i>Chl_mel2</i>	4,86E+02	1,10E+03	0.441	0.659100	
<i>Chl_mel3</i>	-1,69E+03	8,79E+02	-1.928	0.053829	.
<i>Chl_mel4</i>	-1,13E+03	7,75E+02	-1.462	0.143676	
<i>Chl_mel5</i>	8,41E+01	7,45E+02	0.113	0.910100	
<i>Chl_mel6</i>	-3,47E+03	8,47E+02	-4.100	4.13e-05	***
<i>Hel_lon1</i>	-4,16E+02	1,17E+03	-0.357	0.720761	
<i>Hyl_gra1</i>	-3,20E+02	1,28E+03	-0.250	0.802772	
<i>Hyl_gra2</i>	2,96E+02	1,04E+03	0.286	0.774910	
<i>Hyl_gra3</i>	9,97E+02	7,55E+02	1.320	0.186842	

garganta	-8,06E+02	1,13E+02	-7.159	8.14e-13	***
pico	-4,78E+02	1,02E+02	-4.668	3.05e-06	***
Morfo_2	-1,60E+03	9,32E+02	-1.718	0.085761	.
Morfo_3	-2,89E+02	3,50E+02	-0.826	0.408724	
Morfo_4	6,26E+01	5,96E+02	0.105	0.916379	
Morfo_5	-4,49E+02	6,74E+02	-0.666	0.505489	
Morfo_6	3,38E+02	5,60E+02	0.605	0.545396	
Morfo_7	-1,36E+03	6,45E+02	-2.106	0.035183	*
Morfo_8	-4,57E+02	4,80E+02	-0.953	0.340743	
Morfo_9	-1,15E+03	3,78E+02	-3.037	0.002391	**
Morfo_10	-3,16E+03	5,60E+02	-5.651	1.60e-08	***
Morfo_11	7,14E+02	7,39E+02	0.967	0.333591	
Morfo_12	-3,60E+03	6,76E+02	-5.322	1.03e-07	***
Morfo_13	1,47E+03	5,21E+02	2.814	0.004889	**
Morfo_14			12.50		
	2,64E+03	2,11E+02	8	< 2e-16	***
Morfo_15	1,05E+03	4,37E+02	2.392	0.016737	*
Morfo_17	8,50E+02	1,10E+03	0.772	0.440284	
Morfo_18	2,92E+02	8,06E+02	0.362	0.717480	
Morfo_19	-1,60E+03	1,69E+03	-0.945	0.344666	
Morfo_20	-8,82E+02	1,09E+03	-0.806	0.420324	
Morfo_21	-8,82E+02	1,09E+03	-0.806	0.420323	
Morfo_22	-1,88E+02	8,35E+02	-0.225	0.821895	
Morfo_23	2,18E+02	7,29E+02	0.299	0.764585	
Morfo_24	-8,82E+02	1,09E+03	-0.806	0.420319	
Morfo_25	-8,82E+02	1,09E+03	-0.806	0.420324	
Morfo_26	9,25E+02	3,30E+02	2.799	0.005130	**
Morfo_27	6,46E+02	3,57E+02	1.808	0.070617	.
Morfo_28	-2,10E+03	1,04E+03	-2.022	0.043127	*
Morfo_29	-2,10E+03	1,04E+03	-2.022	0.043127	*

Morfo_30	1,48E+02	4,10E+02	0.360	0.718654	
Morfo_31	8,81E+02	3,53E+02	2.495	0.012579	*
Morfo_32	-3,21E+02	1,15E+03	-0.280	0.779221	
Morfo_33	-3,21E+02	1,15E+03	-0.280	0.779221	
Morfo_34	-3,21E+02	1,15E+03	-0.280	0.779221	
Morfo_35	-2,02E+03	1,25E+03	-1.608	0.107794	
Morfo_36	-2,02E+03	1,25E+03	-1.608	0.107794	
Morfo_37	-1,26E+03	1,12E+03	-1.123	0.261337	
Morfo_38	-9,81E+02	8,27E+02	-1.187	0.235263	
Morfo_39	-3,13E+03	6,43E+02	-4.862	1.16e-06	***
Morfo_40	-4,49E+03	1,08E+03	-4.158	3.22e-05	***
Morfo_41	-2,44E+02	1,15E+03	-0.212	0.831871	
Morfo_44	-4,56E+02	7,93E+02	-0.575	0.565090	
Morfo_45	-4,49E+03	1,08E+03	-4.158	3.22e-05	***
Morfo_46	5,58E+02	5,92E+02	0.943	0.345734	
Morfo_47	-3,01E+03	1,02E+03	-2.950	0.003176	**

Anexo 4. Especies de colibríes capturadas y observadas en los sistemas cafeteros (Monocultivo y policultivo) a través de redes de niebla y censos.

A)



B)



C)



D)



E)

F)



G)



H)





A) *Amazilia saucerrottei*, B) *Chlorostilbon melanorhynchus*, C) *Hylocharis grayi*, D) *Aglaiocercus kingie*, E) *Amazilia tzacat*, F) *Chaetocercus mulsant*, G) *Heliomaster longirostris*, H) *Anthracothorax nigricollis*, I) *Phaethornis guy*.

Anexo 5. Listado de las especies de colibríes capturadas y observadas en los sistemas cafeteros (Monocultivo y policultivo).

Orden	Familia	Especie	Categoría de amenaza
Laurales	Anacardiaceae	Mangifera indica (L.)	Datos deficientes (DD)
Myrtales	Myrtaceae	Myrcia popayanensis (Hieron.)	Datos deficientes (DD)
Rosales	Urticaceae	Cecropia angustifolia (Trécul) Handroanthus chrysanthus (Jacq.)	Datos deficientes (DD)
Lamiales	Bignoniaceae	S.O.Grose	Datos deficientes (DD)
Boraginales	Boraginaceae	Cordia resinosa (L.)	Datos deficientes (DD)
Boraginales	Ehretiaceae	Cordia resinosa (Estrada.)	Datos deficientes (DD)
Fabales	Fabaceae	Erythrina edulis (Micheli.)	Datos deficientes (DD)
Zingiberales	Heliconiaceae	Heliconia sp	Datos deficientes (DD)
Laurales	Lauraceae	Persea americana (Mill.)	Preocupación menor (LC)
Fabales	Leguminosae	Inga densiflora (Benth.)	Datos deficientes (DD)
Zingiberales	Musaceae	Musa × paradisiaca (L.)	Datos deficientes (DD)
Myrtales	Myrtaceae	Psidium guajava (L.)	Preocupación menor (LC)
Myrtales	Myrtaceae	Eucalyptus sp	Datos deficientes (DD)
Gentianales	Rubiaceae	Coffea arabica (L.)	Datos deficientes (DD)
Sapindales	Rutaceae	Citrus sp	Datos deficientes (DD)

Anexo 6. Listado de las plantas visitadas por los colibríes en los cultivos de café (Monocultivo y policultivo) mediante observaciones.

Orden	Familia	Especie	Categoría de amenaza
		<i>Agelaiocercus kingi</i> (Lesson, 1832)	Preocupación menor (LC)
		<i>Amazilia saucerrottei</i> (Delattre & Bourcier, 1846)	Preocupación menor (LC)
Apodiformes	Trochilidae	<i>Amazilia tzacatl</i> (La Llave, 1833)	Preocupación menor (LC)
		<i>Anthracothorax nigricollis</i> (Vieillot, 1817)	Preocupación menor (LC)
		<i>Chaetocercus mulsant</i> (Bourcier, 1842)	Preocupación menor (LC)
		<i>Chlorostilbon melanorhynchus</i> (Gould, 1860)	Preocupación menor (LC)
		<i>Heliomaster longirostris</i> (Audebert & Vieillot, 1801)	Preocupación menor (LC)
		<i>Hylocharis grayi</i> (Gmelin, 1788)	Preocupación menor (LC)
		<i>Phaethornis guy</i> (Lesson, 1833)	Preocupación menor (LC)