

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

**Factores que influyen en la diversidad taxonómica y funcional de aves en  
un paisaje dominado por café en la Sierra de Apaneca en El Salvador**

Por

Leticia del Carmen Andino Martínez

Proyecto de tesis sometido a consideración de la Escuela de Posgrado  
Como requisito para optar por el grado de

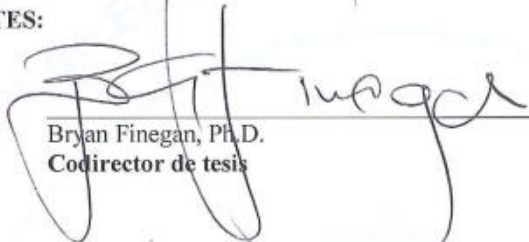
*Magister Scientiae* en Manejo y Conservación de  
Bosques Tropicales y Biodiversidad

Turrialba, Costa Rica, 2014

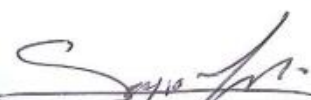
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

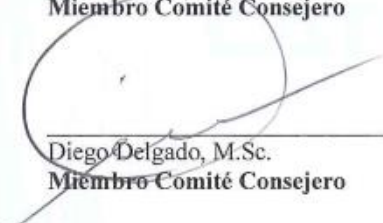
**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN  
DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

**FIRMANTES:**

  
\_\_\_\_\_  
Bryan Finegan, Ph.D.  
**Codirector de tesis**

  
\_\_\_\_\_  
Alejandra Martínez, M.Sc.  
**Codirectora de tesis**

  
\_\_\_\_\_  
Sergio Vilchez, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
Diego Delgado, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

\_\_\_\_\_  
Oliver Komar, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
I. Miley González, Ph.D. / Francisco Jiménez, Dr. Sc.  
**Decano / Vicedecano de la Escuela de Posgrado**

  
\_\_\_\_\_  
Leticia Andino Martínez  
**Candidata**

## DEDICATORIA

*A mis padres, hermanos y hermana, por brindarme su amor incondicional y apoyarme en todas las cosas que me gusta hacer*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradezco al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por el apoyo financiero que me brindó para realizar mis estudios de maestría en CATIE.

Al comité asesor Alejandra Martínez, Bryan Finegan, Sergio Vilchez, Oliver Komar y Diego Delgado por aceptar apoyarme y compartir sus conocimientos que me ayudaron mucho para realizar esta investigación. A Bryan Finegan principalmente en la revisión del anteproyecto.

A Sergio Vilchez por su paciencia y entusiasmo durante su asesoría principalmente en los análisis estadísticos y a Alejandra Martínez por su asesoría y motivación durante el proceso de tesis.

A mis padres y hermanos que siempre estuvieron apoyándome.

A los acompañantes en el campo por orden alfabético: Ernesto Guerra, Emanuel Morán, Jennifer Ábrego, Mélvín Bonilla, Rigoberto Galán, Rocío Juárez y Walter Rivera, y a Iselda Vega por el préstamo de GPS. Sin ellos, no hubiera sido posible hacer los viajes de campo.

A todos los dueños y mandadores de las fincas de café que visité, gracias por confiar en mí y poner a disposición sus fincas para poder realizar esta investigación.

A SalvaNATURA, principalmente al área de Certificación de Café (Yolanda Barrera, Sonia Escamilla y Roberto Rivera) por el apoyo y proveer información de contactos de las fincas visitadas.

A los que me ayudaron en la identificación de especies vegetales en el Museo de Historia Natural de El Salvador principalmente a Jennifer Menjivar y Gabriel Cerén, y también a José Linares.

A Vladlen Henríquez por su apoyo en la elaboración de mapas.

A Iván Rivas y Vicky Galán por apoyarme con los contactos de agentes policiales para visitar algunas fincas, entre ellos agentes de PNC San Isidro y PNC rural de Santa Ana.

Al MARN por otorgarme el permiso de investigación, principalmente a Néstor Herrera y Patricia Quintana. A ASACMA y los guardarecursos, por estar atentos en cada visita a Las Lajas y La Presa.

A Ricardo Pérez y su familia, por estar siempre pendiente de mí, dándome consejos y apoyo.

A los no solo compañeros de maestría de bosques sino amigos, especialmente a Aura, Rebe, Eliana, Vane, María, Junior y Eugenio, gracias por ser como son, por compartir tantos buenos momentos que siempre llevaré en mi corazón.

A todos los compañeros de promoción 2012–2013 que en los últimos meses de convivencia logré conocer mucho más de cada uno he hicieron la estadía en CATIE mucho más agradable y alegre.

A todos los que de una u otra forma me apoyaron (ver agradecimientos en artículo 2) y que no mencioné aquí, pero que saben que me echaron la mano en algún momento...GRACIAS.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY .....	xv
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Justificación .....	2
1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.2.3. Preguntas de investigación .....	3
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. Efectos de la fragmentación en las aves .....	3
2.1.1. Área del fragmento .....	3
2.1.2. Aislamiento del fragmento .....	4
2.1.3. Forma del fragmento .....	5
2.1.4. Efectos de borde.....	5
2.1.5. Influencia de la matriz.....	6
2.2. El valor de los sistemas agroforestales en un paisaje fragmentado.....	6
2.2.1. El café bajo sombra y las aves .....	7
2.3. Los cafetales de El Salvador .....	9
2.4. Estado de la avifauna en El Salvador .....	11
2.5. Importancia del estudio de la diversidad funcional en la avifauna .....	12
2.5.1. Rasgos funcionales y tipos funcionales.....	12

2.5.2. Diversidad funcional (DF) .....	12
2.5.3. Diversidad funcional y servicios ecosistémicos de las aves .....	13
2.6. Uso de modelos estadísticos en estudios de biodiversidad .....	14
3. BIBLIOGRAFÍA .....	15
4. ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN.....	20
ARTÍCULO 1. RELACIÓN DE LA COMUNIDAD DE AVES CON CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN EN DOS TIPOLOGÍAS DE CAFÉ Y PARCHES DE BOSQUE EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA APANECA-ILAMATEPEC Y SUS ALREDEDORES EN EL SALVADOR.....	20
RESUMEN.....	20
1. INTRODUCCIÓN .....	21
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
2.1. Área de estudio .....	23
2.2. Selección de sitios y muestreo de aves .....	24
2.3. Características de la vegetación y manejo .....	29
2.4. Análisis de datos.....	30
2.4.1. Diversidad de aves.....	30
2.4.2. Relación de las características de la vegetación y manejo con las aves .....	31
2.4.3. Asociación de la composición de especies de aves con las características de la vegetación, manejo y el espacio.....	32
3. RESULTADOS.....	33
3.1. Caracterización general de las tipologías de café y parches de bosque .....	33
3.2. Caracterización de la comunidad de aves en las tipologías de café y parches de bosque.....	35
3.2.1. Caracterización de la comunidad de aves en el paisaje evaluado.....	35
3.2.2. Caracterización de las aves por gremios alimenticios, preferencia de hábitat y estacionalidad.....	38
3.2.3. Comparación entre los hábitats muestreados según la diversidad (alfa) y composición (beta) de aves .....	42
3.3. Relación de la vegetación (estructura, diversidad y composición) en cafetales y parches de bosque con la comunidad de aves .....	45

3.4. Asociación de la composición de aves con las características de vegetación, manejo y el espacio .....	49
4. DISCUSIÓN.....	53
4.1. Caracterización de la comunidad de aves en el paisaje de la Reserva de la biosfera Apaneca-Ilamatepec en El Salvador .....	53
4.2. Influencia de la vegetación en la riqueza, abundancia y composición de las aves en los hábitats muestreados de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec .....	55
4.2.1. Diversidad de aves.....	55
4.2.2. Composición de aves.....	56
5. IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN.....	58
6. BIBLIOGRAFÍA .....	59
7. ANEXOS.....	63
ARTÍCULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD FUNCIONAL DE AVES EN LOS CAFETALES Y PARCHES DE BOSQUE DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA APANECA-ILAMATEPEC Y SU RELACIÓN CON CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN .....	83
RESUMEN.....	83
1. INTRODUCCIÓN.....	84
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	85
2.1 Área de estudio.....	85
2.2. Selección de sitios y muestreo de las aves y la vegetación .....	86
2.3. Especies en estudio y rasgos seleccionados .....	88
2.4. Análisis de datos.....	89
2.4.1. Tipos funcionales.....	89
2.4.2. Relación de los índices de diversidad funcional con características de la vegetación en las tipologías de café y parches de bosque.....	90
3. RESULTADOS.....	91
3.1. Caracterización de los tipos funcionales de las aves .....	91
3.1.1. Tipos funcionales de las aves y su relación con las características cuantitativas..	91
3.1.2. Tipos funcionales de las aves y su asociación con las características cualitativas.	92

3.2. Asociación de los tipos funcionales con frecuencia de rasgos a nivel de riqueza y abundancia de especies de aves con los diferentes usos de suelo .....	93
3.3. Relación de la diversidad funcional con la riqueza de aves en los sitios muestreados .	96
3.4. Relación de la diversidad funcional con características de la vegetación en los sitios muestreados .....	96
4. DISCUSIÓN.....	98
4.1. Tipos funcionales y su asociación con las tipologías de café y parches de bosque.....	98
4.2. Relación de los índices de diversidad funcional con la riqueza de aves.....	101
4.3. Relación de los índices de diversidad funcional con características de la vegetación.	101
5. IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL PAISAJE DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA APANECA-ILAMATEPEC .....	103
6. AGRADECIMIENTOS .....	104
7. BIBLIOGRAFIA .....	104
8. ANEXOS.....	107



# ÍNDICE DE CUADROS

## ARTÍCULO 1

- Cuadro 1. Datos generales de los cafetales simplificados, cafetales diversos, y los parches de bosque muestreados durante los meses de febrero a junio 2013 en la zona de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec y sus alrededores. .... 28
- Cuadro 2. Características estructurales de la vegetación y de manejo con los promedios y errores estándar de las parcelas establecidas en fincas de café simplificado, café diverso y parches de bosque. Se hizo una prueba T para la comparación de medias de las características de vegetación y manejo de las tipologías de café donde se muestra las diferencias significativas mediante los valores  $p \leq 0.05$ . .... 35
- Cuadro 3. Total de esfuerzo de muestreo y número de especies e individuos de aves en cada uno de los sitios muestreados. .... 36
- Cuadro 4. Número de individuos (ni) y abundancias relativas (AR) de las cinco especies residentes y migratorias más abundantes en cada tipo de hábitat, por orden de abundancia, en café simplificado (CS), café diverso (CD) y parches de bosque (PB). .... 37
- Cuadro 5. Número de especies e individuos de aves según la estacionalidad, preferencia de hábitat y gremio alimenticio y los totales de especies por cada sitio muestreado. .... 39
- Cuadro 6. Características asociadas a la frecuencia de registro de especies de aves en diferentes periodos de muestreo y a nivel global. .... 49

## ARTÍCULO 2

- Cuadro 7. Rasgos utilizados para calcular los índices de diversidad funcional. .... 89
- Cuadro 8. Descripción de los tipos funcionales de aves identificados en base a las características cuantitativas y cualitativas. .... 91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las regiones cafetaleras de El Salvador, las cuales se encuentran en color café (Mapa tomado de Consejo Salvadoreño del Café 2012).....10

### ARTÍCULO 1

Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios muestreados dentro del área de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec y sus alrededores. La leyenda del mapa presenta los usos de suelo. En la simbología las figuras geométricas de color verde corresponden a cada uno de los sitios de muestreo, los círculos corresponden a cafetales diversos (n=5), triángulos a cafetales simplificados (n=13) y cuadros a parches de bosque (n=3). ..... 24

Figura 2. Dendrograma obtenido por método de análisis de conglomerados (método de encadenamiento de Ward, distancia Bray-Curtis) donde se identifican dos grupos de fincas: 13 fincas de café simplificado (rojo) y 5 fincas de café diverso (verde), y 3 parches de bosque (azul). ..... 25

Figura 3. Ordenación de las parcelas de muestreo en el espacio de las especies de vegetación basado en un escalamiento multidimensional no-métrico (NMS) con las abundancias de las especies de árboles de cada parcela en las fincas de café y parches de bosque..... 26

Figura 4. Gráfico tomado de Hernández-Martínez (2008) para los agroecosistemas de Veracruz, México, con la clasificación de los cultivos de café según Moguel y Toledo (1999) (derecha) y la agrupación de fincas según Tejeda-Cruz y Gordon (2008) (izquierda), en el cual se basó el presente estudio para asignar la tipología a las fincas de café muestreadas. .... 27

Figura 5. Curva de rarefacción de la riqueza de árboles ( $DAP \geq 10\text{cm}$ ) en parches de bosque (97 especies), café diverso (47 especies) y café simplificado (44 especies). ..... 34

Figura 6. Curva de acumulación de la riqueza de aves observada (Sobs Mao Tau) y esperada (Chao 1) de acuerdo a los puntos de observación en todas las fincas de café y parches de bosque muestreados. .... 36

Figura 7. Curvas de rarefacción de la riqueza de aves registradas durante el estudio separadas por período I (feb-abr) y período II (may-jun). Las barras verticales representan los intervalos de confianza. .... 38

Figura 8. Proporciones acumuladas de especies de aves en función del período I y II (gráficos a la izquierda) y tipo de hábitat (gráficos a la derecha), categorizadas por estacionalidad (a), preferencia de hábitat (b) y gremios alimenticios (c). ..... 41

Figura 9. Curvas de rarefacción a nivel global (a) y por período I (b) y II (c) de la riqueza de aves registrada en café simplificado (72 spp.), parches de bosque (69 spp.) y café diverso (62 spp.).	43
Figura 10. Curvas rango-abundancia de las especies de aves en cada tipo de hábitat muestreado.	44
Figura 11. Relación de la riqueza de aves (a) e índice de diversidad de aves ( $H'$ ) (b) con características de vegetación (riqueza de árboles, variabilidad de la altura de los árboles e índice de heterogeneidad vertical – IHV). La parte gris en los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.	45
Figura 12. Relación de la abundancia de aves con las características de la vegetación (riqueza de árboles, variabilidad de la altura de los árboles, índice de heterogeneidad vertical-IHV y promedio de DAP). La parte gris en los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.	46
Figura 13. Relación de la riqueza, abundancia e índice de diversidad ( $H'$ ) con la variabilidad del diámetro de copa de los árboles de sombra en los cafetales. La parte gris en los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.	46
Figura 14. Relación de la riqueza, abundancia e índice de diversidad de aves ( $H'$ ) con la composición vegetal. La parte gris de los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.	47
Figura 15. Relación de la riqueza (a) e índice de diversidad de aves ( $H'$ ) (b) con las características de la vegetación condicionadas a actividades de manejo como densidad de café, altura de maleza o arvenses y porcentaje de herbáceas. La parte gris de los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.	48
Figura 16. Relación de la abundancia de aves con las características de la vegetación condicionadas a actividades de manejo como promedio de sombra y altura de maleza o arvenses. La parte gris de los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.	49
Figura 17. Distribución de las especies de aves durante el período I a lo largo de un gradiente espacio-ambiental (vegetación, manejo y espacio). Las especies arriba de la línea horizontal punteada tienen mayor frecuencia de registro según las características a las que están asociadas.	51
Figura 18. Distribución de las especies de aves durante el período II a lo largo de un gradiente espacio-ambiental (vegetación, manejo y espacio). Las especies arriba de la línea horizontal punteada tienen mayor frecuencia de registro según las características a las que están asociadas.	52
Figura 19. Distribución de las especies de aves durante todo el período de muestreo a lo largo de un gradiente espacio-ambiental (vegetación, manejo y espacio). Las especies	

arriba de la línea horizontal punteada tienen mayor frecuencia de registro según las características a las que están asociadas..... 53

## ARTÍCULO 2

Figura 20. Mapa de ubicación de los sitios muestreados dentro del área de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec y sus alrededores. La leyenda del mapa presenta los usos de suelo. En la simbología las figuras geométricas de color verde corresponden a cada uno de los sitios de muestreo, los círculos corresponden a cafetales diversos (n=5), triángulos a cafetales simplificados (n=13) y cuadros a parches de bosque (n=3). ..... 86

Figura 21. Distribución de los tipos funcionales de aves en el espacio de los rasgos cuantitativos..... 92

Figura 22. Análisis de correspondencia de los rasgos cualitativos como tipo de alimentación (insectos, invertebrados, frutas y semillas) y hábitos de forrajeo (solitario o en grupo, estrato suelo, sotobosque, intermedio y dosel) en círculos azules, asociados a los tipos funcionales enumerados del 1 al 6, en círculos rojos. .... 93

Figura 23. Asociación de los tipos funcionales con los hábitats muestreados usando como frecuencia de rasgos el número de especies de aves mediante un análisis de correspondencia. Los tipos funcionales se encuentran en círculos en rojo enumerados del 1 al 6, y los tipos de hábitat en círculos azules de café simplificado, café diverso y parches de bosque..... 94

Figura 24. Asociación de los tipos funcionales con los hábitats muestreados usando como frecuencia de rasgos el número de individuos de aves mediante un análisis de correspondencia. Los tipos funcionales se encuentran en círculos en rojo enumerados del 1 al 6, y los tipos de hábitat en círculos azules de café simplificado, café diverso y parches de bosque..... 95

Figura 25. Relación entre el índice de riqueza funcional (FRic) y la riqueza de aves ..... 96

Figura 26. Relación del índice de riqueza funcional (FRic) con características de vegetación como número de árboles de 6 a 10 m (a), variación de la altura de los árboles (b) e índice de heterogeneidad vertical (IHV) (c). La parte gris en cada gráfico representa el error estándar del ajuste. .... 97

Figura 27. Relación del índice de equidad funcional (FEve) con característica de la vegetación como número de árboles con fruta (a), promedio de altura de los árboles (b) e índice de heterogeneidad vertical (IHV) (c). La parte gris en los gráficos representa el error estándar del ajuste. .... 97

Figura 28. Relación del índice de divergencia funcional multirasgo con el promedio del diámetro a la altura del pecho ( $DAP \geq 10$  cm). La parte gris en el gráfico representa el error estándar del ajuste. .... 98

## **LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS**

ASACMA, Asociación Salvadoreña de Conservación del Medio Ambiente  
DAP, Diámetro a la altura del pecho  
DF, Diversidad funcional  
IHV, Índice de Heterogeneidad Vertical  
MARN, Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador  
PROCAFE, Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café  
RFA, Rain Forest Alliance  
RBAI, Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec  
TF, Tipo (s) Funcional (es)  
UNESCO, Organización de las Naciones Unidas, la Ciencia y la Cultura

## RESUMEN

En países como El Salvador que tiene menos del 10% de los bosques originales, los sistemas agroforestales como el café bajo sombra se vuelven importantes áreas para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que se derivan de estos. Por este motivo el presente estudio busca contribuir al conocimiento de los factores que influyen en la diversidad taxonómica y funcional de las aves mediante los siguientes objetivos: i) determinar la diversidad taxonómica de las aves en dos tipologías de café y parches de bosque y ii) evaluar la relación de las características de la vegetación y de manejo con la comunidad de aves. El estudio se realizó en la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec dentro de la Sierra de Apaneca en El Salvador, uno de los seis sitios importantes para el cultivo de café en este país. Se muestrearon un total de 21 sitios, 13 fincas de café simplificado (CS) que corresponden a fincas con sombra dominada por la especie *Inga* spp. y policultivos simples; cinco fincas de café diverso (CD) que corresponden a fincas con diversas especies de sombra, y tres parches de bosque (PB). Se estableció un total de 102 puntos de conteo con un radio fijo de 25 m para registrar las aves en dos épocas (período I/época seca=febrero a abril; período II/inicios de la época lluviosa=mayo a junio). Se registraron 109 especies, 72 en CS, 62 en CD y 69 en PB y una mayor oportunidad de registrar más especies en los PB según el análisis de rarefacción. Las dos tipologías de café fueron similares entre sí con respecto a la riqueza y composición de especies de aves pese a sus diferencias florísticas, y difirieron con los PB con respecto a la riqueza y composición de aves. Los sistemas agroforestales evaluados resultaron importantes para la diversidad de aves migratorias Neotropicales, debido a la similar proporción de estas especies en comparación a los parches de bosque, especialmente durante la época seca. Los puntos de observación de aves con mayor complejidad estructural y diversidad florística se relacionaron positivamente con los atributos de la comunidad de aves, incluyendo los índices de diversidad funcional como riqueza funcional (FRic) y equidad funcional (FEve). De los seis tipos funcionales (TF) identificados en las comunidades de aves, cuatro de ellos (TF1, TF2, TF4 y TF5) estuvieron asociados a los parches de bosque al ser ponderados por el número de especies de aves, a diferencia de las plantaciones de café donde estuvieron asociados pocos grupos (TF3 y TF6). Los tipos funcionales con hábitos alimenticios especializados (TF3 y TF4; frugívoros e insectívoros, respectivamente) ponderados por su abundancia, estuvieron asociados a los parches de bosque, mientras que en los cafetales se asociaron los TF con hábitos alimenticios no especializados como granívoros (TF1) y omnívoros (TF6), a excepción del TF5 (insectívoros) considerado un TF con hábitos alimenticios especializados que estuvo asociado a los cafetales diversos. Se concluye que en la RBAI los cafetales son hábitats importantes para las aves residentes y migratorias generalistas de bosque y TF con hábitos alimenticios menos especializados (granívoros y omnívoros); sin embargo, la asociación de TF5 en cafetales diversos resalta la importancia de mantener sistemas agroforestales con mayor diversidad florística. Se recomienda diversificar florísticamente las fincas de café, manteniendo una mayor complejidad vegetal, considerando las especies arbóreas atractivas para las aves para ampliar sus opciones de forrajeo y refugio. Por otro lado, se sugiere que acciones de conservación incluyan el mantenimiento y aumento de la cobertura de bosque en la RBAI ya que fue donde las aves especialistas de bosque y TF con hábitos alimenticios especializados fueron más abundantes. Así, estos sitios servirán como potenciales corredores biológicos, y en consecuencia, al mantenimiento de conectividad estructural y de los procesos ecológicos como dispersión de semillas, control biológico de plagas, polinización, entre otros. Finalmente, se sugiere estudiar la influencia de usos de suelo adyacentes en las asociaciones de los TF en los sitios muestreados, así como la estabilidad de los mismos, con el propósito de entender la contribución de estas comunidades en la provisión de servicios ecosistémicos tales como el control de plagas perjudiciales al cultivo de café.

**Palabras claves:** *sistemas agroforestales, café bajo sombra, diversidad de aves, composición de aves, diversidad funcional, rasgos funcionales, tipos funcionales.*

## SUMMARY

In countries as El Salvador that have less than 10% of natural forest, agroforestry systems such as shaded coffee plantations have become important areas for conservation of biodiversity and ecosystem services. The present study contributes to the knowledge on the factors that influence the taxonomic and functional diversity of birds, with the following objectives: i) to determine the taxonomic and functional diversity of birds in two types of coffee plantations and forest fragments and ii) to evaluate the relationship of vegetation and management with the bird community. This study was carried out in the Apaneca-Ilamatepec Biosphere reserve (RBAI) of the Sierra de Apaneca, one of the most important areas for coffee farming in El Salvador. A total of 21 sites were sampled; 13 farms of simplified coffee (CS); coffee plantations dominated by *Ingas* and simple polyculture, five farms of diversified coffee (CD); coffee plantations with varied shade trees, and three forest fragments (PB). Bird data was collected in 102 point counts using 25m fixed-radius distributed at all sites, in two different seasons (season I/dry season=February to April; season II/early rain season=May to June). A total of 109 species were registered, 72 in CS, 62 in CD and 69 in PB. According to rarefaction analyses, forest fragments had the most opportunity to register new species. The two types of coffee plantations had similar richness and bird composition despite floristic differences, but both differed from forest fragments. The evaluated agroforestry systems were important for Neotropical migratory bird species, due to the similar number of these bird species with forest fragments, especially in the dry season. The point counts where vegetation was structurally complex and floristically diverse had higher levels of bird species richness, abundance and diversity, and higher scores for functional richness (FRic) and functional evenness (FEve). Six functional groups were identified, four of them (TF1, TF2, TF4 and TF5) were associated to forest fragments with functional trait frequencies at the species level, and only two were associated to coffee plantations (TF3 and TF6). The frequencies of functional traits at the abundance level of birds associated to forest fragments were those species with specialized feeding habits (TF3 y TF4; frugivores and insectivores, respectively), while most of the functional groups in coffee plantations were less specialized, such as granivores (TF1) and omnivores (TF6); except for insectivores (TF5) which is a functional group with specialized feeding habits that was associated to diversified coffee. We conclude that coffee plantations in RBAI are important habitats for resident and migratory birds from mainly generalist and less specialized feeding groups; however, the association of TF5 to diversified coffee highlights the importance of maintaining agroforestry systems with diverse shade vegetation. We recommend diversifying structurally and floristically the coffee plantations, considering all those tree species that are attractive for birds and may provide options for foraging and refuge. Meanwhile, we recommend to maintain/increase forested areas where forest specialist birds and functional groups with specialized feeding habits were more abundant. The forested areas can serve as potential corridors for forest specialist birds, which contributes to functional connectivity and ecological processes such as seed dispersal, pollination and biological pest control, among others. Finally, we suggest increasing research on the influence of adjacent land uses and the association with functional groups, as well as their stability in the landscape, to understand their ecological and economic contribution.

**Keywords:** *Agroforestry systems, shaded coffee plantations, bird diversity, bird composition, functional diversity, functional traits, functional groups.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La fragmentación y pérdida de hábitat a causa de las actividades humanas han provocado una acelerada alteración de los paisajes boscosos (Meffe y Carroll 1994). Paisajes que alguna vez fueron dominados por hábitat natural ahora son un mosaico de parches de diferentes usos de suelo que incluyen áreas agrícolas, potreros, urbanizaciones y fragmentos de bosque dispersos (Forman 1995). La modificación del paisaje por esos procesos dinámicos (pérdida y fragmentación de hábitat) es reconocida como un problema clave que enfrenta la conservación de la diversidad biológica (Bennett 2004).

Se ha investigado sobre las características de los componentes de diversos paisajes (*p.e.* tamaño del fragmento de bosque y aislamiento) y la influencia que estos elementos tienen en el aumento o disminución de la riqueza, abundancia, reproducción, movimiento y distribución de los organismos (Gascón *et al.* 1999; Estades 2001; Desouza *et al.* 2001; Uezu *et al.* 2005; Lees y Peres 2008b) y las especies o tipos funcionales más sensibles a estos cambios (Stouffer y Bierregaard 1995; Sekercioglu 2002; Watson *et al.* 2004). A diferencia de teoría de islas oceánicas, los efectos del aislamiento en la biodiversidad pueden variar en los paisajes terrestres ya que los parches de bosque no siempre se encuentran totalmente aislados y el grado de aislamiento depende del tipo de uso de suelo que constituye la matriz circundante (Gascón *et al.* 1999, Daily *et al.* 2001, Sánchez-Azofeifa *et al.* 2003).

En un paisaje la matriz es importante en la dinámica de poblaciones de los organismos que se mueven entre zonas boscosas (Fahrig y Merriam 1994; Fahrig 2003). Se dice que una matriz estructuralmente similar a la vegetación original, reduce los impactos ecológicos del efecto de borde, proveer hábitat para algunas especies de fauna y beneficiar los movimientos de estas entre diferentes tipos de hábitat, un ejemplo de esto es una matriz de sistemas agroforestales (Fischer y Lindenmayer 2007). En el caso de las aves, se ha documentado que sistemas agroforestales de café en comparación a monocultivos de café, albergan una alta riqueza de especies además de funcionar como refugios potenciales dentro de paisajes deforestados en los trópicos americanos (Perfecto *et al.* 1996).

La mayoría de especies registradas en sistemas agroforestales de café son especies de aves generalistas del bosques (Tejeda-Cruz y Sutherland 2004). La estructura florística diversa en estas plantaciones de café bajo sombra ofrecen refugio y recursos alimenticios para las aves, por ejemplo cuando se incluyen árboles del género *Inga* (Greenberg *et al.* 1997) y *Erythrina* (Jones *et al.* 2002). La abundancia de aves residentes y migratorias, nectarívoras y frugívoras, puede variar debido a la disponibilidad de alimento en diferentes épocas del año (seca y lluviosa), como consecuencia de diferentes períodos de floración de las especies arbóreas (Greenberg *et al.* 1997; Petit *et al.* 1999). Por otro lado, la presencia de epífitas en estos sitios provee hábitat para la anidación y refugio para algunas especies residentes (Cruz-Angón *et al.* 2008).

La presente investigación tiene como propósito contribuir al conocimiento con la identificación de factores que influyen en la diversidad taxonómica (riqueza, abundancia y



composición) y diversidad funcional de aves en un paisaje dominado por café en la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec. Esto mediante la caracterización de la comunidad de aves y tipos funcionales y su relación con características de la vegetación y de manejo en dos tipologías de café y parches de bosque. La identificación de los factores que contribuyen a la presencia de las aves y de los diferentes tipos funcionales es importante en el diseño e implementación de prácticas de conservación que favorezcan al mantenimiento de estas comunidades y los procesos ecológicos que dependen de ellas.

### **1.1. Justificación**

En El Salvador (21,041 km<sup>2</sup>), el país que presenta la tasa de deforestación anual más alta (4.6%) con respecto al resto de los países centroamericanos (FAO 2001), se han registrado alrededor de 546 especies de aves (Komar *et al.* 2007); aproximadamente 200 de estas especies son aves migratorias (Komar e Ibarra-Portillo 2009) y muchas de ellas utilizan cafetales bajo sombra durante las épocas de migración (Komar 2012). De acuerdo con Perfecto *et al.* (1996), en regiones donde la deforestación es alta y el café es aun producido tradicionalmente con árboles de sombra, estos agroecosistemas constituyen un refugio importante para la conservación de algunas especies de flora y fauna y por ende son importantes en el mantenimiento de los procesos ecológicos asociados a estas.

Uno de los sitios importantes para el cultivo del café en El Salvador es la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec (RBAI). En la RBAI cerca del 67% de la agricultura corresponde a la producción de café, el 6% a la producción de granos básicos (maíz y frijol), un 0.45% a la producción de caña de azúcar y el área restante (aproximadamente un 26.55%) son áreas protegidas y parches de bosque dispersos (UNESCO 2007). En esta RBAI se han llevado a cabo algunos estudios con el fin de conocer cómo los sistemas de producción están contribuyendo a la presencia de aves migratorias (Komar 2006) y a la conectividad para aves residentes (Komar 2012). Estos estudios coinciden en que el incremento en la cobertura arbórea y la diversidad florística son aspectos importantes para las aves durante sus desplazamientos. Sin embargo, es necesario conocer qué otras características de la vegetación y manejo a nivel de fincas y bosques están influyendo en la presencia de aves.

El presente estudio es uno de los primeros en El Salvador donde se investiga cómo características de vegetación en los sistemas de café y parches de bosque contribuyen a la presencia de tipos funcionales de aves potencialmente importantes en la provisión de servicios ecosistémicos.

## **1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **1.2.1. Objetivo general**

Contribuir al conocimiento de los factores que influyen en la diversidad taxonómica y funcional de aves en un paisaje dominado por café en la Sierra de Apaneca en El Salvador como una forma de apoyar las acciones de conservación de aves en esa zona.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar la diversidad de especies de aves en dos tipologías de café y parches de bosque.
- Evaluar la relación de la diversidad de especies aves con características de la vegetación y de manejo en los sitios muestreados.
- Caracterizar los tipos funcionales de las especies de aves existentes en los sitios muestreados.
- Evaluar la relación de la diversidad funcional de las especies de aves con las características de la vegetación.

### **1.2.3. Preguntas de investigación**

¿Cómo difiere la comunidad de aves entre dos tipologías de café y parches de bosque?

¿Qué características de la vegetación están influyendo en la diversidad taxonómica y funcional de la comunidad de aves?

¿Cuántos tipos funcionales de aves es posible caracterizar y cómo se asocian con las características de vegetación en los hábitats muestreados?

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Efectos de la fragmentación en las aves**

Los factores que influyen en la dinámica poblacional de las aves en un paisaje, pueden ser entendidos mediante atributos de los fragmentos remanentes, tales como: área, aislamiento, forma, y la influencia derivada de los efectos de borde y matriz circundante (Wethered y Lawes 2003; Vandermeer *et al.* 2007; Sodhi *et al.* 2011).

#### **2.1.1. Área del fragmento**

El efecto del área en las aves es uno de los aspectos más estudiados en la fragmentación de hábitat (Estades 2001; Uezu *et al.* 2005; Martensen *et al.* 2008; Yamaura *et al.* 2008; Cappelatti y Barros 2010; Shake *et al.* 2012). Se sugiere que el tamaño del fragmento influye en términos generales, en las especies de los diferentes organismos que están presentes y en la posible extinción local (cuando los tamaños poblacionales son pequeños) (Bennett 2004). Fragmentos pequeños tienden a tener un número menor de

especies que los fragmentos grandes, debido a que los recursos en áreas pequeñas pueden ser limitados, y en las áreas grandes de bosques existe un amplio rango de hábitats y esto generalmente significa que más especies estarán presentes (Laurance y Vasconcelos 2004).

Estudios experimentales en bosques tropicales han contribuido a entender cómo el área influye en la riqueza y abundancia de especies de aves y tipos funcionales. Por ejemplo, Stouffer y Borges (2001), encontraron que en la Amazonía central de Brasil, las aves insectívoras de sotobosque, bandadas mixtas y seguidoras de hormigas tuvieron una mayor abundancia en fragmentos de bosque continuo y fragmentos de 100 ha que en fragmentos de 1 ha, 10 ha y áreas de vegetación secundaria. Esto se debe también a adaptaciones de forrajeo y a limitaciones en su habilidad para cruzar áreas abiertas y colonizar otros parches de bosque (Sekercioglu 2002). Por otro lado, en un estudio realizado en la región Cerrado (Brasil), no se encontró diferencias de la abundancia de aves por gremios (insectívoro, frugívoro, omnívoro y nectarívoro), excepto para las granívoras, las cuales disminuían al aumentar el tamaño de los fragmentos (7 a 230 ha) (Marini 2001), esto se debe a que algunas especies de este gremio son más generalistas en su alimentación y en los bosques se producen pocas semillas de las cuales dependen (Verea *et al.* 2000).

### **2.1.2. Aislamiento del fragmento**

El aislamiento se refiere a la distancia entre fragmentos de bosque o distancia al hábitat más grande (Bennett 2004). En este aspecto es importante tomar en cuenta la matriz circundante, ya que hay fragmentos que no están realmente aislados. Algunos podrían estar cercanos a vegetación ribereña, corredores para propósitos de conservación, sistemas agroforestales, lo cual facilitaría la dispersión de algunas especies de aves entre fragmentos lejanos (Sodhi *et al.* 2011).

La tolerancia a la matriz diferente a la original, la baja movilidad, el tamaño del cuerpo y el nivel trófico son rasgos que influyen a que especies sean más vulnerables que otras (Ewers y Didham 2006). Por ejemplo, la limitada capacidad de algunas especies insectívoras de sotobosque para moverse fuera de los fragmentos de bosque las hace más vulnerables a la extinción local, puesto que al permanecer en fragmentos aislados la recolonización dependerá de la conectividad existente entre los diferentes parches de bosque. Adicionalmente estas especies también podrían enfrentar limitaciones de recursos alimenticios y sitios para anidación lo que sumado a la falta de conectividad con otros hábitats similares interrumpe el intercambio genético (Stouffer y Bierregaard 1995; Sekercioglu *et al.* 2002; Sekercioglu 2002) comprometiendo así la viabilidad de estas poblaciones. Caso contrario muchas de las especies de aves ubicadas en otros gremios alimenticios (granívoros, nectarívoros, omnívoros y algunos frugívoros) no se ven igualmente afectadas por el aislamiento ya que no son renuentes a moverse fuera de los fragmentos de bosque (Sekercioglu 2002).

Algunas especies reaccionan diferente ante el aislamiento de los parches de bosque, dependiendo de la alteración del paisaje que se estudie. En el Amazonas, muchas especies

de aves insectívoras de sotobosque han desaparecido de los fragmentos de bosque al no lograr recolonizar otros fragmentos cuando se encuentran aislados por sólo 80m de distancia (Stratford y Souffer 1999). Uezu *et al.* (2005), en un estudio en Sao Paulo (Brasil), encontraron que una especie de sotobosque (*Batara cinerea*) conocida como una especie sensible a las perturbaciones humanas, parecía beneficiarse de la fragmentación, ya que era más abundante en los fragmentos que en una reserva de bosque continuo. Esto fue debido a la capacidad de esta especie de cruzar áreas abiertas de hasta 60m de distancia. La distancia promedio entre los parches muestreados en este estudio fue de 54m, por lo tanto los autores sugieren que posiblemente esta especie sea afectada negativamente en casos donde el promedio de distancia entre parches sea mayor.

### **2.1.3. Forma del fragmento**

Algunos efectos de la forma del fragmento en los organismos están relacionados a la cantidad relativa de hábitat interior y de borde (Turner *et al.* 2001). Un área de forma circular tendrá menor hábitat de borde y será más efectivo para conservar recursos internos y minimizar la exposición a influencias externas, por ejemplo tala e incendios (Forman 1995; Turner *et al.* 2001). Remanentes de bosques ribereños, generalmente de forma larga y estrecha, tendrán mucho más hábitat de borde, o bien todo será borde, dependiendo del ancho (Turner *et al.* 2001). Arcos *et al.* (2008), estimaron que bosques ribereños con un ancho de franja mayor a 50m albergan más especies de aves e individuos que uno menor a esa medida (Arcos *et al.* 2008). Lees y Peres (2008a) sugieren que el ancho debería ser de al menos 400m para asegurar la persistencia de aves de bosque.

### **2.1.4. Efectos de borde**

El efecto de borde influye de diferentes maneras dependiendo el tamaño y forma del parche y la matriz circundante (Sodhi *et al.* 2011). Así, grandes fragmentos (*p.e.* 100 ha) tienen menor efecto proporcional de borde y mayores zonas núcleos (áreas internas) sin perturbaciones, que fragmentos pequeños (*p.e.* 2-10 ha) (Bennett 2004). Hay tres tipos de efectos de borde: (1) abióticos (*p.e.* cambios en condiciones microclimáticas como velocidad de viento, temperatura, humedad y radiación solar), (2) biológicos (*p.e.* cambios en abundancia y distribución de especies), y (3) biológicos indirectos (*p.e.* cambios en la interacción de especies, invasión de especies exóticas, depredación, parasitismo y dispersión de semillas) (Murcia 1995; Bennett 2004).

Watson *et al.* (2004), sugieren que los cambios en la estructura de la vegetación (degradación de hábitat) en los bordes puede ser un indicador de la sensibilidad de las aves de bosque en los parches. En este estudio (Watson *et al.* 2004) la abundancia de aves de bosque (insectívoras, frugívoras y algunas nectarívoras) fue menor en los bordes que en el interior de los fragmentos. Los autores sugieren que el efecto de borde puede ser debido a la disponibilidad de alimento, ya que algunos invertebrados son propensos a morir por la variación microclimática en los bordes (más caliente y seco) que en el interior, y pocos árboles frutales maduros o con floración se encontraban en esas áreas.

### **2.1.5. Influencia de la matriz**

La matriz es determinante en los movimientos de las aves de bosque entre parches de bosque (Fahrig y Merriam 1994). De acuerdo con Gascón *et al.* (1999), la matriz es importante en la evolución de la dinámica de las poblaciones entre fragmentos. En primer lugar porque la matriz es a menudo un "filtro selectivo" pues no siempre actúa como una barrera absoluta para los movimientos de las especies. En segundo lugar porque tiene una fuerte influencia en la dinámica de la comunidad dentro del parche, ya que especies comunes en la matriz pueden invadir los parches de bosque. El grado de contraste entre los fragmentos de hábitat original y la matriz, determinará la permeabilidad de los bordes que ayudará al movimiento de la fauna (Ewers y Didham 2006). Por ejemplo una matriz ganadera o cultivo de plátanos será más contrastante para el movimiento de algunas especies de aves que un sistema agroforestal (*p.e.* café cultivado tradicionalmente bajo diferentes estratos y especies de sombra) (Harvey y González 2007; Estrada 2008).

Uno de los primeros estudios experimentales para conocer la dispersión de aves dentro de la matriz fue con el estudio del Chucao Tapaculo (*Scelorchilus rubecula*) en Chile. Esta es una especie de sotobosque endémica al bosque lluvioso templado de Suramérica (Chile y Argentina), en el cual se encontró que dentro de un paisaje agrícola fragmentado la dispersión de los individuos de esta especie estuvo inhibida significativamente por hábitat abierto (pasturas), mientras que los corredores arbolados y matriz arbustiva favoreció su dispersión (Castellón y Sieving 2006).

## **2.2. El valor de los sistemas agroforestales en un paisaje fragmentado**

Los organismos que se encuentran en los fragmentos de bosque dispersos en un paisaje fragmentado tienen interacción con la matriz circundante (*p.e.* sistemas agroforestales, monocultivos, urbanizaciones). Los sistemas agroforestales son reconocidos por ser áreas que proveen hábitat y conectividad entre fragmentos de bosque para algunas especies de fauna y flora en un paisaje fragmentado a diferencia de una matriz contrastante como monocultivos o áreas abiertas como potreros (Murcia 1995). Por ejemplo, Estrada (2008), encontró en la zona de bosque húmedo tropical fragmentado en Tuxtla (México), que la mayor riqueza de especies de aves, mamíferos y escarabajos coprófagos después de la selva natural fue en los sistemas agroforestales con vegetación arbórea selvática (cacao, café y cultivos mixtos de estas dos plantas) y sin sombra (cítricos y pimienta negra), y una baja riqueza de estos grupos taxonómicos en cultivos no arbolados (platanares, maizales y chile jalapeño) y pastizales.

El grado en que un sistema agroforestal puede servir en la conservación de la biodiversidad también dependerá de varios factores. Esto responde al principio ecológico general del incremento de la riqueza y diversidad de especies al aumentar la complejidad estructural y diversificación florística (Pimentel *et al.* 1992), el tamaño de la parcela o fragmento de producción, la ubicación (cercano o no a bosques naturales) y el grado de manejo (*p.e.* la intensidad en el uso de herbicidas y pesticidas) (Donald 2004). Aunque estos factores favorecen a la biodiversidad existente en los sistemas agroforestales, la

estructura de las comunidades será diferente a la original de los bosques debido a los disturbios en el hábitat, por lo que estos sistemas no deben ser promovidos como herramienta de conservación a expensas de la conservación de bosques (Rappole *et al.* 2003), pero si promovidos para la transformación de un sistema de producción abierto a un sistema agroforestal.

Los sistemas agroforestales a nivel de paisaje sirven como elementos que protegen los remanentes de bosque y pueden reducir los efectos de borde (Fischer *et al.* 2006) o pueden formar parte de un corredor biológico donde existen altas tasas de deforestación y proveen una variedad de servicios ecosistémicos (Perfecto *et al.* 1996). La ubicación de los sistemas agroforestales en el paisaje es estratégica ya que pueden amortiguar el efecto de otros usos de suelo más intensivos y contribuir a la conectividad de especies de bosque. Los sistemas agroforestales son áreas que pueden reducir los efectos de borde, además de generar recursos como leña, madera, entre otros, disminuyendo así la presión antropogénica en fragmentos de bosques remanentes (Méndez *et al.* 2007). Por otro lado, la diversidad de especies en sistemas agroforestales está relacionada también a la cercanía a fragmentos de bosque en el paisaje donde se encuentran. Greenberg *et al.* (2000b), encontraron que la diversidad de aves en fincas de cacao en México dependía de la proximidad con el bosque.

La mayoría de los sistemas agroforestales proveen refugio a muchas especies generalistas, capaces de adaptarse a los cambios o a ciertas perturbaciones humanas, por lo que se considera importante la promoción de conservar este tipo de sistema para que no sea convertido en un área de monocultivo o zona abierta. Y que además dentro de una matriz agrícola se conserven los fragmentos de bosques que son indispensables para mantener a las especies con limitados rangos de distribución, restringida a bosques e importantes para los procesos ecológicos que las involucra.

### **2.2.1. El café bajo sombra y las aves**

En general estudios indican que al comparar los agroecosistemas de café bajo sombra versus el café bajo sol u otros monocultivos, este presenta una mayor riqueza y abundancia de aves (Estrada *et al.* 1997). Sin embargo; no todos los cafetales bajo sombra son similares y no todos albergan similar riqueza de especies de aves. Moguel y Toledo (1999), han clasificado los sistemas de producción de café en México de acuerdo al manejo y complejidad de estructura vegetal vertical en: 1) Cafetales rústicos (tradicionales) o de montaña; donde se ha sustituido el sotobosque original por los arbustos de café dejando los árboles nativos para sombra; 2) Cafetal tradicional "policultivo"; el cual incluye otras especies en el sotobosque que junto al café genera la mayor complejidad estructural de vegetación; 3) Cafetal comercial; donde el café se encuentra en asocio a especies de árboles plantados; 4) Cafetal con sombra monoespecífica; plantaciones con dominancia de un tipo de especie (*p.e. Inga spp., Erythrina spp.* entre otras); y 5) Cafetal a pleno sol.

De esta manera, la intensidad del manejo de los cafetales según la diversidad y complejidad de la estructura vertical puede influir en la riqueza de aves. En un análisis

cuantitativo de los estudios sobre biodiversidad en el Neotrópico, Philpott *et al.* (2008), encontraron que las fincas de café rústicas protegen más especies de aves que otros sistemas cafetaleros como el tradicional policultivo, el comercial y el café bajo sol. Los cafetales de sombra monoespecífica presentaron una riqueza intermedia posiblemente porque la especie dominante *Inga* sp. provee de recursos alimenticios estacionales. Los autores recomiendan mantener la tipología de café rústico que contiene mayor riqueza de especies de árboles nativos que ayudan a conservar una mayor diversidad de especies de aves.

Se ha encontrado también que en las plantaciones de café bajo sombra se tiene una alta concentración de aves migratorias Neotropicales (Tejeda-Cruz y Sutherland 2004), mayormente generalistas de bosque (Johnson *et al.* 2006; Komar 2006a). En un estudio en Venezuela, Bakermans *et al.* (2012), encontraron que la densidad de las migratorias estuvo significativamente relacionada con los atributos estructurales y florísticos de las fincas de café evaluadas. Bakermans *et al.* (2012), también encontraron que las aves de dosel estuvieron positivamente asociadas con el número y altura de árboles grandes (mayores a 38 cm de dap; género *Inga*, *Erythrina* y *Acnistus arborescens*), y a la densidad de vegetación de sotobosque; mientras que las aves de sotobosque estuvieron asociadas a árboles pequeños y medianos (8 a 23cm DAP y 23 a 38cm DAP) y al incremento de la sombra.

Los árboles utilizados para la sombra en las plantaciones de café también ofrecen recursos alimenticios estacionales para algunas aves. Para las especies frugívoras y nectarívoras, las frutas y néctar están más disponibles en plantaciones de café principalmente durante la época seca, por ejemplo sombra con árboles dominados por *Inga* (Tejeda-Cruz y Sutherland 2004). Por otro lado, las insectívoras se benefician de la abundancia de artrópodos asociados con los árboles de sombra en estos sistemas (Rodenhouse *et al.* 1995). Algunas aves residentes insectívoras que se mueven mayormente en el sotobosque durante época seca (*Basileuterus rufifrons*), pueden hacer uso de los dos estratos (sotobosque y dosel) durante la época lluviosa, lo cual coincide con la ausencia de aves migratorias (Jedlika *et al.* 2006), pero también sugiere que durante esa época encuentran mayor disponibilidad de insectos.

Acciones en la intensidad de las prácticas de manejo de las fincas como la poda de la sombra y el uso de agroquímicos afectan la estructura y diversidad florística de la vegetación y en consecuencia la abundancia y diversidad de aves. La poda de los árboles de sombra, puede perturbar el éxito reproductivo de algunas aves (*p.e.* pájaros carpinteros que buscan cavidades en los árboles) y la abundancia de artrópodos en el follaje que disminuye la disponibilidad de alimento para las aves (Calvo y Blake 1998).

La presencia de epífitas influye en la preferencia de hábitat para algunas especies residentes (Cruz-Angón *et al.* 2008), ya que estos elementos vegetativos proveen un microhábitat para organismos presas de las aves. En el caso del uso de pesticidas, esto sustituye funciones o servicios ecosistémicos que las aves insectívoras podrían desarrollar (Johnson *et al.* 2006) afectando la disponibilidad de alimento. El uso de herbicidas simplifica

la estructura de vegetación, lo cual reduce la disponibilidad de un adecuado hábitat para algunas especies de aves que se mueven en el suelo. Por lo tanto plantaciones de café bajo sombra que posean una mayor intensidad de las prácticas de manejo tienden a albergar menos riqueza y abundancia de especies que aquellas con plantaciones con menos intensidad de manejo (Perfecto y Vandermeer 2008).

### **2.3. Los cafetales de El Salvador**

El café en El Salvador es una actividad de importancia estratégica para la sostenibilidad económica, social y ambiental. Este se introdujo a finales de los años 1700 y se expandió rápidamente en el país en 1850. Tuvo períodos de fluctuaciones en la economía y fue en 1940 cuando alcanzó el 90% del valor total de las exportaciones. En los últimos 20 años, las exportaciones de café han representado un 8.3% de las exportaciones totales del país. Actualmente el sector cafetalero constituye uno de los principales generadores de empleo. Con el manejo de áreas de café bajo sombra en casi 161,000 ha, este se considera uno de los sistemas agroforestales vitales desde el punto de vista ecológico, ya que provee servicios ecosistémicos, tales como: mantenimiento de mantos acuíferos, fuente de energía e ingresos adicionales (leña, frutas, entre otros) y captura de carbono, así como hábitat para la biodiversidad (Consejo Salvadoreño del Café 2012).

El cultivo de café crece en áreas que se caracterizan por poseer suelos de origen volcánico. Estos se ubican en tres regiones (Figura 1): 1) Región Occidental: Cordillera Apaneca-Ilamatepec y Cordillera Alotepeque-Metapán; 2) Región Central: Cordillera Quetzaltepec-Bálsamo y Cordillera Chincontepic; y 3) Región Oriental: Cordillera Tecapa-Chinameca y Cordillera Cacahuatique. De acuerdo a los metros sobre el nivel del mar en que se ubican estos pueden ser clasificados como: a) bajío (600 a 800 msnm); b) media altura: (800 a 1,200 msnm); y c) estricta altura (>1,200 msnm) (Consejo Salvadoreño del Café 2012).

El 95% de los cafetales de El Salvador se cultivan bajo sombra (Consejo Salvadoreño del Café 2012). El tipo de cobertura de sombra depende de varios factores entre ellos el microclima local. En zonas de bajas altitudes, por ser más calientes y secas, existe mayor cobertura densa para ayudar al suelo a retener humedad y menor temperatura del aire. Por lo cual, las fincas de áreas bajas tienen una cobertura de sombra aproximada del 40% mientras que las de elevadas altitudes tienen el 20% de sombra (Blackman *et al.* 2006).





Figura 1. Ubicación de las regiones cafetaleras de El Salvador, las cuales se encuentran en color café (Mapa tomado de Consejo Salvadoreño del Café 2012).

Las tipologías de los cafetales en El Salvador han sido clasificadas de diferentes maneras. En primer lugar en la zona de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec (dentro de la Cordillera Apaneca-Ilamatepec) (Figura 3), se tienen: cafetales tradicionales (sotobosque original reemplazado por cafetos), cafetales de policultivo diverso (con diversidad importante de árboles de sombra) y cafetales policultivos simplificados (menos diversos en árboles de sombra) (UNESCO 2007). Por otro lado en un estudio realizado en 40 fincas de café en la zona occidental de la Cordillera Apaneca-Ilamatepec (Escalante 2000), se encontró que la tipología de los cafetales depende de varios factores como: intensidad del manejo del café (costos de fertilizantes, fungicidas y mano de obra); la composición funcional del dosel de sombra (riqueza y abundancia relativa de los tipos funcionales); la duración de la época seca y la altitud. Así se identificaron tres tipos de fincas cafetaleras: 1) fincas medianas (36 ha), con dos especies de dosel, nivel de sombra 47%, altitud 1016 m, planas y con costos totales de \$ 497 ha<sup>-1</sup>; 2) fincas medianas (36 ha), con 3.5 especies en el dosel, nivel de sombra del 52%, altitud 1201 m y pendiente del 15% y costos totales de \$600 ha<sup>-1</sup>; 3) fincas grandes (63 ha), con cinco especies en el dosel, nivel de sombra 59%, pendiente del 22%, altitud 907 m y con costos totales de \$429 ha<sup>-1</sup>.

En este mismo estudio (Escalante 2000) identificó 77 especies en el dosel de sombra. Estas fueron agrupadas de acuerdo a tipos funcionales como: especies de sombra (29%), leña (24%), frutales (18%), maderables (14%) y otros usos (15%). Las especies más abundantes en los cafetales son las *Ingas*: *Inga punctata* (pepeto peludo), *Inga vera* (pepeto de río), *Inga sapindoides* (nacapirol) e *Inga ruiiziana* (pepeto negro). Además de las *Ingas* productoras de leña, el dosel de sombra puede contener entre 5-10 árboles

maderables como el laurel (*Cordia alliodora*), frutales como aguacate (*Persea americana*), mango (*Mangifera indica*), manzana rosa (*Eugenia jambos*) y musáceas (Escalante 2000; Méndez *et al.* 2007).

#### **2.4. Estado de la avifauna en El Salvador**

El Salvador cuenta con una superficie de 21,041 km<sup>2</sup> y su población es de un poco más de 6 millones de habitantes (CIA 2012). El desmesurado avance de la frontera agrícola y urbana ha generado un aumento en la presión de los recursos naturales e incremento de la fragmentación y destrucción de hábitat y contaminación, lo cual ha afectado negativamente a muchas especies de aves (Komar e Ibarra-Portillo 2009). En la actualidad, solamente el 4.2% de los bosques remanentes se encuentran con categoría de área natural protegida, mientras que el resto se encuentra sin ningún tipo de esquema de gestión (MARN 2010).

En un análisis de las áreas prioritarias para la conservación de aves en el 2002, se encontró que cuatro áreas protegidas combinadas (El Imposible, Montecristo, Laguna El Jocotal y Barra de Santiago) proveen protección para 83% de las especies de aves con alguna categoría de amenaza en El Salvador (Komar 2002). Komar e Ibarra-Portillo (2009), consideran que hasta el 2007 el 42% de las especies de aves en este país se encontraban en declive; y sugieren que actividades de conservación en los últimos 20 años podrían haber favorecido la recuperación de algunas poblaciones de aves. Ese mismo año se reconocieron un total de 20 áreas importantes para las aves (IBA por sus siglas en inglés), las cuales cubren el 15% de la superficie del país (3,155 km<sup>2</sup>) (Komar e Ibarra-Portillo 2009).

El estado de conservación de las aves en El Salvador se ha evaluado desde los ochentas, pero fue hasta el 2007 que la evaluación consideró criterios de la lista roja de especies de vertebrados de la UICN (Komar *et al.* 2007). Hasta ese año se tenían registradas 546 especies (318 residentes reproductoras y 228 visitantes no reproductoras, transeúntes o vagabundas). El listado de aves amenazadas publicado por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales en el año 2009 (MARN 2009), documentó que 86 especies se encontraban en peligro y 101 especies vulnerables. Sin embargo, en la última evaluación en el 2007, se registraron 46 especies en peligro crítico, 93 en peligro, 94 vulnerables, 80 casi amenazadas, 45 datos deficientes (sin registro suficiente para alguna categoría) y 171 con menor preocupación (Komar *et al.* 2007).

Según Komar (2002), el incremento en la declaratoria de áreas protegidas de un 4.7% a un 10% podría beneficiar a la biodiversidad presente en El Salvador. Esto favorecería la viabilidad de las poblaciones de especies de aves que se encuentran restringidas a ciertas zonas. Sin embargo; la sola presencia de las áreas naturales no protegerá toda la biodiversidad (Fischer *et al.* 2006), por lo que es necesario ampliar los estudios sobre ecología de las aves y su interacción en sistemas productivos en paisajes fragmentados, analizar la diversidad genética y metapoblaciones, considerando monitoreos de largo plazo que sustenten las acciones de conservación para este grupo taxonómico.

## **2.5. Importancia del estudio de la diversidad funcional en la avifauna**

### **2.5.1. Rasgos funcionales y tipos funcionales**

Los rasgos funcionales son las características tanto morfológicas, fenológicas, como de comportamiento social (en el caso de los animales) de los organismos, que responden a cambios en el ambiente o que tienen una función en el ecosistema (Mouchet *et al.* 2010). La selección de los rasgos funcionales como base para el análisis de la diversidad funcional depende de los objetivos planteados en cada investigación. No obstante, la selección de los rasgos de importancia requiere de conocimiento previo de los organismos en estudio y de sus interacciones con el medio ambiente (Petchey y Gaston 2006).

El análisis de la diversidad funcional en base a los rasgos funcionales puede realizarse identificando los tipos funcionales de los organismos en estudio y obteniendo los índices de diversidad funcional relacionados a características del medioambiente (Petchey y Gascon 2002). Los tipos funcionales son grupos de organismos que tienen similar respuesta frente a factores del ambiente o efectos sobre las funciones del ecosistema (Díaz y Cabido 2001), y los índices de diversidad funcional simplifican la información de la estructura de una comunidad de organismos en base a una gama de rasgos funcionales (Mouchet *et al.* 2010).

### **2.5.2. Diversidad funcional (DF)**

Con las constantes transformaciones en los paisajes, existe una necesidad de entender la diversidad funcional (DF) como una manera de aproximarse al funcionamiento ecológico de relaciones entre los organismos y ecosistemas, y los procesos ecológicos generadores de servicios ecosistémicos indispensables para el bienestar de todos los organismos vivos incluyendo al ser humano (MEA 2005). La función de las especies puede ser definida como el rol funcional llevado a cabo por las especies que comparten similares efectos de los rasgos (Jax 2005). La DF *per se* se refiere a los componentes de la biodiversidad que influyen cómo un ecosistema opera o funciona. Este es medido por los valores y el rango de los valores de las especies presentes en un ecosistema y de los rasgos de los organismos que influyen en uno o más aspectos del funcionamiento de un ecosistema. La DF es de suma importancia ya que es el componente de la diversidad que influye en la dinámica, estabilidad, productividad, balance de nutrientes y otros aspectos del funcionamiento de un ecosistema (Tilman 2001).

Para conocer los procesos de la estructura de las comunidades biológicas, existen ciertos índices de DF que pueden ser utilizados. Según Mouchet *et al.* (2010), los tres índices de funcionalidad que deben ser considerados son la riqueza funcional (FRic), equidad funcional (FEve) y la divergencia funcional (FDiv). Estos tres índices son complementarios y al usarlos juntos describen la distribución de las especies y sus abundancias en el espacio funcional. La riqueza funcional (FRic), representa la cantidad de espacio funcional ocupado por un ensamblaje de especies. La equidad funcional (FEve) responde a cómo las

abundancias de las especies son regularmente distribuidas en el espacio funcional. Y la divergencia funcional (FDiv) define qué tanto la alta abundancia de especies está lejos del centro del espacio funcional.

### **2.5.3. Diversidad funcional y servicios ecosistémicos de las aves**

Los análisis de diversidad funcional tienen como principal objetivo comprender las interacciones de los organismos con los ecosistemas y los potenciales servicios ecosistémicos que se deriven (Díaz y Cabido 2001), los cuales a menudo son perceptibles por el ser humano de forma indirecta (MEA 2005). Entre estos se puede mencionar algunos: reducción de brotes de plaga mediante aves que se alimentan de invertebrados y/o insectos (Greenberg *et al.* 2000a; Kellermann *et al.* 2008;), controladoras de sobre población, por ejemplo las aves de rapiña depredadoras de mamíferos, anfibios, reptiles y otras aves (Van Bael *et al.* 2008), aumento de la diversidad florística a causa de aves depredadoras y dispersoras de semilla (Lozada *et al.* 2007), generación de flores y frutos por aves polinizadoras (Botes *et al.* 2008), eliminación de restos orgánicos/carroña como un servicio a la salud pública mediante las aves consumidoras de carroña (Whelan *et al.* 2008), entre otros.

Las aves son el grupo de vertebrados más diverso de las funciones ecológicas (Sodhi *et al.* 2011) y esa es una de las razones principales de su amplia investigación como indicadores de cambios en el ambiente. Actualmente existe un creciente interés en investigar la DF de éstas, tanto en bosques como en agroecosistemas tropicales (Newbold *et al.* 2012). Por ejemplo, las aves insectívoras de sotobosque y muchas otras que no son capaces de dispersarse en una matriz sin bosque, son más vulnerables a la extinción (Sekercioglu 2002), por lo que esto contribuye a una posible disminución de las funciones de biocontroladores de insectos en ese estrato (sotobosque) en el que se mueven estas aves.

Los estudios sobre los cambios en la DF de las aves en los paisajes transformados están siendo investigados cada vez a mayor profundidad (Sekercioglu 2012). Se ha documentado que el incremento del uso intensivo de la tierra hace que disminuyan los rasgos de las especies capaces de llevar a cabo una función del ecosistema en particular (Fischer *et al.* 2007). Un ejemplo puntual de esto es lo documentado por Galetti *et al.* (2013), quienes sugieren que la extinción funcional local de aves dispersoras de semillas de gran tamaño en la selva atlántica de Brasil se asocia con la reducción del tamaño de semilla de una especie clave de palma.

Sekercioglu (2012), menciona que el reemplazamiento del bosque y los sistemas agroforestales a sistemas agrícolas simples puede resultar en cambios hacia una comunidad de aves menos especializada con alteradas proporciones de tipos funcionales. Flynn *et al.* (2009), en una compilación de los rasgos (*p.e.* peso, gremio alimenticio, tipo de alimento, entre otros) de múltiples taxas, incluyendo las aves, comparando diferentes estudios efectuados en agroecosistemas, encontró una reducción de la DF en la comunidad de aves al intensificarse el uso del suelo (de bosque a agricultura) más allá de solamente los cambios

en la riqueza de especies. En cuanto a la configuración de paisaje, se dice que la proximidad de los sistemas agroforestales a los bosques influye en la diversidad funcional de las aves y puede proveer un exitoso control biológico y polinización (Sekercioglu 2012).

## **2.6. Uso de modelos estadísticos en estudios de biodiversidad**

Los modelos estadísticos han sido ampliamente utilizados para analizar y entender los distintos efectos de la biodiversidad en un ambiente con un conjunto de características dadas (Guisan *et al.* 2002). Entre los usos de los modelos en ecología y conservación biológica están: los que permiten predecir los posibles impactos del clima, uso de hábitat y otros cambios medioambientales en la distribución de las especies (Thomas *et al.* 2004), los que modelan los ensamblajes de especies (biodiversidad y composición) a partir de especies individuales (Guisan y Theurillat 2000), los que mejoran los cálculos de métricas de paisaje como distancias entre el parches, dinámicas de las metapoblaciones y modelos de flujo de genes, entre otros. Los modelos de distribución de especies son modelos empíricos que relacionan las observaciones de campo con variables medioambientales predictoras, basados en procedimientos estadísticos y exploración cartográfica (Guisan y Zimmermann 2000).

Los datos de las especies como variables respuestas pueden ser utilizadas como una simple presencia, presencia-ausencia y observaciones de abundancia basados en un muestreo de campo aleatorizado o estratificado. Las variables predictoras medioambientales pueden ejercer un efecto directo o indirecto en las especies o pueden reflejar tres tipos principales de influencia como factores climáticos (*p.e.* gradientes geográficos que incluye cambios de temperatura), perturbaciones ya sean humanas o de eventos extremos y factores de recursos como alimentos, nutrientes, entre otros (Guisan y Thuiller 2005).

La predicción espacial de la distribución de especies a partir de variables regresoras o de un conjunto de datos es reconocido como un componente importante para planes de conservación (Austin 2002). Por ejemplo, los análisis de regresión son ampliamente utilizados en ecología (Guisan *et al.* 2002). Entre ellos los modelos más popularmente utilizados son los modelos de regresiones lineares múltiples y su forma generalizada (GLM) y los modelos aditivos generalizados (GAM). Los GML's están basados en una presunta relación entre el promedio de la variable respuesta y la combinación lineal de las variables exploratorias, y los GAM se basan en funciones aditivas (Guisan y Zimmermann 2000). La calidad del modelo dependerá principalmente de los objetivos del estudio que define la calidad de los criterios y el uso del modelo (Guisan y Zimmermann 2000).

### 3. BIBLIOGRAFÍA

- Arcos, I; Jiménez, F; Harvey, C; Casanoves, F. 2008. Riqueza y abundancia de aves en bosques ribereños de diferentes anchos en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. *Biología Tropical* 56(1):355–369.
- Austin, MP. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling* 157:101–118.
- Bakermans, MH; Rodewald, AP; Vitz, AC; Rengifo, C. 2012. Migratory bird use of shade coffee: The role of structural and floristic features. *Agroforestry System* 85:85–94.
- Blackman, A; Ávalos-Sartorio, B; Chow, J; Aguilar, F. 2006. Pérdida de los bosques en las áreas de cultivo de café en El Salvador. *Resources for the future (RFF)*. 109 p.
- Bennett, A. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. San José, Costa Rica, UICN-Unión Mundial para la Naturaleza. 278 p.
- Botes, C; Johnson, SD; Cowling, RM. 2008. Coexistence of succulent tree aloes: partitioning of bird pollinators by floral traits and flowering phenology. *Oikos*. 2008;117:875–882.
- Calvo, L; Blake, J. 1998. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International* 8(3):297–308.
- Cappelatti, F; Barros, M. 2010. Bird community in a forest patch isolated by the urban matrix at the Sinos river basin, Rio Grande do Sul State, Brazil, with comments on the possible local defaunation. *Brazil Journal Biology* 70(4):1137–1148.
- Castellón, T; Sieving, K. 2006. An Experimental Test of Matrix Permeability and Corridor Use by an Endemic Understory Bird. *Conservation Biology* 20(1):135–145.
- CIA (Central Intelligence Agency). 2012. The World Factbook. Consultado el 15 de diciembre 2012. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/es.html>
- Cruz-Angón, A; Sillett, T; Greenberg, R. 2008. An experimental study of habitat selection by birds in a coffee plantation. *Ecology* 89(4):921–927.
- Consejo Salvadoreño del Café (CSC). 2012. El cultivo del café en El Salvador. 13 p. Consultado el 30 de nov. 2012. Disponible en [www.consejocafe.org](http://www.consejocafe.org).
- Daily, GC; Ehrlich, PR; Sánchez-Azofeifa, GA. 2001. Countryside biogeography: use of human-dominated habitats by the avifauna of southern Costa Rica. *Ecological Applications*, 11(1):1–13.
- Desouza, O; Schoereder, JH; Brown V; Bierreggaard, RO. 2001. A theoretical overview of the processes determining species richness in forest fragments. En Bierreggaard, RO; Gascón, C; Lovejoy, TE; Mesquita, R. (editores). 2001. *Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest*. Yale University Press, New Heaven & London. 477 p.
- Donald, PF. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18(1):17–37.
- Díaz, S; Cabido, M. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16 (11): 646–655.
- Escalante, M. 2000. Diseño y manejo de cafetales del Occidente de El Salvador. M.S. Thesis. Tropical Agroforestry. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Estades, C. 2001. The effect of breeding-habitat patch size on bird population density. *Landscape Ecology* 16:161–173.
- Estrada, A; Coates-Estrada, R; Meritt, D. 1997. Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 6:19–43.
- Estrada, A. 2008. Fragmentación de la selva y agrosistemas como reservorios de conservación de la fauna silvestre en Los Tuxtlas, México. Capítulo 12. p. 327–348. En Harvey, C; Sáenz JC. (editores). 2008. *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*. INBio, Heredia, Costa Rica. 620 p.
- Ewers, R; Didham, R. 2006. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 81(1):117–142. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16318651>
- Fahrig, L; Merriam, G. 1994. Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology* 8(1):50–59.

- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics* 34(1):487–515.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001. Causas y tendencias de la deforestación en América Latina. Programa de Evaluación de los Recursos Forestales, Roma. 91 p.
- Fischer, J; Lindenmayer, B; Manning, A. 2006. Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscape. *Frontiers in Ecology and Environment* 4(2):80–86.
- Fischer, J; Lindenmayer, B. 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography* 16:265–280.
- Fischer, J; Lindenmayer, DB; Blomberg, SP; Montague-Drake, R; Felton, A; Stein, JA. 2007. Functional richness and relative resilience of bird communities in regions with different land use intensities. *Ecosystems*, 10: 964–974.
- Flynn, DFB; Gogol-Prokurat, M; Nogeire, T; Molinari, N; Trautman, B; Lin, BB; Simpson, N; Mayfield, MM; DeClerck F. 2009. Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. *Ecology Letters* 12:22–33.
- Forman, R. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology* 10(3):133–142.
- Galetti, M. 2013. Functional extinctions of birds drives rapid evolutionary changes in seed size. *Science* 340. 1086 (2013): DOI: 10.1126/Science. 1233774
- Gascón, C; Lovejoy, T; Bierregaard, R; Malcolm, J; Stouffer, P; Vasconcelos, H; Laurance, W; Zimmerman, B; Tocher, M; Borges, S. 1999. Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biological Conservation* 91:223–229.
- Greenberg, R; Bichier, P; Angon, A; Reitsma, R. 1997. Bird populations in shade and sun coffee plantations in central Guatemala. *Conservation Biology* 11(2):448–459.
- Greenberg, R; Bichier, P; Cruz-Angón, A; MacVean, C; Pérez, R; Cano, E. 2000a. The impact of avian insectivory on arthropods and leaf damage in some Guatemalan coffee plantations. *Ecology* 81:1750–1755.
- Greenberg, R; Bichier, P; Cruz-Angón, A. 2000b. The conservation value for birds of cacao plantations with diverse planted shade in Tabasco, Mexico. *Animal Conservation* 3:105–112.
- Guisan, A; Theurillat, JP. 2000. Equilibrium modeling of alpine plant distribution: how far can we go? *Phytocoenologia*, 30: 353–384.
- Guisan, A; Zimmermann, N. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135:147–186.
- Guisan, A; Edwards, T; Hastie, T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157: 89–100.
- Guisan, A; Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters* 8: 993–1009.
- Harvey, CA; González, JA. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity Conservation* 16:2257–2292.
- Jax, K. 2005. Function and “functioning” in ecology: what does it mean? *Oikos*, 111: 641–648.
- Jedlika, JA; Greenberg, R; Perfecto, I; Philpott, SM; Dietsch, TV. 2006. Seasonal shift in the foraging niche of a tropical avian resident: resource competition at work?. *Journal of Tropical Ecology* 22:385–395.
- Johnson, M; Sherry, T; Holmes, R; Marra, P. 2006. Assessing habitat quality for a migratory songbird wintering in natural and agricultural habitats. *Conservation Biology* 20(5):1433–144. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17002761>
- Jones, J; Ramoni-Perazzi, P; Carruthers, E; Robertson, R. 2002. Species composition of bird communities in shade coffee plantations in the Venezuelan Andes. *Ornitología Neotropical* 13:397–412.
- Kellermann, JI; Johnson, DM; Stercho, AM; Hackett, SC. 2008. Ecological and economic services provided by birds on Jamaican blue mountain coffee farms. *Conservation Biology*. DOI:10.1111/j.523-1739.2008.00968.x
- Komar, O. 2002. Priority conservation areas for birds in El Salvador. *Animal Conservation* 5(3):173–183.

- Komar, O. 2006. Ecology and Conservation of Birds in Coffee Plantations of El Salvador, Central America. Ph.D. dissertation, University of Kansas. 162 p.
- Komar, O; Herrera, N; Ibarra-Portillo, R; Girón, L. 2007. Lista Roja de las Aves de El Salvador. En prensa.
- Komar, O; Ibarra-Portillo, R. 2009. Las IBAs de El Salvador: áreas de importancia para la conservación de las aves. SalvaNATURA. San Salvador, El Salvador. Disponible en [www.salvanatura.org](http://www.salvanatura.org).
- Komar, O. 2012. Are Rainforest Alliance Certified coffee plantations bird-friendly?. Study of dispersing forest birds and migratory birds in El Salvador's Apaneca Biological Corridor. Technical Report. 75 p.
- Laurance, WF; Vasconcelos HI. 2004. Ecological effects of habitat fragmentation in the tropics. p. 33–49 en Schroth G; da Fonseca, GAB; Harvey, CA; Gascon, C; Vasconcelos, HL: Izac, AMN (editores). Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press, Washington.
- Lees, AC; Peres, CA. 2008a. Conservation value of remnant riparian forest corridors of varying quality for amazonian birds and mammals. *Conservation Biology* 22(2):439–49. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18241239>
- Lees, AC; Peres, CA. 2008b. Avian life-history determinants of local extinction risk in a hyper-fragmented neotropical forest landscape. *Animal Conservation* 11(2):128–137.
- Lozada, T; De Koning, GHJ; Marche, R; Klein, AM; Tschardt, T. 2007. Tree recovery and seed dispersal by birds: comparing forest, agroforestry and abandoned agroforestry in coastal Ecuador. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 8:131–140.
- Marini, M. 2001. Effects of forest fragmentation on birds of the cerrado region, Brazil. *Bird Conservation International* 11:13–25.
- MARN (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2009. Listado oficial de vida silvestre amenazado o en peligro de extinción. Diario oficial, San Salvador, El Salvador. 15 p.
- MARN (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2010. III Informe Nacional de Áreas Naturales Protegidas y III Congreso Mesoamericano de Áreas Protegidas. El Salvador, Centroamérica. Compilado por Patricia Alexandra Quintana y Alfonso Sermeño Martínez. 146 p.
- Martensen, A; Pimentel, R; Metzger, J. 2008. Relative effects of fragment size and connectivity on bird community in the Atlantic Rain Forest: Implications for conservation. *Biological Conservation* 141(9):2184–2192.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and human well-being: Biodiversity Synthesis. Washington, D.C: World Resources Institute.
- Méndez, EV; Gliessman, B; Gilbert, GS. 2007. Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape in western El Salvador. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 119:145–159
- Meffe, K; Carrol, R. 1994. Principles of Conservation Biology. Sunderland, Massachusetts, Sinauer, Associates, Inc. 600.
- Moguel, P; Toledo, V. 1999. Biodiversity Conservation in Traditional Coffee System of Mexico. *Conservation Biology* 3 (1):11–21.
- Mouchet, MA; Villegger, S; Mason, NWH; Mouillot, D. 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology* 24: 867–876.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *TREE* 10(2):58–62.
- Newbold T; Scharlemann JPW; Butchart SHM; Sekercioglu CH; Alkemade R; Booth H; Purves DW. 2013. Ecological traits affect the response of tropical forest bird species to land-use intensity. *Proc R Soc B* 280: 20122131. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2131>
- Perfecto, I; Rice, R; Greenberg, R; Van der Voort, M. 1996. Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. *BioScience* 46(8).



- Perfecto, I; Vandermeer, J. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: a new conservation paradigm. *Annals of the New York Academy Science* 1134:173–200. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18566094>
- Petchey, OL; Gaston, KJ. 2002. Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters* 5:402–411.
- Petchey, OL; Gaston, KJ. 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters* 9:741–758.
- Petit, L; Petit, D; Christian, D; Powell, D. 1999. Bird communities of natural and modified habitats in Panama. *Ecography* 22:292–304.
- Philpott, SM; Arendt, WJ; Armbrrecht, I; Bichier, P; Diestch, TV; Gordon, C; Greenberg, R; Perfecto, I; Reynoso-Santos, R, Soto-Pinto, L; Tejada-Cruz C; Williams-Linera, G; Velenzuela, J; Zolotoff, JM. 2008. Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes: Review of the evidence on ants, birds and trees. *Conservation Biology*, 22 (5):1093–1105
- Rappole, JH; King, DI; Vega, JH. Coffee and conservation. *Conservation Biology* 17:334–336.
- Rodenhouse, NL; Best, LB; O'connor, RJ; Bollinger, EK. 1995. Effects of agricultural practices and farmland structures. p.269–292. En Martin, TE; Finch, DM. (editores) 1995. *Ecology and management of netropical migratory birds: a synthesis and review of critical issues*. Oxford University Press, New York Oxford. 489 p.
- Sánchez-Azofeifa, GA; Daily, GC; Pfaff, ASP; Busch, C. 2003. Integrity and isolaton of Costa Rica's national parks and biological reserves: examining the dynamics of land-cover change. *Biological Conservation* 109:123–135.
- Sekercioglu, C; Ehrlich, P; Daily, G; Aygen, D; Goehring, D; Sandi, R. 2002. Disappearance of insectivorous birds from tropical forest fragments. *Proc Natl Acad Sci U S A* 99(1):263–267. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11782549>
- Sekercioglu, CH. 2002. Forest fragmentation hits insectivorous birds hard. *Directions in Science* 1:62–64.
- Sekercioglu, CH. 2012. Bird functional diversity and ecosystem services in tropical forests, agroforests and agricultural areas. *Journal Ornithology*. DOI: 10.1007/s10336–012–0869–4.
- Shake, C; Moorman, C; Riddle, J; Burchell, M. 2012. Influence of patch size and shape on occupancy by shrubland birds. *The Condor* 114(2):268–278.
- Sodhi, N; Sekercioglu, C; Barlow, J; Robinson, S. 2011. *Conservation of tropical birds*. USA, Wiley-Blackwell. 300 p.
- Stratford, JA; Stouffer, PC. 1999. Local extinctions of terrestrial insectivorous birds in Amazonian forest fragments. *Conservation biology* 13: 1416–1423.
- Stouffer, P; Bierregaard, R. 1995. Use of amazonian forest fragments by understory insectivorous birds. *Ecology* 76(8):2429–2445.
- Stouffer, PC; Borges, SH. 2001. Conservation recommendations for understory birds in Amazonian forest fragments and secondary areas, p. 248–261. En Bierregaard, RO; Gascón Jr.C., Lovejoy, TE, Mesquita, R. (Eds). *Lessons from Amazonia: The ecology and Conservation of a fragmented forest*. New Haven: Yale University Press.
- Tejada-Cruz, C; Sutherland, W. 2004. Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation* 7(2):169–179.
- Tilman, D. 2001. Functional diversity. *Encyclopedia of Biodiversity* (ed. S.A. Levin), pp. 109–120. Academic Press, San Diego.
- Thomas, CD; Cameron, A; Green, RE; Bakkenes, M; Beaumont, LJ; Collingham, YC. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427:145–147.
- Turner, MG; Gardner, RH; O'Neill, RV. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice*. New York: Springer-Verlag. 401 p.
- Uezu, A; Metzger, J; Vielliard, J. 2005. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. *Biological Conservation* 123(4):507–519.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Salud). 2007. Programa hombre y la biosfera (MAB): Ficha técnica de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec, El Salvador. Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Consultado en noviembre 2012. Disponible en [www.marn.gob.sv](http://www.marn.gob.sv).

- Van Bael, SA; Philpott, SM; Greenberg, R; Bicher, P; Barber, NA; Mooney, KA; Gruner, DS. 2008. Birds as predators in tropical agroforestry systems. *Ecology* 89(4): 928–934.
- Vandermeer, J; Perfecto, I; Philpott, S; Chappell, MJ. 2007. Reenfocando la conservación en el paisaje: la importancia de la matriz (75–104 p.) en Harvey, C; Sáenz, J (editores) *Evaluación y conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*. Editorial INBio, Heredia, Costa Rica, 620 p.
- Verea, C; Fernández-Badillo, A; Solorzano A. 2000. Variación en la composición de las comunidades de aves de sotobosque de dos bosques en el Norte de Venezuela. *Ornitología Neotropical*. 11:65–79.
- Watson, J; Whittaker, R; Dawson, T. 2004. Habitat structure and proximity to forest edge affect the abundance and distribution of forest-dependent birds in tropical coastal forests of southeastern Madagascar. *Biological Conservation* 120(3):311–327.
- Wethered, R; Lawes, M. 2003. Matrix effects on bird assemblages in fragmented Afri-montane forests in south Africa. *Biological Conservation* 114:327–340.
- Whelan, CJ; Wenny, DG; Marquis, RJ. 2008. Ecosystem Services Provided by Birds. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134:25–60. doi: 10.1196/annals.1439.003
- Yamaura, Y; Kawahara, T; Iida, S; Ozaki, K. 2008. Relative importance of the area and shape of patches to the diversity of multiple taxa. *Conservation Biology* 22(6):1513–1522. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18717689>

## 4. ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

### ARTÍCULO 1. RELACIÓN DE LA COMUNIDAD DE AVES CON CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN EN DOS TIPOLOGÍAS DE CAFÉ Y PARCHES DE BOSQUE EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA APANECA-ILAMATEPEC Y SUS ALREDEDORES EN EL SALVADOR

#### RESUMEN

Los sistemas de café bajo sombra juegan un rol importante en la conservación de la biodiversidad cuando los paisajes han sido severamente deforestados y transformados, dado que estos sitios sirven de hábitat y conectividad a una variedad de organismos capaces de adaptarse a estos sistemas agroforestales. La presente investigación tiene como objetivo caracterizar la diversidad de aves (riqueza, abundancia y composición) en dos tipologías de diversidad de sombra en los cafetales y parches de bosque de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec y sus alrededores en El Salvador y evaluar la relación de la diversidad de aves con características de la vegetación y manejo. Se muestreó un total de 21 sitios, trece fincas de café simplificado (CS) (fincas con sombra dominada por la especie *Inga* spp. y policultivos simples), cinco fincas de café diverso (CD) (fincas con diversas especies de sombra) y tres en parches de bosque (PB). Un total de 102 puntos de conteo con un radio fijo de 25m se establecieron para registrar las aves en dos épocas (período I/época seca=febrero a abril; período II/inicios de la época lluviosa=mayo a junio). Se registraron 109 especies de aves, de las cuales 72 estuvieron en CS, 62 en CD y 69 en los PB y una mayor oportunidad de registrar más especies en los PB según el análisis de rarefacción. En el período I hubo una mayor influencia de especies migratorias Neotropicales y una complementariedad de especies residentes en ambos períodos. Entre los gremios alimenticios, los insectívoros fueron los que tuvieron el mayor porcentaje de especies (40%), mientras que los otros gremios representaron entre 1% a 23%. Los PB tuvieron más especies especialistas de bosque con alta sensibilidad a la perturbación, mientras que las especies generalistas con baja sensibilidad fueron mayormente registradas en los cafetales. Las dos tipologías de café fueron similares en riqueza y composición de especies de aves a pesar de sus diferencias florísticas, y fueron diferentes a la composición de los PB. Sin embargo; a nivel de puntos de conteo, se obtuvo una sensibilidad florística de las aves al presentar los cafetales simplificados el más bajo registro de especies e individuos a comparación de los otros dos tipos de hábitat. Las características vegetales y de manejo de los cafetales que estuvieron relacionadas a los atributos de las aves (riqueza, diversidad y abundancia) fueron la riqueza de árboles, variación en la altura de los árboles, promedio de diámetro a la altura del pecho, índice de heterogeneidad vertical, el diámetro de copa, promedio de sombra, altura de hierbas clasificadas como maleza o arvense y cobertura de herbáceas. Se concluye que en la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec las dos tipologías de café son importantes sitios para las aves residentes y migratorias generalistas de bosque y más importantes aquellas fincas que mantienen una mayor riqueza florística y complejidad estructural de la vegetación.

**Palabras claves:** *sistemas agroforestales, café bajo sombra, diversidad de sombra, gremios alimenticios, estacionalidad, aves migratorias Neotropicales, aves residentes.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El Salvador (21,041 km<sup>2</sup>) posee actualmente menos del 10% de sus áreas boscosas como consecuencia directa de la tasa de deforestación más alta a nivel centroamericano, 4.5% anual (FAO 2001). La presencia de aproximadamente 161,000 ha de cultivo de café dedicadas al cultivo de café bajo sombra en diferentes puntos del país, el cual es un sistema agroforestal importante para la economía de El Salvador, lo hace al mismo tiempo un sistema productivo de beneficio para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que provee a la sociedad (Blakman *et al.* 2006).

Se ha demostrado que cafetales bajo ciertas condiciones de manejo funcionan como refugios potenciales para las aves dentro de paisajes deforestados (Perfecto *et al.* 1996), teniendo una alta riqueza y abundancia de especies de aves en comparación con aquellos sistemas agrícolas de monocultivos abiertos y sin sombra (Wunderle y Latta 1996, Estrada *et al.* 1997, Petit *et al.* 1999, Tejeda-Cruz y Sutherland 2004). A diferencia de los bosques, los sistemas agroforestales albergan especies de aves generalistas de bosques con menos sensibilidad a perturbaciones humanas, mientras que los bosques por su complejidad arbórea albergan mayor número de especies de aves especialistas de bosque (Tejeda-Cruz y Sutherland 2004).

La importancia de las plantaciones de café como hábitats potenciales para aves, depende de varios factores. Entre ellos está la complejidad estructural y la composición de las especies arbóreas utilizadas como sombra y los recursos alimenticios que de estas se derivan. Plantaciones de café con una estructura de sombra diversa ofrecen un refugio potencial y recursos alimenticios para las aves tanto migratorias como residentes (Greenberg *et al.* 1997a y b; Tejeda-Cruz y Sutherland 2004; Komar 2006a, Shankar-Raman 2006, Gordon *et al.* 2007). Greenberg *et al.* (1997a) y Jones *et al.* (2002) indican que cafetales con especies de sombra del género *Inga* spp. y *Erythrina* spp. son sitios que ofrecen disponibilidad de alimentos para aves nectarívoras y frugívoras en diferentes épocas del año (seca y lluviosa), como consecuencia de diferentes períodos de floración de las especies arbóreas (Greenberg *et al.* 1997a; Petit *et al.* 1999). Por otro lado, también la presencia de epífitas proveen lugares para anidación y refugio a algunas especies residentes (Cruz-Angón *et al.* 2008).

Las plantaciones de café estructuralmente complejas sirven para la conectividad entre bosques (Perfecto y Vandermeer 2008). Estos sitios son importantes zonas de amortiguamiento alrededor de bosques, reduciendo los efectos de borde (Moguel y Toledo 1999; Tejeda-Cruz y Sutherland 2004), y beneficiando a las especies capaces de adentrarse a zonas con perturbación humana como conectividad de un sitio a otro para el intercambio genético que ayude al mantenimiento de las poblaciones (Bennett 2004). De acuerdo con Perfecto *et al.* (1996), los cafetales bajo sombra son importantes en regiones con altas tasas de deforestación pues se vuelven un refugio crítico para la conservación de algunas especies de flora y fauna y los procesos ecológicos que las involucra. La efectiva

conservación de la biodiversidad no solo depende de las áreas protegidas, sino de la matriz agrícola y principalmente del manejo de ésta (Vandermeer y Perfecto 2007).

La importancia de los cafetales bajo sombra para la conservación de las aves depende del tipo de sombra que se maneje (Moguel y Toledo 1999). Por ejemplo, Calvo y Blake (1998), documentan una mayor riqueza y abundancia de aves en cafetales con diversidad de sombra y estructura de la vegetación (café tradicional) que en cafetales con sombra menos diversa (cafetales simplificados). Por otro lado, Tejeda-Cruz y Gordon (2008), documentan similar riqueza de aves entre ese tipo de cafetales, sin embargo; mencionan que existe un recambio de especies de aves a medida que se simplifican los cafetales, ya que disminuye la presencia de aves de bosque y dominan las aves generalistas, incluyendo aves de zonas abiertas.

La Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec (RBAI) en El Salvador, es uno de los sitios importantes para el cultivo del café (de sus 59,056 ha, 67% están destinadas al cultivo de café) (UNESCO 2007). Pocos estudios (Komar 2006b; Komar 2012) se han llevado a cabo en el área de la RBAI, sin embargo; los resultados coinciden en que el incremento de la cobertura de bosque y la diversidad florística y estructural constituyen elementos de importancia para las aves en general. Según Komar (2012), las aves residentes consideradas "dispersoras" (aves dependientes de bosque moviéndose entre el agropaisaje) al estar fuera de las áreas boscosas se reportaron mayormente en cafetales certificados (con sello Rainforest Alliance) y una presencia casi nula de estas aves en cultivos agrícolas abiertos y cafetales no certificados. Aunque las métricas de paisajes no fueron comprobadas como factor influyente en este estudio, Komar (2012), adjudica que la presencia de parches de bosque cercanos a los cafetales certificados muestreados y la diversa sombra comparado con cafetales no certificados en el estudio, pudo influenciar en los resultados obtenidos.

Dada la importancia ecológica de estos sistemas de producción agrícola, especialmente en países altamente deforestados como El Salvador, es necesario continuar estudiando los efectos que tiene el manejo de los componentes vegetales y su composición sobre la riqueza, diversidad y composición de especies de aves. Estudios como estos son indispensables para el diseño y transformación de áreas productivas que sean amigables con la conservación de la biodiversidad.

De esta manera, la presente investigación contribuye a aumentar el conocimiento sobre el estado de conservación de las especies de aves dentro de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec con el cumplimiento de los siguientes objetivos: i) evaluar la diversidad taxonómica de aves en dos tipologías de café y parches de bosque y ii) determinar la relación de la comunidad de aves con las características de la vegetación y manejo en los cafetales y parches de bosque.

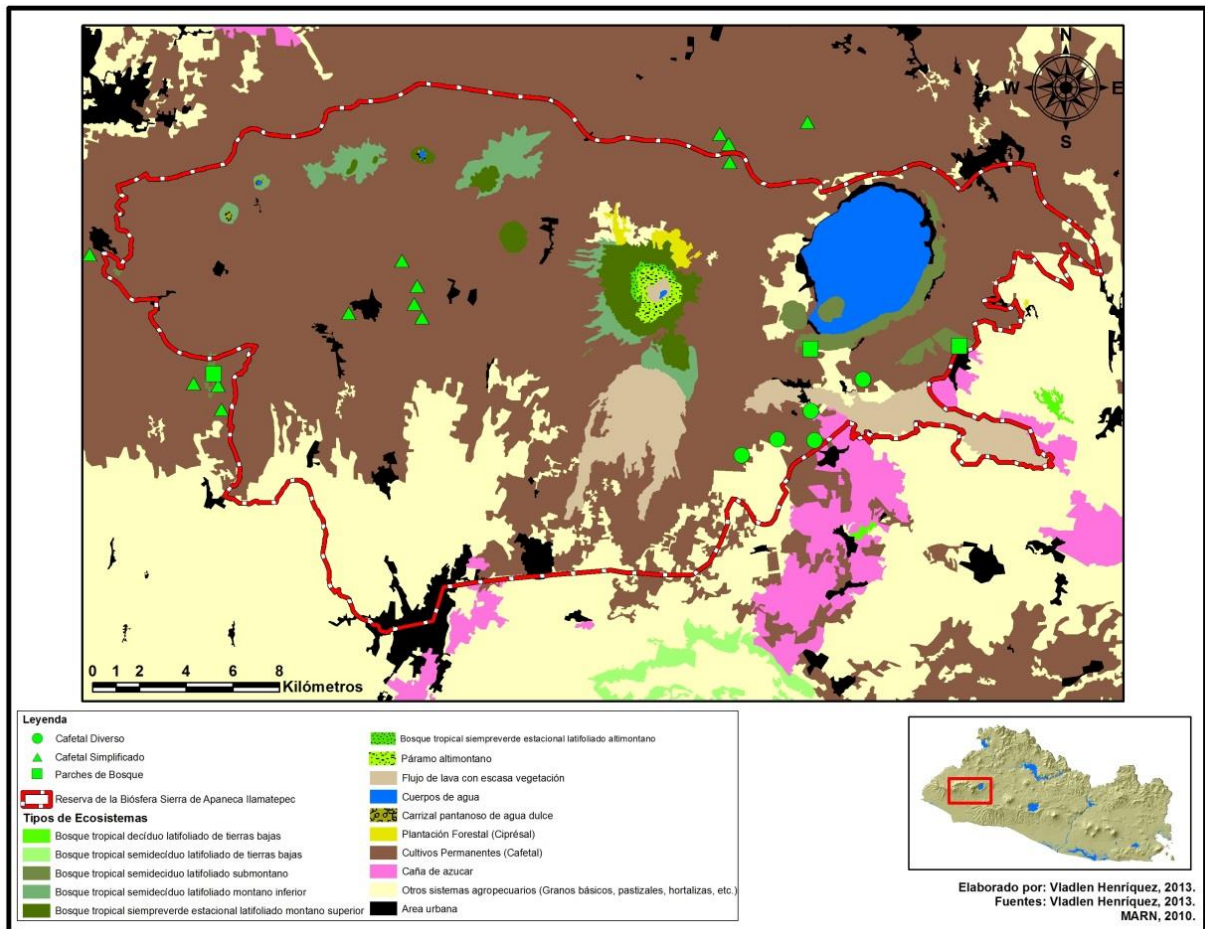
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio está ubicada dentro de la Sierra de Apaneca, en la zona declarada como Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec<sup>1</sup> (RBAI) y sus alrededores, en el occidente de El Salvador, entre los departamentos de Ahuachapán, Santa Ana y Sonsonate (Figura 1). La RBAI tiene un área aproximada de 59,056 ha y una variación altitudinal que va desde los 300 hasta los 2,365 msnm. La temperatura oscila entre 14.7 °C y 28 °C y la precipitación media anual entre 2,035 mm hasta 2,277 o 3,000 mm en las zonas más altas (MARN 2004). La ecorregión de bosque húmedo de la Sierra Madre de Chiapas; que domina la zona media aproximadamente desde 700 a 1,900 msnm, y la de bosque montano de Centroamérica (bosque nublado de entre 1,900 hasta 2,300 msnm) dominan esta zona (Ortega-Huerta *et al.* 2012). Los suelos predominantes corresponden a los andisoles, suelos de origen volcánico que se caracterizan por ser suelos fértiles para actividades agrícolas, siendo el café uno de los sistemas agrícolas dominantes (cubre el 67% de los usos de suelo en la zona) (UNESCO 2007).

---

<sup>1</sup> Las Reservas de Biosfera son zonas de ecosistemas terrestres, costeros o marinos, o una combinación de éstos, que han sido reconocidas internacionalmente como tales en el marco del Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB) de la UNESCO. Se las ha creado para promover y demostrar una relación equilibrada entre los seres humanos y la biosfera (UNESCO 2007).



*Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios muestreados dentro del área de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec y sus alrededores. La leyenda del mapa presenta los usos de suelo. En la simbología las figuras geométricas de color verde corresponden a cada uno de los sitios de muestreo, los círculos corresponden a cafetales diversos (n=5), triángulos a cafetales simplificados (n=13) y cuadros a parches de bosque (n=3).*

## 2.2. Selección de sitios y muestreo de aves

Se seleccionaron 18 fincas productoras de café con la finalidad de tener representación de al menos dos tipologías de manejo. A su vez se eligieron tres parches de bosque como hábitats con mayor diversidad de sombra (Cuadro 1). La mayoría de las fincas (15) eran certificadas con el sello RFA (Rainforest Alliance) (las fincas certificadas trabajan bajo normas de responsabilidad social, ambiental y agrícola, mientras que las fincas no certificadas no se rigen por ninguna normativa), las otras tres fincas no tenían ningún tipo de certificación y se escogieron de un listado de >50 fincas, donde prevalecieron los criterios de: (a) rango altitudinal (700 a 1350 m), (b) tamaño mínimo (7 ha), (c) seguridad en el sitio e (d) interés de los propietarios. Por razones de logística y duración de la fase de campo, otro criterio de selección fue la cercanía entre ellas, ya que grupos de fincas cercanas facilitarían el desplazamiento entre las mismas durante los muestreos. Por otro

lado, debido a la poca existencia de parches de bosque en ese rango altitudinal y a la seguridad en la zona, se escogieron solamente tres parches; dos de ellos forman parte de un área natural protegida (de tamaños entre 761 ha y 1186 ha), el otro se encontró dentro de un área privada (63 ha), todos próximos a algunas fincas de café muestreadas, teniendo un total de 21 unidades de muestreo.

Una vez seleccionadas las fincas, se procedió a evaluar características de la vegetación que servirían para establecer relaciones con las comunidades de aves en cada uno de los sitios de muestreo. Producto de estas caracterizaciones se obtuvo una categorización *a priori* utilizando la clasificación de Moguel y Toledo (1999) (Figura 4). Finalmente, haciendo uso de toda la información colectada se identificaron tres tipologías de vegetación. Basados en esta clasificación, se identificaron dos grupos de fincas de café (cafetales simplificados y cafetales diversos), y los parches de bosque (Cuadro 1) (Figura 4). La identificación de estos grupos se realizó mediante un análisis de conglomerados utilizando la distancia Bray-Curtis y el método de encadenamiento de Ward (Figura 2). Para este análisis se utilizó información de un total de 139 especies de árboles (DAP $\geq$ 10 cm) con las abundancias absolutas tomadas de 203 parcelas de vegetación.

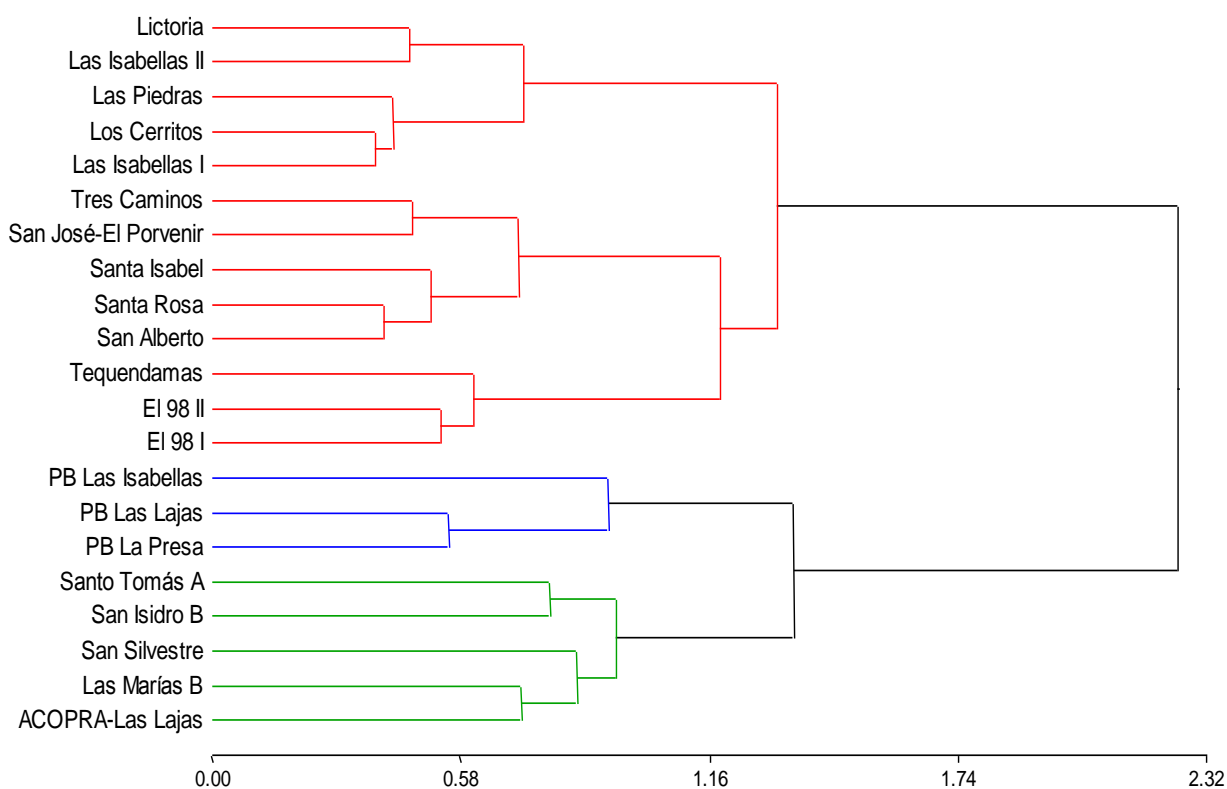


Figura 2. Dendrograma obtenido por método de análisis de conglomerados (método de encadenamiento de Ward, distancia Bray-Curtis) donde se identifican dos grupos de fincas: 13 fincas de café simplificado (rojo) y 5 fincas de café diverso (verde), y 3 parches de bosque (azul).



La separación de los tres grupos de hábitat fue confirmado mediante un análisis de NMS (Escalamiento Multidimensional No-métrico) (Figura 3). Esta ordenación mostró un estrés final de 17.55, que de un rango de <5 (considerada como excelente ordenación) a >20 (como ordenación pobre), indica que es una ordenación razonable según Clarke (1993), y donde se visualiza la información de la separación de grupos.

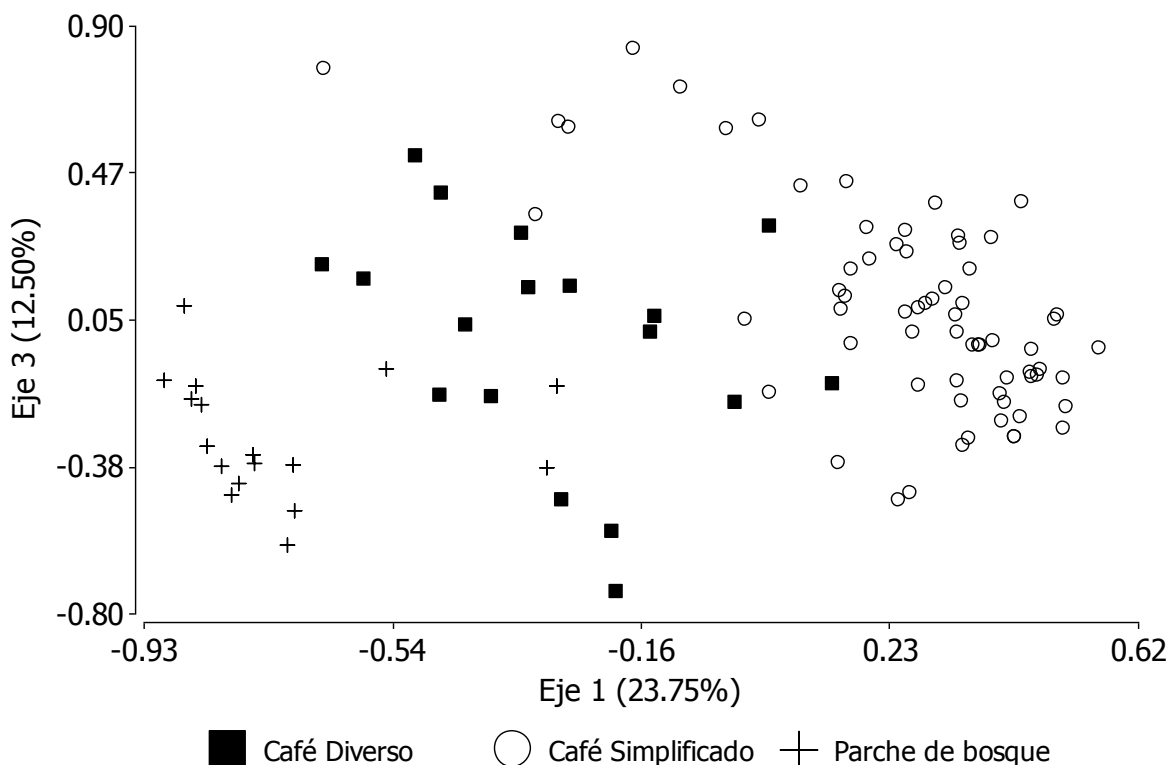


Figura 3. Ordenación de las parcelas de muestreo en el espacio de las especies de vegetación basado en un escalamiento multidimensional no-métrico (NMS) con las abundancias de las especies de árboles de cada parcela en las fincas de café y parches de bosque.

El análisis NMS generó tres vectores de composición de especies de árboles con las correlaciones de cada especie y los ejes de ordenación. Estos vectores fueron utilizados posteriormente para los análisis de relaciones de la composición de la vegetación con la comunidad de aves, los cuales se denominaron (Composición 1, Composición 2 y Composición 3), las correlaciones negativas y positivas de cada especie de árbol de sombra en cada vector se encuentran en el Anexo 3.

Al tener la separación de las fincas de café en dos grupos de vegetación, tomando en consideración la composición de vegetación (árboles con  $DAP \geq 10\text{cm}$ ), la tipología fue asignada según la clasificación de Moguel y Toledo (1999) y la agrupación de fincas hechas por Tejeda-Cruz y Gordon (2008) de un estudio de aves para agroecosistemas de Veracruz, México (Figura 4). Se asignaron como *cafetales simplificados* a aquellas fincas que incluyen policultivo comercial simples (fincas donde se remueve el dosel natural y se siembran

árboles para uso comercial) y fincas dominadas con aproximadamente un 50% por árboles del género *Inga* spp (monocultivo a sombra); y como *cafetales diversos* a aquellas fincas que utilizan diversidad de árboles, y contienen algunos árboles remanentes del bosque anterior (>50 años) y especies frutales o maderables introducidas (policultivo tradicional) (Hernández-Martínez 2008). No se lograron muestrear fincas bajo sistemas rústicos ni bajo sol, ya que los rústicos son raramente encontrados en El Salvador y los cafetales bajo sol no son comunes, y se encuentran a más de 1300 msnm (Gobbi 2000), en un rango altitudinal fuera de lo propuesto para este estudio.

Agrupación de fincas según Tejada -Cruz y Gordon (2008) y en las que se basó el presente estudio

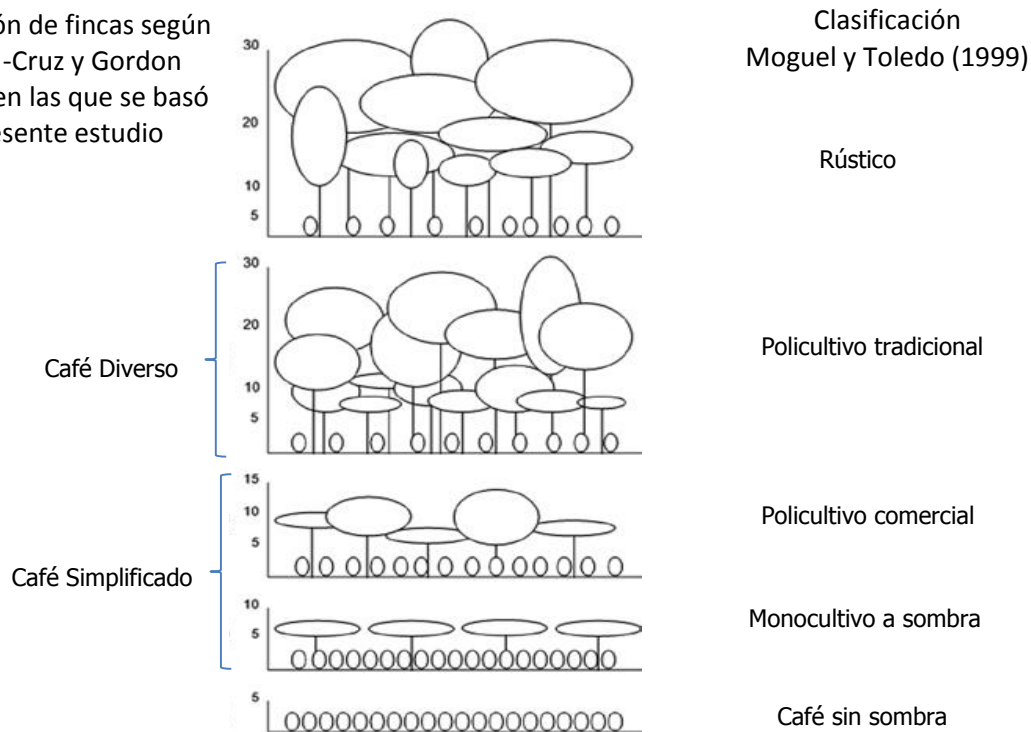


Figura 4. Gráfico tomado de Hernández-Martínez (2008) para los agroecosistemas de Veracruz, México, con la clasificación de los cultivos de café según Moguel y Toledo (1999) (derecha) y la agrupación de fincas según Tejada-Cruz y Gordon (2008) (izquierda), en el cual se basó el presente estudio para asignar la tipología a las fincas de café muestreadas.

*Cuadro 1. Datos generales de las fincas de café simplificado, café diverso, y parches de bosque muestreados durante los meses de febrero a junio 2013 en la zona de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec y sus alrededores en El Salvador.*

Sitios	Descripción
PB Las Lajas PB La Presa PB Las Isabellas	<b>Parhces de bosque (PB):</b> ubicados entre los 700 a 1134 msnm, con tamaños entre 63 a 1186 ha. El PB Las Lajas y La Presa forman parte de un complejo de áreas protegidas denominado San Marcelino, ubicado entre los departamentos de Sonsonate y Santa Ana (MARN 2007). El PB Las Isabellas se encuentra dentro de una propiedad privada al sur de las faldas del cerro de Apaneca (departamento de Ahuachapán). PB Las Lajas y Las Isabellas se caracterizan por ser bosques tropicales semicaducifolios latifoliados submontanos. La vegetación incluye muchas especies de árboles que permanecen con hojas la mayor parte del tiempo que no llegan a presentar una defoliación completa. El PB La Presa es un bosque seco caducifolios que crece sobre lava relativamente reciente (<300 años) del Volcán San Marcelino (Williams y Meyer-Abich 1954 citado por Komar y Herrera 1995).
San Silvestre San Isidro B Santo Tomás A Las Marías B ACOPRA-Las Lajas	<b>Cafetal Diverso (CD):</b> ubicados entre los 846 a 935 msnm, con un tamaño aproximado entre 35 a 150 ha. Cuentan con algunos árboles remanentes del bosque anterior (>50 años) e introducción de otras especies frutales o maderables, con un aproximado de entre 40 a 80 árboles por manzana (0.70 ha). El manejo incluye control de maleza o arvenses (manualmente), poda de sombra y café (una vez al año), fertilización en áreas focalizadas donde no hay cosecha, control biológico de plagas mediante la técnica de trampeo (con etanol y metanol para no usar insecticidas), aunque llegan a usar productos permisibles de manera regularizada, y riego foliar (una vez al año). Todas las fincas trabajan bajo los estándares de la normativa de certificación del sello Rainforest Alliance (RFA) y solamente ACOPRA-Las Lajas cuenta con dos sellos (RFA y OCIA International, certificación orgánica).
Santa Rosa San Alberto Tres Caminos El 98 I El 98 II San José-El Porvenir Tequendamas Las Isabellas I Las Isabellas II Los Cerritos Las Piedras Lictoria Santa Isabel	<b>Cafetal Simplificado (CS):</b> ubicados entre 870 a 1325 msnm, con tamaños entre 10 a 105 ha. La mayoría están dominados por una sola especie de árboles de sombra, principalmente del género <i>Inga</i> spp., con un aproximado de 20 a 90 árboles por manzana (0.70 ha). Los policultivos comerciales simples como las fincas el 98 I y 98 II incluyen la introducción de árboles maderables ( <i>p.e. Pinus</i> sp, <i>Cordia alliodora</i> y <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> ). El manejo incluye el control de maleza o arvense (manualmente o con herbicidas de una a tres veces al año), la poda de sombra y café (una vez al año), fertilización (de una a cuatro veces al año, algunas dependiendo de los análisis de suelo) y riego foliar (una vez al año). Todas las fincas trabajan bajo la normativa de certificación del sello RFA a excepción de Finca Las Piedras, Santa Rosa y San Alberto que no tienen ningún sello de certificación pero según los finqueros mantienen un regulado uso de agroquímicos ( <i>p.e.</i> uso de productos permisibles y en áreas focalizadas).

Los atributos de la diversidad de aves evaluados corresponden a la riqueza, abundancia y composición de especies. La información total de las especies registradas por cada sitio, así como la abundancia absoluta se presenta en el Anexo 6. Las aves registradas fueron identificadas a nivel de especie, con actualizaciones de los nombres científicos basados en la Unión Ornitológica Americana (AOU por sus siglas en inglés) del año 2012 (Chesser *et*

al. 2012). Todas las especies identificadas fueron clasificadas según el gremio alimenticio (insectívora, frugívora, carnívora, nectarívora, granívora y omnívora), preferencia de hábitat (generalista de bosque, generalista de zonas abiertas y especialista de bosque) y estacionalidad (residente, migratoria neotropical, visitante-reproductor y residente-migratoria) (Anexo 6). La inclusión de las especies dentro de los diferentes gremios alimenticios se hizo con base en el alimento de preferencia de la especie. Los que se clasificaron como omnívoros fueron aquellos que en la literatura no especificaba una preferencia a un solo tipo de alimento, sino que a una amplia variedad de alimentos en la dieta. Esto se hizo de acuerdo a Howell y Webb (1995) y Stiles y Skutch (2003); y la información correspondiente a preferencia de hábitat se basó en la reclasificación propuesta por Komar (2012) para la misma zona de estudio; y la de estacionalidad se basó en Komar *et al.* (2007).

En cada unidad de muestreo se ubicaron como mínimo cuatro puntos de conteo de aves y un máximo de siete. La distancia mínima entre puntos de conteo fue de 150m, distancia mínima sugerida por Huff *et al.* (2000) para evitar conteos repetitivos de las aves detectadas en los puntos anteriores. Se evaluó un total de 102 puntos de conteo, los cuales se visitaron en dos períodos en el 2013. El período I que corresponde a la época seca (febrero a abril) y el período II que corresponde a la época de transición entre la época seca e inicios de la época lluviosa (mayo a junio). La evaluación de los puntos de conteo se realizó en dos momentos con el objetivo de incluir muestreos en períodos con presencia de aves migratorias Neotropicales.

La metodología utilizada para la evaluación de los puntos de conteo de aves consistió en la identificación visual y/o auditiva de todas las aves detectadas dentro de un radio fijo de 25m (Ralph *et al.* 1996), con una duración de 10 minutos por punto, basado en lo indicado por Wunderle (1994), quien sugiere que en ese período de tiempo se tiene oportunidad de detectar del 79 al 83% de las especies aves. Las horas de observación fueron entre 6:00 am hasta un poco antes de las 10:00 am.

### **2.3. Características de la vegetación y manejo**

Las características de la vegetación y manejo fueron colectadas dentro de parcelas establecidas en cada punto de conteo de aves. Se ubicaron dos parcelas por punto de conteo, a excepción de una parcela que no se hizo en un punto de observación en PB Las Lajas debido a que se encontraba en una zona con pendientes accidentadas y difíciles de caminar. Las parcelas se ubicaron al azar a 25m del punto de conteo en direcciones cardinales (N, S, E, O) con ayuda de una brújula y cinta métrica, estableciendo un total de 203 parcelas de 10 x 10 m en todos los 21 sitios muestreados.

Las características de la vegetación que fueron consideradas para conocer la relación de la comunidad de aves con el ambiente, fueron: riqueza de árboles, promedio y variación del diámetro a la altura del pecho de los árboles (DAP  $\geq 10$ cm), promedio y variación de la altura de los árboles, abundancia de los árboles, número de árboles con fruta, flores, árboles con alturas entre 6 a 10m y  $>10$ m, y el IHV (índice de heterogeneidad vertical). El IHV fue

evaluado siguiendo la metodología propuesta por Thiollay (1992), estimando de manera subjetiva la cobertura de vegetación en los siguientes estratos: a) 0–2m, b) 2–9m, c) 10–20m y d) >30m. De esta manera se usó una escala simple de valores de 0 a 3 de porcentaje de cobertura: 0% (índice 0), 1–33% (índice 1), 34–66% (índice 2) y 67–100% (índice 3). El promedio del DAP de los árboles fue registrado con una cinta diamétrica, y la altura de los árboles con un clinómetro, confirmando las medidas de forma directa con una regla de dos metros de largo. Para algunas especies de árboles se colectaron muestras que fueron llevadas al herbario del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) para su correcta identificación.

Dado que hay características de la vegetación que están condicionadas al manejo de los cafetales, estas fueron consideradas para este estudio como *características de manejo*, las cuales fueron: densidad de plantación de café, porcentaje de herbáceas, porcentaje de hojarasca, porcentaje de poda de árboles de sombra y poda de cafetos, promedios de la altura de las plantas de café, altura de hierbas clasificadas como maleza (o arvense), promedio de sombra, y el diámetro y variación de copa de los árboles. Las plantas herbáceas clasificadas como maleza (o arvense) se diferenciaron de otras hierbas al preguntar a los trabajadores de las fincas qué consideraban como maleza. En los PB se tomó en consideración, dentro del estrato herbáceo, las plántulas o hierbas entre 0 a 1.5 m.

El porcentaje de sombra se obtuvo con un densiómetro esférico cóncavo, haciendo cuatro mediciones en los cuatro puntos cardinales y registrando el promedio de estas mediciones en cada punto medio de las parcelas, para un promedio de sombra por cada punto de observación de aves. La densidad de café fue medida en las parcelas haciendo sub-parcelas rectangulares de 10m de largo (distancia a) y tres filas de cafetos (distancia b) (Escalante 2000). Los porcentajes de herbáceas y hojarasca fueron medidos con un rectángulo de 50 x 50 cm en cada punto medio de las parcelas.

## **2.4. Análisis de datos**

### **2.4.1. Diversidad de aves**

Para conocer la medida de esfuerzo del muestreo se construyó una curva de acumulación del muestreo total de las aves, para esto se utilizó como medida de esfuerzo el número de puntos de conteo contrastada con la curva de riqueza de aves esperada que fue obtenida con el estimador no paramétrico Chao 1. Este análisis se ejecutó en el software *EstimateS* versión 8.0 (Colwell 2006). Para la comparación de la riqueza o número de especies de aves en cada hábitat, se construyeron curvas de rarefacción que permite hacer comparaciones de especies cuando el tamaño de la muestra no es igual entre sitios (Moreno 2001). Estas curvas se presentan de manera global para todos los sitios y por cada período I y II. Con los sitios muestreados agrupados por tipología de café (simplificados y diversos) y parches de bosque, se construyeron curvas de rarefacción para comparar la riqueza de aves entre grupos tanto de manera global como por períodos. Este análisis fue realizado utilizando el software *QEco* e *Infostat* versión 2013.

La abundancia de las aves fue representada por curvas rango-abundancia para cada uno de los tipos de hábitat. Estas curvas se obtuvieron con base al número de individuos por especie transformándolo a logaritmo y sumándole 1 para evitar números negativos en el eje Y, en función de las especies de aves ordenadas en secuencia en el eje X. Los gremios fueron representados en proporciones acumuladas de especies en función de los tipos de hábitat y por período I y II.

En cuanto a la composición de especies de aves se hizo una comparación entre las tipologías de café y los parches de bosque mediante un análisis de similaridad ANOSIM. Este realiza una comparación de medias multivariadas entre dos o más grupos (comunidades) para conocer si al menos un par de tipologías difieren, teniendo una matriz de composición de especies como variable respuesta (Clarke 1993).

#### **2.4.2. Relación de las características de la vegetación y manejo con las aves**

Se hizo una correlación de Pearson entre las variables de vegetación para identificar aquellas que no mostraban correlación y que serían utilizadas para los análisis de regresión en modelos lineales generales y mixtos. Se consideraron variables correlacionadas aquellas que tuvieron un valor mayor a 0.55 (Johnson y Wichern 1998).

De las 11 variables de vegetación ocho no mostraron correlación y fueron las que se utilizaron para el análisis: especies o riqueza de árboles, promedio y variabilidad del DAP, promedio y variabilidad de la altura de los árboles, número de árboles con fruta, número de árboles con flores e IHV (Índice de Heterogeneidad Vertical). Para el IHV se sumaron los índices asignados para cada estrato en cada parcela de vegetación para obtener una medida promedio de estratificación vertical por punto de conteo. En el caso de características de manejo todas fueron utilizadas para relacionarlas con la comunidad de aves.

Una vez escogidas las características se procedió al análisis de regresiones lineales con el enfoque de modelos lineales generales y mixtos. De esta manera, las características que describen la estructura y composición de la vegetación y las de manejo constituyeron las variables predictivas y los atributos de las aves (*p.e.* riqueza, abundancia e índice de diversidad de Shannon de aquí en adelante índice de diversidad de aves ( $H'$ ) correspondieron a variables respuesta.

Se generaron doce modelos, nueve obtenidos de la relación de cada atributo de diversidad de aves con cada grupo de características estructurales de la vegetación y manejo, y tres de la relación de la composición vegetal (comp 1, comp 2 y comp 3; Anexo 3). Para el ajuste de los modelos se consideró los problemas de los supuestos de varianza homogénea donde se asumió una función de varianzas heterogéneas para la abundancia de aves e índice de diversidad de aves ( $H'$ ). Para el ajuste de los modelos se probaron hipótesis que dependieron principalmente de la declaración de los sitios (puntos de observación de aves) como efectos aleatorios, ya sea ordenadas al origen aleatoriamente, o tanto la ordenada como la pendiente fueran aleatorias, o el intercepto fuera uno solo pero

con variación en las pendientes. Esto permitió contemplar la correlación entre puntos de conteo para un mismo sitio. No hubo efecto de autocorrelación con el espacio. No obstante, para identificar el modelo que mejor se ajustó a los datos, se compararon los valores de Criterio de Información Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). El modelo con los menores valores en los criterios de selección fue identificado como el mejor modelo. Estos análisis se llevaron a cabo en el software *InfoStat* 2013.

### **2.4.3. Asociación de la composición de especies de aves con las características de la vegetación, manejo y el espacio**

Con el fin de conocer qué características de la vegetación, manejo y el espacio explican el registro de algunas especies de aves, se realizó un análisis de ordenación cuadrática restringida llamada también ordenación restringida gaussiana (CQO por sus siglas en inglés). Esta ordenación construye un vector producto de combinaciones lineales de variables explicativas o ambientales (gradiente ambiental) denominada variable latente reduciendo así la dimensionalidad de estas variables explicativas. La matriz respuesta (comunidad de especies) es sometida a regresiones bajo modelos lineales generalizados, con funciones de distribución para la variable respuesta (*p.e.* poisson, binominal) y función de enlace (*p.e.* logaritmos de poisson, binominal) (Yee 2004). Las curvas de respuesta simétricas para las especies en gradientes ambientales continuos son ajustadas en esta ordenación.

Para realizar el análisis en CQO, en primer lugar se hizo una selección automática de las características de la vegetación y manejo mediante el método *Forward Selection*. Este algoritmo genera una selección hacia delante de las variables regresoras o covariables de forma automática cuya significancia es evaluada por ciclos de permutación y selecciona esas variables con un nivel crítico que el usuario decide ( $p \leq 0.05$ ). En segundo lugar para permitir utilizar un predictor espacial en el análisis de ordenación, las coordenadas geográficas planas fueron descompuestas a PCNM (por sus siglas en inglés) mediante un análisis de Coordenadas Principales de Matrices de Proximidad para los 102 puntos de conteo de observación de aves, usando la transformación logarítmica con medida de distancia Euclidea. Todas las variables predictoras de vegetación y manejo fueron estandarizadas para evitar datos atípicos.

En tercer lugar, de las 109 especies de aves registradas en el estudio se seleccionaron 29 para ser modeladas en el análisis de ordenación (CQO). Esto se hizo mediante la selección de especies con frecuencias de registro mayor o igual al 10% en los puntos de conteo. Se escogió la función *Binomial* para la distribución de los datos, que permite no tener problemas de baja o sobre dispersión, esta es una función de Bernoulli que aplica para datos de presencia y ausencia por lo que las abundancias absolutas de las aves fueron transformadas a 1 y 0 (presencia y ausencia) (Yee 2004).

$$\text{Modelo: Logit } \mu_j(v) = \eta_j(v) \quad j = 1, \dots, M$$

En donde  $\mu_j$  es la probabilidad de detectar a las especies y  $\mu_j(v)$  es el máximo, por lo cual es el valor óptimo medioambiental para la especie  $j$ . Esta ordenación se calculó para ambos períodos de muestreo. Con las ordenaciones ajustadas se tomaron en cuenta los coeficientes canónicos para conocer el valor que indica el peso y ubicación de la variable explicativa (características de vegetación, manejo y espacio) en el gradiente ambiental, para conocer la frecuencia de registros de las especies.

### 3. RESULTADOS

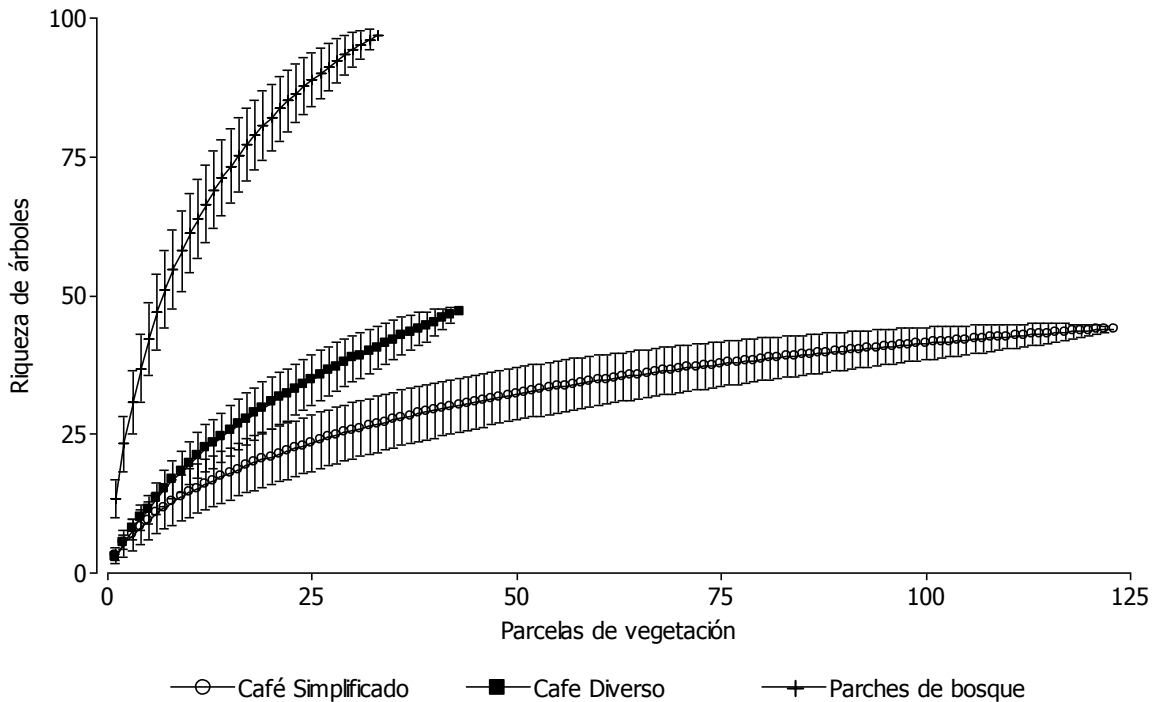
#### 3.1. Caracterización general de las tipologías de café y parches de bosque

En las 203 parcelas de vegetación establecidas en 18 fincas de café y 3 parches de bosque se registró un total de 1,231 árboles (DAP  $\geq$  10 cm) distribuidos en 139 especies y 52 familias (Anexo 2). Las diez especies de árboles más abundantes en todo el estudio fueron *Inga punctata*, *Brosimum alicastrum*, *Inga oerstediana*, *Cordia alliodora*, *Inga vera*, *Prunus brachybotrya*, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Croton reflexifolius*, *Quercus skinneri*, *Lonchocarpus sp.*, que sumaron un 51% de todos los árboles registrados.

En las 13 fincas de *café simplificado* evaluadas, se identificó un total de 504 árboles de 44 especies (Figura 5), dos de las más abundantes correspondieron al género *Inga*, que junto a otras tres especies suman un 70% del registro total de árboles en este tipo de hábitat (Anexo 5). En las parcelas de *café diverso* se registró 124 individuos de 47 especies (Figura 5), que en contraste con el café simplificado, no existe dominancia de alguna especie arbórea en particular (Anexo 5). La mayor riqueza y abundancia de árboles se registró en los tres parches de bosque, con 603 árboles correspondientes a 97 especies (Figura 5), siendo *Brosimum alicastrum* uno de los árboles más abundantes de estos sitios (Anexo 5), y fue en los parches de bosque donde se encontró la mayor abundancia de especies de interés para la conservación (PC), vulnerables (VU) y en peligro de extinción (EN), tales como: *Brosimum alicastrum* (PC), *Cedrela odorata* (VU), *Lonchocarpus miniflorus* (EN), *Quercus skinneri* (VU), *Sideroxylon capiri* (PC), *Swietenia humilis* (VU) y *Tabebuia chrysanta* (PC) (Méndez *et al.* 2007; MARN 2009).

En la curva de rarefacción se presentan las diferencias en la riqueza de especies de árboles en función del número de parcelas donde la asíntota de los café simplificados tiende a estabilizarse mucho más rápido a comparación de los otros dos tipos de hábitat que tienen tendencias a registrar más especies al aumentar el muestreo. Las diferencias entre el café diverso y simplificado en cuanto a la riqueza de árboles fueron detectables con 25 parcelas muestreadas, mientras que el parche de bosque desde el inicio del muestreo fue totalmente diferente a estos sistemas agrícolas (Figura 5).





*Figura 5. Curva de rarefacción de la riqueza de árboles (DAP ≥ 10 cm) en parches de bosque (97 especies), café diverso (47 especies) y café simplificado (44 especies).*

Las tipologías de café fueron distintas con respecto a cuatro características de la estructura de la vegetación. Los café simplificados tuvieron un mayor promedio en el número de árboles ( $p=0.0004$ ), incluyendo aquellos a diferentes rangos de altura como árboles menores a 6 m ( $p=0.0085$ ) y árboles entre 6 a 10 m ( $p=0.0300$ ), más no así en árboles mayores a 10 m. El promedio del diámetro a la altura del pecho (DAP) fue mayor en el café diverso (Cuadro 2). Por otro lado, fueron cuatro características de manejo que difirieron entre cafetales. Las fincas de café diverso tuvieron mayor porcentaje de hojarasca ( $p=0.0001$ ), mayor porcentaje de herbáceas y un mayor promedio de altura de maleza o arvense ( $p=0.0034$  y  $p=0.0001$ , respectivamente) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características estructurales de la vegetación y de manejo con los promedios y errores estándar de las parcelas establecidas en fincas de café simplificado, café diverso y parches de bosque. Se hizo una prueba T para la comparación de medias de las características de vegetación y manejo de las tipologías de café donde se muestra las diferencias significativas mediante los valores  $p \leq 0.05$ .

Características de la estructura de la vegetación	Café simplificado Media±E.E	Café diverso Media±E.E	Parche de Bosque Media±E.E	p-valor*
Total de árboles	504	124	603	
Total de especies	44	47	97	
H' (índice de Shannon)	2.55	3.48	3.73	
Especies de árboles	2.49±0.12	2.45±0.21	9.48±0.86	0.8716
No. de árboles	3.95±0.20	2.77±0.25	18.27±2.06	<b>0.0004</b>
Altura de los árboles (m)	7.56±0.21	7.80±0.21	7.73±0.24	0.5603
DAP de árboles ≥ a 10cm	76.79±2.72	103.67±12.96	54.02±3.89	<b>0.0483</b>
Diámetro de copa (cm)	622.75±22.31	663.56±51.21	-----	0.4679
No. árboles con fruta	0.19±0.05	0.16±0.06	0.24±0.12	0.7245
No. árboles con flores	0.10±0.03	0.25±0.09	-----	0.1167
No. árboles < 6m de altura	1.41±0.14	0.82±0.17	6.36±0.87	<b>0.0085</b>
No. árboles de 6 a 10m de altura	1.96±0.14	1.45±0.18	8.55±1.53	<b>0.0300</b>
No. de árboles > 10m de altura	0.67±0.12	0.50±0.11	3.36±0.43	0.2770
IHV**	0.86±0.03	0.95±0.05	1.56±0.08	0.1845

Características de la vegetación condicionadas al manejo	Café simplificado Media±E.E	Café diverso Media±E.E	Parche de Bosque Media±E.E	p-valor*
% de hojarasca	39.06±2.35	59.42±4.16	-----	<b>0.0001</b>
% de árboles podados	1.56±0.74	1.24±1.14	-----	0.8237
% de café podado	13.43±1.71	13.98±3.25	-----	0.8744
Altura del cafeto (m)	2.04±0.04	2.16±0.04	-----	0.2277
Densidad del café	35.10±1.06	24.55±1.68	-----	<b>0.0001</b>
Porcentaje de herbáceas	6.36±1.03	13.89±2.25	-----	<b>0.0034</b>
Altura de maleza (cm)	13.36±1.10	31.28±2.95	-----	<b>0.0001</b>
Porcentaje de sombra	27.96±1.19	31.61±2.40	72.28±3.43	0.1293

\*Los valores significativos se encuentran en negrita. \*\*Índice de Heterogeneidad Vertical

### 3.2. Caracterización de la comunidad de aves en las tipologías de café y parches de bosque

#### 3.2.1. Caracterización de la comunidad de aves en el paisaje evaluado

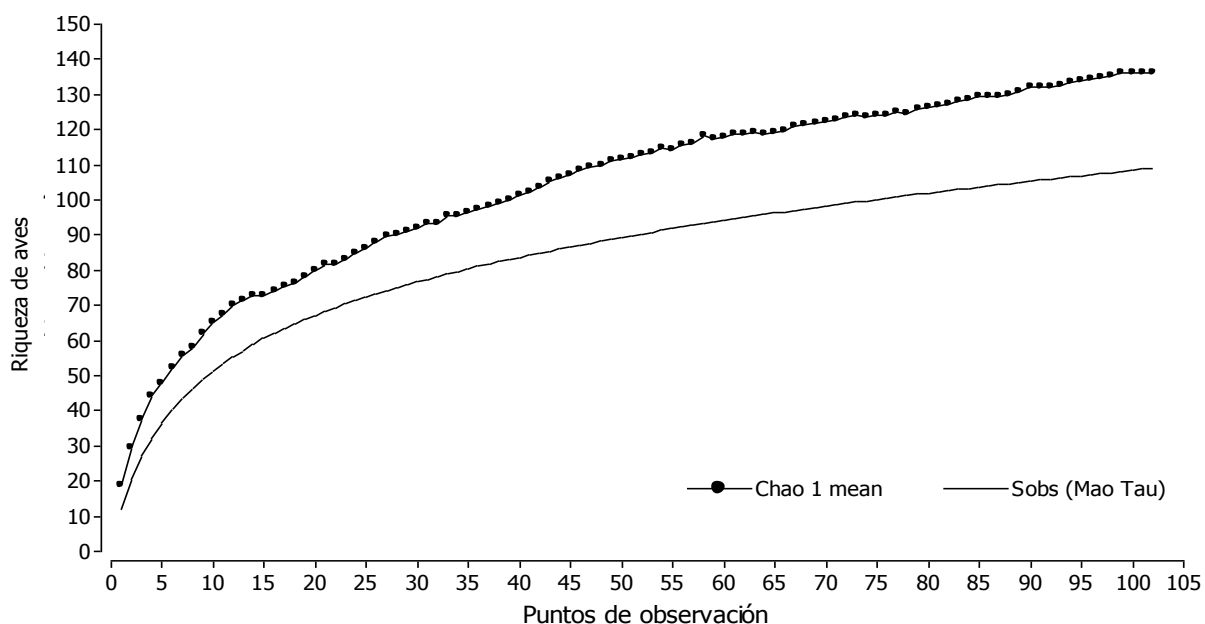
Se registró un total de 2,348 individuos de aves, pertenecientes a 109 especies (30 familias) (Anexo 6). En las fincas de café simplificado se registraron 72 especies, seguido

por los parches de bosque con 69 especies, y por último el café diverso con 62. (Cuadro 3).

*Cuadro 3. Total de esfuerzo de muestreo y número de especies e individuos de aves en cada uno de los sitios muestreados.*

<b>Resumen de esfuerzo y registros de especies e individuos de aves</b>	<b>CS</b>	<b>CD</b>	<b>PB</b>
Total puntos de conteo	63	22	17
Esfuerzo (10 minutos x punto) x 2 períodos	1,260	440	340
Total de especies	72	62	69
Total de individuos	1,127	822	399
H' (Índice de diversidad de Shannon)	3.53	3.36	3.75
Promedio spp. por punto de conteo	9.78±0.52	16.50±0.97	14.47±0.95
Promedio individuos por punto de conteo	17.89±1.29	37.36±4.23	23.47±1.43

El estimador Chao 1 tuvo una proyección de 136 especies esperadas para todo el estudio, lo que demuestra una eficiencia de muestreo del 80% (Figura 6). Este porcentaje está cerca del 90% sugerido por Moreno y Halffter (2000) como un nivel mínimo de avance satisfactorio de un inventario.



*Figura 6. Curva de acumulación de la riqueza de aves observada (Sobs Mao Tau) y esperada (Chao 1) de acuerdo a los puntos de observación en todas las fincas de café y parches de bosque muestreados.*

Las especies de aves en este agropaisaje (109 spp.) representan el 19% de la riqueza total de aves en El Salvador (Komar *et al.* 2007). El 12% (13 spp.) de las especies en este estudio fueron aves de interés para la conservación, ya que poseen alguna categoría de amenaza a nivel local según MARN (2009), de esos la mayoría fueron registrados en parches

de bosque (PB) y solamente cinco entre café simplificado (CS) y diverso (CD). Entre ellas se destacan *Basileuterus culicivorus* (PB), *Geranoospiza caerulescens* (CD), *Grallaria guatemalensis* (PB), *Passerina ciris* (CS y CD) documentadas como *En Peligro*, y *Aulacorhynchus prasinus* (PB), *Chiroxiphia linearis* (PB), *Euphonia hirundinacea* (CS y PB), *Lepidocolaptes souleyetii* (PB y CS), *Melozone leucotis* (PB), *Oncostoma cinereigulare* (PB), *Ramphocaenus melanurus* (PB), *Turdus assimilis* (PB) y *Zimmerius vilissimus* (CS), documentadas como *Amenazadas*. Las especies que fueron detectadas en los cafetales no fueron comunes en esos sitios, registrándose de uno a dos individuos.

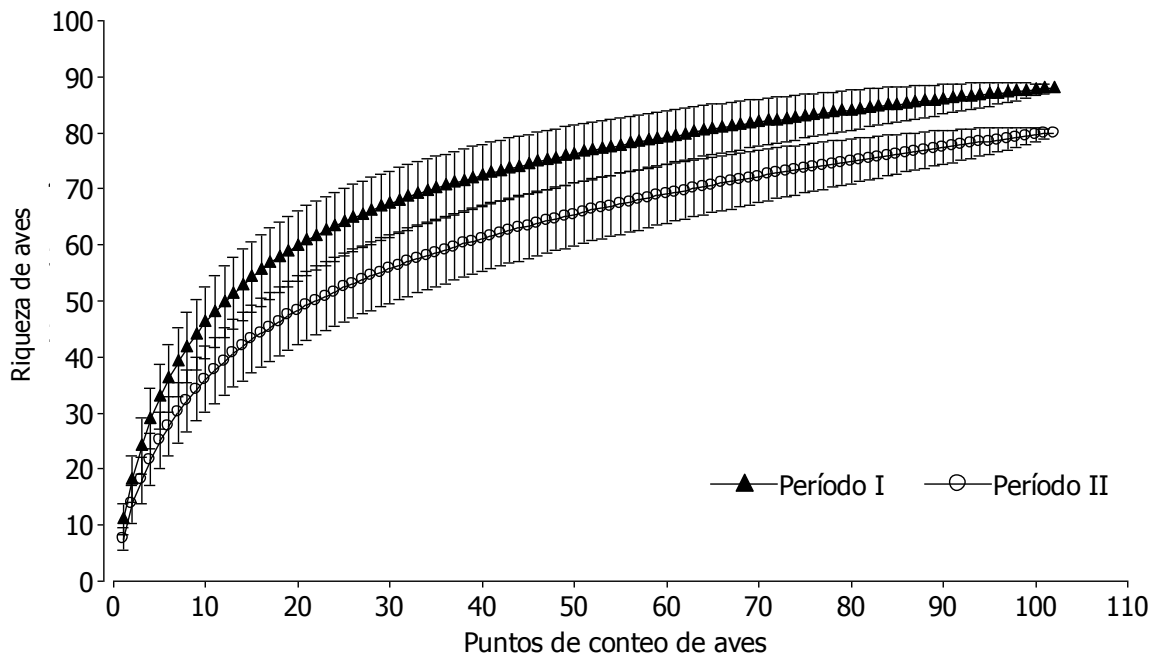
Por otro lado, las cinco especies más comunes durante el estudio fueron *Turdus grayi* (11.20%), *Oreothlypis peregrina* (8.13%), *Basileuterus rufifrons* (4.94%), *Vireo flavoviridis* (4.43%) e *Icterus pustulatus* (4.30%). Las especies residentes *T. grayi*, *B. rufifrons* e *I. pustulatus* fueron comunes en los dos períodos de muestreo. Estas abundancias varían según el hábitat (Cuadro 4). Al analizar las especies de aves con frecuencias mayores al 10%, en cada punto de conteo, solamente 37 especies fueron observadas frecuentemente, entre ellas están: *Turdus grayi*, *Basileuterus rufifrons*, *Icterus pustulatus*, *Leptotila verreauxi* y *Momotus momota*, todas residentes. Cabe resaltar que la ausencia de especies migratorias entre las especies más comunes en el período II es un efecto del muestreo, ya que el segundo período (mayo-junio) no traslapa con la época migratoria.

*Cuadro 4. Número de individuos (ni) y abundancias relativas (AR) de las cinco especies residentes y migratorias más abundantes en cada tipo de hábitat, por orden de abundancia, en café simplificado (CS), café diverso (CD) y parches de bosque (PB).*

Especies	CS		CD		PB	
	ni	AR	ni	AR	ni	AR
<i>Turdus grayi</i>	157	13.9308	82	9.9757	24	6.0150
<i>Oreothlypis peregrina</i> *	----	----	149	18.1265	----	----
<i>Vireo flavoviridis</i> **	80	7.0985	----	----	----	----
<i>Basileuterus rufifrons</i>	64	5.6788	----	----	33	8.2707
<i>Icterus pustulatus</i>	63	5.5901	34	4.1363	----	----
<i>Momotus momota</i>	52	4.6140	----	----	19	4.7619
<i>Setophaga petechia</i> *	----	----	48	5.8394	----	----
<i>Patagioenas flavirostris</i>	----	----	----	----	21	5.2632
<i>Hylophilus decurtatus</i> ***	----	----	----	----	20	5.0125
<i>Leptotila verreauxi</i>	----	----	32	3.8929	----	----

\*especie migratoria Neotropical; \*\*especie visitante-reproductora; \*\*\*especie sensible a perturbación humana (Komar 2006b).

Las curvas de acumulación muestran diferencias de los registros del número de especies por períodos (Figura 8). El período I registró mayor número de especies acumuladas (88) que corresponde a la época seca (febrero-abril) a diferencia del período II donde hubo una menor tasa de acumulación en la detección de especies de aves (80) que corresponde a la época de transición entre seca e inicios de la época lluviosa (mayo-junio).



*Figura 7. Curvas de rarefacción de la riqueza de aves registradas durante el estudio separadas por período I (feb-abr) y período II (may-jun). Las barras verticales representan los intervalos de confianza.*

### **3.2.2. Caracterización de las aves por gremios alimenticios, preferencia de hábitat y estacionalidad**

La mayoría de especies (n=76) fueron residentes, seguido por las especies migratorias Neotropicales (n=24). De los individuos detectados, las especies insectívoras representaron un 40%; los omnívoros un 23% y los otros gremios representaron el restante 37% de los individuos observados. La mayoría de las especies registradas corresponden a generalistas de bosques, con un 70% (92% de los individuos), generalistas de zonas abiertas con un 17% (4% de los individuos) y por último los especialistas de bosque con un 12% de las especies (4% de los individuos) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de especies e individuos de aves según la estacionalidad, preferencia de hábitat y gremio alimenticio y los totales de especies por cada sitio muestreado.

Categorías	CS	CD	PB	Total Especies	% de especies*	Total Individuos	% de individuos**
<b>Estacionalidad</b>							
Residente	48	40	53	76	70	1711	73
Migratorias neotropicales	17	14	14	24	22	465	20
Residente-migratorio	4	5	1	5	5	62	3
Visitante-reproductor	2	2	1	2	2	108	5
Transeúnte	1	1	0	2	2	2	0
<b>Preferencia de Hábitat***</b>							
Generalista bosques	59	54	49	76	70	2160	92
Generalista zonas abiertas	9	8	2	14	17	95	4
Especialista bosques	4	0	19	19	12	93	4
<b>Gremio</b>							
Insectívoro	30	24	32	48	44	946	40
Frugívoro	17	13	20	26	24	491	21
Granívoro	13	8	5	13	12	253	11
Néctar	6	5	5	8	7	93	4
Omnívoro	8	7	6	8	7	539	23
Carnívoro	2	5	1	6	6	26	1

\*Porcentajes basados en un total de 109 especies. \*\*Porcentajes basados en un total de 2,348 individuos. CS=café simplificado; CD=café diverso; PB=parches de bosque. \*\*\*Basado en la reclasificación de Komar (2012).

#### a) Caracterización de las aves por estacionalidad, preferencia de hábitat y gremios alimenticios en los períodos de muestreo

Una proporción ligeramente mayor de especies residentes (grupo dominante) y una disminución importante en la proporción de especies migratorias se registró en el período II. El ligero aumento en especies visitantes-reproductoras en el período II fue por la influencia de los registros de *Vireo flavoviridis* y *Myiodynastes luteiventris* (Figura 8a), los cuales migran desde Suramérica hacia Centroamérica y México para reproducirse durante los meses de abril hasta mediados de octubre (Howell y Webb 1995). En cuanto a las proporciones de las especies por preferencia de hábitat se muestra un ligero aumento de las aves especialistas de bosque en el período II y ningún cambio notable entre los otros grupos (Figura 8b). Por otro lado, los gremios alimenticios tuvieron un ligero aumento en el período II a excepción de las insectívoras y carnívoras que tuvieron una ligera disminución (Figura 8c).

#### b) Caracterización de las aves por estacionalidad, preferencia de hábitat y gremios alimenticios por hábitat muestreado

Entre las tipologías de café las proporciones de las aves por su estacionalidad fueron similares, pero al compararlos con los parches de bosque éste último tuvo una proporción ligeramente mayor de aves residentes y una proporción menor de aves visitantes-reproductoras, mientras que la proporción de migratorias Neotropicales fue similar entre los tres hábitats (Figura 8a). La proporción de aves generalistas de bosque fue la más dominante en todos los hábitats y la de especies especialistas fue mayor en los parches de

bosque, no obstante, solamente en tres fincas de café simplificado (Tequendamas, Las Isabellas I y Las Isabellas II) hubo una proporción pequeña de cuatro de esas especies especialistas, tales como: *Catharus aurantirostris*, *Euphonia hirundinaceae*, *Lepidocolaptes souleyetii* y *Myiopagis viridicata*, de estas, dos especies están documentadas como sensibles a las perturbaciones humanas en esta zona (*C. aurantirostris* y *M. viridicata*) (Komar 2006b). La proporción de aves generalistas de zonas abiertas fue baja en los parches de bosque y mayor en café simplificado (Figura 8b). Entre los gremios alimenticios las insectívoras fue el grupo más dominante entre el resto de los gremios. Los insectívoros presentaron una detección ligeramente mayor en los parches de bosque, al igual que los frugívoros en este tipo de hábitat como el segundo grupo de especies más dominante en el estudio. Los carnívoros fueron mayormente detectados en café diverso al igual que los omnívoros en café simplificado. Una proporción menor de especies granívoras fue registrada en los parches de bosque y la proporción de nectarívoros fue similar para los tres tipos de hábitat (Figura 8c).

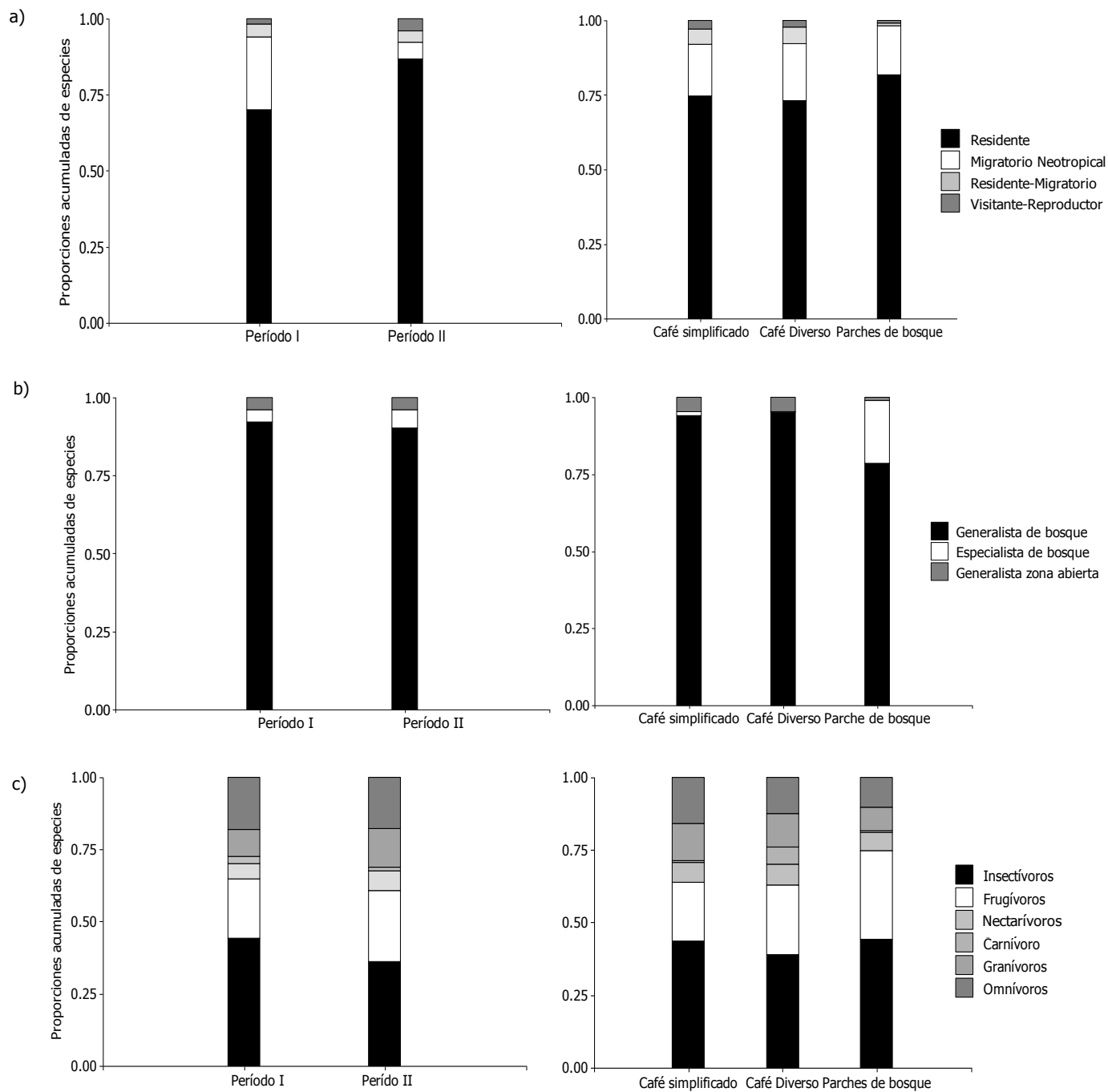


Figura 8. Proporciones acumuladas de especies de aves en función del período I y II (gráficos a la izquierda) y tipo de hábitat (gráficos a la derecha), categorizadas por estacionalidad (a), preferencia de hábitat (b) y gremios alimenticios (c).

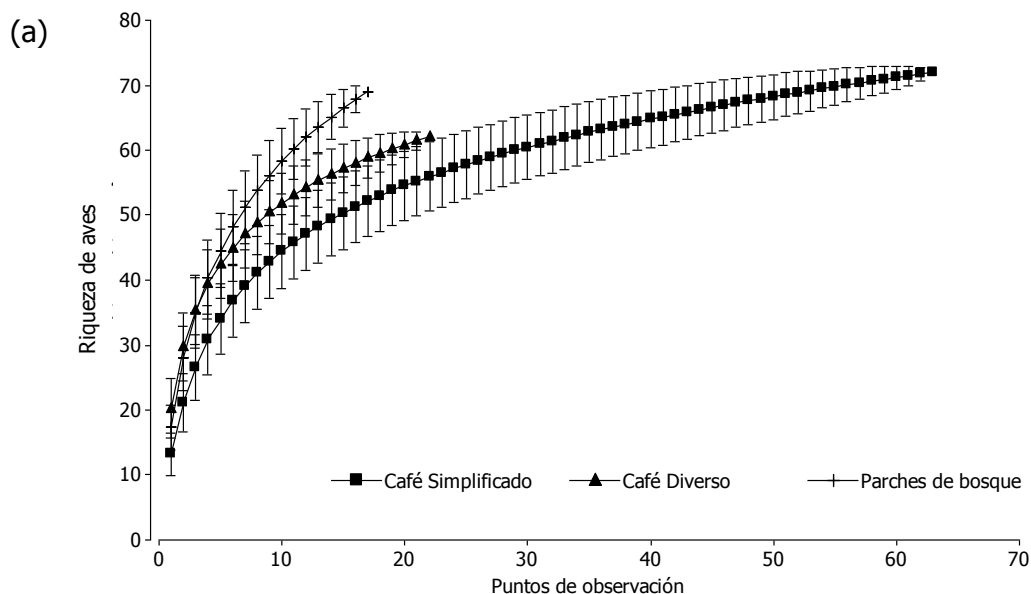


### 3.2.3. Comparación entre los hábitats muestreados según la diversidad (alfa) y composición (beta) de aves

#### a) Comparación entre hábitats según la diversidad de aves (alfa)

Las curvas de rarefacción que se presentan a nivel global por tipología de café y parche de bosque muestran diferencias en la riqueza de especies (Figura 9a). La asíntota del número de aves en los parches de bosque se va separando de las tipologías de café a partir de un esfuerzo de aproximadamente 18 puntos de conteo de observación. Por el contrario, las fincas de café simplificado y diverso son similares y no tienen diferencias en la riqueza de especies acumulada.

Las curvas por período en cada hábitat tienen diferencias notables (Figura 9b y 9c). En el período I (Figura 9b) la riqueza de aves es similar entre parches de bosque y café diverso, y una pequeña diferencia de estos dos tratamientos con respecto al café simplificado se logra observar a partir de un esfuerzo de aproximadamente 20 puntos de conteos de observación. Para el período II (Figura 9c) los parches de bosque se van separando de los cafetales, incluso el café diverso tiene una asíntota que tiende a estabilizarse mucho más que el café simplificado, en un esfuerzo aproximado de 20 puntos de conteo. En general los parches de bosque tienen mayor oportunidad de registrar más especies de aves por su tendencia a estar por encima de los cafetales, y entre las tipologías de café existen diferentes patrones por períodos de muestreo.



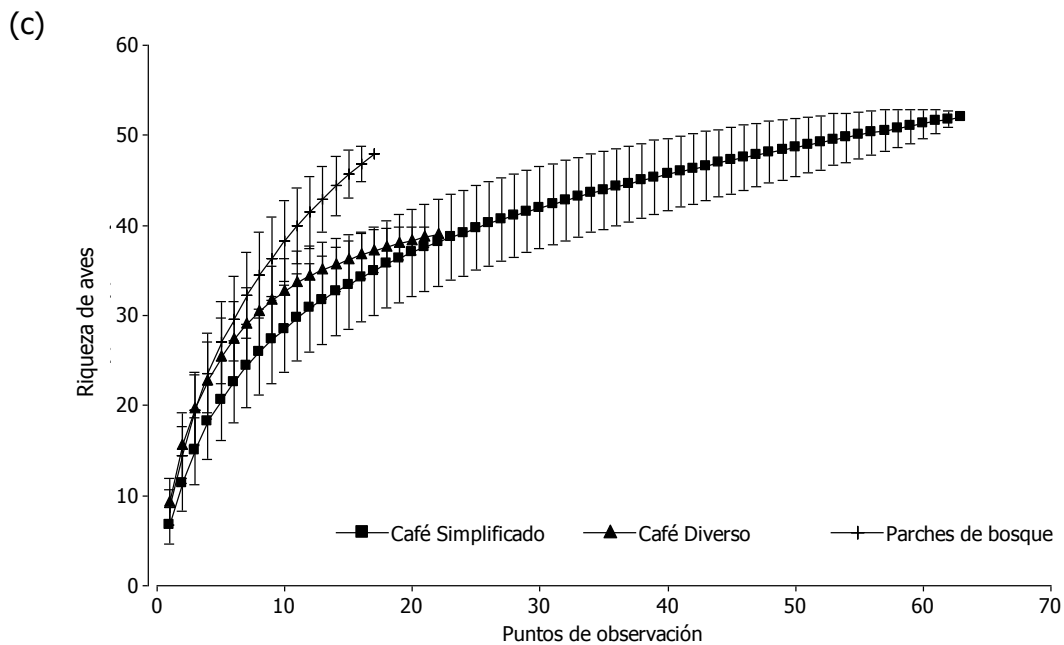
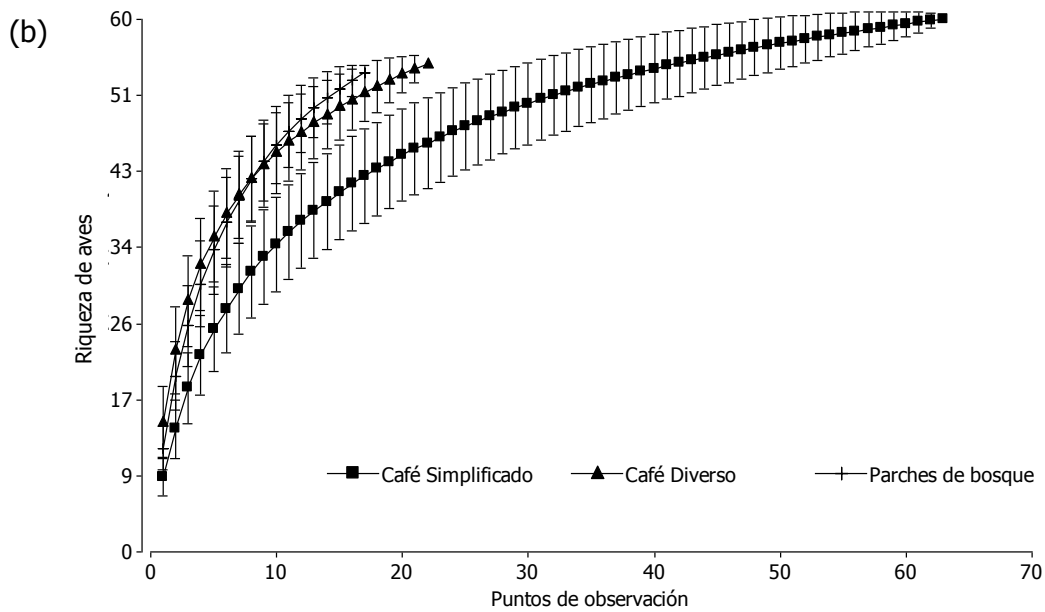


Figura 9. Curvas de rarefacción a nivel global (a) y por período I (b) y II (c) de la riqueza de aves registrada en café simplificado (72 spp.), parches de bosque (69 spp.) y café diverso (62 spp.).

En cuanto a la abundancia de las especies de aves, los cafetales muestran dominancia de una o dos especies a diferencia de los parches de bosque que muestran distancias más cortas de las primeras especies, lo que significa que se pueden detectar especies nuevas mucho más frecuentemente (Figura 10). La cola larga presenta las 25 especies que fueron registradas solamente una vez en todo el estudio (12 en parches de bosque, siete en café diverso y seis en café simplificado). En los parches de bosque cinco fueron especialistas de

bosque (*Amblycercus holosericeus*, *Cyanocompsa parellina*, *Grallaria guatemalensis*, *Melospiza leucotis*, *Ramphocaenus melanurus*), siete generalistas de bosque (*Campylopterus hemileucurus*, *Cantorchilus modestus*, *Heliomaster sp.*, *Micrastur semitorquatus*, *Piranga rubra*, *Setophaga ruticilla* y *Vireo olivaceus*). De las especies registradas en café diverso hubo cinco generalistas de bosque (*Contopus cooperi*, *Crypturellus cinnamomeus*, *Geranospiza caerulescens*, *Myiarchus crinitus* y *Vireo flavifrons*) y dos generalistas de zonas abiertas (*Cathartes aura* y *Columbina inca*). Y de las especies registradas en café simplificado hubo un especialista de bosque (*Lepidocolaptes souleyetii*), cuatro generalistas de bosque (*Setophaga fusca*, *Pheucticus ludovicianus*, *Saltator coerulescens* y *Zimmerius villissimus*) y un generalista de zonas abiertas (*Crotophaga sulcirostris*).

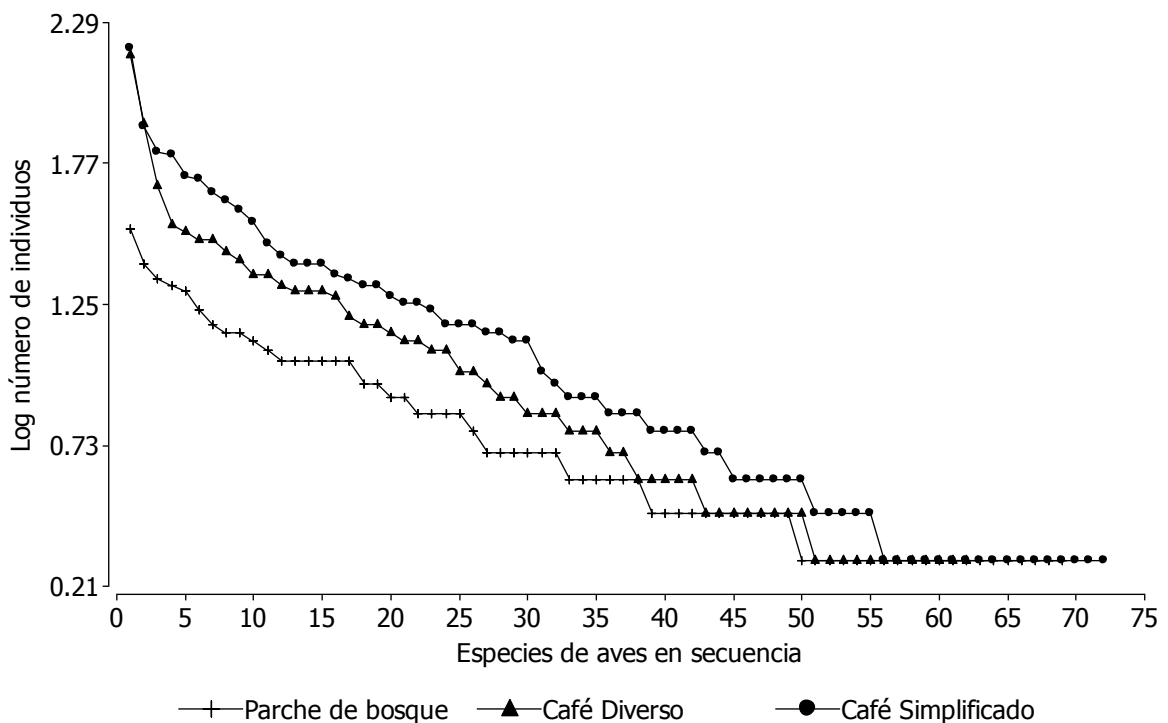


Figura 10. Curvas rango-abundancia de las especies de aves en cada tipo de hábitat muestreado.

## b) Comparación entre hábitats según la composición de aves (beta)

La composición de aves entre los sitios varió; los cafetales mostraron similar composición de especies, mientras que el bosque mostró una composición distinta ( $r=0.17$ ,  $p=0.0020$ ). Los parches de bosque fueron los que registraron el mayor porcentaje de especies únicamente observadas en ese sitio (23%), el porcentaje de especies únicas en los cafetales va desde 9% a 11% (café simplificado y café diverso, respectivamente), y en general el 30% (33 spp.) del total de especies registradas en el estudio (109 spp.) fueron compartidas entre los tres hábitats

### 3.3. Relación de la vegetación (estructura, diversidad y composición) en cafetales y parches de bosque con la comunidad de aves

La comunidad de aves se relacionó positivamente a algunas características de la vegetación. El 16% de la variación de la riqueza de aves y el 33% de la variación del índice de diversidad ( $H'$ ) fue explicado por características de riqueza de árboles ( $t=4.39$ ;  $p<0.0001$  y  $t=5.34$ ;  $p<0.0001$ , respectivamente), variabilidad de altura de los árboles ( $t=5.88$ ;  $p<0.0001$  y  $t=2.31$ ;  $p<0.0001$  respectivamente) e IHV (Índice de Heterogeneidad Vertical) ( $t=4.39$ ;  $p<0.0001$  y  $t=2.25$ ;  $p=0.0273$ , respectivamente) (Figura 11a y 11b).

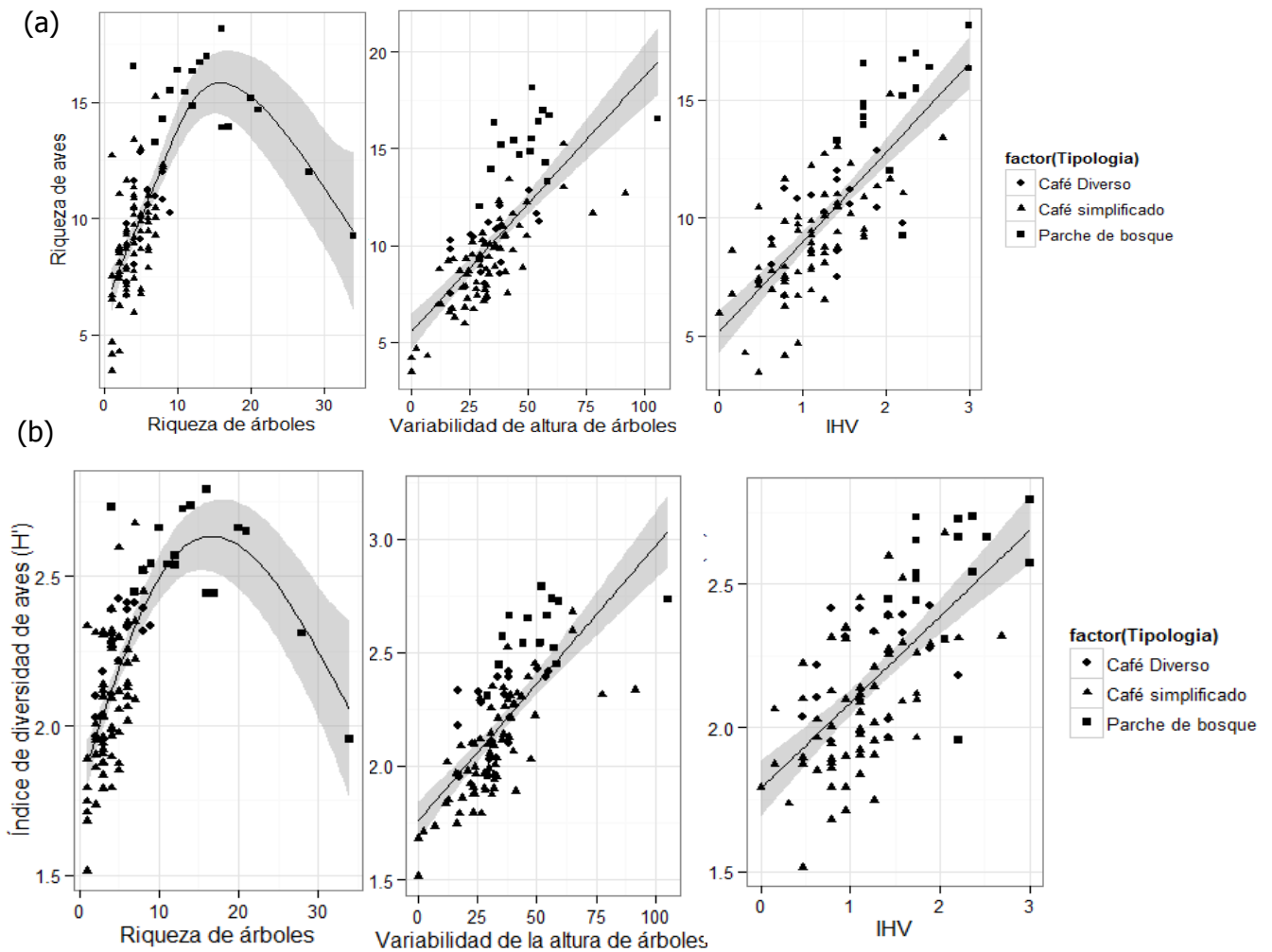


Figura 11. Relación de la riqueza de aves (a) e índice de diversidad de aves ( $H'$ ) (b) con características de vegetación (riqueza de árboles, variabilidad de la altura de los árboles e índice de heterogeneidad vertical – IHV). La parte gris en los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.

El 20% de la variación de la abundancia de aves estuvo explicada por la riqueza de árboles ( $t=3.32$ ;  $p=0.0014$ ), promedio del DAP ( $t=4.79$ ;  $p=0.0289$ ), la variabilidad de la altura de los árboles ( $t=2.31$ ;  $p<0.0001$ ) e IHV ( $t=2.31$ ;  $p=0.0239$ ) (Figura 12).

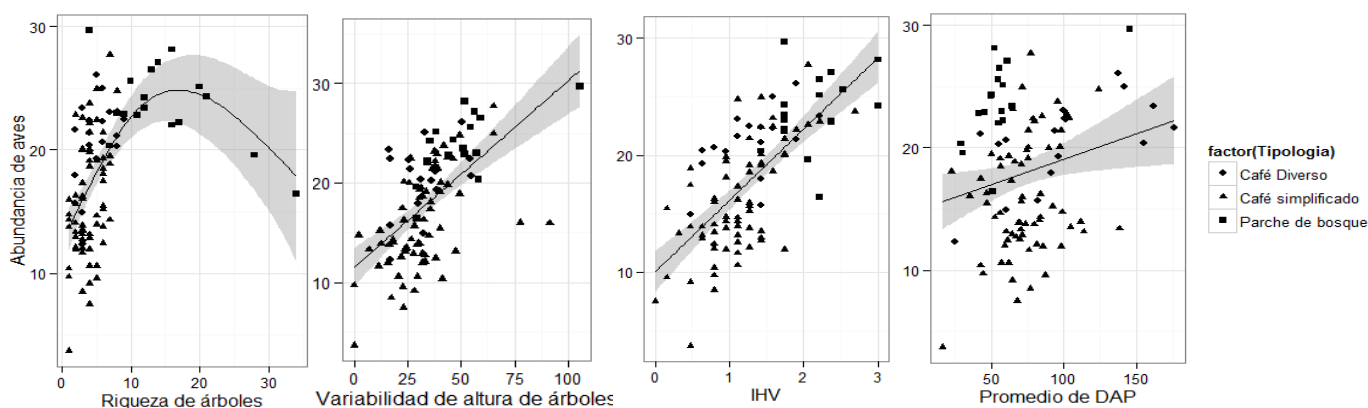


Figura 12. Relación de la abundancia de aves con las características de la vegetación (riqueza de árboles, variabilidad de la altura de los árboles, índice de heterogeneidad vertical-IHV y promedio de DAP). La parte gris en los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.

Cuando se evaluaron las características de la vegetación condicionadas al manejo a nivel de las tipologías de café, el diámetro de copa fue una característica de la vegetación que explicó la riqueza de las aves con una varianza del 73% ( $t=3.15$ ;  $p=0.0024$ ), la abundancia de aves en un 50% ( $t=3.24$ ;  $p=0.0019$ ) y el índice de diversidad de aves ( $H'$ ) en un 52% ( $t=4.21$ ;  $p=0.0001$ ). (Figura 13).

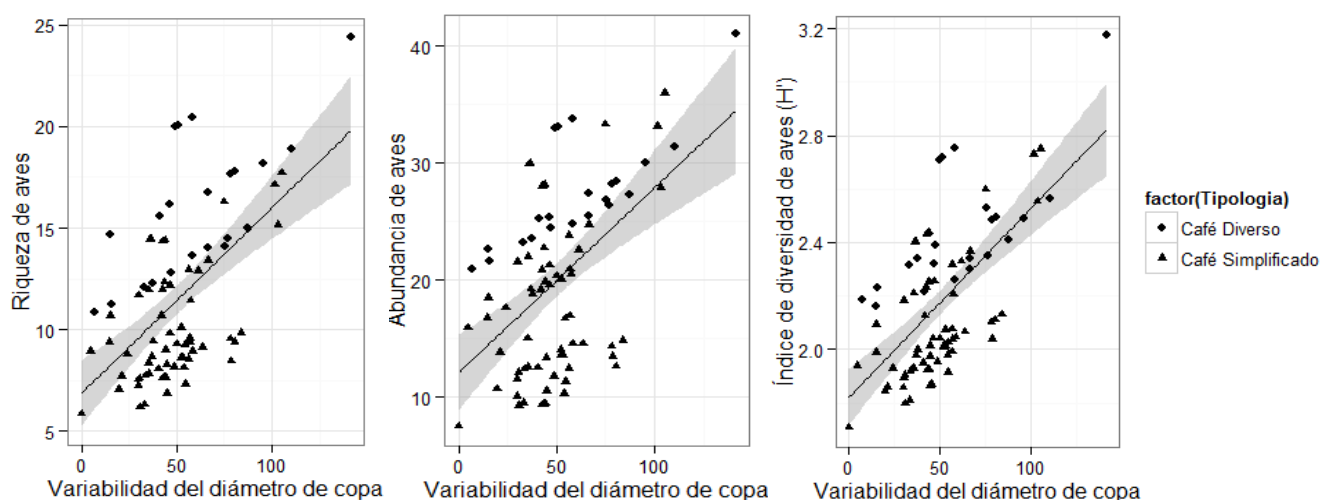


Figura 13. Relación de la riqueza, abundancia e índice de diversidad ( $H'$ ) con la variabilidad del diámetro de copa de los árboles de sombra en los cafetales. La parte gris en los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.

En cuanto a la composición vegetal, el 60% de la variabilidad de la riqueza de las aves ( $t=-4.24$ ;  $p=0.0001$ ), el 33% de la variabilidad de la abundancia ( $t=-3.39$ ;  $p=0.0011$ ) y el 46% de la variabilidad del índice de diversidad de aves ( $H'$ ) ( $t=-4.94$ ;  $p<0.0001$ ) están explicados por la composición 1 (Figura 14). La composición 1 se deriva de la separación de tres grupos de especies de árboles de los tres tipos de hábitats, con sus diferentes abundancias. La relación de la composición 1 con los atributos de las aves, está explicada mediante el eje X de la Figura 14, en el cual el lado negativo del eje representa la mayor composición de especies de árboles como: *Brosimum alicastrum*, especie desconocida, *Lonchocarpus minimiflorus*, *Astronium graveolens*, *Trichilia hirta*, *Prunus brachybotrya*, *Maclura tinctoria*, *Urera baccifera*, *Ocotea baccifera*, *Acacia polyphylla*, *Cecropia pentandra*, *Randia armata*, *Terminalia oblonga*, y es donde hay mayor registro de especies, individuos e índice de diversidad de aves. Mientras que el lado positivo del eje X de la Figura 14, está representado por la menor composición de especies de árboles como: *Inga oerstediana* e *Inga punctata*, registrando un menor número de especies, individuos e índice de diversidad de aves.

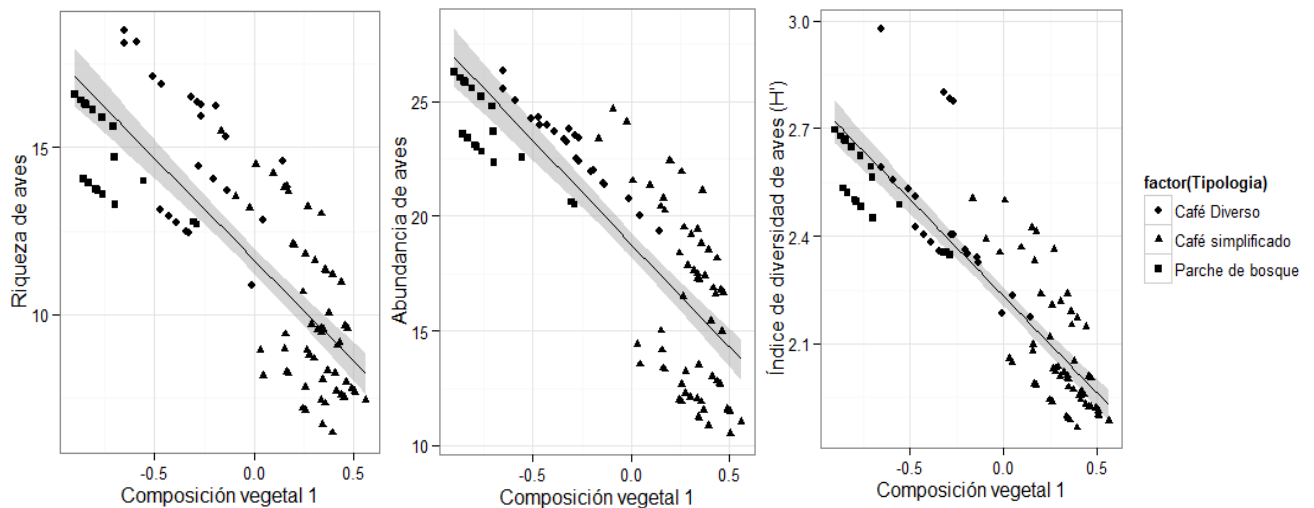


Figura 14. Relación de la riqueza, abundancia e índice de diversidad de aves ( $H'$ ) con la composición vegetal. La parte gris de los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.

El 68% de la variabilidad de la riqueza de las aves y un 50% de la variabilidad del índice de diversidad ( $H'$ ) están explicadas de manera positiva por las características de vegetación condicionadas al manejo como altura de hierbas clasificadas como maleza o arvenses ( $t=3.15$ ;  $p=0.0023$ ) y porcentaje de herbáceas en general ( $t=3.96$ ;  $p=0.0499$ ); es decir que al aumentar estas características de manejo aumenta la riqueza e índice de diversidad de aves. Por el contrario, la riqueza de aves y el índice de diversidad disminuyen al aumentar la densidad de café ( $t=-2.98$ ;  $p=0.0038$  y  $t=14.87$ ;  $p=0.0002$  respectivamente) (Figura 15a y 15b).

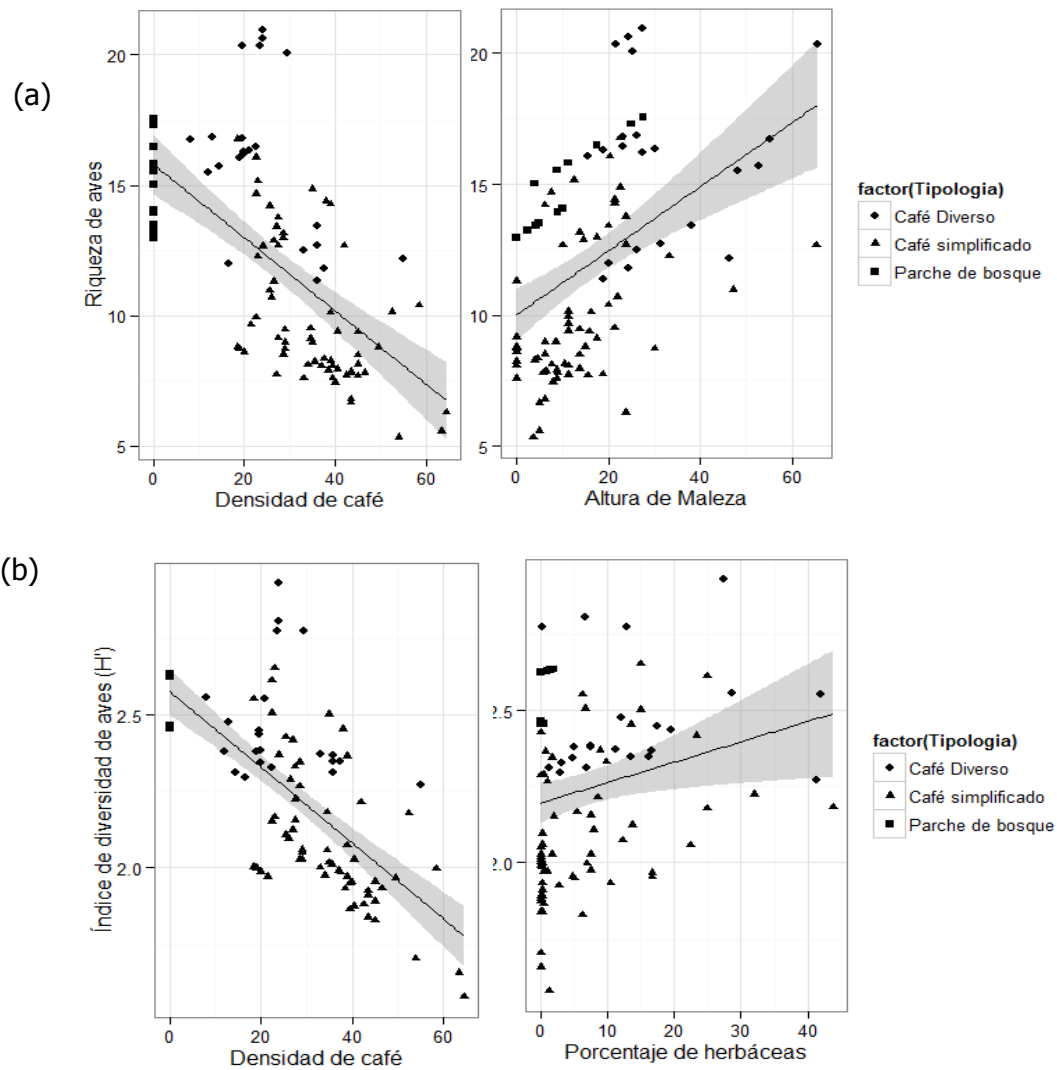


Figura 15. Relación de la riqueza (a) e índice de diversidad de aves ( $H'$ ) (b) con las características de la vegetación condicionadas a actividades de manejo como densidad de café, altura de maleza o arvenses y porcentaje de herbáceas. La parte gris de los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.

Por otra parte, el 36% de la abundancia de aves está explicada por el promedio de sombra ( $t=18.66$ ;  $p<0.0001$ ) y la altura de la maleza ( $t=9.51$ ;  $p=0.0028$ ) (Figura 16).

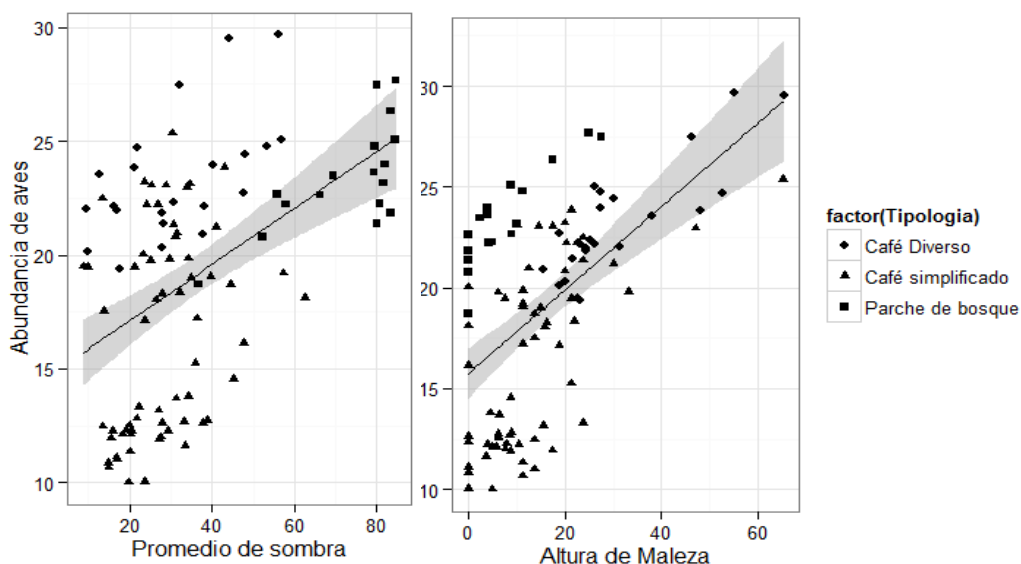


Figura 16. Relación de la abundancia de aves con las características de la vegetación condicionadas a actividades de manejo como promedio de sombra y altura de maleza o arvenses. La parte gris de los gráficos representa el error estándar de la tendencia global.

### 3.4. Asociación de la composición de aves con las características de vegetación, manejo y el espacio

La asociación de las características de vegetación, manejo y espacio con la composición de aves varió en diferentes períodos de muestreo. Para el período I las características con mayor importancia que explicaron la frecuencia de registro de algunas especies de aves registradas en esa época fueron: composición 1 y composición 2, de la vegetación, riqueza de árboles e IHV y promedio de altura del café (Cuadro 6). Para el período II fueron: composición 1, promedio del DAP, densidad de café, porcentaje de hojarasca y promedio de sombra (Cuadro 6). Al realizar una ordenación global uniendo los dos períodos, la época fue una característica importante que explicó la frecuencia de registro de algunas especies de aves, incluyendo composición 1 y composición 2.

Cuadro 6. Características asociadas a la frecuencia de registro de especies de aves en diferentes períodos de muestreo y a nivel global.

Variables explicativas*	Coefficiente Canónico Período I	Coefficiente Canónico Período II	Coefficiente Canónico Global
PCNM2	----	<b>1.625</b>	<b>0.378</b>
PCNM3	----	<b>2.127</b>	0.084
PCNM6	0.010	----	----
PCNM7	----	0.04	<b>-0.141</b>
PCNM8	<b>0.165</b>	<b>1.141</b>	<b>-0.269</b>
PCNM9	<b>0.341</b>	----	<b>-0.261</b>



Variables explicativas*	Coefficiente Canónico Período I	Coefficiente Canónico Período II	Coefficiente Canónico Global
PCNM26	-----	<b>1.532</b>	0.030
PCNM32	<b>-0.514</b>	-----	-0.083
PCNM39	-----	<b>1.509</b>	0.033
PCNM86	<b>-1.749</b>	-----	<b>0.107</b>
PCNM90	<b>0.417</b>	-----	<b>0.191</b>
PCNM95	<b>0.265</b>	-----	<b>0.253</b>
Comp 1**	<b>0.803</b>	<b>0.243</b>	<b>0.145</b>
Comp 2**	<b>0.250</b>	0.073	<b>0.142</b>
Variabilidad de dap	-----	<b>-0.175</b>	-----
Especies de árboles	<b>0.190</b>	-----	0.049
Densidad de café	-----	<b>0.238</b>	0.076
Porcentaje de hojarasca	-----	<b>-0.154</b>	-0.053
Prom. de altura de café	<b>-0.300</b>	-----	-0.055
Prom. Sombra	-----	<b>0.126</b>	0.049
IHV (índice de heterogeneidad vertical)	<b>0.122</b>	-----	-0.006
Época	-----	-----	<b>0.299</b>

\*Variables con coeficientes canónicos cercanos a cero son los que menos información aportan en el gradiente y por lo tanto de menor importancia para las especies. El signo indica la relación indirecta que tiene cada variable explicativa con cada una de las especies y su posición en el gradiente de la variable latente en el eje x de las figuras 17,18, 19.

\*\*La composición 1 y 2 se refiere a la composición de la vegetación que está compuesta por diferentes especies vegetales abundantes dentro de los sitios muestreados, el listado de estas especies se encuentran en el anexo 3.

Para el período I, las especies como *Momotus momota* (MOMMOM) y *Basileuterus rufifrons* (BASRUF) tienen mayor frecuencia de registro al estar asociadas a la composición 1. Para especies como *Setophaga petechia* (SETPET), *Oreothlypis peregrina* (OREPER), *Empidonax minimus* (EMPMIN), *Dives dives* (DIVDIV), *Megarhynchus pitangua* (MEGPIT), *Turdus grayi* (TURGRA), *Icterus pustulatus* (ICTPUS) y *Amazilia rutila* (AMARUT), tuvieron mayor frecuencia de registro al estar asociadas al promedio de altura de café. (Figura 17).

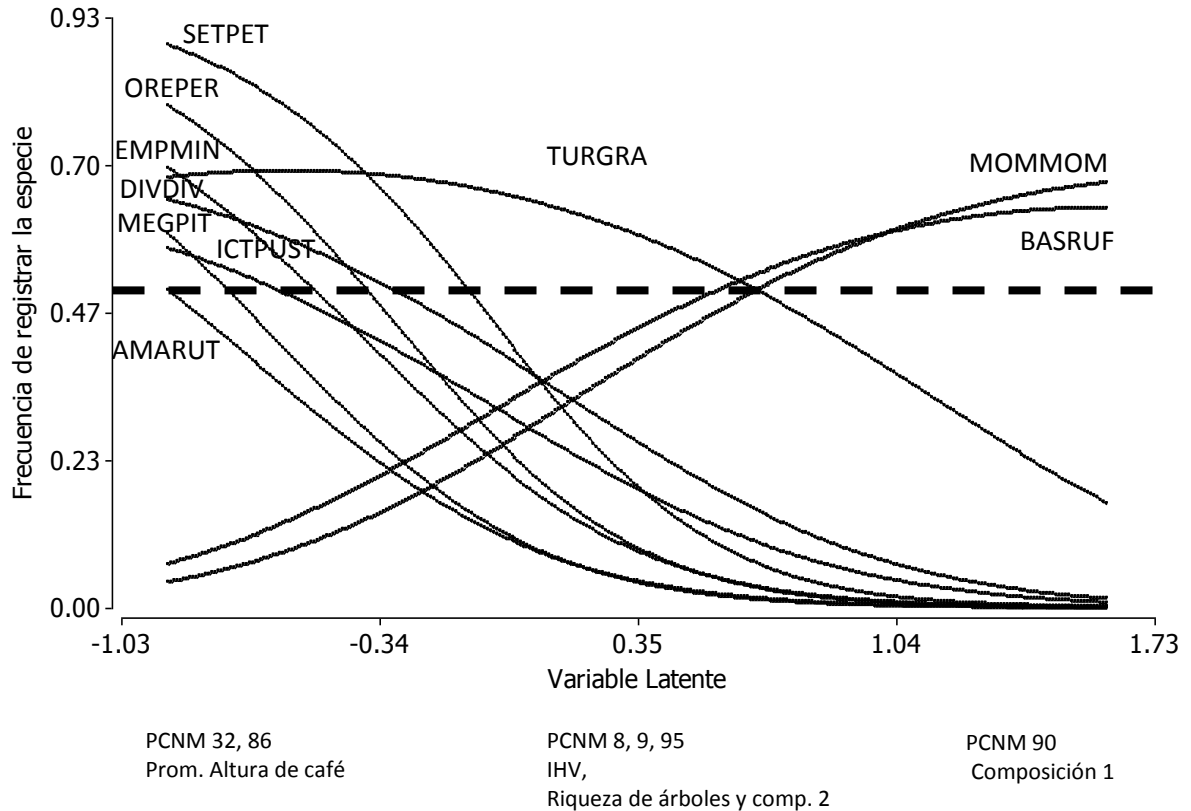


Figura 17. Distribución de las especies de aves durante el período I a lo largo de un gradiente espacio-ambiental (vegetación, manejo y espacio). Las especies arriba de la línea horizontal punteada tienen mayor frecuencia de registro según las características a las que están asociadas.

Para el período II, la especie *Turdus grayi* se encuentra ampliamente distribuida en el gradiente, con una mayor frecuencia de registro, esta junto a especies como *Basileuterus rufifrons*, *Vireo flavoviridis* y *Troglodytes aedon*, se encuentran asociadas a composición vegetal 1 y promedio de sombra. Las especies *Vireo flavoviridis*, *Icterus pustulatus* (ICTPUS) y *Amazilia rutila* (AMARUT) están asociadas a esas características pero su frecuencia de registro es ligeramente menor. Al igual que *Momotus momota* que está asociado con el porcentaje de hojarasca junto a *Turdus grayi* que tiene mayor frecuencia de registro. Las especies *Tolmomyias sulphurescens* (TOLSUL) y *Patagioenas flavirostris* están opuestas a la asociación de esas características mencionadas (Figura 18).

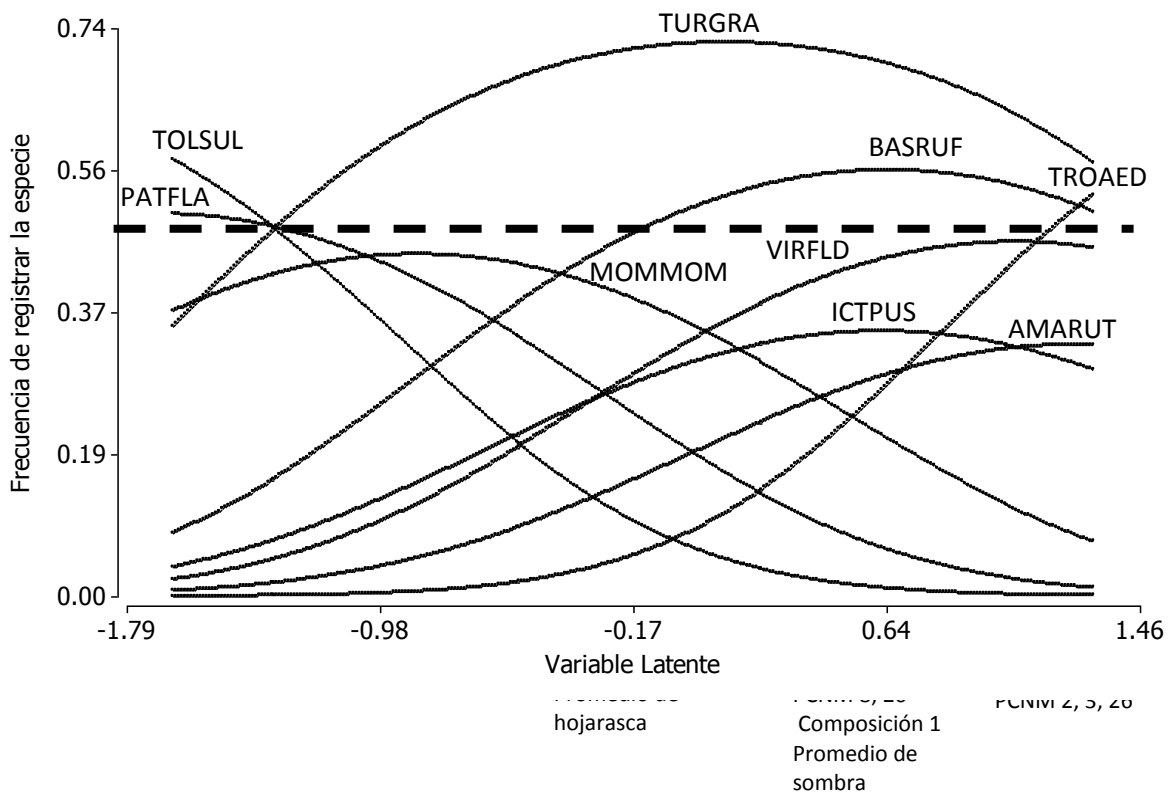


Figura 18. Distribución de las especies de aves durante el período II a lo largo de un gradiente espacio-ambiental (vegetación, manejo y espacio). Las especies arriba de la línea horizontal punteada tienen mayor frecuencia de registro según las características a las que están asociadas.

Algunas especies tienen más frecuencia de registro de acuerdo a la época (o período). En el caso de la especie TURGRA no está asociada a ninguna de las épocas por lo que se registró en cualquier período de los meses de muestreo. Sin embargo; especies como *Setophaga petechia*, *Empidonax minimus*, *Oreothlypis peregrina*, *Vireo gilvus* (VIRGIL), *Piranga ludoviciana* (PIRLUD) y *Setophaga magnolia* (SETMAG), tienen mayor frecuencia de registro en el período I (febrero-abril) que corresponde a los meses de migración de estas aves y están asociadas en el espacio (PCNM 7, 8). Especies como *Vireo flavoviridis* un visitante-reproductor tiene más frecuencia de registro en el período II (mayo-junio) pues es en ese período que corresponde a su migración desde Suramérica y está asociada en el espacio (PCNM 2) (Figura 19).

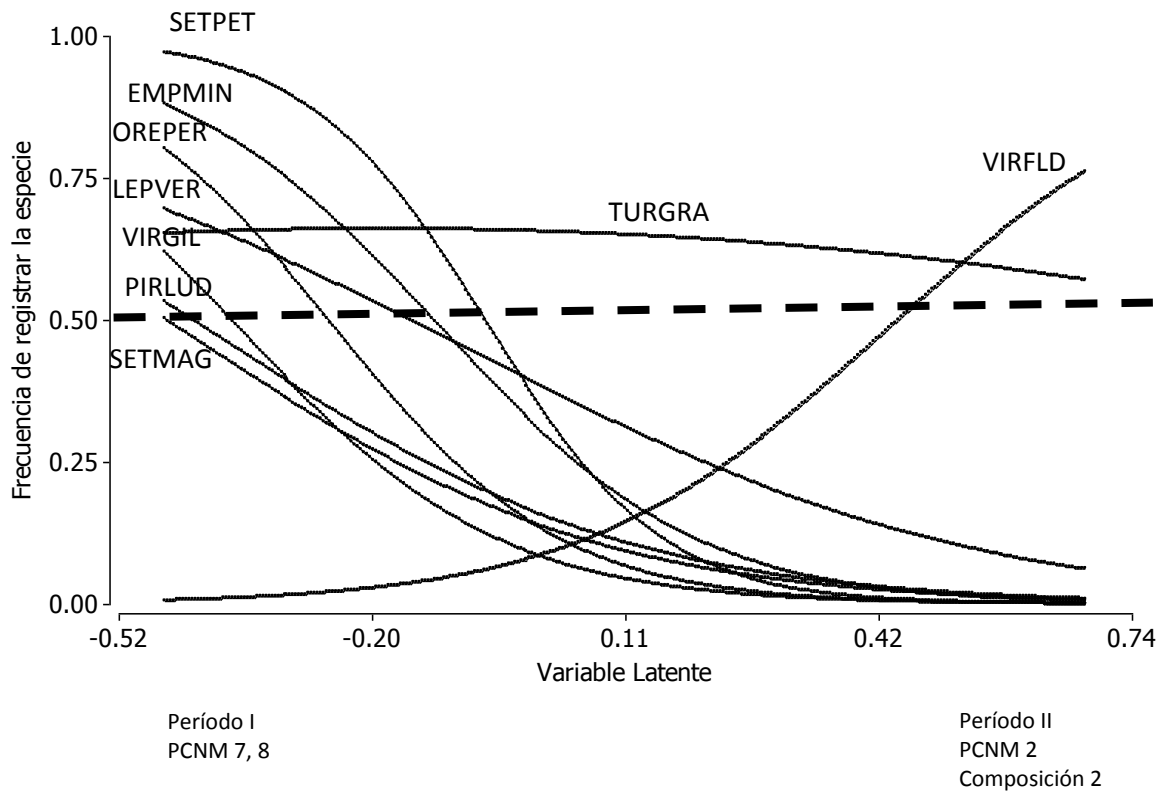


Figura 19. Distribución de las especies de aves durante todo el período de muestreo a lo largo de un gradiente espacio-ambiental (vegetación, manejo y espacio). Las especies arriba de la línea horizontal punteada tienen mayor frecuencia de registro según las características a las que están asociadas.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización de la comunidad de aves en el paisaje de la Reserva de la biosfera Apaneca-Ilamatepec en El Salvador

Aunque el paisaje evaluado está dominado con un 67% de café, aún existen especies de aves prioritarias para la conservación (12% del total de especies registradas en esta investigación) que dependen de la cobertura de bosque para su sustentabilidad (*p.e. Grallaria guatemalensis, Hylophilus decurtatus, Habia rubica, Oncostoma cinereigulare, y Ramphocaenus melanurus*) (Komar y Domínguez 2001). Además, en el área se reportó *Geranospiza caerulescens* como una especie nueva para la zona de la RBAI que fue observada en uno de los cafetales diversos.

El mayor registro de especies de aves especialistas de bosque y de interés para la conservación fue en los parches de bosque, lo cual confirma la importancia de los remanentes de bosques en paisajes agrícolas. Un elemento que podría estar beneficiando la persistencia de estas especies de aves de bosque en el paisaje, es el funcionamiento de la matriz de café como corredor biológico (Perfecto *et al.* 2007). Especies registradas como *Aulacorhynchus prasinus, Basileuterus culicivorus* y *Turdus assimilis* probablemente usen

los cafetales para colonizar otros sitios y/o usen los parches como un trampolín para encontrar alimento y descansar mientras se desplazan. Cohen y Lindell (2004) reportan que los volantones (aves recién salidas del nido) de *Turdus assimilis* que nacen exitosamente en hábitats agrícolas (cafetales y pastizales), siempre buscan dispersarse hacia áreas boscosas para la sobrevivencia en este período de su vida. Los autores evidenciaron que las aves que lograban dispersarse a las áreas boscosas fueron las que tuvieron mayor probabilidad de sobrevivencia, y sugieren que fue debido a la densa estructura vegetal de los bosques que les sirve como refugio contra depredadores, entre otros beneficios.

La mayoría de aves residentes registradas fueron generalistas de bosque. Esto era de esperarse debido a que las aves generalistas son capaces de adaptarse y encontrar recursos en hábitats abiertos con poca cobertura boscosa (*p.e.* sistemas agroforestales). Similares hallazgos reportan Wunderle y Latta 1996; Greenberg *et al.* 1997a y b; Tejeda y Sutherland 2004; Komar 2006b y Florian *et al.* 2010. Los gremios alimenticios más abundantes de aves residentes fueron las insectívoras (40%) y los frugívoros (24%), en orden de importancia. Leyequién *et al.* (2010), encontraron resultados parecidos a esta investigación registrando más insectívoros en los cafetales de Puebla (México), y adjudicaron esta proporción a la mayor dominancia de aves que se mueven en el dosel, favorecidas por la abundancia de artrópodos. Contrario a esto, Canaday (1996) reportó menos proporciones de especies insectívoras en los cafetales bajo sombra en Ecuador y más frugívoros y omnívoros en estos sitios. Aunque este autor no logró determinar exactamente las causas claves de estas diferencias, menciona que sus resultados pueden estar dados por factores como los cambios en el microclima (alterando la sobrevivencia de insectos presa de las aves), el grado de especialización de las especies insectívoras (sensibles a los cambios en el ambiente), y la interferencia en la competencia de aves oportunistas.

Especies de aves generalistas como las migratorias Neotropicales fueron registradas en similares proporciones en los tres tipos de hábitat muestreados (a pesar de las diferencias florísticas). La ecología de las migratorias Neotropicales reportadas en este estudio, favorece a que se adapten a una amplia variedad de hábitats; capaces de encontrar alimento (*p.e.* insectos) en el follaje de los árboles de sombra en los cafetales (Tejeda-Cruz y Sutherland 2004). Esto es apoyado por Komar (2006b) al reportar un mayor número de especies migratorias en los cafetales a diferencia de los bosques en esta misma zona de estudio. Esto sugiere que estos sistemas agroforestales de la RBAI son importantes sitios para las aves migratorias Neotropicales, y según Bakermans *et al.* (2012), principalmente cuando estos sitios proveen una vegetación estructuralmente compleja y florísticamente diversa. Según Greenberg *et al.* (1997a), los recursos alimenticios disponibles pueden marcar diferencias en los registros de estas aves entre los cafetales, ya que reportó una mayor abundancia de migratorias en café dominados por *Inga* que en cafetales rústicos, siendo la floración de los árboles de *Inga* lo que marcó un recurso alimenticio crítico para estas especies.

## 4.2. Influencia de la vegetación en la riqueza, abundancia y composición de las aves en los hábitats muestreados de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec

### 4.2.1. Diversidad de aves

La menor diversidad de especies de aves en los sistemas de café y la dominancia de especies comunes a diferencia de los bosques, se debe a que los sistemas agroforestales mantienen vegetación menos diversa y estructurada (dos estratos muy marcados de café y sombra) y una mayor homogeneidad espacial (Cruz-Angón *et al.* 2008). Esto se evidenció con el bajo registro de aves de bosque en los cafetales (<5%) y la dominancia de especies generalistas de bosque (*p.e. Trudus grayi, Basileuterus rufifrons* e *Icterus pustulatus*) caracterizadas por su bajo grado de sensibilidad a perturbaciones humanas, capaces de adaptarse y subsistir con poca área boscosa (Komar 2006b).

La similaridad en la riqueza y la abundancia de aves en las dos tipologías de café se debe posiblemente a la alta proporción de especies generalistas en estos sitios. Greenberg *et al.* (1997b) y Tejeda y Gordon (2008), han encontrado resultados parecidos al tener diversidad de aves similares entre cafetales plantados (sombra con *Ingas*) y rústicos (sombra diversa). Por el contrario, Gordon *et al.* (2007); encontraron mayor riqueza y abundancia de aves en cafetales rústicos (cafetales diversos) que en los de policultivo comercial simple (dominados por *Ingas*) seguido por cafetales con poca sombra y sin sombra (café bajo sol). Estas diferencias las adjudicó principalmente a la modificación de la estructural vegetal, la cual fue mayor en los cafetales rústicos que en el resto de las tipologías de café.

Un elemento que favorece la diversidad de aves dentro de paisajes fragmentados es el incremento en la estructura florística y vegetal en los sistemas agroforestales (Wunderle y Latta 1998; Johnson 2000; Jones *et al.* 2002; Florian *et al.* 2010; Gove *et al.* 2013). Con el análisis por punto de conteo, se evidenció el aumento en los atributos de la comunidad de aves con la presencia de diferentes elementos vegetales a nivel local en los sitios muestreados (riqueza de árboles, variabilidad de la altura de los árboles, variación de copa, mayor promedio de DAP, promedio de sombra y heterogeneidad vertical- IHV). Esto es comparable con lo encontrado por Florian *et al.* (2010), en cuanto a la complejidad estructural en cafetales de la cordillera de Talamanca (Costa Rica), ya que reportó una baja abundancia y riqueza de aves en cafetales dominados con un solo estrato de vegetación (*Erythrina poeppigiana*) que en cafetales con más de un estrato (asociación de *E. poeppigiana* con *Cordia alliodora*).

Aunque Florian *et al.* (2010), no comprobaron la influencia de las epífitas en su estudio, sugirieron que la cobertura de epífitas en *C. alliodora* pudo beneficiar al mayor registro de aves en estos sitios, ya que proveen microhábitats para organismos presas de las aves e incluso lugares para refugiarse y anidar (Cruz-Angón *et al.* 2008). Esto implica que en hábitats modificados como los cafetales, entre menos se simplifiquen los componentes vegetales se mejora la calidad del hábitat, adicionando recursos de alimentación, protección

y reproducción a las aves que son útiles para su supervivencia (Mills *et al.* 1991; Tejeda-Cruz y Sutherland 2004).

A pesar de la baja diversidad florística de los cafetales a comparación de los bosques, los árboles de sombra inmersos en estos sistemas constituyen un elemento importante que atrae a las aves, como consecuencia de la disponibilidad de recursos alimenticios aquí presentes, por ejemplo *Inga* spp, *Mangifera indica*, *Ficus* spp., *Citrus* spp., entre otros. Por ejemplo, Carlo *et al.* (2004); encontraron que el 50% de la dieta alimenticia de algunas especies de aves provenía de árboles plantados en sistemas de café. Por otro lado, algunos estudios (Greenberg *et al.* 1997a y b; Wunderle y Latta 2000; Johnson y Sherry 2001; Jones *et al.* 2002; Dietsch *et al.* 2007) han reportado la importancia de la presencia de *Ingas* en los cafetales como fuente de recurso estacional para aves nectarívoras e insectívoras. Igualmente, Johnson (2000), encontró que la abundancia de aves en cafetales dominados por *Inga vera* en Jamaica comparado con cafetales con *Pseudalbizia berteriana*, estuvo relacionada a la abundancia de artrópodos cuando los árboles de *Inga* producían nuevas hojas y flores en época seca, favoreciendo a las aves insectívoras y nectarívoras.

Existen diferentes factores que pueden afectar la riqueza, abundancia, diversidad e incluso la presencia/ausencia de ciertas especies de aves en el paisaje de la RBAI. Se conoce que las prácticas de manejo como la frecuencia de poda de la sombra y los arbustos de café y el uso de agroquímicos, tienen efectos sobre la disminución de los organismos presas de las aves y sitios de refugio, anidación y descanso (Calvo y Blake 1998; Johnson 2000). Aun cuando en este estudio no fue posible evidenciar los efectos de estas actividades es importante considerarlas como potencial causa de las diferencias en observaciones en los diferentes sitios evaluados. El tamaño y la forma de los parches de hábitat así como el uso de suelo circundante suelen ser determinantes en el arreglo de las comunidades animales (Estades 2001; Bennett 2004; Uezu *et al.* 2005). Esto quiere decir, que si se hubiera tomado en cuenta estas covariables en este estudio, posiblemente se hubiera encontrado que las diferencias fueran más evidentes o marcadas entre cafetales.

#### **4.2.2. Composición de aves**

Las especies únicas reportadas en los bosques incluyen especies de interés a la conservación. La ecología de estas aves influye en su capacidad de adaptación a la modificación de hábitats (Ewers y Dham 2006; Groom *et al.* 2006). Sekercioglu *et al.* (2002), reportan que insectívoras de sotobosque de la familia Formicariidae se caracterizan por ser susceptibles a la fragmentación, como es el caso de la especie *Grallaria guatemalensis*. Esto se debe al grado de especialización en sus hábitos alimenticios, la alta sensibilidad a la fragmentación y su limitada capacidad de dispersión dentro de un paisaje fragmentado, volviéndola una especie vulnerable a la extinción en los fragmentos de bosque (Sekercioglu *et al.* 2007). Esto evidencia una vez más la importancia de los parches de bosque para mantener aves especialistas de interior de bosque. Es probable que lo mismo esté sucediendo con otras especies de bosque registradas (*p.e.* *Habia rubica*, *Oncostoma*

*cinereigulare* y *Myiopagis viridicata*), aunque es necesaria una mayor investigación para comprobar la respuesta de estas aves a la perturbación de los bosques de la RBAI.

Estos resultados apoyan lo consensuado por otros investigadores (Parrish y Petit 1996; Schroth *et al.* 2004; Harvey y González 2007; Perfecto *et al.* 2007), quienes afirman que los sistemas agroforestales son sitios que mantienen alta diversidad de especies, pero no son lo suficientemente adecuados para mantener las especies dependientes de bosque. Existen características de la configuración del paisaje (*p.e.* proximidad al bosque y heterogeneidad del paisaje) importantes en el agropaisaje que permiten la presencia de aves de bosques, volviendo la matriz agropecuaria más conectada y con menor fricción (Daily *et al.* 2001; Harvey y González 2007; Florian *et al.* 2010).

Las aves de bosque registradas en los sistemas de café simplificado como *Catharus aurantiirostris*, *Euphonia hirundinaceae*, *Lepidocolaptes souleyetii* y *Myiopagis viridicata*, se debe a que estos sitios se encontraron adyacentes a parches de bosque (obs. per). Esto pone en evidencia otro aspecto que es la permeabilidad que tiene este tipo de matriz donde algunas aves son capaces de adentrarse a este cultivo en busca de recursos alimenticios y sitios para reproducirse o desplazamiento (Perfecto *et al.* 2007). Esta permeabilidad de los cafetales ha sido documentada por otros estudios (Moguel y Toledo 1999; Shankar-Raman 2006). Losada-Prado (2010), documentó que *Myrmeciza exsul* (insectívora especialista de sotobosque) fue capaz de movilizarse en un agropaisaje cuando los bosques se encontraban rodeados de cafetales bajo sombra o sitios con vegetación secundaria.

La similitud en la composición de aves entre sistemas de café (simplificado y diverso) se debe a la presencia del estrato sotobosque dominado por arbustos de café, registrando principalmente aves generalistas que se mueven en medio del dosel, aunque estos sistemas sean florísticamente distintos (Tejeda-Cruz y Sutherland 2004). La presencia de herbáceas benefició a especies granívoras en los cafetales diversos como *Leptotila verreauxi*, *Passerina caerulea*, *Passerina ciris*, *Passerina cyanea* y otras aves que se mueven en el suelo y sotobosque para forrajear como *Cychlaris gujanensis* y *Crypturellus cinnamomeus*. Esto podría ser un beneficio de la certificación de fincas que permiten en su normativa mantener en lo posible la cobertura vegetal en el suelo para prevenir la erosión (RAS 2010). Leyequién *et al.* (2010), argumenta que la abundancia de aves granívoras mayor en cafetales que en los bosques se debe a la disponibilidad y facilidad de encontrar recursos en su estrato influenciado por el dosel irregular.

Finalmente, aunque el objetivo de este estudio no fue la de medir el impacto directo de la certificación de café sobre la comunidad de aves, es importante mencionar que en la mayoría de fincas certificadas los elementos de la vegetación como la complejidad estructural y florística de sombra fueron distintos entre los cafetales muestreados. El esquema de certificación sugiere como mínimo dos estratos de vegetación y 12 especies arbóreas nativas por hectárea (RAS 2010). Sin embargo; se evidenció que localmente existen fincas con dominancia de *Ingas* (50% de los árboles de sombra) y en algunos casos la diversidad de sombra es compensada fuera de las fincas con la conservación de parches de bosque cercanos (Barrera *com. pers*).



En el paisaje de la RBAI aun cuando existen incentivos económicos con esquemas de certificación, depende en gran medida el interés del productor y su decisión sobre el tipo de sombra plantada. Esto sugiere que es preciso reforzar la promoción de diversidad florística dentro de fincas donde no lo implementan (ya sea certificada o no). Y además, es mayormente indispensable la conservación de parches de bosque cercanos para la preservación de la avifauna en general, las cuales son importantes para diferentes funciones en el ecosistema (dispersoras de semillas, controladoras biológicas de plagas, polinizadoras, entre otros).

## **5. IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN**

Este estudio apoya los hallazgos de otras investigaciones sobre lo importante que son los sistemas agroforestales en paisajes fragmentados y deforestados (Schroth *et al.* 2004; Perfecto *et al.* 2007; Tejeda-Cruz y Gordon 2008), principalmente cuando los sistemas agroforestales son lo más diverso florística y estructuralmente, proveyendo hábitats para una amplia variedad de organismos capaces de adaptarse a estos sistemas modificados.

De acuerdo a los resultados de este estudio, se sugieren las siguientes recomendaciones que ayuden a la conservación de aves en el paisaje de la RBAI: a) aumentar la diversidad florística y estructural en cafetales donde no se implementa (*p.e.* en fincas dominadas por *Ingas*), principalmente con especies vegetales atractivas para las aves que provean recursos alimenticios como frutos o flores en diferentes épocas, o que provean sitios de refugio y anidamiento; b) conservar y en lo posible permitir la regeneración de áreas de bosque, ya que son los sitios donde se registraron la mayor cantidad de aves especialistas de bosque y de interés a la conservación.

La idea de estas recomendaciones es que se provean sitios donde estas especies sean capaces de encontrar los recursos necesarios para su subsistencia y ampliar estas zonas como potenciales corredores biológicos. Es importante procurar mantener la heterogeneidad del paisaje con la permanencia de hábitats naturales y evitar la simplificación de los cafetales existentes a sistemas de monocultivos abiertos y sin sombra. Es indispensable recalcar que dentro del paisaje de la RBAI no es importante solamente la riqueza y abundancia de aves sino también el tipo de especies presentes.

Las limitaciones de este estudio son aspectos que estuvieron fuera del alcance de la investigación y que se han convertido en sugerencias claves para futuras investigaciones que ayude a entender qué otros factores influyen en la comunidad de aves de la RBAI. En estudios posteriores es importante: 1) evaluar la importancia de otros sistemas agroforestales y de cultivos (*p.e.* cafetales bajo sol); 2) evaluar un mayor número de parches de bosques tomando en cuenta su tamaño, forma y aislamiento; 3) realizar estudios de monitoreo de aves a largo plazo para conocer aspectos de sobrevivencia, estabilidad de las poblaciones, posibles desplazamientos en la matriz, usos de hábitat, períodos de reproducción y éxito reproductivo. Esto permitiría reducir el sesgo de esta investigación y mejoraría el entendimiento de la comunidad de aves en el paisaje. De esta manera se

tendría una mayor eficiencia en la propuesta de arreglos espaciales que permitan asegurar la conservación de aves a largo plazo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Bakermans, MH; Rodewald, AD; Vitz, AC; Rengifo, C. 2012. Migratory bird use of shade coffee: the role of structural and floristic features. *Agroforestry Systems* 85: 85–94.
- Bennett, A. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. San José, Costa Rica, UICN-Unión Mundial para la Naturaleza. 278 p.
- Blackman, A; Ávalos-Sartorio, B; Chow, J; Aguilar, F. 2006. Pérdida de los bosques en las áreas de cultivo de café en El Salvador. *Resources for the future (RFF)*. 109 p.
- Canaday, C. 1996. Loss of insectivorous birds along a gradient of human impact in Amazonia. *Biology Conservation* 77: 63–77.
- Calvo, L; Blake, J. 1998. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International* 8(3):297–308.
- Carlo, TA; Collazo, JA; Groom, MJ. 2004. Influences of fruit diversity and abundance on bird use of two shaded coffee plantations. *Biotropica* 36(4): 602–614.
- Clarke, KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117–143.
- Colwell, RK. 2006. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.
- Cohen, EB; Lindell, CA. 2004. Survival, habitat use, and movements of fledgling white-throated robins (*Turdus assimilis*) in Costa Rican agricultural landscape. *The Auk* 121(2):404–414.
- Cruz-Angón, A; Sillett, T; Greenberg, R. 2008. An experimental study of habitat selection by birds in a coffee plantation. *Ecology* 89(4):921–927.
- Chesser, RT; Banks, RC; Barker, FK; Cicero, C; Dunn, JL; Kratter, AW; Lovette, IJ; Rasmussen, PC; Remsen Jr., JV; Rising, JD; Stotz, DF; Winker, K. 2012. Fifty-third supplement to the American Ornithologists's Union. *Check-list of North American birds*. *The Auk* 129(3):573–588.
- Daily, GC; Ehrlich, PR; Sánchez-Azofeifa, GA. 2001. Countryside biogeography: use of human-dominated habitats by the avifauna of southern Costa Rica. *Ecological Applications*, 11(1):1–13.
- Dietsch, TV; Perfecto, I; Greenberg, R. 2007. Avian foraging behavior in two different types of coffee agroecosystem in Chiapas, Mexico. *Biotropica* 39: 232–240.
- Escalante, M. 2000. Diseño y manejo de cafetales del Occidente de El Salvador. M.S. Thesis. Tropical Agroforestry. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Estades, C. 2001. The effect of breeding-habitat patch size on bird population density. *Landscape Ecology* 16:161–173.
- Estrada, A; Coates-Estrada, R; Meritt, D. 1997. Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 6:19–43.
- Ewers, R; Didham, R. 2006. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 81(1):117–142. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16318651>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001. Causas y tendencias de la deforestación en América Latina. Programa de Evaluación de los Recursos Forestales, Roma. 91 p.
- Florian, E; Harvey, CA; Finegan, B; Benjamin, T; Soto, G. 2010. Efecto de la complejidad estructural y el contexto paisajístico en la avifauna de sistemas agroforestales cafetaleros dentro del corredor biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. *Mesoamericana* 14 (3).
- Gobbi, JA. 2000. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. *Ecological Economics* 33:267–281.

- Gordon, C; Manson, R; Sundberg, J; Cruz-Angón, A. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem. *Agriculture Ecosystems and Environment* 118:256–266.
- Gove, AD; Hylander, K; Nemomissa, S; Shimelis, A; Enkossa, W. 2013. Structurally complex farms support high avian functional diversity in tropical montane Ethiopia. *Journal of Tropical Ecology*, 29(02), 87–97.
- Greenberg, R; Bichier, P; Cruz Angon, A; Reitsma, R. 1997a. Bird Populations in Shade and Sun Coffee Plantations in Central Guatemala. *Conservation Biology* 11(2):448–459.
- Greenberg, R; Bichier, P; Sterling, J. 1997b. Bird Populations in Rustic and Planted Shade Coffee Plantations of Eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29(4):501–514.
- Groom, MJ; Meffe, GK; Carroll, CR. 2006. *Principles of conservation biology*. Sunderland: Sinauer Associates. 174–251 p.
- Hernández-Martínez, G. 2008. Clasificación agroecológica (15–34 pág) en Manson, RH; Hernández-Ortíz, V; Gallina, S; Mehlreter, K, editores. *Agrosistemas cafetaleros de Veracruz, biodiversidad, manejo y conservación*. Instituto de Ecología A.C (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMAR-NAT), México, 348 p.
- Harvey, CA; González, JA. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity Conservation* 16:2257–2292.
- Howell, SNG; Webb, S. 1995. *A guide to the birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press, USA. 851 p.
- Huff, Mark H.; Bettinger, Kelly A; Ferguson, Howard L.; Brown, Martin J; Altman, B. 2000. A habitat-based point-count protocol for terrestrial birds, emphasizing Washington and Oregon. Gen. Tech. Rep. PNW- G T R - 5 0 1. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 39 p.
- Johnson, RA; Wichern, DW. 1998. *Applied multivariate statistical analysis*. 4<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. US.
- Johnson, MD. 2000. Effects of shade-tree species and crop structure on the winter arthropod and bird communities in a Jamaican shade coffee plantation. *Biotropica* 32:133–145.
- Johnson, MD; Sherry, TW. 2001. Effects of food availability on the distribution of migratory warblers among habitats in Jamaica. *Journal of Animal Ecology* 70:546–560.
- Jones, J; Ramoni-Perazzi, P; Carruthers, EH; Robertsoon, RJ. 2002. Species composition of bird communities in shade coffee plantations in the Venezuelan Andes. *Ornitología Neotropical* 13:397–412.
- Komar, O; Herrera, N. 1995. *Diversidad de avifauna en el Parque Nacional El Imposible y el Refugio de Vida Silvestre Complejo San Marcelino, El Salvador*. Wildlife Conservation Society, Bronx, NY. 83 p.
- Komar, O; Domínguez, JP. 2001. Lista de aves de El Salvador. *SalvaNATURA*. 68 p.
- Komar, O. 2006a. Priority Contribution. Ecology and conservation of birds in coffee plantations: a critical review. *Bird Conservation International* 16:1–23.
- Komar, O. 2006b. *Ecology and Conservation of Birds in Coffee Plantations of El Salvador, Central America*. Ph.D. dissertation, University of Kansas. 162 p.
- Komar, O; Herrera, N; Ibarra-Portillo, R; Girón, L. 2007. *Lista Roja de las Aves de El Salvador*. En prensa.
- Komar, O. 2012. Are Rainforest Alliance Certified coffee plantations bird-friendly?. Study of dispersing forest birds and migratory birds in El Salvador's Apaneca Biological Corridor. Technical Report. 75 p.
- Laube, I; Breitback, N; Böhning-Gaese, K. 2008. Avian diversity in a Kenyan agroecosystem: effects of habitat structure and proximity to forest. *Journal Ornithology* 149:181–191.
- Leyequién, E; de Boer, WF; Toledo, VM. 2010. Bird community composition in a shaded coffee agro-ecological matrix in Puebla, México: The effects of landscape heterogeneity at multiple spatial scales. *Biotropica* 42(2):236–245.
- Luck, GW; Daily, GC. 2003. Tropical countryside bird assemblages: richness, composition, and foraging differ by landscape context. *Ecological Applications* 13:235–247.
- MARN (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2004. *Plan de manejo del área natural Los Volcanes*. San Salvador, El Salvador. 173 p.

- MARN (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2007. Plan de manejo del área natural protegida Complejo San Marcelino. San Salvador, El Salvador. En Prensa. 255 p.
- MARN (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2009. Listado oficial de vida silvestre amenazado o en peligro de extinción. Diario oficial, San Salvador, El Salvador. 15 p.
- Méndez, VE; Gliessman, SR; Gilbert, SG. 2007. Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape in western El Salvador. *Agriculture, ecosystems and environment* 119: 145–159.
- Mills, GS; Dunning, JB; Bates, JM. 1991. The relationship between breeding bird density and vegetation. *Wilson Bulletin* 103:468–479.
- Moguel, P; Toledo, VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 12:1–11.
- Moreno, CE; Halffter, G. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* 37:149–158
- Moreno, CE. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 p.
- Ortega-Huerta, M; Komar, O; Price, K; Ventura, H. 2012. Mapping coffee plantations with Landsat imagery: an example from El Salvador. *International Journal of Remote Sensing* 33(1):220–242.
- Parrish, JD; Petit, LJ. 1996. Value of shade coffee plantations for tropical birds: Landscape and vegetation effects. *Proceedings of the International Conference of Environmental Enhancement through Agriculture*. Boston, MA.
- Perfecto, I; Rice, R; Greenberg, R; Van der Voort, M. 1996. Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. *BioScience* 46(8).
- Perfecto, I; Armbrecht, I; Philpott, SM; Soto-Pinto, L; Dietsch, TM. 2007. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. Pages 227–264 en Tschardtke, T; Leuschner, C; Zeller, M; Guhadja, E; Bidin, A. (editores). *The stability of tropical rainforest margins, linking ecological, economics and social constraints of land use and conservation*. Springer, Environmental Science Series, New York, USA
- Perfecto, I; Vandermeer, J. 2008. Spatial pattern and ecological process in the coffee agroecosystem. *Ecology*, 89:915–920.
- Ralph, CJ; Geupel, GR; Pyle, P; Martin, TE; DeSante, DF; Milá, B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Albany, CA; Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 46 p.
- Reitsma, R; Parrish, JD; McLarney, M. 2001. The role of cacao plantations in maintaining forest avian diversity in southeastern Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53: 185–193.
- Robbins, CS; Sauer, JR; Greenberg, R; Droege, S. 1989. Population declines in North American birds that migrate to the Neotropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 86:7658–7662.
- Schroth, G; da Fonseca GAB; Harvey, CA; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, DC 20009. 537 p.
- Shankar-Raman, TR. 2006. Effects of habitat structure and adjacent habitats on birds in tropical rainforest fragments and shaded plantations in the Western Ghats, India. *Biodiversity and Conservation* 15: 1577–1607.
- Sekercioglu, CH; Ehrlich, PR; Daily, GC; Deniz, A; Goehring, D; Sandí, RF. 2002. Disappearance of insectivorous birds from tropical forest fragments. *PNAS* 99: (1) 263–267.
- Sekercioglu, CH. 2007. Conservation ecology: Area trumps mobility in fragment bird extinctions. *Current Biology* 17(8).
- Tejeda-Cruz, C; Sutherland, W. 2004. Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation* 7(2):169–179.
- Tejeda-Cruz, C; Gordon, CE. 2008. Aves (149–160 págs) en Manson, RH; Hernández-Ortíz, V; Gallina, S; Mehlreter, K, editores. *Agrosistemas cafetaleros de Veracruz, biodiversidad, manejo y*

- conservación. Instituto de Ecología A.C (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMAR-NAT), México, 348 p.
- Thiollay, JM. 1992. Influence of Selective Logging on Bird Species Diversity in Guianan Rain Forest. *Conservation Biology* 6 (1): 47–63.
- Uezu, A; Metzger, J; Vielliard, J. 2005. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. *Biological Conservation* 123(4):507–519.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Salud). 2007. Programa hombre y la biosfera (MAB): Ficha técnica de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec, El Salvador. Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Consultado en noviembre 2012. Disponible en [www.marn.gob.sv](http://www.marn.gob.sv).
- Waltert, M; Mardiatuti, A; Mühlenberg, M. 2004. Effects of Land Use on Bird Species Richness in Sulawesi, Indonesia. *Conservation Biology* 18: 1339–1346.
- Wunderle, J. 1994. Métodos para contar aves terrestres del caribe. United States Department of Agriculture-Forest Service. USA. New Orleans, Louisiana. 28 p.
- Wunderle, J; Latta, S. 1996. Avian abundance in sun and shade coffee plantations and remnant pine forest in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Ornitología Neotropical* 7:19–34.
- Wunderle, J; Latta, SC. 1998. Avian resource use in dominican shade coffee plantations. *Wilson Bulletin* 110(2):271–281.
- Wunderle, JM; Latta, SC. 2000. Winter site fidelity of Nearctic migrants in shade coffee plantations of different sizes in the Dominican Republic. *The Auk* 117(3):596–614.
- Yee, TW. 2004. A new technique for maximum-likelihood canonical gaussian ordination. *Ecological Monographs* 74(4): 685–701.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Datos generales de los 21 sitios muestreados en la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec y sus alrededores.

Nombre del sitio	Tipología	Tamaño (ha)	Coordenadas		Altitud (msnm)
			Norte	Oeste	
Santa Rosa	Café Simplificado	30	13.9081	-89.6024	1089
San Alberto	Café Simplificado	12	13.9011	-89.6018	1149
Tres Caminos	Café Simplificado	68	13.9120	-89.6059	1056
El 98 I	Café Simplificado	38	13.8527	-89.7256	1053
El 98 II	Café Simplificado	38	13.8458	-89.7267	1052
San José-El Porvenir	Café Simplificado	49	13.8405	-89.7237	1039
Tequendamas	Café Simplificado	52	13.8148	-89.8140	1002
Las Isabellas I	Café Simplificado	105	13.8046	-89.8029	871
Las Isabellas II	Café Simplificado	87	13.8139	-89.8043	1026
Los Cerritos	Café Simplificado	10	13.8646	-89.8553	1323
Las Piedras	Café Simplificado	52	13.8625	-89.7317	1118
Lictoria	Café Simplificado	38	13.8421	-89.7526	1048
Santa Isabel	Café Simplificado	31	13.9167	-89.5712	929
San Silvestre	Café Diverso	35	13.8048	-89.5695	922
San Isidro B	Café Diverso	103	13.7933	-89.5681	826
Santo Tomás A	Café Diverso	133	13.7938	-89.5828	887
Las Marías B	Café Diverso	126	13.7875	-89.5969	935
ACOPRA-Las Lajas	Café Diverso	149	13.8170	-89.5489	877
PB Las Lajas	Parches de Bosque	761	13.8288	-89.5698	1043
PB La Presa	Parches de Bosque	1186	13.8301	-89.5107	689
PB Las Isabellas	Parches de Bosque	63	13.8185	-89.8061	1090

Anexo 2. Especies de árboles e individuos en cada tipo de hábitat: Café Simplificado (CS), Café Diverso (CD) y Parche de Bosques (PB), ordenadas alfabéticamente por familia.

Familia	Género	Especie	Nombre común	CS	CD	PB
Agavaceae	<i>Yucca</i>	<i>filifera</i>	Izote	18	1	0
Amaranthaceae	<i>Iresine</i>	<i>arbuscula</i>	Coyuntura	0	0	3
Anacardiaceae	<i>Astroniun</i>	<i>graveolens</i>	Ron-ron	0	1	10
Anacardiaceae	<i>Mangifera</i>	<i>indica</i>	Mango	4	1	3
Anacardiaceae	<i>Spondias</i>	<i>radlkoferi</i>	Jocote Jobo	0	0	2
Anacardiaceae	<i>Spondias</i>	<i>sp.</i>	Jocote	0	1	2
Annonaceae	<i>Annona</i>	<i>purpurea</i>	Chulumuyo	0	1	2
Annonaceae	<i>Sapranthus</i>	<i>violaceus</i>	Sin Nombre	0	0	10
Apocynaceae	<i>Alstonia</i>	<i>pittieri</i>	Sin Nombre	0	0	20
Apocynaceae	<i>Thevetia</i>	<i>plumeriafolia</i>	Chilindrón	0	0	1
Araliaceae	<i>Dendropanax</i>	<i>arboreus</i>	Mano de León	0	2	7
Araliaceae	<i>Oreopanax</i>	<i>xalapensis</i>	Sin Nombre	0	0	13
Asparagaceae	<i>Dracaena</i>	<i>frangrans</i> <i>grande var.</i>	Izote Extranjero	1	0	0
Asteraceae	<i>Perymenium</i>	<i>grande</i>	Sin Nombre	0	0	1

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>CS</b>	<b>CD</b>	<b>PB</b>
Asteraceae	<i>Vernonia</i>	<i>patens</i>	Suquinay	2	1	0
Betulaceae	<i>Carpinus</i>	<i>caroliniana</i>	Duraznillo	2	0	8
Bignoniaceae	<i>Spathodea</i>	<i>campanulata</i>	Llama del Bosque	1	1	0
Bignoniaceae	<i>Tabebuia</i>	<i>chrysantha</i>	Cortéz Blanco	0	1	3
Bignoniaceae	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i>	Maquilishuat	2	0	0
Bombacaceae	<i>Ceiba</i>	<i>aesculifolia</i>	Ceibillo	0	0	2
Bombacaceae	<i>Pseudobombax</i>	<i>ellipticum</i>	Chilo	0	0	5
Boraginaceae	<i>Cordia</i>	<i>alliodora</i>	Laurel	38	11	4
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>simaruba</i>	Indio Desnudo	0	0	1
Caesalpinaceae	<i>Poepigia</i>	<i>procera</i>	Memble	0	0	1
Calophyllaceae	<i>Calophyllum</i>	<i>brasiliense</i>	Marillo	0	0	14
Cannabaceae	<i>Trema</i>	<i>micrantha</i>	Capulín	3	2	0
Capparaceae	<i>Capparis</i>	<i>sp.</i>	Guacoco	0	3	3
Cecropiaceae	<i>Cecropia</i>	<i>pentandra</i>	Guarumo	0	0	6
Clusiaceae	<i>Clusia</i>	<i>guatemalensis</i>	Cacao de montaña	0	0	1
Clusiaceae	<i>Garcinia</i>	<i>intermedia</i>	Chaparrón	0	0	16
Combretaceae	<i>Terminalia</i>	<i>oblonga</i>	Volador	3	9	3
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>arborescens</i>	Siete Camisas	0	0	1
Desconocido	<i>Indeterminado</i>	<i>Indeterminado</i>	Sin Nombre	4	2	46
Ebenaceae	<i>Diospyros</i>	<i>sp.</i>	Cachilahuaca	0	0	4
Euphorbiaceae	<i>Cnidioscolus</i>	<i>sp.</i>	Mala mujer	0	0	1
Euphorbiaceae	<i>Croton</i>	<i>reflexifolius</i>	Copalchi	6	4	15
Euphorbiaceae	<i>Omphalea</i>	<i>oleifera</i>	Tambor	0	0	3
Euphorbiaceae	<i>Ricinus</i>	<i>communis</i>	Higuero	4	0	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Acacia</i>	<i>angustissima</i>	Guajillo	0	1	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Acacia</i>	<i>glomerosa</i>	Sin Nombre	0	0	1
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Acrocarpus</i>	<i>fraxinifolius</i>	Cedro Mundani	31	0	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Albizia</i>	<i>carbonaria</i>	Albicie	1	0	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Andira</i>	<i>inermis</i>	Almendro de río	0	1	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Dussia</i>	<i>cuscatlanica</i>	Sin Nombre	0	0	2
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Erythrina</i>	<i>berteroana</i>	Pito	0	0	1
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Gliricidia</i>	<i>sepium</i>	Madre Cacao	3	4	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Inga</i>	<i>punctata</i>	Guamito	148	1	7
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Inga</i>	<i>pavovinia</i>	Cujín	4	0	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Inga</i>	<i>oerstediana</i>	Pepeto Peludo	108	4	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Inga</i>	<i>sapindoides</i>	Nacapiro	0	1	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Inga</i>	<i>sp.</i>	Sin Nombre	8	0	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Inga</i>	<i>vera</i>	Pepeto de rio	28	10	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Lonchocarpus</i>	<i>acuminatus</i>	Chaperno Blanco	0	7	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Lonchocarpus</i>	<i>minimiflorus</i>	Chaperno Negro	0	6	14
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Lonchocarpus</i>	<i>salvadorensis</i>	Cincho	0	2	0
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Lonchocarpus</i>	<i>sp.</i>	Sin Nombre	0	0	23
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Myroxylon</i>	<i>balsamun</i>	Bálsamo	1	0	0

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>CS</b>	<b>CD</b>	<b>PB</b>
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Quercus</i>	<i>skinneri</i>	Roble	0	0	23
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Stemmadenia</i>	<i>obovata</i>	Cojón de Puerco	0	2	4
Fabaceae/Mimosaceae	<i>Ximenia</i>	<i>americana</i>	Pepenance	0	1	4
Junglandaceae	<i>Junglans</i>	<i>sp.</i>	Nogal	4	0	0
Lamiaceae	<i>Cornutia</i>	<i>pyramidata</i>	Sin Nombre	0	1	0
Lauraceae	<i>Ocotea</i>	<i>heydeana</i>	Trompillo	4	1	4
Lauraceae	<i>Ocotea</i>	<i>veraguensis</i>	Zorrillo	0	1	4
Lauraceae	<i>Persea</i>	<i>americana</i>	Aguacate	4	0	0
Malpighiaceae	<i>Indeterminado</i>	<i>Indeterminado</i>	Sin Nombre	0	0	3
Melastomataceae	<i>Conostegia</i>	<i>xalapensis</i>	Cirím	1	0	0
Meliaceae	<i>Cedrela</i>	<i>odorata</i>	Cedro	4	0	2
Meliaceae	<i>Swietenia</i>	<i>humilis</i>	Caoba	1	0	0
Meliaceae	<i>Trichilia</i>	<i>hirta</i>	Cabo de hacha	0	0	8
Meliaceae	<i>Trichilia</i>	<i>martiana</i>	Limoncillo	7	1	5
Meliaceae	<i>Trichilia</i>	<i>pallida</i>	Sin Nombre	0	2	0
Meliaceae	<i>Trichilia</i>	<i>sp.</i>	Sin Nombre	0	0	2
Meliaceae	<i>Trichilia</i>	<i>trifolia</i>	Barretero	0	0	2
Mimosoideae	<i>Acacia</i>	<i>polyphylla</i>	Zarso	0	0	10
Moraceae	<i>Brosimum</i>	<i>alicastrum</i>	Ojushte	1	7	126
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>goldmani</i>	Palo de Amate	0	1	0
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>ovalis</i>	Matapalo	0	1	0
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>pertusa</i>	Amatillo	0	1	0
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>sp.</i>	Amate	8	0	3
Moraceae	<i>Maclura</i>	<i>tinctoria</i>	Mora	0	0	9
Myrsinaceae	<i>Rapanea</i>	<i>myricoides</i>	Tisonia	0	0	2
Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i>	<i>deglupta</i>	Eucalipto	1	4	0
Myrtaceae	<i>Eugenia</i>	<i>sp.</i>	Guacoco	0	1	1
Myrtaceae	<i>Pimenta</i>	<i>dioica</i>	Pimiento	1	4	6
Myrtaceae	<i>Psidium</i>	<i>guajava</i>	Guayabo	8	1	0
Myrtaceae	<i>Psidium</i>	<i>molle</i>	Guayabillo	0	0	2
Myrtaceae	<i>Syzygium</i>	<i>jambos</i>	Manzano	1	0	6
Onagraceae	<i>Hauya</i>	<i>sp.</i>	Culebro	0	0	2
Papilionoideae	<i>Diphysa</i>	<i>robinioides</i>	Guachipilin	4	0	0
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>sp.</i>	Pino	21	0	0
Polygonaceae	<i>Coccoloba</i>	<i>sp.</i>	Sin Nombre	0	0	1
Polygonaceae	<i>Triplaris</i>	<i>melaenodendron</i>	Canilla de mula	0	0	1
Proteaceae	<i>Karwinskia</i>	<i>calderonii</i>	Huilihuiste	0	1	0
Proteaceae	<i>Roupala</i>	<i>bras.</i>	Sin Nombre	0	0	1
Rosaceae	<i>Prunus</i>	<i>brachybotrya</i>	Cerezo Silvestre	0	0	34
Rubiaceae	<i>Exostema</i>	<i>mexicanum</i>	Quina	0	0	4
Rubiaceae	<i>Faramea</i>	<i>occidentalis</i>	Cafecillo	0	0	18
Rubiaceae	<i>Pogonopus</i>	<i>speciosus</i>	Chorcha de Pava	0	0	2
Rubiaceae	<i>Psychotria</i>	<i>pubescens</i>	Sin Nombre	0	0	1



<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>CS</b>	<b>CD</b>	<b>PB</b>
Rubiaceae	<i>Randia</i>	<i>armata</i>	Crucito	0	0	8
Rutaceae	<i>Casimiroa</i>	<i>sapota</i>	Sin Nombre	0	0	1
Rutaceae	<i>Citrus</i>	<i>limetta</i>	Lima	0	1	0
Rutaceae	<i>Citrus</i>	<i>sinensis</i>	Naranja	4	0	0
Rutaceae	<i>Citrus</i>	<i>sp.</i>	Limón-mandarín	2	0	0
Salicaceae	<i>Casearia</i>	<i>sylvestris</i>	Sombra de Armado	0	0	5
Sapindaceae	<i>Indeterminado</i>	<i>Indeterminado</i>	Sin Nombre	0	0	1
Sapindaceae	<i>Sapindus</i>	<i>saponaria</i>	Pacún	0	1	0
Sapindaceae	<i>Thouinidium</i>	<i>decandrum</i>	Armadillo	0	6	0
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum</i>	<i>cainito</i>	Caimito	0	0	3
Sapotaceae	<i>Manilkara</i>	<i>zapota</i>	Níspero	2	0	0
Sapotaceae	<i>Sideroxylon</i>	<i>capiri</i>	Tempisque	0	4	3
Simaroubaceae	<i>Alvaradoa</i>	<i>amorphoides</i>	Plumajillo	0	0	3
Simaroubaceae	<i>Simaruba</i>	<i>glauca</i>	Aceituno	0	0	1
Solanaceae	<i>Indeterminado</i>	<i>Indeterminado</i>	Sin Nombre	1	0	3
Solanaceae	<i>Solanum</i>	<i>hazenii</i>	Tapalayote	5	3	0
Sterculiaceae	<i>Guazuma</i>	<i>ulmifolia</i>	Caulote/tapaculo	0	1	0
Styracaceae	<i>Styrax</i>	<i>argenteus</i>	Estoraque	0	0	12
Ulmaceae	<i>Aphananthe</i>	<i>monoica</i>	Sisimite	0	0	4
Urticaceae	<i>Ureca</i>	<i>baccifera</i>	Chichicaste de montaña	0	0	10

Anexo 3. Composición de la vegetación (1, 2 y 3) obtenida del análisis NMS para la separación de los grupos de hábitat (nombres científicos de las correspondientes abreviaciones se encuentran en anexo 4).

<b>Código</b>	<b>Comp. 1</b>	<b>Comp. 2</b>	<b>Comp. 3</b>
DENDAR	-0.2	0.05	-0.18
INGAOE	0.53	-0.47	0.11
THOUDE	-0.17	-0.11	-0.04
BROSAL	-0.54	-0.06	-0.3
INGAVE	0.07	-0.21	0.03
LONCAC	-0.13	0.08	-0.01
TERMOB	-0.32	-0.18	0.21
TREMMI	0	-0.05	-0.05
ASTRGR	-0.49	-0.02	-0.34
CAPPSP	-0.26	-0.06	-0.1
CORDAL	0.11	0.43	0.4
GUAZUL	-0.08	0	0.09
SIDeca	-0.31	0.02	-0.14
SOLAHA	0.02	-0.12	0.03
INGASA	-0.11	0.01	-0.05
LONcMI	-0.49	0.06	-0.34
PIMEDI	-0.25	0.29	-0.2
KARWCA	-0.09	-0.07	-0.06
DESC1	-0.51	-0.02	-0.37
FICUPE	-0.06	0.02	-0.15
GLIRSE	0.03	0.1	-0.17

STEMOB	-0.24	-0.07	-0.07
TRICMA	-0.01	0.06	-0.21
CROTRE	0.01	0.14	0.02
INGAPU	0.48	0.31	-0.24
CORNPY	0.01	-0.03	0.1
FICUOV	0.01	-0.03	0.1
OCOTHE	-0.12	-0.01	-0.21
PSIDGU	0.09	0.05	-0.05
ANNOPU	-0.14	0.13	-0.02
SPONSP	-0.23	-0.09	0.02
LONCSA	-0.03	-0.12	0
SAPISA	-0.03	-0.12	0
ACACAN	-0.11	-0.08	0.16
FICUGO	-0.11	-0.08	0.16
VERNPA	0	0.03	0.03
ANDIIN	0.03	-0.16	-0.04
CITRLI	-0.15	-0.07	0.06
OCOTVE	-0.38	-0.1	-0.22
SPATCA	-0.06	0.04	0.05
TRICPA	-0.15	-0.07	0.06
XIMEAM	-0.27	-0.08	-0.3
ACROFR	0.1	0.13	0.43
PINUSP	0.01	0.11	0.34
FICU	0.04	0.11	0.1
MANIZA	0.07	0.12	-0.04
YUCCFI	0.2	0.05	0.18
DIPHRO	0.14	0.09	0.16
RICICO	0.06	-0.13	0.25
SOLA	-0.11	0.13	-0.08
TRICTR	-0.13	-0.03	-0.11
CARPCA	-0.15	0.23	-0.05
FICUSP	-0.01	0.27	-0.03
CITRSI	0.14	0.11	0.01
CONOXA	0.06	0.16	0.02
MANGIN	-0.02	0.3	-0.13
PERSAM	0.14	0.04	-0.2
BAMB	0.1	0.01	-0.01
SYZYJA	-0.11	0.25	-0.09
CITRSP	0.14	-0.02	0.05
JUNGSP	0.19	-0.12	-0.04
ALBICA	0.06	0.12	-0.14
CEDROD	-0.06	-0.2	-0.05
INGAPA	0.14	-0.16	0.06
DRACFR	0.12	-0.01	-0.06
SWIEHU	0.12	-0.01	-0.06
EUCADE	-0.13	0.13	0.32
TABECH	-0.23	0.11	-0.13
EUGESP	-0.1	0.24	-0.01
DESC2	-0.27	0.09	-0.3
DESC3	-0.05	0.11	-0.16
MYROBA	0	-0.03	0.01
TABERO	0.06	-0.08	-0.09
INGASP	0.14	-0.14	0.17
FARAOC	-0.29	0.05	-0.27
HAUYSP	-0.24	-0.03	-0.22

PRUNBR	-0.45	0.21	-0.36
PSEUEL	-0.27	-0.02	-0.21
SPONRA	-0.24	0.03	-0.24
TRIPME	-0.18	0.01	-0.14
URERBA	-0.39	-0.02	-0.25
BURSSI	-0.17	-0.07	-0.12
CECRPE	-0.35	-0.08	-0.2
CEIBAE	-0.17	0.08	-0.11
TRICHI	-0.48	-0.08	-0.23
CASESY	-0.27	-0.03	-0.28
MACLTI	-0.4	-0.14	-0.17
ACACPO	-0.38	-0.08	-0.2
APHAMO	-0.21	0.01	-0.21
EXOSME	-0.31	-0.02	-0.15
ACACGL	-0.19	0.02	-0.06
CALOBR	-0.25	0.3	-0.19
IPOMAR	-0.19	0.02	-0.06
POEPPR	-0.19	0.02	-0.06
PSIDMO	-0.19	0.02	-0.06
RAPAMY	-0.19	0.02	-0.06
SIMAGL	-0.19	0.02	-0.06
ALSTPI	-0.15	0.29	-0.08
CHRYCA	-0.09	0.23	-0.09
COCCSP	-0.07	0.15	-0.12
DESC4	-0.1	0.24	-0.12
DESC5	-0.07	0.15	-0.12
DESC6	-0.07	0.15	-0.12
DESC7	-0.07	0.15	-0.12
DIOSSP	-0.07	0.15	-0.12
LONCSP	-0.14	0.3	-0.09
OMPHOL	-0.07	0.15	-0.12
OREOXA	-0.13	0.21	-0.15
PERYGR	-0.07	0.15	-0.12
QUERSK	-0.23	0.31	-0.15
SAPRVI	-0.14	0.29	-0.09
STYRAR	-0.12	0.23	-0.14
CASISA	-0.16	0.13	-0.12
CLUSGU	-0.16	0.13	-0.12
DESC10	-0.17	0.22	-0.07
DESC8	-0.16	0.13	-0.12
DESC9	-0.16	0.13	-0.12
DUSSCU	-0.16	0.13	-0.12
GARCIN	-0.16	0.13	-0.12
ROUPMO	-0.16	0.13	-0.12
DESC11	-0.13	0.19	-0.03
ERYTBE	-0.13	0.19	-0.03
MALP	-0.11	0.25	-0.05
SAPI	-0.13	0.19	-0.03
DESC12	-0.07	0.18	-0.04
DESC13	-0.07	0.18	-0.04
DESC14	-0.07	0.18	-0.04
DESC15	-0.07	0.18	-0.04
DESC16	-0.07	0.18	-0.04
DESC17	-0.07	0.18	-0.04
DESC18	-0.07	0.18	-0.04

DESC19	-0.07	0.18	-0.04
DESC20	-0.07	0.18	-0.04
PSYCPU	-0.07	0.18	-0.04
TRICSP	-0.07	0.18	-0.04
ALVAAM	-0.24	0.06	-0.15
THEVPL	-0.17	0.03	-0.11
RANDAR	-0.32	-0.11	-0.14
IRESAR	-0.25	0	-0.13
POGOSP	-0.24	0.06	-0.22
CNIDSP	-0.16	0.03	-0.19

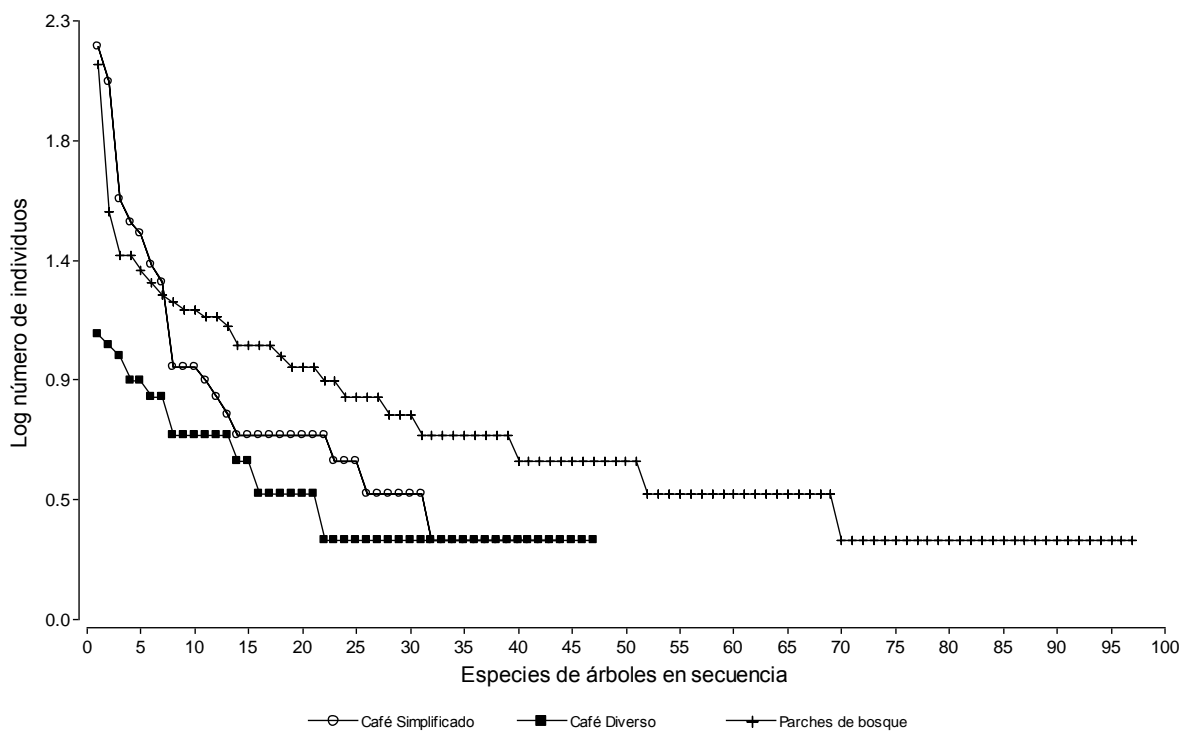
Anexo 4. Lista de las especies arbóreas con sus nombres científicos, nombre común, familia y código. Estas están ordenadas alfabéticamente por el nombre científico.

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Código</b>	<b>Nombre común</b>
Fabaceae/Mimosaceae	Acacia	angustissima	ACACAN	Guajillo
Mimosoideae	Acacia	polyphylla	ACACPO	Zarso
Fabaceae	Acacia	glomerosa	ACACGL	Sin Nombre
Fabaceae/Mimosaceae	Acrocarpus	fraxinifolius	ACROFR	Cedro Mundani
Fabaceae/Mimosaceae	Albizia	carbonaria	ALBICA	Albicie
Apocynaceae	Alstonia	pittieri	ALSTPI	Sin Nombre
Fabaceae	Andira	inermis	ANDIIN	Almendro de río
Annonaceae	Annona	purpurea	ANNOPU	Chulumuyo
Ulmaceae	Aphananthe	monoica	APHAMO	Sisimite
Anacardiaceae	Astroniun	graveolens	ASTRGR	Ron-ron
Moraceae	Brosimum	alicastrum	BROSAL	Ojushte
Burseraceae	Bursera	simaruba	BURSSI	Indio Desnudo
Calophyllaceae	Calophyllum	brasiliense	CALOBR	Marillo
Capparaceae	Capparis	sp.	CAPPSP	Guacoco
Betulaceae	Carpinus	caroliniana	CARPCA	Duraznillo
Rutaceae	Casimiroa	sapota	CASISA	Sin Nombre
Cecropiaceae	Cecropia	pentandra	CECRPE	Guarumo
Meliaceae	Cedrela	odorata	CEDROD	Cedro
Bombacaceae	Ceiba	aesculifolia	CEIBAE	Ceibillo
Sapotaceae	Chrysophyllum	cainito	CHRYCA	Caimito
Rutaceae	Citrus	limetta	CITRLI	Lima
Rutaceae	Citrus	sinensis	CITRSI	Naranja
Rutaceae	Citrus	sp.	CITRSP	Limón-mandarín
Polygonaceae	Coccoloba	sp.	COCCSP	Sin Nombre
Melastomataceae	Conostegia	xalapensis	CONOXA	Cirím
Boraginaceae	Cordia	alliodora	CORDAL	Laurel
Lamiaceae	Cornutia	pyramidata	CORNPY	Sin Nombre
Euphorbiaceae	Croton	reflexifolius	CROTRE	Copalchi
Araliaceae	Dendropanax	arboreus	DENDAR	Mano de León
Ebenaceae	Diospyros	sp.	DIOSSP	Cachilahuaca
Papilionoideae	Diphysa	robinoides	DIPHRO	Guachipilin
Asparagaceae	Dracaena	frangrans	DRACFR	Izote Extrajero
Fabaceae	Dussia	cuscatlanica	DUSSCU	Sin Nombre
Fabaceae	Erythrina	berteroana	ERYTBE	Pito
Myrtaceae	Eucalyptus	deglupta	EUCADE	Eucalipto
Myrtaceae	Eugenia	sp.	EUGESP	Guacoco
Rubiaceae	Exostema	mexicanum	EXOSME	Quina

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Código</b>	<b>Nombre común</b>
Rubiaceae	Faramea	occidentalis	FARAOC	Cafecillo
Moraceae	Ficus	sp.	FICUSP	Amate
Moraceae	Ficus	ovalis	FICUOV	Matapalo
Moraceae	Ficus	pertusa	FICUPE	Amatillo
Clusiaceae	Garcinia	intermedia	GARCIN	Chaparrón
Fabaceae/Mimosaceae	Gliricidia	sepium	GLIRSE	Madre Cacao
Sterculiaceae	Guazuma	ulmifolia	GUAZUL	Caulote/tapaculo
Onagraceae	Hauya	sp.	HAUYSP	Culebro
Fabaceae/Mimosaceae	Inga	oerstediana	INGAPU	Pepeto Peludo
Fabaceae/Mimosaceae	Inga	vera	INGAVE	Pepeto de rio
Fabaceae/Mimosaceae	Inga	punctata	INGALA	Guamito
Fabaceae/Mimosaceae	Inga	pavovinia	INGAPA	Cujín
Fabaceae/Mimosaceae	Inga	sapindoides	INGASA	Nacaspiro
Fabaceae/Mimosaceae	Inga	sp.	INGASP	Sin Nombre
Fabaceae/Mimosaceae	Inga	paterno	INGAPA	Paterno
Convolvulaceae	Ipomoea	arborescens	IPOMAR	Siete Camisas
Amaranthaceae	Iresine	arbuscula	IRESAR	Coyuntura
Junglandaceae	Junglans	sp.	JUNGSP	Nogal
Proteaceae	Karwinskia	calderonii	KARWCA	Huilihuiste
Fabaceae/Mimosaceae	Lonchocarpus	salvadorensis	LONCSA	Cincho
Fabaceae	Lonchocarpus	acuminatus	LONCAC	Chaperno Blanco
Fabaceae	Lonchocarpus	minimiflorus	LONCMI	Chaperno Negro
Anacardeaceae	Mangifera	indica	MANGIN	Mango
Sapotaceae	Manilkara	zapota	MANIZA	Níspero
Fabaceae/Mimosaceae	Myroxylon	balsamun	MYROBA	Bálsamo
Lauraceae	Ocotea	heydeana	OCOTHE	Trompillo
Lauraceae	Ocotea	veraguensis	OCOTVE	Zorrillo
Euphorbiaceae	Omphalea	oleifera	OMPHOL	Tambor
Lauraceae	Persea	americana	PERSAM	Aguacate
Asteraceae	Perymenium	grande var. grande	PERYGR	Sin Nombre
Myrtaceae	Pimenta	dioica	PIMEDI	Pimienta
Pinaceae	Pinus	sp.	PINUSP	Pino
Caesalpinaceae	Poeppigia	procera	POEPPR	Memble
Rubiaceae	Pogonopus	speciosus	POGOSP	Chorcha de Pava
Rosaceae	Prunus	brachybotrya	PRUNBR	Cerezo Silvestre
Bombacaceae	Pseudobombax	ellipticum	PSEUEL	Chilo
Myrtaceae	Psidium	guajava	PSIDGU	Guayabo
Myrtaceae	Psidium	molle	PSIDMO	Guayabillo
Rubiaceae	Psychotria	pubescens	PSYCPU	Sin Nombre
Fagaceae	Quercus	skinneri	QUERSK	Roble
Rubiaceae	Randia	armata	RANDAR	Crucito
Myrsinaceae	Rapanea	myricoides	RAPAMY	Tisonia
Euphorbiaceae	Ricinus	communis	RICICO	Higuero
Proteaceae	Roupala	brasiliensis	ROUPMO	Sin Nombre
Sapindaceae	Sapindus	saponaria	SAPISA	Pacún
Annonaceae	Sapranthus	violaceus	SAPRVI	Sin Nombre
Sapotaceae	Sideroxylon	capiri	SIDECA	Tempisque o Mano de león Negro
Simaroubaceae	Simaruba	glauca	SIMAGL	Aceituno
Solanaceae	Solanum	hazenii	SOLAHA	Tapalayote

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Código</b>	<b>Nombre común</b>
Bignoniaceae	Spathodea	campanulata	SPATCA	Llama del Bosque
Anacardeaceae	Spondias	sp.	SPONSP	Jocote
Fabaceae/Mimosaceae	Stemmadenia	obovata	STEMOB	Cojón de Puerco
Styracaceae	Styrax	argenteus	STYRAR	Estoraque
Meliaceae	Swietenia	humilis	SWIEHU	Caoba
Myrtaceae	Syzygium	jambos	SYZYJA	Manzano
Bignoniaceae	Tabebuia	chrysantha	TABECH	Cortéz Blanco
Bignoniaceae	Tabebuia	rosea	TABERO	Maquilishuat
Combretaceae	Terminalia	oblonga	TERMOB	Volador
Apocynaceae	Thevetia	plumeriafolia	THEVPL	Chilindrón
Sapindaceae	Thouinidium	decandrum	THOUDE	Armadillo
Cannabaceae	Trema	micrantha	TREMMI	Capulín
Meliaceae	Trichilia	sp.	TRICSP	Sin Nombre
Meliaceae	Trichilia	martiana	TRICMA	Limoncillo
Meliaceae	Trichilia	trifolia	TRICTR	Barretero
Meliaceae	Trichilia	hirta	TRICHI	Cabo de hacha
				Chichicaste de
Urticaceae	Urera	baccifera	URERBA	montaña
Asteraceae	Vernonia	patens	VERNPA	Suquinay
Fabaceae/Mimosaceae	Ximenea	americana	XIMEAM	Pepenance
Agavaceae	Yucca	filifera	YUCCFI	Izote
Solanaceae	Indeterminada		SOLANA	Alaice
				Cacao de montaña
Clusiaceae	Clusia	guatemalensis	CLUSGU	muestra
Annonaceae	Indeterminada		ANNONA	Indeterminada
Malpighiaceae	Indeterminada		MALPIGH	Indeterminada
Araliaceae	Oreopanax	xalapensis	OREOXA	Sin Nombre
Sapindaceae	Indeterminada		SAPIND	Indeterminada
Chrysobalanaceae	Indeterminada		CHRYSO	Indeterminada
				Mala mujer o
Euphorbiaceae	Cnidocolus	sp.	CNIDSP	chayito
Moraceae	Maclura	tinctoria	MACTI	Mora
Simaroubaceae	Alvarodoa	amorphoides	ALVAAM	Plumajillo
Salicaceae	Casearia	sylvestris	CASESY	Sombra de Armado
Polygonaceae	Triplaris	melaenodendron	TRIPME	Canilla de mula
Capparaceae	Capparis	sp.	CAPPSP	Capari
Fabaceae	Lochocarpus	sp.	LOCHSP	Sangre de Toro

Anexo 5. Curva rango-abundancia entre las especies de árboles y el logaritmo del número de individuos para cada uno de los tres grupos de hábitats muestreados.



Anexo 6. Especies y número de individuos por especies registradas en cada uno de los cafetales y parches de bosque muestreados en la Reserva de la Biosfera Apaneca – Ilamatepec en El Salvador y alrededores. Est=estacionalidad; G=granívoro; N=nectarívoro; I=insectívoro; F=frugívoro; C=carnívoro; O=omnívoro; GZA=generalista de zonas abiertas; GB=generalista de bosques; EB=especialista de bosques; R=residente; RM=residente y migratorio; V=visitante; VR=visitante-reproductor; T=transeúnte. PBL=parque de bosque Las Lajas; PBLP=parque de bosque La Presa; PBLI=parque de bosque Las Isabellas; SS=San Silvestre; SIB=San Isidro B; STA=Santo Tomás A; LMB=Las Marias B; ACOP-LL=Acopra-Las Lajas; SR=Santa Rosa; SA=San Alberto; TC=Tres Caminos; 98I=El 98 I; 98II=El 98 II; SJP=San Jose-El Porvenir; LI\_I=Las Isabellas I; LI\_II=Las Isabellas II; LC=Los Cerritos; LPD=Las Piedras; LIC=Lictoria y SI=Santa Isabel.

Especies	Gremio	Hábitat	Est	Parque de bosques			Café Diverso					Café Simplificado												
				PBL	PBLP	PBLI	SS	SIB	STA	LMB	ACOP-LL	SR	SA	TC	98 I	98 II	SJP	TQM	LI_I	LI_II	LC	LPD	LIC	SI
<i>Aimophila rufescens</i>	G	GZA	R	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amazilia beryllina</i>	N	GB	R	8	0	5	1	1	0	0	3	2	2	0	6	0	1	2	1	5	0	0	0	1
<i>Amazilia rutila</i>	N	GZA	R	1	1	0	1	2	2	0	4	4	2	5	0	1	3	0	0	0	0	2	1	4
<i>Amblycercus holosericeus</i>	I	EB	R	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Anthracothonax prevostii</i>	N	GB	RM	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Aratinga canicularis</i>	F	GB	R	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Archilochus colubris</i>	N	GB	V	0	0	0	2	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	F	EB	R	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Basileuterus culicivorus</i>	I	EB	R	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Basileuterus rufifrons</i>	I	GB	R	20	11	2	4	4	5	3	3	7	0	2	10	6	9	3	4	4	0	9	3	7
<i>Brotogeris jugularis</i>	F	GB	R	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Buteo magnirostris</i>	C	GB	R	0	0	0	0	3	3	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Buteo nitidus</i>	C	GB	R	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Calocitta formosa</i>	O	GB	R	0	0	0	1	2	0	2	0	2	0	4	3	5	0	0	0	1	6	0	0	
<i>Campylopterus hemileucurus</i>	N	GB	R	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Campylorhynchus rufinucha</i>	I	GB	R	2	0	0	9	2	2	1	5	2	2	4	1	4	1	5	2	2	6	4	4	
<i>Spinus psaltria</i>	G	GZA	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	1	0	2	0	5	0	0	
<i>Cathartes aura</i>	C	GZA	RM	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Catharus aurantiirostris</i>	I	EB	R	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	
<i>Catharus ustulatus</i>	F	GB	V	3	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
<i>Chiroxiphia linearis</i>	F	EB	R	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Chlorostilbon canivetii</i>	N	GB	R	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Columbina inca</i>	G	GZA	R	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Contopus cinereus</i>	I	GB	RM	1	0	0	4	1	0	0	2	0	2	1	0	2	0	2	1	1	0	0	4	
<i>Contopus cooperi</i>	I	GB	T	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	I	GZA	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
<i>Crypturellus cinnamomeus</i>	I	GB	R	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Cyanerpes cyaneus</i>	N	GB	R	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	
<i>Cyaonocorax melanocyaneus</i>	O	GB	R	4	4	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	



Especies	Gremio	Hábitat	Est	Parque de bosques			Café Diverso					Café Simplificado												
				PBLL	PBLP	PBLI	SS	SIB	STA	LMB	ACOP-LL	SR	SA	TC	98 I	98 II	SJP	TQM	LI_I	LI_II	LC	LPD	LIC	SI
<i>Cyanocompsa parrellina</i>	G	EB	R	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	I	GB	R	6	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Setophaga fusca</i>	I	GB	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Setophaga magnolia</i>	I	GB	V	0	3	0	1	0	3	1	1	1	1	4	2	0	0	0	1	3	1	0	1	
<i>Setophaga petechia</i>	I	GB	V	0	4	0	9	12	9	6	12	0	3	2	6	5	3	0	0	0	1	0	0	
<i>Setophaga virens</i>	I	GB	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	2	1	0	1	
<i>Dives dives</i>	I	GB	R	1	0	0	3	7	5	6	4	1	0	2	15	0	0	2	0	0	3	2	10	
<i>Empidonax flaviventris</i>	I	GB	V	3	0	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Empidonax minimus</i>	I	GB	V	6	5	0	6	6	7	5	6	3	2	1	1	1	2	0	2	0	0	1	1	
<i>Eumomota superciliosa</i>	O	GB	R	0	3	0	2	4	1	0	6	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	
<i>Euphonia affinis</i>	F	GB	R	0	10	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
<i>Euphonia hirundinacea</i>	F	EB	R	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	0	0	0	0	
<i>Euthlypis lachrymosa</i>	I	EB	R	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Geranospiza caerulescens</i>	C	GB	R	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Glaucidium brasilianum</i>	C	GB	R	0	0	0	1	0	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
<i>Grallaria guatemalensis</i>	I	EB	R	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Habia rubica</i>	F	EB	R	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Heliomaster sp</i>	N	GZA	R	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Hylophilus decurtatus</i>	I	EB	R	8	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Icterus galbula</i>	F	GB	V	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Icterus gularis</i>	F	GB	R	0	1	0	2	4	2	2	1	0	2	0	0	3	0	0	0	2	0	1	9	
<i>Icterus maculialatus</i>	F	EB	R	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Icterus pectoralis</i>	F	GB	R	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Icterus pustulatus</i>	F	GB	R	2	2	0	12	8	6	2	6	5	3	13	5	10	2	0	2	1	0	2	5	15
<i>Lepidocolaptes souleyetii</i>	I	EB	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
<i>Leptotila verreauxi</i>	G	GB	R	6	6	1	3	6	9	6	8	4	1	2	7	0	11	5	4	0	2	5	2	2
<i>Megarynchus pitangua</i>	I	GB	R	1	0	0	8	3	3	3	5	1	2	3	2	3	0	0	2	0	0	0	2	2
<i>Melanerpes aurifrons</i>	I	GB	R	0	0	0	4	3	2	2	3	1	1	0	3	5	2	0	3	0	1	1	3	4
<i>Melospiza leucotis</i>	G	EB	R	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Micrastur semitorquatus</i>	C	GB	R	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mniotilta varia</i>	I	GB	V	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Molothrus aeneus</i>	G	GB	R	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	1	3	2	3
<i>Momotus momota</i>	O	GB	R	11	1	7	6	1	3	5	4	2	2	1	4	5	3	3	3	4	8	10	5	2
<i>Myiarchus crinitus</i>	I	GB	V	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myiodynastes luteiventris</i>	I	GB	VR	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
<i>Myiozetetes similis</i>	I	GB	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1
<i>Myiarchus tuberculifer</i>	I	GB	R	4	3	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	2	0	1	1	0	0	0	0
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	I	GB	V	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myiopagis viridicata</i>	I	EB	R	4	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Especies	Gremio	Hábitat	Est	Parche de bosques			Café Diverso					Café Simplificado											
				PBLL	PBLP	PBLI	SS	SIB	STA	LMB	ACOP-LL	SR	SA	TC	98 I	98 II	SJP	TQM	LI_I	LI_II	LC	LPD	LIC
<i>Oncostoma cinereigulare</i>	I	EB	R	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pachyramphus aglaiae</i>	F	GB	R	1	0	0	12	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Passerina caerulea</i>	G	GZA	RM	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Passerina ciris</i>	G	GZA	V	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Passerina cyanea</i>	G	GZA	V	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Patagioenas flavirostris</i>	G	GB	R	6	13	2	6	2	5	7	7	3	0	1	4	0	2	5	0	1	1	0	7
<i>Pheucticus ludovicianus</i>	F	GB	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Piaya cayana</i>	I	GB	R	1	1	1	0	1	0	0	2	0	1	0	2	0	0	2	0	0	3	0	3
<i>Colaptes rubiginosus</i>	I	GB	R	1	1	0	6	2	1	2	1	0	1	1	1	1	0	0	2	0	1	1	0
<i>Piranga ludoviciana</i>	F	GB	V	2	0	2	4	3	2	2	1	0	0	0	1	1	0	1	3	7	0	0	2
<i>Piranga rubra</i>	F	GB	V	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pitangus sulphuratus</i>	I	GZA	R	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quiscalus mexicanus</i>	O	GZA	R	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	4	0	2
<i>Ramphocaenus melanurus</i>	I	EB	R	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Saltator atriceps</i>	F	GB	R	7	6	1	12	4	5	3	6	2	0	5	6	3	4	0	5	0	2	9	8
<i>Saltator coerulescens</i>	F	GB	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Setophaga ruticilla</i>	I	GB	V	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thraupis abbas</i>	F	GB	R	4	1	0	8	3	2	1	1	0	1	1	1	7	1	6	1	1	1	0	3
<i>Thraupis episcopus</i>	F	GB	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Pheugopedius maculipectus</i>	I	GB	R	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	1	0	0	0
<i>Cantorchilus modestus</i>	I	GB	R	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thryophilus rufalbus</i>	I	EB	R	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tiaris olivacea</i>	G	GZA	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	2	0	0	0
<i>Tityra semifasciata</i>	F	GB	R	3	1	0	5	8	2	3	2	1	2	0	14	0	0	0	2	0	1	0	2
<i>Tolmomyias sulphureus</i>	I	GB	R	5	5	0	2	4	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Troglodytes aedon</i>	I	GB	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	6	1	2	2	2	1	4	1
<i>Trogon elegans</i>	F	GB	R	3	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	0	0	0
<i>Trogon caligatus</i>	F	GB	R	4	1	1	2	1	1	2	0	1	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	1
<i>Turdus assimilis</i>	F	EB	R	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Turdus grayi</i>	O	GB	R	9	11	4	15	13	17	11	26	15	4	7	18	10	7	11	15	7	14	12	19
<i>Tyrannus verticalis</i>	I	GB	V	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oreothlypis peregrina</i>	I	GB	V	0	0	0	0	55	54	33	7	7	7	2	2	18	0	0	0	4	1	0	1
<i>Vireo flavoviridis</i>	O	GB	VR	0	0	2	8	0	12	2	0	0	0	0	6	6	6	17	17	17	1	0	6
<i>Vireo flavifrons</i>	I	GB	V	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vireo gilvus</i>	I	GB	V	5	3	0	3	0	4	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vireo olivaceus</i>	F	GB	V	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vireo solitarius</i>	I	GB	V	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cardellina pusilla</i>	I	GB	V	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	I	GB	R	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Especies	Gremio	Hábitat	Est	Parche de bosques			Café Diverso					Café Simplificado												
				PBLL	PBLP	PBLI	SS	SIB	STA	LMB	ACOP-LL	SR	SA	TC	98 I	98 II	SJP	TQM	LI_I	LI_II	LC	LPD	LIC	SI
<i>Zenaida asiatica</i>	G	GZA	RM	0	0	0	8	0	4	2	0	4	5	1	0	2	1	1	1	0	0	0	0	3
<i>Zimmerius vilissimus</i>	I	GB	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
			<i>Sp</i>	47	34	34	46	38	38	30	33	23	23	26	36	38	20	26	23	24	22	21	25	34
			<i>Indiv</i>	180	134	85	190	179	187	123	143	72	49	69	144	142	62	84	75	75	62	79	79	135

Anexo 7. Salidas en *InfoStat* de las regresiones en modelos lineales generales y mixtos de la relación de las características de la vegetación con la comunidad de aves: a) riqueza, b) abundancia y c) índice de diversidad de aves (Shannon).

**a) Resultados para el modelo: modelo riqueza de aves vs características de vegetación**

Variable dependiente: riqueza de aves

**Medidas de ajuste del modelo**

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0
102	604.15	671.10	-276.08	2.64	0.16

AIC y BIC menores implica mejor

**Pruebas de hipótesis marginales modelo.001\_S\_aves\_REML**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6.04	0.0158
S_arboles	1	19.27	<0.0001
I(S_arboles^2)	1	14.36	0.0003
CVAIt_Arb	1	34.62	<0.0001
IHV	1	19.27	<0.0001

**Pruebas de hipótesis secuenciales**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1442.19	<0.0001
S_arboles	1	37.98	<0.0001
I(S_arboles^2)	1	25.75	<0.0001
CVAIt_Arb	1	49.47	<0.0001
IHV	1	19.27	<0.0001

**Efectos fijos**

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	1.80	0.73	2.46	0.0158
S_arboles	0.64	0.15	4.39	<0.0001
I(S_arboles^2)	-0.02	5.0E-03	-3.79	0.0003
CVAIt_Arb	0.08	0.01	5.88	<0.0001
IHV	2.20	0.50	4.39	<0.0001

**b) Resultados para el modelo: modelo abundancia de aves vs características de vegetación**

Variable dependiente: abundancia de aves

**Medidas de ajuste del modelo**

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
102	767.25	839.05	-355.63	5.64	0.07	0.20

AIC y BIC menores implica mejor

**Pruebas de hipótesis marginales modelo.005\_Indiv\_aves\_REML**

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	76	1.62	0.2068
S_arboles	1	76	11.01	0.0014
I(S_arboles^2)	1	76	5.93	0.0172
DAP_Media	1	76	4.96	0.0289
Altura_CV	1	76	22.96	<0.0001
IHV	1	76	5.31	0.0239

**Efectos fijos**

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	3.20	2.51	76	1.27	0.2068
S_arboles	1.05	0.32	76	3.32	0.0014
I(S_arboles^2)	-0.03	0.01	76	-2.44	0.0172
DAP_Media	0.05	0.02	76	2.23	0.0289
Altura_CV	0.11	0.02	76	4.79	<0.0001
IHV	2.57	1.11	76	2.31	0.0239

**c) Resultados para el modelo: modelo índice de diversidad de Shannon de aves versus características de vegetación**

Variable dependiente: Shannon\_aves

**Medidas de ajuste del modelo**

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1
102	149.13	218.64	-47.56	0.14	0.22	0.33

AIC y BIC menores implica mejor

**Pruebas de hipótesis marginales modelo.006\_Shannon\_aves\_REML**

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	77	193.23	<0.0001
S_arboles	1	77	28.56	<0.0001
I(S_arboles^2)	1	77	32.24	<0.0001
Altura_CV	1	77	22.23	<0.0001
IHV	1	77	5.07	0.0273

**Efectos fijos**

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	1.45	0.10	77	13.90	<0.0001
S_arboles	0.07	0.01	77	5.34	<0.0001
I(S_arboles^2)	-2.2E-03	3.8E-04	77	-5.68	<0.0001
Altura_CV	0.01	1.7E-03	77	4.71	<0.0001
IHV	0.13	0.06	77	2.25	0.0273

Anexo 8. Salidas en *InfoStat* de las regresiones en modelos lineales generales y mixtos de la relación de la comunidad de aves con el diámetro de copa en las dos tipologías de café

a) Resultados para el modelo: riqueza de aves versus diámetro de copa

Variable dependiente: *S\_aves*

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
85	477.97	487.65	-234.99	3.01	0.20	0.73

*AIC y BIC menores implica mejor*

Pruebas de hipótesis marginales modelo.003\_S\_aves\_REML

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	66	58.81	<0.0001
Dm copa CV	1	66	9.93	0.0024

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	66	153.71	<0.0001
Dm copa CV	1	66	9.93	0.0024

Efectos fijos

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	9.46	1.23	66	7.67	<0.0001
Dm copa CV	0.05	0.02	66	3.15	0.0024

b) Resultados para el modelo: abundancia de aves versus diámetro de copa

Variable dependiente: *Indiv\_aves*

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
85	646.06	696.86	-302.03	6.39	0.11	0.50

*AIC y BIC menores implica mejor*

Pruebas de hipótesis marginales modelo.006\_Indiv\_aves\_REML

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	66	41.24	<0.0001
Dm copa CV	1	66	10.51	0.0019

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	66	87.92	<0.0001
Dm copa CV	1	66	10.51	0.0019

### Efectos fijos

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	16.46	2.56	66	6.42	<0.0001
Dm copa CV	0.09	0.03	66	3.24	0.0019

### c) Resultados para el modelo: índice de diversidad versus diámetro de copa

Variable dependiente: Shannon\_aves

#### Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
85	113.97	164.77	-35.98	0.16	0.15	0.52

AIC y BIC menores implica mejor

#### Pruebas de hipótesis marginales modelo.010\_Shannon\_aves\_REML

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	66	434.55	<0.0001
Dm_copa_CV	1	66	17.73	0.0001

#### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	66	984.57	<0.0001
Dm copa CV	1	66	17.73	0.0001

### Efectos fijos

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	1.94	0.09	66	20.85	<0.0001
Dm copa CV	0.01	1.2E-03	66	4.21	0.0001

Anexo 9. Salidas en *InfoStat* de las regresiones en modelos lineales generales y mixtos de la relación de las características de manejo con la comunidad de aves: a) riqueza, b) abundancia y c) índice de diversidad de Shannon.

### a) Resultados para el modelo: índice de diversidad de aves versus características de manejo

Variable dependiente: S\_aves

#### Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
102	576.94	589.92	-283.47	3.19	0.32	0.68

AIC y BIC menores implica mejor

#### Pruebas de hipótesis marginales modelo.001\_S\_aves\_REML

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	79	98.32	<0.0001
Densidad_cafe	1	79	8.91	0.0038
AltMaleza	1	79	9.91	0.0023

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	79	274.16	<0.0001
Densidad_cafe	1	79	7.42	0.0080
AltMaleza	1	79	9.91	0.0023

### Efectos fijos

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	13.46	1.36	79	9.92	<0.0001
Densidad_cafe	-0.11	0.04	79	-2.98	0.0038
AltMaleza	0.11	0.03	79	3.15	0.0023

### b) Resultados para el modelo: abundancia de aves versus características de manejo

Variable dependiente: *Indiv\_aves*

### Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
102	764.77	829.65	-357.38	5.03	0.18	0.36

*AIC y BIC menores implica mejor*

### Pruebas de hipótesis marginales modelo.002\_Indiv\_aves\_REML

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	79	39.64	<0.0001
Prom_sombra	1	79	18.66	<0.0001
AltMaleza	1	79	9.51	0.0028

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	79	234.03	<0.0001
Prom_sombra	1	79	14.02	0.0003
AltMaleza	1	79	9.51	0.0028

### Efectos fijos

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	11.85	1.88	79	6.30	<0.0001
Prom_sombra	0.13	0.03	79	4.32	<0.0001
AltMaleza	0.16	0.05	79	3.08	0.0028

### c) Resultados para el modelo: índice de Shannon versus características del manejo

Variable dependiente: *Shannon\_aves*

### Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
102	141.46	206.34	-45.73	0.13	0.24	0.50



AIC y BIC menores implica mejor

**Pruebas de hipótesis marginales modelo.015\_Shannon\_aves\_REML**

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	79	606.85	<0.0001
Densidad_cafe	1	79	14.87	0.0002
Porc_herbaceas	1	79	3.96	0.0499

**Pruebas de hipótesis secuenciales**

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	79	1428.20	<0.0001
Densidad_cafe	1	79	11.82	0.0009
Porc_herbaceas	1	79	3.96	0.0499

**Efectos fijos**

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	2.55	0.10	79	24.63	<0.0001
Densidad_cafe	-0.01	3.3E-03	79	-3.86	0.0002
Porc_herbaceas	0.01	3.0E-03	79	1.99	0.0499

## **ARTÍCULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD FUNCIONAL DE AVES EN LOS CAFETALES Y PARCHES DE BOSQUE DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA APANECA-ILAMATEPEC Y SU RELACIÓN CON CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN**

### **RESUMEN**

La pérdida de bosque en los paisajes influye en la presencia o ausencia de tipos funcionales de aves que son claves en importantes procesos ecológicos y la provisión de los servicios ecosistémicos (polinización, dispersión de semillas, control de insectos, entre otros) para el bienestar de todos los organismos vivos incluyendo al ser humano. Los objetivos del presente artículo son: caracterizar los tipos funcionales de la comunidad de aves presentes en dos tipologías de café y parches de bosque de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec (RBAI) y evaluar la relación de los índices de diversidad funcional con las características de la vegetación en los sitios muestreados. Para esto se trabajó en dos tipologías de café diferentes en su composición florística de árboles de sombra y en parches de bosque, lo que correspondió a 13 cafetales simplificados, cinco cafetales diversos y tres parches de bosques. De las 109 especies de aves registradas en este estudio, se seleccionó un total de 79 especies que corresponden al orden passeriforme, como uno de los órdenes que alberga el mayor número de especies, familias y oportunidad de abarcar más tipos funcionales. Mediante la búsqueda en literatura publicada y solicitud de datos colectados en estaciones de anillamiento en Centroamérica (El Salvador, Nicaragua y Costa Rica), se seleccionaron características de las aves que se convirtieron en los rasgos funcionales de cada especie, como: peso, longitud de ala, dimensiones de pico (rasgos cuantitativos) y tipo de alimento de preferencia, hábitos de forrajeo en el estrato de vegetación y tipo de actividad social (si se mantienen en grupo o solitarios) (rasgos cualitativos). Estas características fueron útiles para la caracterización de la diversidad funcional mediante la formación de los tipos funcionales (TF) y los índices de diversidad funcional, tales como índice de riqueza funcional (FRic), índice de equidad funcional (FEve) e índice de divergencia funcional (FDiv). Se generaron seis TF, de los cuales, cuatro fueron significativamente diferentes en cuanto a los rasgos cuantitativos y se logró la separación de todos los grupos con información de rasgos cualitativos. En los parches de bosque fue donde se registró la mayor asociación de tipos funcionales (TF1, TF2, TF4 y TF5) con frecuencia de rasgos a nivel de especies, pero solamente dos tipos funcionales estuvieron asociados a los parches de bosque en cuanto a los rasgos a nivel de abundancia, como el grupo de aves insectívoras y frugívoras (TF3 y TF4, respectivamente). A diferencia de las fincas de café la frecuencia de rasgos por especie fue menor y la asociación de los rasgos a nivel de abundancia de TF estuvo compuesta por aves granívoras (TF1), omnívoras (TF6) y un grupo de insectívoras (TF5), indicando que la mayoría de TF asociados en estos sistemas agroforestales estuvo caracterizado por aves con hábitos alimenticios menos especializados, a excepción del TF5. Los índices de diversidad funcional como FRic, FEve y FDiv, mostraron una mayor relación con características de la complejidad vegetal. Los parches de bosque fue donde se obtuvo mayor asociación de TF con hábitos alimenticios especializados lo que sugiere que estos sitios están generando potenciales servicios ecosistémicos de dispersión de semilla, control biológico de plagas, polinización; mientras que en los cafetales principalmente en los dominados con una especie arbórea de sombra (*Inga spp.*) estos TF se ven menos representados. Se recomienda que en el paisaje de la RBAI se mantengan hábitats heterogéneos, promover la complejidad estructural en las fincas, conservar y/o aumentar las áreas boscosas, y realizar investigaciones a nivel de paisaje para conocer cómo influyen otros usos de suelo adyacentes en la asociación de los TF en los sitios muestreados.

**Palabras claves:** *café bajo sombra, conservación, diversidad funcional, rasgos funcionales, servicios ecosistémicos, sistemas agroforestales, tipos funcionales e índices de diversidad funcional.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La conversión de áreas boscosas a paisajes dominados por sistemas de producción agrícola, interrumpe el correcto funcionamiento de los ecosistemas (Fahrig 2003; Bennett 2004). Paisajes dominados por la producción agrícola en donde aún permanecen fragmentos de bosques, son el laboratorio perfecto para estudiar los efectos de estos cambios en las funciones y procesos ecológicos que dependen de la biodiversidad (Sodhi *et al.* 2011). La biodiversidad que aún persiste en estos paisajes es indispensable en la provisión de servicios ecosistémicos tales como dispersión de semillas, polinización, control biológico de plagas, entre otros (Van Bael *et al.* 2008; Sekercioglu *et al.* 2012). Diferentes características de estas especies determinarán su función o rol en estos ecosistemas haciendo las investigaciones no sólo importantes sino necesarias si se quiere encontrar un balance entre producción y conservación de biodiversidad en paisajes productivos.

Actualmente existe un creciente interés en investigar a mayor detalle sobre la diversidad funcional de las aves tanto en bosques como en agroecosistemas tropicales (Newbold *et al.* 2013). Esto se extiende en los agrosistemas con el fin de conocer de qué manera la matriz fuera de los bosques contribuye a las funciones ecológicas en el ecosistema y cómo se puede mejorar la calidad de esa matriz (Perfecto *et al.* 2007). La diversidad funcional representa las diferencias funcionales entre especies y mide el rango, distribución y abundancia de los valores de los rasgos de las especies en una comunidad (Tilman 2001). Los rasgos funcionales pueden ser tanto morfológicos, fenológicos o de comportamiento social (en el caso de animales) hasta características individuales. Mouchet *et al.* (2010), sugieren que los tres índices de funcionalidad que deben ser considerados son la riqueza funcional (FRic), equidad funcional (FEve) y la divergencia funcional (FDiv); ya que estos proveen información independiente en la distribución de las especies en el espacio de rasgo funcional, y a su vez han sido construidos para proveer información complementaria de la estructura de una comunidad biótica de interés (Mason *et al.* 2012).

Algunas investigaciones se han basado en los cambios de las comunidades de aves de acuerdo a las dinámicas de los paisajes. Sekercioglu (2012), basado en un análisis global de investigaciones sobre la ecología de las aves en diferentes regiones del mundo, menciona que en paisajes donde los bosques son reemplazados por sistemas agrícolas simplificados, resulta como consecuencia un cambio de una comunidad de aves menos especializada con alteradas proporciones de tipos funcionales. Este autor menciona que existe una considerable reducción de aves insectívoras fuera de los bosques y una alta proporción de aves frugívoras y nectarívoras en sistemas agroforestales comparado con sistemas agrícolas abiertos. La desproporción de tipos funcionales que puede estar dada también por diferentes arreglos espaciales en los paisajes (*p.e.* presencia o ausencia de remanentes de bosque) (Karp *et al.* 2013) requiere de mayor investigación en la comunidad de aves y los tipos funcionales existentes en los hábitats modificados (Sekercioglu 2012).

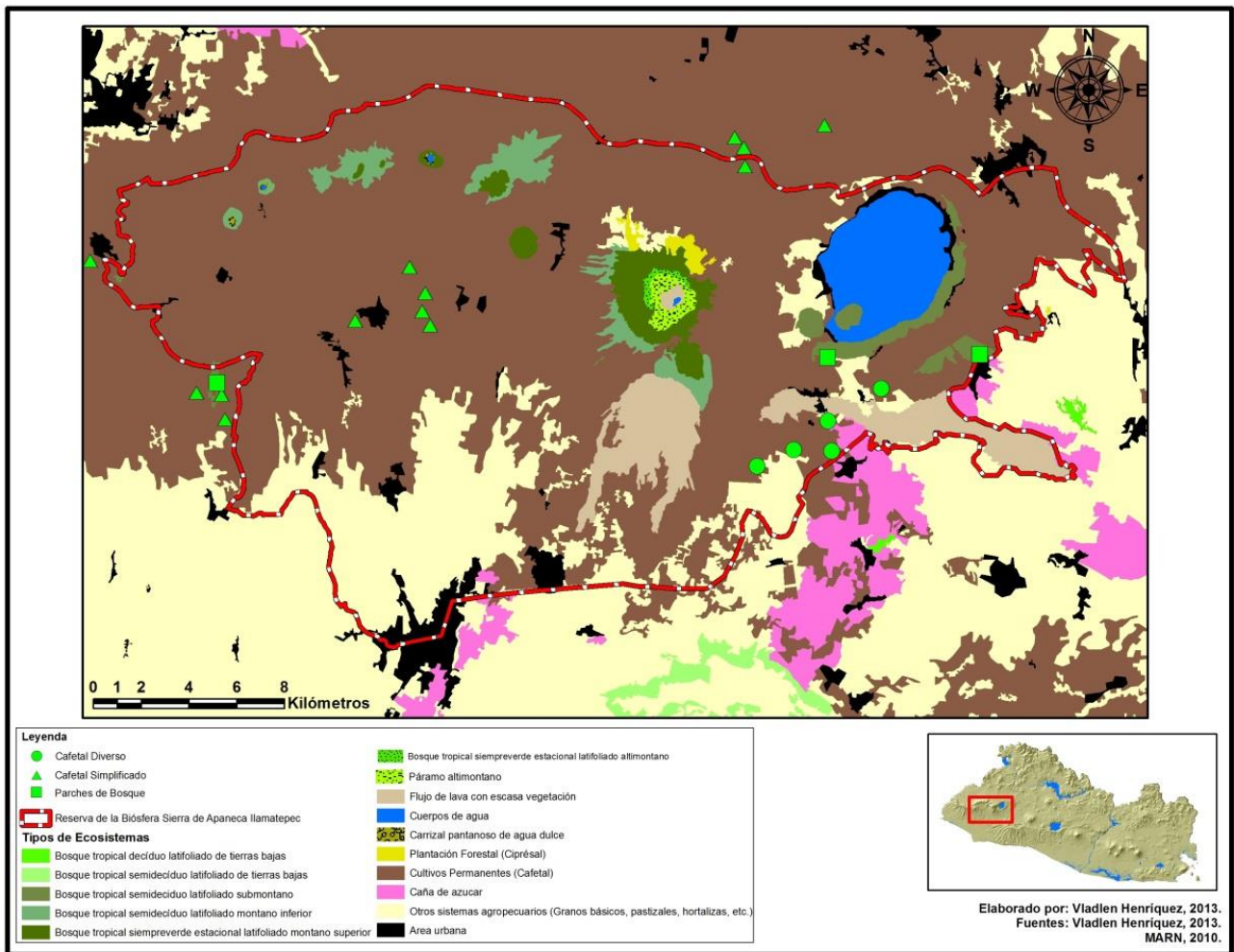
Con las constantes transformaciones en los paisajes, existe una necesidad de entender la diversidad funcional como una aproximación a la interacción entre organismos y ecosistemas.

Especialmente los procesos ecológicos generadores de los servicios ecosistémicos indispensables para el bienestar de todos los organismos vivos incluyendo al ser humano (MEA 2005). A pesar del creciente interés en investigar la relación de la diversidad funcional y el ambiente, este tipo de estudios aún son relativamente escasos, y en países como El Salvador requieren de mayor investigación. Por tal motivo, se propone en el presente estudio: 1) identificar y caracterizar los tipos funcionales de la comunidad de aves a partir de rasgos morfológicos y características cualitativas de la ecología de las aves, y 2) relacionar la diversidad funcional (FRic, FEve y FDiv) con las características de la vegetación en los sitios muestreados en la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec (RBAI) y sus alrededores en El Salvador.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudio**

El área de estudio está ubicada dentro de la Sierra de Apaneca, en la zona declarada como Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec (RBAI) y sus alrededores, en el occidente de El Salvador, entre los departamentos de Ahuachapán, Santa Ana y Sonsonate (Figura 1). La RBAI tiene un área aproximada de 59,056 ha y una variación altitudinal que va desde los 300 hasta los 2,365 msnm. La temperatura media oscila entre 14.7° C y 28° C y la precipitación media anual entre 2,035 mm hasta 2,277 o 3,000 mm en las zonas más altas (MARN 2004). La ecorregión de bosque húmedo de la Sierra Madre de Chiapas; que domina la zona media aproximadamente desde 700 a 1,900 msnm, y la de bosque montano de Centroamérica (bosque nublado de entre 1,900 hasta 2,300 msnm) dominan esta zona (Ortega-Huerta *et al.* 2012). Los suelos predominantes corresponden a los andisoles, suelos de origen volcánico que se caracterizan por ser suelos fértiles para actividades agrícolas, siendo el café uno de los sistemas agrícolas dominantes (cubre el 67% de los usos de suelo en la zona) (UNESCO 2007).



*Figura 20. Mapa de ubicación de los sitios muestreados dentro del área de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec y sus alrededores. La leyenda del mapa presenta los usos de suelo. En la simbología las figuras geométricas de color verde corresponden a cada uno de los sitios de muestreo, los círculos corresponden a cafetales diversos (n=5), triángulos a cafetales simplificados (n=13) y cuadros a parches de bosque (n=3).*

## 2.2. Selección de sitios y muestreo de las aves y la vegetación

Se seleccionaron 18 fincas productoras de café con la finalidad de tener representación de al menos dos tipologías de manejo. A su vez se eligieron tres parches de bosque como hábitats con mayor diversidad de sombra (Cuadro 1). La mayoría de las fincas (15) eran certificadas con el sello RFA (Rainforest Alliance) (las fincas certificadas trabajan bajo normas de responsabilidad social, ambiental y agrícola, mientras que las fincas no certificadas no se rigen por ninguna normativa), las otras tres fincas no tenían ningún tipo de certificación y se escogieron de un listado de >50 fincas, donde prevalecieron los criterios de: (a) rango altitudinal (700 a 1350 m), (b) tamaño mínimo (7 ha), (c) seguridad en el sitio e (d) interés de los propietarios. Por razones de logística y duración durante la fase de campo, otro criterio de

selección fue la cercanía entre ellas, ya que grupos de fincas cercanas facilitarían el desplazamiento entre las mismas durante los muestreos. Por otro lado, debido a la poca existencia de parches de bosque en ese rango altitudinal y a la seguridad en la zona, se escogieron solamente tres parches; dos de ellos forman parte de un área natural protegida (de tamaños entre 761 ha y 1186 ha), el otro se encontró dentro de un área privada (63 ha), todos próximos a algunas fincas de café muestreadas. Se acumuló un total de 21 unidades de muestreo.

Después de seleccionadas las fincas, se realizó una evaluación de la vegetación. Con base en esta evaluación, las fincas fueron agrupadas en 13 cafetales simplificados que son monocultivos a sombra dominados por un 50% de *Inga* spp. y policultivos comerciales simples, y 5 cafetales diversos que son policultivos tradicionales con una mezcla de árboles remanentes del bosque anterior e introducción de árboles maderables y frutales, esto según la clasificación de Moguel y Toledo (1999) y la agrupación de fincas realizada por Tejeda-Cruz y Gordon (2008), para un estudio de aves en agrosistemas de Veracruz, México. Los parches de bosque se agruparon como un grupo distinto con mayor diversidad de vegetación.

Para evaluar la comunidad de aves en cada una de las 21 unidades de muestreo se estableció un mínimo de cuatro puntos de conteo y un máximo de siete. La distancia mínima entre puntos de conteo fue de 150m, distancia mínima sugerida por Huff *et al.* (2000) para evitar conteos repetitivos de las aves detectadas en los puntos anteriores. Se evaluó un total de 102 puntos de conteo, los cuales se visitaron en dos períodos en el 2013. El período I que corresponde a la época seca (febrero a abril) y el período II que corresponde a la época de transición entre la época seca e inicios de la época lluviosa (mayo a junio). La evaluación de los puntos de conteo se realizó en dos momentos con el objetivo de incluir muestreos en períodos con presencia de aves migratorias Neotropicales.

La metodología utilizada para la evaluación de los puntos de conteo de aves consistió en la identificación visual y/o auditiva de todas las aves detectadas en un radio fijo de 25m (Ralph *et al.* 1996), con una duración de 10 minutos por punto, basado en lo indicado por Wunderle (1994), quien sugiere que en ese período de tiempo se tiene oportunidad de detectar del 79 al 83% de las especies de aves. Las horas de observación fueron entre 06:00 hasta un poco antes de las 10:00 h.

Las características de la vegetación consideradas para conocer la relación de la comunidad de aves con el ambiente, fueron: riqueza de árboles, promedio y variación del diámetro a la altura del pecho de los árboles (DAP  $\geq 10$ cm), promedio y variación de la altura de los árboles, abundancia de los árboles, número de árboles con fruta, flores, árboles con alturas entre 6 a 10m y  $>10$ m, y el IHV (índice de heterogeneidad vertical). El IHV fue evaluado siguiendo la metodología propuesta por Thiollay (1992), estimando de manera subjetiva la cobertura de vegetación en los siguientes estratos: a) 0-2m, b) 2-9m, c) 10-20m y d)  $>30$ m. De esta manera se usó una escala simple de valores de 0 a 3 de porcentaje de cobertura: 0 % (índice 0), 1-33% (índice 1), 34-66% (índice 2) y 67-100% (índice 3). El promedio del DAP de los árboles fue registrado con una cinta diamétrica, y la altura de los árboles con un clinómetro,

confirmando las medidas de forma directa con una regla de 2m. Para algunas especies de árboles se colectaron muestras que fueron llevadas al herbario del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) para su correcta identificación.

Las características de vegetación fueron colectadas dentro de parcelas establecidas en cada punto de conteo de aves. Se ubicaron dos parcelas por punto de conteo, a excepción de una parcela que no se hizo en un parche de bosque (Las Lajas) debido a que se encontraba en una zona con pendiente accidentada y difícil de caminar. Estas se ubicaron a 25m del punto de conteo en direcciones cardenales (N, S, E, O) con ayuda de una brújula y cinta métrica. Se estableció un total de 203 parcelas de 10 x 10 m entre los 21 sitios muestreados.

### **2.3. Especies en estudio y rasgos seleccionados**

De las 109 especies registradas, se seleccionaron 79 especies (Anexo 5) del orden passeriforme para realizar el estudio de diversidad funcional. Se incluyó solamente este orden debido a que abarca el 72% de las especies registradas en este estudio y es el orden que contiene una mayor riqueza de familias y especies, lo cual permite tener oportunidad de abarcar una variedad de tipos funcionales. De las especies seleccionadas se obtuvieron los datos de los rasgos funcionales representativos de las aves mediante una búsqueda intensiva en guías de identificación de aves como Junge y Mess (1961), Howell y Webb (1995), Pyle (1997), Stiles y Skutch (2003), artículos científicos, sitios web (*p.e.* Cornell Lab of Ornithology-Cornell University), donde se encontraron publicados datos biométricos de las especies de interés en este estudio. También se utilizaron bases de datos de estaciones de monitoreo de aves específicamente de El Salvador (datos no publicados, SalvaNATURA), Costa Rica (datos no publicados, CATIE) y Nicaragua (estación de monitoreo Jaguar y algunos datos de estaciones de Bosawas y Río San Juan; datos no publicados, L. Chavarría-Duriaux). Para las aves que no se tenía disponible algunos datos de medidas morfológicas, se tomó en cuenta las medidas de aves del mismo género que estuvieran publicadas, considerando que estas tuvieran dimensiones similares; esto se hizo con 17 del total de 79 especies utilizadas en los análisis.

Para medir los componentes de la diversidad funcional (DF), las especies son descritas en términos de rasgos de interés. Se utilizaron siete datos continuos y tres categóricos (Cuadro 7). Los datos continuos fueron peso; longitud de ala; medidas de las dimensiones del pico como culmen expuesto (medida de la parte superior del pico que se refiere a la longitud entre la parte emplumada donde inicia el pico hasta la punta de este); culmen desde las narinas (distancia entre el punto donde terminan las narinas o agujeros de la nariz hasta la punta del pico); ancho de pico (medida lateral del pico a la altura de las narinas); profundidad de pico (altura del pico desde el culmen hasta la mandíbula que es medida en el área donde terminan las narinas); tarso (región entre el tobillo y la articulación de la planta del pie) y longitud de cola (Pyle 1997). Los datos categóricos fueron *dieta alimenticia* con diferentes alimentos que prefieren las aves; el *estrato de forrajeo* clasificado por suelo, sotobosque, intermedio hasta dosel. Y por último, *tipo de actividad social* que se refiere a que si el ave prefiere estar solitaria o en grupo (dos o más individuos).

El peso de las aves es uno de los rasgos que provee información relacionada a los recursos y/o requerimientos de energía de los individuos (Mason *et al.* 2012). Los datos de pico están relacionados a las adaptaciones alimenticias; y los datos de las alas, cola y tarso son medidas de la variabilidad morfológica de las aves en el ambiente. Datos categóricos como dieta alimenticia responde a la variedad de alimentos de los que depende; estratos en los que se mueven y tipo de actividad social responden a la capacidad de buscar recursos y en general a la ecología de las aves. Se escogieron estos rasgos que abarcan diferentes aspectos descriptivos de las aves relacionadas a las funciones ecológicas y que pueden responder a cambios en el ambiente.

*Cuadro 7. Rasgos utilizados para calcular los índices de diversidad funcional.*

Tipo de rasgo	Rasgo	Categoría y rango	Proceso ecológico*	Servicio Ecosistémico relacionado*
Cantidad de recursos energéticos	Peso	Continua (gr) 13.40–77.71	-Consumo de recursos	-Interacciones bióticas para las funciones ecosistémicas
Variación morfológica y de adaptaciones alimenticias	Culmen expuesto Culmen desde narinas Ancho de pico Profundidad de pico Longitud de ala Longitud de cola Longitud de tarso	Continua (mm) 13.17–19.05 9.15–20.75 3.81–8.64 3.91–9.51 63.31–121.15 50.32–114.52 17.08–29.36	-Adquisición de recursos	-Interacciones bióticas para las funciones ecosistémicas
Gremios alimenticios, preferencia de alimentos, capacidad de buscar recursos y ecología de las aves	Tipo de alimento  Estrato de forrajeo  Tipo de actividad social	Binarios Insectos, invertebrados, semillas, frutas o bayas y néctar  Suelo, sotobosque, intermedio y dosel  Solitario o en grupo (dos o más individuos)	-Depredación de invertebrados -Dispersión de semillas -Polinización  -Adquisición de recursos	-Control biológico de plagas y reducción de daños a las plantas -Mejor germinación, restauración de ecosistemas, diversidad florística -Propicia la fecundación para la producción de semillas y frutos -Interacción biótica para las funciones ecosistémicas

\*basado en Flynn *et al.* 2009 y Sodhi *et al.* 2011

## 2.4. Análisis de datos

### 2.4.1. Tipos funcionales

Los tipos funcionales (TF) se definieron mediante un análisis de conglomerado, empleando el método Ward y la distancia obtenida a partir de Gower, la cual se obtiene de mezclar variables cuantitativas y cualitativas. Se identificaron los tipos funcionales mediante la generación de un dendrograma, con el criterio general de corte del 50%, tomando en cuenta que la agrupación de los TF tuviese una proporción de número de especies de aves similar. Las diferencias entre los grupos formados fueron analizadas mediante los rasgos cuantitativos o variables continuas a través de un análisis de varianza multivariado (MANOVA), en el cual se usó la prueba de comparación de medias de Hotelling entre grupos. Con las variables cualitativas se hicieron comparaciones de los grupos mediante tablas de contingencia en el cual todos fueron útiles para la separación de ellos al mostrar asociaciones significativas



( $p < 0.05$  en todos los casos). También con análisis de correspondencia se hizo una asociación de los tipos funcionales con los hábitats, en el cual se tomó en cuenta la frecuencia de los rasgos cualitativos por el total especies y por individuos. Se utilizó el software *InfoStat* versión 2013 (Di Rienzo *et al.* 2013) para realizar dichos análisis.

#### **2.4.2. Relación de los índices de diversidad funcional con características de la vegetación en las tipologías de café y parches de bosque**

Los tres índices de diversidad funcional (DF) considerados para este análisis fueron los índices de la riqueza funcional (FRic), equidad funcional (FEve) y la divergencia funcional multirasgo (FDiv). Se seleccionaron estos tres índices por proveer información independiente de la distribución de las especies en el espacio de rasgo funcional, por lo que cada uno refleja características complementarias de la comunidad de aves (Mason *et al.* 2012). Los índices fueron obtenidos para cada uno de los 21 sitios muestreados (13 cafetales simplificados, 5 cafetales diversos y 3 parches de bosque) mediante el software *F-diversity* (Casanoves *et al.* 2010). En el cálculo de los índices se utilizó una distancia Gower como una medida apropiada para el análisis con datos continuos y binarios.

El FRic mide el volumen del espacio funcional ocupado por una comunidad (Ding *et al.* 2013). Este identifica las especies con valores extremos de los rasgos y luego estima el volumen del cuerpo de rasgos en el espacio multivariado (Mason *et al.* 2012). El FEve describe la equidad de la distribución de la abundancia en el espacio de rasgos funcionales (Ding *et al.* 2013). El valor del índice decrece al estar menos uniformemente distribuida la abundancia de las especies y cuando las distancias entre ellas son irregulares (Mason *et al.* 2012). El FDiv representa el índice que cuantifica la dispersión de los valores de los rasgos en el espacio multivariado (Mason *et al.* 2012). Cuando una comunidad tiene una alta divergencia funcional, es cuando presenta la mayoría de las abundancias de los rasgos a los extremos del rango de valores de carácter funcional (Mason *et al.* 2005).

Mediante una regresión lineal simple se evaluó la relación de los tres índices de DF con la riqueza de aves para conocer si ésta estaría influenciando el patrón de los índices con respecto a algunas variables de vegetación. Con los índices generados se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para identificar las relaciones entre las características de la vegetación (variables regresoras o predictoras) y cada uno de los índices de DF (variables respuesta). Para las regresiones lineales múltiples con la vegetación, el FRic fue transformado a logaritmo base diez para cumplir el supuesto de normalidad, y para las características vegetales, se realizó una retención de las variables en el modelo mediante una eliminación hacia atrás o "*backward*" que retiene las que fueran significativas a cada variable respuesta. Las características de la vegetación retenidas (valores  $p \leq 0.05$ ) en el "*backward*" fueron: número de árboles entre 6 a 10m, promedio y variación de la altura de los árboles, índice de heterogeneidad vertical (IHV), promedio de diámetro a la altura del pecho ( $DAP \geq 10$  cm) y número de árboles con fruta. El efecto aleatorio de los modelos fue en base a cada sitio de muestreo (21 sitios). El software

*InfoStat* versión 2013 (Di Rienzo *et al.* 2013) fue utilizado para generar las regresiones lineales múltiples.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización de los tipos funcionales de las aves

Se identificaron seis tipos funcionales (TF) (Anexo 1), cada grupo se caracterizó por su tamaño (grande, mediano y pequeño) según el rango de valores de los rasgos cuantitativos y según las características cualitativas como estrato donde se mueven para forrajear, alimento preferido y tipo de actividad social (Cuadro 8).

*Cuadro 8. Descripción de los tipos funcionales de aves identificados en base a las características cuantitativas y cualitativas.*

Tipo funcional	Descripción	Denominación	Ejemplos
TF1	16 especies de aves de tamaño grande de peso, picos gruesos y largo de tarso. Se mueven principalmente en el suelo para forrajear y en su mayoría se alimentan de semillas e invertebrados. A menudo en grupo	Granívoros-picogruoso de suelo	<i>Aimophila rufescens</i> , <i>Catharus ustulatus</i> , <i>Melospiza leucotis</i> , <i>Molothrus aeneus</i> , <i>Pheucticus ludovicianus</i> , entre otros
TF2	15 especies de aves de tamaño mediano (pico, ala y cola larga). Se mueven en su mayoría en estrato intermedio a dosel para alimentarse de insectos. A menudo andan solitarias	Insectívoros medianos de dosel	<i>Empidonax flaviventris</i> , <i>Contopus cooperi</i> , <i>Contopus cinereus</i> , <i>Lepidocolaptes souleyetii</i> , <i>Piranga ludoviciana</i> , entre otros
TF3	13 especies de aves de tamaño mediano de peso y largo de alas. Se mueven a menudo en el dosel y la mayoría se alimenta principalmente de frutas, se les ve en pareja o en grupo	Frugívoros medianos de dosel	<i>Euphonia affinis</i> , <i>Euphonia hirundinaceae</i> , <i>Cyanerpes cyaneus</i> , <i>Icterus galbula</i> , <i>Thraupis episcopus</i> , <i>Thraupis abbas</i> , entre otros.
TF4	9 especies de aves de tamaño pequeño de peso, pico y tarso. Se mueven en su mayoría en estrato intermedio a dosel para alimentarse de insectos. A menudo se les ve en grupo	Insectívoros pequeños de dosel	<i>Hylophilus decurtatus</i> , <i>Mniotilta varia</i> , <i>Setophaga virens</i> , <i>Vireo flavifrons</i> , <i>Vireo gilvus</i> , entre otros
TF5	16 especies de aves de tamaño mediano de peso y grueso de pico. Se mueven en su mayoría en el estrato sotobosque para alimentarse principalmente de insectos. A menudo se les ve en parejas o grupos	Insectívoros medianos de sotobosque	<i>Basileuterus lachrymosa</i> , <i>Basileuterus rufifrons</i> , <i>Ramphocaenus melanurus</i> , <i>Thryothorus rufalbus</i> , <i>Troglodytes aedon</i> , entre otros
TF6	10 especies de aves de tamaño grande de picos, alas y cola. Se mueven en su mayoría en el dosel para alimentarse ya sea de insectos, invertebrados, frutos o bayas, néctar, por lo que se les considera omnívoras. A menudo se les ve en pareja o en grupo	Omnívoros grandes de dosel	<i>Calocitta formosa</i> , <i>Cyanocorax melanocyaneus</i> , <i>Icterus maculialatus</i> , <i>Icterus gularis</i> , <i>Tityra semifasciata</i> , entre otros

##### 3.1.1. Tipos funcionales de las aves y su relación con las características cuantitativas

Los tipos funcionales TF1 y TF6 fueron los que estuvieron más correlacionados a las medidas cuantitativas con los mayores valores en el rango de medidas que el resto, por lo que se definieron como TF de *tamaño grande*. Posteriormente los de *tamaño mediano* TF2, TF3 y

TF5, y los de *tamaño pequeño* TF4, que se encuentran con menor valor o correlación negativa con las medidas cuantitativas en la Figura 21.

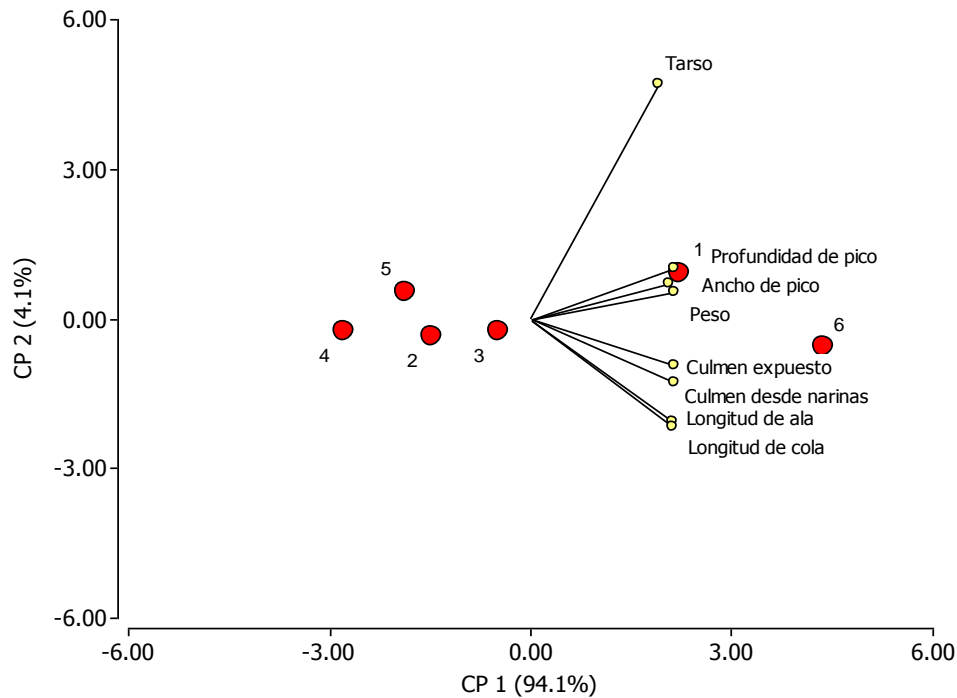


Figura 21. Distribución de los tipos funcionales de aves en el espacio de los rasgos cuantitativos.

### 3.1.2. Tipos funcionales de las aves y su asociación con las características cualitativas

Con una inercia del 41.04%, el Eje 1 de la ordenación (análisis de correspondencia) separa a las aves que forrajean en el suelo asociadas principalmente al TF1 y se alimentan de semillas e invertebrados, en cambio al otro extremo de la ordenación se encuentran los TF asociados a hábitos de forrajeo del sotobosque, intermedio y dosel.

El eje 2 de la ordenación logra separar los TF2 y TF5 con comportamiento solitarias y se alimentan principalmente de insectos, TF5 forrajea principalmente en sotobosque y TF2 aunque tiene algunas aves que forrajean en sotobosque, la mayoría de aves de este grupo forrajean en dosel, en cambio los TF3, TF4 y TF6 son aves que forrajean en grupo en el dosel y estrato intermedio, se alimentan principalmente de frutas, insectos, invertebrados y néctar. La inercia explicada por la ordenación es de 28.98%.

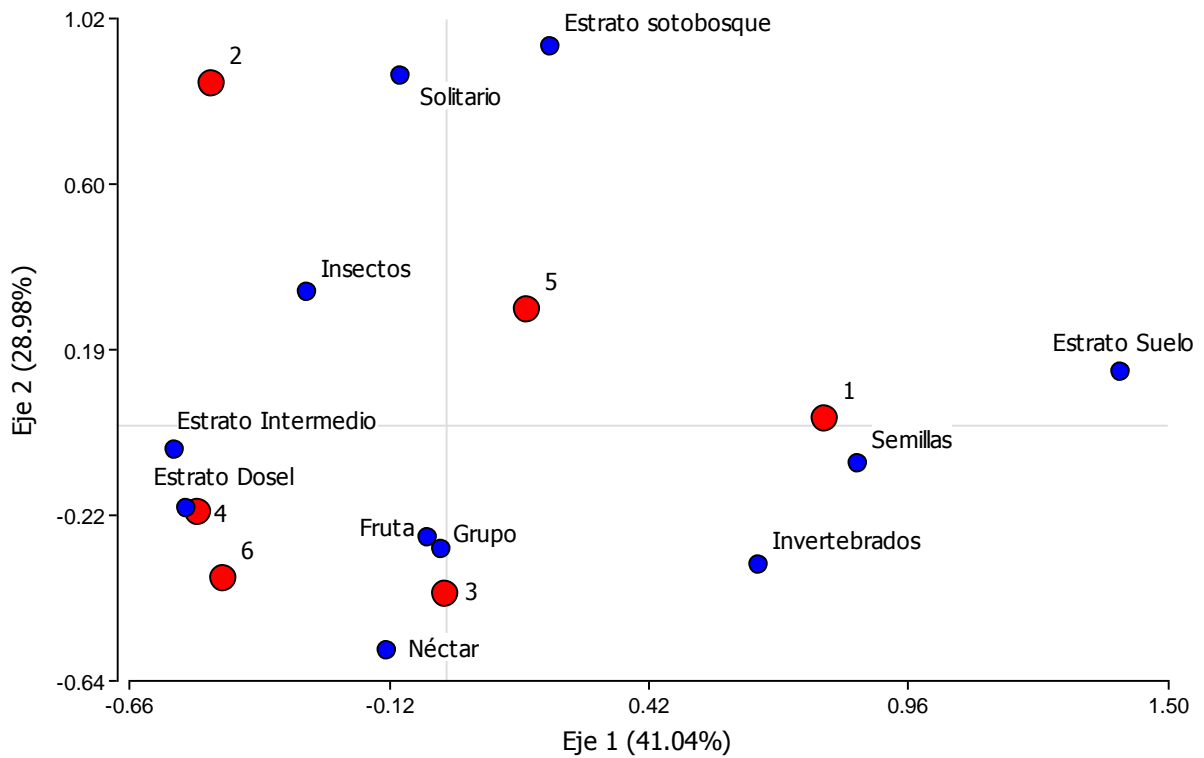
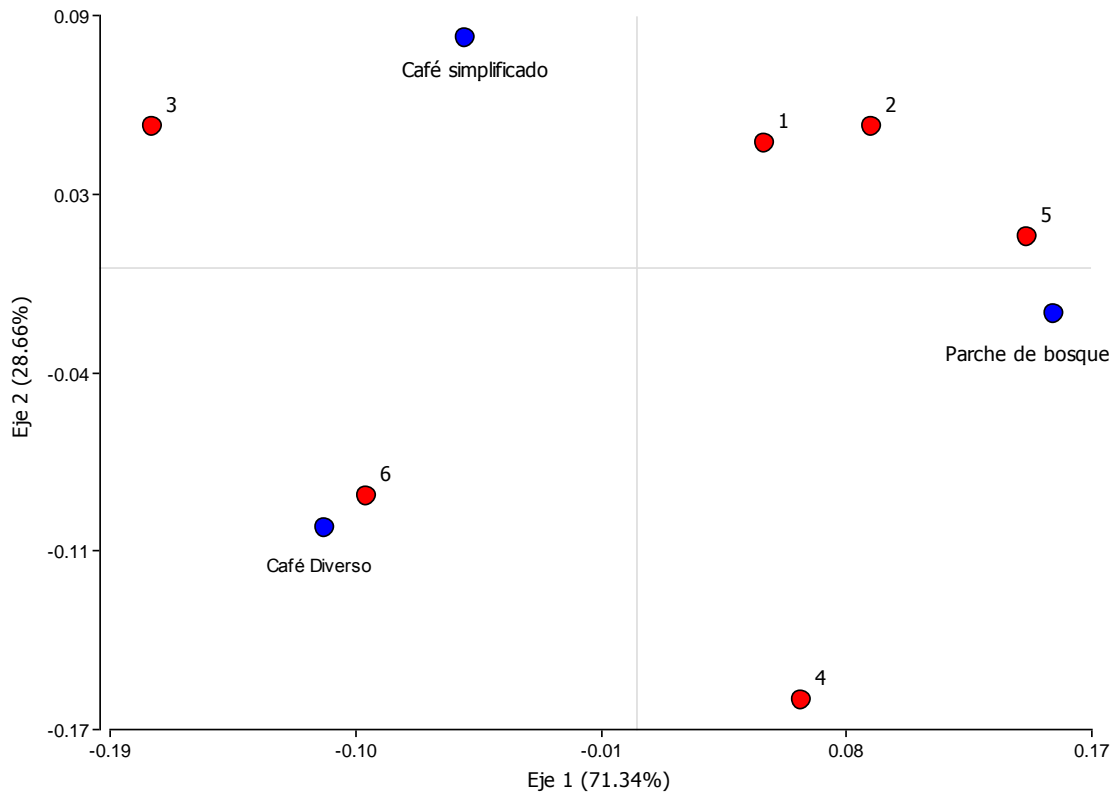


Figura 22. Análisis de correspondencia de los rasgos cualitativos como tipo de alimentación (insectos, invertebrados, frutas y semillas) y hábitos de forrajeo (solitario o en grupo, estrato suelo, sotobosque, intermedio y dosel) en círculos azules, asociados a los tipos funcionales enumerados del 1 al 6, en círculos rojos.

### 3.2. Asociación de los tipos funcionales con frecuencia de rasgos a nivel de riqueza y abundancia de especies de aves con los diferentes usos de suelo

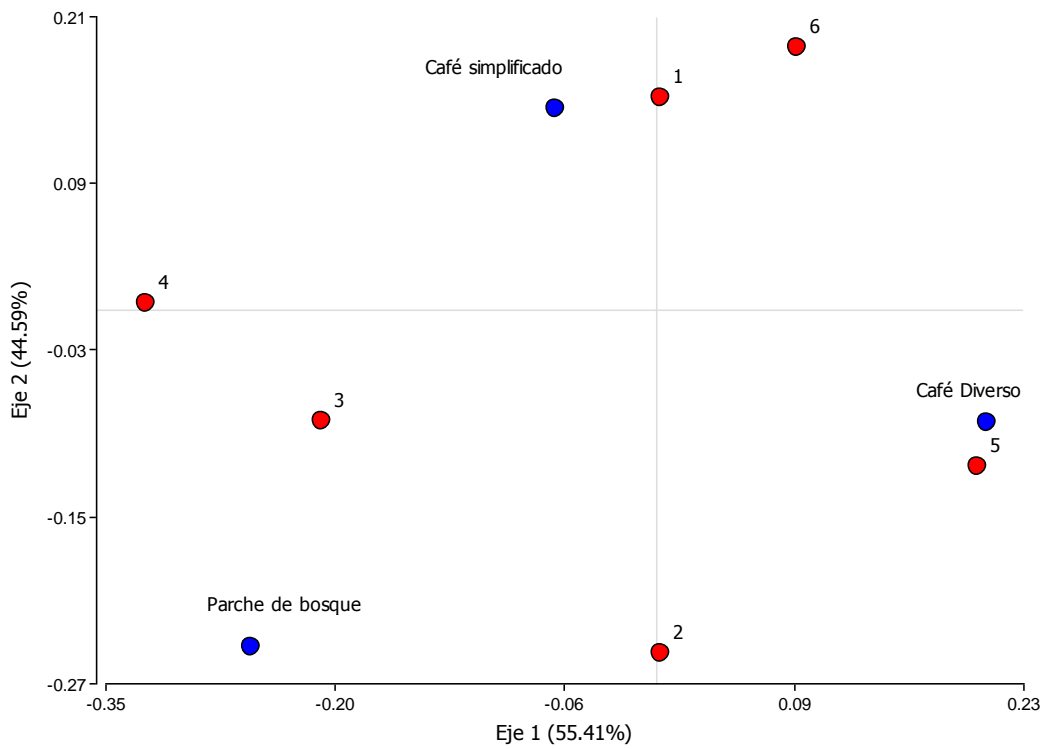
Los seis tipos funcionales se asociaron de manera diferente a las tipologías de café y parches de bosque cuando de manera independiente se analizó la frecuencia de los rasgos a nivel de riqueza de aves y a nivel de abundancia.

Los TF con frecuencia de rasgos a nivel de especie, con una inercia de 71.34% en el eje 1, separa al café simplificado y café diverso con los parches de bosque; donde éste último está más asociado al TF1, TF2, TF4 y TF5. Con una inercia del 28.76% en el eje 2, se separa al café simplificado con el café diverso donde el TF3 está más asociado al café simplificado y el TF6 al café diverso (Figura 23).



*Figura 23. Asociación de los tipos funcionales con los hábitats muestreados usando como frecuencia de rasgos el número de especies de aves mediante un análisis de correspondencia. Los tipos funcionales se encuentran en círculos en rojo enumerados del 1 al 6, y los tipos de hábitat en círculos azules de café simplificado, café diverso y parches de bosque.*

Los TF con frecuencia de rasgos a nivel de abundancia de aves, con una inercia de 55.41% en el eje 1, separa al café diverso con parche de bosque; encontrando en este último mayor asociación con TF3 y TF4, y en el café diverso con TF5. En el eje 2 con una inercia del 44.59% separa al café simplificado de los parches de bosque y café diverso, en el cual el café simplificado está más asociado a TF1 y TF6. El TF2 puede estar entre parches de bosque y café diverso (Figura 24).



*Figura 24. Asociación de los tipos funcionales con los hábitats muestreados usando como frecuencia de rasgos el número de individuos de aves mediante un análisis de correspondencia. Los tipos funcionales se encuentran en círculos en rojo enumerados del 1 al 6, y los tipos de hábitat en círculos azules de café simplificado, café diverso y parches de bosque.*

### 3.3. Relación de la diversidad funcional con la riqueza de aves en los sitios muestreados

Se evidenció que la riqueza de aves se encuentra correlacionada con el FRic ( $R^2=0.54$ ;  $p=0.0001$ ) (Figura 25); en cambio no se encontró relación con los otros índices de diversidad funcional ( $p>0.05$ ).

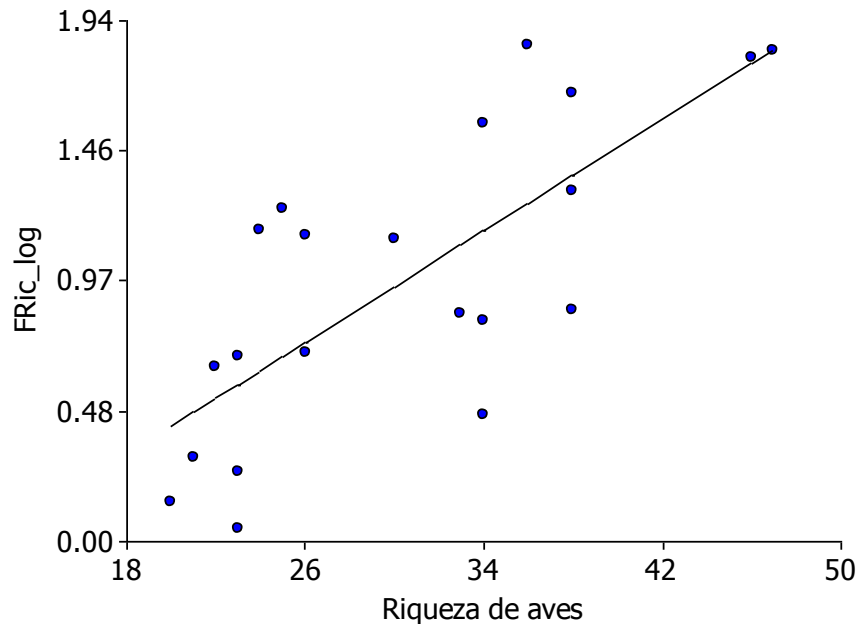


Figura 25. Relación entre el índice de riqueza funcional (FRic) y la riqueza de aves

### 3.4. Relación de la diversidad funcional con características de la vegetación en los sitios muestreados

Las características de la vegetación explicaron un 63% de la variación de índice de riqueza funcional (FRic). Cuando la variabilidad de la altura de los árboles y el índice de heterogeneidad vertical se mantienen constantes, es posible apreciar una relación negativa de FRic con respecto a los árboles entre 6 a 10m (Figura 26a). En cambio, cuando se mantiene constante IHV y árboles 6-10m, el FRic aumenta a medida que aumenta la variabilidad de la altura de los árboles (Figura 26b), manteniendo constantes las demás, es posible apreciar que el FRic aumenta cuando aumenta el índice de heterogeneidad vertical (Figura 26c).

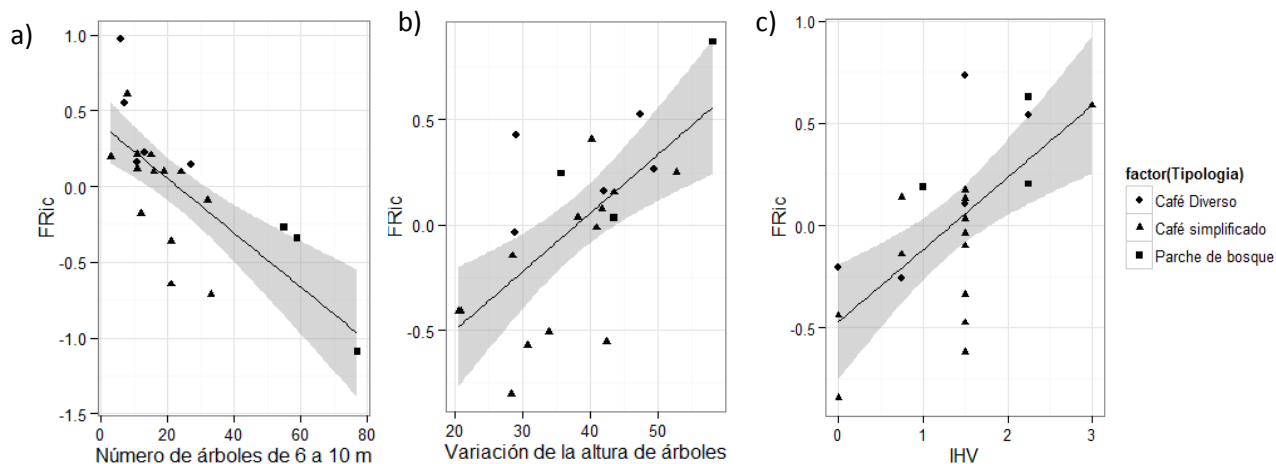


Figura 26. Relación del índice de riqueza funcional (FRic) con características de vegetación como número de árboles de 6 a 10 m (a), variación de la altura de los árboles (b) e índice de heterogeneidad vertical (IHV) (c). La parte gris en cada gráfico representa el error estándar del ajuste.

Las características de la vegetación explicaron un 55% de la variabilidad del índice de equidad funcional (FEve). Cuando la variabilidad del promedio de la altura de los árboles y el índice de heterogeneidad vertical (IHV) se mantienen constantes, es posible apreciar la relación positiva del FEve con el número de árboles con fruta (Figura 27a). La relación positiva del FEve con la altura de los árboles es posible visualizarla cuando se mantienen constantes la variabilidad del número de árboles con fruta y el IHV (Figura 27b). En cambio la relación negativa del FEve con el IHV se logra ver (Figura 27c) cuando se mantienen constantes el resto de características.

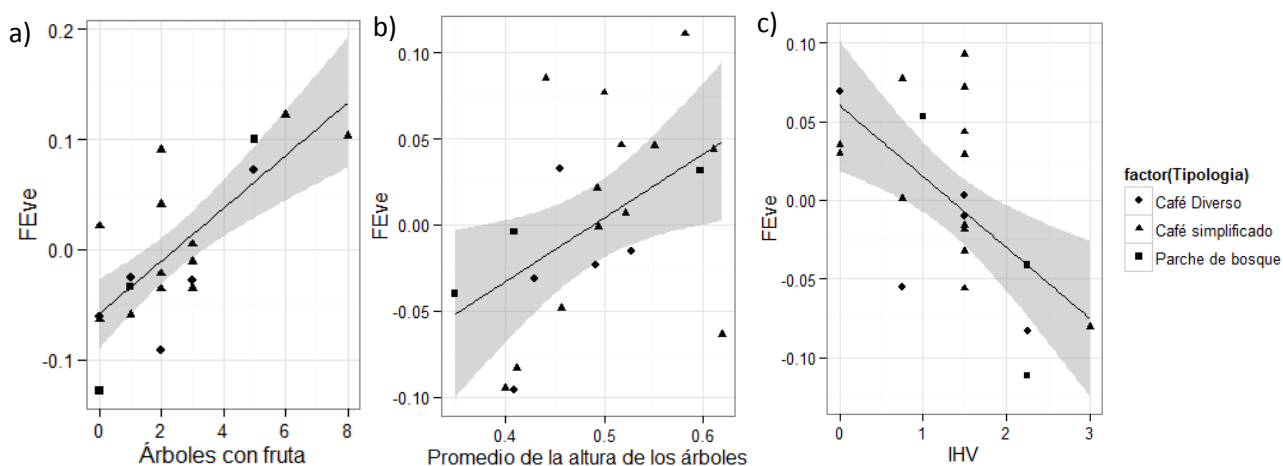


Figura 27. Relación del índice de equidad funcional (FEve) con característica de la vegetación como número de árboles con fruta (a), promedio de altura de los árboles (b) e índice de heterogeneidad vertical (IHV) (c). La parte gris en los gráficos representa el error estándar del ajuste.



Por otro lado, solamente el promedio del DAP explicó un 39% de la variabilidad del índice de divergencia funcional (FDiv) ( $t=3.68$ ;  $p=0.0016$ ) de manera positiva (Figura 28).

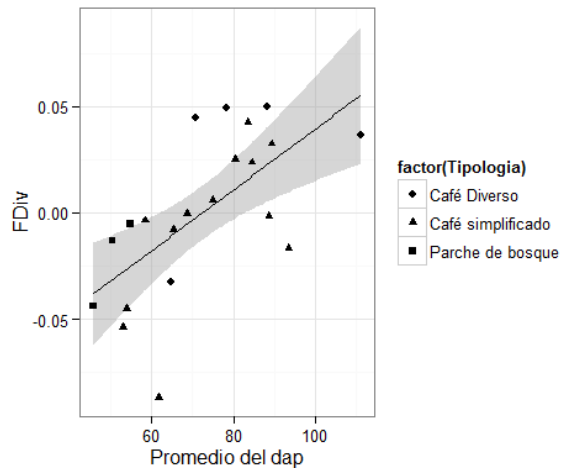


Figura 28. Relación del índice de divergencia funcional multirasgo con el promedio del diámetro a la altura del pecho ( $DAP \geq 10$  cm). La parte gris en el gráfico representa el error estándar del ajuste.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Tipos funcionales y su asociación con las tipologías de café y parches de bosque

La comunidad de aves en el paisaje estuvo dominada por especies generalistas, sin embargo; todavía se mantiene una variedad de funciones. Se logró identificar seis tipos funcionales de aves de importancia para los procesos ecosistémicos en el área de estudio. De las 79 especies utilizadas para la identificación de los tipos funcionales (TF), el 75% son especies generalistas de bosque y solamente un 25% son especialistas de bosque que han sido raramente o nunca registrados fuera de los bosques en el paisaje de la RBAI.

A pesar de que las aves especialistas de bosque comparten rasgos similares a las aves generalistas, es difícil afirmar con base en los resultados de esta investigación, que estas especies de bosque dentro del paisaje evaluado pueden redimir sus funciones al compartir rasgos similares a especies comunes. Según Mouillot *et al.* (2013), es imperativo entender el rol de algunas especies raras o poco comunes a una función específica o vulnerable en el ecosistema, ya que deben proveer funciones claves frente a futuras fluctuaciones del ambiente o respuestas frente a perturbaciones ambientales (*p.e.* capacidad de adaptarse ante consecuencias del cambio climático). Esto implica que en el paisaje fragmentado de la RBAI, existe la necesidad de mantener tanto especies dominantes que proveen funciones específicas como especies poco comunes que proveen potenciales funciones claves bajo futuras condiciones (Mouillot *et al.* 2013), y para entender esas funciones claves es necesario más estudios de la historia natural de vida de las especies locales.

La asociación de TF de aves con hábitos alimenticios especializados (frugívoros e insectívoros) ponderados por su abundancia fue mayor en los parches de bosque que en los cafetales; solamente un TF de insectívoros estuvo asociado a un tipo de café (café diverso). Este resultado era de esperarse debido a que los bosques son más ricos en recursos para las aves a diferencia de un hábitat modificado como el café, especialmente cuando tienen vegetación menos diversa. Estudios realizados en agropaisajes por Clough *et al.* 2009; Flynn *et al.* 2009 y Arendt *et al.* 2012 han encontrado patrones similares. Por ejemplo, Arendt *et al.* (2012), reportan que en el norte de Nicaragua las aves de gremios alimenticios menos especializados como omnívoras y granívoras estuvieron asociadas a café y áreas abiertas respectivamente. Mientras que, los frugívoros e insectívoros estuvieron asociados a hábitats de bosques secundarios, ribereños y tacotales.

El registro de TF5 (insectívoros medianos de sotobosque) asociados a los cafetales diversos, sugiere que dentro de la RBAI existen grupos funcionales que podrían jugar el rol de controladoras biológicas de plaga. Flynn *et al.* (2009) mencionan que aves insectívoras con potencial capacidad para proveer funciones de controladores biológicos de plagas estuvieron presentes tanto en hábitat natural como agrícola. En otro estudio, Kellerman *et al.* (2008) identificaron 17 especies de aves insectívoras como potenciales depredadoras de la broca del café en Jamaica, al demostrar la asociación de la abundancia de estas especies con la reducción en la infestación de broca en sitios con mayor complejidad vegetal, y en consecuencia el incremento en la producción de café al tener mayor número de frutos de café sanos; como un servicio ecosistémico. Phillpott *et al.* (2009) evidenciaron que la riqueza de aves insectívoras del follaje fue particularmente relevante frente a la reducción de artrópodos en el cafeto y los árboles de sombra.

La importancia de la abundancia de aves insectívoras de sotobosque ha sido evidenciada por estudios como el de Perfecto *et al.* (2004) en Chiapas, México. Dicha investigación concluyó que la abundancia de individuos de la especie *Basileuterus rufifrons* (insectívora de sotobosque) en café de sombra diversa, explica la mayor depredación de la larva lepidóptera en las plantas de café de estos sitios en comparación a la baja depredación de esta larva en cafetales monoespecíficos (dominados por una especie de árbol de sombra) donde esta ave fue menos abundante. Otra especie, que su abundancia ha sido correlacionada con la alta depredación de artrópodos en cafetales es *Oreothlypis peregrina* (Greenberg *et al.* 2000). En este estudio tanto *B. rufifrons* como *O. peregrina* pertenecen al TF5, y ambas pueden estar contribuyendo al control biológico de plagas en estos sitios. En el caso de *O. peregrina* a pesar de compartir los rasgos funcionales entre el resto de especies de ese grupo, esta se mueve principalmente en el dosel.

En los cafetales simplificados dominados por una sola especie de sombra (50% de *Ingas*) se asociaron los TF1 y TF6 con hábitos alimenticios menos especializados (granívoros y omnívoros, respectivamente). Esto puede deberse a las características del estrato dosel y el aumento en estrato herbáceo que explican la asociación de omnívoros y granívoros a estos sitios. Además, por ser generalistas de bosque y alimentadores oportunistas, son capaces de encontrar los recursos alimenticios más fácilmente que en los bosques (Leyequién *et al.* 2010).

La abundancia de aves omnívoras de TF6 son especies de gran tamaño caracterizadas por su amplia distribución (Stiles y Skutch 2003) y coincide con lo mencionado por Sekercioglu (2012), en cuanto al tipo de aves que se encuentran en sistemas agrícolas abiertos. Estas aves se mueven mayormente en las copas de los árboles y están adaptadas a los recursos que los árboles de sombra de los cafetales proveen y que según Bárbaro *et al.* (2013), puede estar relacionado a la facilidad de detección de sus presas.

El TF3 (frugívoras de tamaño mediano) que se encuentra asociado con los parches de bosques, posiblemente en algún periodo del año esté influenciado por la fructificación de árboles de sombra en los cafetales, puesto que este grupo se encuentra principalmente asociado al dosel. La variación estacional de los árboles de sombra y su influencia en la variación de los tipos funcionales en el paisaje es un elemento importante en la presencia/ausencia de grupos de aves pertenecientes a este tipo funcional (Dietsch *et al.* 2007). Por ejemplo, Gove *et al.* (2013), no encontraron correlación de la presencia de frutos con aves frugívoras en bosque y zonas agrícolas, y sugieren que este resultado se debe al efecto del período de muestreo cuando los árboles no se encontraban en fructificación. Sekercioglu (2012); reportó que la riqueza de especies frugívoras de gran tamaño a menudo es menor en sistemas agroforestales comparado con bosque primario, contrario a lo que sucede con especies frugívoras de tamaño pequeño.

Finalmente, estos resultados indican que en el paisaje de la RBAI, la transformación de bosque a un sistema de producción como el café disminuye la abundancia de rasgos de aves de TF con hábitos alimenticios específicos, principalmente cuando son cafetales simplificados. Aunque no se incluyó un gradiente de intensidad de uso de suelo amplio (*p.e.* áreas sin sombra o urbanas), esta investigación se aproxima a lo reportado por Flynn *et al.* (2009) y Luck *et al.* (2013), quienes mostraron que las medidas de diversidad funcional (DF) de aves revelan declives según la intensificación del uso de suelo, lo cual se evidenció con la disminución en la abundancia de rasgos de aves con hábitos alimenticios especializados. Es importante mencionar que no se logró estudiar la proximidad a bosques o la influencia de usos de suelo adyacentes a los sitios de estudio, que según Perfecto *et al.* (2007) son elementos en el paisaje que influyen en la estructura de los tipos funcionales de la comunidad de aves. En este sentido, para Karp *et al.* (2013), la combinación de la diversidad estructural y florística dentro de los sistemas agroforestales y la aproximación a áreas boscosas resultaría en una mayor riqueza de especies y funcionalidad, y en consecuencia mayores funciones en el ecosistema y generación de potenciales servicios ecosistémicos de beneficio para la sociedad por obtener servicios como dispersión de semillas, polinización y control biológico de plagas.

#### **4.2. Relación de los índices de diversidad funcional con la riqueza de aves**

La relación positiva entre la riqueza de aves y el índice de riqueza funcional (FRic) era de esperarse, debido a que la diversidad funcional mide el rango y valores de los rasgos de las especies presentes en una comunidad dada la composición de organismos (Tilman 2001). Esta relación positiva coincide con resultados de estudios previos donde se ha usado un conjunto de datos simulados por Villéger *et al.* (2008), y también coincide con lo encontrado por Ding *et al.* (2013) en China, con datos de riqueza de aves de islas de distintos tamaños relacionados con FRic, equidad funcional (FEve) y divergencia funcional (FDiv). De igual manera, encontraron que el FEve no tuvo relación con la riqueza de especies, y sugieren que se debe a la baja uniformidad en la distribución de las abundancias de las especies (Ding *et al.* 2013). La no relación del FDiv puede estar dada por la combinación de rasgos específicos usados en este estudio que no despliega una relación clara con la riqueza de especies.

La relación del FRic con la riqueza de aves indica que al aumentar la riqueza de aves mayor será el volumen de rasgos en el espacio (Ding *et al.* 2013). Independientemente de la riqueza de especies, en general la relación con la DF puede o no cambiar (Petchey y Gaston 2002). Petchey y Gaston (2002), mencionan que cuando las comunidades tienen especies con rasgos complementarios tendrán mayor diversidad funcional que al tener comunidades de especies con rasgos similares, independientemente del número de especies en la comunidad.

#### **4.3. Relación de los índices de diversidad funcional con características de la vegetación**

En este paisaje con una matriz dominada por café entre mayor heterogeneidad vertical, existe una mayor posibilidad de encontrar alta riqueza funcional de aves, esto implica una contribución en el funcionamiento del ecosistema (Clough *et al.* 2009). La diversidad estructural y florística en sistemas agroforestales, ayuda a aumentar la provisión de alimento a las aves, sitios para forrajear, sitios para descansar, para refugiarse y anidar, tal como se ha encontrado en otros estudios (Greenberg *et al.* 1997a y b; Somarriba *et al.* 2004; Tejeda-Cruz y Sutherland 2004; Florian *et al.* 2010). Esto a la vez permite que diferentes TF visiten o se mantengan en los sitios más diversos y se tiene presente un mayor volumen de rasgos que ayuda a mejorar la provisión de potenciales servicios ecosistémicos (*p.e.* control biológico de plagas y reducción de daños a las plantas, restauración de ecosistemas y diversidad florística, fecundación de semillas y frutos, entre otros).

La relación positiva del FRic con el índice de heterogeneidad vertical (IHV) de la vegetación indican que los recursos disponibles están siendo utilizados por la comunidad de aves y por lo tanto una eficiencia en el uso de recursos (Díaz y Cabido 2001). Por el contrario la relación del FRic con el número de árboles de 6 a 10m es negativa lo que indica que los recursos no están siendo usados por la comunidad de aves (Mason *et al.* 2005).

La equidad en la distribución de la abundancia de los rasgos (FEve) se vio disminuida al aumentar el IHV, esto sugiere que al tener una heterogeneidad de rasgos y diferentes estratos

de vegetación, muchos rasgos se distribuyen de manera no equitativa. La inequidad en la distribución puede deberse a las diferentes capacidades de adaptación de las aves; se encuentran TF que se mueven principalmente en el dosel que no se reportan en el suelo o sotobosque y viceversa, esto hace efectiva la explotación de los recursos a diferentes estratos. Este puede estar justificado principalmente por aves que se encuentran mayormente a nivel de dosel, sobre todo aquellos grupos que se alimentan o se asocian a la abundancia de frutos. Esta evidencia se afirma al haber encontrado una relación positiva del FEve con la presencia de árboles con fruta y árboles con altos promedios de altura.

No obstante, en los cafetales, muchos de los rasgos pueden estar dominados por aves que se mueven en estrato intermedio y dosel. Esto se puede deber a que el estrato de 0 a 2m incluye los arbustos de café y los rasgos funcionales a ese nivel estarán menos representados que a más de 2m de altura de la vegetación, ya que pocas aves se mueven en los arbustos de café o suelo para forrajear (Komar 2006a). Se sugiere que esto puede estar relacionado al reemplazo estructural del sotobosque natural por arbustos de café y la combinación del manejo con herbicidas y otros agroquímicos que disminuye la disponibilidad de alimento o sitios de refugio (Calvo y Blake 1998), principalmente para aves susceptibles a los cambios en el ambiente, como algunas insectívoras de sotobosque (Sekercioglu 2002).

Los árboles de dosel o emergentes están proveyendo mayor copa y follaje de modo que beneficia a las aves para encontrar más alimentos y espacio para descansar, anidar, entre otros usos, y por lo tanto evidencia, una alta diferenciación de rasgos y baja competencia de recursos (Mason *et al.* 2005). Esta afirmación es apoyada por la relación positiva del Índice de Divergencia Funcional (Fdiv) con el promedio de DAP ( $DAP \geq 10$  cm). El alto valor de FDiv significa que incrementan la funciones ecosistémicas en el paisaje; ya que existe representación tanto de rasgos con medidas máximas, como representación de rasgos con medidas mínimas (en el rango de valores de los rasgos). Esto sugiere que la representación de rasgos en los extremos del rango de valores de rasgos permite que cada especie realice sus funciones ecológicas de acuerdo a sus adaptaciones y que estas sean capaces de encontrar los recursos en los hábitats muestreado (*p.e.* grupos de aves con diferentes rasgos y preferencias alimenticias).

La poca representatividad de rasgos en estratos de suelo y sotobosque, principalmente de aves insectívoras de sotobosque, puede traer consigo consecuencias ecológicas negativas. Según lo reportado por Sekercioglu *et al.* (2002), en un estudio acerca de la pérdida de especies de aves insectívoras de sotobosque por efectos de la fragmentación en Costa Rica, argumenta que resultaría en un colapso de procesos ecosistémicos significativos, teniendo por resultado una deficiencia en el control de plagas y daños en los sistemas de producción (*p.e.* en este caso baja herbivoría y mayores enfermedades al café).

## **5. IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL PAISAJE DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA APANECA-ILAMATEPEC**

Este estudio es una herramienta para la toma de decisiones en programas de manejo de los sistemas agroforestales presentes en el paisaje. Dada la importancia del cultivo de café en la economía de El Salvador y otros países latinoamericanos con altas tasas de deforestación y problemas de plagas (*p.e.* broca), la promoción de una mayor diversificación en los cafetales permite la presencia de tipos funcionales de aves que pueden proveer potenciales servicios de control de plaga contribuyendo a mejorar los beneficios económicos de los productores.

La diversificación de fincas aumenta la oportunidad de acceder a esquemas de certificación que proveen un ingreso adicional (*p.e.* Rainforest Alliance, Smithsonian Migratory Bird Center, Starbucks, entre otros) y la oportunidad de maximizar la diversidad productiva (Pearce y Mourato 2004). Además, la diversidad florística de las fincas aumenta la oportunidad de tener presencia de especies de aves u otros grupos, como potenciales depredadoras de herbívoros que afectan los cultivos, como un servicio ecosistémico de ganar-ganar en el control de plagas y rendimiento productivo en los sistemas agroforestales (biodiversidad y producción) (Kellerman *et al.* 2008).

Las estrategias de conservación deberían incluir el mantenimiento de un paisaje heterogéneo y priorización/aumento de las áreas naturales. Los hábitats naturales mantienen mayor número de tipos funcionales y en consecuencia potenciales servicios ecosistémicos, principalmente porque estos sitios se caracterizan por su complejidad vegetal, reguladores del microclima, diversidad florística (disponibilidad de recursos), entre otros aspectos. Con base en la alta movilidad de las aves y los beneficios que estas proveen, se hace necesario mantener un paisaje con hábitats heterogéneos, sistemas agroforestales complejos estructural y florísticamente, parches de bosque que sirvan de corredores y que den oportunidad al desplazamiento de las aves para encontrar sitios como refugio, alimentación y reproducción, y para ampliar en el paisaje los potenciales servicios ecosistémicos que se derivan de estas aves en relación al medio en que se mueven en el paisaje.

Por otro lado, esta investigación es una línea base para futuros estudios sobre diversidad funcional de aves. Investigaciones a futuro deben incorporar otros órdenes de aves para conocer la importancia en la provisión de otros servicios ecosistémicos. Asimismo, evaluar cómo la diversidad funcional de aves provee servicios a otros sistemas de producción.

Otro aspecto relevante es como los parches de bosques a diferentes distancias, tamaños y formas a través de la diversidad funcional influyen en la provisión de servicios ecosistémicos en la producción agrícola (*p.e.* controladores de plaga y polinización) y otros servicios ecológicos como dispersión de semillas, polinización, entre otros.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a las personas que colaboraron con información sobre medidas morfológicas de las aves analizadas en esta investigación: Alejandra Martínez-Salinas (estaciones de monitoreo de aves en CATIE, Costa Rica), Liliana Chavarría-Duriaux (estaciones de monitoreo de aves JAGUAR, Bosawas y Río San Juan en Nicaragua), SalvaNATURA (estaciones de monitoreo de aves en El Salvador). A José Hoyos quien colaboró en la búsqueda de información de rasgos funcionales de las aves por medios electrónicos. A Sergio Vilchez quien asesoró en la parte estadística, y por el apoyo a Eduardo Corrales también en algunos análisis. A todo el comité asesor quien ayudó en la asesoría de la investigación y revisión del documento: Alejandra Martínez-Salinas, Sergio Vilchez, Oliver Komar, Diego Delgado y Bryan Finegan.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Arendt, W; Tórrez, M; Vilchez, S. 2012. Diversidad de aves en agropaisajes en la región norte de Nicaragua. *Ornitología Neotropical* 23:113–131.
- Bennett, A. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. San José, Costa Rica, UICN-Unión Mundial para la Naturaleza. 278 p.
- Casanoves, F; Pla L; Di Rienzo JA; Díaz S. 2010. FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity. *Methods in Ecology & Evolution* doi: 10.1111/j.2041-210X.2010.00082.x
- Calvo, L; Blake, J. 1998. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International* 8(3):297–308.
- Clough, Y; Dwi Putra, D; Pitopang, R; Tscharntke, T. 2009. Local and landscape factors determine functional bird diversity in Indonesian cacao agroforestry. *Biological Conservation* 142(5):1032–1041.
- Di Rienzo JA; Casanoves F; Balzarini MG; González L; Tablada M; Robledo CW. *InfoStat* versión 2013. Grupo *InfoStat*, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Díaz, S; Cabido, M. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science* 8:463–474.
- Dietsch, TV; Perfecto, I; Greenberg, R. 2007. Avian foraging behavior in two different types of coffee agroecosystem in Chiapas, Mexico. *Biotropica* 39: 232–240.
- Ding, Z; Feeley, KJ; Wang, Y; Pakeman, RJ; Ding, P. 2013. Patterns of bird functional diversity on land-bridge island fragments. *Journal of Animal Ecology* 82(4) 781–790.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics* 34(1):487–515.
- Florian, E; Harvey, CA; Finegan, B; Benjamin, T; Soto, G. 2010. Efecto de la complejidad estructural y el contexto paisajístico en la avifauna en sistemas agroforestales cafetaleros dentro del corredor biológico Volcánica Central- Talamanca, Costa Rica. *Mesoamericana* 13 (3):65–72.
- Flynn, DF; Gogol-Prokurat, M; Nogeire, T; Molinari, N; Richers, BT; Lin, BB; Simpson, N; Mayfield, MM; DeClerck, F. 2009. Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. *Ecology Letters* 12: 22–33.
- Greenberg, R; Bichier, P; Cruz-Angón, A; Reitsma, R. 1997a. Bird populations in shade and sun coffee plantations in Central Guatemala. *Conservation Biology* 11(2):448–459.
- Greenberg, R; Bichier, P; Sterling, J. 1997b. Bird population in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, México. *Biotropica* 29:501–514.
- Greenberg, R; Bichier, P; Angon, AC; MacVean, C; Perez, R; Cano, E. 2000. The impact of avian insectivory on arthropods and leaf damage in some Guatemalan coffee plantations. *Ecology*, 81(6), 1750–1755.

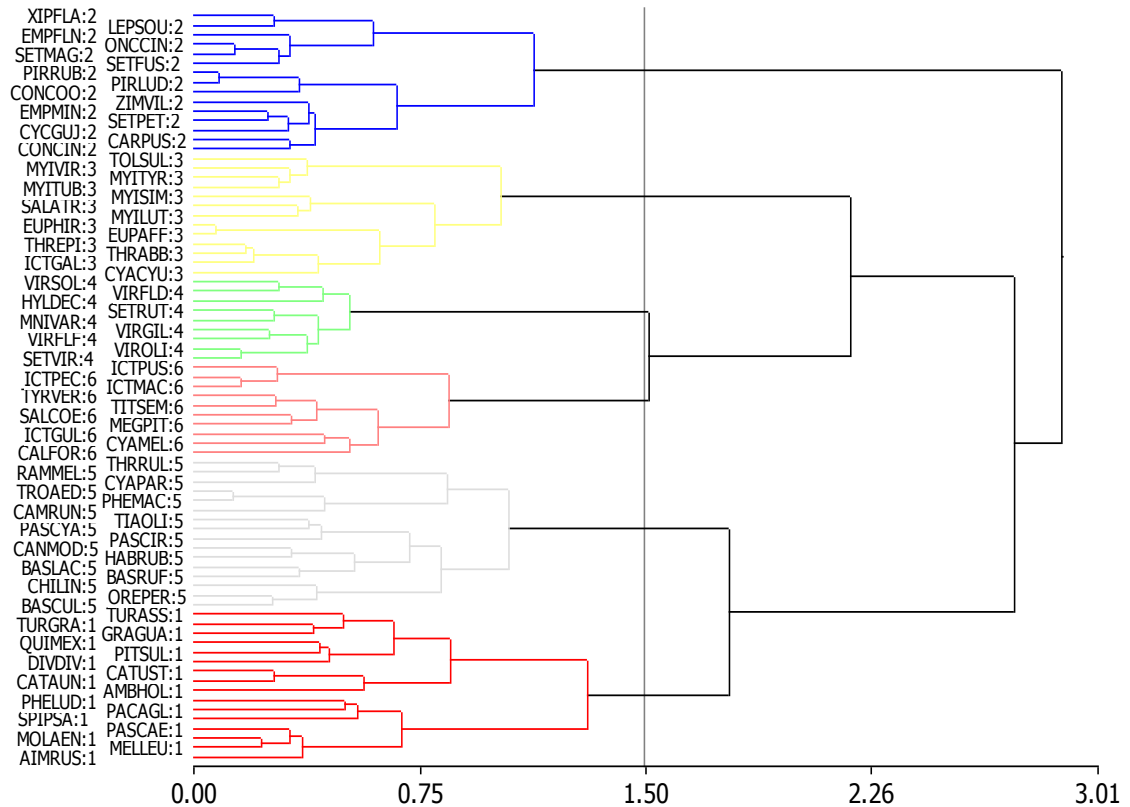
- Gove, AD; Hylander, K; Nemomissa, S; Shimelis, A; Enkossa, W. 2013. Structurally complex farms support high avian functional diversity in tropical montane Ethiopia. *Journal of Tropical Ecology*, 29(02), 87–97.
- Howell, SNG; Webb, S. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press, USA. 851 p.
- Huff, MH; Bettinger, KA; Ferguson, HL.; Brown, MJ; Altman, B. 2000. A habitat-based point-count protocol for terrestrial birds, emphasizing Washington and Oregon. General Technical Report PNW- G T R - 5 0 1. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 39 p.
- Junge, GCA; Mees, GF. 1961. The avifauna of Trinidad and Tobago. EJ Brill.
- Johnson, MD; Kellermann, JL; Stercho, AM. 2010. Pest reduction services by birds in shade and sun coffee in Jamaica. *Animal Conservation* 13: 140–147.
- Karp, DS; Mendenhall, CD; Sandí, RF; Chaumont, N; Ehrlich, PR; Hadly EA; Daily, CG. 2013. Forest bolsters bird abundance, pest control and coffee yield. *Ecology Letters*. DOI: 10.1111/ele.12173.
- Kellermann, J; Johnson, MD; Stercho, AM; Hackett, SC. 2008. Ecological and economic services provided by birds on Jamaican Blue Mountain coffee farms. *Conservation Biology* 1–9.
- Komar, O. 2006. Priority Contribution. Ecology and conservation of birds in coffee plantations: a critical review. *Bird Conservation International* 16:1–23.
- Komar, O; Herrera, N; Ibarra-Portillo, R; Girón, L. 2007. Lista Roja de las Aves de El Salvador. En prensa.
- Luck GW; Daily, GC.2003. Tropical countryside bird assemblages: richness, composition, and foraging differ by landscape context. *Ecological Applications* 13:235–247.
- MARN (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2004. Plan de manejo del área natural Los Volcanes. San Salvador, El Salvador. 173 p.
- Mason, NWH; Mouillot, D; Lee, WG; Wilson, JB. 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos* 111: 112–118.
- Mason, NWH; de Bello, F; Mouillot, D; Pavoine, S; Dray S. 2012. A guide for using functional diversity indices to reveal changes in assembly processes along ecological gradients. *Journal of Vegetation Science*. DOI: 10.1111/jvs. 1–13.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and human well-being: Biodiversity Synthesis. Washington, D.C: World Resources Institute.
- Moguel, P; Toledo, V. 1999. Biodiversity Conservation in Traditional Coffee System of Mexico. *Conservation Biology*, 3 (1): 11–21.
- Mouchet MA, Villéger S, Mason NWH, Mouillot D. 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology*, 24: 867–876.
- Mouillot, D; Bellwood, DR; Baraloto, C; Chave, J; Galzin, R; Harmelin-Vivien, M; Kulbicki, M; Lavergne, S; Lavorel, S; Mouquet, N; Paine, CET; Renaud, J; Thuiller, W. 2013. Rare Species Support Vulnerable Functions in High-Diversity Ecosystems. *PLoS Biol* 11(5): e1001569. doi:10.1371/journal.pbio.1001569
- Newbold T; Scharlemann JPW; Butchart SHM; Sekercioglu CH; Alkemade R; Booth H; Purves DW. 2013 Ecological traits affect the response of tropical forest bird species to land-use intensity. *Proc R Soc B* 280: 20122131. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2131>
- Ortega-Huerta, M; Komar, O; Price, K; Ventura, H. 2012. Mapping coffee plantations with Landsat imagery: an example from El Salvador. *International Journal of Remote Sensing* 33(1):220–242.
- Pearce, D; Mourato, S. 2004 (67–85). The economic valuation of agroforestry’s environmental services. En: Gotz, S; da Fonseca, AB; Harvey, CA; Vasconcelos, HL; Izac, AMN (editores). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, DC. 198–226 p.
- Perfecto, I; Vandermeer, JH; López-Bautista, G; Ibarra-Núñez, G; Greenberg, R; Bichier, P; Langridge, S. 2004. Greater predation in shaded coffee farms: the role of resident neotropical birds. *Ecology* 85(10): 2677–2681.
- Perfecto, I; Armbrrecht, I; Philpott, SM; Soto-Pinto, L; Dietsch, TM. 2007. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. Pages 227–264 en Tscharrntke, T; Leuschner, C; Zeller, M; Guhadja, E; Bidin, A. (editores). *The stability of tropical rainforest margins, linking*



- ecological, economics and social constraints of land use and conservation. Springer, Environmental Science Series, New York, USA.
- Petchey, OL; Gaston, KJ. 2002. Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters* 5: 402–411.
- Philpott, SM; Soong, O; Lowenstein, JH; Pulido, AL; Lopez, DT; Flynn, DF; DeClerck, F. 2009. Functional richness and ecosystem services: bird predation on arthropods in tropical agroecosystems. *Ecological applications* 19(7):1858–1867.
- Pyle, P. 1997. Identification Guide to North American Birds. Part 1. Slate Creek Press, Bolinas, CA. 742 p.
- Ralph, CJ; Geupel, GR; Pyle, P; Martin, TE; DeSante, DF; Milá, B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Albany, CA; Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 46 p.
- RAS (Red de Agricultura Sostenible) 2010. Norma para Agricultura Sostenible. Rainforest Alliance, San José, Costa Rica. Disponible en [www.rainforest-alliance.org](http://www.rainforest-alliance.org).
- Stiles, GF.; Skutch, AF. 2003. Guía de aves de Costa Rica. Cornell University Press e INBio. San José, CR. 511 p.
- Sekercioglu, CH. 2002. Forest fragmentation hits insectivorous birds hard. *Directions in Science* 1:62–64.
- Sekercioglu, CH; Ehrlich, PR; Daily, GC; Aygen, D; Goehring, D; Sandí, RF. 2002. Disappearance of insectivorous birds from tropical forest fragments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(1), 263–267.
- Sekercioglu, CH. 2012. Bird functional diversity and ecosystem services in tropical forests, agroforests and agricultural areas. *Journal Ornithology*. DOI: 10.1007/s10336–012–0869–4.
- Sodhi, N; Sekercioglu, C; Barlow, J; Robinson, S. 2011. Conservation of tropical birds. USA, Wiley-Blackwell. 300 p.
- Somarriba, E; Harvey, CA; Samper, FA; González, J; Staver, C; Rice, RA. 2004 (198–296). Biodiversity conservation in Neotropical coffee (*Coffea arabica*) plantations. En: Gotz, S; da Fonseca, AB; Harvey, CA; Vasconcelos, HL; Izac, AMN (editores). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, DC. 198–226 p.
- Tejeda-Cruz, C; WJ. Sutherland. 2004. Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation* 7(2):169–179.
- Tejeda-Cruz, C; Gordon, CE. 2008. Aves (149–160 p) en Manson, RH; Hernández-Ortíz, V; Gallina, S; Mehlreter, K; (editores). *Agrosistemas cafetaleros de Veracruz, biodiversidad, manejo y conservación*. Instituto de Ecología A.C (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México, 348 p.
- Thiollay, JM. 1992. Influence of selective logging on bird species diversity in Guianan Rain Forest. *Conservation Biology* 6 (1): 47–63.
- Tilman, D. 2001. Functional diversity. En: Levin SA, editor. *Encyclopedia of biodiversity*. San Diego: Academic Press. 109–120.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Salud). 2007. Programa hombre y la biosfera (MAB): Ficha técnica de la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec, El Salvador. Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Consultado en noviembre 2012. Disponible en [www.marn.gob.sv](http://www.marn.gob.sv).
- Van Bael, SA; Philpott, SM; Greenberg, R; Bicher, P; Barber, NA; Mooney, KA; Gruner, DS. 2008. Birds as predators in tropical agroforestry systems. *Ecology* 89(4): 928–934.
- Wunderle, J. 1994. Métodos para contar aves terrestres del caribe. United States Department of Agriculture-Forest Service. USA. New Orleans, Louisiana. 28 p.

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Dendrograma resultante del análisis conglomerados (método Ward y distancia Gower) para las 79 especies analizadas a partir de los rasgos cuantitativos y cualitativos en los cafetales y parches de bosques en la Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec (Nombres científicos y sus correspondientes abreviaciones en Anexo 5).



Anexo 2. Análisis de varianza de los seis tipos funcionales con medidas morfológicas de peso, dimensiones de pico (profundidad, ancho, culmen expuesto, culmen desde narinas) ala, cola y tarso.

GF	Peso (gr)	Ala (mm)	Culmen exp (mm)	Culmen narinas (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Tarso (mm)	Cola (mm)	n	LSD
1	62.45	96.8	19.05	15.77	7.52	8.59	29.36	80.98	16	b
2	18.88	74.41	14.62	11.79	5.25	5.22	18.08	57.84	15	cd
3	30.23	83.75	14.95	12	6.63	6.24	19.32	66.8	13	d
4	13.40	68.46	11.64	9.15	3.81	3.91	17.08	50.54	9	d
5	16.45	63.31	13.17	10.2	5.48	4.92	21.03	50.32	16	c
6	77.71	121.15	23.85	20.75	8.64	9.51	27.28	114.52	10	a

Medidas con una letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Anexo 3. Análisis de tablas de contingencia con frecuencias absolutas por tipo funcional y categorías de los rasgos cualitativos.

Rasgos	Tipo de rasgo		Tipos funcionales						X <sup>2</sup>	P
Nivel de estrato	Dosel	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	53.94	<0.0001	
		0	13	6	1	1	16			1
	Intermedio	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	17.2	<0.0001	
		0	15	6	8	4	11			3
	Sotobosque	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	47.84	<0.0001	
		0	1	9	5	5	5			7
	Suelo	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	54.78	<0.0001	
		0	12	8	13	9	2			10
	Tipo de actividad social	Grupo	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	47.81	<0.0001
			0	6	15	4	0	5		
		Solitario	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	52.12	<0.0001
			0	10	0	9	9	11		
Insectos		TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	52.19	<0.0001	
		0	11	0	9	9	14			10
Invertebrados		TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	61.68	<0.0001	
		0	5	15	4	0	2			0
Semillas		TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	24.7	<0.0001	
		0	7	0	13	0	4			1
Bayas		TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	11.6	<0.0001	
		0	9	15	0	9	12			9
Néctar	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	16.63	<0.0001		
	0	10	0	13	0	5			0	
Fruta	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6	29.62	<0.0001		
	0	11	0	3	1	4			1	
	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6				
	0	16	14	13	6	14			10	
	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6				
	0	0	1	0	3	2			0	
	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6				
	0	14	15	9	9	14			5	
	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6				
	0	2	0	4	0	2			5	
	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6				
	0	7	12	0	6	10			2	
	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	TF6				
	0	9	3	13	3	6			8	

Anexo 4. Salidas en *InfoStat* de las regresiones lineales entre los índices de diversidad funcional: FRic (a), FEve (b) y FDiv (c) con la riqueza de aves

a)

**Análisis de regresión lineal**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
<b>FRiclog</b>	21	0.56	0.53	0.17	23.30	26.43

**Coefficientes de regresión y estadísticos asociados**

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0.61	0.33	-1.31	0.09	-1.82	0.0850		
S_aves	0.05	0.01	0.03	0.07	4.89	0.0001	23.74	1.00

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3.52	1	3.52	23.89	0.0001
S_aves	3.52	1	3.52	23.89	0.0001
Error	2.80	19	0.15		
Total	6.32	20			

b)

**Análisis de regresión lineal**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
<b>FEve</b>	21	0.14	0.09	0.01	-48.32	-45.19

**Coefficientes de regresión y estadísticos asociados**

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	0.59	0.06	0.46	0.71	9.65	<0.0001		
S_aves	-3.3E-03	1.9E-03	-0.01	7.1E-04	-1.72	0.1010	3.87	1.00

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.01	1	0.01	2.97	0.1010
S_aves	0.01	1	0.01	2.97	0.1010
Error	0.09	19	4.9E-03		
Total	0.11	20			

c)

**Análisis de regresión lineal**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
<b>FDiv</b>	21	0.02	0.00	1.6E-03	-74.82	-71.69

**Coefficientes de regresión y estadísticos asociados**

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	0.86	0.03	0.79	0.93	26.53	<0.0001		
S_aves	5.7E-04	1.0E-03	-1.6E-03	2.7E-03	0.56	0.5846	1.34	1.00

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4.3E-04	1	4.3E-04	0.31	0.5846
S_aves	4.3E-04	1	4.3E-04	0.31	0.5846
Error	0.03	19	1.4E-03		
Total	0.03	20			

Anexo 5. Salidas en *InfoStat* de las regresiones lineales múltiples de la relación de los índices de diversidad funcional: FRic (a), FEve (b) y FDiv (c) con las características de la vegetación.

a)

#### Análisis de regresión lineal

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
<b>Friclog</b>	21	0.69	0.63	0.17	20.18	25.40

#### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0.16	0.32	-0.83	0.52	-0.49	0.6275		
Arb 6_10	m-0.02	4.3E-03	-0.03	-0.01	-4.22	0.0006	19.89	1.14
CVALT	0.03	0.01	0.01	0.04	3.58	0.0023	15.14	1.02
IHV	0.35	0.11	0.13	0.58	3.32	0.0040	13.49	1.16

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4.36	3	1.45	12.37	0.0002
Arb 6_10	m2.09	1	2.09	17.83	0.0006
CVALT	1.50	1	1.50	12.80	0.0023
IHV	1.30	1	1.30	11.05	0.0040
Error	2.00	17	0.12		
Total	6.35	20			

b)

#### Análisis de regresión lineal

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
<b>FEve</b>	21	0.62	0.55	3.4E-03	-60.23	-55.00

#### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	0.26	0.09	0.07	0.45	2.84	0.0112		
ArbFruta	0.02	0.01	0.01	0.04	3.98	0.0010	18.03	1.26
IHV	-0.05	0.02	-0.08	-0.01	-2.74	0.0140	10.14	1.28
PromALT	0.03	0.01	0.01	0.06	2.67	0.0162	9.78	1.42

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.07	3	0.02	9.15	0.0008
ArbFruta	0.04	1	0.04	15.86	0.0010
IHV	0.02	1	0.02	7.50	0.0140
PromALT	0.02	1	0.02	7.12	0.0162
Error	0.04	17	2.6E-03		
Total	0.11	20			

c)

#### Análisis de regresión lineal

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
<b>FDiv</b>	21	0.417	0.386	0.001	-84.458	-81.324

#### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	0.768	0.029	0.707	0.828	26.627	<0.0001		
PromDAP	0.001	3.9E-04	0.001	0.002	3.683	0.0016	13.937	1.000

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.012	1	0.012	13.566	0.0016
PromDAP	0.012	1	0.012	13.566	0.0016
Error	0.017	19	0.001		
Total	0.028	20			

Anexo 5. Familias en orden evolutivo de las especies de aves analizadas con sus códigos y nombres científicos.

Familia	Código	Especie
FURNARIIDAE	LEPSOU	<i>Lepidocolaptes souleyetii</i>
FURNARIIDAE	XIPFLA	<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>
FORMICARIIDAE	GRAGUA	<i>Grallaria guatemalensis</i>
TYRANNIDAE	CONCIN	<i>Contopus cinereus</i>
TYRANNIDAE	CONCOO	<i>Contopus cooperi</i>
TYRANNIDAE	EMPFLN	<i>Empidonax flaviventris</i>
TYRANNIDAE	EMPMIN	<i>Empidonax minimus</i>
TYRANNIDAE	MEGPIT	<i>Megarynchus pitangua</i>
TYRANNIDAE	MYILUT	<i>Myiodynastes luteiventris</i>
TYRANNIDAE	MYISIM	<i>Myiozetetes similis</i>
TYRANNIDAE	MYITUB	<i>Myiarchus tuberculifer</i>
TYRANNIDAE	MYITYR	<i>Myiarchus tyrannulus</i>
TYRANNIDAE	MYIVIR	<i>Myiopagis viridicata</i>
TYRANNIDAE	ONCCIN	<i>Oncostoma cinereigulare</i>
TYRANNIDAE	PITSUL	<i>Pitangus sulphuratus</i>
TYRANNIDAE	TOLSUL	<i>Tolmomyias sulphurescens</i>
TYRANNIDAE	TYRVER	<i>Tyrannus verticalis</i>
TYRANNIDAE	ZIMVIL	<i>Zimmerius vilissimus</i>
PIPRIDAE	CHILIN	<i>Chiroxiphia linearis</i>
TITYRIDAE	PACAGL	<i>Pachyramphus aglaiae</i>
TITYRIDAE	TITSEM	<i>Tityra semifasciata</i>
VIREONIDAE	CYCGUJ	<i>Cyclarhis gujanensis</i>
VIREONIDAE	HYLDEC	<i>Hylophilus decurtatus</i>
VIREONIDAE	VIRFLD	<i>Vireo flavoviridis</i>
VIREONIDAE	VIRFLF	<i>Vireo flavifrons</i>
VIREONIDAE	VIRGIL	<i>Vireo gilvus</i>
VIREONIDAE	VIROLI	<i>Vireo olivaceus</i>
VIREONIDAE	VIRSOL	<i>Vireo solitarius</i>
CORVIDAE	CALFOR	<i>Calocitta formosa</i>
CORVIDAE	CYAMEL	<i>Cyanocorax melanocyaneus</i>
TROGLODYTIDAE	CAMRUN	<i>Campylorhynchus rufinucha</i>
TROGLODYTIDAE	CANMOD	<i>Cantorchilus modestus</i>
TROGLODYTIDAE	PHEMAC	<i>Pheugopedius maculipectus</i>
TROGLODYTIDAE	THRRUL	<i>Thryophilus rufalbus</i>
TROGLODYTIDAE	TROAED	<i>Troglodytes aedon</i>
SYLVIIDAE	RAMMEL	<i>Ramphocaenus melanurus</i>
TURDIDAE	CATAUN	<i>Catharus aurantiirostris</i>
TURDIDAE	CATUST	<i>Catharus ustulatus</i>
TURDIDAE	TURASS	<i>Turdus assimilis</i>
TURDIDAE	TURGRA	<i>Turdus grayi</i>
PARULIDAE	BASCUL	<i>Basileuterus culicivorus</i>
PARULIDAE	BASLAC	<i>Basileuterus lachrymosus</i>
PARULIDAE	BASRUF	<i>Basileuterus rufifrons</i>

Familia	Código	Especie
PARULIDAE	CARPUS	<i>Cardellina pusilla</i>
PARULIDAE	MNIVAR	<i>Mniotilta varia</i>
PARULIDAE	OREPER	<i>Oreothlypis peregrina</i>
PARULIDAE	SETFUS	<i>Setophaga fusca</i>
PARULIDAE	SETMAG	<i>Setophaga magnolia</i>
PARULIDAE	SETPET	<i>Setophaga petechia</i>
PARULIDAE	SETRUT	<i>Setophaga ruticilla</i>
PARULIDAE	SETVIR	<i>Setophaga virens</i>
THRAUPIDAE	CYACYU	<i>Cyanerpes cyaneus</i>
THRAUPIDAE	HABRUB	<i>Habia rubica</i>
THRAUPIDAE	PIRLUD	<i>Piranga ludoviciana</i>
THRAUPIDAE	PIRRUB	<i>Piranga rubra</i>
THRAUPIDAE	THRABB	<i>Thraupis abbas</i>
THRAUPIDAE	THREPI	<i>Thraupis episcopus</i>
EMBERIZIDAE	AIMRUS	<i>Aimophila rufescens</i>
EMBERIZIDAE	MELLEU	<i>Melospiza leucotis</i>
EMBERIZIDAE	TIAOLI	<i>Tiaris olivaceus</i>
CARDINALIDAE	CYAPAR	<i>Cyanocompsa parellina</i>
CARDINALIDAE	PASCAE	<i>Passerina caerulea</i>
CARDINALIDAE	PASCIR	<i>Passerina ciris</i>
CARDINALIDAE	PASCYA	<i>Passerina cyanea</i>
CARDINALIDAE	PHELUD	<i>Pheucticus ludovicianus</i>
CARDINALIDAE	SALATR	<i>Saltator atriceps</i>
CARDINALIDAE	SALCOE	<i>Saltator coerulescens</i>
ICTERIDAE	AMBHOL	<i>Amblycercus holosericeus</i>
ICTERIDAE	DIVDIV	<i>Dives dives</i>
ICTERIDAE	ICTGAL	<i>Icterus galbula</i>
ICTERIDAE	ICTGUL	<i>Icterus gularis</i>
ICTERIDAE	ICTMAC	<i>Icterus maculialatus</i>
ICTERIDAE	ICTPEC	<i>Icterus pectoralis</i>
ICTERIDAE	ICTPUS	<i>Icterus pustulatus</i>
ICTERIDAE	MOLAEN	<i>Molothrus aeneus</i>
ICTERIDAE	QUIMEX	<i>Quiscalus mexicanus</i>
FRINGILLIDAE	EUPAFF	<i>Euphonia affinis</i>
FRINGILLIDAE	EUPHIR	<i>Euphonia hirundinacea</i>
FRINGILLIDAE	SPIPSA	<i>Spinus psaltria</i>