

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumcla”**

**Informe final**

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación  
Programa Universitario de Investigación en Asentamientos Humanos

Informe final

**“Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumcla”**

Equipo de investigación

**Jéssica Esmeralda López**

Valeska Jimena Contreras Paz

Ana Elisa Laparra Ruiz

Cristian José Estrada Corpeño

Guatemala, 28 de noviembre de 2018

Departamento de Estudios y Planificación DEyP/Centro de Estudios Conservacionistas CECON  
Instituto de Investigaciones de Ciencias Químicas y Biológicas IIQB

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atilán Rumclá”**

**Informe final**

Dr. Erwin Humberto Calgua Guerra  
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar  
Coordinador General de Programas

Dra. Sandra Herrera Ruiz

Jéssica Esmeralda López López

Valeska Jimena Contreras Paz  
Ana Elisa Laparra Ruiz  
Cristian José Estrada Corpeño

Otros colaboradores  
Lourdes Nuñez  
Maria de los Angeles Schoenbeck  
Gerber Guzmán

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2018. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.9.04. durante el año 2018 en el Programa Universitario de Investigación de Asentamientos Humanos

Financiamiento aprobado por Digi: \_\_\_\_\_ Financiamiento ejecutado: \_\_\_\_\_

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

**Índice**

Resumen	3
Palabras clave	3
Abstract	4
Introducción	4
Planteamiento del Problema	6
Preguntas de Investigación	7
Delimitación tiempo y espacio	8
Marco Teórico	
Diversidad Funcional	8
Antecedentes del estudio de la Diversidad funcional	8
<b>Resiliencia y restauración</b>	10
<b>Manejo de cultivos</b>	10
<b>Reserva de Uso Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán</b>	11
<b>Estado del arte</b>	12
Objetivos	13
Hipótesis	13
Materiales y métodos	13
<b>Operacionalización de las variables o unidades de análisis</b>	15
<b>Procesamiento y análisis de información</b>	19
<b>Vinculación, difusión y divulgación</b>	20
Resultados	20
Análisis y discusión de resultados	23
Impacto esperado	26
Referencias	27
Ápendices	36
Listado de integrantes del equipo de investigación	45

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumcla”**

**Informe final**

**“Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumcla”**

**1. Resumen**

Actividades antropogénicas, como el cambio de uso del suelo, modifican los ecosistemas, causando pérdida de diversidad y afectando el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas. Actualmente existen esfuerzos para recuperar ecosistemas, como la reforestación con plantaciones y sistemas agroforestales. En la Rumcla, área importante en la conservación, están presentes estas prácticas productivas, pero se desconoce su impacto en la diversidad funcional de aves. En este trabajo se comparó la diversidad funcional de aves de sotobosque de dos agroecosistemas de diferente complejidad estructural vegetal: café (*Coffea arabica*) bajo sombra, monocultivo de aguacate (*Persea americana*), y bosque natural. Los índices utilizados para medir la diversidad funcional de cada tipo de cobertura fueron: riqueza funcional (FRic), equidad funcional (FEve), divergencia funcional (FDiv) y dispersión funcional (FDis). A los resultados se les aplicó un NPMANOVA. Se relacionó la complejidad estructural vegetal y los índices de diversidad funcional mediante un Modelo Lineal Generalizado (GLM). No se encontraron diferencias significativas en los resultados de los índices de diversidad funcional por cobertura, sin embargo, los sitios de aguacate presentaron valores más bajos de riqueza funcional y equidad funcional. Los resultados obtenidos de los Modelos Lineales Generalizados fueron: riqueza funcional (AIC=-771.6), equidad funcional (AIC=-526.1), divergencia funcional (AIC=-523.9) y dispersión (AIC=-551), demostrando que si existe relación entre la diversidad funcional y la complejidad estructural de la vegetación.

**2. Palabras clave**

Rasgos funcionales, especies, actividades antropogénicas, ecosistemas, resiliencia.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

**3. Abstract and keyword**

Anthropogenic activities, such as changes in land use, modify ecosystems, causing loss of diversity and affecting the functioning and resilience of ecosystems. Currently there are efforts to recover ecosystems, such as reforestation with plantations and agroforestry systems. In the Rumclá, an important area in conservation, these productive practices are present, but their impact on the functional diversity of birds is unknown. In this work we compared the functional diversity of undergrowth birds of two agroecosystems of different vegetation structural complexity: coffee (*Coffea arabica*) under shade, monoculture of avocado (*Persea americana*), and natural forest. The indexes used to measure the functional diversity of each type of coverage were: functional richness (FRic), functional equity (FEve), functional divergence (FDiv) and functional dispersion (FDis), to the results a NPMANOVA was applied. The vegetation structural complexity and the functional diversity indexes were related by means of a Generalized Linear Model (GLM). No significant differences were found in the results of the functional diversity indexes per site, however, the avocado sites showed lower values of functional richness and functional equity. The results obtained from the relationship between vegetation structural complexity and functional diversity indexes were: functional richness (AIC = -771.6), functional equity (AIC = -526.1), functional divergence (AIC = -523.9) and dispersion (AIC = -551), demonstrating that there is a relationship between functional diversity and the structural complexity of the vegetation.

**Key Word:** functional features, species, anthropogenic activities, ecosystems, resilience.

**4. Introducción**

La biodiversidad incluye a los organismos en distintos niveles: especie, población, comunidad, variación genética y ecosistemas de los que forman parte (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2005). Incluye la variación en apariencia, composición, distribución, comportamiento e interacciones (Ash & Fazel, 2007). Tilman, Knops, Wedin, Reich, Ritchie y Siemann (1997) mencionan que tienen dos componentes correlacionados: riqueza y diversidad funcional, indican que se espera que los efectos de estos aumenten con la magnitud de las diferencias entre las especies o grupos funcionales. La riqueza de especies se refiere al número

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

de especies (Moore, 2001). La diversidad funcional se refiere al rol de las especies en el ecosistema (Tilman et al., 1997), indicando la diversidad de funciones, el efecto y la respuesta de cada especie, y su relación con la dinámica y resiliencia de los sistemas (Petchey, Evans, Fishburn, & Gaston, 2007).

La diversidad funcional puede descomponerse en: uniformidad funcional, riqueza funcional, divergencia funcional y dispersión funcional (Mason, MacGillivray, Steel, & Wilson, 2003; Mouillot, Mason, Dumay, & Wilson, 2005). La uniformidad funcional es el grado en el que la biomasa de una comunidad se distribuye en el espacio del nicho para permitir la utilización efectiva de los recursos (Mason, Mouillot, Lee, & Wilson, 2005). La riqueza funcional representa el volumen del nicho que ocupan las especies (Casanoves, Pla, & Di Rienzo, 2011). La divergencia funcional es el grado en el cual la distribución de la abundancia en el espacio del nicho maximiza la divergencia de caracteres funcionales (Mason et al., 2005). La dispersión funcional es la distancia media entre el espacio del rasgo multidimensional de especies individuales y el centroide de todas las especies (Laliberté & Legendre, 2010). Dada la importancia de la diversidad para el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas, la medición de las alteraciones en la biodiversidad es fundamental en la gestión de los recursos naturales y la conservación (Hooper et al., 2005). La diversidad se está perdiendo como consecuencia del uso de la tierra, intercambios bióticos y cambios en la composición atmosférica (Díaz & Cabido, 2001). En los últimos años, a nivel internacional ha aumentado el interés en recuperar y restaurar ecosistemas (Gallo, 2008) con el fin de imitar la estructura, función, diversidad y dinámica de los mismos (Gálvez, 2002). Una de las formas más utilizadas es la reforestación (Vilagrosa et al., 2012), que mediante programas de plantaciones arbóreas y sistemas agroforestales restablece la cubierta arbórea. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) (1991) indican que los sistemas agroforestales no sustituyen a los bosques naturales, pues son menos eficientes en mantener las funciones ambientales y conservar la biodiversidad.

Actualmente muchos esquemas de reforestación favorecen los monocultivos, los cuales no carecen de valor en diversidad, pero en general apoyan una pequeña proporción de ella (Kanowski,

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

Catterall, & Wardell-Johnson, 2005). En contraste, los sistemas agroforestales favorecen el mantenimiento de la biodiversidad, generando sistemas más productivos y sostenibles, así como la regulación de plagas y erosión (Sans, 2007). En general se puede concluir que la diversidad funcional disminuye en áreas de monocultivo (Edwards, Edwards, Hamer, & Davies, 2013). Las aves desempeñan importantes funciones en los ecosistemas (Begon, Harper, & Townsend, 1995), como dispersión de semillas, polinización y control de plagas (Sekercioglu, 2012). La diversidad funcional en aves ha sido estudiada en distintos trabajos (Batalha, Cianciaruso, & Motta, 2010; Tschardtke, Sekercioglu, Dietsch, Sodhi, Hoehn, & Tylianakis, 2008) para entender cómo cambia entre bosques tropicales y áreas de agricultura, demostrando que disminuye en áreas perturbadas. La mayoría de especies de aves evitan áreas agrícolas, aun así, un tercio las usan con frecuencia (Sekercioglu, 2012). Debido a que las aves tienen amplia diversidad, facilidad de detección, identificación y sensibilidad al medio ambiente resultan un taxón idóneo para trabajar (Nolazco, 2011).

La Reserva de Uso Múltiple de la Cuenca del Lago de Atitlán (Rumclá) es una región prioritaria para la conservación de la biodiversidad (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [Conap], 2007). En la Rumclá la principal actividad económica es la agricultura (Conap, 2007). Siendo el cultivo de café el mayoritario debido a los ingresos económicos de su exportación (Conap, 2007). El cultivo de café bajo sombra como sistema agroforestal promueve el uso de especies arbóreas, brindando hábitat y alimento para diferentes organismos, además mejora la conservación del suelo y captura de agua y carbono (Anta, 2006). En esta reserva también es importante la fruticultura, siendo el aguacate un cultivo importante por ser fuente alimenticia y medicinal para las comunidades y tener demanda internacional (Asociación Nacional del Café [Anacafe], 2004). En este estudio se evaluó cómo cambia la diversidad funcional en estos cultivos de diferente complejidad estructural vegetal en relación al bosque, para poder establecer alternativas sostenibles de producción.

## **5. Planteamiento del problema**

La diversidad se está perdiendo a un ritmo sin precedentes a nivel mundial, siendo las principales causas actividades antropogénicas, que reducen la capacidad de resiliencia de los ecosistemas

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

(Scheffer, Carpenter, Foley, Folkes, & Walker, 2001). Dentro de estas actividades destacan el cambio de uso de la tierra, intercambios bióticos y cambios en la composición atmosférica (Díaz & Cabido, 2001). Los efectos del cambio del uso de la tierra han sido ampliamente estudiados. En general se sabe que la expansión de plantaciones, ganadería y áreas urbanas provoca grandes aumentos en el consumo de energía y agua, además de la considerable pérdida de biodiversidad, que trae como consecuencia la reducción de la capacidad de los ecosistemas para: 1) sostener la producción de alimentos; 2) mantener los recursos hídricos y forestales; 3) y regular el clima y la calidad de agua (Foley *et al.*, 2005).

El cambio de uso de suelo degrada los servicios ecosistémicos de los que el ser humano depende, actualmente es un reto reducir los impactos del uso de la tierra, de manera que se mantenga e incluso maximicen los beneficios económicos y sociales (Rosenberg & Izaurralde, 2001). En los últimos años, a nivel internacional se ha incrementado el interés en recuperar y restaurar ecosistemas degradados (Gallo, 2008), con el objetivo de imitar la estructura, función, diversidad y dinámica de estos (Gálvez, 2002). Una de las formas más utilizadas para recuperar ecosistemas es la reforestación (Vilagrosa *et al.*, 2012), que mediante plantaciones arbóreas y sistemas agroforestales restablece la cubierta de árboles en áreas taladas.

Actualmente muchos esquemas de reforestación favorecen a los monocultivos (Brown, Seymour, & Peskett, 2008), ya que traen consigo altos rendimientos en la producción, pero simplifican los componentes en los sistemas agrícolas, ocasionando pérdida en la diversidad (Convenio Sobre la Diversidad Biológica, 2008). Esto trae como consecuencia que los monocultivos sean más propensos a la invasión de plagas, ya que no se logran interacciones entre organismos que puedan estabilizar las poblaciones y que amortigüen la incidencia de invasores que tienen alto potencial reproductivo (Begon *et al.*, 1995). Dada la importancia de la diversidad en los cultivos, se deben implementar mecanismos que favorezcan la biodiversidad y que mantengan los beneficios económicos, el uso de sistemas agroforestales puede ser una alternativa. Es por ello que en este estudio se evaluó cómo se ve afectada la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas de diferente complejidad estructural vegetal, para poder establecer alternativas de producción más sostenibles.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

**6. Preguntas de investigación**

¿Cómo cambia la diversidad funcional entre dos agroecosistemas de diferente complejidad estructural vegetal con relación a las áreas de bosque natural?

¿Cuál es la riqueza de aves de sotobosque en dos agroecosistemas y bosque natural?

¿Qué agroecosistema presenta valores de diversidad funcional similares a los del bosque natural?

¿Existe redundancia funcional en dos agroecosistemas de diferente complejidad estructural de la vegetación y bosque natural?

¿Cómo es la relación entre la diversidad funcional de aves de sotobosque y la complejidad estructural de la vegetación en dos agroecosistemas y bosque natural?

**7. Delimitación en tiempo y espacio**

Este estudio se realizó con datos obtenidos de tres tipos de cobertura (sistema agroforestal de café, monocultivo de aguacate y bosque natural) en la Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca de Lago de Atitlán (Rumclá). El análisis de datos se llevó a cabo en el Centro de Estudios Conservacionistas (Cecon) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Delimitación temporal: 11 meses, febrero a diciembre del 2018.

**8. Marco teórico**

**8.1 Diversidad funcional**

Entre las diferentes definiciones que existen acerca de la diversidad funcional, se puede crear una generalización de todas ellas, siendo definida como el valor y el rango de aquellos rasgos de especies y organismos que influyen el funcionamiento del ecosistema. Otro tipo de enfoque de los estudios de diversidad funcional puede ser en la importancia de rasgos específicos en la adecuabilidad de los individuos (Bradshaw, 1987; Tilman, 2001). Junto con el desarrollo de la diversidad funcional, aparecieron muchos tipos de índices para medir dicha diversidad. Los estimadores correctos de la diversidad funcional dependen de la elección de rasgos ecológicamente

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

significativos. Estos rasgos pueden ser definidos como las características del organismo que influyen en la adecuabilidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Cianciaruso, 2009; Petchey & Gaston, 2006; Swenson, 2014). Es muy importante considerar el número y el tipo de rasgos para medir la diversidad funcional. Al incluir muchos rasgos dentro del análisis, se identificará mejor la individualidad de la funcionalidad de las especies, mientras que al usar pocos rasgos se mejorará la probabilidad de detectar redundancia en las especies. Es por esto, que el número de rasgos utilizados en el estudio debe ser el adecuado para capturar la función de interés en específico (Petchey & Gaston, 2006).

Considerando que la biodiversidad abarca diferentes clasificaciones de los organismos (taxonómica, funcional y filogenética) y diferentes niveles (desde genes hasta ecosistemas), es importante identificar los componentes de la biodiversidad que están cercanamente relacionados al funcionamiento de los ecosistemas. Es en este sentido, se dice que la diversidad funcional es la mejor medida para detectar el efecto de la biodiversidad en el funcionamiento y servicios de los ecosistemas (Balvanera *et al.*, 2006; Díaz, Fargione, Chapin, & Tilman, 2006).

## **8.2 Antecedentes del estudio de la diversidad funcional**

Históricamente, los estudios de diversidad funcional responden a dos preguntas principales: ¿Como las especies influyen en el funcionamiento del ecosistema? y ¿Como las especies responden a los cambios en el ambiente? (Hooper *et al.*, 2000). Luego de esto, la aplicabilidad de estos estudios se expandió hacia preguntas acerca de ensamblaje (Díaz & Cabido, 2001), estrategias de los organismos ante severas condiciones abióticas (Grime, 1974; Westoby, 1998), competencia interespecífica (Grime, 1973) y conservación de la biodiversidad (Petchey & Gaston, 2006). Sin embargo, desde sus comienzos, el término diversidad funcional representaba un problema hacia como la comunidad científica entendía la aplicabilidad del tema hacia ciertos tipos de estudios. En el 2005, alrededor del 50% de los estudios acerca de la diversidad funcional no explicaban en ninguna parte una definición de dicho tema. Esto ha cambiado en estudios recientes, y en cambio, la diversidad funcional se aplica a diferentes tipos de temas, los cuales abarcan desde los determinantes evolutivos y ecológicos de la diversidad funcional (Weiher, Clarke, & Keddy, 1998), determinación de procesos de niveles ecosistémicos (Chapin *et al.*, 2000) y es utilizado como

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

concepto que une a especies y ecosistemas a través de mecanismos tales como complementariedad de uso de los recursos (Petchey & Gaston, 2006). Y en algunas ocasiones, ha sido utilizado como herramienta para predecir las consecuencias funcionales de los cambios bióticos causados por los humanos (Chapin *et al.*, 2000; Loreau *et al.*, 2002).

### **8.3. Resiliencia y restauración**

Dentro de un ecosistema conservado, existen funciones que resultan esenciales para su mantenimiento y organización (ej.: generación y preservación de suelos fértiles, polinización de cultivos y bosques, dispersión de semillas, etc.), los cuales se ven afectados directamente por la perturbación (Cuevas-Reyes, 2010). Los cambios ecológicos de origen natural o antropogénico ocurren en vías muy complejas y raramente actúan en una sola dirección. Esto disminuye la probabilidad predictiva de cómo un ecosistema puede cambiar en el futuro (Ludwig, Walker, & Holling, 1997).

La resiliencia y la restauración se pueden diferenciar porque en la primera las intervenciones se diseñan e implementan con el objetivo de fortalecer la resiliencia, es decir, la capacidad de recuperación de los sistemas degradados (Lake, 2012). Mientras que la resiliencia de ecosistemas es la capacidad de un ecosistema de recuperarse de un disturbio o de resistir presiones (Chamochumbi, 2005).

Los ecosistemas tienen la capacidad de ser resilientes si existen varias especies que realicen la misma función esencial, y si las especies dentro de tales “grupos funcionales” responden de diversas maneras a los disturbios (Hernández, 2009). Una de las características más importantes de la resiliencia es que es variable en el tiempo y espacio, dependiente de las acciones y relaciones del sistema y volatilidad ambiental del contexto en el que se encuentre (Calvente, 2007).

### **8.4. Manejo de cultivos**

El sistema agrícola convencional/productivista, también conocido como modelo agrícola industrial, se caracteriza por preferir los monocultivos y la producción a gran escala, utilizar práctica de producción intensivas recurriendo fuertemente al uso de capital, tecnología e insumos petroquímicos externos (Monsalve & Emanuelli, 2009). Este tipo de prácticas repercute en una

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

producción insostenible, pérdidas económicas y devastaciones ambientales, en muchos casos irreversibles (Carrera & Kucharz, 2006).

Por otro lado, la agroforestería implica una serie de técnicas que incluyen la combinación, simultánea o secuencial, de árboles y cultivos alimenticios, árboles y ganado (Mendieta & Rocha, 2007), esto con el objetivo de optimizar la producción de manera sostenida (Cabrera, Maldonado, Berny, & Lozano, 2011). En América Central los agricultores buscan reproducir la estructura y la diversidad de especies en los bosques tropicales mediante el establecimiento de una gran variedad de cultivos con diferentes hábitos de crecimiento (Mendieta & Rocha, 2007). Cook (1901) documentó los beneficios de árboles de sombra, en plantaciones de café.

Los sistemas agroforestales son una alternativa productiva que satisface las necesidades básicas de la población, representando un ingreso en el mediano y largo plazo (Bandy, Garrity, & Sánchez, 1997). Dentro de las características principales de estos sistemas están: teóricamente se utilizan especies nativas de la región, proporcionan productos de calidad y demanda, están reconocidas y aceptadas por los agricultores, no presentan problemas de plagas y proporcionan productos a corto, mediano y largo plazo (Cabrera *et al.*, 2011).

### **8.5. Reserva de Uso Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán**

La Reserva de Uso Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán (Rumclá) fue declarada área protegida en 1955, cambiando su categoría a Reserva de Uso Múltiple el 14 de enero de 1997 (Conap, 2007). Según se indica en el Decreto de la Ley que declara área protegida de Reserva de Uso Múltiple Cuenca del Lago de Atitlán 64-97 (1997) esta área está ubicada en el sureste del altiplano de Guatemala, abarcando la mayor parte del departamento de Sololá, pequeñas áreas de Totonicapán, Quiché y Suchitepéquez. Está compuesta por parques municipales, reservas naturales privadas y otras unidades de manejo, poseedoras de una gran riqueza de recursos naturales, culturales y económicos-productivo (Conap, 2007).

La cuenca tiene una extensión de 541 km cuadrados y alberga una riqueza alta de biodiversidad, representando un sistema ideal para estudiar, a escala manejable, el impacto de tanto las actividades humanas como las alteraciones climáticas (Dix, Dix, Orozco, Cabrera, Bocel, Toledo, & Symonds, 2012). Asimismo, es considerado uno de los sitios de mayor importancia turística para

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

el país, ya que es un patrimonio natural y cultural, tanto nacional como internacional (Winkler, 2001).

El uso del suelo dentro de esta región presenta un mayor porcentaje de bosque maduro, que incluye tres tipos principales de bosque: latifoliado en la parte de la bocacosta; mixto en la parte central de región; y conífera en la parte norte en las tierras fronterizas con Totonicapán (Dix, Fortín, Medillina, & Ríos, 2003). Asimismo, se han identificado tierras dedicadas a cultivos anuales como el maíz, y cultivos permanentes, principalmente el café (Dix *et al.*, 2003).

**9. Estado del arte**

Se han realizado distintos estudios relacionados a la diversidad funcional en diferentes grupos taxonómicos. Wunderle (1997) indica que en ausencia de recursos o sitios de forrajeo, muchas plantaciones son poco atractivas para la fauna silvestre, esto se debe principalmente a la complejidad estructural de la vegetación. En general se puede concluir que la diversidad funcional disminuye en áreas de monocultivo (Edwards, Edwards, Hamer, & Davies, 2013). Además, se ha encontrado que cuando la complejidad estructural es mayor la diversidad funcional será mayor, por ejemplo, en cultivos forestales con arbustos nativos en el sotobosque (Cruz, 1988). Sin embargo, en algunos casos las plantaciones pueden ser atractivas para algunos organismos, como es el caso estudiado por Mitra y Sheldon (1993) en el que encontraron que monocultivos de plantaciones exóticas podrían ser atractivos para las aves nativas si eran de rápido crecimiento y estaban fuertemente infestadas de plagas.

Otro factor que influye en la diversidad funcional es la composición del paisaje. Tscharrntke y colaboradores (2008) estudiaron como diferentes niveles de perturbación antrópica afectan la diversidad funciones en aves, encontraron que las áreas donde los cultivos son compartidos con áreas boscosas y porcentaje de dosel alto (70-80%) las funciones de granivoría y frugivoría son similares a las del bosque natural, mientras que cuando los cultivos carecían de dosel las aves insectívoras pequeñas tienden a dominar. En otro estudio similar, Sekerciouglu (2012), compilando información de 6,093 especies de aves, las especies granívoras y frugívoras prefieren espacios con composición vegetal compleja, mientras que los nectarívoros e insectívoros las áreas abiertas.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

**10. Objetivo general.**

Comparar la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas con diferente complejidad estructural vegetal y bosque natural.

**11. Objetivos específicos**

- Estimar la riqueza de especies de aves de sotobosque en dos agroecosistemas de diferente complejidad estructural: aguacate (*Persea americana*), café (*Coffea arabica*) y bosque natural.
- Identificar en qué tipo de agroecosistema de los estudiados, la diversidad funcional muestra la mayor similitud con la de un bosque natural.
- Determinar si existe redundancia funcional de aves de sotobosque en los agroecosistemas estudiados y bosque natural.
- Establecer la relación entre la diversidad funcional de aves de sotobosque y la complejidad estructural de la vegetación en los agroecosistemas a estudiar y bosque natural.

**12. Hipótesis**

La diversidad funcional de aves de sotobosque varía según la complejidad estructural de la vegetación y es mayor en el bosque natural en comparación con diferentes agroecosistemas: café (*Coffea arabica*) bajo sombra y aguacate (*Persea americana*).

**13. Materiales y métodos**

**13.1 Enfoque y tipo de investigación:**

Enfoque de la investigación: cuantitativo

Alcance de la investigación: descriptivo, correlacional, explicativa, predictiva.

**13.2 Recolección de información y técnicas e instrumentos**

Universo: Aves y vegetación de la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

Muestra: Aves capturadas y mediciones en parcelas de vegetación de agroecosistema de café, monocultivo de aguacate y bosque natural.

**Riqueza de especies**

Se realizaron muestreos en cada tipo de cobertura: sistema agroforestal de café bajo sombra, monocultivo de aguacate y bosque natural. Para cada tipo de cobertura se escogieron a conveniencia tres sitios de estudio o réplicas. Los criterios para determinar los sitios de muestreo fueron: sitios independientes y que el área de cada sitio fuera de tamaño adecuado para evitar el efecto de borde.

En cada sitio se tomaron datos de aves de sotobosque durante tres días utilizando redes de niebla. Estas se abrieron durante 7 horas al día. Para ubicarlas en cada uno de los sitios de estudio se realizaron dos transectos en los cuales se despejó la vegetación en una franja de 1 m de ancho y 3 m de alto aproximadamente, cada transecto fue de 48 m de largo y estuvo conformado por cuatro redes de niebla de 12 m cada una (un total de 8 redes por sitio). La metodología para ubicar los transectos fue evitar el efecto de borde para cada tipo de cobertura, de manera que se capte el efecto que el tipo de cobertura tiene sobre la diversidad funcional de aves. Las aves capturadas se identificaron utilizando la guía de aves de Peterson. Se tomaron fotografías de los especímenes para posteriormente corroborar la identificación con una especialista en ornitología.

**Diversidad funcional**

Se utilizaron rasgos funcionales morfológicos y de la historia de vida de las aves. Los rasgos morfológicos se obtuvieron a través de la medición en el campo de la longitud, alto y ancho del pico, peso, envergadura del ave, largo del ala y largo de la cola utilizando vernier, pesola y metro, respectivamente. Los rasgos de historia de vida se obtuvieron a partir de los propuestos por Remsen y Robinson (1990), Petchey y colaboradores (2007) y Batalha y colaboradores (2010) con algunas modificaciones, estos fueron: tipo de dieta (insectívoro, semillero, frugívoro, nectarívoro, carnívoro, herbívoro, carroñero, omnívoro); método de forrajeo (persecución, espigueo, ataque repentino, excavación, barrido, sondeo, rondar volando, colgarse, alcanzar, picoteo); sustrato de forrajeo (suelo, vegetación, aire); estrato de la vegetación (dosel, subdosel, sotobosque, suelo); comportamiento social (solitario, en pares, gregario); apareamiento (monógamo, complejo,

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

flexible); lugar de nido (suelo, hierbas, piedra, árboles, arbustos, generalista), territorialidad (no territorial, territorial, en anidamiento); estrategia de anidamiento (solitario, en grupos, flexible, parasitismo); y cuidado parental (biparental, cooperativo, un solo sexo, flexible).

Relación entre la diversidad funcional y la estructura de la vegetación

Para medir la complejidad estructural se midieron seis variables de la estructura de la vegetación, estas son: diámetro a la altura del pecho de árboles y arbustos, utilizando cinta métrica; altura del árbol o arbusto utilizando clinómetro; densidad de la copa de los árboles utilizando densiómetro; cobertura de plantas arbustivas y herbáceas. Se ubicaron cuadrantes ubicados aleatoriamente sobre la vegetación circundante a los transectos para muestreos de aves en cada sitio de muestreo. Para la medición de estas variables se usó la metodología de parcelas modificadas de Whittaker (Stohlgren, Falkner y Schell, 1995), en cada parcela se muestreo de la siguiente forma: se midió la vegetación arbórea (DAP >10 cm) en parcelas de 50\*20 m, dentro de esta parcela se colocó una subparcela central de 20\*5 para medición de arbustos (DAP >5 cm), dos subparcelas en las esquinas de 5\*2 para medición de subarbustos (DAP >1 cm y <5 cm) y diez subparcelas en el borde de la parcela grande de 1\*0.5 m para medición de herbáceas. En cada sitio se realizaron tres parcelas de 50\*20 m para tener réplicas.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

**13.3 Operacionalización de las variables o unidades de análisis:**

Objetivo específicos	Variables	Técnicas	Instrumentos	Medición o cualificación
-------------------------	-----------	----------	--------------	--------------------------------

Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”

Informe final

<p>Estimar la riqueza de especies de aves de sotobosque en dos agroecosistemas</p>	<p>Riqueza de especies de aves</p>	<p>Muestreos de aves de sotobosque en cada tipo de cobertura (tres réplicas por tipo de cobertura). Identificación de especímenes utilizando la guía de identificación de Howell y Webb (1995).</p>	<p>Para la captura de aves se utilizó redes de niebla y se identificaron utilizando la guía de aves de Peterson, Howell y Webb (1995), se tomaron fotografías de las aves para corroborar la identificación. La curva de acumulación de especies “teórica” se calculó utilizando el programa estadístico Estimates.</p>	<p>Cuantitativa discreta: número de especies registradas.</p>
<p>Identificar en qué tipo de agroecosistemas de los que se estudiarán, la diversidad funcional muestra la mayor similitud con la de un bosque natural.</p>	<p>Diversidad funcional de cada cobertura vegetal.</p>	<p>Se calculó la curva de acumulación de especies. Se utilizaron cuatro índices: riqueza funcional (FRic), equidad funcional (FDeve), divergencia funcional (FDiv) y dispersión funcional (FDis) (Mason <i>et al.</i>, 2003). Para estos análisis se utilizaron los siguientes rasgos funcionales: tipo de dieta,</p>	<p>Rasgos morfológicos: medición del pico, envergadura y peso del ave, utilizando vernier, metro y pezola.</p>	<p>Cuantitativa continua: rasgos morfológicos; y cualitativa nominal: rasgos de historia de vida</p>

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

tipo y sustrato de forrajeo, longitud del pico, peso y envergadura del ave. Rasgos de historia de vida: dieta, tipo y sustrato de forrajeo.

Los datos se registraron en boletas de campo y posteriormente se tabularon en una base de datos en Microsoft Excel, se analizaron con los índices de diversidad funcional, calculados con el paquete de diversidad funcional (FD) del programa estadístico R (Laliberté, Legendre, & Shipley, 2014).

Determinar si existe redundancia funcional de aves de sotobosque en dos cultivos de diferente complejidad estructural vegetal y bosque natural.

Variable: Se midió con el índice de redundancia funcional.

Se midió a partir del índice de equidad funcional obtenido a partir del paquete de diversidad funcional del programa estadístico R. Cuantitativa continua: índice de equidad funcional.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

<p>Establecer la relación entre la diversidad funcional de aves de sotobosque y la complejidad estructural de la vegetación en dos cultivos y bosque natural.</p>	<p>Variables de la estructura de la vegetación: diámetro a la altura del pecho, altura de árboles, densidad de la copa de los árboles, altura de plantas arbustivas, cobertura de plantas arbustivas, cobertura de plantas herbáceas.</p>	<p>Se midieron las variables de la vegetación. Los datos de la vegetación arbórea se midieron en cuadrantes de 25 m<sup>2</sup>, los datos de la vegetación arbustiva se medirán en cuadrantes de 5m<sup>2</sup> y los datos de la vegetación herbácea se midieron en cuadrantes de 1 m<sup>2</sup>.</p>	<p>Se utilizaron una cinta métrica para realizar los cuadrantes en cada sitio de muestreo. Se tomaron datos de las siguientes variables: diámetro a la altura del pecho, a través de una cinta métrica; altura del árbol o arbusto a través de un clinómetro; densidad de la copa de los árboles a través de un densiómetro; cobertura de plantas arbustivas y herbáceas.</p>	<p>Cuantitativa continuas</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

**13.4 Procesamiento y análisis de información**

Riqueza de especies

Con estos datos se calculó la curva de acumulación de especies teórica para establecer qué porcentaje de la riqueza total de aves se encontró para cada sitio, utilizando el programa estadístico EstimateS (Jiménez-Valverde & Hortal, 2000).

Diversidad funcional

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumcla”**

**Informe final**

Con los datos de los rasgos funcionales se construyó una matriz con los rasgos funcionales para cada especie, y otra matriz con las abundancias de las especies por sitio (Batalha, Cianciaruso, & Motta-Junior, 2010). Para comparar la diversidad funcional se usaron los siguientes índices: riqueza funcional (FRic), equidad funcional (FDeve), divergencia funcional (FDiv) y dispersión funcional (FDis) propuestos por Mason y colaboradores (2003). La metodología para calcular los índices de diversidad funcional fue propuesta por Weiher (2011), estos índices van de 0 a 1, en donde 1 es el valor más grande para el índice. Todos estos índices fueron calculados con el paquete de diversidad funcional (FD) del programa estadístico R (Laliberté, Legendre & Shipley, 2014). Para comparar los índices de diversidad funcional se aplicó un análisis de varianzas no paramétrico multivariado (NPMANOVA por sus siglas en inglés) de una vía a un nivel de significancia de .05, utilizando el software PAST. La matriz utilizada para esta prueba estaba formada por los índices de diversidad en las columnas y los sitios en las filas. Este se calculó con 999 permutaciones y la medida de distancia de morisita.

**Complejidad estructural de la vegetación**

Para determinar la relación entre la complejidad estructural vegetal y los índices de diversidad funcional (riqueza funcional, equidad funcional y divergencia funcional), se estimó un modelo lineal generalizado (GLM), calculado a través del programa estadístico R. Para esto, se relacionaron las variables de la estructura de la vegetación y las variables de los índices de diversidad funcional. Se escogieron los modelos que presentaron los valores de Criterio de Información de Akaike (AIC) más bajos. El AIC, es un índice que evalúa tanto el ajuste del modelo a los datos como la complejidad del modelo, cuando más pequeño es el AIC, mejor es el ajuste (Cayuela, 2010).

**14. Vinculación, difusión y divulgación**

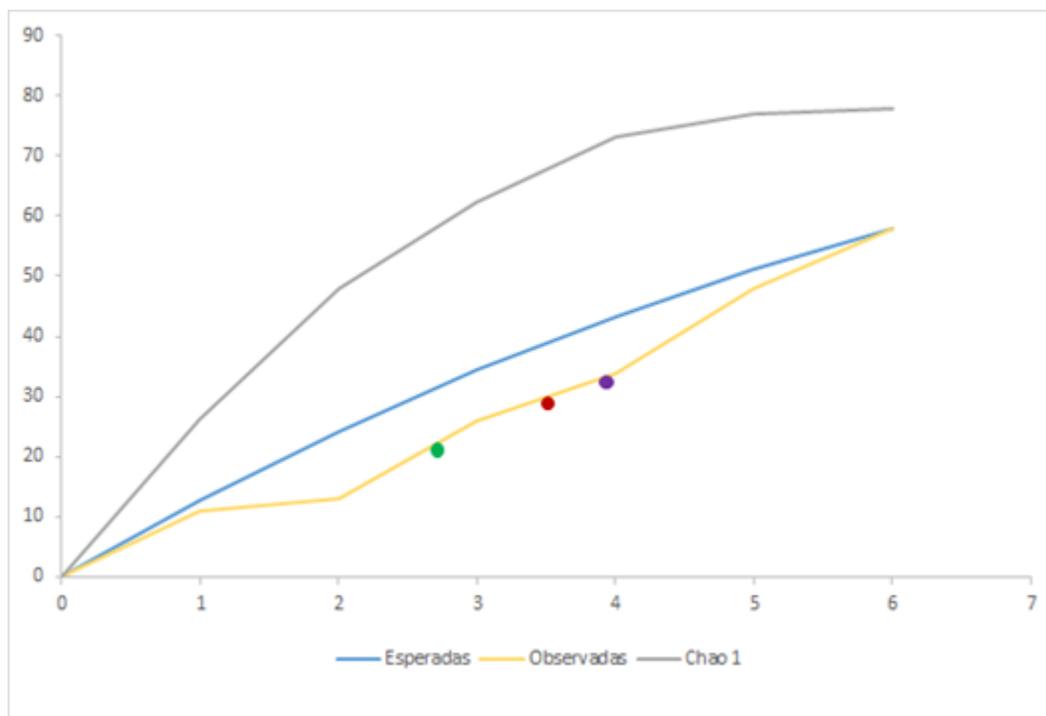
La toma de datos se realizó en la Rumcla que está bajo la administración del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap). Se trabajó con ayuda de las Reservas Naturales Privadas: Reserva Natural Refugios del Quetzal-Volcàn Atitlán, Reserva Natural Privada Los Tarrales, Reserva Natural Privada Pampojilá, Cooperativa La Voz y Finca Panamá.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

La difusión de los resultados de este proyecto se realizará por distintos medios: 1) Publicación de al menos un artículo científico, en la revista Ciencia, Tecnología y Salud; 2) Publicación de un tetrafoliar con figuras que representen algunas de las aves capturadas en cada tipo de cobertura; 3) Divulgación ante la comunidad científica por medio de participación en la elaboración de carteles y ponencias en actividades como simposios y congresos.

**15. Resultados:**



**Figura 2.** Riqueza de aves obtenidas respecto a los sitios de muestreo realizados. Se observa la riqueza de aves de aguacate (verde), café (rojo) y bosque (morado).

Se obtuvo un total de 203 registros de aves que corresponden a 58 especies. Los sitios con mayor riqueza y abundancia de aves corresponden a los de bosque y los sitios con menor riqueza y abundancia de aves corresponden a los cultivos de aguacate y café respectivamente. En la figura 2 se observan las especies de aves acumuladas durante los muestreos realizados en la Rumclá. El

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

número de especies acumuladas en el bosque es el que más se acerca al valor esperado, seguido por el valor de café y por último el valor del aguacate.

**Cuadro 1.** Valor obtenido de los índices de diversidad funcional para cada uno de los sitios muestreados.

	<b>FDis</b>	<b>FDiv</b>	<b>FEve</b>	<b>FRic</b>
<b>Ag1</b>	.1869885	.8749751	.7641655	6.26E-10
<b>Ag2</b>	.1405309	.8587128	.6479682	6.16E-09
<b>Ag3</b>	.1879778	.8097061	.8290726	6.02E-09
<b>Bo1</b>	.1689449	.8569887	.7472453	4.47E-09
<b>Bo2</b>	.1466819	.7249365	.7118706	1.50E-08
<b>Ca1</b>	.1809414	.8492267	.9045184	8.08E-10
<b>Ca2</b>	.1813189	.8876453	.8133103	7.89E-08
<b>Ca3</b>	.1853601	.8451523	.8543777	1.05E-07

\*FDis= dispersión funcional; FDiv= divergencia funcional; FEve= equidad funcional; FRic= riqueza funcional.

En el Cuadro 1 se presentan los valores de los índices de diversidad funcional para los sitios muestreados ( $p > 0.05$ ). Los índices de distancia funcional y riqueza funcional FDiv indican que no hay mayor diferencia entre los valores de los sitios muestreados. Para el índice de equidad

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

funcional los valores más bajos se obtuvieron en los sitios de aguacate. Por último para el índice de riqueza funcional se observa que los valores más altos se encontraron en los sitios de aguacate. A pesar de las diferencias encontradas, estos resultados no son significativos.

**Cuadro 2.** Valor de AIC para cada uno de los índices de diversidad funcional, obtenidos a través de un Modelo Lineal Generalizado.

<b>Índices de diversidad funcional</b>	<b>AIC</b>
Riqueza funcional	-771.6
Dispersión funcional	-551.0
Equidad funcional	-526.1
Divergencia funcional	-523.9

En el Cuadro 2, se presentan los resultados obtenidos de AIC, donde se encontraron valores bajos en todos los modelos lo que indica que los resultados de diversidad funcional están relaciones con las estructura de la vegetación.

**16. Análisis y discusión de resultados:**

Las diferencias entre la riqueza y las abundancias de especies entre los sitios de bosque y los sitios de cultivo pueden deberse a diferentes causas. La transformación de paisajes en las regiones

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

tropicales y el aumento en las regiones donde se maneja el monocultivo es una de las principales causas de pérdida de biodiversidad y cambios en la estructura vegetal, y por tanto la agricultura reemplaza los ecosistemas más diversos y heterogéneos por ecosistemas simples y homogéneos (Guhl, 2004; Guhl, 2009). Es por esto que cultivos que promueven variedad de nichos y que utilizan especies nativas, como el café bajo sombra, son mejores para sostener los ecosistemas ya que presentan más servicios ambientales en comparación con un monocultivo (Rojas, Ulloa & Almonacid, 2012), esto explica que los sitios de café tengan mayor riqueza de especies en comparación con el aguacate. Moguel y Toledo (1999), demuestran que los monocultivos con sombra protegen a los bosques de la deforestación completa, por lo que se preserva y en algunos casos aumenta la biodiversidad nativa ya que sirven como refugio para las especies de plantas y animales que se ven afectados por otros sistemas de deforestación. Se ha demostrado que la mayoría de los sistemas de café bajo sombra presentan una diversidad biológica similar a la encontrada en bosques naturales (Tejada & Sutherland, 2004). Los agroecosistemas cafeteros con vegetación compleja son una gran ayuda para mantener una alta riqueza de especies a mayor distancia del bosque (Moorhead, Philpott & Bichier, 2010).

En el caso de especies de amplia distribución como las aves migratorias, existen estudios donde se demuestra que el café bajo sombra brinda refugio de paso para estos animales (Tejada & Sutherland, 2004). En cuanto a los cultivos de aguacate, se ha observado que su manejo como sistema agroforestal es más productivo que un monocultivo. La causa por lo que esto no se trabaja comúnmente es debido al alto consumo de material y esfuerzo que debe darse por mantener un sistema agroforestal de aguacate, y por la difícil selección de la vegetación acompañante que muchas veces influye en la producción (Montiel, Krishnamurthy, Vasquez & Uribe, 2008). Si se optara por utilizar más este tipo de sistemas para el cultivo de aguacate, la biodiversidad no se vería tan afectada como actualmente se ve en la mayoría de cultivos de aguacate. La figura de acumulación de especies muestra como en los cultivos de aguacate las especies esperadas y observadas están muy por debajo de los demás sitios de colecta, por lo que se evidencia el impacto que el monocultivo de aguacate tiene sobre la diversidad de aves de esos sitios.

En general se obtuvieron valores bajos en la riqueza funcional. Los valores mayores de FRic en las plantaciones de café, pueden estar relacionada con las perturbaciones. En algunos ecosistemas, la

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

frecuencia, la intensidad y la escala de las perturbaciones es tal que, el sistema nunca alcanza la madurez total, aun así, el ecosistema mantiene la diversidad de especies, la estabilidad y la eficiencia en el uso de la energía como un sistema maduro (Gliessman, 2002). De acuerdo con lo anterior se ha propuesto la hipótesis de la perturbación, que postula que en ecosistemas en donde las perturbaciones tiene una frecuencia intermedia (ni muy altas, ni muy bajas) la diversidad y productividad puede ser muy alta (Connell, 1978). La diversidad funcional y la composición de la vegetación es importante en la comprensión de la relación entre la composición comunitaria y procesos ecosistémicos (Saldaña, 2013). Se podría pensar que debido a que las plantaciones de café son sistemas agroforestales bajo sombra de árboles nativos, son sitios poco perturbados en comparación a monocultivos, como las plantaciones de aguacate.

Los valores obtenidos de equidad funcional indican que existe redundancia funcional en todos los sitios estudiados, es decir que existe más de una especie dentro de cada grupo funcional (Walker, 1992). El incremento en la redundancia funcional puede aumentar la capacidad del ecosistema para responder o adaptarse ante cambios ambientales (Hooper et al., 2005). Al haber un mayor número de especies funcionalmente similares, la probabilidad de que al menos una especie sobreviva ante las perturbaciones es mayor (Walker, 1992). De lo contrario al disminuir el número de especies funcionalmente similares, la pérdida de una sola especie puede resaltar en la pérdida completa de un grupo funcional (Díaz, Lavorel, Quetier, de Bello, Grigulis, & Robson, 2007) y por lo tanto, se pierden los servicios que es capaz de proveer (Martín-López, González, Díaz, Castro, & García-Llorente, 2007).

Los valores altos de divergencia funcional encontrados en los sitios pueden ser resultado de las características de cada cobertura. Para los cultivos, estos valores son el resultados de la identidad de las pocas especies que se encontraron, de manera que hay pocos grupos funcionales representados. Para el bosque, estos valores pueden ser el resultado de trabajar únicamente con aves de sotobosque, al no tomar en cuenta las aves del dosel no se capturan todas las funciones presentes y por lo tanto la distancia de las abundancias de los rasgos no se ve reflejada en los resultados.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

En cuanto a los valores de FDis, se encontró que los sitios de café y aguacate tuvieron los valores más altos en relación a los sitios de bosque. Mientras la equidad y divergencia funcional toman en cuenta las abundancias relativas de las especies, la dispersión funcional toma en cuenta cómo se distancian de un centroide, dado por el promedio de los valores funcionales. De forma similar a lo mencionado para la divergencia, al haber pocas especies en los cultivos, con valores funcionales muy distintos, estos difieren más del promedio, que en el bosque, donde hay más especies con funciones aparentemente similares. En el bosque es probable que al tomar en cuenta aves de subdosel y dosel, tanto la riqueza y diversidad de especies y funciones los índices reflejan un verdadero distanciamiento funcional dado por las características propias de las especies presentes.

La complejidad es una característica que define a la mayoría de los sistemas ecológicos y una de las mayores expresiones de ésta se pueden observar en la interacción entre los diferentes niveles de organización (Anand, 2000). De acuerdo a Tilman (1982), la diversidad funcional dentro de un ecosistema tiende a estar correlacionada positivamente con la estabilidad de la comunidad de plantas, demostrándolo en estudios en campos de pastizales. Los agroecosistemas afectan esta diversidad, pero se ha demostrado que en sistemas agrícolas como cafetales bajo sombra albergan una diversidad funcional y riqueza de aves semejante a la de los bosques, por la similar proporción de especies forestales en comparación a los parches de bosque (Andino, 2014). Asimismo, los agroecosistemas con sistema bajo sombra ayudan a mantener especies arbóreas atractivas manteniendo opciones de forrajeo y refugio para las aves (Pimentel et al, 1992). Según los resultados obtenidos de los modelos lineales generalizados, los índices de diversidad funcional están relacionados a la estructura la vegetación.

## **17. Conclusiones**

Durante este estudio se evidenció el nivel de perturbación en el que algunos cultivos afectan directamente a la biodiversidad. En el caso de la riqueza de especies, el sistema de cultivo del aguacate, siendo un monocultivo, fue el que presentó los valores más bajos considerablemente al momento de comparar con el sistema de café y bosque natural. El café por su parte, presentó niveles de riqueza similares a los encontrados en bosque natural, siento entonces un modelo agroecosistémico ideal para no perturbar en gran medida los sistemas naturales. Se observó

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumcla”**

**Informe final**

también, que en todos los sitios existe redundancia funcional, lo que nos dice que ante las distintas perturbaciones que pueda haber en el sitio, hay una buena probabilidad de que el sistema presente resiliencia. Sin embargo, para este caso en particular, la estructura de la vegetación es muy importante, ya que se observó que está relacionada con la diversidad funcional. Por tanto, el agroecosistema de aguacate afecta en mayor medida a la diversidad funcional de los sitios debido a su poca estructura de la vegetación, siendo entonces un sistema que atenta contra la biodiversidad. Los cultivos que mantienen parte de la vegetación original del sitio, como el café bajo sombra, se mantienen como modelo para agroecosistemas donde no se quiera afectar en gran medida la diversidad del sitio.

**18. Impacto esperado**

Con los resultados obtenidos, se contribuye al conocimiento de la riqueza de aves en sistemas agroforestales de café, monocultivo de aguacate y bosque en la Rumcla. Esta información es útil tanto para investigaciones futuras como para las comunidades y propietarios de reservas en la elaboración de programas de aviturismo que beneficien la economía local.

Así también los resultados obtenidos son un aporte para entender los efectos del uso del suelo sobre la diversidad funcional de aves. Actualmente este es un concepto relevante pues ayuda a comprender cómo la diversidad de roles y respuestas de las especies favorecen la resiliencia de los ecosistemas. Dada la importancia de las aves como organismos que prestan servicios ecosistémicos (polinización, dispersión de semillas, controladores de plagas), los resultados de este trabajo son de beneficio para la población nacional, al aportar fundamento teórico para la conservación de su diversidad en cultivos y bosques.

Se espera que con los resultados encontrados en los diferentes tipos de cobertura se puedan dar recomendaciones para implementar planes de manejo que favorezcan la sostenibilidad y resiliencia, sin disminuir la productividad y los beneficios económicos de los cultivos

**19. Referencias**

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

- Anand, M. (2000). Fundamental of vegetation change - complexity rules. *Acta Biotheoretica*, 48(1), 1-14.
- Andino, C. (2017). *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*. (Tesis de Maestría). Costa Rica: CATIE.
- Anta, S. (2006). El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*, (80), 19-31.
- Ash, N., & Fazel, A. (2007). Biodiversity. En United Nations Environment Programme (Ed.), *Global environment outlook* (pp. 160-192). Valeta, Malta: United Nations Environment Programme.
- Asociación Nacional del Café. (2004). *Programa de diversificación de ingresos en la empresa cafetalera*. Guatemala: Autor.
- Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J. S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., & Schmid, B. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*, 9(10), 1146–1156.
- Bandy, D., Garrity, D., & Sánchez, P. (1997). El problema mundial de la agricultura de tala y quema. *Agroforestería en las Américas*, 1(3), 14-20.
- Batalha, M., Cianciaruso, M., & Motta, J. (2010). Consequences of simulated loss of open cerrado areas to bird functional diversity. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 8(1), 34-40.
- Begon, M., Harper, J., & Townsend, C. (1995). *Ecología, individuos, poblaciones y comunidades*. Barcelona, España: Omega.
- Bradshaw, A. D. (1987). Functional ecology = comparative ecology?. *Functional Ecology*, 1(1), 71.
- Brown, D., Seymour, F., & Peskett, L. (2008). ¿Cómo obtenemos beneficios colaterales de REDD sin causar daño? En A. Angelsen (Ed.), *Avancemos con REDD: Problemas, opciones y consecuencias* (pp. 1-143). Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

- Cabrera, D., Maldonado, E., Berny, J., & Lozano, D. (2011). *Establecimiento de sistemas agroforestales*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Calvente, A. (2007). *Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Abierta Interamericana.
- Carrera, B., & Kucharz, T. (2006). La insostenibilidad de los monocultivos agroindustriales. Recuperado de [https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/Las\\_insostenibilidad\\_de\\_los\\_monocultivos\\_agroalimentarios.pdf](https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/Las_insostenibilidad_de_los_monocultivos_agroalimentarios.pdf)
- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Cayuela, L. (2010). *Modelos lineales generalizados*. Granada, España: Universidad de Granada.
- Chamochumbi, W. (2005). *La resiliencia en el desarrollo sostenible: algunas consideraciones teóricas en el campo social y ambiental*. Recuperado de [www.ecoportal.net/Temas-Especiales/Desarrollo-Sustentable/La\\_Resiliencia\\_en\\_el\\_Desarrollo\\_Sostenible](http://www.ecoportal.net/Temas-Especiales/Desarrollo-Sustentable/La_Resiliencia_en_el_Desarrollo_Sostenible).
- Chapin, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., ... Mack, M. C. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405(6783), 234-242.
- Cianciaruso, M., Batalha, M., Gaston, K., & Petchey, O. (2009). Including intraspecific variability in functional diversity. *Ecology*, 90(1), 81–89.
- Connell, J.H. (1978). Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302-1310.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2007). *Plan Maestro de la Reserva de Uso Múltiple Cuenca del Lago de Atitlán*. Guatemala: Autor.
- Cornwell, W., Schwilk, D., & Ackerly, D. (2006). A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume. *Ecology and Evolution*, 87(6), 1465-1471.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

- Cruz, A. (1988). Avian resource use in a caribbean pine plantation. *The Journal of Wildlife Management*, 52(2), 274-179.
- Cuevas-Reyes, P. (2015). Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: Implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 12(1), 1-7.
- Díaz, S. & Cabido, M. (2001). Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, 16(11), 646-655.
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F. S., & Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology*, 4(8), 1300–1305.
- Díaz, S., Lavorel, S., Quetier, F., de Bello, F., Grigulis, K., & Robson, M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *PNAS*, 104(52), 20684-20689.
- Dix, M., Dix, M., Orozco, M., Cabrera, D., Bocel, E., Toledo, A., & Symonds, E. (2012). El Lago Atitlán, Guatemala: Su estado ecológico octubre 2009 diciembre 2011. *Universidad del Valle de Guatemala*, 24, 35-40.
- Dix, M., Fortín, I., Medillina, O., & Ríos, L. (Eds.). (2003). *Diagnóstico ecológico-social en la Cuenca de Atitlán*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- Dornelas, M., Gotelli, N., McGill, B., Shimadzu, H., Moyes, F., Sievers, C., & Magurran, A. (2014). Assemblage time series reveal biodiversity change but not systematic loss. *Science*, 344(6181), 296-299.
- Edwards, F., Edwards, D., Hamer, K., & Davies, R. (2013). Impacts of logging and conversión of rainforest to oil palm and the functional diversity of birds in Sundaland. *The International Journal of Avian Science*, 155(2), 313-326.
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488-499.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

- Foley, J., DeFries, R., Asner, G., Gordon, C., Carpenter, S., Chapin, S., ... Snyder, P. (2005). Global Consequences of land use. *Science*, 309(570), 570-574.
- Gallo, M. (2008). *Plan de reforestación y recuperación de ecosistemas*. El Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Gálvez, J. (2002). *La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Gliessman, S.R., Rosado-May, F.J., Wadarama-Zugasti, C., Jedlicka, J. & Cohn, A. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, 16(1), 13-23.
- González-Salazar, C., Martínez-Meyer, E., & López-Santiago, G. (2014). Clasificación jerárquica de gremios tróficos para aves y mamíferos de Norteamérica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(3), 931-941.
- González-Valdivia, N. A., Arriaga-Weiss, S. L., Ochoa-Gaona, S., Ferguson, B. G., Kampichler, C., & Pozo, C. (2012). Ensamblajes de aves diurnas a través de un gradiente de perturbación en un paisaje en el sureste de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 28(2), 237-269.
- Guhl, A. (2004). Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997. *Cenicafé*, 55(1), 29-44.
- Guhl, A. (2009). *Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander*. *Revista de Estudios Sociales*. Universidad de los Andes.
- Hernández, M. (2009). La resiliencia de los ecosistemas, clave en el desarrollo sostenible. *Éxito empresarial*, 99: 1-3.
- Hooper, D., Chapin F., Ewel, J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J., ... Wardle, D. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35.
- Hooper, D.U., Solan, M., Symstad, A., Díaz, S., Gessner, M.O., Buchmann, N., ... van Peer, L. (2000). Species diversity, functional diversity, and ecosystem functioning. En S. Naeem, D.E. Bunker, A. Hector, M. Loreau, y C. Perrings. (Eds.), *Biodiversity, ecosystem functioning, and human*

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

*wellbeing: an ecological and economic perspective* (pp. 195–208). Oxford, England: Oxford University Press.

Howell, S.N.G., & Webb, S. (1995). *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. United Kingdom: OUP Oxford.

Ives A., & Carpenter, S. (2007). Stability and diversity of ecosystems. *Science*, 317(5834):58-62.

Jiménez-Valverde, A., & Hortal, A. (2000). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*. 8, 151-161.

Kanowski, J., Caterall, C., & Wardell-Johnson, G. (2005). Consequences of broadscale timber plantations for biodiversity in cleared rainforest landscapes of tropical and subtropical Australia. *Forest Ecology and Management*, 208(1-3), 359-372.

Lake, P. (2012). Resistance, resilience and restoration. *Ecological Management & Restoration*, 14(1), 20-24.

Laliberté, E., & Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, 91(1), 299-305.

Laliberté, E., Legendre, P., & Shipley, B. (2014). *FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology*. R Package Version 1.0-12

Decreto de la Ley que declara área protegida de Reserva de Uso Múltiple Cuenca del Lago de Atitlán, 64-97, Diario Oficial, (1997).

Lindenmayer, D., Blanchard, W., Tennant, P., Barton, P., Ikin, K., Mortelliti, A., ... Michael, D. (2015). Richness is not all: How changes in avian functional diversity reflect major landscape modification caused by pine plantations. *Diversity and Distributions*, 21(7), 836-847.

Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., ... Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science*, 294(5543), 804-808.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

- Ludwig, D., Walker, B., & Holling, C. (1997). Sustainability, stability, and resilience. *Conservation Ecology*, 1(1), 65-73.
- Martín-López, B., González, J.A., Díaz, F., Castro, I., & García-Llorente, M. (2007). Biodiversidad bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas*, 16(3), 68-79.
- Mason, N. W. H., MacGillivray, K., Steel, J. B., & Wilson, J. B. (2003). An index of functional diversity. *Journal of Vegetation Science*, 14(4), 571-578.
- Mason, N. W. H., Mouillot, D., Lee, W. G., & Wilson, J. B. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: The primary components of functional diversity. *Oikos*, 111(1), 112-118.
- Mendieta, M., & Rocha, L. (2007). *Sistemas agroforestales*. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Mitra, S., & Sheldon, F. (1993). Use of an exotic tree plantation by bornean lowland forest birds. *The Auk*, 110(3), 529-540.
- Moguel, P. & Toledo, V. (1999). Biodiversity conservation in traditional Coffee system of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11-21.
- Monsalve, S., & Emanuelli, M. (2009). *Monocultivos y derechos humanos*. México: FoodFirst Information and Action Network.
- Montiel, G., Krishnamurthy, L., Vásquez, A. & Uribe, M. (2008). Opciones agroforestales para productores de aguacate. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 85-90.
- Moore, J. (2001). *Diversity, taxonomic versus functional*. Colorado, United States of America: University of Northern Colorado.
- Moorhead, L.C., Philpott, S.M. & Bichier, P. (2010). Epiphyte biodiversity in the Coffee agricultural matrix: Canopy stratification and distance from forest fragments. *Conservation Biology*, 24(3), 737-746.
- Mouillot, D., Mason, N. W., Dumay, O., & Wilson, J. B. (2005). Functional regularity: A neglected aspect of functional diversity. *Oecologia*, 142(3), 353-359.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

- Nolazco, S. (2011). *Aves de Lambayeque: Indicadoras ambientales*. Lima, Perú: Centro de Ornitología y Biodiversidad.
- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2006). Functional diversity: Back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9(6), 741–758.
- Petchey, O. L., Evans, K. L., Fishburn, I. S., & Gaston, K. J. (2007). Low functional diversity and no redundancy in British avian assemblages. *Journal of Animal Ecology*, 76(5), 977-985.
- Pimentel, D., Stachow, U., Takacs, D.A., Brubaker, H., Dumas, A.R., Meaney, J.J. ... Corzilius, B.B. (1992). Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience*, 42(5), 354-362.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2005). *Diversidad biológica*. México: Autor.
- Ramírez-Albores, J. E. (2010). Diversidad de aves de hábitats naturales y modificados en un paisaje de la depresión central de Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 58(1), 511-528.
- Remsen, J.V., Robinson, S. K. (1990). A classification scheme for foraging behavior of birds in terrestrial habitats. *Studies in Avian Biology*, 13, 44-160.
- Rojas, A., Ulloa, K.H. & Almonacid, R. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *Ambiente y Desarrollo*, 16(30), 93-104.
- Rosenberg, N., & Izaurrealde, R. (2001). Storing carbon in agricultural soils to help head-off a global warming. En N. Rosenberg, R. Izaurrealde (Eds.), *Storing carbon in agricultural soils: A multi-purpose environmental strategy* (pp. 1-10). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Saldaña, A. (2013). Relación entre riqueza de especies y diversidad funcional de atributos foliares en dos ensambles de especies siempreverdes de un bosque templado lluvioso. *Gayana - Botanica*, 70(2), 177-186.
- Sans, F. (2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas*, 16(1), 44-49.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J., Folkes, C., & Walker, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413(6856), 591-596.
- Schleuter, D., Daufresne, M., Massol, F., & Argillier, C. (2010). A user's guide to functional diversity indices. *Ecological Monographs*, 80(3), 469-489.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2008). *Biodiversity and agriculture: safeguarding biodiversity and securing food for the world*. Montreal, Canada: Autor.
- Sekercioglu, C. (2012). Bird functional diversity and ecosystem services in tropical forests, agroforests and agricultural areas. *Journal Ornithology*, 153(1), 153-161.
- Stohlgren, T., Falkner, M., & Schell, L. (1995). A modified-Whittaker nested vegetation sampling method. *Vegetatio*, 117, 113-121.
- Swenson, N. G. (2014). *Functional and phylogenetic ecology in R*. United States of America, New York: Springer.
- Tilman, D. (1982). Resource competition and community structure. *Limnology Oceanography*, 28(5), 1043-1045.
- Tilman, D. (2001). Functional diversity. En S.A. Levin (Ed.), *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 109-120). San Diego, United States of America: Academic Press.
- Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M., & Siemann, M. (1997). The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277(5330), 1300- 1302.
- Tejeda, C. & Sutherland, W.J. (2004). Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation*, 2, 169-179.
- Tsharntke, T., Sekercioglu, C., Dietsch, T., Sodhi, N., Hoehn, P., & Tylianakis, J. (2008). Landscape constraints on functional diversity of birds and insects in tropical agroecosystems. *Ecology*, 89(4), 944-951.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente & Fondo Mundial Para la Naturaleza.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

(1991). *Cuidar la tierra: Estrategia para el futuro de la vida*. Gland, Suiza: Earthscan.

- Vilagrosa, A., Llorca, M., Puértolas, J., Luis, V., Chirino, E., Llovet, J., ... Vallejo, V. (2012). Cambios en la funcionalidad y diversidad en ecosistemas degradados y su relación con las actividades de reforestación. En C. Martínez-Ruiz, F. Lario, & B. Fernández (Eds.), *Avances en la restauración de sistemas forestales: Técnicas de implantación* (pp. 143-148). España: SECF-AEET.
- Walker, B.H. (1992). Diversity and ecological redundancy. *Conservation Biology*, 6, 18-23.
- Weiher, E., Clarke, G. P., & Keddy, P. A. (1998). Community assembly rules, morphological dispersion, and the coexistence of plant species. *Oikos*, 81(2), 309-322.
- Weiher, E. (2011). A primer of trait and functional diversity. En A. Magurran y B. McGill (Eds.), *Biological diversity* (pp. 175-193). New York, United States of America: Oxford University.
- Winkler, C. (2001). *Uso y manejo de la biodiversidad en dos comunidades tz'utujiles de Guatemala*. Guatemala: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Wunderle, J. (1997). The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, 99 (1-2), 223-235.

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

**20. Apéndice**

Fotografías de algunas actividades realizadas en campo

	
<p>Finca Milan y Anexos, la fotografía muestra la zona hasta donde se puede acceder en vehículo, este sitio fue visitado el 16 de agosto de 2018</p>	<p>Luego de caminar de 45 a 60 minutos desde donde se puede acceder en vehículo, se encuentra el bosque de la finca Milan.</p>
	
<p>La imagen muestra parte del bosque natural en la Reserva Tarrales, este sitio se visitó el 17 de agosto de 2018.</p>	<p>Recorrido en la reserva Tarrales, con acompañamiento del Ing. Andy Burges. Visita el 17 de agosto de 2018.</p>
	

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

<p>Vista de los senderos en la Reserva Tarrales, visitada el 17 de agosto de 2018.</p>	<p>Investigadoras, informando al Ingeniero Burges, sobre la investigación que se está realizando.</p>
	
<p>Recorrido por el Cerro Chuiraxamolo, en la fotografía se observa a los investigadores durante el recorrido.</p>	<p>Vista de parte de la vegetación en Cerro Chiraxamolo, visitado el 17 de agosto de 2018.</p>
	
<p>Investigadoras en la Reserva refugio del Quetzal, visitada el 17 de agosto de 2018</p>	<p>Investigadoras: Valeska Contreras, Lourdes Nuñez, Elissa Laparra, María Schoenbeck en la reserva Refugio del Quetzal, fotografía por Cristian Estrada.</p>

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

A continuación se muestra el procedimiento en campo de la toma de datos con aves:

	
<p>Materiales para la toma de datos: redes de niebla, guías de identificación, pesolas, cinta métrica, vernier, cinta de marcaje, cámara fotográfica, boletas de campo, lápices.</p>	<p>Boleta para la toma de datos de aves, en donde se anotan por nombre de ave, para establecer la riqueza y los datos funcionales de las mismas</p>
	
<p>Captura de aves en las redes. Las redes se revisan en intervalos de 30 minutos, cuando caen aves en la red las mismas se sacan y se colocan en una bolsa de manta o tela limpia y se trasladan hacia el sitio de toma de datos.</p>	<p>Primer paso, pesado de las aves capturadas, las aves se pesan con la bolsa y se tara la bolsa para determinar el peso real, luego se sacan las aves para la toma de los siguientes datos.</p>

Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”

Informe final

	
<p>Segundo paso medición del pico, con la ayuda de un vernier se toman medidas de largo y ancho del pico, si el mismo es curvo se hace la medición con cinta métrica.</p>	<p>Medición del pico</p>
	
<p>Tercer paso medición largo de ala, esto se puede realizar con una regla o con cinta métrica.</p>	<p>Cuarto paso medición envergadura, se miden las alas de extremo a extremo con regla o cinta métrica.</p>
	

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

<p>Quinto paso medición del largo de la cola, este se puede tomar con vernier, cinta métrica o regla</p>	<p>Sexto paso toma de fotografías, todos los datos son anotados en boletas,</p>
	
<p>Redes de niebla colocadas en San Lucas Tolimán en Cultivo de Aguacate, muestreo del 18 al 21 de agosto de 2018.</p>	<p>La investigadora Valeska Contreras revisando redes, en cultivo de aguacate en San Lucas Tolimán.</p>
	
<p>El Investigador Cristian Estrada, colocando redes en cultivo de café en finca Pampojilá el 22 de agosto de 2018.</p>	<p>Vista de cultivo de café, en finca Pampojilá toma de datos 22 y 23 de agosto de 2018.</p>

Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”

Informe final

	
<p><i>Tiaris Olivacea</i>, ave capturada en finca Pampojilá el 23 de agosto de 2018.</p>	<p><i>Seiurus aurocapila</i>, ave capturada en finca Pampojilá el 22 de agosto de 2018.</p>
	
<p><i>Empidonax</i> sp. Ave capturada en cultivo de aguacate el 20 de agosto de 2018.</p>	<p>Columbidae capturada en cultivo de aguacate en San Lucas Tolimán el 21 de agosto de 2018.</p>

	
<p>01 de junio colocando redes</p>	<p>Colocando redes de niebla</p>

Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”

Informe final



Apertura de redes



Apertura de redes



Materiales para la toma de datos



Boleta para la toma de datos de aves



Captura de aves en las redes



Primer paso pesado de las aves capturadas

Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”

Informe final

	
Segundo paso medición del pico	Medición del pico
	
Tercer paso medición largo de ala	Cuarto paso medición envergadura
	
Quinto paso medición del largo de la cola	Sexto paso toma de fotografías

Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”

Informe final

	
<p><i>Zonotrichia capensis</i></p>	<p><i>Turdus juvenil</i></p>
	
<p><i>Molotrus aeneus</i></p>	<p><i>Turdus rufitorques</i></p>
	
<p><i>Turdus infuscatus</i></p>	<p><i>Leptotila cassini</i></p>

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**



**Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)**

**Contratados por contraparte y colaboradores**

Nombre	Firma
Lourdes Nuñez	
Gerber Guzmán	

**Contratados por la Dirección General de Investigación**

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			S	NO	
Jéssica Esmeralda López	Coordinadora	20061049	x		

**Comparación de la diversidad funcional de aves de sotobosque en dos agroecosistemas café y aguacate (*Coffea arabica* y *Persea americana*) y bosque natural en la Reserva Natural de Usos Múltiples del Lago de Atitlán Rumclá”**

**Informe final**

Valeska Jimena Contreras Paz	Auxiliara de Investigación II	20170688	x		
Ana Elissa Laparra Ruiz	Auxiliara de Investigación II	20160319	x		
Cristian José Estrada Corpeño	Auxiliara de Investigación II	20161213	x		

Guatemala 28 de noviembre de 2018

Jèssica Esmeralda López López  
Coordinadora

**Sandra Herrera Ruiz**  
Programa de Asentamientos Humanos

**Julio Rufino Salazar**  
Coordinador General de Programas