



## DOSEL ABIERTO INTEGRADO (DAI) EN CULTIVOS DE CAFÉ *COFFEA ARABICA* COMO HERRAMIENTA DE CONSERVACIÓN DE AVES MIGRATORIAS NEÁRTICO-NEOTROPICALES Y AVES RESIDENTES EN YORO, HONDURAS

David Murillo<sup>1,2</sup> · Darío Alvarado<sup>1</sup> · Fabiola Rodríguez-Vásquez<sup>3</sup> · Caz Taylor<sup>3</sup> · David King<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mesoamerican Development Institute, Lowell, USA.

<sup>2</sup> Departamento de Conservación ambiental, Universidad de Massachusetts, Amherst, USA.

<sup>3</sup> Departamento de Ecología y Biología Evolutiva, Universidad de Tulane, New Orleans, USA.

<sup>4</sup> Servicio Forestal de EE. UU., Estación de Investigación del Norte I, Universidad de Massachusetts, Amherst, USA.

E-mail: David Murillo · david.murillo@mesoamerican.org

**Resumen** · Honduras cuenta con 349,510 hectáreas cultivadas con café *Coffea arabica*, que son en su mayoría cultivos tradicionales (café sombra y café sol), y en menor escala cultivos con sistema Doseil Abierto Integrado (DAI). El sistema de café DAI consiste en plantaciones de café rodeadas por bosque en una proporción  $\geq 1:1$ , lo que permite la preservación y la restauración de ecosistemas nativos. El objetivo de nuestra investigación fue evaluar el sistema DAI en cultivos de café como una alternativa de conservación para las aves migratorias neártico-neotropicales y aves residentes. Evaluamos características ecológicas, como la riqueza y abundancia de especies, entre los meses de noviembre de 2018 a abril de 2019. Establecimos 75 puntos de conteo de radio fijo en una zona cafetalera del departamento de Yoro, Honduras. Estadísticamente no registramos diferencias significativas en la riqueza de aves migratorias entre los sistemas de bosque, café DAI y cultivos de café tradicionales. Sin embargo, la riqueza de especies dependientes de bosque fue mayor en los sistema bosque y cultivos de café DAI que en cultivos tradicionales. Además, algunas especies dependientes de bosque, como *Myioborus miniatus* y *Mionectes oleagineus*, fueron más abundantes ( $P < 0.05$ ) en bosque y cultivos de café DAI que en cultivos de café tradicionales. Nuestros resultados se suman a los reportados en Costa Rica, en donde se introdujo este agroecosistema de cultivo de café, en los que se indica que el café DAI puede ser una alternativa para la conservación de aves migratorias y residentes, en particular para especies dependientes de bosque.

**Abstract** · Integrated open canopy (IOC) coffee *Coffea arabica* plantations as a conservation tool for Nearctic-Neotropical migratory and resident birds in Yoro, Honduras

Honduras has 349,510 hectares of coffee *Coffea arabica* crops, most of which are shaded and sun coffee farms, with a smaller number of Integrated Open Canopy (IOC) coffee farms. The IOC coffee system consists of coffee crops surrounded by forest in a  $\geq 1:1$  ratio, which allows the preservation and restoration of native ecosystems. The objective of our investigation was to evaluate the IOC system as an alternative conservation tool for Neotropical migratory and resident birds. We evaluated ecological characteristics, such as species richness and abundance, from November 2018 to April 2019 by establishing 75 point-count survey stations in a coffee-growing region in Yoro, Honduras. We found that species richness of migratory birds did not differ significantly among forest, IOC, and shade coffee. However, the richness of forest-dependent species was higher in forest and IOC coffee than in shade and sun coffee. Additionally, some forest-dependent species —such as the Slate-throated Redstart *Myioborus miniatus* and Ochre-bellied Flycatcher *Mionectes oleagineus*— were more abundant ( $P < 0.05$ ) in forest and IOC coffee than in shade and sun coffee. Our results support those found in Costa Rica, where this land-sparing coffee farming approach was first introduced, indicating that IOC may be an alternative for the conservation of migratory and resident birds, especially for forest-dependent species.

**Key words:** agroecosystem · coffee crop · forest-dependent birds · land-sparing · species richness.

### INTRODUCCIÓN

La excesiva intensificación de las actividades agrícolas ha provocado, en muchos casos, la drástica transformación del paisaje, el empobrecimiento de los suelos y la aceleración de los procesos irreversibles de erosión (Rohila et al. 2017). Lo anterior genera fragmentación de los bosques y pérdida de la biodiversidad, sobre todo en regiones prioritarias para la conservación (Sans 2007, Pérez et al. 2018). Sin embargo, una proporción considerable de la biodiversidad en los paisajes fragmentados puede persistir

dentro de áreas agrícolas, si estas mantienen cierta cobertura arbórea por medio de sistemas agroforestales o agroecosistemas (Pérez et al. 2018).

En Mesoamérica se ha reconocido la importancia de estudiar los paisajes productivos y conservar elementos como los fragmentos de bosque (DeClerck et al. 2010), ya que la conservación en los paisajes productivos sustenta la biodiversidad, la provisión de bienes y servicios, y condiciones abióticas para la sostenibilidad y resiliencia al cambio climático (Kremen & Merenlender 2018). Los cultivos de café *Coffea arabica*, como parte de paisajes productivos, son de importancia económica para muchos países (Ponte 2002). Los cultivos de café ocupan principalmente alturas mayores a los 900 m s.n.m., donde en muchos de los casos se traslapan con bosques nublados que son transformados en plantaciones de café tradicional (sombra o sol), provocando la pérdida de ecosistemas y de la biodiversidad (IHCAFE 2017). Honduras es el principal exportador de café en Centroamérica, con un área cultivada mayor a 349,510 hectáreas en 15 de 18 departamentos, en donde los cultivos se observan dentro y fuera de áreas protegidas (Canet-Brenes et al. 2016, IHCAFE 2018).

Aunque tradicionalmente el café se cultiva bajo la copa de los árboles, una condición que favorece la biodiversidad (Perfecto et al. 1996, Rice & Ward 1997, O'Brien & Kinnaird 2003, Rivera & Armbrrecht 2005), cada vez más los agricultores están abandonando el cultivo de café sombra a favor del café cultivado a plena exposición del sol para maximizar el rendimiento del cultivo (Perfecto et al. 1996). Debido a que esta práctica reduce la biodiversidad, en Honduras como en el resto de los países caficultores del Neotrópico, diferentes organizaciones están fomentando el café sombra como forma de conservación para aves, mariposas y hormigas, entre otros (Rice & Ward 1997, O'Brien & Kinnaird 2003, Rivera & Armbrrecht 2005). Una forma de fomentar la producción de café sombra es a través de la certificación, para lo cual se han establecido algunos protocolos (Mas & Dietsch 2004). Dentro de los criterios exigidos se encuentran la cobertura de los árboles de sombra, la diversidad florística y de fauna, el manejo del suelo, el uso de agroquímicos o la conservación de los cuerpos de agua y vegetación natural, entre otros (Philpott & Dietsch 2003, Mas & Dietsch 2004, The Smithsonian Migratory Bird Center 2008). La producción de café sombra se encuentra en un enfoque conocido como *land-sharing* —o uso compartido de la tierra— en donde se integran elementos de hábitat natural en los cultivos con el fin de armonizar la producción y la conservación (Perfecto & Vandermeer 2012). Otra modalidad es el enfoque *land-sparing*, en donde se busca conservar el hábitat nativo generalmente adyacente a los cultivos para maximizar la producción (Perfecto & Vandermeer 2012). En Honduras, el método de *land-sparing* puede ser la única alternativa para preservar fragmentos de bosque que se encuentran fuera de áreas protegidas, para evitar su cambio completo a sitios de producción (observaciones personales de los autores).

Un ejemplo de *land-sparing* a pequeña escala es el Sistema Dosel Abierto Integrado™ (DAI), desarrollado por el Instituto de Desarrollo Mesoamericano (MDI), e inicialmente diseñado para controlar la enfermedad de la roya *Hemileia vas-*

*tatrix* que afecta el cultivo de café en Costa Rica (Arce et al. 2009). Este agroecosistema consiste en rodear parcial o totalmente las plantaciones de café sombra o sol por una franja de bosque nativo en una proporción mínima de plantación-bosque  $\geq 1:1$ , permitiendo la restauración del ecosistema y la conservación de bosques nativos (Arce et al. 2009). Los bosques restaurados y conservados con este tipo de agroecosistema pueden brindar servicios ecosistémicos como el mantenimiento de la calidad del agua, control de plagas y polinización (Martínez et al. 2022). Dicho agroecosistema se implementó en Honduras en el departamento de Yoro, en fincas afiliadas a la Cooperativa COMYSUIL con el apoyo del MDI (2020). El agroecosistema DAI ha sido reconocido como una alternativa de conservación para las aves (Chandler et al. 2013, Ritterson et al. 2021). En Costa Rica se determinó que los cultivos DAI presentan una mayor riqueza de especies de aves dependientes de bosque que los cultivos sombra (Chandler et al. 2013).

En el presente estudio expandimos las ideas de Chandler et al. (2013) para contribuir al conocimiento de la ornitología y conservación de un paisaje productivo en Honduras. Consideramos que es importante ejecutar estudios locales que describan cómo los agroecosistemas pueden sustentar la avifauna y así promover estudios futuros y guiar estrategias de conservación. Nuestros objetivos fueron: 1) Evaluar la riqueza y abundancia de especies de aves migratorias neártico-neotropicales y residentes neotropicales en agroecosistemas de producción de café (DAI, sombra y sol) y fragmentos de bosque. 2) Comparar la abundancia de las especies de aves más frecuentes en agroecosistemas de producción de café y fragmentos de bosque. 3) Determinar la disimilitud entre las comunidades de aves en agroecosistemas de producción de café y fragmentos de bosque.

## MÉTODOS

**Área de estudio:** El estudio se desarrolló en el noreste de Honduras, en una zona cafetera comprendida por las aldeas de Subirana, Las Flores y Las Vegas (15,20°N; 87,45°W). Esta área es una zona montañosa que se encuentra entre los 800 – 1600 m s.n.m., caracterizada por bosque de pino *Pinus* spp. o bosque mixto pino-encino (*Pinus-Quercus* spp.) en las partes bajas y medias, y por bosque húmedo de hoja ancha en las zonas altas (Bailey & King 2019).

En la zona de estudio de aproximadamente 80 km<sup>2</sup> seleccionamos 75 sitios, que fueron categorizados en cuatro sistemas: 1) Bosques: se caracterizan por la presencia de árboles y variación en el grado de desarrollo del sotobosque. Estos sitios han experimentado perturbación debido a la tala, pero no han sido utilizados para la producción agrícola ni han tenido presencia de ganado durante el tiempo de estudio (Bennett et al. 2018), y pueden ser bosques secundarios en proceso de recuperación. 2) Cultivos de café DAI: se seleccionaron con base en las fincas establecidas por el MDI (Chandler et al. 2013; Mesoamerican Development Institute 2020). 3) Café sombra: plantación de café bajo el dosel de árboles, fincas comerciales de policultivo con un dosel relativamente

abierto que consiste de especies no nativas como cítricos o *Inga* spp., o fincas rústicas bajo un dosel denso de árboles nativos (Moguel & Toledo 1999). 4) Café sol: plantaciones sin ninguna cobertura de árboles, en ocasiones con algunas plantas de plátano (*Musa* spp.).

Para facilitar la interpretación de los datos usamos las siguientes abreviaciones: “Bosque” en referencia al bosque secundario, “DAIB” en referencia a la porción de la finca DAI que consiste en bosque, “DAIC” en referencia a la porción de la finca DAI que consiste en café; y “Sombra” y “Sol” en referencia a los sistemas de café sombra y café sol, respectivamente. Se separó el bosque en estas categorías de secundario y DAIB porque los sitios Bosque fueron más grandes en área y se pueden considerar menos perturbados. Los sitios “DAIB” presentaron un área menor y siempre rodearon parcial o totalmente una plantación de café.

**Toma de datos:** De noviembre 2018 hasta abril 2019 hicimos un muestreo de avifauna usando puntos de conteo con un radio fijo de 50 m en cada uno de los 75 sitios. Los sitios se clasificaron de la siguiente manera: Bosque (N = 15), Sombra (N = 16), Sol (N = 14), DAIB (N = 15, con un área promedio de 4.59 hectáreas) y DAIC (N = 15). La distancia mínima entre puntos fue de 250 m, con la excepción de puntos dentro de fincas DAI, donde la distancia mínima entre los puntos fue de 100 m (Wunderle 1999, Tejada & Sutherland 2004, Milder et al. 2010, Bennett et al. 2018). Registramos todas las aves observadas durante 10 min, divididos en cinco minutos pasivos y cinco minutos activos; durante los minutos activos usamos una grabación de la especie rapaz residente, *Glaucidium brasilianum*, acompañada de llamadas típicas y de alarma de especies de aves migratorias. Usamos esta grabación para aumentar la probabilidad de detección de aves migratorias (Bennett et al. 2018) y residentes (observación personal autores). Cada sitio tuvo tres réplicas de conteo con un rango de tiempo entre réplicas de 1 a 2 meses.

**Análisis estadístico:** Para los análisis estadísticos las aves se agruparon en cuatro categorías: 1) General: agrupando todas las aves sin considerar su estado migratorio. 2) Migratorias neártico-neotropicales: especies que se reproducen en Norteamérica durante el verano boreal y que invernan en el neotrópico durante el invierno boreal. 3) Residentes neotropicales: especies que se reproducen en el neotrópico o cuyo estado de ocurrencia se registra todo el año. 4) Dependientes de bosque: categorizadas como especialistas de bosque (Stiles 1985, Stotz et al. 1996).

Primero, comparamos la riqueza de especies entre los sistemas utilizando el método de rarefacción con intervalos de confianza del 95%, utilizando el paquete *vegan* en el programa R versión 4.1.1 (Kraker & Cobar-Carranza 2011, Oksanen et al. 2020, R Core Team 2021). Segundo, usamos el programa JMP (SAS Institute Inc 2020), para realizar modelos lineales generalizados con distribución de Poisson, con el fin de evaluar si la abundancia de especies fue distinta entre los sistemas. Para obtener una mejor representación de la abundancia de las especies usamos la abundancia máxima obtenida de las tres ré-

plicas por sitio (Toms et al. 2006).

Tercero, para evaluar la disimilitud de comunidades entre sistemas usamos el procedimiento de permutación de respuesta múltiple (MRPP, por sus siglas en inglés) y un análisis permutacional de varianza (PERMANOVA, por sus siglas en inglés). Los análisis de disimilitud se realizaron con distancia Bray-Curtis y 999 permutaciones utilizando el paquete *vegan*, en el programa R versión 4.1.1 (Oksanen et al. 2020, R Core Team 2021). Por último, hicimos el análisis multinivel de patrones para determinar cuáles especies fueron las indicadoras de los sistemas, usando el paquete *indicspecies* versión 1.7.9 en el programa R versión 4.1.1 (Cáceres & Legendre 2009, R Core Team 2021). El paquete *indicspecies* selecciona especies indicadoras a través de una combinación estadística de su frecuencia relativa y preferencia por un grupo de sitios o tratamientos, y de la fuerza de su relación con ese grupo. Este enfoque permite identificar especies que están fuertemente asociadas con un grupo y que pueden ser útiles como indicadores de las características o procesos de ese grupo (Cáceres & Legendre 2009).

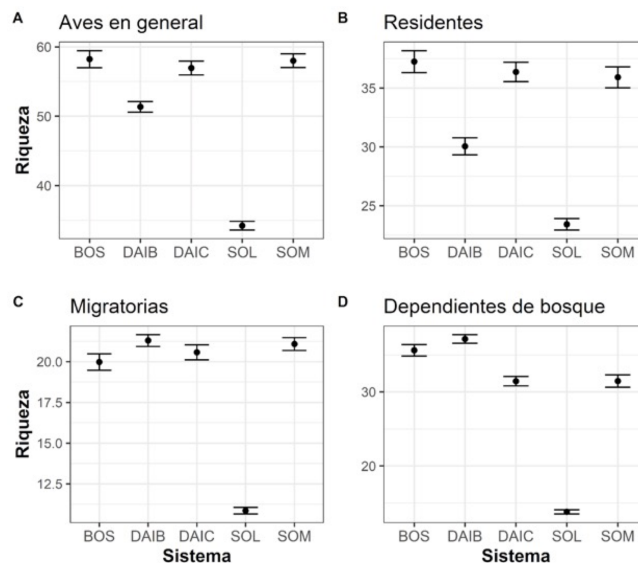
## RESULTADOS

Registramos 1485 individuos de 113 especies durante 2250 minutos de observación, de las cuales 83 especies fueron residentes y 30 migratorias neártico-neotropicales. Sesenta y seis especies fueron consideradas como dependientes de bosque (Tabla S1). Las especies registradas se distribuyen en 28 familias, de las cuales Parulidae fue la más representativa con 20 especies, seguida por Trochilidae con 11 especies. La familia Parulidae presentó 16 especies en sistema DAIB, 15 en Bosque, 14 en DAIC, 13 en Sombra y 9 en Sol, mientras que la familia Trochilidae presentó 7 especies en Bosque, 5 en DAIB, 5 en DAIC, 5 en Sombra y 3 en Sol.

Determinamos, basados en los intervalos de confianza del 95%, que la riqueza de especies en general y el número de especies residentes fue significativamente menor en Sol en comparación a los otros sistemas; menor en DAIB que en Bosque, DAIC y Sombra; y similar entre Bosque, DAIC y Sombra (Figura 1A,B). Igualmente, la riqueza de las aves migratorias fue menor en Sol, posteriormente menor en Bosque que DAIB y Sombra; y similar entre DAIB y Sombra (Figura 1C). Finalmente, la riqueza de aves dependientes de bosque fue menor en Sol en comparación a los demás sistemas; mayor en DAIB y Bosque que en DAIC y Sombra; y similar en DAIC y Sombra (Figura 1D).

La abundancia de especies de aves migratorias neártico-neotropicales, como *Mniotilta varia*, *Vireo philadelphicus* y *Setophaga pensylvanica*, fue significativamente menor ( $P < 0.05$ ) en el sistema Sol y no presentó diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los sistemas Sombra, DAIB, DAIC y Bosque. Sin embargo, la abundancia de algunas aves dependientes de bosque, como *Myioborus miniatus* y *Mionectes oleagineus*, fue significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) en los sistemas Bosque y DAIB, que en Sol, Sombra y DAIC (Figura 2).

Los sistemas Bosque y DAIB son los menos disímiles, con una disimilitud de 0.732 y los sistemas Sombra y Sol son los más disímiles, con una disimilitud de 0.804 (Figura 3; Tabla 1).

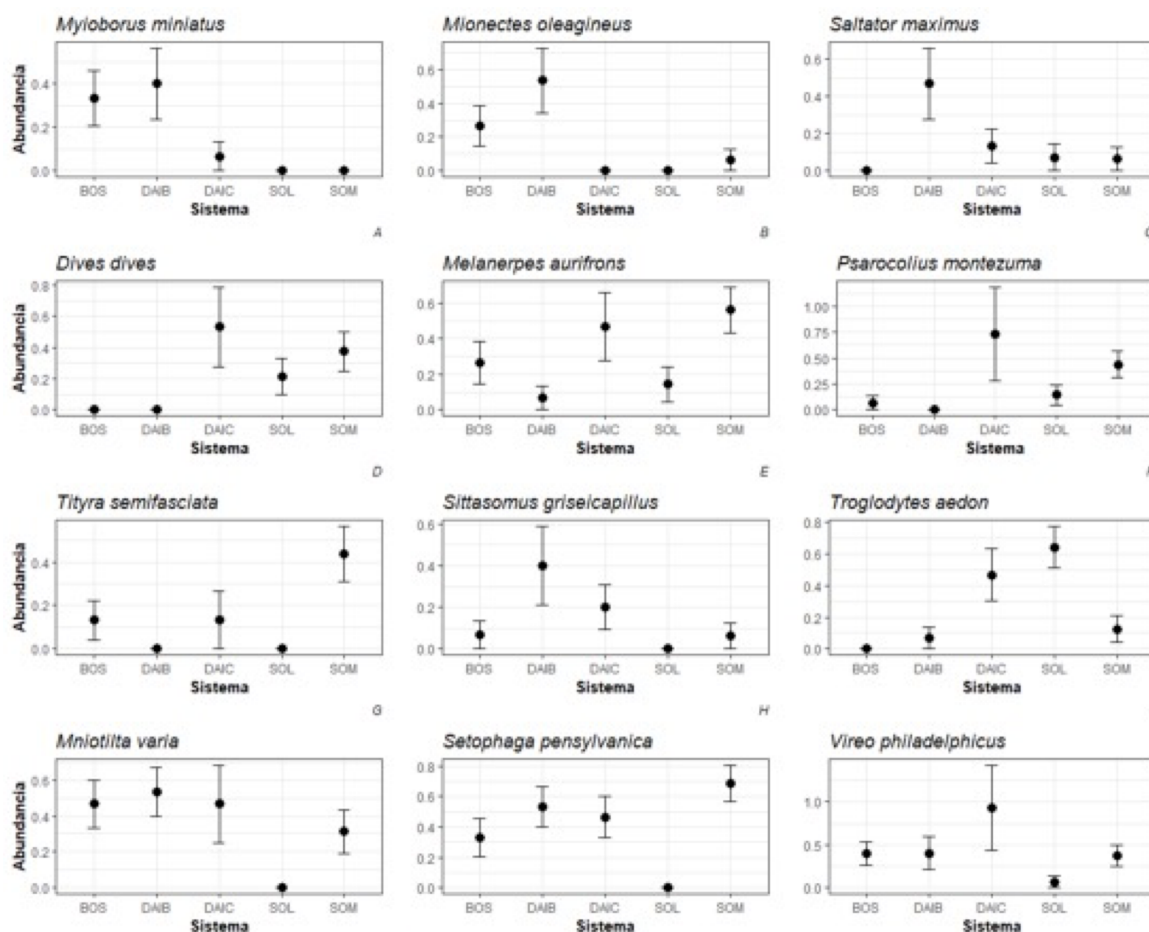


**Figura 1.** Riqueza de especies por sistema, datos extraídos del análisis de rarefacción con intervalos de confianza del 95%. Los datos provienen de 75 puntos de conteo en el departamento de Yoro, Honduras, de noviembre 2018 hasta abril 2019. DAIB: Sistema DAI, parte del cultivo con bosque, DAIC: Sistema DAI parte del cultivo de café, SOL: Sistema Café sol, BOS: Sistema Bosque, SOM: Sistema Café sombra.

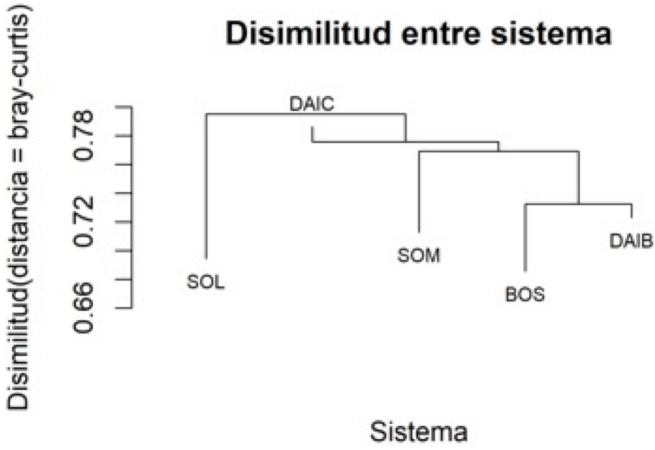
El análisis PERMANOVA sustentó estos resultados, indicando que las disimilitudes son estadísticamente significativas, excepto entre los sistemas Bosque y DAIB (Tabla 1). Por último, con el análisis multinivel de patrones determinamos que las especies *M. oleagineus*, *M. miniatus* y *Basilinna leucotis* son las especies indicadoras para los sistemas DAIB y Bosque (Tabla 2).

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran que los sistemas DAIB, DAIC, Bosque y Sombra de la zona cafetera del departamento de Yoro en Honduras proveen un hábitat para aves migratorias neártico-neotropicales y residentes. Al igual que los resultados registrados por Chandler et al. (2013), determi-



**Figura 2.** Abundancia de especies de aves (media ± SE) que exhibió diferencias entre sistemas. Los datos provienen de 75 puntos de conteo en el departamento de Yoro, Honduras, de noviembre 2018 hasta abril 2019. DAIB: Sistema DAI, parte del cultivo con bosque, DAIC: Sistema DAI parte del cultivo de café, SOL: Sistema Café sol, BOS: Sistema Bosque, SOM: Sistema Café sombra.



**Figura 3.** Dendrograma generado aplicando el método MRPP utilizando la distancia Bray Curtis. Los datos provienen de 75 puntos de conteo en el departamento de Yoro, Honduras, de noviembre 2018 a abril 2019. DAIB: Sistema DAI parte del cultivo con bosque; DAIC: Sistema DAI parte del cultivo de café; SOL: Sistema Café sol; BOS: Sistema Bosque; SOM: Sistema Café sombra.

**Tabla 1.** Disimilitud entre las comunidades de aves en agroecosistemas de producción de café y fragmentos de bosque, utilizando el método MRPP y la significancia proveniente del PERMANOVA con distancia Bray-Curtis. Los valores de disimilitud tienen un rango de 0 a 1, con los valores más cercanos a 1 indicando mayor disimilitud. Los datos provienen de 75 puntos de conteo en el departamento de Yoro, Honduras, de noviembre 2018 hasta abril 2019. Las abreviaciones son DAIB: Sistema DAI, parte del cultivo con bosque; DAIC: Sistema DAI, parte del cultivo con café; SOL: Sistema Café sol, BOSQUE: Sistema Bosque; SOM: Sistema Café sombra.

|           | Disimilitud | Valor P |
|-----------|-------------|---------|
| SOM-SOL   | 0,804       | 0,01    |
| SOM-DAIC  | 0,783       | 0,02    |
| SOM-DAIB  | 0,786       | 0,01    |
| SOM-BOS   | 0,753       | 0,01    |
| SOL-DAIC  | 0,785       | 0,02    |
| SOL-DAIB  | 0,800       | 0,01    |
| SOL-BOS   | 0,790       | 0,01    |
| DAIC-DAIB | 0,774       | 0,12    |
| DAIC-BOS  | 0,771       | 0,01    |
| DAIB-BOS  | 0,732       | 0,06    |

namos que no hay diferencias significativas entre los sistemas DAIC, DAIB, Bosque y Sombra en cuanto a la riqueza de especies de aves migratorias neártico-neotropicales. Esto demuestra que los cultivos de café sombra y DAI son herramientas importantes para estrategias de conservación de especies de aves migratorias que presentan un declive poblacional desde hace décadas (Robbins et al. 1989, Rappole & McDonald 1994, Rosenberg et al. 2019, Valente et al. 2022).

La riqueza de aves dependientes de bosque fue similar a los resultados registrados por Arce et al. (2009) y Chandler et al. (2013), quienes, utilizando redes de neblina en Costa Rica, registraron mayor número de especies dependientes de bosque en los sistemas DAI y Bosque que en el sistema Sombra. Esto se puede deber a que los cultivos de café sombra y sol transforman totalmente el sotobosque, donde habitan una gran diversidad de especies de aves (Naranjo & Chacón 1997, Visco et al. 2015). Por otro lado, el dosel se ve modificado cuando se implementa una finca de café sombra, debido a que se utilizan plantas exclusivas para brindar sombra al cultivo (Albertin & Nain 2004). Al evaluar la riqueza de aves dependientes de bosque entre el sistema Bosque y DAIB no encontramos diferencias significativas, a pesar de que los fragmentos de bosque que estudiamos fueron de mayor tamaño y no se encontraban directamente a la par de un cultivo de café. Proponemos que en el caso de las fincas DAI, al presentar una zona boscosa, tanto el sotobosque como el dosel no se ven alterados y por ende pueden albergar diferentes especies de

aves dependientes de bosque. Además, los sitios DAIB que estudiamos presentaron mayor área que el tamaño umbral (2.6 ha) que se ha propuesto para sustentar la mayoría de las aves dependientes de bosque (Ritterson et al. 2021).

Observamos que las especies dependientes de bosque como *M. oleagineus* y *M. miniatus* presentaron mayor abundancia en los sistemas DAIB y Bosque que en los sistemas Sombra, DAIC y Sol. Una posibilidad para este resultado es que en los cultivos de café las poblaciones de especies oportunistas como *Dives dives* y *Melanerpes aurifrons* son más abundantes, mientras que las especies asociadas con bosque lo son menos (Greenberg et al. 1997b, Tejada & Sutherland 2004). A su vez, los sistemas DAIB y Bosque mantienen una estructura vegetal menos perturbada que los sistemas DAIC, Sombra y Sol, que los hace más habitables para especies susceptibles a la perturbación como las especies dependientes de bosque (Philpott & Dietsch 2003, Tejada & Sutherland 2004).

En cuanto a las especies de aves migratorias, *S. pensylvanica* fue más abundante en los sistemas DAIB, DAIC y Sombra en lugar del sistema Bosque, similar a los resultados de Chandler et al. (2013). Estos autores registraron que las aves migratorias prefieren cultivos de café sombra sobre el bosque, lo que se puede deber a que las poblaciones de aves migratorias obtienen ciertos beneficios como la disponibilidad de alimento (Greenberg et al. 1997a, Wunderle & Latta 1998, Moguel & Toledo 1999, Narango et al. 2019). Otras aves migratorias como *M. varia* y *V. philadelphicus* no presentaron diferencias

entre los sistemas Sombra, DAIC, DAIB y Bosque.

Diferentes estudios han demostrado que los cultivos de café sombra son importantes para la conservación de aves migratorias (Vannini 1994, Greenberg et al. 1997a, Greenberg et al. 1997b, Moguel & Toledo 1999, Perfecto et al. 2003, Tejada & Sutherland 2004, González et al. 2020). Esto ha permitido que diferentes instituciones promuevan los certificados en este tipo de cultivo como una alternativa de conservación de las aves migratorias (Mas & Dietsch 2004), pero la aplicación a certificaciones presenta dificultades y desventajas por sus rigurosos criterios (Philpott & Dietsch 2003, Mas & Dietsch 2004). Además, las certificaciones podrían incentivar la transformación de bosques de pino o pino-encino (Rappole et al. 2003), que también son de importancia para algunas especies migratorias como *Setophaga chrysoparia* (Rappole et al. 2000, King et al. 2008) y *Vermivora chrysoptera* (Bennett 2013). Finalmente, Bailey & King (2019) determinaron que la persistencia del sitio y la supervivencia de *Hylocichla mustelina*, una especie migratoria, fue menor en el café sombra, a pesar de que su abundancia fue mayor en el café sombra en comparación al bosque nativo. Por lo tanto, nuestro hallazgo de que algunas especies exhiben una mayor abundancia en los sistemas de café sombra debe considerarse con precaución, ya que la abundancia no es el único parámetro que puede indicar calidad del hábitat (Van Horne 1983, Johnson et al. 2006, Knutson et al. 2006). Para evaluar la calidad de hábitat para distintas especies de ave en los cafetales de Yoro, se podrían tomar en cuenta estimaciones de la tasa de crecimiento de las poblaciones, supervivencia, persistencia y condición fisiológica (Johnson et al. 2006, Knutson et al. 2006, Labocha & Hayes 2012, Bergman et al. 2019).

La disimilitud de las comunidades de aves puede reflejar variedad en su función ecológica al sustentar especies con distintos roles ecosistémicos (Sekercioglu 2006). Aunque no evaluamos funciones ecológicas, registramos que los sistemas Bosque y DAIB fueron los sistemas menos disímiles, caracterizados por especies dependientes de bosque como *M. oleagineus* y *M. miniatus*. Con base en los resultados obtenidos, proponemos considerar el método de *land-sparing* DAI (Chandler et al. 2013) como herramienta de conservación que puede ser aplicada en distintos tipos de cultivo y ecosistemas, que pueden sustentar aves migratorias neártico-neotropicales y especies neotropicales dependientes de bosque en paisajes productivos. Si bien en nuestra área de es-

tudio este método no es aplicado en fincas con el tamaño recomendado por Bregman et al. (2014) de 100 ha, sus resultados indican que hasta los fragmentos más pequeños pueden conservar comunidades que fungen roles ecosistémicos.

El enfoque *land-sparing* posee sus críticas, entre ellas, que son propensos a perpetuar la fragmentación en un paisaje productivo, lo que minimiza los procesos de movimiento de distintas especies y aumenta los procesos de extinción (Perfecto & Vendermeer 2012). Sin embargo, consideramos que en paisajes como los de Yoro, Honduras, donde los remanentes de bosque son propiedades privadas y se encuentran rodeando áreas protegidas que son islas en el agropaisaje, un agroecosistema que conserve o promueva la regeneración del bosque puede sustentar la biodiversidad. Perfecto & Vendermeer (2012) brindan una línea base sobre procesos ecológicos en paisajes productivos y sugieren que la matriz agrícola debe apuntar a que la producción sea sostenible. En previos estudios se ha observado que en paisajes productivos en donde las prácticas agrícolas son diversas y consideran la conservación del hábitat natural o de elementos del mismo (una combinación de *land-sparing* (DAI) y *land-sharing* (café sombra)), los cambios y la pérdida de especies en comunidades de aves son menores que en agroecosistemas de producción intensiva (Hendershot et al. 2020, Valente et al. 2022). Consideramos que la herramienta de conservación, método DAI, puede ser un punto de partida para conservar fragmentos de bosque que puede ser adaptado para promover el uso de sombra en los cultivos además de conservar bosque. Sin embargo, para proponer lineamientos aplicables por los productores (e.g. tamaño mínimo de área de bosque óptima para procesos ecológicos) necesitamos llevar a cabo estudios sobre cómo el bosque provee servicios ecosistémicos a la región (Chain-Guadarrama et al. 2019) y cómo este método de producción sustenta la biodiversidad.

Debido a que la riqueza de aves migratorias y residentes no difiere entre los sistemas Bosque, DAI y Sombra; que la comunidad de aves en sistema DAIB es más similar con el Bosque; y que la riqueza y abundancia de aves dependientes de bosque es mayor en sistema DAIB y Bosque que en los sistemas Sombra y Sol, concluimos que el agroecosistema DAI en cultivos de café es una alternativa para la conservación de aves migratorias neártico-neotropicales y residentes, en especial para las aves dependientes de bosque. En Honduras se ha pilotado e implementado el agroecosistema DAI por parte del

**Tabla 2.** Lista de especies indicadoras para cada sistema con sus respectivas significancias. Los datos provienen de 75 puntos de conteo en el departamento de Yoro, Honduras, de noviembre 2018 hasta abril 2019. Las abreviaciones son DAIB: Sistema DAI, parte del cultivo con bosque, DAIC: Sistema DAI, parte del cultivo con café, SOL: Sistema Café sol, BOSQUE: Sistema Bosque, SOM: Sistema Café sombra.

| Sistema       | Especies                    | Valor P |
|---------------|-----------------------------|---------|
| DAIB          | <i>Saltator maximus</i>     | 0,02    |
| DAIC          | <i>Setophaga virens</i>     | 0,015   |
|               | <i>Psarocolius wagleri</i>  | 0,032   |
| SOM           | <i>Tityra semifasciata</i>  | 0,013   |
| BOSQUE + DAIB | <i>Myioborus miniatus</i>   | 0,006   |
|               | <i>Mionectes oleagineus</i> | 0,03    |
|               | <i>Basilinna leucotis</i>   | 0,048   |
| DAIB + DAIC   | <i>Cardellina pusilla</i>   | 0,001   |
| DAIC + SOL    | <i>Troglodytes aedon</i>    | 0,001   |
| DAIC + SOM    | <i>Melanerpes aurifrons</i> | 0,038   |
|               | <i>Dives dives</i>          | 0,034   |



MDI, apuntando a que este agroecosistema permita que los productores conserven bosque que les provea de servicios ecosistémicos como secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad, enriquecimiento del suelo, calidad del agua y aire, control biológico y polinización (Jose 2009, King et al. 2016, Martínez et al. 2022). Estudios a futuro pueden expandir nuestro enfoque para determinar si las dinámicas de comunidades de aves se sostienen durante todo el año, en particular para aves residentes durante su época reproductiva. Además, estudios que evalúen el rol de las fincas DAI para sustentar servicios ecosistémicos, y si actúan como sumideros de poblaciones, podrían enriquecer el conocimiento sobre este tipo de agroecosistema y su potencial para el manejo y conservación de aves.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por la Fundación Nacional de Ciencias de EE. UU. (subvención No. 2120948), así como fondos de la Universidad de Tulane, Fundación James S. McDonnell; del Servicio Forestal de EE. UU. Centro de Investigación del Norte; y del Servicio Forestal de EE. UU. Programas Internacionales, Programa de Aves Migratorias. Agradecemos al Mesoamerican Development Institute dirigido por Raúl Raudales y Richard Trubey, quienes nos brindaron la logística necesaria para culminar la investigación en la zona de estudio. A los productores de café de la zona, en especial a Daniel Ramírez, Baudilio Gutiérrez, Agustín Acosta, Maira Manzanares, Mario Manzanares, Francisco Zúniga, Blanca Martínez y Miguel Chavarría por permitirnos desarrollar este proyecto en sus fincas, y a nuestros colegas Denis Ramos, Farlem España y Martín Murillo por su apoyo en la zona de estudio.

## REFERENCIAS

- Albertin, A & PK Nair (2004) Farmers' perspectives on the role of shade trees in coffee production systems: an assessment from the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Human Ecology* 32: 443–463. <https://doi.org/10.1023/B:HUEC.0000043515.84334.76>
- Arce, VJ, R Raudales, R Trubey, DI King, RB Chandler & CC Chandler (2009) Measuring and managing the environmental cost of coffee production in Latin America. *Conservation and Society* 7: 141–144. <https://doi.org/10.4103/0972-4923.58645>
- Bailey, BA & DI King (2019) Habitat selection and habitat quality for wintering wood thrushes in a coffee growing region in Honduras. *Global Ecology and Conservation* 20: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00728>
- Bennett, RE (2013) Habitat associations of the Golden-Winged Warbler in Honduras. M.Sc. thesis, Michigan Technological University, United States.
- Bennett, RE, W Leuenberger, BB Bosarreyes-Leja, A Sagone-Cáceres, K Johnson & J Larkin (2018) Conservation of Neotropical migratory birds in tropical hardwood and oil palm plantations. *PLoS ONE* 13: 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210293>
- Bergman, JN, JR Bennett, AD Binley, ST Cooke, V Fyson, BL Hlina, CH Reid, MA Vala & CL Madliger (2019) Scaling from individual physiological measures to population-level demographic change: Case studies and future directions for conservation management. *Biological Conservation* 238: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108242>
- Bregman, TP, CH Sekercioglu & JA Tobias (2014) Global patterns and predictors of bird species responses to forest fragmentation: implications for ecosystem function and conservation. *Biological Conservation* 169: 372–383. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.11.024>
- Cáceres, MD & P Legendre (2009) Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90: 3566–3574. <https://doi.org/10.1890/08-1823.1>
- Canet-Brenes, G, C Soto-Viquez, P Ocampo-Thomason, J Rivera-Ramírez, A Navarro-Hurtado, G Guatemala-Morales & S Villanueva-Rodríguez (2016) *La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. Available at <http://repositorio.iica.int/handle/11324/2792> [Accessed 30 June 2023]
- Chain-Guadarrama, A, A Martínez-Salinas, N Aristizábal & TH Ricketts (2019) Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: a review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 280: 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>
- Chandler, RB, DI King, R Raudales, R Trubey, CC Chandler & VJ Arce (2013) A small-scale land-sparing approach to conserving biological diversity in tropical agricultural landscape. *Conservation Biology* 27: 785–795. <https://doi.org/10.1111/cobi.12046>
- Chesser, RT, SM Billerman, KJ Burns, C Cicero, JL Dunn, BE Hernández-Baños, et al. (2022) Check-list of North American Birds (online). American Ornithological Society. Available at <http://checklist.aou.org/taxa> [Accessed 30 June 2023].
- DeClerck, F, R Holl, J Milder, B Finegan, A Martínez, P Imbach, L Canet & Z Ramos (2010) Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: Past, present and future. *Biological Conservation* 143: 2301–2313. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.026>
- González, AM, S Wilson, NJ Bayly & KA Hobson (2020) Contrasting the suitability of shade coffee agriculture and native forest as overwinter habitat for Canada Warbler (*Cardellina canadensis*) in the Colombian Andes. *The Condor* 122: 1–12. <https://doi.org/10.1093/condor/duaa011>
- Greenberg, R, P Bichier, A Cruz-Angon & R Reitsma (1997a) Bird populations in shade and sun coffee plantations in Central Guatemala. *Conservation Biology* 11: 448–459.
- Greenberg, R, P Bichier & J Sterling (1997b) Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of Eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29: 501–514. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1997.tb00044.x>
- Hendershot, JN, JR Smith, CB Anderson, AD Letten, LO Frishkoff, JR Zook, T Fukami & GC Daily (2020) Intensive farming drives long-term shifts in avian community composition. *Nature* 579: 393–396. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2090-6>
- Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) (2017) *Memoria cosecha 2016–2017*. Tegucigalpa, Honduras.
- Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) (2018) *Capa vectorial zonificación tipos de café*. Tegucigalpa, Honduras.
- Johnson, MD, TW Sherry, RT Holmes & PP Marra (2006) Assessing habitat quality for migratory songbird wintering in natural and agricultural habitats. *Conservation Biology* 20: 1433–1444. <https://doi.org/10.1111>

- 1/j.1523-1739.2006.00490.x
- Jose, S (2009) Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76: 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- King, DI, E Herrera, S Hernandez, CA Lively, DW Mehlman, JH Rappole & D Roth (2008) The status of wintering golden-cheeked warblers in Nicaragua. *Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics* 45–51.
- King, DI, RB Chandler, C Smalling, R Trubey, R Raudales & T Will (2016). *Nonbreeding Golden-winged Warbler, habitat: status, conservation, and needs*. Pp 29–38 in Streby, HM, DE Andersen, & DA Buehler (eds). *Golden-winged Warbler ecology, conservation, and habitat management*. Studies in Avian Biology, no. 49. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Knutson, MG, LA Powell, RK Hines, MA Friberg & GJ Niemi (2006) An assessment of bird habitat quality using population growth rates. *The Condor* 108: 301–314. <https://doi.org/10.1093/condor/108.2.301>
- Kraker, C & AJ Cobar-Carranza (2011) Uso de rarefacción para comparación de la riqueza de especies: el caso de las aves de sotobosque en la zona de influencia del Parque Nacional Laguna Lachuá, Guatemala. *Naturaleza y Desarrollo* 9: 60–70.
- Kremen, C & AM Merenlender (2018). Landscapes that work for biodiversity and people. *Science* 362: 1–9. <http://doi.org/10.1126/science.aau6020>
- Labocha, MK & JP Hayes (2012) Morphometric indices of body condition in birds: a review. *Journal of Ornithology* 153: 122. <https://doi.org/10.1007/s10336-011-0706-1>
- Martínez, A, A Chain, N Aristizábal, S Vilchez, R Cerda & T Ricketts (2022) Interacting pest control and pollination services in coffee systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119: 1–7. <https://doi.org/10.1073/pnas.2119959119>
- Mas, A & T Dietsch (2004) Linking shade coffee certification to biodiversity conservation: Butterflies and birds in Chiapas, Mexico. *Ecological Applications* 14: 642–654. <https://doi.org/10.1890/02-5.225>
- Mesoamerican Development Institute (MDI) (2020) Integrated open canopy™. Available at: <http://mesoamerican.org/portfolio/integrate-d-open-canopy-ioc/> [Accessed 30 June 2023]
- Milder, JC, FAJ DeClerck, A Sanfiorenzo, DM Sánchez, DE Tobar & B Zuckerberg (2010) Effects of farm and landscape management on bird and butterfly conservation in Western Honduras. *Ecosphere* 1: 1–21. <https://doi.org/10.1890/ES10-00003.1>
- Moguel, P & VM Toledo (1999) Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13: 11–21. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>
- Narango, DL, DW Tallamy, KJ Snyder & RA Rice (2019) Canopy tree preference by insectivorous birds in shade-coffee farms: implications for migratory bird conservation. *Biotropica* 51: 387–398. <https://doi.org/10.1111/btp.12642>
- Naranjo, LG & P Chacón de Ulloa (1997) Diversidad de insectos y aves insectívoras de sotobosque en hábitats perturbados de selva lluviosa tropical. *Caldasia* 19: 507–520.
- O'Brien, TG & MF Kinnaird (2003) Caffeine and conservation. *Science* 300: 587–587. <https://doi.org/10.1126/science.1082328>
- Oksanen, J, G Blanchet, R Kindt, P Legendre, P Minchin, R O'Hara, G Simpson, et al. (2020) *Vegan: Community Ecology Package*. R package versión 2.5–6.0. Available at <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>. [Accessed 21 April 2021]
- Pérez, O, TJ Benjamín & DE Tobar (2018) Los agroecosistemas cafetaleros modernos y su relación con la conservación de mariposas en paisajes fragmentados. *Biología Tropical* 66: 394–402. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1.29013>
- Perfecto, I & J Vandermeer (2012) Separación o integración para la conservación de biodiversidad: la ideología detrás del debate “land-sharing” frente a “land-sparing”. *Ecosistemas* 21: 180–191.
- Perfecto, I, RA Rice, R Greenberg & ME Van der Voort (1996) Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46: 598–608. <https://doi.org/10.2307/1312989>
- Perfecto, I, A Mas, T Dietsch & J Vandermeer (2003) Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 12: 1239–1252. <https://doi.org/10.1023/A:1023039921916>
- Philpott, SM & T Dietsch (2003) Coffee and conservation: a global context and the value of farmer involvement. *Conservation Biology* 17: 1844–1846. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2003.00150.x>
- Ponte, S (2002) The “latte revolution”? regulation, markets and consumption in the global coffee chain. *World Development* 30: 1099–1122. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(02\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(02)00032-3)
- R Core Team (2021). R: a language and environment for statistical computing. Available at <http://www.r-project.org/> [Accessed 30 June 2023]
- Rappole, JH & MV McDonald (1994). Cause and effect in population declines of migratory birds. *The Auk* 111: 652–660.
- Rappole, JH, DI King & P Leimgruber (2000) Winter habitat and distribution of the endangered golden-cheeked warbler (*Dendroica chrysoparia*). *Animal Conservation* 2: 45–59. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2000.tb00086.x>
- Rappole, JH, DI King & JHV Rivera (2003). Coffee and conservation. *Conservation Biology* 17: 334–336. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01548.x>
- Rice, RA & JR Ward (1997) *Coffee, conservation, and commerce in the Western Hemisphere*. Smithsonian Migratory Bird Center and Natural Resources Defense Council, Washington, D.C. USA.
- Ritterson, JD, DI King, R Raudales, R Trubey & RB Chandler (2021) Generating best management practices for avian conservation with a land-sparing agricultural system. *Agroforestry Systems* 95: 395–405. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00582-7>.
- Rivera, LF & I Armbrrecht (2005) Diversidad de tres gremios de hormigas en cafetales de sombra, de sol y bosques de Risaralda. *Revista de la Sociedad Colombiana de Entomología SOCOLEN* 31: 89–96.
- Robbins, CS, JR Sauer, R Greenberg & S Droege (1989) Population declines in North American birds that migrate to the Neotropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 86: 7658–7662. <https://doi.org/10.1073/PNAS.86.19.7658>
- Rohila, AK, Ansul, D Maan, A Kumar & K Kumar (2017) Impact of agricultural practices on environment. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences* 19: 145–148.
- Rosenberg, KV, AM Dokter, PJ Blancher, JR Sauer, AC Smith, PA Smith, JC Stanton, A Panjabi, L Helft, M Parr & PP Marra (2019) Decline of the North American avifauna. *Science* 366: 120–124. <https://doi.org/10.1126/science.aaw1313>.
- Sans, FX (2007) La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas* 16:



44–49.

- SAS Institute Inc (2020) Using contrasts to compare differences in the levels of a variable. Available at <https://www.jmp.com/support/help/en/15.2/index.shtml#page/jmp/using-contrasts-to-compare-differences-in-the-levels-of-a-variable.shtml#ww215243> [Accessed 25 April 2021]
- Sekercioglu, CH (2006) Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.05.007>
- Stiles, FG (1985) *Conservation of forest birds in Costa Rica: problems and perspectives*. *Conservation of Tropical Forest Birds*. Pp 141–168 in Diamond, AW & TE Lovejoy (eds). Conservation of tropical forest birds, no. 4. ICBP Technical Publication, Cambridge, United Kingdom.
- Stotz, DF, JW Fitzpatrick, TA Parker III & DK Moskovits (1996) Neotropical birds: ecology and conservation. University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Tejada, C & WJ Sutherland (2004) Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation* 7: 169–179. <https://doi.org/10.1017/S1367943004001258>
- The Smithsonian Migratory Bird Center (2008) Defining shade coffee with bio-physical criteria. Available at <http://www3.cec.org/islandora/en/item/1856-defining-shade-coffee-bio-physical-criteria-en.pdf> [Accessed 30 June 2023]
- Toms, JD, F Schmiegelow, SJ Hannon & MA Villard (2006) Are point counts of boreal songbirds reliable proxies for more intensive abundance estimators?. *The Auk* 123: 438–454. <https://doi.org/10.1093/auk/123.2.438>
- Valente, JJ, RE Bennett, C Gómez, NJ Bayly, RA Rice, PP Marra, TB Ryder & TS Sillett (2022) Land-sparing and land-sharing provide complementary benefits for conserving avian biodiversity in coffee-growing landscapes. *Biological Conservation* 270: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109568>
- Van Horne, B (1983). Density as a misleading indicator of habitat quality. *The Journal of Wildlife Management* 47: 893–901. <https://doi.org/10.2307/3808148>
- Vannini, JP (1994). Nearctic avian migrants in coffee plantations and forest fragments of south-western Guatemala. *Bird Conservation International* 4: 209–232. <https://doi.org/10.1017/S0959270900002781>
- Visco, DM, NL Michel, WA Boyle, BJ Sigel, S Woltmann & TW Sherry (2015) Patterns and causes of understory bird declines in human-disturbed tropical forest landscapes: a case study from Central America. *Biological Conservation* 191: 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.05.018>
- Wunderle, JM & S Latta (1998) Avian resource use in Dominican shade coffee plantations. *The Wilson Bulletin* 110: 271–281.
- Wunderle, JM (1999) Avian distribution in dominican shade coffee plantations: area and habitat relationships. *Journal of Field Ornithology* 70: 58–70.