



UNIVERSIDAD NACIONAL  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
INSTITUTO INTERNACIONAL EN CONSERVACION  
Y MANEJO DE VIDA SILVESTRE

ANÁLISIS DEL PAISAJE SONORO EN PLANTACIONES DE CAFÉ DE SOMBRA CON  
TRES CATEGORÍAS DE MANEJO EN GUATEMALA

Karla Varinia Sagastume Pinto

Heredia, junio de 2018.

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador de Postgrado  
de la Universidad Nacional para optar al título de Magister Scientiae  
en Conservación y Manejo de Vida Silvestre

ANÁLISIS DEL PAISAJE SONORO EN PLANTACIONES DE CAFÉ DE SOMBRA CON  
TRES CATEGORÍAS DE MANEJO EN GUATEMALA

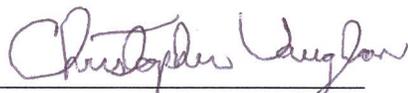
Karla Varinia Sagastume Pinto

Tesis presentada para optar al grado de Magister Scientiae en Conservación y Manejo de  
Vida Silvestre. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de  
Posgrado de la Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.

Miembros del Tribunal Examinador



M.Sc. José Rodríguez Zelaya  
Presidente suplente del Consejo Central de Posgrado



Ph.D. Christopher Vaughan  
Representante de la Dirección del  
ICOMVIS



Ph.D. Mónica Retamosa Izaguirre  
Tutor



M.Sc. Héctor Perdomo Velázquez  
Asesor



M.Sc. Oscar Ramírez Alán  
Asesor



Karla Varinia Sagastume Pinto  
Sustentante

## RESUMEN

Debido a que la mayoría de los hábitats tropicales están fragmentados, el manejo de la matriz agrícola tiene importantes implicaciones para la conservación. En Guatemala, el café es cultivado con un gradiente de diversidad y complejidad de árboles de sombra que va desde el café de sombra tradicional (similar a un bosque) hasta el café de sol (intensificado y sin sombra). En este sentido, la abundancia y diversidad de la avifauna varía en las plantaciones de café de sombra según cada categoría de manejo. El objetivo de este estudio fue comparar el paisaje sonoro de plantaciones de café de sombra con tres categorías de manejo (monocultivo, policultivo comercial y sistema tradicional) en dos departamentos de Guatemala, Quetzaltenango y Santa Rosa. Asimismo, se evaluó la relación entre el paisaje sonoro y la estructura de la vegetación. Se realizaron grabaciones de paisaje sonoro entre julio y septiembre del 2017, de 0600 a 0900 horas, en cuatro plantaciones de café de sombra con 15 grabadoras de bajo costo (LCRs). Se midió el porcentaje de cobertura de dosel, área basal y número de árboles en cinco círculos de 10m de radio para cada punto de grabación. A partir de las grabaciones, se calcularon cinco índices acústicos para el primer minuto de cada 10 minutos entre 0600 y 0800 h (2.685 minutos en total) y se promediaron por sitio de grabación. La relación del paisaje sonoro y la estructura de la vegetación se evaluó con los valores promedio de cada índice y las variables de vegetación por punto de grabación a través de modelos lineales generalizados (GLM).

Al comparar las tres categorías de manejo algunos resultados no coincidieron con lo esperado; sin embargo, la comparación de las categorías para cada región sí mostró resultados congruentes con otras investigaciones. En la región de Quetzaltenango, el policultivo comercial presentó mayor diversidad (BI), complejidad (ACI) y entropía acústica (H), así como una mayor proporción de biofonías (NDSI) en comparación con el monocultivo. Por otro lado, en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa, el sistema tradicional presentó mayor diversidad (BI, ADI) y complejidad acústica (ACI), así como una mayor proporción de biofonías (NDSI) en comparación con el policultivo comercial. Las variables de vegetación que influyeron en los valores de los índices acústicos fueron el porcentaje de cobertura de dosel y el número de árboles. Las tres categorías de manejo presentaron una tendencia decreciente de la mayoría de índices acústicos con el aumento de porcentaje de cobertura y, en el caso de los índices BI y NDSI, con el aumento del número de árboles, lo cual puede estar relacionado con la baja sensibilidad de las grabadoras.



## AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por darme el apoyo y la oportunidad de realizar mis estudios de maestría y este trabajo de investigación.

Al Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS) y a la Universidad Nacional de Costa Rica, por mi formación académica y profesional.

A la Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala (ARNPG), especialmente a Claudia García, por el apoyo técnico e institucional para realizar mi maestría y este trabajo.

Mi más sincero agradecimiento a Lorena Calvo, Rebeca Mirón y Boris Herrarte, propietarios de Finca Bohemia, Finca Nueva Delfina y Finca El Tempisque, por todo el apoyo, el interés y la confianza y por permitirme trabajar y aprender en sus fincas de café. Especialmente a Margarita Herrarte por su especial interés, motivación y ayuda durante el trabajo de campo. También agradezco a los trabajadores de las tres fincas, Haroldo, Saul, Juan, Leonor y Carlos por su disposición, amabilidad y ayuda.

A mi tutora Ph.D. Mónica Retamosa por siempre apoyarme y por aportar su tiempo y experiencia para guiarme en el desarrollo de esta tesis. A mis asesores: M.Sc. Héctor Perdomo por aportar su conocimiento y experiencia en temas de bioacústica, especialmente por su disponibilidad, ayuda e interés durante toda la tesis. M.Sc. Óscar Ramírez por su apoyo en el análisis estadístico y el uso de R, por su tiempo, disponibilidad y asesoría. Ph.D. Christopher Vaughan por sus asesoría y revisiones.

A todas las personas que contribuyeron de una u otra manera al desarrollo de esta investigación. Entre ellos: Pablo Bolaños, Roberto Vargas, Ana Rojas, Amandine Gasc, Antonio Guzmán, José Castro, Juan Zelada, Sara Mirón, Fernando González y Yuri Sandoval.

A mis amigas en Costa Rica, Linda y Bárbara, por contar con su apoyo y amistad durante estos años y por las lecciones de vida aprendidas. A mis amigos en Guatemala, Marisa y David, por animarme y apoyarme a la distancia. A Anthony Esquivel por toda su paciencia, sus consejos y por darme su compañía y apoyo en las alegrías y en los momentos difíciles.

Finalmente quiero agradecer a toda mi familia por apoyarme en esta etapa de mi vida y porque siempre los tuve conmigo a pesar de la distancia. Especialmente a mis padres, Héctor y Varinia, por ser mi ejemplo de vida y a mis hermanos, José y Héctor, por siempre poder contar con ellos.

## DEDICATORIA

A mis padres, Héctor y Varinia, mi ejemplo e inspiración.

“La conservación es un estado de armonía entre el ser humano y la tierra”.

- Aldo Leopold -

## CONTENIDO

|   | Página    |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN</b>  | <b>IV</b> |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>                                    | <b>IV</b> |
| <b>DEDICATORIA</b>  | <b>V</b>  |
| <b>LISTA DE CUADROS</b>                                   | <b>IX</b> |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b>                                   | <b>X</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                       | <b>12</b> |
| <b>ÁREA DE ESTUDIO</b>                                    | <b>17</b> |
| El Palmar, Quetzaltenango                                 | 17        |
| Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa                            | 18        |
| <b>METODOLOGÍA</b>  | <b>20</b> |
| Clasificación de fincas de café de sombra                 | 20        |
| Grabación del paisaje sonoro                              | 21        |
| Sitios de grabación del paisaje sonoro                    | 21        |
| Equipo de grabación                                       | 25        |
| Análisis de grabaciones                                   | 26        |
| Análisis del paisaje sonoro a través de índices acústicos | 26        |
| Índices acústicos   | 27        |
| Estructura de la vegetación                               | 29        |
| Análisis estadístico                                      | 29        |

|   |           |
|---|-----------|
| Comparación de los índices acústicos entre sitios de grabación  | 29        |
| Comparación del paisaje sonoro para tres categorías de manejo en plantaciones de café de sombra   | 30        |
| Relación entre el paisaje sonoro y la estructura de la vegetación   | 30        |
| <b>RESULTADOS</b>   | <b>32</b> |
| <b>Comparación de los índices acústicos entre sitios de grabación</b>   | <b>32</b> |
| <b>Comparación del paisaje sonoro para tres categorías de manejo en plantaciones de café de sombra</b>  | <b>34</b> |
| Comparación del paisaje sonoro entre el policultivo comercial y el monocultivo en la región de El Palmar, Quetzaltenango.                     | 36        |
| Comparación del paisaje sonoro entre el policultivo comercial y el sistema tradicional en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa.        | 38        |
| <b>Relación entre el paisaje sonoro y la estructura de la vegetación</b>  | <b>40</b> |
| <b>DISCUSIÓN</b>  | <b>47</b> |
| <b>Análisis del paisaje sonoro en plantaciones de café de sombra con tres categorías de manejo en Guatemala</b>                               | <b>47</b> |
| Relación entre los índices acústicos  | 50        |
| <b>Comparación del paisaje sonoro entre el policultivo comercial y el monocultivo en la región de El Palmar, Quetzaltenango.</b>              | <b>51</b> |
| <b>Comparación del paisaje sonoro entre el policultivo comercial y el sistema tradicional en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa.</b> | <b>52</b> |
| <b>Relación entre el paisaje sonoro y la estructura de la vegetación</b>  | <b>52</b> |
| <b>Implicaciones para el manejo y la conservación en plantaciones de café de sombra</b>   | <b>54</b> |
| <b>CONCLUSIONES</b>   | <b>56</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b>  | <b>57</b> |
| <b>LITERATURA CITADA</b>  | <b>58</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ANEXOS</b>  | <b>67</b> |
| Anexo 1. Prueba de correlación de Spearman para los cinco índices acústicos.   | 67        |
| Anexo 2: Prueba de correlación de Spearman para las tres variables de vegetación, porcentaje de cobertura de dosel, número de árboles y área basal (m <sup>2</sup> ).                                    | 68        |
| Anexo 3: Especies de aves observadas em las cuatro fincas de café de sombra en Guatemala (ND = Finca Nueva Delfina, BH = Finca Bohemia, TM = Finca Tempisque zona alta, TMI = Finca Tempisque zona baja) | 69        |

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características y prácticas de manejo utilizadas en las cuatro plantaciones de café de sombra en Guatemala. 19

Cuadro 2. Resultados del modelo lineal generalizado (GLM, familia Gamma, función logarítmica) para las dos variables de vegetación que influyen en los cinco índices acústicos. Se incluye el AICc y el peso de Akaike ( $w_i$ ) de los mejores modelos. 42

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Categorías de manejo de sombra, donde se muestra la complejidad estructural de la vegetación y la altura del dosel en metros (Adaptado de Moguel y Toledo, 1998). 20
- Figura 2. Posición de la grabadora a dos metros de altura en un árbol de *Inga* sp. (A), colocada horizontalmente dentro de un vaso plástico con el micrófono en el extremo abierto del mismo (B). 22
- Figura 3. Ubicación de los sitios de grabación de paisaje sonoro en finca Nueva Delfina (ND) y finca Bohemia (BH) en la región de El Palmar, Quetzaltenango. 23
- Figura 4. Ubicación de los sitios de grabación de paisaje sonoro en finca El Tempisque, plantaciones TM y TMI, en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa. 24
- Figura 5. Grabadora de bajo costo (LCR) Yulass® Handheld Digital Voice Recorder utilizada para el estudio de paisaje sonoro en plantaciones de café de sombra en Guatemala. 26
- Figura 6. Diagramas de caja de los valores promedio para cada índice acústico (eje y) por sitio (eje x) y sistema de manejo de sombra (blanco = monocultivo, gris = policultivo comercial, negro = tradicional). El punto negro representa la media y la línea horizontal, la mediana. 33
- Figura 7. Valores promedio con su desviación estándar de los cinco índices acústicos para cada categoría de manejo en plantaciones de café de sombra en Guatemala. 35
- Figura 8. Diagramas de caja de los valores promedio para cada índice acústico (eje y) por sistema de manejo de sombra (eje x) (blanco = monocultivo, gris = policultivo comercial) en la región de El Palmar, Quetzaltenango. El punto negro representa la media y la línea horizontal representa la mediana. 37

Figura 9. Diagramas de caja de los valores promedio para cada índice acústico (eje y) por sistema de manejo de sombra (eje x) (blanco = policultivo comercial, gris = sistema tradicional) en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa. El punto negro representa la media y la línea horizontal representa la mediana. 39

Figura 10. Diagramas de caja de las variables de estructura de la vegetación (eje y) (porcentaje de cobertura de dosel, área basal (m<sup>2</sup>) y número de árboles) para cada categoría de manejo de sombra (eje x) (blanco = monocultivo, gris = policultivo comercial, negro = tradicional). El punto negro representa la media y la línea horizontal representa la mediana. 41

Figura 11. Relación de los índices acústicos BI, H, ACI, NDSI y ADI con el porcentaje de cobertura de dosel por categoría de manejo (círculo = monocultivo, triángulo = policultivo comercial) en la región de El Palmar, Quetzaltenango. 43

Figura 12. Relación de los índices acústicos NDSI y BI con el número de árboles por categoría de manejo (círculo = monocultivo, triángulo = policultivo comercial) en la región de El Palmar, Quetzaltenango. 44

Figura 13. Relación de los índices acústicos BI, H, ACI, NDSI y ADI con el porcentaje de cobertura de dosel por categoría de manejo (círculo = policultivo comercial, triángulo = tradicional) en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa. 45

Figura 14. Relación de los índices acústicos NDSI y BI con el número de árboles por categoría de manejo (círculo = policultivo comercial, triángulo = tradicional) en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa. 46

## INTRODUCCIÓN

La tala de bosques, las actividades agrícolas y la creciente urbanización han cambiado los paisajes de todo el mundo (Foley, *et al.* 2005). En la actualidad y, en mayor medida, en el futuro, los ecosistemas terrestres en la mayoría de los biomas serán predominantemente antropogénicos, como consecuencia del uso del suelo y las interacciones directas del ser humano con los ecosistemas (Ellis, *et al.* 2010). Esta transformación de paisajes naturales a paisajes predominantemente antropogénicos le ha permitido al ser humano adquirir recursos naturales para cubrir sus necesidades inmediatas (Foley, *et al.* 2005). Sin embargo, los bosques en todo el mundo siguen disminuyendo mientras la población humana y la demanda de recursos aumentan (FAO 2015). Este constante cambio en el uso de suelo ha sido la principal causa de pérdida de biodiversidad terrestre en el último siglo y se ha convertido en un problema ambiental de importancia a nivel mundial (Leadley, *et al.* 2010).

Las regiones tropicales son consideradas las más afectadas por la pérdida de áreas boscosas (FAO 2015), el cambio en el uso de suelo y la desaparición de hábitats y especies (Laurance 2007, Leadley, *et al.* 2010). A esta problemática se le suman los altos niveles de pobreza y el aumento poblacional, los cuales generan mayor presión sobre el uso del suelo y la biodiversidad (Cincotta, *et al.* 2000, Fisher y Christopher 2007). A pesar de esto, 16 de las 25 áreas consideradas las más importantes del planeta por su alta biodiversidad y endemismo de especies se encuentran en los trópicos; donde las amenazas son mayores y los recursos para conservación son escasos (Myers, *et al.* 2000).

Los paisajes tropicales se caracterizan por presentar un mosaico de grandes plantaciones agrícolas intercaladas con pequeñas y medianas fincas agrícolas y fragmentos de bosque (Perfecto y Vandermeer 2008). Debido a que la mayoría de los hábitats tropicales están fragmentados, la calidad de la matriz agrícola se ha considerado un componente importante del nuevo paradigma de la conservación (Perfecto y Vandermeer 2008, Gascon, *et al.* 2000). La habilidad de la matriz agrícola para degradar el bosque primario está determinada por la intensidad e historia del uso de suelo, la incidencia de fuego, la introducción de especies exóticas y la estructura de la vegetación de dicha matriz. Por lo tanto, el manejo de la matriz agrícola tiene importantes implicaciones para la conservación (Gascon, *et al.* 2000).

Estudios realizados en Mesoamérica han evidenciado que ciertos paisajes agrícolas y prácticas tradicionales contribuyen a la conservación de grupos como árboles y epífitas (Haggar, *et al.* 2015, Scheffknecht, *et al.* 2010), mamíferos (Caudill, *et al.* 2015, Williams-Guillén, *et al.* 2010), aves (Leyequién, *et al.* 2010), anfibios (Murrieta-Galindo *et al.* 2013) e invertebrados (Méndez-Castro y Rao 2014). Los sistemas agroforestales (gestión deliberada de árboles en granjas y paisajes agrícolas), constituyen uno de los enfoques más prometedores para reducir la deforestación y mejorar los medios de subsistencia en zonas rurales y agrícolas (Ashley, *et al.* 2006). Además, tienen potencial para reducir la presión sobre las áreas protegidas, proveer hábitat fuera de las áreas de conservación y aumentar la conectividad de los componentes del paisaje (Ashley, *et al.* 2006, Bhagwat 2008).

En Centroamérica, el cultivo de café tiende a localizarse a una elevación media entre 500-2000 msnm, lo cual corresponde a hábitats como bosque de pino-encino y bosque tropical pre-montano; muchos de estos hábitats están altamente fragmentados y degradados. Es en estos sitios altamente deforestados donde las plantaciones de café de sombra cumplen una función importante como refugio para la biodiversidad (Perfecto, *et al.* 1996).

En los países tropicales, el café es cultivado con variaciones en el número y diversidad de árboles de sombra. Este gradiente de diversidad y complejidad va desde el café de sombra tradicional (similar a un bosque), hasta el café de sol (intensificado y sin sombra) (Perfecto, *et al.* 2014). Además de la reducción o completa eliminación de los árboles de sombra, la intensificación en el cultivo del café también va acompañada por un aumento en la aplicación de agroquímicos (Perfecto, *et al.* 1996). De acuerdo con el nivel de manejo y la complejidad y estructura de la vegetación, los sistemas de producción de café se pueden dividir en cinco categorías: dos sistemas tradicionales donde el café se cultiva bajo la sombra de vegetación original, un sistema intermedio, denominado policultivo comercial, en el cual se utilizan predominantemente árboles no nativos como sombra y dos sistemas modernizados de monocultivos, con y sin sombra (Moguel y Toledo 1998).

Entre los componentes de la biodiversidad, la comunidad de aves ha sido ampliamente estudiada en cuanto a su relación con las plantaciones de café de sombra, ya que estos agroecosistemas se han convertido en un hábitat alternativo para muchas especies de aves, tanto migratorias como residentes (Brash 1987). Se ha evidenciado que las plantaciones de café de sombra tienen una mayor contribución a la riqueza y abundancia de aves en comparación a las plantaciones de café de sol (Greenberg, *et al.* 1997, Philpott, *et al.* 2008). Sin embargo, el manejo en las plantaciones de café de sombra también cumple una función importante para la conservación, ya que no todas albergan alta biodiversidad (Perfecto y Vandermeer 2008) ni son igualmente beneficiosas como hábitat para las aves (Calvo y Blake 1998).

En Guatemala, se ha observado que, entre las plantaciones de café con sombra, el sistema de policultivo (polisombra) presenta una mayor abundancia y diversidad de aves que el sistema modernizado de monocultivo con sombra (monosombra) (Calvo y Blake 1998). En el caso de México, diversas investigaciones en fincas de café del centro de Veracruz y Soconusco-Chiapas evidencian que las plantaciones de café de sombra tradicional presentan un mayor número de especies de aves (136 y 82-134 especies), seguidas por el policultivo comercial (104 y 107 especies) y por último el monocultivo con sombra (50 especies) (Moguel y Toledo 1998).

En general, se ha observado que las plantaciones de café de sombra tradicional, cultivado bajo dosel de bosque nativo, protegen más especies de aves que otros sistemas cafetaleros (Philpott *et al.* 2008). Esto se relaciona con la vegetación, ya que el café de sombra tradicional se caracteriza por tener vegetación diversa y mayor complejidad estructural y florística en el dosel, lo cual permite que este tipo de plantaciones tengan alta biodiversidad (Perfecto *et al.* 2014). Además, los cafetales que mantienen una cobertura arbórea alta y diversa tanto taxonómica como estructuralmente, serán más importantes para la diversidad de aves (Greenberg, *et al.* 1996, Bakermans, *et al.* 2012, McDermott, *et al.* 2015). La distancia entre la plantación y los remanentes de bosques natural es otro factor que influye en la riqueza y abundancia de aves (Perfecto, *et al.* 2003, Anand, *et al.* 2008); por lo que la conservación de bosques a nivel de paisaje es esencial para mantener una alta biodiversidad en las plantaciones de café.

El reemplazo acelerado de paisajes boscosos por paisajes dominados por el ser humano y las consecuentes amenazas para la biodiversidad evidencian la importancia de evaluar todas las posibilidades para la conservación. Una de ellas involucra desarrollar estrategias para integrar, sobre bases científicas, la producción agrícola y la conservación. Por lo tanto, evaluar e identificar patrones críticos para la conservación en ecosistemas, tanto naturales como aquellos con algún tipo de manejo productivo, permite comprender cómo las características de los usos de suelo influyen en la riqueza de especies (Saenz, *et al.* 2006). Para comprender el impacto de las actividades humanas sobre la biodiversidad y los ecosistemas, es necesario evaluar constantemente el cambio en los patrones y procesos ecológicos. Es por esto por lo que la evaluación de la biodiversidad mediante métodos y técnicas eficaces es uno de los principales desafíos para la conservación. A su vez, el conocimiento generado a partir de estos métodos es la base para la implementación de medidas de manejo (Caycedo-Rosales, *et al.* 2013, Marsh y Trenham 2008).

Ante este desafío, el uso del sonido para el análisis de información ecológica se ha propuesto como una herramienta alternativa que puede aplicarse al estudio y monitoreo de la dinámica de la comunidad animal (Pijanowski, *et al.* 2011, Suer y Farina 2015). El desarrollo de índices acústicos, estadísticos que resumen algunos aspectos de la estructura y distribución de la energía acústica y la información en las grabaciones (Towsey, *et al.* 2014), ha permitido evaluar y caracterizar la comunidad y el paisaje acústico (Sueur, *et al.* 2014). Este conjunto de índices se ha derivado del concepto de ecología del paisaje sonoro (en inglés *Soundscape ecology*); una nueva disciplina teórica y aplicada que estudia el sonido a lo largo de una amplia gama de escalas espaciales y temporales con el fin de estudiar procesos ecológicos y estados de la biodiversidad (Sueur *et al.* 2014, Suer y Farina 2015). Bajo este concepto, el paisaje sonoro se define como el conjunto de sonidos biológicos (biofonías), geofísicos (geofonías) y antropogénicos (antropofonías), que provienen del paisaje y que varían en el tiempo y el espacio y reflejan importantes procesos ecológicos y actividades humanas (Pijanowski *et al.* 2011). En Guatemala, solamente se ha realizado un estudio sobre el paisaje sonoro (Bolaños y Villatoro 2016), por lo que se requiere más investigación para evaluar y describir los diversos hábitats de la región, tanto naturales como aquellos dominados por el ser humano.

Los patrones naturales del paisaje se ven reflejados en los patrones acústicos espaciales y varían con ciertos gradientes ecológicos y de perturbación humana, entre ellos el uso de suelo y la estructura del hábitat (Pijanowski, *et al.* 2011b). En ecología del paisaje sonoro, la diversidad de sonidos disminuye de hábitats naturales hasta paisajes dominados por la actividad humana (Pijanowski, *et al.* 2011a,b, Pijanowski 2016). A su vez, algunos atributos de la comunidad de aves se ven reflejados a través de los índices acústicos. Por ejemplo, el índice de complejidad acústica (ACI) y el índice bioacústico (BI) han mostrado una fuerte correlación positiva con la actividad acústica de la comunidad de aves (Boelman *et al.* 2007, Pieretti, *et al.* 2011, Fuller, *et al.* 2015, Retamosa, *et al.* 2018). Por otro lado, el índice de diversidad acústica (ADI) ha mostrado correlación con la diversidad de aves (Machado, *et al.* 2017). Asimismo, se ha observado que el índice de entropía acústica (H) y el índice de diferencia normalizada del paisaje sonoro (NDSI) están asociados con la riqueza de especies de aves (Fuller, *et al.* 2015).

Guatemala, como país altamente agrícola, necesita priorizar la investigación de aquellos ecosistemas que integran la producción y la conservación a través del manejo. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo analizar el paisaje sonoro de plantaciones de café de sombra con tres categorías de manejo; así como comparar dichas categorías a través de índices acústicos y evaluar la relación entre el paisaje sonoro y la estructura de la vegetación. Esta es la primera investigación conocida hasta la fecha sobre paisaje sonoro en plantaciones de café de sombra, por lo que provee otra perspectiva sobre la conservación en estos sistemas productivos con el fin de proponer estrategias de manejo y conservación.

## ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en tres fincas de café de sombra, dos de ellas localizadas en la región suroccidente de la República de Guatemala en el municipio de El Palmar, departamento de Quetzaltenango (14° 39' 0" N, 91° 34' 59.88" W) y una en la región suroriente del país en el municipio de Pueblo Nuevo Viñas, departamento de Santa Rosa (14° 14' 0" N, 90° 28' 0" W) (figura 4 y 5).

Ambos sitios de estudio se encuentran dentro del bioma de Selva subtropical húmeda según la clasificación de Villar Anleu (1983), el cual se encuentra localizado principalmente en el declive de la cordillera volcánica del Pacífico. Este bioma se caracteriza por presentar vegetación latifoliada y ser una zona de alta precipitación (CONAP 2008).

### El Palmar, Quetzaltenango

Las dos plantaciones ubicadas en El Palmar, Quetzaltenango, son fincas adyacentes que se encuentran a una altitud entre los 950 y 1000 msnm. La precipitación promedio anual en esta región es de 4500 mm y la época lluviosa ocurre desde mayo hasta finales de octubre. La temperatura promedio oscila entre los 24 y 33°C durante el año (L. Calvo, com. pers.). La zona de vida presente en esta región es Bosque muy Húmedo Subtropical Cálido (bmh-S) según el sistema de Holdridge (Maga 2001).

Originalmente estas fincas eran una misma, por lo que las diferencias en su manejo surgieron cuando se dividió la propiedad. Finca Bohemia (BH) presenta un sistema de policultivo compuesto por parcelas con sombra variada entre las cuales se puede encontrar *Inga* spp. y árboles maderables nativos. La *Inga* se sembró como sombra de café y se maneja anualmente. Sin embargo, el crecimiento de árboles maderables en algunas áreas de la finca permitió la sustitución y eliminación de la *Inga*. Además del café, también se cultiva macadamia y algunos cítricos y la finca cuenta con un remanente de bosque natural.

Por otro lado, Finca Nueva Delfina (ND) presenta un sistema de monocultivo tecnificado, en el cual la sombra es predominantemente *Inga* y utilizan árboles de torrelliana, *Corymbia torelliana*, (originario de Australia) como cercos vivos y barreras rompe viento.

### **Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa**

La finca ubicada en Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa, se encuentra en las faldas del volcán Tecuanburro a una altitud entre los 1000 y 1500 msnm. La precipitación promedio anual en esta región es de 2000 a 2800 mm y la temperatura promedio oscila entre los 20 y 28°C (Consejo Municipal de Desarrollo 2010). Según el mapa de zonas de vida de Holdridge (Maga 2001), el municipio presenta Bosque muy húmedo Subtropical cálido (bmh-S) y Bosque húmedo Subtropical templado (bh-S), los cuales se diferencian por la topografía del terreno.

Finca El Tempisque puede dividirse en dos plantaciones según el tipo de sombra. La primera plantación corresponde a la parte más alta de la finca (TM), en la cual se cultiva el café bajo árboles del bosque original, así como especies maderables y algunos árboles de *Inga*. Esta zona de la finca colinda al sur con un remanente de bosque natural.

La segunda plantación se encuentra en la parte baja de la finca (TMI), originalmente en esta área se cultivaba maíz y posteriormente se sembró *Inga* como sombra para cultivar café. Actualmente esta zona está compuesta en gran medida por *Inga*, así como algunas especies de árboles maderables.

La ubicación y las características generales de las cuatro plantaciones de café de sombra anteriormente mencionadas se detallan a continuación (cuadro 1).

Cuadro 1. Características y prácticas de manejo utilizadas en las cuatro plantaciones de café de sombra en Guatemala.

| Nombre de la finca                 | EL PALMAR<br>QUETZALTENANGO   |   | PUEBLO NUEVO VIÑAS<br>SANTA ROSA   |   |
|------------------------------------|---|---|--|---|
|                                    | BH  | ND  | TM   | TMI   |
| Categoría de manejo                | Policultivo comercial   | Monocultivo                               | Tradicional  | Policultivo comercial   |
| Área de la plantación de café      | 35.36 ha  | 1061.10 ha                                | 21.17 ha   | 31.75 ha  |
| Área de bosque                     | 24.68 ha  | 39.99 ha                                  | 7.05 ha  | 2.12 ha   |
| Variedades de café                 | Catuái y Caturra injertados con Nemaya  | Catuái y Sarchimor                        | Bourbón y Caturra  | Caturra y Catuái  |
| Árboles de sombra                  | <i>Inga</i> y árboles maderables (Ej. Guayabo, palo blanco, guachipilín, plumillo). | <i>Inga</i> y torreliana como cerco vivo. | Árboles nativos del área y maderables (Ej. Cedro, caoba, pino, mezcal) e <i>Inga</i> . | <i>Inga</i> y maderables (Ej. Pino, ciprés, cedro, eucalipto) |
| Periodo de desombre o desramado    | Dos veces al año (febrero/marzo y julio/agosto)                                     | Dos veces al año (mayo y noviembre)       | Una vez cada dos años al salir de la cosecha (marzo)                                   |   |
| Tipo y cantidad de fertilizante    | Abono foliar, Cuatro veces al año   | 18N 0C 18P y urea Dos veces al año        | 20N 5P 20K y elementos menores, Dos veces al año                                       |   |
| Tipo y cantidad de herbicida       | Paraquat (quemante), Cuatro veces al año  | Forza Dos veces al año                    | Glifosato Una vez al año   |   |
| Tipo y cantidad de insecticida     | Endosulfán Solo si hay presencia de plaga   | Endosulfán Dos veces al año               | Endosulfán Una vez al año  |   |
| Tipo y cantidad de fungicida       | Triazol Tres veces al año, uso focalizado   | Opus Dos veces al año                     | Opus Tres veces al año   |   |
| Limpia manual (chapia con machete) | Ocho veces al año   | Dos veces al año (enero y noviembre)      | Dos veces al año   |   |

## METODOLOGÍA

### Clasificación de fincas de café de sombra

Las plantaciones de café de sombra se clasificaron en tres categorías de acuerdo con el nivel de manejo y a la complejidad y estructura de la vegetación con base en Moguel y Toledo (1998). La primera categoría incluye los sistemas tradicionales, en los cuales el café crece bajo el bosque original y solo se remueven los estratos bajos del mismo. Algunos sistemas tradicionales pueden incluir tanto especies de árboles nativos como especies introducidas. La segunda categoría corresponde al policultivo comercial, en el cual se remueve completamente el bosque original y se introducen árboles de sombra apropiados para el cultivo del café, así como aquellos que son útiles comercialmente. Finalmente, en la categoría de monocultivo con sombra se utilizan casi exclusivamente especies leguminosas (como la *Inga*) para proveer sombra, es decir, sombra especializada (Moguel y Toledo 1998) (figura 1).

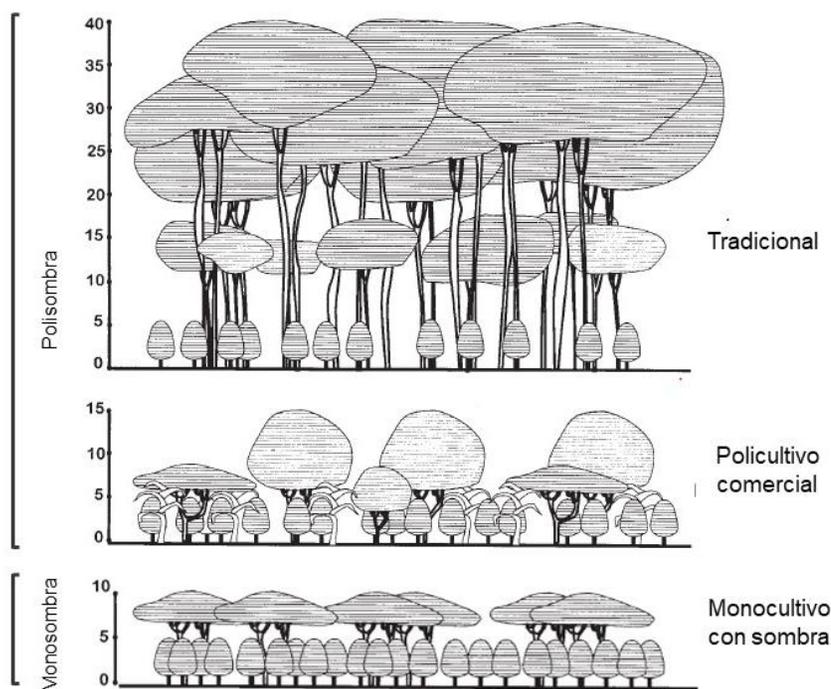


Figura 1. Categorías de manejo de sombra, donde se muestra la complejidad estructural de la vegetación y la altura del dosel en metros (Adaptado de Moguel y Toledo, 1998).

## Grabación del paisaje sonoro

### Sitios de grabación del paisaje sonoro

Las grabaciones se realizaron entre julio y septiembre del 2017; BH en julio, TM y TMI en agosto y ND en septiembre respectivamente. Estos meses corresponde a la temporada lluviosa, sin embargo, durante este tiempo también se presentó el periodo de canículas. Dado que todas las grabaciones se realizaron dentro del mismo periodo y presentaron condiciones climáticas similares, fueron consideradas homogéneas y comparables entre sí.

En cada plantación se establecieron tres sitios de grabación (figuras 4 y 5), cada uno compuesto por un grupo de cinco grabadoras (en total 15 grabadoras por plantación) espaciadas sistemáticamente en grillado a una distancia de aproximadamente 50 m según la metodología descrita por Bobryk, *et al.* (2015). Los sitios de grabación estaban separados entre sí por al menos 200 m de distancia para evitar el traslape de grabación de sonido entre sitios, otras investigaciones han utilizado distancias de 100 m (Pieretti, *et al.* 2011, Pieretti y Farina 2013).

Para cada equipo de grabación, se colocó un vaso plástico transparente a dos metros de altura para permanecer en el mismo lugar durante los días de grabación y proteger la grabadora en caso de lluvia. Los vasos se colocaron horizontalmente con su extremo abierto en dirección al interior de la plantación y el extremo cerrado en dirección a caminos u otros usos de suelo, idealmente se colocaron los cinco vasos con el extremo abierto hacia la misma dirección. La grabadora se colocó horizontalmente dentro del vaso con el micrófono en el extremo abierto del mismo (figura 3).



Figura 2. Posición de la grabadora a dos metros de altura en un árbol de *Inga* sp. (A), colocada horizontalmente dentro de un vaso plástico con el micrófono en el extremo abierto del mismo (B).

Las grabadoras se activaron previo al amanecer y permanecieron activas entre las 0600 y las 0900 h en condiciones meteorológicas óptimas. Se eligió este horario por ser una hora de alta actividad vocal de la comunidad de aves (Pieretti, *et al.* 2011, Bolaños y Villatoro 2016, Bochado, *et al.* 2017). Las grabadoras se recogieron el mismo día para recargarlas y descargar las grabaciones y se colocaron al día siguiente en el mismo lugar y durante el mismo horario. Se realizaron tres días consecutivos de grabación en cada plantación, con excepción de TMI donde solamente se pudo grabar durante dos días por cuestiones de accesibilidad, para obtener un total de 45 grabaciones por plantación.

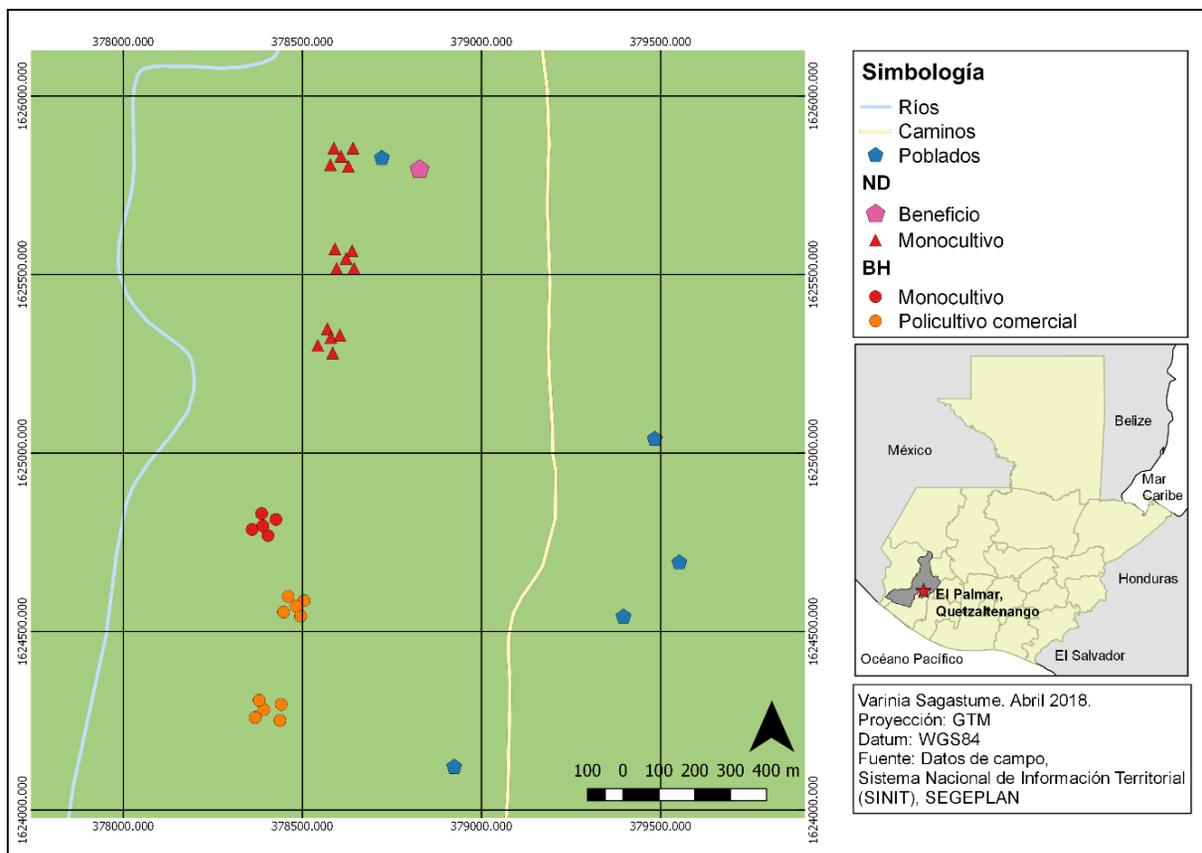


Figura 3. Ubicación de los sitios de grabación de paisaje sonoro en finca Nueva Delfina (ND) y finca Bohemia (BH) en la región de El Palmar, Quetzaltenango.

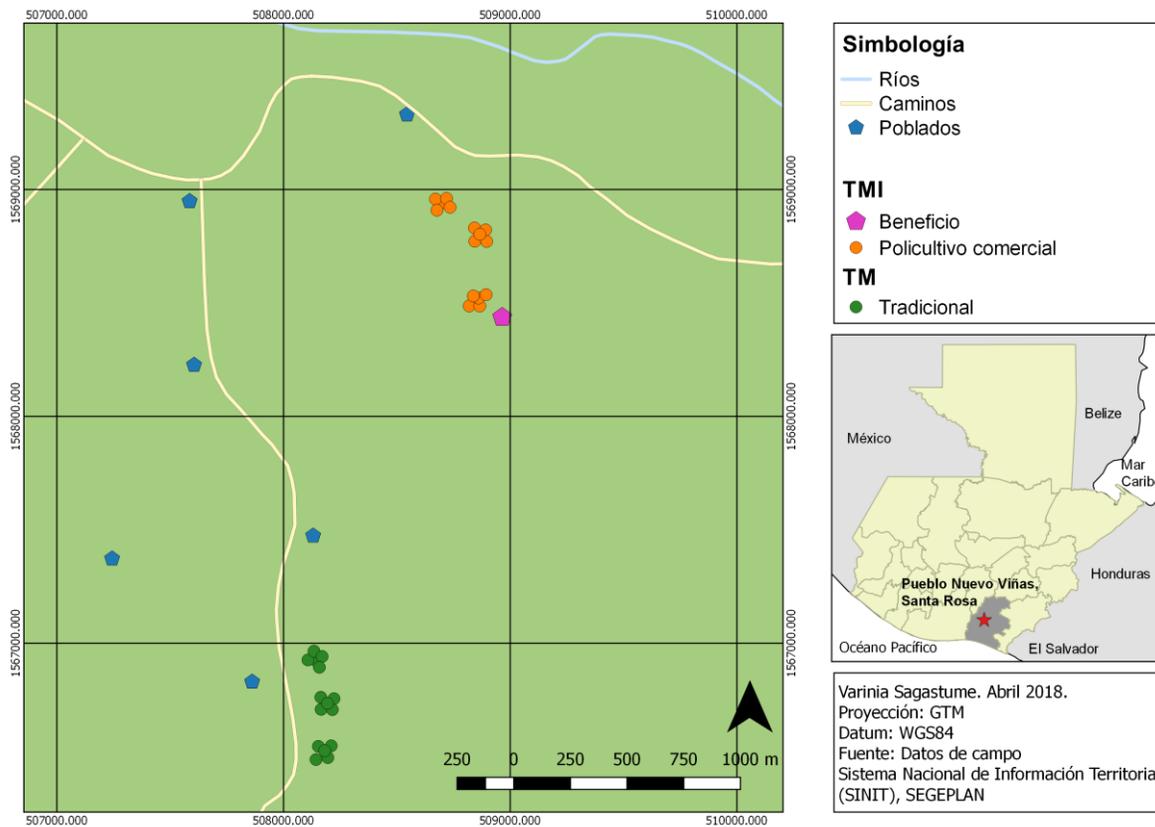


Figura 4. Ubicación de los sitios de grabación de paisaje sonoro en finca El Tempisque, plantaciones TM y TMI, en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa.

## Equipo de grabación

Se utilizaron grabadoras digitales de bajo costo (en inglés low-cost recorders o LCR; aproximadamente US\$ 32 por unidad), comercializadas como Yulass® 8 GB Handheld Digital Voice Recorder (figura 2). Las grabadoras de bajo costo (LCRs) son pequeños dispositivos que pueden ser fácilmente conectados a una computadora por el puerto USB y tienen una batería interna recargable (Farina, *et al.* 2014). Las grabadoras utilizadas en esta investigación operan con una batería de litio recargable de 1.430 mAh con capacidad de grabar hasta 72 horas. Tienen una capacidad de almacenamiento interno de 8 GB y además un puerto para MicroSD/SDHC (hasta 64 GB). Las grabadoras tienen micrófonos internos omnidireccionales que registran intervalos de frecuencia entre 20 Hz y 20 kHz con una resolución de 16 bit; se programaron para grabar en formato WAV a 1536 kbps con una tasa de muestreo de 48 KHz.

La principal desventaja de las LCRs es la baja calidad del micrófono y su reducida sensibilidad (Farina, *et al.* 2014). Sin embargo, las grabadoras que se utilizaron graban un mayor rango de frecuencia (20 Hz a 20 kHz) que las LCRs utilizadas en la investigación de Farina, *et al.* (2014) con un rango de frecuencia de hasta 8 kHz. El estudio de Farina, *et al.* (2014) evaluó y confirmó la confiabilidad del LCR (UR-09) con otras grabadoras (Zoom H4 y Song Meter SM1) con base en la calidad de las grabaciones cuantificadas por el Índice de Complejidad Acústica (ACI). A partir de su investigación, se sugiere que el uso de un mayor número de dispositivos de bajo costo puede llegar a sustituir a las grabadoras más costosas. En el estudio de Bobryk, *et al.* (2015) las LCRs también fueron utilizadas para analizar el paisaje sonoro y cuantificar el efecto de distintos usos de suelo en la riqueza de especies; en este caso las LCRs demostraron tener la capacidad de reunir información del agropaisaje.

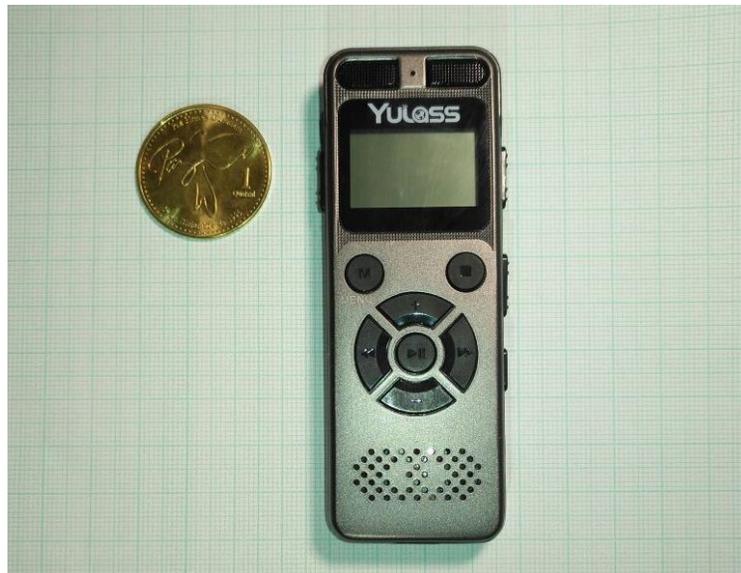


Figura 5. Grabadora de bajo costo (LCR) Yulass® Handheld Digital Voice Recorder utilizada para el estudio de paisaje sonoro en plantaciones de café de sombra en Guatemala.

## Análisis de grabaciones

### Análisis del paisaje sonoro a través de índices acústicos

Las estimaciones de los índices acústicos se establecieron entre las 0600 y 0800 h, periodo de alta actividad vocal (Bolaños y Villatoro 2016). Se calcularon cinco índices acústicos para el primer minuto de cada 10 minutos por cada grabación durante tres días consecutivos (2.685 minutos analizados en total), método utilizado en estudios similares (Ström 2013, Bolaños y Villatoro 2016).

Para estimar los índices acústicos se utilizaron los paquetes “Seewave” versión 2.0.5. (Suer, *et al.* 2008, Villanueva-Rivera, *et al.* 2011) y “Soundecology” versión 1.3.2. (Villanueva-Rivera y Pijanowski 2016) del programa estadístico R 3.4.3. (R core team 2017). Todos los índices se calcularon para un intervalo de frecuencia entre 2.000 y 10.000 Hz con los parámetros estándar y 22.050 Hz.

A partir de los diagramas de caja, se revisaron los minutos de grabación que presentaron valores atípicos para cada sitio y se eliminaron aquellos que presentaron eventos ajenos al paisaje sonoro (Ej. Golpes) o aquellos que estaban saturados o al punto de saturación (muy cercano o igual cero dB) y que afectaron severamente el valor del índice.

## **Índices acústicos**

### Índice de complejidad acústica (ACI)

El índice de complejidad acústica (ACI) fue desarrollado por Farina y Morri (2008) para cuantificar la complejidad del paisaje sonoro a través del procesamiento de intensidad en las grabaciones (Pieretti, *et al.* 2011). La fórmula de este índice se basa en la hipótesis de que muchos sonidos bióticos, como los cantos de las aves, se caracterizan por una variabilidad intrínseca de la intensidad, mientras que algunos tipos de ruido antropogénico presentan valores de intensidad muy constantes (Pieretti, *et al.* 2011). Es decir que, la actividad acústica de la comunidad de aves presenta valores altos del ACI, mientras que los sonidos que se caracterizan por tener niveles constantes de intensidad, como el zumbido de insectos y el ruido generado por vehículos o aviones, producen valores bajos del ACI (Pieretti, *et al.* 2011).

### Índice de diversidad acústica (ADI)

El índice de diversidad acústica (ADI) es una modificación de la entropía espectral y también se basa en el índice de Shannon (Villanueva-Rivera, *et al.* 2011). El ADI mide la cantidad de energía en cada una de las bandas de 1.000 Hz en conjunto, lo cual indica el grado de nichos acústicos diferentes que ocupan la grabación (Pekin, *et al.* 2012). Es importante resaltar que el ADI toma en cuenta todos los sonidos existentes en el archivo de audio y no está precisamente enfocado en la riqueza de aves (Machado, *et al.* 2017).

### Índice de diferencia normalizada del paisaje sonoro (NDSI)

El índice de diferencia normalizada del paisaje sonoro (NDSI) fue desarrollado para estimar el nivel de perturbación antropogénica en el paisaje sonoro mediante el cálculo de la proporción de componentes acústicos generados por el ser humano (antropofonías) y los componentes acústicos biológicos (biofonías) de las grabaciones. El valor del índice va en un intervalo de -1 a +1, donde -1 indica una señal que no contiene antropofonías. Por lo tanto, los valores altos indican mayor proporción de biofonías (2.000 - 10.000 Hz) y los bajos indican mayor proporción de antropofonías (1.000 - 2.000 Hz) (Kasten, *et al.* 2012, Gage y Axel 2014). Sin embargo, para algunas vocalizaciones biofónicas un NDSI bajo también puede indicar la presencia de ciertos tipos de animales, principalmente aquellos que vocalizan a frecuencias bajas (Kasten, *et al.* 2012).

### Índice de Entropía (H)

El índice de Entropía (H) fue desarrollado por Suer, *et al.* (2008) y se basa en la teoría de Shannon-Wiener. El H es el producto de dos entropías, la espectral (dispersión de la energía acústica a través del espacio) y la temporal (dispersión acústica de la energía dentro de una grabación en el tiempo) (Fuller, *et al.* 2015, Suer, *et al.* 2008). El valor del índice tiende a cero ante un solo tono puro, aumenta con el número de frecuencias y modulaciones de amplitud y tiende a uno ante el ruido aleatorio. Dado que el valor del índice aumenta de cero a uno con la entropía o heterogeneidad de la señal, se espera que hábitats con mayor riqueza presenten valores altos del índice H.

### Índice Bioacústico (BI)

El índice bioacústico fue desarrollado por Boelman, *et al.* (2007) y se trata de una función que incluye la amplitud espectral y el número de bandas de frecuencia en una grabación. Por lo tanto, compara el espectro frecuencia-amplitud para detectar o inferir diferencias en la composición de la comunidad de aves entre sitios. El BI se calcula como el área bajo la curva e incluye todas las bandas de frecuencias asociadas con un valor de dB que fue mayor al valor mínimo de dB para cada curva. Por lo tanto, el valor de área es una función tanto del nivel de sonido como del número de bandas de frecuencia que utiliza la avifauna (Boelman, *et al.* 2007). Se debe mencionar que este índice no toma en cuenta los sonidos dentro del intervalo de antropofonías (0 - 2.000 Hz) (Fuller, *et al.* 2015).

## **Estructura de la vegetación**

Se tomaron tres medidas de la estructura de la vegetación en círculos de 10 m de radio para cada punto de grabación; el centro de cada círculo correspondía al lugar donde se colocó la grabadora. Dentro de cada círculo se registraron todos los árboles con una altura mayor al café (aprox. 3 m). Para cada árbol se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP), se calculó el área basal y se determinó el valor total por punto de grabación.

Para estimar la cobertura de dosel de cada punto de grabación se utilizó un densiómetro (espejo hemisférico que refleja el dosel). Se tomaron cuatro mediciones a dos metros del centro de cada círculo en dirección a los cuatro puntos cardinales. Posteriormente se calculó el porcentaje promedio de cobertura de dosel para cada punto de grabación.

## **Análisis estadístico**

### **Comparación de los índices acústicos entre sitios de grabación**

Los valores de los índices acústicos se promediaron para cada uno de los canales de grabación, izquierdo y derecho. Asimismo, se calculó el promedio de los valores de las cinco grabadoras para tener un solo valor representativo del paisaje sonoro para cada sitio de grabación por evento de muestreo como en el estudio de Bobryk, *et al.* (2015). Se realizó un análisis de la variación de los datos por sitio de grabación a través de diagramas de caja.

### **Comparación del paisaje sonoro para tres categorías de manejo en plantaciones de café de sombra**

Se comprobó la normalidad de los datos mediante el estadístico de Shapiro-Wilk (BI  $W=0.994$ ,  $p = 0.117$ ; H  $W=0.987$ ,  $p = 0.895e-04$ ; ACI  $W=0.944$ ,  $p = 1.149e-11$ ; NDSI  $W=0.879$ ,  $p < 2.2e-16$ ; ADI  $W=0.818$ ,  $p < 2.2e-16$ ) y la homogeneidad de varianza a través de la prueba de Levene (BI  $p < 2.2e-16$ , H  $p = 2.864e-10$ , ACI  $p < 2.2e-16$ , NDSI  $p < 2.2e-16$ , ADI  $p = 3.73e-04$ ). A partir de esto, se evaluó la diferencia de los valores promedio para los cinco índices acústicos por categorías de manejo de sombra; monocultivo (mono.  $n = 156$ ), policultivo comercial (poli.com.  $n = 156$ ) y tradicional (trad.  $n = 117$ ), a través de una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal y Wallis 1952). Se realizó un análisis de la variación de los datos por medio de diagramas de caja y una comparación de medias con su respectiva desviación estándar. Para evaluar la correlación entre los índices acústicos se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (Myers y Sirois 2006).

Debido a que los datos pertenecen a dos regiones con condiciones particulares que pueden influir en los resultados, se realizó este mismo análisis entre plantaciones de la misma región: 1) El Palmar, monocultivo (mono.  $n = 156$ ) y policultivo comercial (poli.com.  $n = 78$ ) y 2) Pueblo Nuevo Viñas, tradicional (trad.  $n = 117$ ) y policultivo comercial (poli.com.  $n = 78$ ). Para cada región se evaluó la diferencia de medias entre categorías de manejo de sombra con una prueba de Wilcoxon.

### **Relación entre el paisaje sonoro y la estructura de la vegetación**

Se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianza a través de la prueba de Levene. Se evaluó la diferencia de los valores promedio para las tres variables de vegetación (porcentaje de cobertura de dosel, área basa y número de árboles) por categorías de manejo de sombra a través de una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal y Wallis 1952). Para determinar si las variables de vegetación estaban correlacionadas entre sí, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (Myers y Sirois 2006).

Los datos utilizados para analizar la relación entre el paisaje sonoro y la estructura de la vegetación corresponden al promedio de los valores de cada índice y de cada variable de vegetación para obtener un solo valor por grabadora. Se utilizaron modelos lineales generalizados (GLM: familia Gamma, función logarítmica) para evaluar la relación entre los índices acústicos y las variables de vegetación. Se utilizó el criterio de información de Akaike (AICc) para la selección del mejor modelo.

Todos los análisis y figuras descritos se realizaron con el programa estadístico R 3.4.3. (R core team 2017).

## RESULTADOS

### Comparación de los índices acústicos entre sitios de grabación

Las medias estimadas para los cinco índices acústicos mostraron variación considerable entre sitios para las categorías de policultivo comercial y tradicional; mientras que el monocultivo mostró mayor consistencia entre sitios (figura 6). En el caso del policultivo comercial, todos los índices acústicos presentaron valores promedio más bajos en los sitios ubicados en Santa Rosa (PTMI1-3) en comparación con los sitios ubicados en Quetzaltenango (PBH2-3). En general, también se pudo observar que, para los índices ACI, BI, H y NDSI, los valores promedio de los sitios ubicados en las plantaciones de café de Santa Rosa (PTMI1-3, TTM1-3) fueron más bajos en comparación con los sitios ubicados en las fincas de Quetzaltenango (MBH1, MND1-3, PBH2-3). Por otro lado, para la categoría tradicional, el promedio de cada sitio varió entre índices acústicos (TTM1-TTM3).

Se observó un comportamiento similar de los valores promedio de los sitios entre los índices ACI y BI y, en menor medida, con el índice H (figura 6), lo cual también se vio reflejado en su correlación (Spearman: ACI-BI  $r = 0.60$ ; H-ACI  $r = 0.53$ ; H-BI  $r = 0.52$ ) (anexo 1). Las medias de los sitios para el ADI presentaron un comportamiento distinto con respecto a los índices BI, ACI y H; el ADI tampoco presentó correlación con dichos índices (Spearman; ADI-BI  $r = 0.067$ ; ADI-ACI  $r = 0.041$ ; ADI-H  $r = -0.001$ ). El NDSI fue el único índice que mostró correlación con todos los demás índices acústicos (Spearman: NDSI-BI  $r = 0.71$ , NDSI-H  $r = 0.17$ , NDSI-ACI  $r = 0.35$ , NDSI-ADI  $r = 0.44$ ).

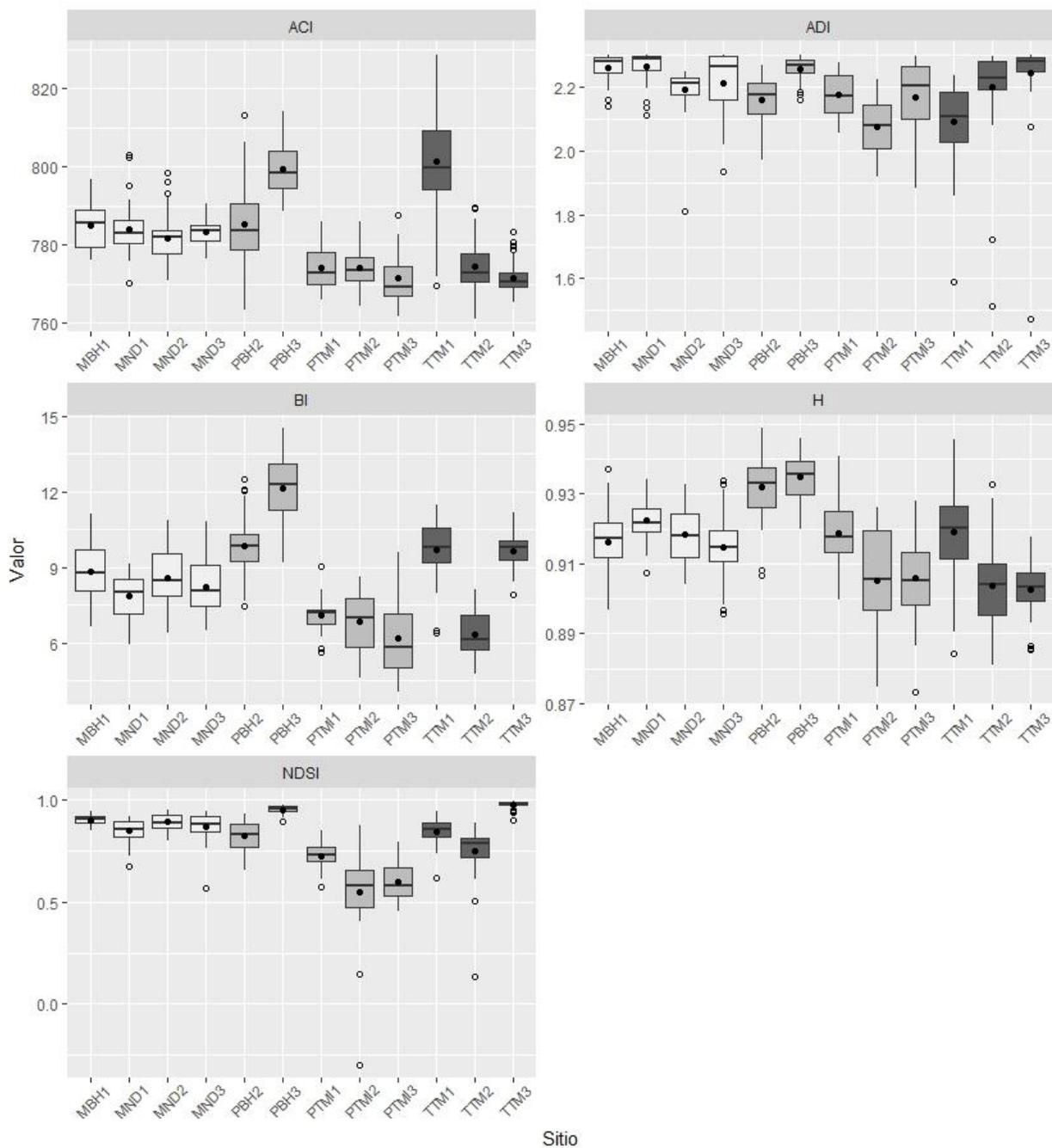


Figura 6. Diagramas de caja de los valores promedio para cada índice acústico (eje y) por sitio (eje x) y sistema de manejo de sombra (blanco = monocultivo, gris = policultivo comercial, negro = tradicional). El punto negro representa la media y la línea horizontal, la mediana.

### Comparación del paisaje sonoro para tres categorías de manejo en plantaciones de café de sombra

Se encontró diferencia significativa entre las medias de los índices acústicos para el H ( $H_{\text{mono.}} = 0.918 \pm 0.009$ ,  $H_{\text{poli.com.}} = 0.922 \pm 0.016$ ,  $H_{\text{trad.}} = 0.908 \pm 0.014$ ), entre las tres categorías de manejo (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 63.463$ ,  $P = 1.7e-14$ ), así como en el ACI ( $ACI_{\text{mono.}} = 783.518 \pm 5.555$ ,  $ACI_{\text{poli.com.}} = 782.875 \pm 13.001$ ,  $ACI_{\text{trad.}} = 782.460 \pm 16.124$ ), (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 12.904$ ,  $P = 0.0016$ ), el ADI ( $ADI_{\text{mono.}} = 2.232 \pm 0.075$ ,  $ADI_{\text{poli.com.}} = 2.172 \pm 0.097$ ,  $ADI_{\text{trad.}} = 2.178 \pm 0.148$ ), (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 40.492$ ,  $P = 1.6e-09$ ) y el NDSI ( $NDSI_{\text{mono.}} = 0.877 \pm 0.053$ ,  $NDSI_{\text{poli.com.}} = 0.754 \pm 0.184$ ,  $NDSI_{\text{trad.}} = 0.856 \pm 0.124$ ), (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 43.903$ ,  $P = 2.9e-10$ ). Solamente las medias del índice BI no presentaron diferencia significativa entre las tres categorías de manejo ( $BI_{\text{mono.}} = 8.375 \pm 1.099$ ,  $BI_{\text{poli.com.}} = 8.845 \pm 2.585$ ,  $BI_{\text{trad.}} = 8.544 \pm 1.856$ ), (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 2.322$ ,  $P = 0.31$ ).

La categoría de monocultivo fue la que presentó valores promedio más altos de complejidad (ACI) y diversidad acústica (ADI) en comparación con el policultivo comercial y el sistema tradicional (figura 7). El monocultivo también presentó una mayor proporción de biofonías (NDSI) con respecto a las otras dos categorías de manejo. El policultivo comercial presentó el valor promedio más alto para el índice de entropía acústica (H) en comparación al monocultivo y al sistema tradicional. Sin embargo, obtuvo los promedios más bajos de diversidad acústica (ADI) y fue la categoría con menor proporción de biofonías (NDSI). En el caso del sistema tradicional, se observó que tuvo los valores promedio más bajos de complejidad (ACI) y entropía acústica (H) en comparación con las otras dos categorías de manejo. El índice bioacústico (BI) fue el único en el que todas las categorías presentaron un valor promedio similar entre sí.

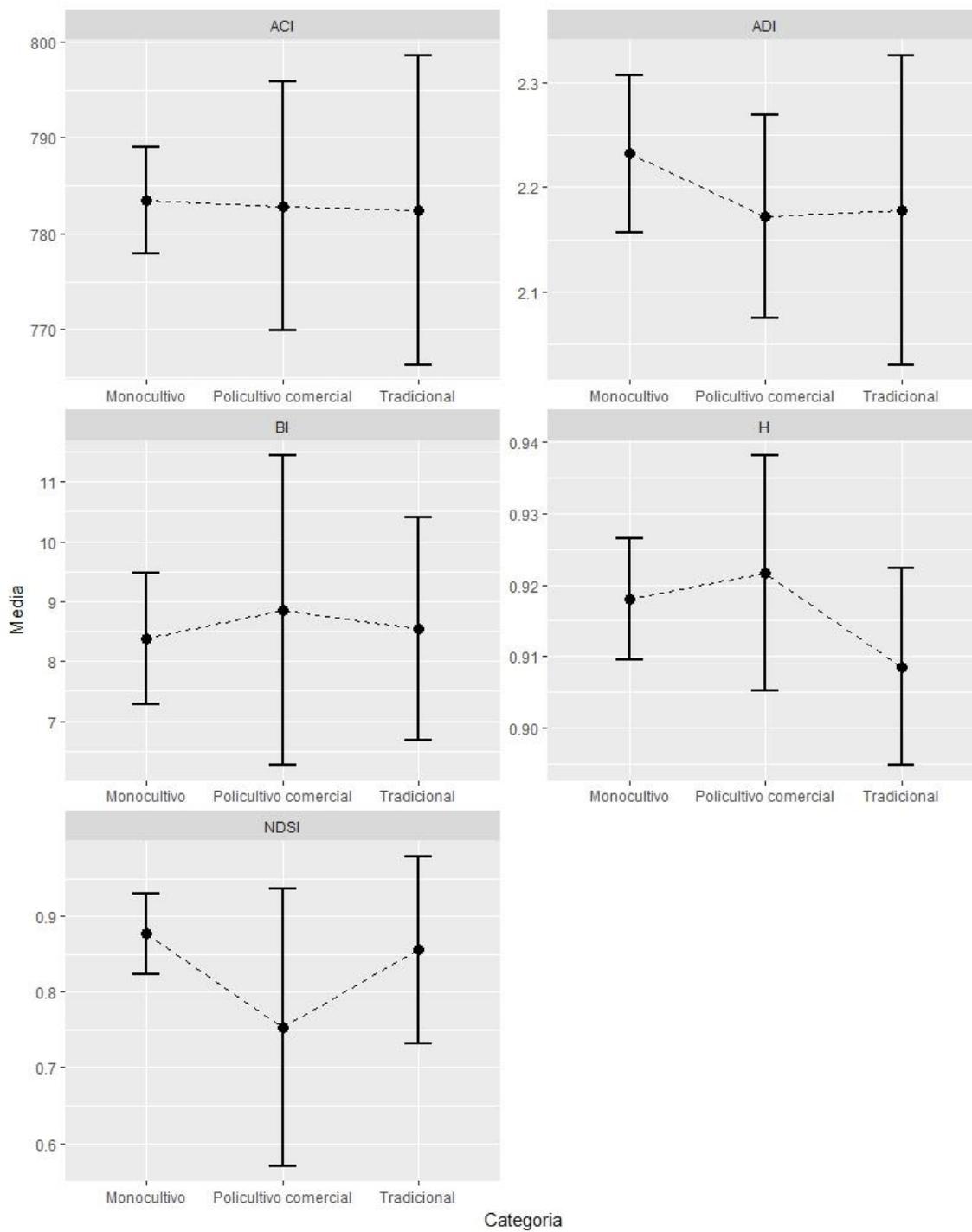


Figura 7. Valores promedio con su desviación estándar de los cinco índices acústicos para cada categoría de manejo en plantaciones de café de sombra en Guatemala.

### **Comparación del paisaje sonoro entre el policultivo comercial y el monocultivo en la región de El Palmar, Quetzaltenango.**

Para la región de El Palmar, Quetzaltenango, se encontró diferencia significativa entre las medias de todos los índices acústicos entre el monocultivo y el policultivo comercial. Específicamente en el H ( $H_{\text{mono.}} = 0.918 \pm 0.009$ ,  $H_{\text{poli.com.}} = 0.933 \pm 0.008$ ), entre las dos categorías de manejo (Wilcoxon  $W = 1141$ ,  $P < 2.2e-16$ ), así como en el ACI ( $ACI_{\text{mono.}} = 783.518 \pm 5.555$ ,  $ACI_{\text{poli.com.}} = 792.280 \pm 11.138$ ), (Wilcoxon  $W = 2948$ ,  $P = 1.3e-10$ ), el ADI ( $ADI_{\text{mono.}} = 2.232 \pm 0.075$ ,  $ADI_{\text{poli.com.}} = 2.206 \pm 0.078$ ), (Wilcoxon  $W = 7632$ ,  $P = 0.0015$ ), en el NDSI ( $NDSI_{\text{mono.}} = 0.877 \pm 0.053$ ,  $NDSI_{\text{poli.com.}} = 0.885 \pm 0.081$ ), (Wilcoxon  $W = 4904$ ,  $P = 0.016$ ) y el BI ( $BI_{\text{mono.}} = 8.375 \pm 1.099$ ,  $BI_{\text{poli.com.}} = 10.982 \pm 1.684$ ), (Wilcoxon  $W = 1171$ ,  $P < 2.2e-16$ ).

Se observó que el sistema de policultivo comercial presentó valores promedio mayores para los índices de complejidad (ACI) y entropía acústica (H); así como para el índice bioacústico (BI) en comparación al monocultivo (figura 8). En el caso del NDSI, se observó que el valor medio fue similar para ambas categorías; el policultivo comercial presentó una mayor proporción de biofonías (NDSI) comparado con el monocultivo. El ADI fue el único índice que presentó mayor diversidad acústica en el monocultivo en comparación con el policultivo comercial.

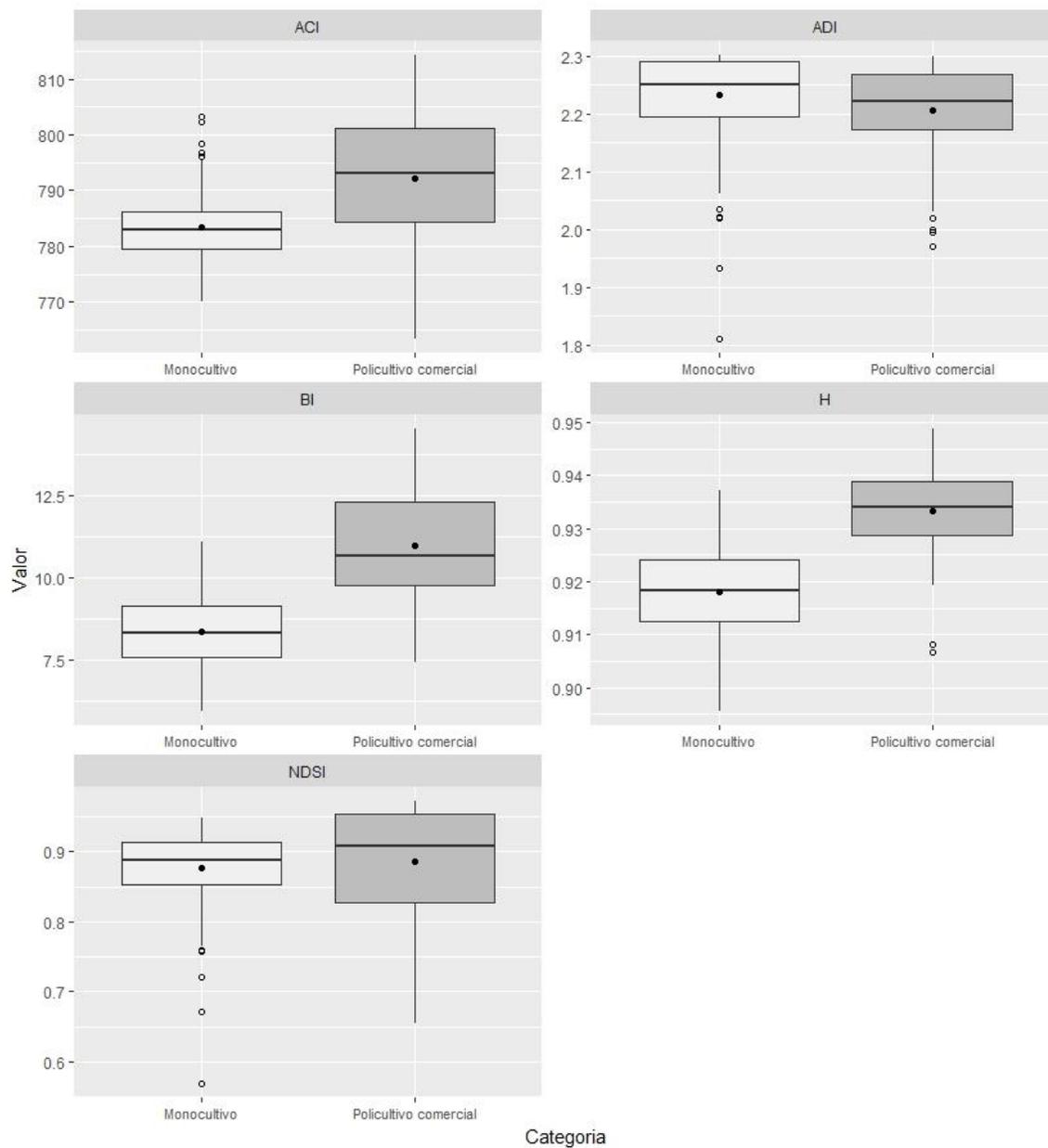


Figura 8. Diagramas de caja de los valores promedio para cada índice acústico (eje y) por sistema de manejo de sombra (eje x) (blanco = monocultivo, gris = policultivo comercial) en la región de El Palmar, Quetzaltenango. El punto negro representa la media y la línea horizontal representa la mediana.

### **Comparación del paisaje sonoro entre el policultivo comercial y el sistema tradicional en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa.**

Para la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa, se encontró diferencia significativa entre las medias de los índices acústicos para el ACI ( $ACI_{poli.com.} = 783.518 \pm 5.555$ ,  $ACI_{trad.} = 782.460 \pm 16.124$ ) entre el policultivo comercial y el sistema tradicional (Wilcoxon  $W = 3294$ ,  $P = 0.001$ ), así como en el ADI ( $ADI_{poli.com.} = 2.138 \pm 0.103$ ,  $ADI_{trad.} = 2.178 \pm 0.148$ ), (Wilcoxon  $W = 3078$ ,  $P = 0.00012$ ), el NDSI ( $NDSI_{poli.com.} = 0.622 \pm 0.162$ ,  $NDSI_{trad.} = 0.856 \pm 0.124$ ), (Wilcoxon  $W = 737$ ,  $P < 2.2e-16$ ) y el BI ( $BI_{poli.com.} = 6.708 \pm 1.166$ ,  $BI_{trad.} = 8.544 \pm 1.856$ ), (Wilcoxon  $W = 2033$ ,  $P = 5.7e-11$ ). Solamente las medias del índice H no presentaron diferencia significativa entre las dos categorías de manejo ( $H_{poli.com.} = 0.910 \pm 0.014$ ,  $H_{trad.} = 0.908 \pm 0.014$ ), (Wilcoxon  $W = 5015$ ,  $P = 0.24$ ).

Se observó que el sistema tradicional presentó los valores promedio más altos para los índices de complejidad (ACI) y diversidad acústica (ADI); así como para el índice bioacústico (BI) en comparación con el policultivo comercial (figura 9). Además, el sistema tradicional presentó mayor proporción de biofonías (NDSI) que el policultivo comercial. Los valores promedio de la entropía acústica (H) fueron similares para ambas categorías.

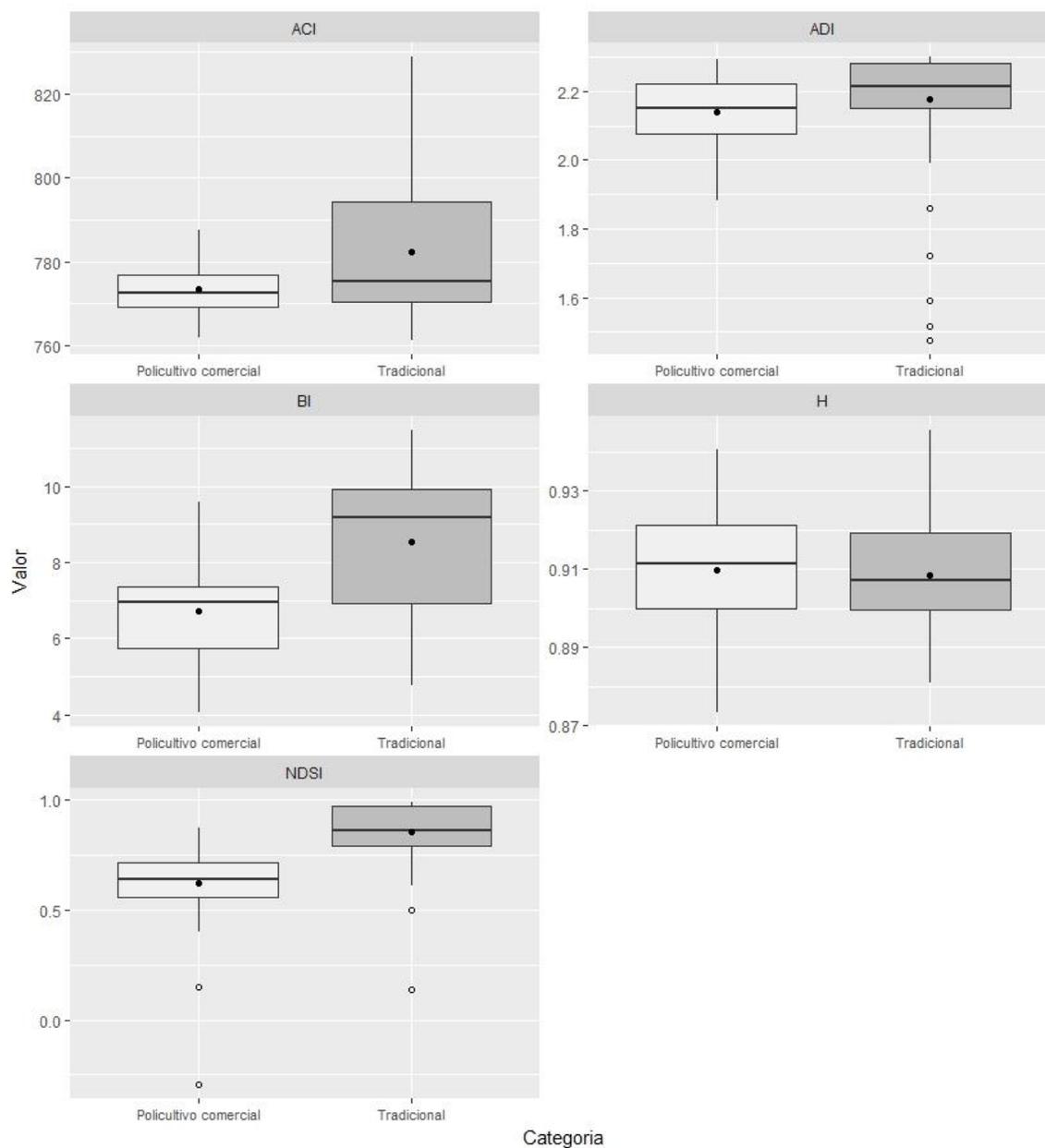


Figura 9. Diagramas de caja de los valores promedio para cada índice acústico (eje y) por sistema de manejo de sombra (eje x) (blanco = policultivo comercial, gris = sistema tradicional) en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa. El punto negro representa la media y la línea horizontal representa la mediana.

### Relación entre el paisaje sonoro y la estructura de la vegetación

Se encontró diferencia significativa entre las medias de las variables de vegetación, para el porcentaje de cobertura de dosel (Cobertura<sub>mono.</sub> = 24.366% ± 11.511, Cobertura<sub>poli.com.</sub> = 62.40% ± 15.186, Cobertura<sub>trad.</sub> = 74.035% ± 16.190) entre las tres categorías de manejo (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 36.808$ ,  $P = 1e-08$ ), así como en el área basal (Área basal<sub>mono.</sub> = 0.163 m<sup>2</sup> ± 0.090, Área basal<sub>poli.com.</sub> = 0.719 m<sup>2</sup> ± 0.372, Área basal<sub>trad.</sub> = 2.011 m<sup>2</sup> ± 2.340) (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 32.208$ ,  $P = 1e-07$ ) y el número de árboles (Árboles<sub>mono.</sub> = 6.50 ± 2.236, Árboles<sub>poli.com.</sub> = 7.60 ± 2.722, Árboles<sub>trad.</sub> = 3.20 ± 1.821) (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 23.372$ ,  $P = 8.4e-06$ )

La categoría tradicional presentó una mayor cobertura de dosel promedio y área basal comparada con el policultivo comercial y el monocultivo (figura 10). Por otro lado, el número de árboles promedio fue mayor en el policultivo comercial con respecto al monocultivo y el sistema tradicional.

Se encontró una fuerte correlación positiva entre el porcentaje de cobertura de dosel y el área basal (m<sup>2</sup>) (Spearman  $r = 0.71$ ). El número de árboles no presentó correlación con el porcentaje de cobertura de dosel (Spearman  $r = -0.16$ ) ni con el área basal (Spearman  $r = -0.067$ ) (anexo 2).

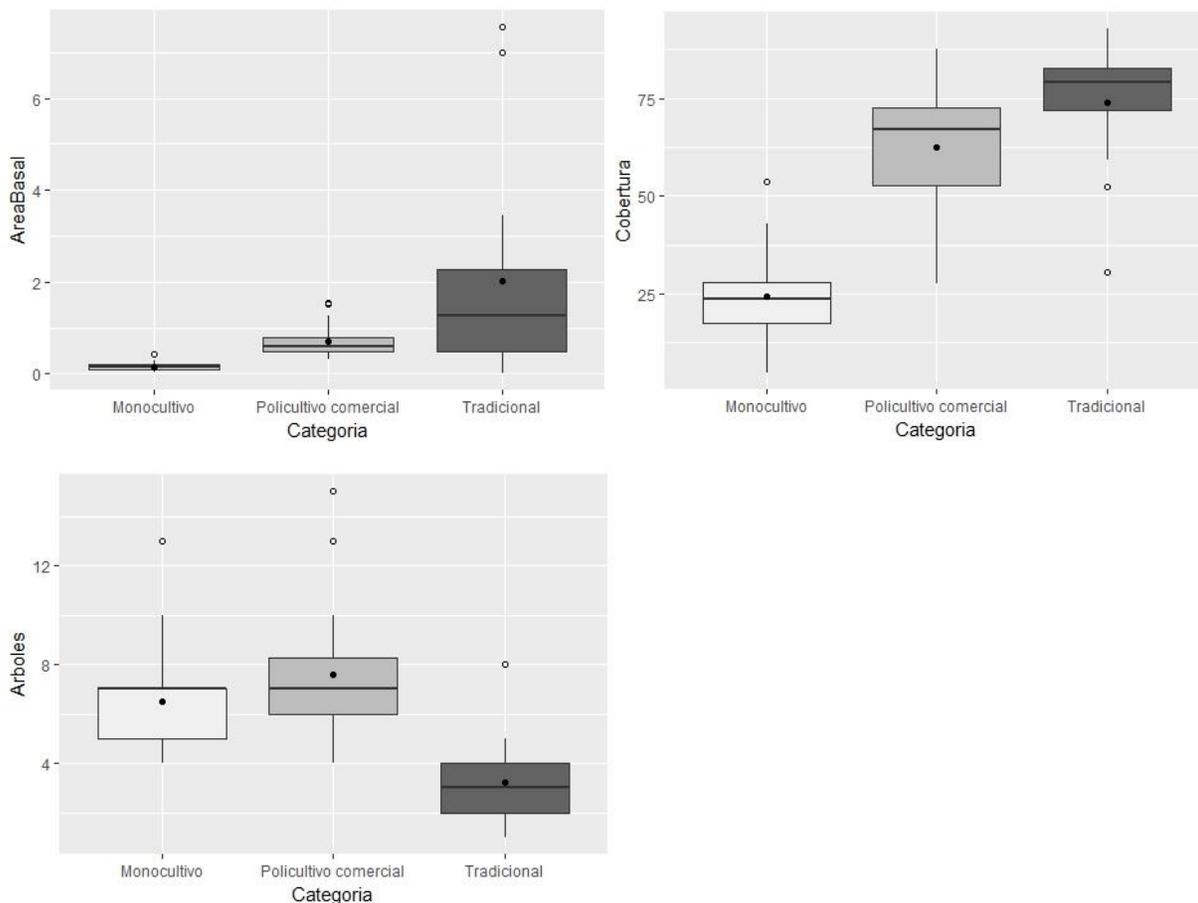


Figura 10. Diagramas de caja de las variables de estructura de la vegetación (eje y) (porcentaje de cobertura de dosel, área basal (m<sup>2</sup>) y número de árboles) para cada categoría de manejo de sombra (eje x) (blanco = monocultivo, gris = policultivo comercial, negro = tradicional). El punto negro representa la media y la línea horizontal representa la mediana.

Se observó que dos de las tres variables de vegetación influyeron en los valores de los índices acústicos, el porcentaje de cobertura de dosel y el número de árboles (cuadro 2). Todos los índices acústicos presentaron una relación inversa con respecto al porcentaje de cobertura de dosel. Esta misma relación se observó entre el número de árboles y los índices BI y NDSI. Asimismo, el ajuste general del modelo fue bueno para todos los índices acústicos (Chi-cuadrado: BI,  $P = 1$ ; H,  $P = 1$ ; ACI,  $P = 1$ ; NDSI,  $P = 1$ ; ADI,  $P = 1$ ).

Cuadro 2. Resultados del modelo lineal generalizado (GLM, familia Gamma, función logarítmica) para las dos variables de vegetación que influyen en los cinco índices acústicos. Se incluye el AIC y el peso de Akaike ( $w_i$ ) de los mejores modelos.

| <b>Índice acústico</b> | <b>% de cobertura de dosel</b> | <b>Número de árboles</b> | <b>AIC</b> | <b>Peso Akaike (<math>w_i</math>)</b> |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------|---------------------------------------|
| BI                     | -0.00254                       | -0.02208                 | 211.41     | 0.722                                 |
| H                      | -0.00019                       |                          | -328.44    | 0.569                                 |
| ACI                    | -0.00027                       |                          | 438.82     | 0.596                                 |
| NDSI                   | -0.00320                       | -0.02571                 | -70.43     | 0.990                                 |
| ADI                    | -0.00051                       |                          | -85.22     | 0.547                                 |

En la región de Quetzaltenango, se observó que tanto el monocultivo como el policultivo comercial presentaron una tendencia decreciente para la mayoría de los índices acústicos conforme aumentó el porcentaje de cobertura de dosel (figura 13). Esta misma tendencia decreciente se observó para los índices BI y NDSI conforme aumentó el número de árboles (figura 14). Sin embargo, el policultivo comercial presentó valores promedio más altos que el monocultivo. La única excepción para esta región fue para el ADI en el monocultivo, donde se observó una tendencia ligeramente creciente del índice con el aumento de porcentaje de cobertura de dosel.

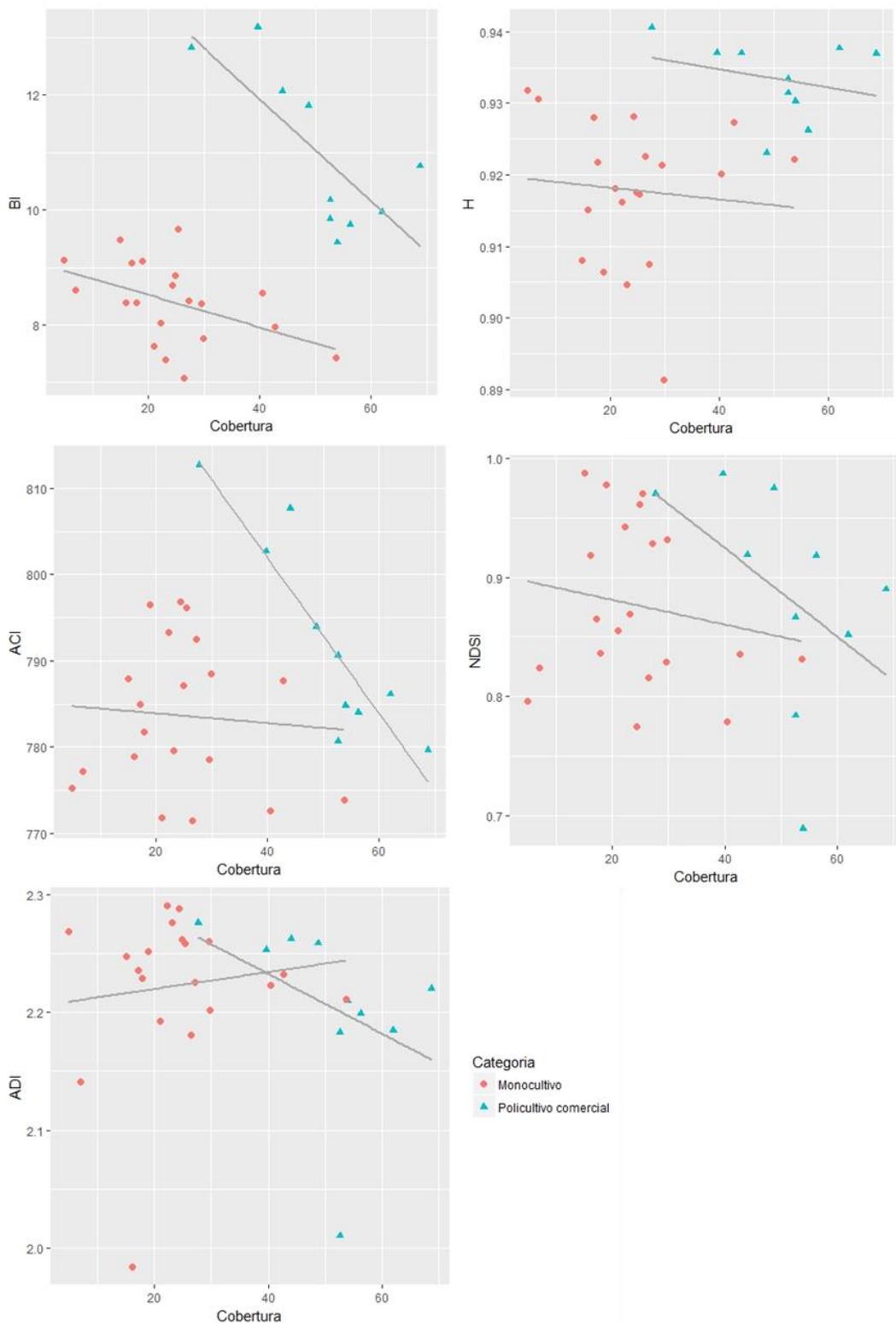


Figura 11. Relación de los índices acústicos BI, H, ACI, NDSI y ADI con el porcentaje de cobertura de dosel por categoría de manejo (círculo = monocultivo, triángulo = policultivo comercial) en la región de El Palmar, Quetzaltenango.

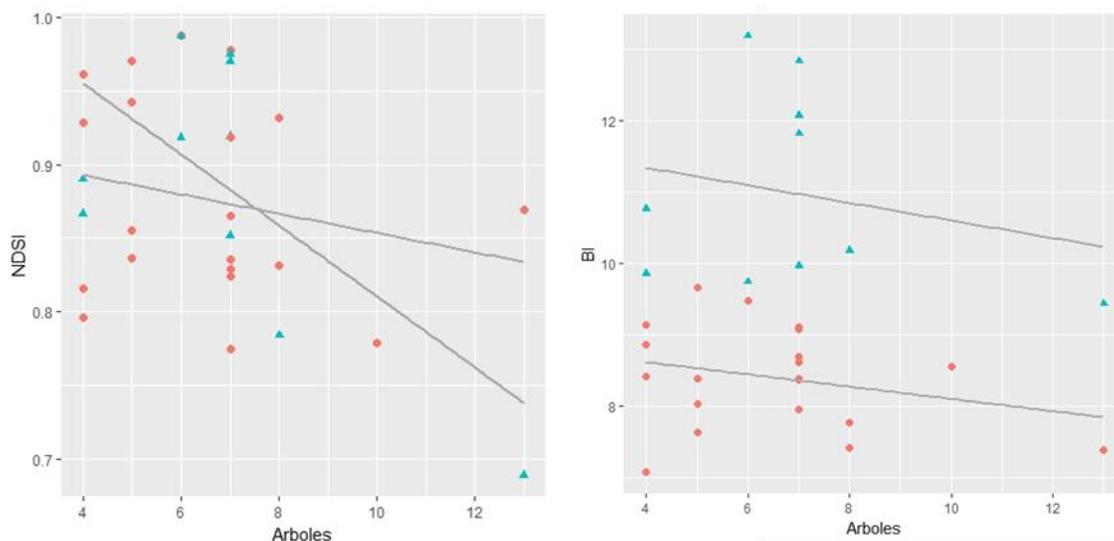


Figura 12. Relación de los índices acústicos NDSI y BI con el número de árboles por categoría de manejo (círculo = monocultivo, triángulo = policultivo comercial) en la región de El Palmar, Quetzaltenango.

En la región de Santa Rosa, también se observó una tendencia decreciente con el aumento del porcentaje de cobertura de dosel para la mayoría de los índices acústicos, tanto en el policultivo comercial como en el sistema tradicional (figura 15). La tendencia decreciente también se observó para los índices BI y NDSI con el aumento del número de árboles (figura 16). En este caso, el sistema tradicional generalmente presentó valores promedio más altos que el policultivo comercial a pesar de dicha tendencia. Algunas excepciones para esta región fueron; un aumento del ADI con el aumento de porcentaje de cobertura de dosel y el NDSI que mostró una tendencia casi constante, ambos para la categoría tradicional. Asimismo, se observó un ligero aumento del NDSI conforme aumentó el número de árboles en el sistema tradicional.

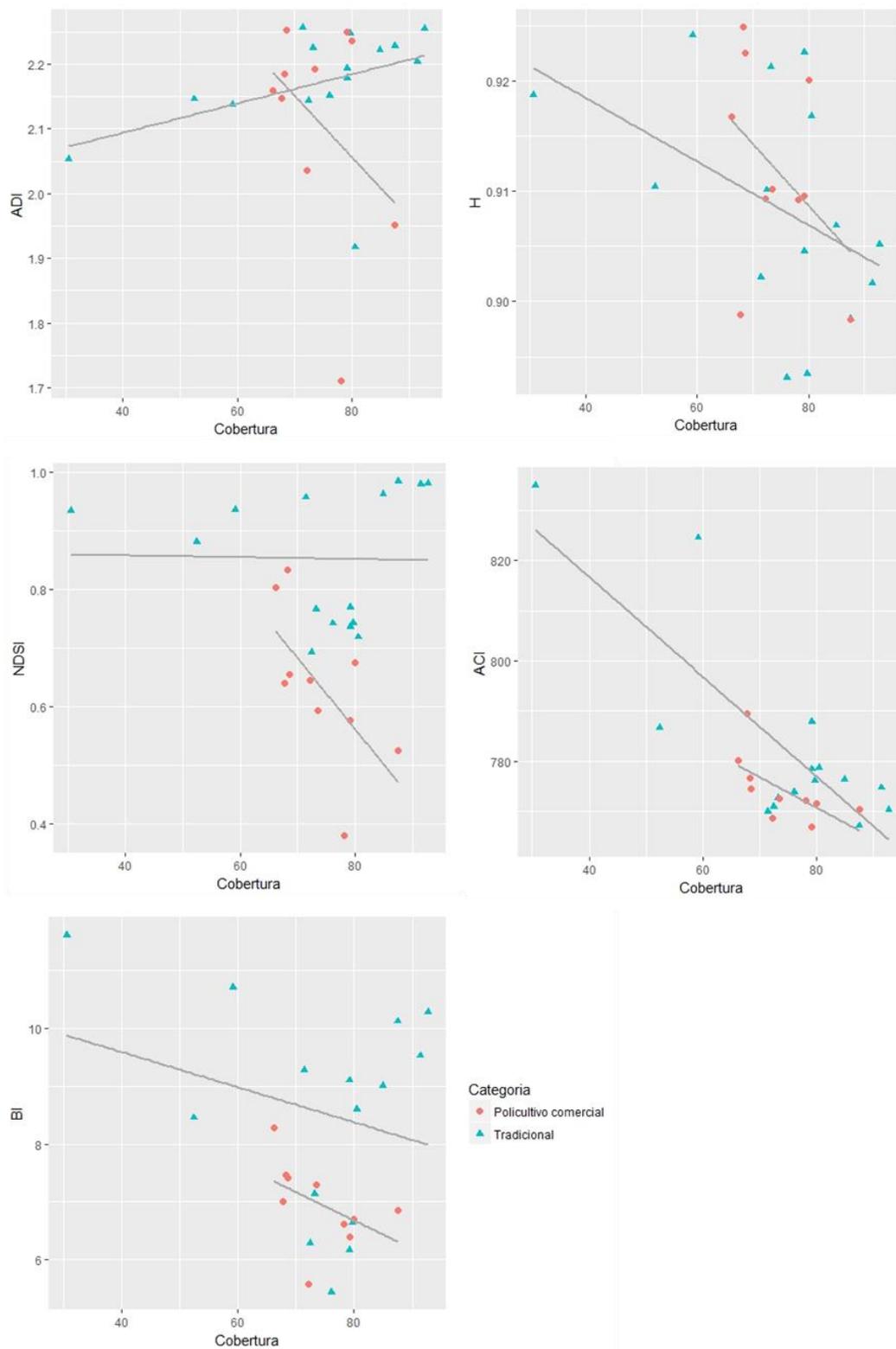


Figura 13. Relación de los índices acústicos BI, H, ACI, NDSI y ADI con el porcentaje de cobertura de dosel por categoría de manejo (círculo = policultivo comercial, triángulo = tradicional) en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa.

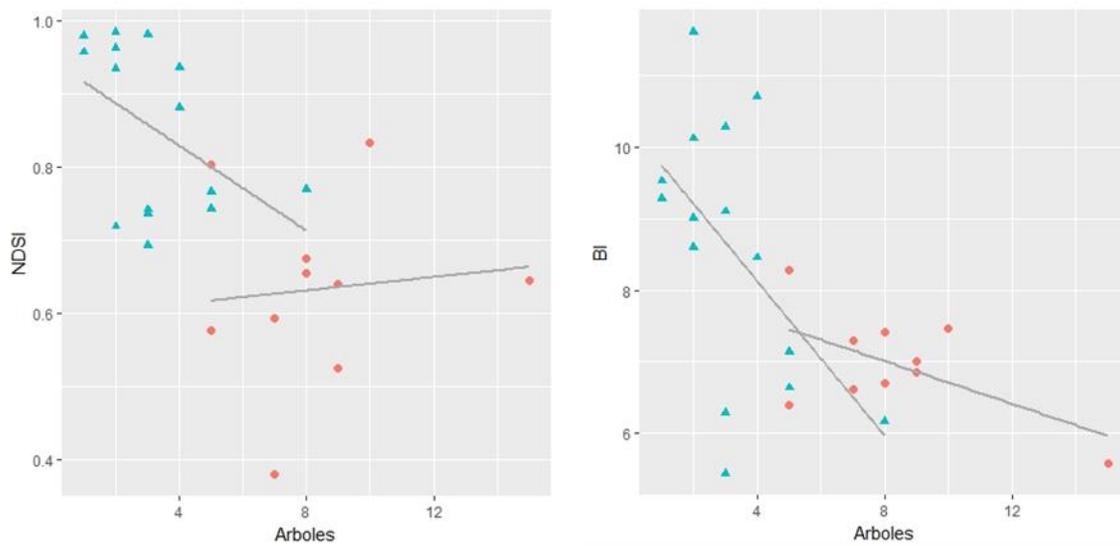


Figura 14. Relación de los índices acústicos NDSI y BI con el número de árboles por categoría de manejo (círculo = policultivo comercial, triangulo = tradicional) en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa.

## DISCUSIÓN

### **Análisis del paisaje sonoro en plantaciones de café de sombra con tres categorías de manejo en Guatemala**

La estructura del hábitat y la actividad humana influyen en la abundancia y riqueza de especies. Además, la diversidad de sonidos disminuye de hábitats naturales hasta paisajes dominados por la actividad humana (Pijanowski, *et al.* 2011a, b; Pijanowski 2016). Asimismo, la abundancia y diversidad de la avifauna varía en las plantaciones de café de sombra según cada categoría de manejo (Calvo y Blake 1998, Moguel y Toledo 1998). Por lo tanto, la actividad acústica de la comunidad de aves de cada categoría de manejo debe verse reflejada a través de los índices acústicos (Boelman *et al.* 2007, Pieretti, *et al.* 2011, Fuller, *et al.* 2015, Machado, *et al.* 2017). Bajo estos supuestos, se esperaba una mayor diversidad, complejidad y heterogeneidad acústica, así como una mayor proporción de biofonías, en la categoría de manejo tradicional, seguida por el policultivo comercial y por último el monocultivo. Algunos resultados no coincidieron con lo esperado (figura 7), lo cual puede estar relacionado con la variabilidad de la información o con algunos factores no contemplados en esta investigación; y puede explicarse por tres factores principales: 1) la variación regional no prevista, 2) las diferencias en el manejo de cada plantación y 3) la variación de la sombra dentro de cada categoría y la altura de los árboles.

La variación regional de las fincas pudo ser un factor determinante en cuanto a la variación observada dentro de la categoría de policultivo comercial. Se observó que, dentro de dicha categoría, los sitios ubicados en Quetzaltenango (figura 6, sitios PBH2-3), en general presentaron los valores promedio más altos para los índices que reflejan entropía (H), complejidad (ACI) y diversidad del sonido (BI, ADI) en comparación con los sitios del policultivo comercial ubicados en Santa Rosa (figura 6, sitios PTMI1-3). A pesar de que ambas regiones se encuentran dentro del mismo bioma y están localizadas en el declive de la cordillera volcánica del Pacífico de Guatemala, puede que exista variación en la composición de especies de cada región. Por lo tanto, dado que las fincas están ubicadas en dos regiones geográficamente distantes, la diferencia puede ser resultado de los componentes acústicos distintivos de cada una. Se sabe que los sonidos que provienen del paisaje varían en el tiempo y el espacio y cada paisaje tiene patrones acústicos únicos (Pijanowski, *et al.* 2011).

En cada finca se implementa un manejo distinto (cuadro 1). Los sitios ubicados en Santa Rosa (TM y TMI) presentaron los valores promedio más bajos de complejidad (ACI), diversidad (BI) y entropía acústica (H), así como una menor proporción de biofonías (NDSI), en comparación con aquellos ubicados en Quetzaltenango (BN y ND) (figura 6). Esto puede estar relacionado con la diferencia en el manejo y el uso de agroquímicos, ya que se tienen registros de aplicación de agroquímicos a finales de julio y principios de agosto en la plantación TMI (figura 6, sitios PTMI1-3), aproximadamente tres semanas antes de realizar las grabaciones. Este mismo fenómeno podría explicar la variación en el sistema tradicional (TM), ya que durante los días de grabación se identificó la presencia de trabajadores y bombas para aplicación de agroquímicos en un área cercana a los sitios TTM2 y TTM3 (figura 6). El manejo de la matriz agrícola incluye la intensidad de suelo, así como la aplicación de agroquímicos; por consiguiente, su variación determina el nivel de degradación de un ecosistema (Gascon, *et al.* 2000, Perfecto, *et al.* 1996). En este sentido, la diferencia en el manejo y el uso de agroquímicos pudo haber afectado la comunidad de aves e insectos en las plantaciones de café ubicadas en Santa Rosa (TM y TMI) en comparación con aquellas ubicadas en Quetzaltenango (BH y ND). En este caso, los agroquímicos que se aplicaron fueron: (1) Opus, un fungicida sistémico ligeramente tóxico para mamíferos y aves y (2) endosulfán, un insecticida que controla insectos chupadores y masticadores, el cual es considerado muy tóxico para las aves. Por lo tanto, el uso de agroquímicos pudo provocar una disminución en la comunidad faunística de las plantaciones TM y TMI, lo cual se vio reflejado en los valores bajos de los índices acústicos. Esto coincide con el estudio de Calvo y Blake (1998), quienes observaron una disminución en la abundancia de aves posterior a la aplicación de agroquímicos. Además, observaron que el número de aves aumentó en fincas aledañas donde no hubo ninguna aplicación, lo cual evidenció el movimiento de las aves.

La categoría tradicional, presentó los valores más bajos de complejidad (ACI) y entropía acústica (H) (figura 7); esto fue especialmente evidente en el sitio TTM3 (figura 6). Esto puede estar relacionado con la altura de los árboles, ya que TTM3 presentaba árboles de más de 30 metros de altura y el sotobosque correspondía casi exclusivamente al café. Por lo tanto, parte importante de la comunidad acústica de esta categoría se encontraba en el dosel y las grabadoras estaban ubicadas solamente en el sotobosque. Se considera que el estrato de café por sí solo es un hábitat particularmente pobre, ya que no mantiene muchas de las especies de aves comunes de matorral. El estrato de café también provee pocos recursos para especies de aves omnívoras o granívoras (dominantes en los matorrales), ya que muchas hierbas son eliminadas por el uso de herbicidas (Greenberg, *et al.* 1997a). Por lo tanto, la sustitución de arbustos nativos por las plantas de café puede explicar la reducción en la abundancia de aves que prefieren forrajear en estratos bajos y medios (Tejada-Cruz y Sutherland 2003). La reducción del número de aves en estratos medios y bajos se compensa con el aumento en la abundancia de especies de dosel y especies generalistas de estrato (Tejada-Cruz y Sutherland 2003); sin embargo, debido a la baja sensibilidad de la grabadora, gran parte de la actividad acústica del dosel fue excluida en esta investigación. En este sentido, es importante resaltar que la principal desventaja de las grabadoras de bajo costo (LCRs) es la baja calidad del micrófono y su reducida sensibilidad (Farina, *et al.* 2014).

### **Relación entre los índices acústicos**

Adicionalmente, se observó un patrón similar en el comportamiento entre los índices BI y ACI, donde se observa que los sitios de grabación del policultivo comercial en Quetzaltenango (figura 6, PBH2-3) presentaron valores más altos que aquellos ubicados en Santa Rosa (figura 6, PTM1-3). Además, el ADI presentó un comportamiento diferente al BI y ACI (figura 6). Este patrón ya había sido observado por Fuller, *et al.* (2015) y Retamosa, *et al.* (2018) y se debe a que el BI y el ACI se calculan con base en el cambio en la amplitud del espectro; por lo tanto, ambos reflejan la intensidad del sonido en el paisaje (Fuller *et al.* 2015). Asimismo, se ha observado que los índices BI y ACI se correlacionan con la actividad acústica (Pieretti, *et al.* 2011) y la abundancia de aves (Boelman, *et al.* 2007; Retamosa, *et al.* 2018); sin embargo, es importante resaltar que no necesariamente reflejan una comunidad de aves más diversa o compleja (Retamosa, *et al.* 2018). El índice de entropía (H) también mostró un comportamiento similar al ACI y BI, donde también se observan valores más altos en el policultivo comercial de Quetzaltenango (figura 6, PBH2-3) comparado con Santa Rosa (figura, PTM1-3). Este comportamiento es contrario a lo observado por Fuller *et al.* (2015) y Retamosa, *et al.* (2018). Sin embargo, el índice H también es sensible al número de modulaciones de amplitud, lo cual puede explicar su relación (Suer, *et al.* 2008).

### **Comparación del paisaje sonoro entre el policultivo comercial y el monocultivo en la región de El Palmar, Quetzaltenango.**

En la región de Quetzaltenango, se observó que el sistema de policultivo comercial presentó valores promedio más altos para los índices que miden diversidad (BI), complejidad (ACI) y entropía acústica (H) en comparación con el monocultivo; con excepción del ADI (figura 8). Además, el policultivo comercial presentó mayor proporción de biofonías (NDSI) que el monocultivo. El índice bioacústico (BI) y el índice de complejidad acústica (ACI) evidencian que el policultivo comercial presentó mayor actividad acústica de las aves (Boelman, *et al.* 2007, Pieretti, *et al.* 2011). Esto concuerda con el estudio de Calvo y Blake (1998) que comparó estas mismas fincas y concluyó que la diversidad y abundancia de aves fue significativamente mayor en la plantación con policultivo comercial; principalmente por la estructura de la vegetación, resultado de las prácticas de manejo. Esta plantación también se encontraba cerca de un remanente boscoso, por lo que la cercanía al bosque es otro factor que pudo haber influido en la riqueza y abundancia de aves (Anand, *et al.* 2008). El índice de entropía (H) evidencia que la señal acústica del policultivo comercial presenta mayor heterogeneidad que el monocultivo. Esto también concuerda con el estudio de Perfecto, *et al.* (2014), ya que el café con sombra más diversa y compleja estructuralmente permite que haya mayor biodiversidad y, por consiguiente, sonidos más heterogéneos. Asimismo, se esperaba que hábitats con mayor riqueza de especies presentaran valores altos del índice H (Suer, *et al.* 2008). El NDSI mostró que ambos sitios tienen mayor proporción de biofonías, lo cual coincide con lo esperado ya que se procuró que no hubiera actividad humana o de maquinaria durante el periodo de grabación. Asimismo, por ser fincas aledañas tienen una influencia muy similar en cuanto a los sonidos antropogénicos de los alrededores (Ej. carreteras, aldeas, aviones).

El índice de diversidad acústica (ADI) fue el único que presentó un valor promedio más alto en el monocultivo, contrario a otras investigaciones en el que presentó un valor más alto en hábitats con mayor diversidad de aves (Machado *et al.* 2017). Esto pudo deberse a que el ADI toma en cuenta todos los sonidos existentes en la grabación y no está precisamente enfocado en la riqueza de aves (Machado *et al.* 2017). Además, el valor del ADI pudo verse afectado por otros sonidos, como ha ocurrido con otros índices acústicos (Ej. Número de picos – NP) que son más sensibles a ciertos sonidos (como los de algunos insectos), lo cual puede provocar un aumento del valor del índice (Suer, *et al.* 2014; Fuller, *et al.* 2015).

### **Comparación del paisaje sonoro entre el policultivo comercial y el sistema tradicional en la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa.**

Para la región de Santa Rosa, los índices BI y ACI presentaron valores promedio mayores en el sistema tradicional en comparación con el policultivo comercial, lo cual evidencia que el sistema tradicional presenta mayor actividad acústica de las aves (Boelman, *et al.* 2007, Pieretti, *et al.* 2011) (figura 9). Esto coincide con Philpott *et al.* (2008), quienes mencionan que las plantaciones de café de sombra tradicional, cultivado bajo dosel de bosque nativo, protegen más especies de aves que otros sistemas cafetaleros (Philpott *et al.* 2008). En este caso, el sistema tradicional también presentó mayor diversidad acústica (ADI) que el policultivo comercial, lo cual coincide con el estudio de Machado, *et al.* (2017) quienes reportaron un valor más alto del ADI en hábitats con mayor diversidad de aves. Por otro lado, el índice de entropía no presentó diferencia entre sitios por lo que la heterogeneidad acústica es similar en el sotobosque de ambas categorías. El NDSI presentó menor proporción de biofonías en el policultivo comercial que en el sistema tradicional, lo cual está relacionado con la actividad humana. Se observó que en el policultivo comercial había mayor presencia de trabajadores, ya que esta era una zona de paso y se encontraba cerca del beneficio. Las biofonías tienden a disminuir con el aumento en el uso humano del paisaje; además, el aumento de las antropofonías refleja la actividad humana (Pijanowski, *et al.* 2011b). Esto explica por qué el policultivo comercial presentó una disminución en los valores promedio del NDSI.

### **Relación entre el paisaje sonoro y la estructura de la vegetación**

La categoría tradicional presentó los valores promedio más altos de porcentaje de cobertura de dosel y área basal, seguido por el policultivo comercial y por último el monocultivo (figura 10). Esto concuerda con el estudio de Perfecto *et al.* (2014), ya que el café de sombra tradicional se caracteriza por tener mayor complejidad estructural y florística en el dosel. Asimismo, se esperaba que el monocultivo presentara estructura vegetal menos compleja por ser un sistema con sombra especializada y un manejo más tecnificado. Además de lo anterior, el número de árboles fue similar en el monocultivo y policultivo comercial y se registraron menos árboles en el policultivo tradicional, lo cual se debe a que el sistema tradicional presentaba árboles más grandes.

Las dos variables que influyeron en los valores de los índices acústicos fueron la cobertura de dosel y el número de árboles (cuadro 2). Se pudo observar que el valor de todos los índices acústicos disminuyó con el aumento de la cobertura de dosel, así como con el número de árboles (cuadro 2). Sin embargo, estos resultados parecen estar relacionados con la sensibilidad de la grabadora y no precisamente con el manejo de la sombra, ya que dicha tendencia se observó para las tres categorías, tanto en Quetzaltenango (figura 13 y 14) como en Santa Rosa (figura 15 y 16). Además, en el caso de Quetzaltenango, en general el policultivo comercial presentó valores promedio más altos para todos los índices acústicos en comparación con el monocultivo (figura 13 y 14). Asimismo, en Santa Rosa, el sistema tradicional generalmente presentó valores promedio más altos que el policultivo comercial para la mayoría de índices acústicos (figura 15 y 16).

Esto puede estar relacionado con la sensibilidad de las grabadoras y la propagación del sonido a través de la vegetación, ya que la propagación de una señal acústica depende del medio en el que pasa y de las superficies reflectivas y absorbentes que presenta, como por ejemplo la vegetación (Pijanowski, *et al.* 2011). Por lo tanto, la pérdida de sonido a través de la vegetación sumado a la baja sensibilidad de las LCRs posiblemente provocó que la captación de los sonidos por la grabadora fuera baja.

## Implicaciones para el manejo y la conservación en plantaciones de café de sombra

A nivel regional, el análisis del paisaje sonoro para las categorías de manejo coincidió con otras investigaciones realizadas en Guatemala, cuyos resultados evidencian que las prácticas de manejo de sombra son un factor determinante para la conservación de biodiversidad en plantaciones de café de sombra, específicamente de la comunidad de aves (Greenberg *et al.* 1997; Calvo y Blake 1998). En este sentido, el análisis de paisaje sonoro a través de los índices acústicos confirmó, para las fincas ubicadas en Quetzaltenango, que la categoría de policultivo comercial tiene una mayor contribución a la conservación de la diversidad, complejidad y heterogeneidad acústica en comparación con el monocultivo. Asimismo, para las fincas ubicadas en Santa Rosa, la categoría tradicional tiene una mayor contribución a la conservación de la diversidad y complejidad acústica en comparación con el policultivo comercial. Para poder mantener la diversidad, complejidad y heterogeneidad acústica del paisaje sonoro en las plantaciones de café de sombra, es necesario motivar a los caficultores a mantener una sombra compleja y diversa, características que permiten que el café de sombra tradicional tenga alta biodiversidad (Perfecto *et al.* 2014).

Por lo tanto, dentro de los planes de manejo futuros de las fincas se pueden incluir algunas prácticas como la tala selectiva o el “desramado” de los árboles cuando se necesite eliminar sombra para el café. Estas prácticas consisten en talar árboles de *Inga* o simplemente eliminar algunas ramas en lugar de eliminar árboles maderables o nativos. Según las declaraciones de algunos propietarios, estas prácticas incluso les han permitido que ocurra regeneración natural y una completa sustitución de la *Inga* por árboles maderables o nativos. Por lo tanto, son prácticas que pueden ser implementadas por otras fincas de café de sombra especializada que tengan interés por aumentar la estructura de la vegetación en su plantación o pasar a una categoría de manejo menos intensiva. Dado que el estrato de café también provee pocos recursos para algunas especies de aves (Greenberg *et al.* 1997a), permitir el crecimiento de algunos árboles y arbustos (ya sea frutales, maderables o especies nativas) en el sotobosque es otra práctica que contribuye a aumentar la complejidad y diversidad de la sombra del café. Además, se debe tener en cuenta que todos los propietarios conservan remanentes de bosque natural dentro de sus fincas; conservar estos bosques dentro de la matriz agrícola es de suma importancia ya que, aunque el cultivo de café con diversidad de árboles de sombra ha demostrado tener alto potencial para la conservación en regiones agrícolas como un sustituto del café de sombra especializado, nunca podrá sustituir el bosque (Gordon, *et al.* 2007).

La investigación de los ecosistemas tropicales a través de índices acústicos es necesaria para que puedan utilizarse como una herramienta de monitoreo que permita estimar y describir el estado de la biodiversidad de manera eficiente (Fuller, *et al.* 2015, Bolaños y Villatoro, 2016). Por lo tanto, el presente estudio contribuye al conocimiento sobre el uso de los índices acústicos para describir las características del paisaje y evaluar el estado de la biodiversidad en plantaciones de café de sombra en Guatemala.

Los resultados de esta investigación sugieren que las grabadoras de bajo costo (LCRs) tienen potencial para realizar análisis de paisaje sonoro a pesar de sus limitaciones. Además, aportan información sobre su uso para incentivar el estudio del paisaje sonoro en Centroamérica, donde los recursos para investigación son escasos.

## CONCLUSIONES

- Al comparar las tres categorías de manejo, el monocultivo presentó mayor diversidad (ADI) y complejidad acústica (ACI), así como una mayor proporción de biofonías (NDSI) en comparación con el policultivo comercial y el sistema tradicional; se esperaba una mayor diversidad, complejidad y heterogeneidad acústica, así como una mayor proporción de biofonías, en la categoría tradicional, seguida por el policultivo comercial y por último el monocultivo. Esto puede estar relacionado con la variabilidad de la información o con algunos factores no contemplados en esta investigación (Ej. La variación regional, el uso de agroquímicos, la altura de los árboles). Sin embargo, la comparación de las categorías para cada región sí mostró resultados congruentes.
- En la región de El Palmar, Quetzaltenango el policultivo comercial presentó valores promedio más altos de diversidad (BI), complejidad (ACI) y entropía acústica (H), así como una mayor proporción de biofonías (NDSI) en comparación con el monocultivo; lo cual puede estar asociado con una mayor actividad acústica de las aves en el policultivo comercial como resultado de las prácticas de manejo de sombra.
- En la región de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa el sistema tradicional presentó valores promedio más altos de diversidad (BI, ADI) y complejidad acústica (ACI), así como una mayor proporción de biofonías (NDSI) en comparación con el policultivo comercial; lo cual puede estar asociado con una mayor actividad acústica de las aves en el sistema tradicional como resultado de las prácticas de manejo de sombra.
- Las dos variables de vegetación que influyeron en los valores de los índices acústicos fueron el porcentaje de cobertura de dosel y el número de árboles.
- Las tres categorías de manejo presentaron una tendencia decreciente de la mayoría de los índices acústicos con el aumento del porcentaje de cobertura de dosel y, en el caso de los índices BI y NDSI, se observó esta misma tendencia con el aumento del número de árboles. Esto puede estar relacionado con la baja sensibilidad de las grabadoras.

## RECOMENDACIONES

- El uso de índices acústicos para el estudio del paisaje sonoro es una metodología complementaria que permite inferir la diversidad y complejidad de los ecosistemas tropicales, tanto naturales como de producción agrícola, como en el presente caso. Por lo tanto, se recomienda continuar con la investigación, evaluación y mejora de los índices acústicos en Guatemala y otros países tropicales.
- Para comprender mejor el paisaje sonoro de las plantaciones de café de sombra en Guatemala, es necesario realizar grabaciones durante el día y la noche para incluir otros grupos de fauna como insectos, anfibios, aves y murciélagos.
- Para mejorar la interpretación de los índices acústicos se recomienda tener datos de la ocurrencia de especies (riqueza y abundancia de aves) y describir la comunidad ecológica, así como caracterizar las biofonías, geofonías y antropofonías del sitio de estudio.
- Para comprender mejor los patrones acústicos en plantaciones de café de sombra se recomienda incluir grabaciones tanto de sotobosque como del dosel.
- Se recomienda investigar el efecto de la aplicación de agroquímicos sobre los patrones acústicos en plantaciones de café de sombra.
- Para utilizar las grabadoras de bajo costo (LCR's) se recomienda evaluar sus limitaciones en cuanto a su calidad y sensibilidad en ecosistemas con vegetación alta y densa.

## LITERATURA CITADA

- Anand, M. O., J. Krishnaswamy y A. Das. 2008. Proximity to forests drives bird conservation value of coffee plantations: implications for certification. *Ecological Applications*, 18(7), 1754-1763.
- Ashley, R., D. Russell y B. Swallow. 2006. The policy terrain in protected area landscapes: challenges for agroforestry in integrated landscape conservation. *Biodiversity y Conservation*, 15(2), 663-689.
- Bakermans, M. H., A. D. Rodewald, A. C. Vitz y C. Rengifo. 2012. Migratory bird use of shade coffee: the role of structural and floristic features. *Agroforestry systems*, 85(1), 85-94.
- Bhagwat, S. A., K. J. Willis, H. J. B. Birks y R. J. Whittaker. 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in ecology y evolution*, 23(5), 261-267.
- Bobryk, C. W., C. C. Rega-Brodsky, S. Bardhan, A. Farina, H. S. He y S. Jose. 2015. A rapid soundscape analysis to quantify conservation benefits of temperate agroforestry systems using low-cost technology. *Agroforestry Systems*, 1-12.
- Boelman, N. T., G. P. Asner, P. J. Hart y R. E. Martin. 2007. Multi-trophic invasion resistance in hawaii: bioacoustics, field surveys, and airborne remote sensing. *Ecological Applications*, 17(8), 2137-2144.
- Bolaños, P. R., y F. Villatoro. 2016. Paisaje sonoro en bosques de montaña de Guatemala. *Revista 32 de la Universidad del Valle de Guatemala*, 13.
- Brash, A. R. 1987. The history of avian extinction and forest conversion on Puerto Rico. *Biological Conservation*, 39(2), 97-111.
- Calvo, L. y J. Blake. 1998. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International*, 8(03), 297-308.

- Caudill, Declerck y Husband. 2015. Connecting sustainable agriculture and wildlife conservation: Does shade coffee provide habitat for mammals? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 199, 85-93.
- Caycedo-Rosales, P. C., Ruiz-Muñoz, J. F., y M. Orozco-Alzate. 2013. Reconocimiento automatizado de señales bioacústicas: Una revisión de métodos y aplicaciones. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18), 171-195.
- Cincotta, R., Wisniewski, J., y R. Engelman. 2000. Human population in the biodiversity hotspots. *Nature*, 404(6781), 990-2.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). 2008. Guatemala y su biodiversidad: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico. Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Oficina Técnica de Biodiversidad. Guatemala. 650 p.
- Ellis, E. C., Klein Goldewijk, K., Siebert, S., Lightman, D., y N. Ramankutty. 2010. Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global ecology and biogeography*, 19(5), 589-606.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015. *Global Forest Resources Assessment 2015: How are the world's forests changing?* 2ª Ed.
- Farina, A., James, P., Bobryk, C., Pieretti, N., Lattanzi, E., y J. McWilliam. 2014. Low cost (audio) recording (LCR) for advancing soundscape ecology towards the conservation of sonic complexity and biodiversity in natural and urban landscapes. *Urban ecosystems*, 17(4), 923-944.
- Farina, A., y D. Morri. 2008. Source-sink y ecofield: Ipotesi ed evidenze sperimentali. *Proceedings SIEP-IALE Bari*. In *Ecologia e Governance del Paesaggio* (pp. 365-372). ITA.
- Fisher, B. y T. Christopher. 2007. Poverty and biodiversity: Measuring the overlap of human poverty and the biodiversity hotspots. *Ecological Economics*, 62(1), 93-101.

- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... y J. H. Helkowski. 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
- Fuller, S., Axel, A. C., Tucker, D., y S. H. Gage. 2015. Connecting soundscape to landscape: Which acoustic index best describes landscape configuration? *Ecological Indicators*, 58, 207-215.
- Gage, S. H., y A. C. Axel. 2014. Visualization of temporal change in soundscape power of a Michigan lake habitat over a 4-year period. *Ecological Informatics*, 21, 100-109.
- Gascon, C., Williamson, G. B., y G. A. da Fonseca. 2000. Receding forest edges and vanishing reserves. *Science*, 288 (5470), 1356-1358.
- Gordon, C., Manson, R., Sundberg, J., y A. Cruz-Angón. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem. *Agriculture, ecosystems y environment*, 118(1), 256-266.
- Greenberg, R., P. Bichier, A. Cruz Angon, y R. Reitsma. 1997a. Bird Populations in Shade and Sun Coffee Plantations in Central Guatemala. *Conservation Biology* 11(2): 448–459.
- Greenberg, R., Bichier, P., y J. Sterling. 1997b. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 29(4), 501-514.
- Haggar, J., Asigbaase, M., Bonilla, G., Pico, J., y A. Quilo. 2015. Tree diversity on sustainably certified and conventional coffee farms in Central America. *Biodiversity and Conservation*, 24(5), 1175-1194.
- Kasten, E. P., Gage, S. H., Fox, J., y W. Joo. 2012. The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: An archive for studying soundscape ecology. *Ecological informatics*, 12, 50-67.
- Krause, B. L. (1992). The habitat niche hypothesis: a hidden symphony of animal sounds. *Literary Review*, 36 (1): 40-45

- Kruskal, W. H. y W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of American Statistical Association*, 47, 583–621.
- Leadley, P., Pereira, H.M., Alkemade, R., Fernandez-Manjarres, J.F., Proenca, V., Scharlemann, J.P.W y M. J. Walpole. 2010. *Biodiversity Scenarios: Projections of 21st century change in biodiversity and associated ecosystem services*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 50, 132 pages.
- Leyequién, E., De Boer, W. F., y V. M. Toledo, V. M. 2010. Bird community composition in a shaded coffee agro-ecological matrix in Puebla, Mexico: the effects of landscape heterogeneity at multiple spatial scales. *Biotropica*, 42(2), 236-245.
- Machado, R. B., Aguiar, L., y G. Jones. 2017. Do acoustic indices reflect the characteristics of bird communities in the savannas of Central Brazil? *Landscape and Urban Planning*, 162, 36-43.
- Marsh, D. M., y P.C. Trenham. 2008. Current trends in plant and animal population monitoring. *Conservation Biology*, 22(3), 647-655.
- McCracken, K. G., y F. H. Sheldon. 1997. Avian vocalizations and phylogenetic signal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(8), 3833-3836.
- McDermott, M. E., Rodewald, A. D., y S. N. Matthews. 2015. Managing tropical agroforestry for conservation of flocking migratory birds. *Agroforestry Systems*, 89(3), 383-396.
- Méndez-Castro, F., y E. Rao. 2014. Spider diversity in epiphytes: Can shade coffee plantations promote the conservation of cloud forest assemblages? *Biodiversity and Conservation*, 23(10), 2561-2577.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). 2002. *Mapa de zonas de vida de Holdridge*, República de Guatemala. Laboratorio de Información Geográfica.
- Moguel, P., y V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation biology*, 13(1), 11-21.

- Morton E. S. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *American Naturalist* 109: 17–34.
- Murrieta-Galindo, R., González-Romero, A., López-Barrera, F., y G. Parra-Olea. 2013. Coffee agrosystems: an important refuge for amphibians in central Veracruz, Mexico. *Agroforestry systems*, 87(4), 767-779.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
- Myers, L., y M. J. Sirois. 2006. Spearman correlation coefficients, differences between. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*.
- Pekin, B. K., Jung, J., Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., y J. A. Ahumada. 2012. Modeling acoustic diversity using soundscape recordings and LIDAR-derived metrics of vertical forest structure in a neotropical rainforest. *Landscape ecology*, 27(10), 1513-1522.
- Perfecto I, Rice RA, Greenberg R y M. E. Van der Voort. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46(8):598–608
- Perfecto, I., Mas, A., Dietsch, T., y J. Vandermeer. 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity y Conservation*, 12(6), 1239-1252.
- Perfecto, I., y J. Vandermeer. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1), 173-200.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., y S. M. Philpott. 2014. Complex ecological interactions in the coffee agroecosystem. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 137-158.
- Philpott, S. M., Arendt, W. J., Armbrrecht, I., Bichier, P., Diestch, T. V., Gordon, C., ... y C. Tejeda-Cruz. 2008. Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes: review of the evidence on ants, birds, and trees. *Conservation Biology*, 22(5), 1093-1105.

- Pieretti, N., Farina, A., y D. Morri. 2011. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: the Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 11(3), 868-873.
- Pieretti, N., y A. Farina. 2013. Application of a recently introduced index for acoustic complexity to an avian soundscape with traffic noise. *Journal Acoustical Society of America* 134(1):891-900.
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., ... y N. Pieretti. 2011a. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203-216.
- Pijanowski, B. C., Farina, A., Gage, S. H., Dumyahn, S. L., y B. L. Krause. 2011b. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape ecology*, 26(9), 1213-1232.
- Pijanowski, B. C. 2016. Terrestrial Soundscapes: Status of Ecological Research in Natural and Human-Dominated Landscapes. In *The Effects of Noise on Aquatic Life II* (pp. 839-846). Springer, New York, NY.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Retamosa Izaguirre M. I., Ramírez-Alán O., y J. De la O Castro. 2018. Acoustic indices applied to biodiversity monitoring in a Costa Rica dry tropical forest. *Journal of Ecoacoustics*. 2: #TNW2NP (in press)
- Saenz, J., Villatoro F., Muhammad I., Fajardo D., y M. Perez. 2006. Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua Y Colombia. *Agroforestería En Las Américas* (45): 37-48
- Sekercioglu, C. H. 2012. Bird functional diversity and ecosystem services in tropical forests, agroforests and agricultural areas. *Journal of Ornithology*, 153(1), 153-161.

- Scheffknecht, S., Winkler, M., Hülber, K., Rosas, M. M., y P. Hietz. 2010. Seedling establishment of epiphytic orchids in forests and coffee plantations in Central Veracruz, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 26(01), 93-102.
- Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. 2010. Plan de desarrollo Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa. Guatemala: SEGEPLAN/DPT.
- Strom, C. 2013. Rapid biodiversity assessment of a Neotropical rainforest using soundscape recordings. Tesis de Ecología 32 Umea, Suecia: Umea Universitet.
- Sueur J., Aubin T. y C. Simonis. 2008. Seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18: 213-226
- Sueur, J., Farina, A., Gasc, A., Pieretti, N., y S. Pavoine. 2014. Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. *Acta Acustica united with Acustica*, 100(4), 772-781.
- Sueur, J., y A. Farina. 2015. Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. *Biosemiotics*, 8(3), 493-502.
- Towsey, M., Wimmer, J., Williamson, I., y P. Roe. 2014. The use of acoustic indices to determine avian species richness in audio-recordings of the environment. *Ecological Informatics*, 21, 110-119.
- Vannini, J. P. 1994. Nearctic avian migrants in coffee plantations and forest fragments of south-western Guatemala. *Bird Conservation International*, 4(2-3), 209-232.
- Villanueva-Rivera LJ, Pijanowski BC, Doucette J y B. Pekin. 2011. A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape Ecol*, 26:1233–1246
- Villanueva-Rivera, L. y B. C. Pijanowski. 2016. soundecology: Soundscape Ecology. R package version 1.3.2. <https://CRAN.R-project.org/package=soundecology>

Villar Anleu, L. 1998. La Fauna Silvestre de Guatemala, vol.7. Guatemala: Universitaria. Universidad San Carlos de Guatemala.

Williams-Guillén, K., y I. Perfecto. 2010. Effects of agricultural intensification on the assemblage of leaf-nosed bats (Phyllostomidae) in a coffee landscape in Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 42(5), 605-613.

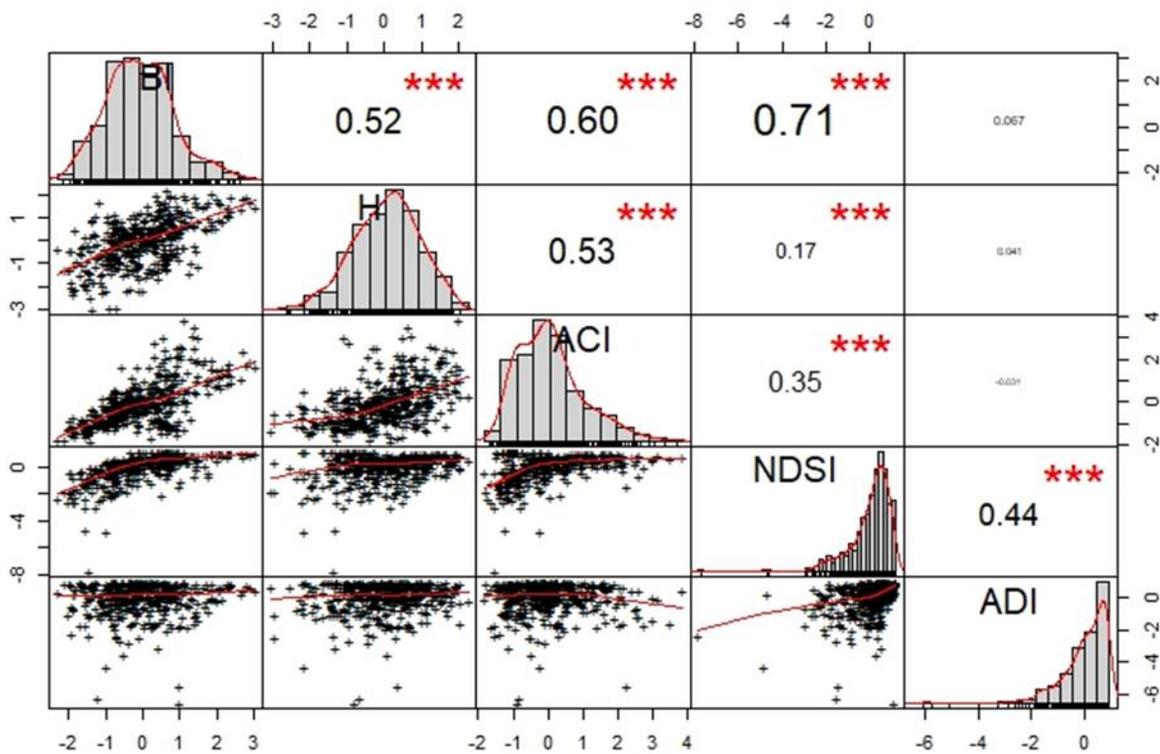
Wunderle Jr, J. M., y S. C. Latta. 1996. Avian abundance in sun and shade coffee plantations and remnant pine forest in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Ornitologia Neotropical*, 7(1), 19-34.

## Comunicaciones personales

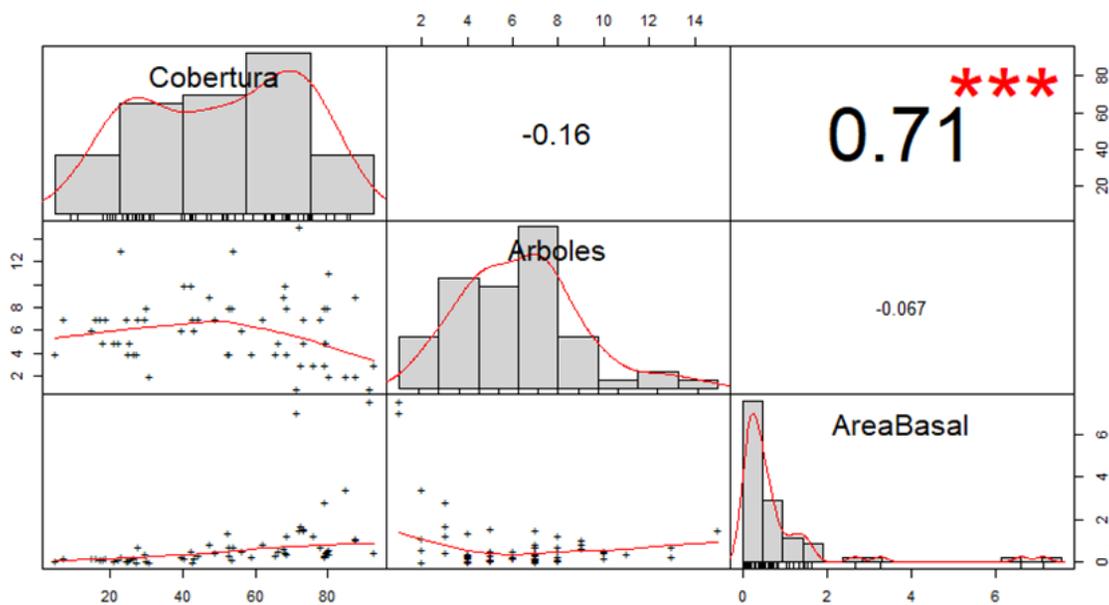
L. Calvo. Reserva Natural Privada Finca Bohemia, Quetzaltenango, Guatemala (e-mail: [lorenacalvom@gmail.com](mailto:lorenacalvom@gmail.com)).

## ANEXOS

Anexo 1. Prueba de correlación de Spearman para los cinco índices acústicos.



**Anexo 2: Prueba de correlación de Spearman para las tres variables de vegetación, porcentaje de cobertura de dosel, número de árboles y área basal (m<sup>2</sup>).**



**Anexo 3: Especies de aves observadas em las cuatro fincas de café de sombra en Guatemala (ND = Finca Nueva Delfina, BH = Finca Bohemia, TM = Finca Tempisque zona alta, TMI = Finca Tempisque zona baja)**

| TAXÓN                           | Nombre en español        | Nombre en inglés      | ND | BH | TM | TMI |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|----|----|----|-----|
| <b>Tinamidae</b>                |                          |                       |    |    |    |     |
| <i>Crypturellus cinnamomeus</i> | Tinamú canelo            | Thicket tinamou       |    |    | X  |     |
| <b>Cathartidae</b>              |                          |                       |    |    |    |     |
| <i>Coragyps atratus</i>         | Zopilote de cabeza negra | Black vulture         |    | X  |    |     |
| <i>Cathartes aura</i>           | Zopilote de cabeza roja  | Turkey vulture        |    | X  | X  |     |
| <b>Accipitridae</b>             |                          |                       |    |    |    |     |
| <i>Buteo plagiatus</i>          | Gavilán gris             | Gray hawk             |    | X  |    |     |
| <i>Buteogallus</i> sp.          | Gavilán negro            | Black hawk            |    | X  |    |     |
| <b>Columbidae</b>               |                          |                       |    |    |    |     |
| <i>Patagioenas flavirostris</i> | Paloma morada            | Red-billed Pigeon     |    | X  |    |     |
| <i>Columbina inca</i>           | Tórtola de cola larga    | Inca dove             |    |    | X  |     |
| <i>Columbina passerina</i>      | Tortolita común          | Common ground dove    | X  |    |    |     |
| <b>Cuculidae</b>                |                          |                       |    |    |    |     |
| <i>Piaya cayana</i>             | Cuco ardilla             | Squirrel Cuckoo       |    | X  | X  |     |
| <i>Crotophaga sulcirostris</i>  | Pijuy                    | Groove billed ani     |    |    | X  |     |
| <b>Strigidae</b>                |                          |                       |    |    |    |     |
| <i>Glaucidium brasilianum</i>   | Aurorita                 | Ferruginous Pygmy-Owl |    | X  |    |     |

|                                |                            |                           |   |   |   |   |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|---|---|---|---|
| Caprimulgidae                  |                            |                           |   |   |   |   |
| <i>Nyctidromus albicollis</i>  | Tapacaminos                | Common pauraque           | X |   |   |   |
| Apodidae                       |                            |                           |   |   |   |   |
| <i>Streptoprocne zonaris</i>   | Vencejo acollarado         | White-Collared Swift      | X | X |   |   |
| Trochilidae                    |                            |                           |   |   |   |   |
| <i>Amazilia rutila</i>         | Colibrí canelo             | Cinnamon hummingbird      | X |   |   |   |
| <i>Amazilia cyanura</i>        | Colibrí coliazul           | Blue tailed hummingbird   | X | X |   |   |
| <i>Amazilia beryllina</i>      | Colibrí colicastaña        | Berylline hummingbird     |   |   | X | X |
| <i>Helimaster longirostris</i> | Colibrí piquilargo         | Long-billed starthroat    |   | X |   |   |
| Trogonidae                     |                            |                           |   |   |   |   |
| <i>Trogon collaris</i>         | Trogón acollarado          | Collared Trogon           |   |   | X |   |
| <i>Trogon caligatus</i>        | Trogón enligado            | Gartered Trogon           |   | X |   |   |
| Momotidae                      |                            |                           |   |   |   |   |
| <i>Momotus lessonii</i>        | Motmot de cabeza azul      | Lesson's Motmot           |   | X | X | X |
| Ramphastidae                   |                            |                           |   |   |   |   |
| <i>Pteroglossus torquatus</i>  | Arasari acollarado         | Collared Aracari          |   | X |   |   |
| Picidae                        |                            |                           |   |   |   |   |
| <i>Melanerpes aurifrons</i>    | Carpintero frentidorado    | Golden-fronted Woodpecker |   | X | X | X |
| <i>Colaptes rubiginosus</i>    | Carpintero oliváceo        | Golden-olive woodpecker   | X | X | X | X |
| Falconidae                     |                            |                           |   |   |   |   |
| <i>Caracara cheriway</i>       | Caracara o quebrantahuesos | Crested caracara          |   | X |   |   |

|                                  |                              |                            |   |   |   |   |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|
| <i>Falco ruficularis</i>         | Halcón murcielaguero         | Bat falcon                 | X |   |   |   |
| <i>Herpetotheres cachinnans</i>  | Halcón reidor                | Laughing falcon            | X |   |   |   |
| <b>Psittacidae</b>               |                              |                            |   |   |   |   |
| <i>Psittacara strenuus</i>       | Perica verde centroamericana | Pacific Parakeet           | X | X |   |   |
| <b>Thamnophilidae</b>            |                              |                            |   |   |   |   |
| <i>Thamnophilus doliatus</i>     | Batará barrado               | Barred Antshrike           |   | X |   |   |
| <b>Tyrannidae</b>                |                              |                            |   |   |   |   |
| <i>Todirostrum cinereum</i>      | Titirijí común               | Common Tody-Flycatcher     |   | X |   |   |
| <i>Pitangus sulphuratus</i>      | Luis grande                  | Great Kiskadee             |   | X |   |   |
| <i>Myiozetetes similis</i>       | Luis gregario                | Social flycatcher          | X | X | X |   |
| <i>Megarynchus pitangua</i>      | Luis piquigrueso             | Boat-billed flycatcher     |   | X |   |   |
| <i>Empidonax</i> sp.             | Mosquero                     | Flycatcher                 |   | X |   | X |
| <i>Empidonax</i> sp.             | Mosquero                     | Flycatcher                 |   | X |   |   |
| <i>Myiodynastes luteiventris</i> | Papamoscas rayado cejiblanco | Sulphur-bellied Flycatcher |   | X | X | X |
| <b>Pipridae</b>                  |                              |                            |   |   |   |   |
| <i>Chiroxiphia linearis</i>      | Saltarín de cola larga       | Long-tailed manakin        |   |   |   | X |
| <b>Tityridae</b>                 |                              |                            |   |   |   |   |
| <i>Tityra semifasciata</i>       | Titira enmascarada           | Masked Tityra              |   | X | X |   |
| <b>Corvidae</b>                  |                              |                            |   |   |   |   |
| <i>Calocitta formosa</i>         | Hurraca                      | White-throated magpie-jay  |   | X | X | X |
| <i>Cyanocorax melanocyaneus</i>  | Shara                        | Bushy-crested jay          |   |   | X |   |

|                                  |                               |                         |   |   |   |   |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---|---|---|---|
| Troglodytidae                    |                               |                         |   |   |   |   |
| <i>Campylorhynchus rufinucha</i> | Matraca nuquirrufa            | Rufous-naped wren       |   | X | X | X |
| <i>Pheugopedius maculipectus</i> | Ratona de pecho moteado       | Spot-breasted Wren      |   | X |   |   |
| <i>Troglodytes aedon</i>         | Saltapared-continental sureño | House wren              | X |   |   |   |
| Turdidae                         |                               |                         |   |   |   |   |
| <i>Turdus assimilis</i>          | Mirlo gorgiblanco             | White-throated Thrush   |   | X |   |   |
| <i>Turdus grayi</i>              | Cenzontle o zorzal pardo      | Clay-colored Thrush     |   | X | X | X |
| Parulidae                        |                               |                         |   |   |   |   |
| <i>Myioborus miniatus</i>        | Pavito gorjigris              | Slate-throated Redstart | X | X |   |   |
| <i>Basileuterus rufifrons</i>    | Reinita coronirrufa           | Rufous-capped warbler   |   | X |   |   |
| Thraupidae                       |                               |                         |   |   |   |   |
| <i>Cyanerpes cyaneus</i>         | Mielero patirrojo             | Red-legged honeycreeper | X | X | X |   |
| <i>Thraupis abbas</i>            | Tangara aliamarilla           | Yellow-winged Tanager   | X | X | X |   |
| <i>Piranga leucoptera</i>        | Tangara aliblanca             | White-winged Tanager    | X | X |   | X |
| <i>Thraupis episcopus</i>        | Tangara azulgris              | Blue-gray Tanager       | X | X |   |   |
| <i>Volatinia jacarina</i>        | Mochuelo                      | Blue-black Grassquit    |   | X |   | X |
| <i>Saltator atriceps</i>         | Saltador cabecinegro          | Black-headed Saltator   |   | X | X | X |
| <i>Saltator coerulescens</i>     | Saltador grisáceo             | Grayish Saltator        |   | X | X |   |
| <i>Tiaris olivaceus</i>          | Semillero cariamarrillo       | Yellow-faced Grassquit  | X | X |   |   |

|                               |                                  |                            |   |   |   |   |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|
| <i>Sporophila torqueola</i>   | Semillero collarejo              | White-collared Seedeater   |   | X |   | X |
| <b>Emberizidae</b>            |                                  |                            |   |   |   |   |
| <i>Melospiza biarcuatum</i>   | Pinzón cafetalero                | White-faced Ground-Sparrow | X | X |   |   |
| <i>Melospiza leucotis</i>     | Pinzón orejiblanco               | White-eared Ground-Sparrow |   |   | X |   |
| <i>Zonotrichia capensis</i>   | Coronadito                       | Rufous-collared Sparrow    | X |   |   |   |
| <b>Icteridae</b>              |                                  |                            |   |   |   |   |
| <i>Icterus gularis</i>        | Bolsero de Altamira o chorchá    | Altamira oriole            |   |   |   | X |
| <i>Icterus pectoralis</i>     | Bolsero pecho manchado o chorchá | Spot-breasted oriole       |   | X | X |   |
| <i>Dives dives</i>            | Tordo cantor                     | Melodious blackbird        |   |   |   | X |
| <i>Molothrus aeneus</i>       | Vaquero de ojos rojos o tordito  | Bronzed Cowbird            |   | X |   |   |
| <i>Quiscalus mexicanus</i>    | Zanate o clarinero               | Great-tailed Grackle       |   | X |   |   |
| <b>Fringillidae</b>           |                                  |                            |   |   |   |   |
| <i>Euphonia elegantissima</i> | Eufonia de capucha azul          | Elegant euphonia           |   |   | X |   |
| <i>Euphonia hirundinacea</i>  | Eufonia gorgiamarilla            | Yellow-throated euphonia   |   | X |   | X |
| <i>Euphonia affinis</i>       | Eufonia gorginegra               | Scrub euphonia             |   | X | X |   |
| <i>Carduelis psaltria</i>     | Jilguero dorsioscuro             | Lesser goldfinch           | X | X |   |   |

