

CARACTERIZACIÓN Y MONITOREO DE AVES Y PAISAJES SONOROS EN TRES MACROHÁBITATS DE LA REGIÓN DE LA MOJANA.

Convenio de cooperación No 17-16-075-027CE para “Aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros con la Universidad de Córdoba, para realizar el levantamiento y análisis de la información sobre ecología de hábitats acuáticos y percepción de servicios ecosistémicos; monitoreo a los humedales rehabilitados y actividades de divulgación y apropiación del proceso de rehabilitación de humedales, en los municipios de la región de La Mojana”.

Paula Caycedo-Rosales

Carlos González

Supervisor: Juan Carlos Linares Arias

Grupo Biodiversidad de la Universidad de Córdoba

Supervisora: Ursula Jaramillo Villa

Revisó: Ronald Ayazo Toscano

Investigadores Programa Gestión Territorial de la Biodiversidad

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y

Universidad de Córdoba

Bogotá, D.C. 2018

Caracterización y monitoreo de aves y paisajes sonoros en tres macrohábitats de la región de La Mojana. Informe final. / Caycedo-Rosales P. y González C. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Universidad de Córdoba, 2018.

20 p.: il.; 28 x 21.5 cm.

Incluye bibliografía, tablas, mapas.

1. Mojana. – 2. Humedales. – 3. Restauración socio ecológica.

Citar este documento:

Caycedo-Rosales P. y González C. (2018). Caracterización y monitoreo de aves y paisajes sonoros en tres macrohábitats de la región de La Mojana. Informe técnico final. Convenio 15-027. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Universidad de Córdoba.

Resumen

Las comunidades bióticas son específicas a los hábitats y ecosistemas que ocupan y la comunicación acústica refleja esta especificidad. La confluencia de la biofonía, geofonía y antropofonía genera lo que se conoce como paisaje sonoro. Las características acústicas de estos paisajes cambian según los patrones de la biodiversidad. Por lo tanto, el estudio de los paisajes sonoros permite evaluar y monitorear la heterogeneidad del paisaje, teniendo en cuenta a las comunidades de fauna vocalmente activa (insectos, aves, mamíferos y anfibios), asociadas a diferentes gradientes ecológicos. Los humedales del área de La Mojana, en el departamento de Sucre, presentan grandes procesos de transformación por cambio en el uso de la tierra hacia sistemas productivos, lo que ha llevado a la degradación de los bosques, pérdida de cobertura boscosa, fragmentación y degradación de servicios ecosistémicos. Buscando mitigar los efectos negativos que conlleva la pérdida de los ecosistemas naturales, se están estableciendo diferentes faenas de restauración en tres macrohábitats asociados a humedales: Zapal, Ciénaga y vegetación riparia. Con el fin de evaluar el estado de las comunidades de aves y paisajes sonoros de los tres macrohábitats en la fase inicial de la restauración, hicimos grabaciones manuales, censos de aves y utilizamos grabadoras automáticas, para determinar aquellos índices de diversidad acústica que mejor correlación tuvieran entre los ambientes sonoros grabados manualmente con los índices tradicionales basados en censos de aves. Utilizamos los índices con mejor desempeño para evaluar los paisajes sonoros de los tres macrohábitats. A través de una correlación de Spearman entre 12 índices de riqueza de especies y 5 índices de diversidad acústica, escogimos aquellos índices de diversidad acústica que presentaron significancia estadística y correlación positiva con los índices basados en los censos de aves. Los índices de complejidad acústica (ACI), de diversidad acústica (ADI) y el índice de bioacústica (BI), fueron los que mejor desempeño tuvieron. EA través de un análisis discriminante de los paisajes sonoros de los macrohábitats evaluados, encontramos que hay las características espectrales permiten categorizar cada macrohábitat en diferentes momentos del día. Esto sugiere que cada macrohábitat tiene una forma acústica característica, que podría utilizarse para estudiar la heterogeneidad en el paisaje.

Palabras claves:

Mojana; humedales; restauración socio ecológica.

1. INTRODUCCIÓN

La depresión Momposina es uno de los grandes paisajes fluviales del Neotropico y es el sistema cenagoso más grande de Colombia (DNP 2003). La Mojana es una subregión de la depresión Momposina, clave en la regulación hídrica y ambiental del norte del país. En la Mojana convergen los ríos San Jorge, Cauca y Magdalena. Esta región cumple las importantes las funciones de 1) amortiguar las inundaciones a través de los sistemas de vegetación asociados a los cuerpos de agua y 2) recibir grandes cantidades de sedimentos, que son los que nutren sus tierras, y a la que deben su fertilidad. La región está conformada por ciénagas, bosques inundables o zapales, playones y zonas secas ocupadas por potreros, pequeños fragmentos, cultivos y sucesiones tempranas con inundaciones no permanentes. En esta región se ha presentado fuertes transformaciones del paisaje, debido a acciones ganaderas, implementación de cultivos y minería (Corporación Paisajes Rurales 2017). La pérdida de las coberturas vegetales originales ha llevado a la pérdida de las principales funciones ecosistémicas y por ende a los servicios ecosistémicos que la región ofrecía. En el año 2011 hubo una fuerte inundación que trajo consigo millonarias pérdidas económicas. Diversos tipos de manejo han sido implementados en el área, sin embargo, ninguno ha sido 100% efectivo. Ante esta situación, diferentes instituciones están desarrollando esfuerzos que buscan la recuperación de los ecosistemas naturales, con el fin de restablecer las funciones principales de amortiguación y recepción de sedimentos. Los esfuerzos que se están implementando están basados en la caracterización biológica de los principales tipos de coberturas vegetales y en la implementación de sistemas de restauración, los cuales serán monitoreados a través del estudio de sus componentes de fauna y flora.

Uno de los grupos biológicos que mejor conocemos a nivel mundial son las aves. Este grupo presenta una alta especificidad de hábitat y son sensibles a diferentes grados de disturbios. Por otra parte, existe mucha información publicada que facilita su identificación, como guías de campo y grabaciones de las vocalizaciones. Por estas razones, el grupo es un excelente candidato para ser estudiado dentro de la caracterización biológica de los diferentes ecosistemas de la Mojana. Por otra parte, el uso de tecnologías automatizadas en la toma de datos acústicos, ha permitido evaluar, a través de los sonidos que componen un ambiente sonoro (sonidos bióticos -comunidad acústica: insectos, anfibios, aves y mamíferos-; geofónicos y antropogénicos), diferentes tipos de contextos ecológicos, por ejemplo, gradientes de elevación, gradientes de fragmentación, etc. En este estudio utilizaremos la caracterización de tres macro-hábitats de la región de la Mojana, a través del estudio del grupo de las aves y de la comunidad acústica que habita en cada uno de ellos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. DIVERSIDAD TAXONÓMICA DE AVES DESDE UNA APROXIMACIÓN BIOACÚSTICA

El sonido como medio de comunicación se desarrolló en artrópodos y vertebrados (Bradbury & Verhencamp 2011). El modelo básico de este tipo de comunicación es la transferencia de un mensaje codificado de un emisor a un receptor, e involucra diferentes etapas. La primera es la generación del sonido: i) golpear o frotar partes del cuerpo contra superficies sólidas, por ejemplo, el martilleo de los pájaros carpinteros o la estridulación en insectos; ii) a través del movimiento de partes del cuerpo dentro de un medio fluido, como el canto de los peces o los sonidos mecánicos de las aves (fricción de las estructuras de algunas plumas con el aire); iii) mediante el movimiento de un fluido a través de las partes del cuerpo, por ejemplo, el paso del aire a través de las cuerdas vocales en nosotros o el paso del aire a través de la siringe en las aves (Bradbury y Verhencamp 2011). Una vez la señal llega a los receptores, estos presentan sistemas auditivos y redes neurológicas que les permiten decodificar el mensaje, desencadenando una serie de comportamientos de respuesta a la señal, como por ejemplo la atracción, la disposición sexual, el contracanto, la agresión territorial, el contacto entre grupos familiares, etc. (Smith 1996, Bradbury y Verhencamp 2011).

Al contener estas señales tanta información, no es difícil imaginarse que son como la huella digital del individuo, la cual permite al receptor reconocer la identidad sexual, edad y especie del emisor (Catchpole y Slater 2008). Gracias a esta especificidad de las señales acústicas, los humanos las podemos utilizar para corroborar la identificación de las especies, y su captura mediante grabaciones provee la evidencia física de la presencia de una especie en un determinado lugar (Budney *et al.* 1997, Orbist *et al.* 2010).

El grupo que mejor conocemos en cuanto a la identificación de especies por sus vocalizaciones son las aves (Márquez *et al.* 2011). Desde los años 70s, un reconocido ornitólogo, Ted Parker (QEPD), comprendió que el uso de las vocalizaciones de las aves es mucho más eficiente para llevar a cabo inventarios y caracterizaciones de la diversidad, que métodos tradicionales basados únicamente en la captura y las observaciones (Robinson *et al.* 1997). Esto es especialmente cierto en bosque tropicales, donde la densidad de la vegetación, la altura del dosel, además de especies crípticas o tímidas son muy difíciles de observar, mas no de escuchar (Parker 1991, Villarreal *et al.* 2006). Gracias al trabajo de Ted Parker en ornitología, al de Al Gentry en botánica, al de Louise Emmons en mastozoología y al de Robin Foster en ecología botánica, se implementó a inicios de los años 90, lo que se conoce como RAP (Rapid Assessment Program) (Alonso *et al.* 2011), el cual, para el caso de las aves, un componente muy importante de la metodología de campo es la identificación de las especies a través de sus cantos, información que es usada para la evaluación de la biodiversidad. RAP ha sido desde entonces, fuente primordial de conocimiento para guiar las decisiones de conservación de la biodiversidad en las regiones con mayor biodiversidad del planeta (Alonso *et al.* 2011). Un total de 10788 grabaciones de cientos de especies neotropicales, realizadas por Ted Parker,

se encuentran depositadas en la colección de sonidos Macaulay Library (<http://macaulaylibrary.org/>) del Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell.

En Colombia, se creó la Colección de Sonidos Ambientales, perteneciente al Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en el año 1998 por el investigador Mauricio Álvarez, pionero en la materia en Colombia. Esta colección actualmente alberga cerca de 23000 especímenes, principalmente de las voces de las aves, representando el 83% de las especies de aves reportadas para Colombia, pertenecientes a 37 familias, 126 géneros y 1506 especies. Es poca o ninguna la cantidad de grabaciones de las vocalizaciones de las especies de aves en la depresión Momposina. El estudio de la composición de las comunidades mediante registros acústicos proporciona un medio rápido, confiable y replicable de evaluación del estado de conservación, así como comparaciones a lo largo de gradientes climáticos y ecológicos en cuanto a la riqueza, recambio y abundancia de especies (Villarreal *et al.* 2006). Por lo tanto, la adquisición de este material es crucial para hacer el levantamiento de la información base para la caracterización y el monitoreo de las aves de la zona de estudio.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE PAISAJES SONOROS Y DIVERSIDAD ACÚSTICA

El sonido es una propiedad intrínseca de la naturaleza. Cualquier lugar del planeta tiene sonidos producidos por animales (biofonía), factores abióticos como la lluvia, el viento, los truenos, etc. (geofonía) y, cada vez, más ampliamente distribuidos, los sonidos que producen el funcionamiento de las máquinas y equipos creados por el hombre (antropofonía) (Pijanovski 2011).

La bioacústica puede ser utilizada como una herramienta objetiva y eficiente para caracterizar y monitorear diferentes niveles biológicos, desde el nivel de poblaciones, hasta comunidades, hábitats y paisajes (Farina 2014). A nivel de especies ha sido utilizada en estudios sobre patrones de reconocimiento automatizado de la identificación de las especies (Caycedo-Rosales *et al.* 2013), conservación de la biodiversidad (Laiolo 2010), patrones de actividad vocal (Pieretti *et al.* 2011), en estudios RAP (Alonso *et al.* 2011, Brandes 2008), patrones de diversidad (Riede 1993, 1997, Diwakar y Balakrishnan 2007) entre otros. Sin embargo, en esta última década, gracias al desarrollo de unidades de grabación automática se cuenta con grandes sets de datos y se han venido desarrollando nuevas aproximaciones que buscan comprender patrones y procesos de la biodiversidad (Rapid Acoustic Surveys (RAS)) (Sueur *et al.* 2008, Orbist *et al.* 2010), desde un nivel biológico más alto que la especie. Esta aproximación utiliza como unidad de análisis a los sonidos producidos por el conjunto de especies que producen señales acústicas, para tratar de comprender patrones y procesos de la biodiversidad. En general, las vocalizaciones de las comunidades de fauna diurnas, vocalmente activa, consisten principalmente en aves, cicadas y caelíferos (saltamontes, chapulines o langostas), mientras que las nocturnas son predominantemente anuros y ensíferos (grillos, catididos) (Figura 1) (Riede *et al.* 1997).

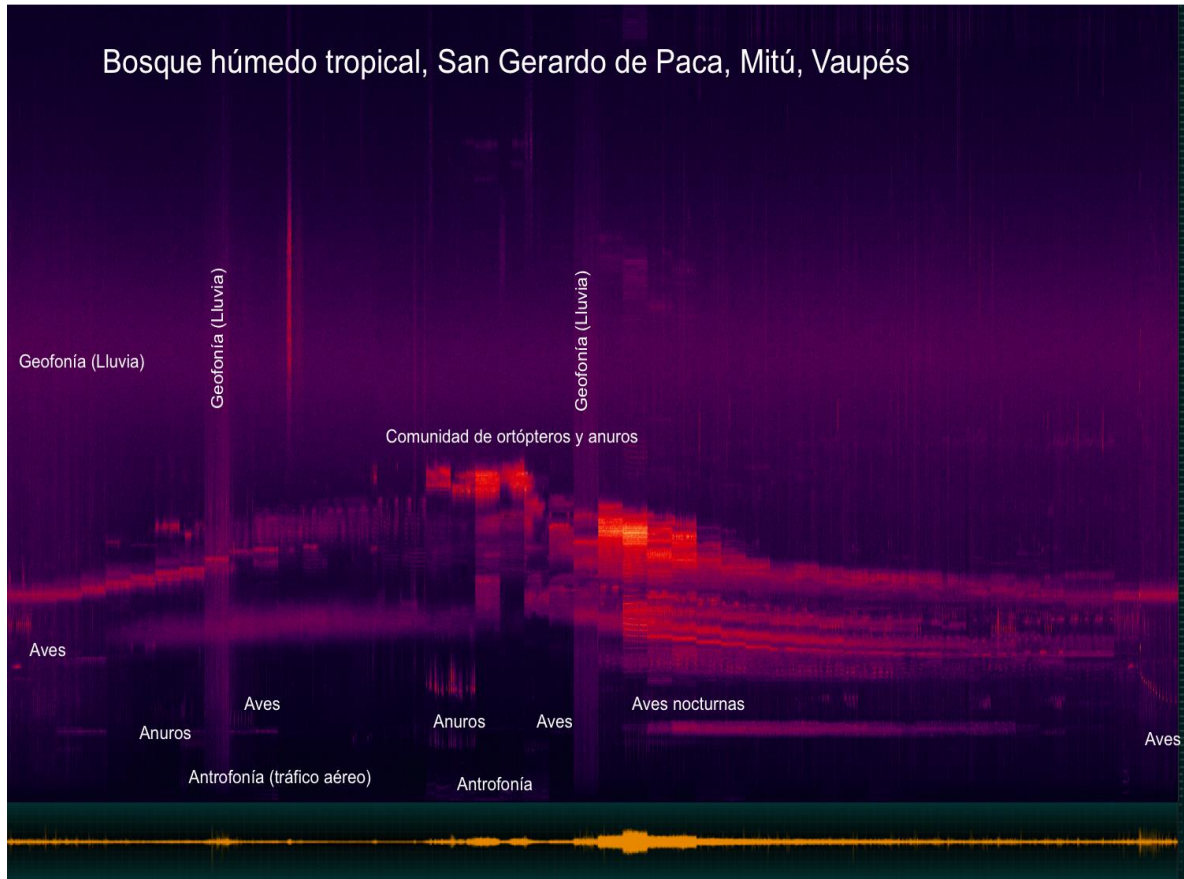


Figura 1. El espectrograma [representación de la frecuencia (de 100 a 22100 Hz) en el eje vertical, tiempo (24h) en el horizontal y la intensidad del sonido en una escala de negro a naranja) de un día (24horas)], muestra la grabación de 30 segundos cada media hora de un bosque húmedo tropical del Vaupés. Se pueden apreciar como un ensamble de especies es activo durante día y otra durante la noche. Estos patrones circadianos se repiten día tras día, pero aún nos falta mucho recorrido para comprender escalas temporales mensuales y anuales en este tipo de ecosistemas, y en los ecosistemas colombianos.

2.3. ÍNDICES ACÚSTICOS

Los índices acústicos buscan tener una perspectiva holística de las comunidades de la fauna vocalmente activa (Depraetere *et al.* 2012) y ante mayor sea el número de especies cantando en un mismo hábitat, mayor heterogeneidad espectral y temporal describe al ensamble (Sueur *et al.* 2008, Orbist *et al.* 2010). Diferentes tipos de índices han sido desarrollados bajo esta perspectiva (Tabla 1), algunos buscan explicar patrones de diversidad (estimadores de riqueza alfa y beta), efectos del ruido antropogénico sobre la biodiversidad, o la actividad acústica de la comunidad de las aves.

Tabla 1. Índices de diversidad acústica desarrollados en la última década

NOMBRE DEL ÍNDICE	LO QUE MIDE	REFERENCIA
Índice de Complejidad	Mide la actividad acústica de la comunidad de aves	Pieretti <i>et al.</i> 2011.

Acústica		
Índice de Diversidad Acústica	Mide la cantidad de energía acústica en franjas de frecuencia (bins) y el índice es el resultado de aplicar el índice Gini a estos bins	Villanueva-Rivera <i>et al.</i> 2011
Acoustic Evenness Index	Mide la cantidad de energía acústica en bins de frecuencia y el índice es el resultado de aplicar el índice de diversidad de Shannon a estos bins	Villanueva-Rivera <i>et al.</i> 2011.
Índice Bioacústica	Mide la relación entre el ruido de fondo y las vocalizaciones de aves	Boelman <i>et al.</i> 2007.
Índice de la diferencia normalizada de paisajes sonoros. (NSDI)	Estima el nivel de ruido antropogénico sobre el paisaje sonoro	Kaesten <i>et al.</i> 2012.
Índice de Entropía acústica (H)	Mide la entropía acústica, muestra una correlación entre el número de especies dentro de la comunidad acústica	Sueur <i>et al.</i> 2008.

Los índices de diversidad acústica son aproximaciones alternativas del estudio de patrones de diversidad en comunidades de fauna y se presentan como una posible solución de análisis para grandes conjuntos de datos, como los arrojados por sistemas de grabación automática, ya que el desarrollo de modelos de identificación automática a nivel de especies, aún está en vías de desarrollo. Sin embargo, estos índices son sensibles a los patrones de ruido de fondo del sitio a muestrear, algunos de estos índices pueden arrojar resultados errados bajo condiciones de mucho ruido antropogénico, mientras que otros no operan bien bajo condiciones de un ruido constante como por ejemplo el ruido de los grillos y anfibios en ecosistemas tropicales. Por esta razón es muy importante conocer las limitaciones de cada índice antes de aplicarlos.

2.4. HUELLAS ACÚSTICAS

La heterogeneidad ambiental es uno de los determinantes más importantes en los procesos ecológicos, debido a que son la base fundamental de la estructura y el funcionamiento de los paisajes (Bormpoudakis *et al.* 2013). El estudio de la heterogeneidad del paisaje a través de la caracterización y descripción de los patrones acústicos circadianos de los hábitats (Bormpoudakis *et al.* 2013, Rodríguez *et al.* 2014) o huellas acústicas se basan en el análisis de la densidad espectral (Merchant *et al.* 2015) y puede proveer una herramienta de evaluación de la heterogeneidad en gradientes ecológicos. El concepto de huella acústica se basa en los patrones circadianos del sonido emitido por la geofonía, biofonía, antropofonía. Gracias a que las comunidades bióticas son específicas a los hábitats y ecosistemas que ocupan (Slabbekoorn 2004), la actividad de comunicación acústica de las comunidades de fauna refleja esta especificidad. La huella acústica representa a las comunidades de insectos, aves, anfibios y mamíferos al mismo tiempo (para sistemas terrestres) que ocupan un mismo hábitat. La huella acústica tiene el potencial de reflejar diferencias en comunidades de fauna

según el hábitat que ocupen y así como la firma espectral de sensores remotos revela diferencias en comunidades de flora, es posible que las huellas acústicas nos permitan evaluar y monitorear la heterogeneidad del paisaje, teniendo en cuenta a las comunidades de fauna. De ser así estas diferencias podrán aplicarse para evaluar gradientes ecológicos, como por ejemplo gradientes de disturbio, gradientes sucesionales, gradientes altitudinales, etc. Las dinámicas de los paisajes sonoros, su diversidad acústica y sus ritmos circadianos y anuales, son altamente desconocidos en ecosistemas tropicales (Rodríguez *et al.* 2014) y sin embargo, son una herramienta muy prometedora para la evaluación y el monitoreo de la biodiversidad colombiana.

2.5. ECOACÚSTICA EN HUMEDALES

Los cuerpos de agua dulce de los humedales son hábitats pobremente explorados en términos ecoacústicos. Hasta la fecha, la evaluación de los paisajes sonoros en los cuerpos de agua de humedales ha sido explorado únicamente en Francia (Desjonquères *et al.* 2015), en donde se muestrearon 3 cuerpos de agua con diferencias en el porcentaje de cobertura de vegetación terrestre que rodea al cuerpo de agua; 1. completamente cubierto, 2. parcialmente cubierto y 3. descubierto. La riqueza varió entre los cuerpos de agua, siendo el humedal 1 el que mayor tipo de sonidos presenta y el humedal 3, el de menor riqueza. Cada cuerpo de agua tiene una comunidad acústica diferente, sin embargo, comparten mayor número de tipos de sonidos los humedales 1 y 2. La riqueza acústica de la comunidad (AR) fue mayor en los humedales 1 y 2. En conclusión los cuerpos de agua de humedales con mayor cantidad de cobertura de vegetación terrestre asociada, presentan mayor riqueza de su biota.

La evaluación de la biodiversidad a nivel de comunidades y especies en la restauración de hábitats terrestres asociados a humedales, también han sido el objeto de estudios en ecoacústica. En Mecklenburg-Western Pomerania, Alemania, un total de 25.000 Ha de humedal fueron restauradas, creando nuevos hábitats. Las dimensiones espaciales de la restauración y la dificultad logística para acceder a los sitios impulsaron el uso de grabadoras automáticas para evaluar la comunidad de aves acuáticas (Frommolt 2017). De esta manera, lograron tener una lista completa de las aves diurnas y nocturnas de las áreas restauradas y detectaron algunos aspectos de la reproducción de las aves a través las dinámicas acústicas que se presentan en las diferentes estaciones de muestreo. Con este mismo set de datos, gracias al arreglo de micrófonos que implementaron en la toma de datos, lograron estimar la densidad poblacional de un ave nocturna presente en estos humedales (*Botaurus stellaris*) y encontrar los sitios de reproducción a medida que cambiaba el escenario de vegetación en 5 años de monitoreo en las áreas restauradas (Frommolt & Taucher 2014).

Es por lo tanto válido proponer que se pueden medir los procesos de restauración de la biodiversidad presente en los cuerpos de agua de humedales, a través de la evaluación de la vegetación asociada, tanto terrestre como acuática. En nuestro estudio utilizaremos una aproximación tanto a nivel de especies de aves y a nivel de las comunidades de fauna vocalmente activa, en 3 macro hábitats terrestres asociados a los cuerpos de agua del humedal de la Mojana: Zapal, Bosques riparios (ríos y caños) y ciénaga.

3. DISEÑO METODOLOGICO

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

En el área de la Mojana se tomarán muestras en 3 macro hábitats (Zapal, Caños y Ríos y Ciénagas) y la interacción de los zapales con los principales agro ecosistemas a nivel del paisaje: ganadería con vacas, ganadería con búfalos y arroz. Estos dos últimos agrosistemas están en realidad inmersos entre las ciénagas.

- **Zapal:** Los zapales son ecosistemas más diversos entre lo que sobrevive en la zona. Es el reto más grande, pero el de mayor valor en el proceso de rehabilitación. Su diversidad está dictada por la complejidad estructural de la vegetación, asociada a la diversidad de especies vegetales y de sus formas de crecimiento. Los árboles de porte alto que crecen en los bordes, son remplazados por árboles de porte medio y bajo que son capaces de permanecer buena parte del año en la inundación, algunos de ellos muy especializados y desarrollando formas de crecimiento que les permiten crecer mediante clones alrededor de una planta madre.
- **Ciénagas:** Estos ecosistemas retienen grandes cantidades de agua, regulan caudales de ríos, maximizan los procesos de decantación y depósitos de materiales. Se produce la re oxigenación de las aguas. Sirven como albergue de variedades de especies de flora y fauna, brindando refugio, alimento y protección de especies migratorias de peces y aves (Holguín-Moreno & Martínez-Barreto 2013). La ciénaga es diversa en profundidades, pero se encuentra sedimentada, altamente contaminada por metales pesados e invadida por plantas como *Eichhornia crassipes*, que avanza en su colonización (Corporación Paisajes Rurales 2017).
- **Ríos y caños:** La acumulación de sedimentos genera taponamientos y la colonización de plantas pioneras y colonizadoras nativas que se establecen sobre los bordes y sectores menos húmedos. Los caños son importantes porque permiten el movimiento de las aguas, desplazan semillas, plantas y fragmentos de plantas acuáticas que colonizarán nuevos sitios, actúan como reservorios de biodiversidad y de alimento, de recursos, propician el intercambio genético entre las poblaciones y el bienestar de los pobladores (Holguín-Moreno & Martínez-Barreto 2013, Corporación Paisajes Rurales 2017).

En términos generales, la cobertura boscosa de los caños y los ríos han sufrido de deforestación casi completa por actividades agropecuarias y la construcción de viviendas. En la región de la Mojana, los caños San Matías y Pasifueres son los que conservan un número mayor de especies de plantas. Son en esencia los mejores sitios, y aunque no hay bosques ni grandes áreas cubiertas de árboles, si se pueden encontrar parches pequeños a los lados del caño, o arboles aislados o en pequeños grupos que pueden tener un papel importante en el inicio del proceso de rehabilitación (Corporación Paisajes Rurales 2017).

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Grabación de Aves

- Grabadora digital TASCAM
- Audífonos
- Micrófono direccional AUDIOTECNICA
- Cables para micrófono XLR-MONO
- Espumas contraviento para micrófono direccional
- Soporte para micrófono
- Pilas AA
- Tarjeta SD (16 o 32 GB)
- Libreta de Campo

3.2.2. Grabación de Paisajes Sonoros

- 9 unidades de grabación automática (Swift)
- 9 tarjetas de memorias SD de 32GB
- Disco de almacenamiento
- 27 pilas D

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Grabación de Aves

Utilizamos el muestreo de la comunidad de aves a través de observaciones visuales y aurales (Villarreal *et al.* 2006; Robinson *et al.* 2000; Blake *et al.* 1990) realizadas en puntos de conteo. Los puntos de conteo son la mejor metodología en contextos de paisajes rurales, con altos grados de transformación. Los puntos de conteo tuvieron un radio de 50m. Cada punto estaba separado por 150 m para evitar contar el mismo individuo dos veces. Los conteos se hicieron de 6 a 11 y de 16 a 18.

El conjunto de datos recogidos (tanto audios, como registros) tomados en campo y organizados en el lenguaje Darwin Core, para ser ingresados al Sistema de Información en Biodiversidad SIB Colombia, y las grabaciones y la información se depositarán en la Colección de Sonidos Ambientales del Instituto Humboldt. Esta información es pública en el portal del Sistema de Información de la Biodiversidad. Los principales resultados al seguir esta metodología son la estimación de las abundancias relativas, riqueza de especies, preferencias de hábitat y patrones de diversidad (alfa y beta)

3.3.2. Grabación de paisajes sonoros

Se utilizó un diseño de estructura de una vía con un tratamiento: tipo de hábitat (zapal, ripario y ciénaga), cada uno con dos replicas. La programación de las grabadoras SWIFT fue de 10

minutos de grabación cada hora desde las 4 am a las 23 am, durante 22 días a 48kHz/16 bits, en formato wav. El esfuerzo de muestreo fue de 22 días, del 7 al 28 de marzo de 2018. Obtuvimos un total de 3430 grabaciones automáticas.

3.3.3. Análisis de Datos

Evaluamos los patrones de diversidad de la comunidad de aves mediante índices basados en presencia y abundancia aves e índices de diversidad acústica de las grabaciones manuales hechas que acompañaron a los puntos de conteo en donde se observaron y contaron las especies de aves (Tabla 2). Con el fin de conocer cuales son los índices de diversidad acústica adecuados para el posterior análisis de la diversidad de los paisajes sonoros, hicimos una correlación de Spearman.

Tabla 2. Índices de diversidad basado en el conteo de aves e índices de diversidad acústica basada en las grabaciones que acompañan a los puntos de conteo.

ÍNDICE	BREVE EXPLICACIÓN
Taxa_S	Número de especies
Individuos	Número de individuos
Dominance_D	Mide la representatividad de una especie en una muestra
Simpson_1-D	Mide la abundancia proporcional de una especie presente en una muestra (Moreno, 2001)
Shannon_H	Mide la heterogeneidad de una comunidad a partir del número de especies presentes y su abundancia relativa (Moreno, 2001)
Evenness_e ^{H/S}	Mide la constancia numérica de una especie en una muestra (Moreno, 2001)
Brillouin	Mide la heterogeneidad de una muestra cuando la aleatoriedad no puede garantizarse (Moreno, 2001)
Menhinick	Mide la relación entre el número de especies y el número de individuos de una muestra (Moreno, 2001)
Margalef	Mide la distribución del número de individuos en función del número de especies (Moreno, 2001)
Equitability_J	Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Moreno, 2001)
Fisher_alpha	Mide la relación entre el número de especies y el número de individuos (Moreno, 2001)
Berger-Parker	Mide la proporción de las especies más comunes en una comunidad o muestra.
Acoustic Complexity Index (a)	Mide la actividad acústica de las aves
Acoustic Diversity Index (a)	Es el resultado de la aplicación del índice de Shannon a los bins del a transformación de Fourier
Acoustic Evenness Index (a)	Es el resultado de la aplicación del índice de Gini a los bins del a transformación de Fourier
BI: Bioacoustics Index (a)	Relaciona los niveles del sonido con las franjas de frecuencia que ocupan los cantos de las aves
NDSI: normalized difference soundscape index (a)	Relaciona el nivel de ruido antropogenico y el ruido biótico

La similitud de los ensambles de aves para las diferentes escalas espaciales se midió a través de distancias Euclidianas. Con esta matriz de distancias se hizo un análisis de agrupamiento jerárquico UPGMA (*unweighted pair-group method with arithmetic mean*) (Castillo, 2012).

Se realizó un análisis de densidad espectral (PSD) para cada macrohábitat. Y mediante un análisis discriminante se evaluó las diferencias espectrales entre los paisajes sonoros de los tres macrohábitats.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PATRONES DE DIVERSIDAD

En la temporada de aguas bajas encontramos un total de 89 especies de aves. En general las ciénagas y los agrosistemas inmersos en ella, albergan la mayor riqueza, diversidad alfa y equitatividad de los hábitats evaluados. Mientras que en el Zapal se reporta un valor de número de individuos cientos de veces mayor (Tabla 3), el cual fue debido a la presencia de 300 individuos de *Anas discors*, que es una especie migratoria boreal. A pesar de este dato, el macrohábitat que tiene, al parecer, mayor relevancia para las aves migratorias es la ciénaga, con 14 especies. Gran parte de los agrosistemas que se evaluaron están sobre las ciénagas. Siendo las ciénagas el macrohábitat con mayor valor de diversidad, es importante regular y mejorar la relación entre ciénaga-cultivo. De seguir creciendo la economía bufalera y de arroz, la diversidad de la ciénaga se ve amenazada.

Tabla 3. Índices de diversidad de especies basados en censos de aves e índices de diversidad acústica en la temporada de aguas bajas durante el 2018. En amarillo se resaltan los índices con mayor valor.

	AGROSISTEMAS	CIÉNAGA	BOSQUES RIPARIOS	ZAPAL
Número de especies	14.27	12.00	9.90	9.27
Número de individuos	38.60	19.50	24.70	308.45
Dominancia_D	0.16	0.10	0.17	0.32
Simpson_1-D	0.84	0.90	0.83	0.68
Shannon_H	2.25	2.37	2.02	1.59
Evenness_e^H/S	0.78	0.90	0.79	0.69
Brillouin	1.77	1.77	1.56	1.23
Menhinick	2.50	2.75	2.10	1.67
Margalef	3.81	3.73	2.87	2.38
Equitabilidad_J	0.88	0.96	0.89	0.77
Fisher_alpha	12.04	15.09	7.52	5.65
Berger-Parker	0.26	0.15	0.30	0.44
Chao-1	19.91	16.73	11.32	11.78
ACI	27545.97	28484.57	27009.80	26885.34
ADI	0.44	0.68	0.24	0.16
AEI	0.83	0.75	0.87	0.89

BI	4.35	5.21	3.48	2.73
NSDI	0.76	0.83	0.85	0.83

Según el análisis de correlación entre los índices basados en censos de aves y aquellos basados en el comportamiento acústico, los índices que presentan correlación positiva y significativa fueron los índices de complejidad de especies (ACI), el de diversidad de especies (ADI) y el bioacústico (BI) (Figura 2). Siendo el monitoreo acústico, una técnica que permite la colecta rápida y relativamente sencilla de datos de la biodiversidad, de manera automática, este resultado es una guía para el diseño de la batería de índices que acompañan a futuros análisis de diversidad de paisajes sonoros, tanto en la caracterización de los mismos como en el posterior monitoreo de los paisajes sonoros de los macrohábitats implicados en la restauración de estos ecosistemas.

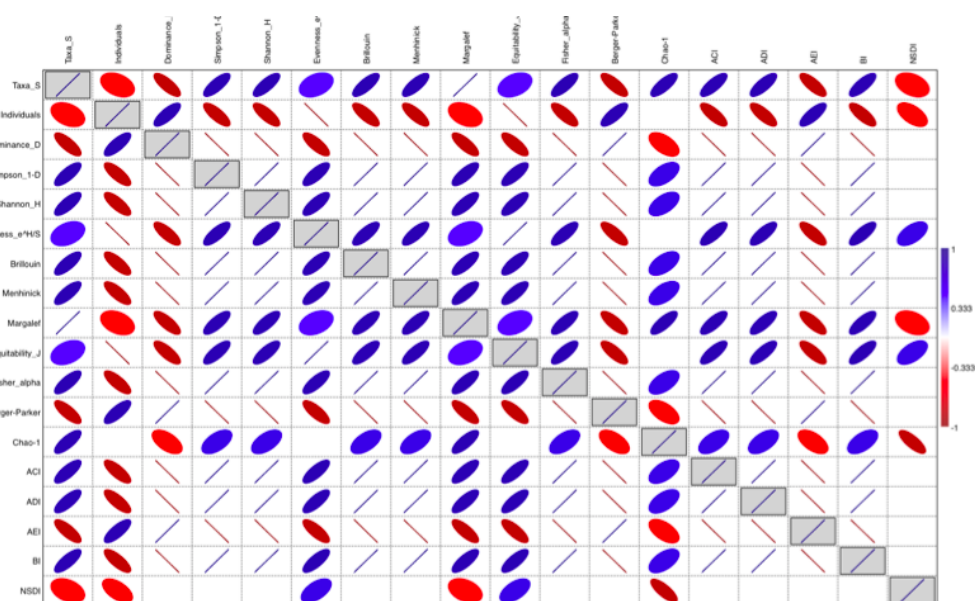


Figura 2. En la gráfica, entre más delgada sea la elipse (una línea) refleja una mayor correlación entre los índices de las filas y las columnas, el color azul revela una correlación positiva, mientras que el color rojo revela una correlación negativa. En nuestro caso, los índices ACI, ADI y BI son los que presentan el mayor número de correlaciones positivas con los índices basados en censos.

En cuanto al recambio de especies entre los macrohábitats, encontramos dos grupos que tienen coberturas similares: zapal y los bosques riparios (Caño/Río) son un grupo y ciénagas y cultivos son otro. (Figura 3).

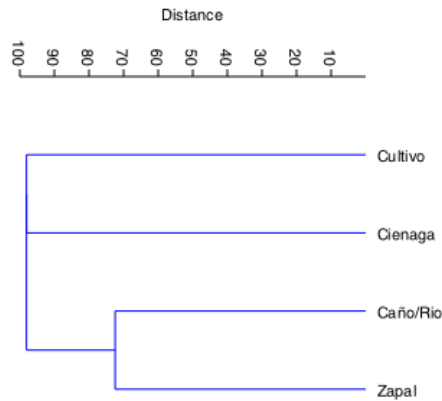


Figura 3 Dendrograma del ensamblaje de aves en los macrohábitats evaluados, según la Distancia Euclidiana y el método de agrupamiento promedio o UPGMA (unweighted pair-group method).

4.2. CARACTERIZACIÓN DE PAISAJES SONOROS

Encontramos 4 picos de actividad que coinciden en los tres macrohábitats. Estos son el pico de actividad de las aves al amanecer que se da a las 6 de la mañana. Luego de este momento, otros grupos biológicos empiezan a ser protagónicos, el paisaje sonoro es dominado por insectos, especialmente grillos y chicharras. Esta sección del paisaje sonoro abarca desde 7am a las 5 pm, dominado por el sonido de insectos. La comunidad de aves tiene su último pico de actividad en el coro del atardecer a las 6pm, para dar paso a insectos y anfibios nocturnos, que dominan el paisaje de desde las 7 pm a las 5 am. El ciclo se repitió durante los días de muestreo.

Según el análisis discriminante para recambio acústico del día entre los diferentes ensambles de fauna vocalmente activa, encontramos que en general se pueden encontrar diferencias de las huellas acústicas para cada macrohábitat en los diferentes momentos del día. Estas huellas acústicas revelan heterogeneidad en los paisajes sonoros, por ende, en las comunidades de fauna vocalmente activa. Durante el coro del amanecer y del atardecer, claramente se diferencian los pasajes sonoros del río. Durante el coro del amanecer, las ciénagas y zapales crean un grupo aparte, pero los caños tienen un comportamiento que se solapa a los anteriores macrohábitats. Durante el día y la noche, es clara la divergencia en las huellas acústicas de los tres macrohábitats (Figura 4).

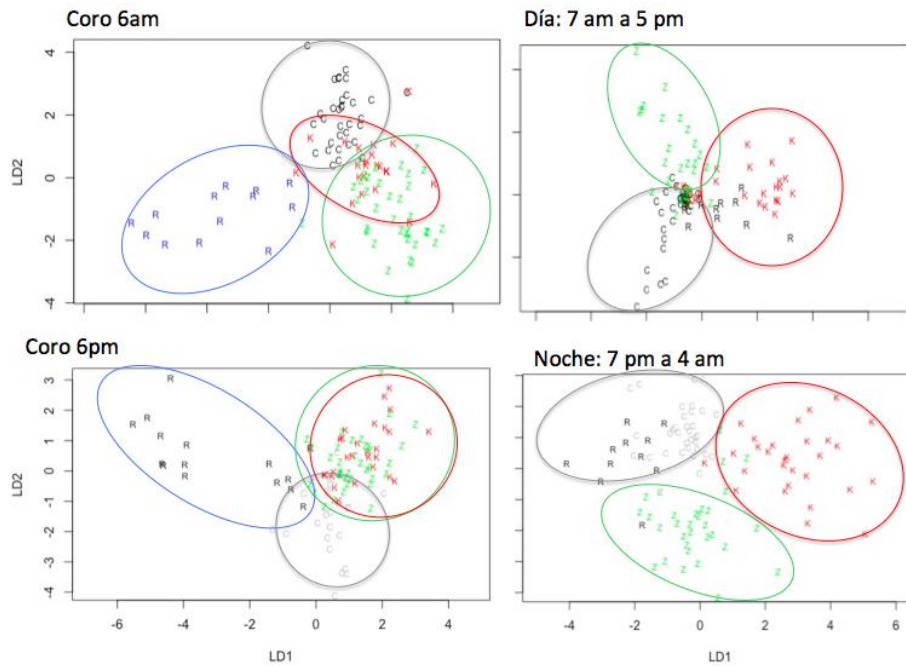


Figura 4. Análisis discriminante de la densidad espectral (PSD) en los macrohábitats evaluados. Bosques riparios: R (río) y K (caño), Z: Zapal, C: Ciénaga.

5. CONCLUSIONES

La ciénaga alberga la mayor diversidad de especies de aves en la región de La Mojana, la mayor parte de las aves migratorias fueron reportadas en las ciénagas. Es posible que en ellas encuentren las fuentes alimenticias necesarias para poder ganar el peso necesario que requiere la migración. Se recomienda ejercer medidas más rigurosas de protección de la ciénaga y buscar establecer sistemas productivos que sean más amigables.

La evaluación y caracterización de los paisajes sonoros, permite reflejar diferencias en la estructura sonora de las comunidades que habitan en cada macrohábitat. A través del análisis de índices de diversidad acústica seleccionados, es posible trazar una serie de métricas que describan el momento inicial de los esfuerzos de restauración. Este será el siguiente paso en esta investigación.

La implementación de un sistema de monitoreo acústico para la evaluación y seguimiento de los esfuerzos de restauración, requiere de un acompañamiento de evaluación ornitológica. La integración de varios actores (academia y comunidad local) en la caracterización ornitológica, puede ser vista como una herramienta de apropiación del territorio que brinde resultados positivos al seguimiento de la restauración de los macrohábitats de la región.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, L. E. y Naskrecki, P. (2011). RAP at a glance. En L. E. Alonso, J.L. Deichmann, S. A. McKenna, P. Naskrecki, y S. J. Richards (Eds.), *Stillcounting: biodiversity exploration for conservation. The first 20 years of the rapid assessment program* (pp. 18–42). Arlington, VA: Conservation International.
- Blake, J. G., Stiles, F. G. & Loiselle B. A. 1990. Birds of La Selva Biological Station: Habitat use, trophic composition, and migrants. Pages 161–182 in *Four Neotropical Rainforests* (A. H. Gentry, Ed.). Yale University Press, New Haven, Connecticut.
- Boelman NT, Asner GP, Hart PJ, Martin RE. 2007. Multi-trophic invasion resistance in Hawaii: bioacoustics, field surveys, and airborne remote sensing. *Ecological Applications* 17: 2137-2144
- Bormpoudakis D, Sueur J, Pantis JD (2013) Spatial heterogeneity of ambient sound at the habitat type level: ecological implications and applications. *Landscape Ecol* 28: 495–506
- Bradbury J.W & Venrencamp S. 2011. Signals and communication. Cap :1. En: Bradbury J.W & Venrencamp S. (eds) *Principles of animal Communication*. 2nd ed, Sinauer Associates, Inc. Southerland, Massachusetts. PP:1-16. ISBN: 978-0-87893-045-6
- Bradbury J.W & Venrencamp S. 2011. Sound and sound signal production. Cap :2. En: Bradbury J.W & Venrencamp S. (eds) *Principles of animal Communication*. 2nd ed, Sinauer Associates, Inc. Southerland, Massachusetts. PP: 19 .55. ISBN: 978-0-87893-045-6
- Bradbury J.W & Venrencamp S. 2011. Sound signal propagation and reception. Cap :3. En: Bradbury J.W & Venrencamp S. (eds) *Principles of animal Communication*. 2nd ed, Sinauer Associates, Inc. Southerland, Massachusetts. PP: 65 - 107. ISBN: 978-0-87893-045-6
- Brandes, T. 2008. Automated sound recording and analysis techniques for bird surveys and conservation, *Bird Conservation International*, vol. 18, no. S1, pp. S163–S173, 175, 181, 182
- Budney G.F. & Grotke R.W. 1997. *Técnicas para la Grabación de las Vocalizaciones de las Aves Tropicales* (Título original en inglés: "Techniques for Audio Recording Vocalizations of Tropical Birds") Biblioteca de Sonidos Naturales, Laboratorio de Ornitología de Cornell Ithaca, New York 14850.
<https://macaulaylibrary.org/documents/FieldTechniqueSpanish.pdf>
- Castillo, Y. & Rosero Y. 2012. Relación de la riqueza y la diversidad de especies de

aves con la heterogeneidad y complejidad de hábitat en tres ecosistemas tropicales de la costa pacífica nariñense, Colombia. Tesis de pregrado. Universidad de Nariño.

- Catchpole, C.K. & Slater, P.J.B. (2008) *Bird Song: Biological Themes and Variations*. 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 335 pp
- Caycedo-Rosales P., Ruiz-Muñoz, J. & Orozco-Alzate, M. 2013. Reconocimiento automatizado de señales bioacústicas: Una revisión de métodos y aplicaciones. *Ingeniería y Ciencia*. vol. 9, no. 18, pp. 171–195
- Corporación Paisajes Rurales. 2017. Informe Técnico: “Algunos Elementos Claves Para La Rehabilitación (Activa Y Pasiva) En Zonas Inundables”.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, DNP. 2003. Plan integral de ordenamiento ambiental y desarrollo territorial de la región de La Mojana: caracterización territorial [en línea]. Bogotá: DNP.
- Depraetere, M., Pavoine, S., Jiguet, F., Gasc, A., Duvail, S., & J. Sueur. 2012. Monitoring animal diversity using acoustic indices: implementation in a temperate woodland. *Ecological Indicators* 13(1):46-54.
- Desjonquères, C., Rybak, F., Depraetere, M., Gasc, A., Le Viol, I., Pavoine, S., y J. Sueur. 2015. First description of underwater acoustic diversity in three temperate ponds. *PeerJ* 3: e1393.
- Diwakar, S. & Balakrishnan, R. (2007). The assemblage of acoustically communicating crickets of a tropical evergreen forest in Southern India: call diversity and diel calling patterns. *Bioacoustics* 16, 113-135
- Farina, S. 2014. *Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications*, Springer, Netherlands. DOI <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5>
- Frommolt, K.-H. & Tauchert, K.-H. (2014) Applying bioacoustic methods for long-term monitoring of a nocturnal wetland bird. *Ecological Informatics*, 21, 4–12.
- Frommolt, K-H. 2017. Information obtained from long-term acoustic recordings: applying bioacoustic techniques for monitoring wetland birds during breeding season. *Journal of Ornithology*, Volume 158, Issue 3, pp 659–668
- Holguín-Moreno C., & Martínez-Barreto S. 2013. Metodología de Valoración de Servicios Ambientales en la Ecorregión de la Mojana. Tesis de Grado. Programa: Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Católica. Bogotá, Colombia.
- Kasten E. P., Gage S. H., Fox J., and Joo W. 2012. The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: an archive for studying soundscape ecology. *Ecol. Inform.* 12:50–67

- Laiolo, P. 2010. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. *Biological conservation*. 143(7): 1635-1645
- Márquez R, Riva I, Gil D, Sueur J, Marques P, Luisia D. 2011. Los sonidos de los animales: una firma de su identidad. *Quercus*. p. 36-44.
- Merchant N., Fristrup K., Johnson M., Tyack P., Witt M., Blondel P., & Susan E. Parks S. 2015. Measuring Acoustics Habitats. *Methods in Ecology and Evolution*. doi: 10.1111/2041-210X.12330
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Obrist, M.K., Pavan, G., Sueur, J., Riede, K., Llusia, D. & Márquez, R. 2010. Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. In: Eymann, J., Degreef, J., Häuser, C., Monje, J.C., Samyn, Y. & VandenSpiegel, D. (Eds.), *Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories*. Vol. 8. *Abc Taxa*, Brussels, pp. 68–99.
- Parker, T. A. 1991. On the use of tape recorders in avifaunal surveys. *Auk* 108: 443–444
- Pieretti, N., Farina, A., and Morri., D. 2011. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The acoustic complexity index (aci). *Ecological Indicators*, 11(3):868–873.
- Pijanowski, Bryan C., Luis J. Villanueva-Rivera, Sarah L. Dumyahn, Almo Farina, Bernie L. Krause, Brian M. Napoletano, Stuart H. Gage & Nadia Pieretti. (2011). *Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape*. University of California Press Sitio web: http://www.edc.uri.edu/nrs/classes/nrs534/NRS_534_readings/Sound2.pdf
- Riede K (1993) *Monitoring Biodiversity: Analysis of Amazonian rainforest sounds*. *Ambio* 22:546–548
- Riede K (1997) *Bioacoustic monitoring of insect communities in a Bornean rainforest canopy*. In: Stork NEet al (eds) *Canopy Arthropods*. Chapman and Hall, London, pp 442–452
- Robinson, S. K. & Terborgh, J. 1997. Bird community dynamics along primary successional gradients of an amazonian Whitewater river. *Ornithological Monographs*, No 48, *Studies in Neotropical Ornithology honoring Ted Parker* pp. 641-672.

- Robinson, W., Brawn, J. & Robinson S. 2000. Forest bird community structure in central Panama: influence of spatial scale and biogeography. *Ecological Monographs* 70: 209–235.
- Rodríguez, A. Gasc, A. Pavoine, S. Grandcolas, P. Gaucher, P. & Sueur, J. 2014. Temporal and spatial variability of animal sound within a neotropical forest, *Ecological Informatics* 21 (2014) 133–143.
- Slabbekoorn H. 2004. Habitat-dependent ambient noise: Consistent spectral profiles in two African forest types. *J. Acoust. Soc. Am.* 116 (6)
- Smith, W. J. (1996). Using interactive playback to study how songs and singing contribute to communication about behavior. In *Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds* (D. E. Kroodsma & E. H. Miller, eds.). Comstock Publishing Associates, Cornell University Press; Ithaca & London, pp. 377-397.
- Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O., and Duvail, S. 2008. Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PLoS One*, 3(12): e4065.
- Villanueva-Rivera, L., Pijanowski, B., Doucette, J., and Pekin., B. 2011. A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape Ecology*, 26:1233–1246
- Villarreal H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G. Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. & Umaña, A.M. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Segunda edición. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia